



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS
MARINAS



Ontogenia alimentaria de la cornuda prieta
***Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en ambas costas de**
Baja California Sur, México

TESIS

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

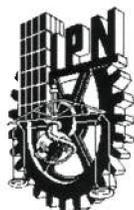
PRESENTA

BIÓL. VALERIA DENÍ MAGAÑA GARCÍA

DIRECTORES

ARTURO TRIPP VALDEZ
FELIPE GALVÁN MAGAÑA

LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2024



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 de del

El Colegio de Profesores de Posgrado de en su Sesión
(Unidad Académica)

No. celebrada el día del mes de conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	MAGAÑA	Apellido Materno:	GARCIA	Nombre (s):	VALERIA DENI
-------------------	--------	-------------------	--------	-------------	--------------

Número de registro:

del Programa Académico de Posgrado:

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

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

"ONTOGENIA ALIMENTARIA DE LA CORNUDA PRIETA *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) EN AMBAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Objetivo general del trabajo de tesis:

Determinar los cambios tróficos durante la ontogenia de la cornuda prieta *Sphyrna zygaena*, en ambas costas Baja California Sur mediante el análisis de la composición isotópica ($\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$) en vértebras

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

Director: 2° Director:
No aplica:

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

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

BIÓL VALERIA DENI MAGAÑA GARCIA

Presidente del Colegio

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.** siendo las **12:00** horas del día **13** del mes de **Junio** del **2024** 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:

del (la) alumno (a):
"ONTOGENIA ALIMENTARIA DE LA CORNUDA PRIETA *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) EN AMBAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Apellido Paterno:	MAGAÑA	Apellido Materno:	GARCIA	Nombre (s):	VALERIA DENI
-------------------	--------	-------------------	--------	-------------	--------------

Número de registro: **B 2 2 0 6 8 5**

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 **14%** 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 CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *[Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original]*
Este resultado del 14% de similitud general, se realizó una revisión exhaustiva de aspectos como el contenido, la estructura, la intención y la ubicación de los textos identificados como coincidentes con otros documentos, llegándose a la conclusión de que **Este trabajo no constituye un plagio**

****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. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ
Nombre completo y firma

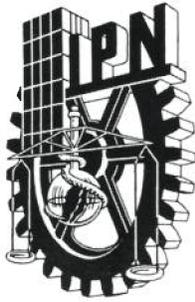

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN
Nombre completo y firma


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


DRA. ALEJANDRA PIÑÓN GIMATE
Nombre completo y firma


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

**I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN**



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 14 del mes de Junio del año 2024

El (la) que suscribe BIÓL. VALERIA DENI MAGAÑA GARCIA Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B220685 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. FELPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ONTOGENIA ALIMENTARIA DE LA CORNUDA PRIETA *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758)
EN AMBAS COSTAS 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: vmaganag1200@alumno.ipn.mx- atrippv@ipn.mx - fgalvan@ipn.mx

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

BIÓL. VALERIA DENI MAGAÑA GARCIA

Nombre completo y firma autógrafa del (de la) estudiante

DEDICATORIA

A mis padres, quienes han sido mi faro en cada tormenta y mi ancla en cada deriva. Su apoyo incondicional, su amor inquebrantable y su sabiduría han sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante. Gracias por enseñarme a soñar en grande y a navegar con valentía hacia mis metas.

A mis seres queridos quienes han partido, pero siempre vivirán en mi corazón, cuya luz sigue iluminando mi camino. Esta tesis es un tributo a su memoria y a la profunda conexión que compartíamos.

Mi pasión por proteger los océanos y sus tesoros está inspirada por su amor por la vida y por el mar. En cada gota de agua, en cada ola, encuentro un eco de su espíritu, una reafirmación de la importancia de preservar lo que es vital para nuestro planeta y para nuestros corazones.

Esta obra es para todos ustedes, que me han enseñado la belleza de seguir nuestros sueños y la necesidad de cuidar lo que amamos. A través de este trabajo, espero honrar su legado y contribuir a un futuro donde el vasto azul que nos une sea protegido y respetado por generaciones venideras.

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI). Su apoyo financiero durante el curso de esta investigación ha sido indispensable, y sin su respaldo, este proyecto no hubiera sido posible. Aprecio enormemente la confianza que han depositado en mi trabajo y en mi capacidad para llevar a cabo esta investigación.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) y al Instituto Politécnico Nacional (IPN), les expreso mi más sincera gratitud por ofrecerme la oportunidad de expandir mis estudios y profundizar en el fascinante mundo de las ciencias marinas. Su apoyo no solo ha sido vital para mi desarrollo académico, sino también para mi crecimiento personal. Gracias por proporcionarme un entorno enriquecedor donde he podido aprender, crecer y forjarme como profesional.

Mi agradecimiento al Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra en Granada, y en especial al Dr. Antonio Delgado, por el invaluable apoyo durante mi tiempo allí. Su enseñanza me mostró que la medición de isótopos estables va mucho más allá de presionar un simple botón.

A mi director de tesis, Dr. Arturo Tripp Valdez, le debo un agradecimiento especial por su constante apoyo y confianza. Su guía inquebrantable, sus valiosos consejos y su orientación meticulosa han sido la columna vertebral de este proyecto. Su compromiso y dedicación han sido una fuente constante de inspiración a lo largo de este viaje académico.

Al Dr. Felipe Galván Magaña, mi co-director, le agradezco profundamente por acogerme en su equipo y por compartir conmigo su vasta experiencia y amor por

los tiburones. Su pasión por la vida marina y su conocimiento han enriquecido enormemente esta investigación, y su apoyo ha sido crucial para su éxito.

Al Dr. Fernando Elorriaga Verplancken, gracias por su infinita paciencia y amabilidad. Su disponibilidad para ayudarme y su disposición para compartir su amplio conocimiento han sido invaluableles. Aprecio profundamente su generosidad y el tiempo que ha dedicado a orientarme.

A mis asesores, Dr. Alberto Sánchez González y Dra. Alejandra Piñón Gimete, les agradezco de corazón por sus constantes observaciones y su inquebrantable motivación. Sus críticas constructivas y asesorías detalladas han sido esenciales para la mejora continua de este trabajo. Su apoyo ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de esta tesis.

A los campos pesqueros y a los pescadores de Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía, les expreso mi más sincero agradecimiento. Su colaboración y compromiso en la obtención de muestras han sido vitales para el avance de esta investigación. Sin su invaluable participación, este estudio no habría sido posible. Su conocimiento y conexión con el mar han aportado una dimensión esencial a este proyecto, y les estoy profundamente agradecida por su generosidad y dedicación.

A mi querido Chenchito, quien llegó a mi vida para enseñarme el amor más puro y desinteresado. Eres mi fiel compañero, siempre a mi lado, tanto en los días soleados como en los momentos más oscuros. Tu presencia constante me ha brindado consuelo y alegría, siendo una fuente inagotable de apoyo y ternura durante todo este viaje.

A Brenda, Marine, Daniela, Mariana, Gabo, Daniel y Miri, les extiendo mi más profundo agradecimiento. Su amistad ha sido un pilar fundamental durante este posgrado. Gracias por estar siempre dispuestos a tenderme una mano cuando más lo necesitaba, por sus críticas constructivas que han mejorado mi trabajo y por

cuidar de Chenchu y de mis cosas cada vez que tuve que viajar. Su apoyo ha sido inquebrantable y su generosidad infinita.

Sin ustedes, este camino no habría sido tan increíblemente gratificante. Me llevo no solo el conocimiento adquirido, sino también una familia incondicional. Han enriquecido mi vida de maneras que nunca imaginé, y por eso, estoy eternamente agradecida. Su compañía, sus risas y su amor han hecho que cada día de este viaje valga la pena. Gracias por ser quienes son y por hacer de este posgrado una experiencia verdaderamente inolvidable.

ÍNDICE

GLOSARIO	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. ANTECEDENTES	19
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. HIPÓTESIS	23
5. OBJETIVOS	23
5.1 OBJETIVO GENERAL	23
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
6. MATERIALES Y MÉTODOS	24
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	24
6.2 TRABAJO DE CAMPO	26
6.3 TRABAJO DE LABORATORIO	27
6.3.1 <i>Procesamiento de vértebras</i>	27
6.3.2 <i>Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno</i>	30
6.4 TRABAJO DE GABINETE	30
6.4.1 <i>Valores isotópicos</i>	30
6.4.2 <i>Análisis de datos</i>	31
6.4.3 <i>Posición trófica</i>	32
6.4.4 <i>Traslape y amplitud del nicho isotópico</i>	33
7. RESULTADOS	34
7.1 RELACIÓN C:N	34
7.2 DIFERENCIAS ISOTÓPICAS ENTRE SITIOS DE ESTUDIO	34
7.3 PUNTA LOBOS	37
7.3.1 <i>Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico</i>	37
7.3.2 <i>Análisis isotópico por sexos</i>	39
7.4 BAHÍA TORTUGAS	44
7.4.1 <i>Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico</i>	44
7.4.2 <i>Análisis isotópico por sexos</i>	45
7.5 SANTA ROSALÍA	48
7.5.1 <i>Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico</i>	48
7.5.2 <i>Análisis isotópico por sexos</i>	50
7.6 POSICIÓN TRÓFICA	53
8. DISCUSIÓN	54
8.1 DIFERENCIAS ISOTÓPICAS ENTRE PUNTA LOBOS, BAHÍA TORTUGAS Y SANTA ROSALÍA	55
8.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y POSIBLES ÁREAS DE ALIMENTACIÓN DE <i>S. ZYGAENA</i> EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR	59

8.3	ANÁLISIS ISOTÓPICO POR ESTADIOS DE MADUREZ	60
8.4	ANÁLISIS ISOTÓPICO POR SEXOS	64
8.5	POSICIÓN TRÓFICA.....	66
9.	CONCLUSIONES	67
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	69

LISTA DE FIGURAS

1Fig. Tiburón martillo liso (<i>S. zygaena</i>). Fuente: Australian National Fish Collection, CSIRO	16
2Fig. Área de estudio. Campamentos pesqueros de Bahía de Tortugas (BT), Punta Lobos (PL) y Santa Rosalía (SR).	26
3Fig. Regresión lineal para la determinación de estadios de <i>S. zygaena</i> en las vértebras analizadas.	28
4Fig. Obtención del tejido vertebral de <i>S. zygaena</i> con el microtaladro	29
5Fig. Zonas de perforación y determinación de estadios de <i>S. zygaena</i> en las vértebras analizadas.	29
6Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en vértebras.	35
7Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Punta Lobos y Santa Rosalía en el estado de Baja California Sur a partir de tejido vertebral	36
8Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.	38
9Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	39
10Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para neonatos de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.	40
11Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	40
12Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.	41
13Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	42
14Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) por sexos para adultos de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.	43

15Fig. Amplitud y traslape isotópico entre adultos por sexos de <i>S. zygaena</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	43
16Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California en vértebras.	44
17Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur.	45
18Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) por sexos para neonatos de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur en vértebras.	46
19Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur.	46
20Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur en vértebras.	47
21Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de <i>S. zygaena</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur.	48
22Fig. 22 Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de <i>S. zygaena</i> en Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.	49
23Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de <i>S. zygaena</i> en Santa Rosalía, Baja California Sur.	50
24Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para neonatos de <i>S. zygaena</i> Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.	51
25Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de <i>S. zygaena</i> en Santa Rosalía, Baja California Sur.	51
26Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de <i>S. zygaena</i> Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.	52
27Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de <i>S. zygaena</i> en Santa Rosalía, Baja California Sur.	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de muestras por grupos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en tejido vertebral. 34

Tabla 2. Valores de $\Delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{13}\text{C}$ en tejido vertebral de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en Baja California Sur. 36

Tabla 3. Valores de $\Delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{13}\text{C}$ en tejido vertebral de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en Baja California Sur. 37

Tabla 4. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Punta Lobos, Baja California Sur. 38

Tabla 5. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Bahía Tortugas, Baja California Sur. 45

Tabla 6. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Santa Rosalía, Baja California Sur. 49

Tabla 7. Posición trófica de *S. zygaena* por estadios en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía calculadas mediante la ecuación de Post (2002). 54

Tabla 8. Posición trófica de *S. zygaena* por sexos y estadios en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía calculadas mediante la paquetería tRophicPosition. 54

GLOSARIO

Amplitud trófica: Variedad de presas que conforman la dieta de una especie (Gerking, 1994).

Depredador especialista: Organismos que presentan un nicho trófico reducido y presentan preferencia por algunos recursos tróficos en partículas (Gerking, 1994).

Depredador generalista: Organismos que presentan un nicho trófico amplio y utilizan una gran variedad de recursos alimenticios (Gerking, 1994).

Discriminación isotópica: Diferencia neta en la abundancia isotópica causada por un proceso variable de los isótopos de algún elemento, lo cual es determinado por actividad biogeoquímica que deriva de procesos termodinámicos y cinéticos relacionados con las diferencias en la masa nuclear (Fry & Sherr, 1984).

Espectrómetro de masas de razones isotópicas: Instrumento analítico de gran precisión que se utiliza para medir la razón absoluta entre dos isótopos y obtener posteriormente la razón isotópica de una muestra relativa a un estándar (δ) (Román-Reyes, 2005).

Factor de enriquecimiento isotópico: Diferencia entre la razón isotópica de un animal y su dieta. Los isótopos más pesados de un elemento se incrementan en abundancia con relación a los isótopos livianos debido a los procesos de discriminación isotópica durante el metabolismo y enrutamiento (Fry & Sherr, 1984).

Hábitos alimenticios: Descripción detallada del alimento que es ingerido recientemente por los organismos y la interacción ecológica entre el depredador y las presa (Harvey & Kitchell, 2000).

Isótopo estable: Es un isótopo no radiactivo que posee gran energía de enlace que no permite que el núcleo sea separado en sus partículas individuales (Criss, 1999).

Isótopo: Átomos del mismo elemento con el mismo número de protones, pero diferente peso atómico establecido por la diferencia de sus neutrones (Curtis, 1986).

Nicho isotópico: Es una representación del nicho ecológico a partir del área definida dentro del espacio δ , donde las coordenadas del $\delta^{13}\text{C}$ representa los componentes ambientales y el $\delta^{15}\text{N}$ representa los componentes tróficos (Newsome *et al.*, 2007).

Nivel/posición trófica/a: Posición en la que se clasifica un determinado organismo dentro de la trama trófica con base en la manera en la que obtiene su alimento y energía (Gerking, 1994).

Ontogenia: Proceso biológico de formación y desarrollo de todo ser vivo, desde que se forma el huevo fecundado hasta que el individuo alcanza su madurez o hasta su muerte.

Relación carbono/nitrógeno (C: N): La cantidad de carbono dividido por la cantidad de nitrógeno presente en una muestra (Rau *et al.*, 1990).

Tasa de recambio isotópica: Periodo en el que el valor del isótopo estable de una presa es incorporado en el tejido del consumidor y este refleja la señal isotópica de un nuevo recurso alimenticio (Carlisle *et al.*, 2015).

Traslapo de nicho isotópico: Uso común de tiempo, espacio o presas para el proceso de alimentación (Wooton, 1990).

$\delta^{13}\text{C}$: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la razón de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de una muestra y la razón $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ del estándar (Pee Dee Belemnita) (Rau *et al.*, 1990).

$\delta^{15}\text{N}$: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la razón $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de una muestra y la razón $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ del respectivo estándar (nitrógeno atmosférico) (Rau *et al.*, 1990).

RESUMEN

Los tiburones, en ciertos ecosistemas marinos desempeñan un rol en la red trófica como depredadores tope, los cuales experimentan cambios notables en su dieta y hábitos alimenticios a lo largo de su ontogenia. Las cornudas, como la prieta (*Sphyrna zygaena*), son vulnerables globalmente y enfrentan presión pesquera en Baja California Sur (BCS), debido a su largo periodo de gestación y maduración sexual tardía. Conocer los cambios tróficos durante su ontogenia es importante para evaluar su papel en la trama trófica y en la estabilidad del ecosistema marino, ya que influyen en la estructura y la función de las comunidades marinas en diversos niveles tróficos. Se analizó la ontogenia alimentaria utilizando razones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en 145 muestras de neonatos, juveniles y adultos, utilizando colágeno vertebral de organismos capturados en campos pesqueros durante los años de 2014-2021 en Bahía Tortugas, Punta Lobos y Santa Rosalía (BCS). Los promedios de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ fueron $-14.2\pm 0.6\text{‰}$ y $15.35\pm 1.8\text{‰}$ respectivamente, indicando variaciones en la dieta y posición trófica entre regiones. se observó una media sobreposición del nicho isotópico (48%) en la costa occidental de Baja California Sur y baja traslape (<30%) con el Golfo de California. Juveniles y neonatos mostraron dietas diferentes en los adultos en Punta Lobos ($p < 0.05$), machos y hembras de los tres sitios compartieron un nicho isotópico similar, con una amplitud de nicho de $2.9 - 4\text{‰}^2$. Las posiciones tróficas varían entre los sitios, siendo 3.63 en Punta Lobos, 4.0 en Bahía Tortugas y 3.9 en Santa Rosalía, reflejando diferencias en sus roles ecológicos. Estos hallazgos subrayan la importancia de conocer la ecología trófica y el comportamiento de *S. zygaena* para su conservación en un contexto de vulnerabilidad.

Palabras clave: Isótopos estables, tiburón martillo, vértebras

ABSTRACT

Sharks serve as apex predators in various marine ecosystems, playing a critical role in the trophic web. Throughout their ontogeny, they undergo significant changes in their diet and feeding habits. The smooth hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*), currently vulnerable globally, faces substantial fishing pressure in Baja California Sur (BCS) due to its long gestation period and delayed sexual maturity. Understanding the trophic changes during their ontogeny is essential to evaluate their role in the food web and the stability of marine ecosystems. These predators influence the structure and function of marine communities across different trophic levels.

This study analyzed the ontogenetic dietary shifts using stable isotope ratios of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) in 145 samples of neonates, juveniles, and adults. The samples were obtained from the vertebral collagen of individuals captured in fishing grounds from 2014 to 2021 in Bahía Tortugas, Punta Lobos, and Santa Rosalía (BCS). The average values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were $14.2\pm 0.6\text{‰}$ and $15.35\pm 1.8\text{‰}$, respectively, indicating dietary and trophic position variations among regions. A moderate overlap in isotopic niche (48%) was observed along the western coast of Baja California Sur, with a low overlap (<30%) with the Gulf of California. Juveniles and neonates exhibited different diets compared to adults in Punta Lobos ($p < 0.05$). Males and females across the three sites shared a similar isotopic niche, with a niche breadth ranging from 2.9 to 4‰^2 . Trophic positions varied among sites, being 3.63 in Punta Lobos, 4.0 in Bahía Tortugas, and 3.9 in Santa Rosalía, reflecting differences in their ecological roles. These findings highlight the importance of understanding the trophic ecology and behavior of *S. zygaena* for its conservation, especially in the context of its vulnerability. This translation maintains a scientific tone, focusing on the study's methods, findings, and ecological significance for *Sphyrna zygaena* in Baja California Sur.

Keywords: Stable isotopes, hammerhead shark, vertebrae

1. INTRODUCCIÓN

Los tiburones, como peces cartilagosos, ocupan diversas posiciones en la cadena trófica de los ecosistemas marinos. Aunque muchas especies de tiburones actúan como depredadores tope y desempeñan un papel crucial en el control de las densidades de presas pelágicas y bentónicas, esta no es una característica universal para todos los tiburones. Su influencia en el equilibrio ecológico varía ampliamente entre especies y hábitats (Ellis et al., 1996; Cortés, 1999; Baum & Worm, 2009; Dambacher et al., 2010). Los tiburones que sí funcionan como depredadores tope son vitales para mantener la salud de los océanos al regular las poblaciones de otras especies marinas (Griffin et al., 2008).

Por lo tanto, el análisis de las interacciones tróficas adquiere relevancia en los ecosistemas marinos, especialmente en aquellos casos en los que diferentes especies coexisten y se relacionan en términos ecológicos (Heithaus *et al.*, 2010). Conocer a fondo la estructura de los hábitos alimenticios y la dieta de un organismo provee información para comprender las relaciones tróficas y la distribución de los flujos de energía dentro del ecosistema marino. Esta información provee sustento para comprender la historia de vida, su rol en el ecosistema y el impacto de la depredación de una especie en particular (Cortés, 1999).

La familia Sphyrnidae, es una de las más vulnerables debido a su crecimiento lento, madurez tardía, preferencias de hábitat, comportamientos específicos (como la formación de grandes grupos, la fidelidad a lugares y la residencia estacional), morfología y susceptibilidad a las capturas accidentales (Gallagher *et al.*, 2014; Gallagher y Klimley, 2018). La mayoría de estas especies se consideran típicamente móviles, dado que sus desplazamientos suelen ser previsibles en lugar de aleatorios ya que los individuos se mueven entre hábitats de difícil acceso y de gran protección, como los manglares y costas (Harrison *et al.*, 2018; Lascelles *et al.*, 2014; Queiroz *et al.*, 2019).

Entre las especies de tiburón martillo, la cornuda prieta (*Sphyrna zygaena*) es una especie que habita aguas costeras y oceánicas, encontrándola en todas las aguas tropicales entre 20 a 200 m de profundidad (Weigmann, 2016); sin embargo, tiene una tendencia a habitar aguas templadas, por lo que realiza migraciones a latitudes más frías durante el verano (Springer y Gold, 1989). Se distribuye en aguas adyacentes al continente americano desde California hasta la costa de Chile en el Océano Pacífico Oriental (Springer y Gold, 1989; Brito, 2004; Compagno *et al.*, 2005).

La especie *S. zygaena* se caracteriza por presentar tres lóbulos en su región frontal (Fig. 1), alcanzando una talla máxima de entre los 370-400 cm de longitud total (LT) (Ebert *et al.* 2013, Weigmann, 2016).



1Fig. 1 Tiburón martillo liso (*S. zygaena*). Fuente: Australian National Fish Collection, CSIRO.

Su reproducción es vivípara con camadas que van de los 20 hasta 50 crías, presentando un periodo de gestación de hasta 11 meses, con una periodicidad reproductiva desconocida y un tamaño al nacer de 49-63 cm LT (Smale 1991, Castro y Mejuto 1995, Doño 2008, Francis 2010, Ebert *et al.*, 2013, Clarke *et al.*,

2015, Rosa et al. 2017, Gallagher y Klimley 2018).

La talla de madurez sexual registrada para el Golfo de California (GC) es de 193 cm de longitud total en machos y de 200 cm para las hembras (Nava y Márquez-Farías, 2014). Por otra parte, la edad de madurez para las hembras se estima en 15 años y las edades máximas observadas son de 24 años para las hembras y 25 años para los machos (Rosa *et al.*, 2017).

La información existente sobre la biología, ecología y pesquería de *S. zygaena* hasta la fecha es bastante limitada (Gallagher y Klimley, 2018; Santos y Coelho, 2019), dando lugar a una gestión inadecuada de esta especie. Por lo tanto, estos aspectos son fundamentales para su evaluación, ordenación y conservación (Rosa *et al.*, 2017; Santos y Coelho, 2019).

La trayectoria de movimiento y su posición dentro de la trama trófica de la cornuda prieta es necesaria para permitir la identificación de los diferentes ecosistemas utilizados a lo largo de las etapas de vida y para establecer una gestión temporal y espacial pertinente para interpretar su historia de vida, su función en el ecosistema y el impacto de la alimentación de una especie en particular (Cortés, 1999).

Los trazadores bioquímicos, como los isótopos estables se han convertido en una importante herramienta para hacer inferencias sobre la fisiología animal y vegetal, migración, composición de dieta, cambios de nicho y estructura trófica (Peterson & Fry, 1987; Hobson, 1999; Phillips, 2001; Post, 2002; Layman *et al.*, 2005).

Los estudios de isótopos estables ofrecen una solución retrospectiva y rápida con ventajas con respecto a las técnicas convencionales, ya que, proporcionan la representación integral de la dieta asimilada o de los procesos metabólicos en el corto o largo plazo, lo cual depende de las tasas de ingestión, acumulación,

recambio del tejido asimilado y del crecimiento (Fry & Arnold, 1982; Tieszen *et al.*, 1983).

La composición isotópica de un animal refleja principalmente su dieta en el ecosistema local donde se consumieron las presas y los procesos fisiológicos que pueden provocar distintos patrones de fraccionamiento isotópico (Shipley & Matich, 2020).

Los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) han emergido como herramientas importantes en el estudio ecológico de los elasmobranquios, proporcionando perspectivas sobre su ecología trófica y dinámica de la dieta (Hussey *et al.*, 2012). Estos isótopos se encuentran presentes en todos los tejidos que actúan como biomarcadores reflejando la fuente de alimento de los elasmobranquios y su posición dentro de la trama trófica; los tejidos más empleados son el músculo, cartílago, vértebras, piel y la sangre (Martínez del Río *et al.*, 2009; Hussey *et al.*, 2012; Carleton & Martínez del Río, 2005; Logan & Lutcavage, 2010). La combinación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ permite discernir entre fuentes de carbono basal y niveles tróficos, revelando patrones de migración, cambios en la dieta y la influencia de factores ambientales en la ecología de estas especies (Micheli *et al.*, 2020). Por lo tanto, el empleo de estos isótopos estables se ha convertido en una herramienta esencial para comprender la biología y de esta manera apoyar en la conservación de los elasmobranquios en los ecosistemas marinos actuales (Nakano & Sano, 2021).

Los cambios ontogénicos en el uso de hábitat y ecología trófica reflejan un cambio en las prioridades de la historia de vida de un juvenil para su estrategia principal la cual es maximizar el crecimiento, el aumento de talla y la supervivencia; mientras que la prioridad para un organismo adulto se concentra principalmente en el desarrollo de las gónadas y la reproducción (Carlisle *et al.*, 2015). Durante el desarrollo ontogénico, los hábitats que las especies utilizan pueden variar considerablemente, desde las áreas destinadas a la crianza, típicamente asociadas

a zonas costeras como estuarios y lagunas costeras, hasta hábitats más pelágicos, principalmente asociados a organismos adultos (Beck *et al.*, 2001).

El estudio de la ontogenia en especies con hábitos pelágicos presenta desafíos significativos. Estas especies, debido a sus tendencias migratorias y la inaccesibilidad de sus hábitats de residencia, resultan difíciles de monitorear a lo largo de sus vidas. Esta complejidad ha contribuido a una notable falta de conocimiento sobre su historia de vida.

2. ANTECEDENTES

Loor-Andrade *et al.*, (2015)., delimitaron los patrones poblacionales e individuales de la alimentación de dos tiburones martillo (*S. lewini* y *S. zygaena*) en la región continental de Ecuador, mediante el análisis del tejido muscular y vertebral de esta dos especies, observando que no hubo diferencias significativas en los valores isotópicos de las muestras musculares entre sexos, pero sí entre las dos especies evaluadas; además la amplitud del nicho trófico de las dos especies fue similar y de bajo traslapo. No obstante, encontraron diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en las vértebras de *S. zygaena* presentando valores más bajos, demostrando así que estas dos especies de tiburón martillo a pesar de habitar en la misma zona, no comparten el mismo nicho trófico, debido al bajo traslapo entre individuos de las dos especies. Asimismo, se observó que debido a las diferentes estrategias individuales de forrajeo, no comparten los mismos recursos o hábitat de alimentación.

En esta línea de investigación Estupiñán-Montaña *et al.*, (2021) reportaron cambios tróficos durante la ontogenia de *S. lewini* en la Isla Malpelo, Colombia. Observaron que esta especie ocupa un nicho isotópico muy amplio, debido a que su dieta se encuentra conformada por presas de diferentes niveles tróficos, las cuales habitan tanto en zonas tanto costeras como oceánicas. Asimismo, denotaron

que los grupos de edad más jóvenes (0-2 años) de *S. lewini* se alimentan de presas de hábitos más oceánicos; mientras que para individuos entre 2-4 años se observó un cambio al consumir presas más costeras, manteniéndose con esa tendencia los individuos de mayor edad (>4 años). El tiburón martillo *S. lewini* muestra una migración, en la que los juveniles se trasladan de zonas más costeras a oceánicas y en su periodo de adultez regresan a hábitats costeros, lo que podría estar relacionado al uso de estas áreas como zonas de alimentación y/o crianza.

Cerutti *et al.*, (2022), evaluaron los cambios ontogénicos de *S. lewini* en la Reserva Marina de Islas Galápagos, Ecuador, analizando las estrategias de alimentación y los cambios ontogénicos mediante el análisis de la composición isotópica en diferentes etapas de madurez. Estos autores evidenciaron cambios durante su ontogenia y en el uso de recursos para los organismos subadultos y adultos, pero no para las etapas adultas y juveniles. También encontraron enriquecidas las señales de $\delta^{13}\text{C}$ para los juveniles en contraste con los subadultos, lo que sugiere una combinación del aporte materno y el uso de recursos costeros alrededor del Archipiélago de las Galápagos.

Son escasos los estudios para *S. zygaena* especialmente los relacionados a su alimentación y uso del hábitat en las costas mexicanas. Se ha descrito su dieta en aguas adyacentes al estado de Baja California Sur, la cual se compone principalmente del calamar de profundidad (*Ancistrocheirus lesueurii*), el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y peces del género *Synodus* spp. en las zonas de Punta Lobos, así como en Bahía Tortugas. Las muestras analizadas por Solís-Heredia (2022), utilizando el análisis de isótopos estables en músculo de la cornuda prieta en Bahía Tortugas, Baja California Sur, presentaron valores promedio de $-16.81 \pm 0.64 \text{ ‰}$ y $17.65 \pm 1.18 \text{ ‰}$ para el $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente, asimismo, para la zona de Punta Lobos se obtuvieron valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$: $-16.42 \pm 0.58 \text{ ‰}$ y $\delta^{15}\text{N}$: $18.16 \pm 1.91 \text{ ‰}$. El análisis del traslape y amplitud de los nichos isotópicos de la cornuda prieta (*S. zygaena*) en Bahía Tortugas demostró que ambos sexos presentaron un nicho isotópico similar. Sin embargo, el análisis basado en los

estadios de madurez mostró que, en la zona de Punta Lobos, los adultos tienen un nicho isotópico más amplio en comparación a los juveniles. También se determinó que *S. zygaena* es un depredador terciario y generalista.

Vázquez-Liñero (2022) evaluó la dieta de *S. zygaena* en Santa Rosalía Baja California Sur, en, donde registró como presas de mayor importancia de los calamares gigante (*Dosidicus gigas*) y de profundidad (*Ancistrocheirus lesueurii*) y la macarela (*Scomber japonicus*) y la anchoveta (*Engraulis mordax*). Por otro lado, el autor también reportó los valores isotópicos promedio para el $\delta^{15}\text{N}$ de $21.16 \pm 0.56\text{‰}$ y para el $\delta^{13}\text{C}$ de $-15.76 \pm 0.39\text{‰}$, estableciendo que la cornuda prieta para esta zona de estudio se encontró en un nivel alto de la trama trófica y se clasificó como un depredador terciario, obteniendo un valor de 4.8 en su posición trófica.

Por otro lado, Morán-Villatoro (2018) evaluó la edad y crecimiento para la cornuda prieta en la Costa Occidental de Baja California Sur en Punta Lobos y Bahía Tortugas, registrando tallas que iban desde los 66 a 292 cm de longitud total. El autor también denotó que *S. zygaena* mostraba un patrón de crecimiento que sugiere que la formación de sus anillos de crecimiento es de manera anual. Estimó edades de los 0 a los 19 años en hembras y de 0 a 16 en machos.

Félix-López *et al.*, (2019) revelaron en su estudio que la diversidad genética de *S. zygaena* variaba en diferentes localidades del Pacífico mexicano, detectando altos niveles de diversidad genética mitocondrial en esta zona para la cornuda prieta, así como una divergencia geográfica entre distintos haplogrupos en la misma región. Los autores también observaron una posible expansión demográfica de *S. zygaena* en el área del Pacífico Mexicano Norte (NMP), evidenciada por una diversidad de haplotipos en baja frecuencia. Aunque se observó una recuperación de la diversidad genética, la estructura genética se describió como débil, posiblemente debido a la filopatría de las hembras y a la movilidad de los machos entre zonas. Sin embargo, la especie sigue siendo vulnerable debido a la filopatría de las hembras, que los expone a la captura constante en ciertas áreas, limitando

su expansión. Los sitios con mayor concentración de individuos adultos mostraron diferencias significativas, posiblemente indicativas de áreas de crianza. El trabajo enfatizó la importancia de tratar con cuidado las diferencias ontogénicas a nivel genético, especialmente en los juveniles de hembras adultas.

3. JUSTIFICACIÓN

La familia Sphyrnidae presenta una gran vulnerabilidad pesquera, ya que, a consecuencia de la pesca artesanal, ribereña o industrial, las cuales han disminuido su población en aguas adyacentes a la Península de Baja California. En este sentido, la eliminación de estas especies del ecosistema marino puede tener efectos negativos en la red trófica. El estudio de los patrones de alimentación intraespecíficos proporciona un enfoque más profundo en la complejidad de las interacciones tróficas; y puede ayudar a comprender desde otra perspectiva la partición de recursos. *Sphyrna zygaena* es una especie de cornuda cuyos estudios biológicos realizados son muy escasos a nivel mundial. Además de su inclusión en 2014 al Apéndice II del CITES, resalta la necesidad de realizar investigaciones exhaustivas sobre su biología y ecología. Actualmente no hay estudios sobre los cambios tróficos durante la ontogenia de *S. zygaena* en aguas de la Península de Baja California, por lo que este estudio proporcionará información relevante y actualizada para conocer estos cambios durante su desarrollo y el uso del hábitat en relación con la alimentación de esta especie. A nivel nacional, la pesca de tiburón es una actividad de importancia económica y alimentaria. Debido a su bajo costo, la carne de tiburón es una fuente accesible de alimento, lo que subraya la relevancia de comprender la dinámica trófica de especies como *S. zygaena* para así garantizar la sostenibilidad tanto de la pesquería como del ecosistema marino.

4. HIPÓTESIS

Sphyrna zygaena presenta variaciones de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en sus anillos de crecimiento, evidenciando cambios en sus patrones de alimentación e inherente nicho isotópico con respecto a los sitios de muestreo (Golfo de California - Costa occidental de Baja California Sur), así como en función de su ontogenia y por sexos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Determinar los cambios tróficos durante la ontogenia de la cornuda prieta *Sphyrna zygaena*, en ambas costas de Baja California Sur mediante el análisis de la composición isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en vértebras.

5.2 Objetivos Específicos

- Determinar los cambios en la alimentación y la posición trófica de *S. zygaena* durante la ontogenia por sexos, con base en valores de $\delta^{15}\text{N}$.
- Determinar cambios en el hábitat de alimentación de *S. zygaena* durante la ontogenia y por sexos, con base en valores de $\delta^{13}\text{C}$.
- Comparar los nichos isotópicos entre grupos (estadio y sexo) de *S. zygaena*, obtenidos por los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

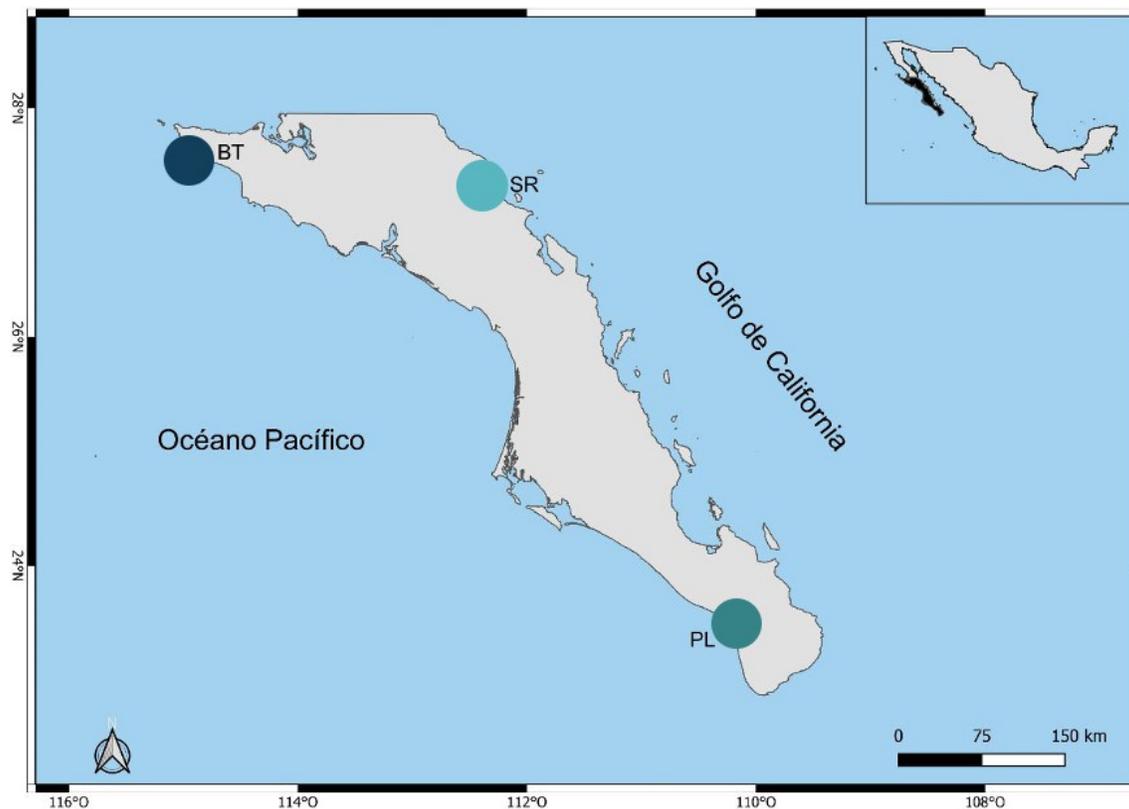
6.1 Área de Estudio

Bahía Tortugas (27°41' y 27° 47' latitud Norte y 114°39' y 115°04' longitud Oeste), se encuentra en la parte norte de la Costa Occidental de la Península de Baja California en el municipio de Mulegé, ubicándolo entre Punta Eugenia al norte y Bahía Asunción al sur. Cuenta con una extensión de aproximadamente 20.5 km², una profundidad de 11m en el centro y 19m hacia la boca (Fig. 2). Presenta un clima cálido-seco durante el verano y parte del otoño, mientras que en el invierno y primavera prevalecen condiciones más frescas y húmedas. La costa circundante de la bahía es compleja, debido a que cuenta en su mayoría con playas rocosas y las de características arenosas tiene origen cuarzoso y de fondos con rocas ígneas. La bahía cuenta con un conjunto de pequeñas islas que amortiguan el oleaje y las corrientes provenientes del noroeste; se observan cambios estacionales en el régimen térmico de la bahía, de 12.7 °C en mayo a 19 °C en agosto, en dicho mes, las temperaturas más frías provienen del sureste, mientras que en noviembre del noroeste (Guzmán Del Próo *et al.*, 1991; Hernández- Rivas *et al.*, 2000, Bernal-Pérez, 2017).

La zona de Bahía Tortugas está fuertemente influenciada por la corriente de California la cual traslada aguas templadas, con baja salinidad y abundantes cantidades de oxígeno en la temporada fría (invierno y primavera). También tiene influencia de la corriente Norecuatorial, la cual acarrea aguas de origen tropical en la parte superficial, que se caracterizan por tener alta salinidad y temperatura, con niveles reducidos de oxígeno disuelto durante los meses de verano y otoño (Robles-Gil; 1985, Durazo, 2015; Curiel-Godoy, 2017).

Punta Lobos, se encuentra situada en la costa occidental de la península de Baja California con coordenadas de 23° 24 '27" latitud Norte y 110° 13 '58" longitud Oeste (Fig.2). Esta localidad presenta temperaturas medias anuales de 20-22° C. La plataforma continental en el área se caracteriza por ser reducida y de relieve accidentado (Schmitter-Soto, 1992). Esta zona se caracteriza por un impacto biológico significativo en las poblaciones debido a la alta productividad por el afloramiento de plancton (Álvarez-Arellano, 1987; Franks, 1992; Torres-Orozco, 1993).

Santa Rosalía, ubicada en la costa occidental del Golfo de California es la cabecera del municipio de Mulegé en Baja California Sur, México. Con coordenadas de 27°20'20" N y 112° 16'01" O. Se caracteriza por su clima desértico y cálido (Smith *et al.*, 2019). Este sitio cuenta con una extensión de 1070 km y un ancho de 150 km (Bizarro *et al.*, 2007). Esta zona pertenece a la región desértica peninsular con escasas precipitaciones, concentradas principalmente en los meses de invierno (García y Martínez, 2020); mientras que, la plataforma continental en general es rocosa y estrecha (Santamaría-Del Ángel *et al.*, 1995). La zona se dividió en dos puntos de muestreo: San Bruno y La Dársena (muelle de Santa Rosalía), con base en la distribución de las cooperativas pesqueras que extraen el recurso del tiburón (*Sphyrna lewini*, *Alopias pelagicus*, *Mustelus henlei* y *Rhizoprionodon longurio* en el lugar (Fig. 2).



2Fig. Área de estudio. Campamentos pesqueros de Bahía de Tortugas (BT), Punta Lobos (PL) y Santa Rosalía (SR).

6.2 Trabajo de campo

Se obtuvieron un total de 62 organismos de *S. zygaena* de ambos sexos, los cuales fueron recolectados de octubre de 2023 a octubre de 2021 en los campos pesqueros de los sitios antes mencionados. En Bahía de Tortugas los pescadores utilizan redes de enmalle con una luz de malla de 5 a 8 pulgadas. Para las muestras recolectadas en Punta Lobos se utilizó el arte de pesca de palangre para la obtención de las muestras; este método de captura artesanal consiste en lanzar una línea de anzuelos al mar con superficie de 1 a 3 km de largo y de anzuelos de 4 a 6 cm. Es importante destacar que, durante el periodo de veda para el área del Pacífico mexicano, no se capturo ningún ejemplar, debido a que este periodo abarca desde el 1ero de mayo hasta el 31 de julio. Por último, los ejemplares de Santa Rosalía se obtuvieron mediante redes de enmalle 10-15 cm.

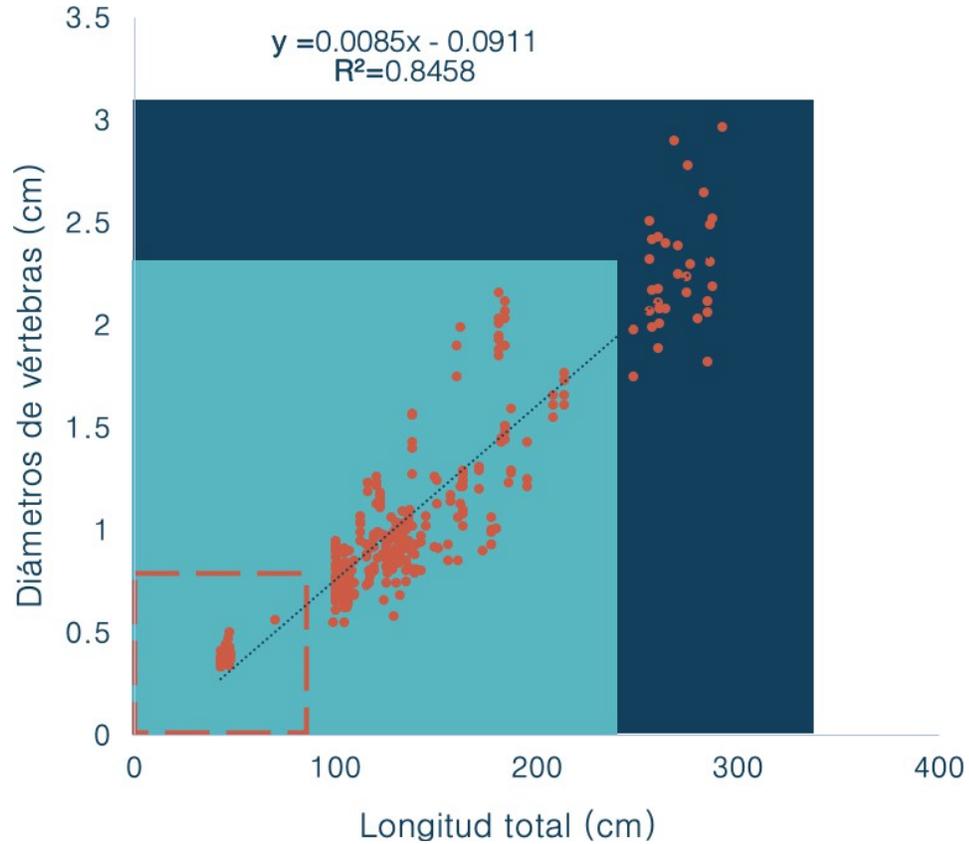
Una vez que los organismos se encontraban en los campos pesqueros las vértebras se extrajeron a la altura de la primera aleta dorsal y posteriormente se almacenaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se mantuvieron congeladas hasta su posterior análisis. Se registró fecha, número de organismo correspondiente, nombre de la especie, talla, sexo y lugar de muestreo, donde más adelante se preservarán congeladas.

6.3 Trabajo de laboratorio

6.3.1 Procesamiento de vértebras

Las muestras fueron descongeladas y limpiadas de forma manual removiendo el arco neural con ayuda de agujas de disección, pinzas y bisturí, así como todo el tejido blando que rodea a la estructura hasta dejar que el cuerpo de la vértebra quede completamente limpio y seco. Se eligieron las vértebras de mayor diámetro, las cuales se perforaron con un micro taladro manual Cameron con brocas de diámetros de 0.5 o 1 mm.

Se procedió a medir el diámetro de las vértebras y se derivó una ecuación que vincula el radio de estas con la longitud total del organismo, mediante un análisis de regresión lineal. Utilizando esa ecuación junto con la talla de madurez propuesta por Nava y Márquez-Farías en 2014, se determinaron tres estadios ontogénicos para cada una de las vértebras evaluadas (Fig.3).



3Fig. Regresión lineal para la determinación de estadios de *S. zygaena* en las vértebras analizadas.

Se eligieron las vértebras de mayor diámetro que se perforaron con un microtaldro manual Cameron con brocas de 0.5 o 1mm. Con ello se obtuvieron muestras correspondientes a distintas etapas de desarrollo de los tiburones mediante perforaciones selectivas. Para el área correspondiente a los neonatos, se perforó el primer anillo de crecimiento visible. Para los juveniles, la muestra se obtuvo perforando en el anillo de crecimiento anterior a los 7.75mm de radio para los machos y 8mm para las hembras. En cuanto a los tiburones adultos, la muestra que correspondía al estadio adulto se extrajo perforando el último anillo de crecimiento ubicado en la periferia de la vértebra. (Fig. 4)



4Fig. Obtención del tejido vertebral de *S. zygaena* con el microtaladro.

Por cada uno de los organismos se obtuvieron de dos a tres muestras en polvo, esto dependiendo del estadio de madurez en el que se haya encontrado que fueron guardadas en viales debidamente etiquetados. (Fig.5).



5Fig. Zonas de perforación y determinación de estadios de *S. zygaena* en las vértebras analizadas.

6.3.2 Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno

Se pesaron 0.6 mg de cada una de las muestras que fueron empacados en cápsulas de plata de 3.3 x 4mm, añadiendo así una cantidad de 0.6 mg del polvo contenido en cada vial. Para ello se utilizó una balanza analítica con una precisión de ± 0.01 mg. Posteriormente, las cápsulas fueron expuestas a un baño de vapor ácido. Este procedimiento consistió en exponer el polvo de las cápsulas a vapor de HCl en un desecador de vidrio cerrado por 24 horas (Newsome *et al.*, 2007). Esta acción se realizó con el fin de degradar los carbonatos inorgánicos presentes en la muestra y así poder obtener un valor más adecuado del $\delta^{13}\text{C}$. Una vez finalizado este procedimiento las muestras fueron analizadas en un espectrómetro de masas de razones isotópicas (DELTA plus XL, Thermo- Finnagen) con error de 0.1 ‰, esto con el propósito de poder cuantificar las razones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

6.4 Trabajo de gabinete

6.4.1 Valores isotópicos

Para cuantificar la proporción de los isótopos estables de un elemento, se empleó la notación delta (δ), la cual indica las discrepancias relativas de las relaciones isotópicas entre los elementos presentes en las muestras y los estándares empleados para medir el elemento en consideración. Esta notación se define en partes por mil (‰) según lo establecido por DeNiro & Epstein (1981), donde:

$$\delta^h X = \left(\frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} - 1 \right) \cdot 1000$$

Donde:

X es el elemento de interés

h es el número de masa más alto

R *muestra* en la razón del elemento de mayor masa entre el de menor masa ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). Los **R** *estándar* empleados son el nitrógeno atmosférico (N_2) para el $\delta^{15}\text{N}$ y la calcita fósil Pee Dee Belemnita (PDB) para el $\delta^{13}\text{C}$ o el valor isotópico del nitrógeno atmosférico en el caso del $\delta^{15}\text{N}$.

6.4.2 Análisis de datos

Para identificar los cambios en la alimentación, así como en el hábitat trófico de *S. zygaena* a lo largo de su desarrollo ontogénico, se utilizó un enfoque de análisis de varianza no paramétrico (empleando Kruskal-Wallis y la prueba de U de Mann-Whitney), según la distribución de los datos.

Ya que, en este estudio, ninguna prueba de normalidad se cumplió y se utilizó el estadístico de Kruskal-Wallis para el análisis para la determinación de las diferencias entre los grupos pertenecientes a la ontogenia y a los sitios de estudio, mientras que para los grupos pareados como las evaluaciones por sexos se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney.

6.4.3 Posición trófica

Con el objetivo de identificar las posibles variaciones en la posición trófica relativa de *S. zygaena* durante su desarrollo ontogénico en los diferentes sitios de estudio, así como por sexos, se empleó la ecuación elaborada por Post (2002). Para reducir los efectos en la variación de la posición trófica, se delimitaron diferentes especies que comparten el mismo hábitat que *S. zygaena* como organismos base. Para el caso de Bahía Tortugas, se optó por utilizar el valor de la langostilla (*Grimothea planipes*) (Martínez-Ayala, 2018). Con respecto al valor de la base para Punta Lobos, que se utilizó como organismo base fue la materia orgánica particulada (MOP) de White *et al.*, (2013) y para el sitio de Santa Rosalía fue utilizado el valor del krill (*Nyctiphanes simplex*) de Busquets-Vass *et al.*, (2017).

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

Donde:

λ = posición trófica del organismo base, MOP (1), *G. planipes* (2) y *N. simplex* (2).

$\delta^{15}N_{depredador}$ es el valor de la señal isotópica del depredado

$\delta^{15}N_{línea\ base}$ del organismo base correspondiente; para Bahía Tortugas $\delta^{15}N_{G. planipes} = 8.3 \pm 0.07\text{‰}$ (Martínez-Ayala, 2018), para Punta Lobos $\delta^{15}N_{MOP} = 9.3 \pm 1.03 \text{‰}$ (White *et al.*, 2013) y para Santa Rosalía, $\delta^{15}N_{N. simplex} = 10.35$

Δ_n es el valor del factor de enriquecimiento; 1.95‰ para el tejido vertebral y 2.44‰ para el tejido muscular (Hussey *et al.*, 2012). Δ_n es el valor de factor de enriquecimiento determinado en diversos estudios en ambientes marinos.

Se empleó el paquete de `tRophicPosition` dentro del software de programación R: Este paquete integra un modelo bayesiano diseñado para calcular la posición trófica utilizando nuestros valores obtenidos de isótopos estables, con una o múltiples fuentes tróficas, a diferencia de la ecuación propuesta por Post (2002). Para garantizar una adecuada adaptación del modelo, se seleccionaron los mismos organismo base utilizados previamente, así como los mismos factores de enriquecimiento.

6.4.4 Traslape y amplitud del nicho isotópico

Para evaluar el traslape de nicho isotópico por sitios, sexo y madurez sexual, se utilizó el enfoque de las elipses bayesianas SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R). Este método determina el nicho en un espacio definido por los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ utilizando mediciones basadas en elipses, las cuales no se ven afectadas por el tamaño de la muestra, a diferencia de los enfoques poligonales convencionales. La elipse representativa del conjunto de datos bivariados se calcula a través de una matriz de covarianza, que define su forma y área, mientras que la media de los datos determina su posición (Jackson *et al.*, 2011).

Además de la determinación de los elipses, este método proporciona una medida corregida del área de la elipse. El grado de traslape entre las elipses se interpreta considerando los valores cercanos a 100% como un traslape alto, y valores cercanos a cero como traslape bajo, a su vez Langton (1982), propuso que un traslape es bajo si se encuentra entre los valores de 0-29%, un traslape medio si va de 30-60% y alto si es mayor al 60%.

En contraste, Bearhop *et al.*, (2004) y Newsome *et al.*, (2007) postularon que la amplitud de la dieta puede evaluarse mediante la dispersión de los valores de $\delta^{15}\text{N}$, donde si la varianza de estos valores es inferior a 1, denotan una especialización en la dieta por parte de los consumidores, mientras que valores superiores a 1 indican una generalización en sus hábitos alimentarios (Jaeger *et al.*, 2009).

7. RESULTADOS

De los 62 organismos analizados de *S. zygaena* (20 de Punta Lobos, 21 de Bahía Tortugas y 21 de Santa Rosalía), se obtuvieron 145 muestras de colágeno vertebral, extrayendo este tejido en diversas partes de cada vértebra que correspondió a los estadios: neonatos (primer anillo visible de la vértebra partiendo del foco), juveniles y adultos (periferia de la vértebra).

Tabla 1. Número de muestras por grupos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en tejido vertebral.

Localidad	Sexo		Estadio		
	Hembras	Machos	Neonatos	Juveniles	Adultos
Punta Lobos	16	4	20	20	19
Bahía Tortugas	10	11	21	21	2
Santa Rosalía	11	10	21	21	0
			145		

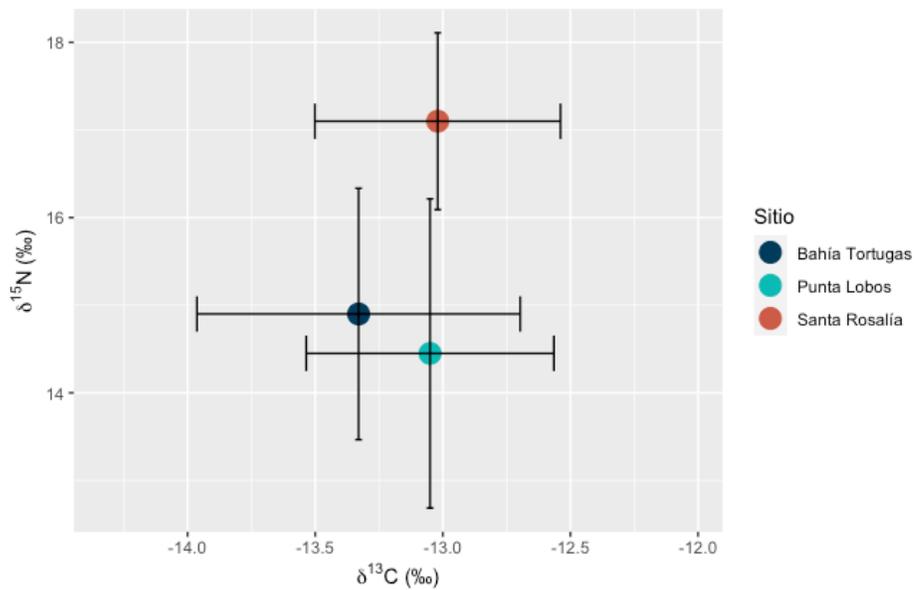
7.1 Relación C:N

Los valores promedio de la relación C:N fueron de 3.6 ± 0.14 . Estos valores típicamente asociados con las proteínas puras asimiladas, (McConnauey & McRoy, 1979). Por lo tanto, se puede inferir que las muestras analizadas en este estudio exhiben un perfil biogeoquímico compatible con la asimilación de proteínas puras, lo que sugiere una salud metabólica adecuada en las poblaciones de *S. zygaena*.

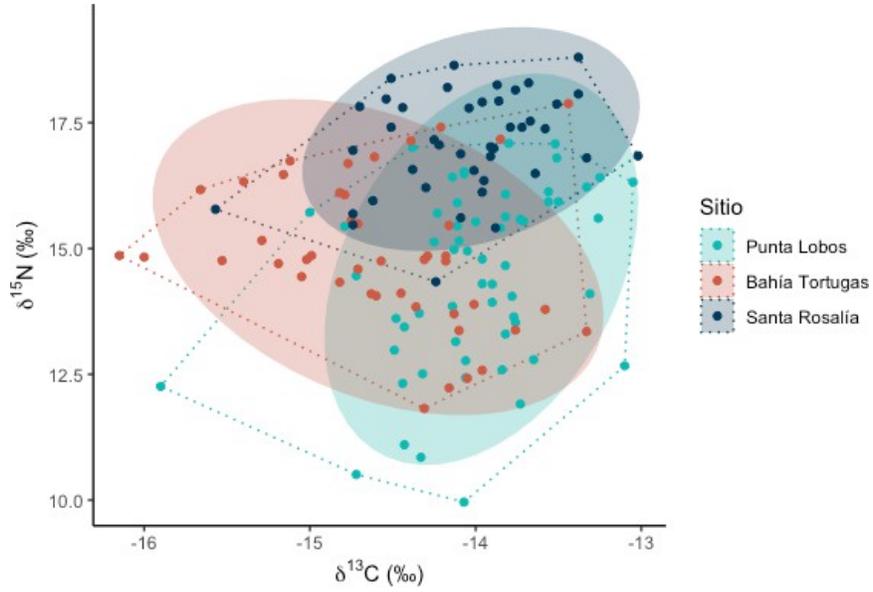
7.2 Diferencias isotópicas entre sitios de estudio

En función de los valores promedio obtenidos del tejido vertebral de *S. zygaena*, se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ ($H= 59.247$ $p= <0.001$) para Santa Rosalía con respecto a los sitios de la costa occidental de la

península. A su vez, para el $\delta^{13}\text{C}$ se presentó una marcada diferencia entre Bahía Tortugas ($H= 26.966$; $p= <0.001$) y las demás zonas. La similitud isotópica entre los dos sitios de la costa occidental de Baja California Sur es debido a que en ambas localidades se presentó una sobreposición de su nicho isotópico de un 48%. Mientras que, con relación a la localidad de Santa Rosalía, la cual, está ubicada el Golfo de California, se denotaron valores de sobreposición del 30% y del 25%.



6Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en vértebras.



7Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Punta Lobos y Santa Rosalía en el estado de Baja California Sur a partir de tejido vertebral.

Tabla 2. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejido vertebral de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en Baja California Sur.

Sitio	Área total (‰^2)	Área corregida de la elipse (‰^2)
Punta Lobos	13.47	2.57
Bahía Tortugas	10.45	2.83
Santa Rosalía	6.54	1.48

Tabla 3. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejido vertebral de *S. zygaena* en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía en Baja California Sur.

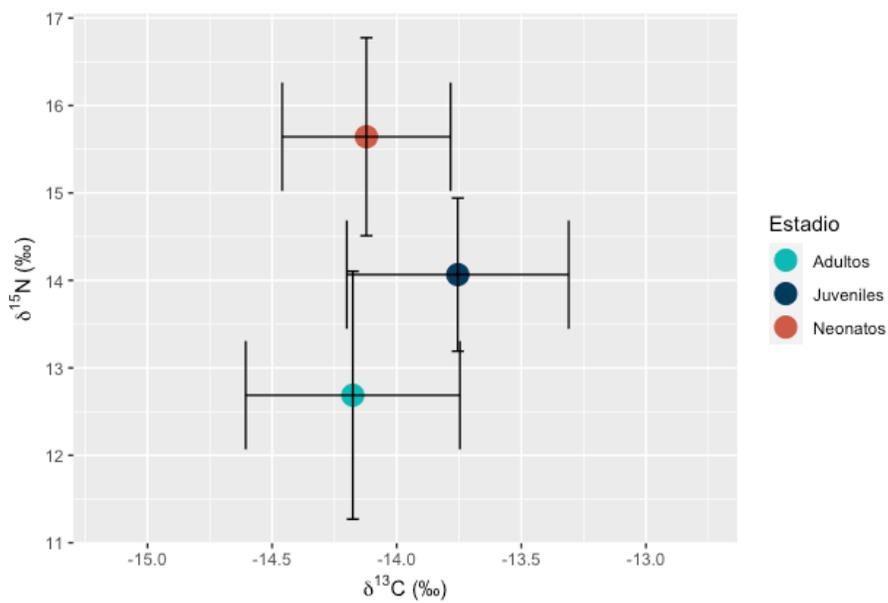
Sitio	$\delta^{15}\text{N}$ (Air-N ²)			$\delta^{13}\text{C}$ (V-PBD)		
	Máy.	Min.	Prom.	Máy.	Min.	Prom.
Punta Lobos	17.09	9.96	14.45	-14.00	-15.90	-13.05
Bahía Tortugas	17.88	11.82	14.90	-14.58	-16.15	-13.33
Santa Rosalía	18.80	14.34	17.10	-14.06	-15.57	-13.02

7.3 Punta Lobos

7.3.1 Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico

Conforme al análisis de la amplitud del nicho isotópico en el colágeno vertebral de *S. zygaena*, utilizando los valores del $\delta^{15}\text{N}$, el presente estudio indica que durante su ontogenia el estadio con mayor amplitud corresponde para los organismos adultos con un 5.75 ‰², de modo que el área correspondiente para los juveniles es de 4.55 ‰² y finalmente para los neonatos les corresponde una amplitud de nicho de 3.89 ‰².

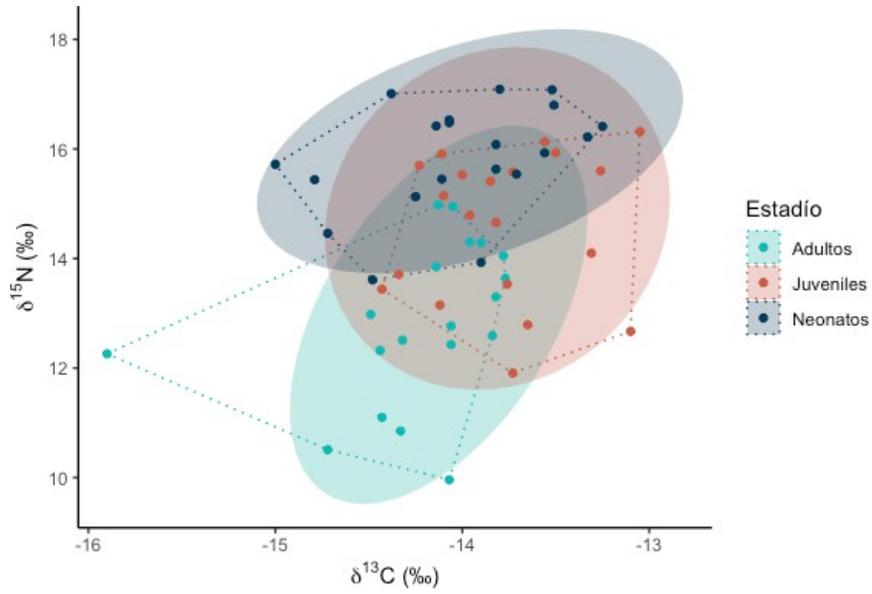
Dentro del análisis del traslape de nichos se observó una sobreposición entre los estadios de madurez; donde la sobreposición de los neonatos con respecto a los juveniles para Punta Lobos es de 41%, siguiendo así organismos adultos que comparten su nicho isotópico en un 39% y 21% con los organismos neonatos y juveniles, respectivamente. (Fig.8).



8Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.

Tabla 4. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Punta Lobos, Baja California Sur.

Estadio	Área total (‰ ²)	Área corregida de la elipse (‰ ²)
Neonatos	3.89	1.44
Juveniles	4.55	1.74
Adultos	5.75	2.18

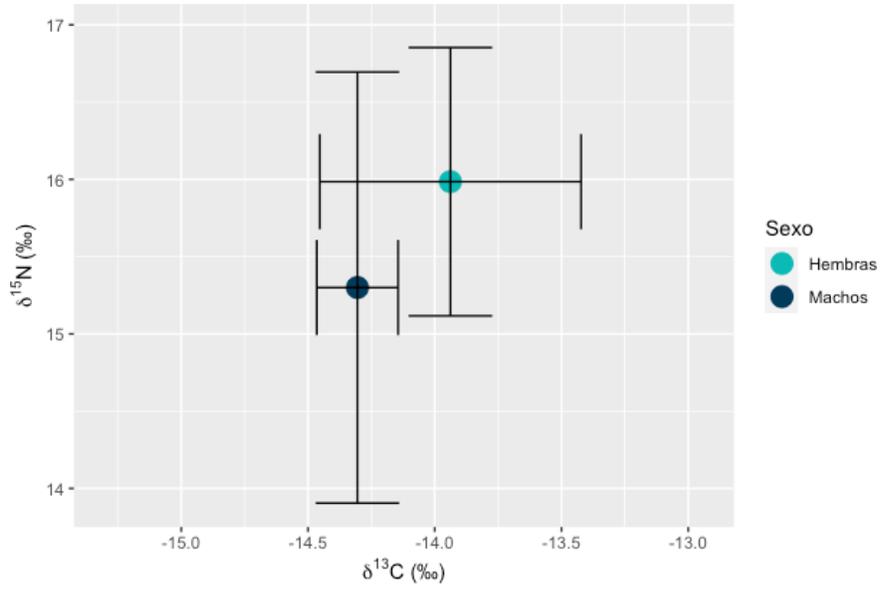


9Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur.

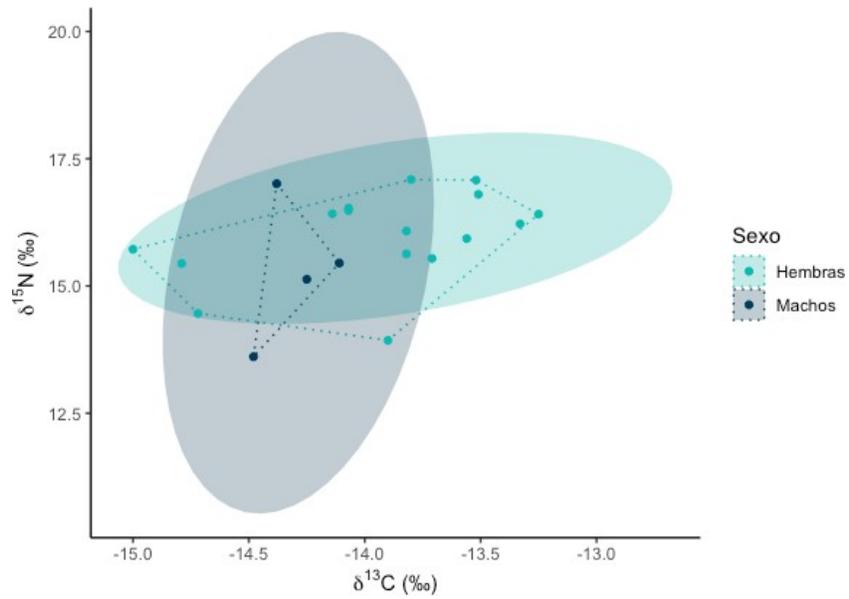
7.3.2 Análisis isotópico por sexos

7.3.2.1 Neonatos

La estimación de la amplitud del nicho a partir del área corregida de las elipses para las hembras fue de 3.26 ‰² y de 0.54 ‰² en los machos, lo cual indica que las hembras tienen una mayor área de distribución en sus zonas de alimentación; a su vez estos dos grupos presentaron un traslape bajo con un 20%.



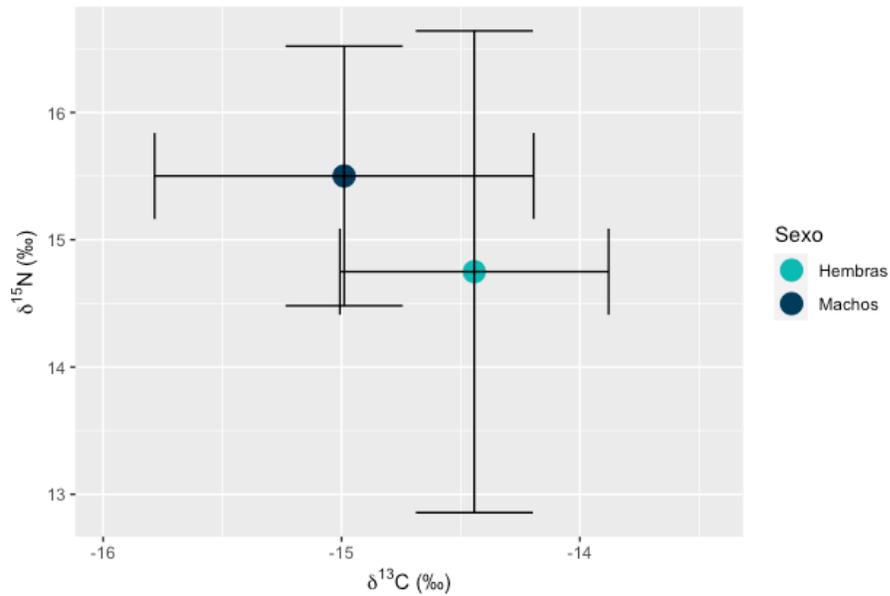
10Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para neonatos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.



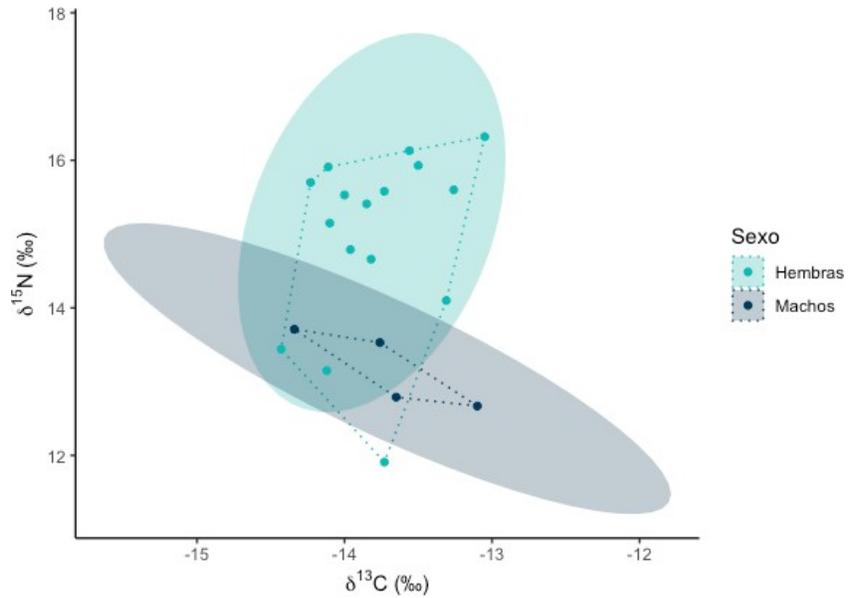
11Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur.

7.3.2.2 Juveniles

Las hembras juveniles de *S. zygaena* en Punta Lobos presentaron una amplitud del nicho a partir del área corregida de las elipses de 3.6 ‰² y de 0.40 ‰² en los machos, indicándonos un área muy estrecha, esto debido principalmente a la poca muestra (n=4) de organismos machos en la zona de estudio, mostrándonos que las hembras son el sexo con mayor representación, a su vez estos dos grupos presentaron un traslapeo bajo de 17%.



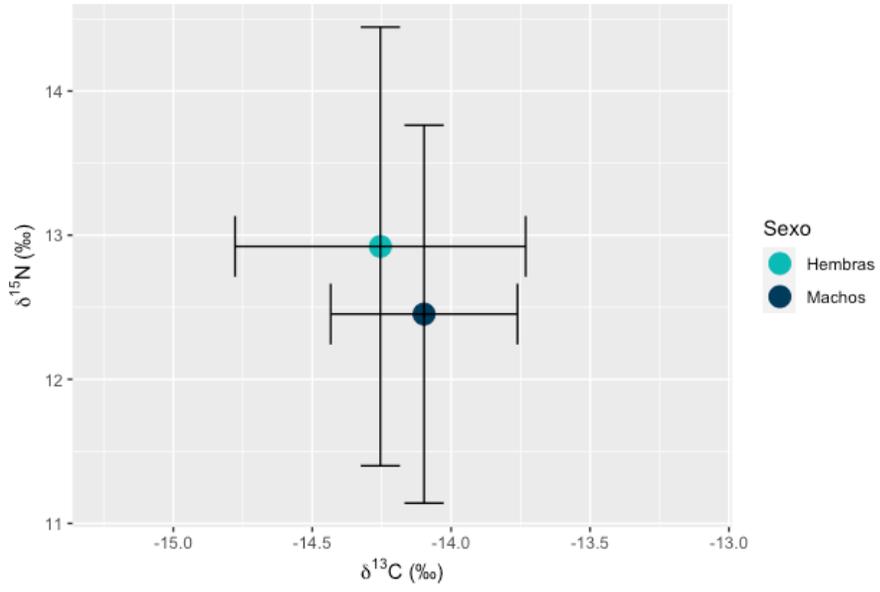
12Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.



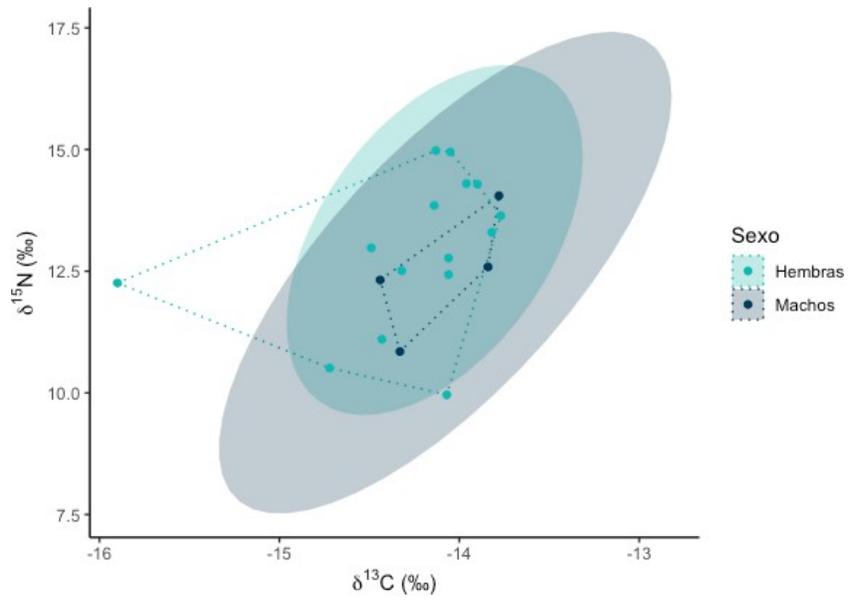
13Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur.

7.3.2.3 Adultos

Las hembras adultas de Punta Lobos presentan un área de mayor de amplitud en su nicho isotópico (5.68 ‰^2), con respecto a los machos, abarcando un área de 0.88 ‰^2 . El traslape de estos dos grupos es de un 33%, lo cual indica que no hay una alta interacción de los organismos adultos de ambos sexos en sus zonas de alimentación y en los recursos que consumen.



14Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) por sexos para adultos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur en vértebras.



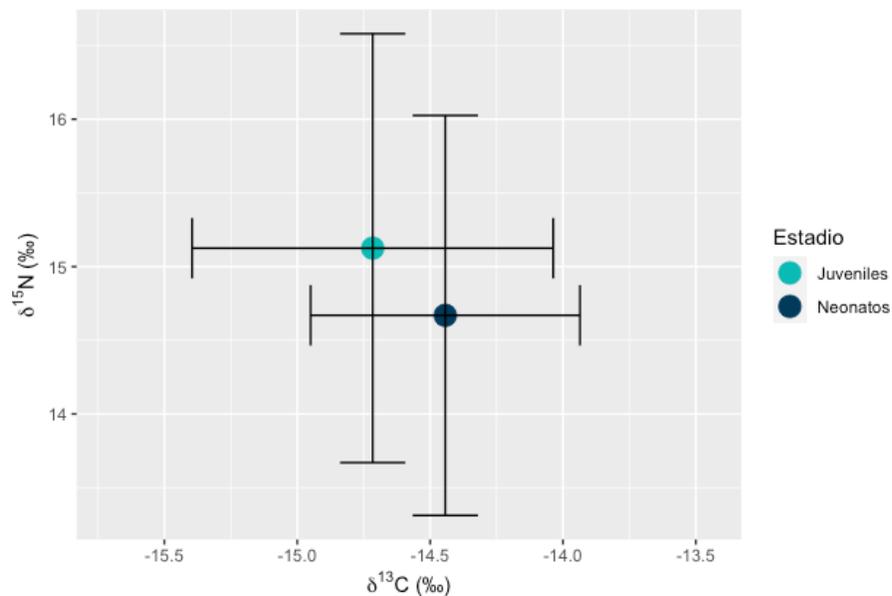
15Fig. Amplitud y traslape isotópico entre adultos por sexos de *S. zygaena* en Punta Lobos, Baja California Sur.

7.4 Bahía Tortugas

7.4.1 Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico

Conforme a la anterior table (Tabla 2.) se puede observar que esta sitio es donde se encontró el valor más negativo para el $\delta^{13}\text{C}$, lo cual indicó que los machos juveniles de Bahía Tortugas tienen hábitos más pelágicos que las hembras y los demás estadios. Para la estimación de la amplitud y traslape de los individuos analizados procedentes de Bahía Tortugas, se consideraron exclusivamente individuos juveniles y neonatos, debido a la falta de valores necesarios para evaluar los únicos dos organismos adultos en la base de datos. Además, se observó que los juveniles presentaron un área de 7.82‰^2 , superior a la de los neonatos, que fue de 7.39‰^2 .

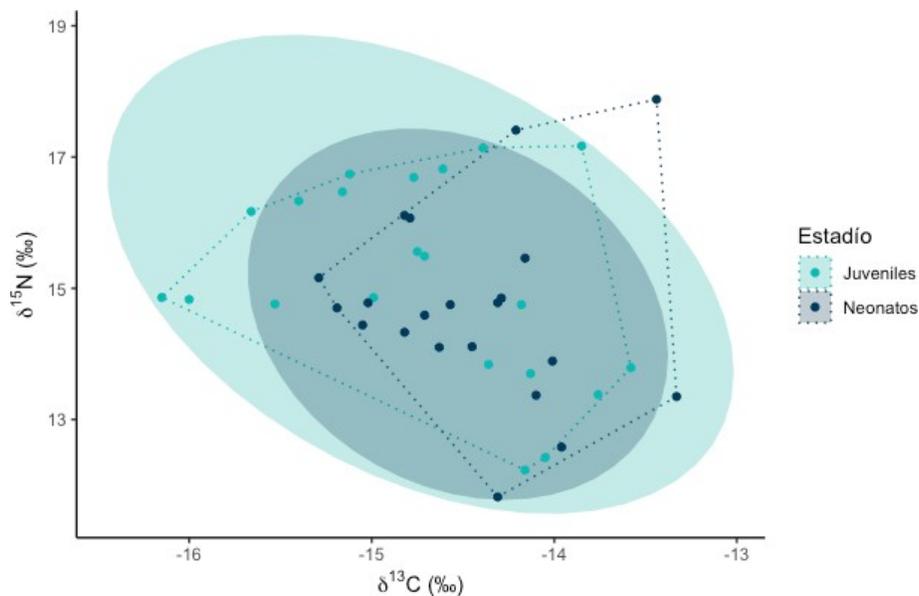
En cuanto al traslape en el nicho isotópico se pudo observar que los dos grupos analizados (juveniles y neonatos) comparten este nicho en un 56% lo cual indica una alta sobreposición (Fig. 6).



16Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California en vértebras.

Tabla 5. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

Estadio	Área total (‰ ²)	Área corregida de la elipse (‰ ²)
Neonatos	7.39	2.44
Juveniles	7.82	3.44

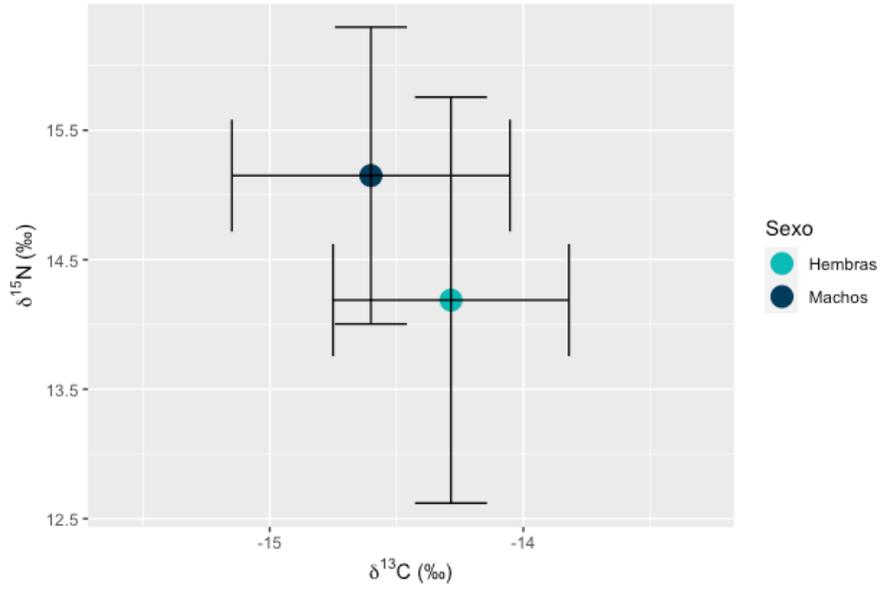


17Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

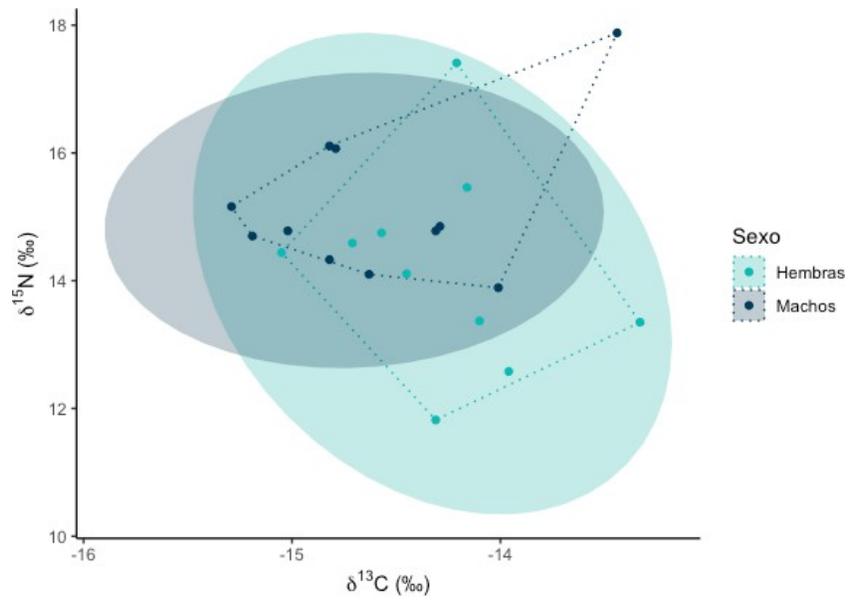
7.4.2 Análisis isotópico por sexos

7.4.2.1 Neonatos

Los organismos machos neonatos en Bahía Tortugas presentaron una amplitud de 3.51 ‰², lo cual es menor a la amplitud de las hembras que mostraron un 4.86 ‰², indicando que las hembras tienen un nicho isotópico más amplio y variado. En cuanto al análisis del traslape isotópico de los grupos evaluados (sexos) presentó un 39%, lo que indica que tienen un traslape medio.



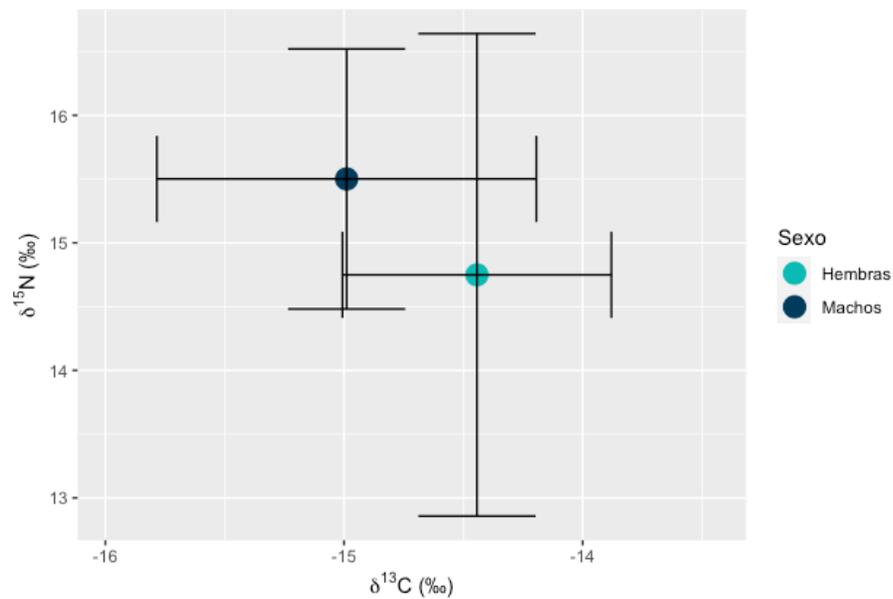
18Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) por sexos para neonatos de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California Sur en vértebras.



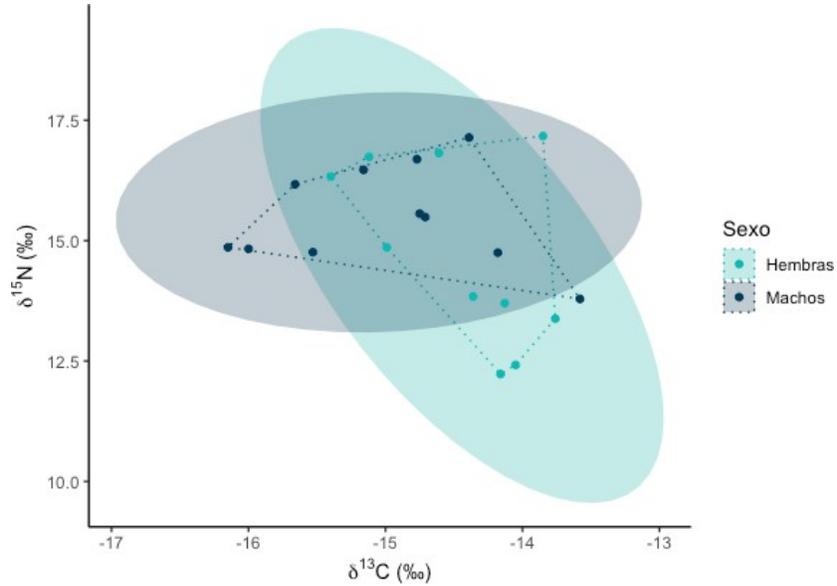
19Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

7.4.2.2 Juveniles

En contraste con los organismos neonatos, las hembras juveniles en Bahía Tortugas exhiben una mayor amplitud en su nicho isotópico, con un área de 4.80 ‰², en comparación con los juveniles mayores, cuya amplitud es de 4.46 ‰². Según el análisis del traslape de nicho isotópico entre hembras y machos juveniles en Bahía Tortugas, se encontró que comparten el uso de hábitat y recursos alimentarios en un 39%.



20Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California Sur en vértebras.

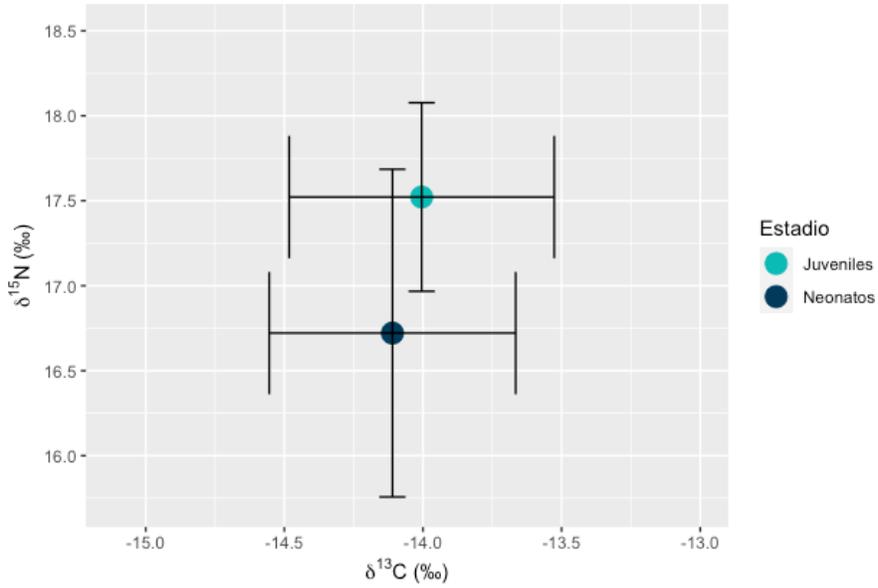


21Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de *S. zygaena* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

7.5 Santa Rosalía

7.5.1 Análisis isotópico en su desarrollo ontogénico

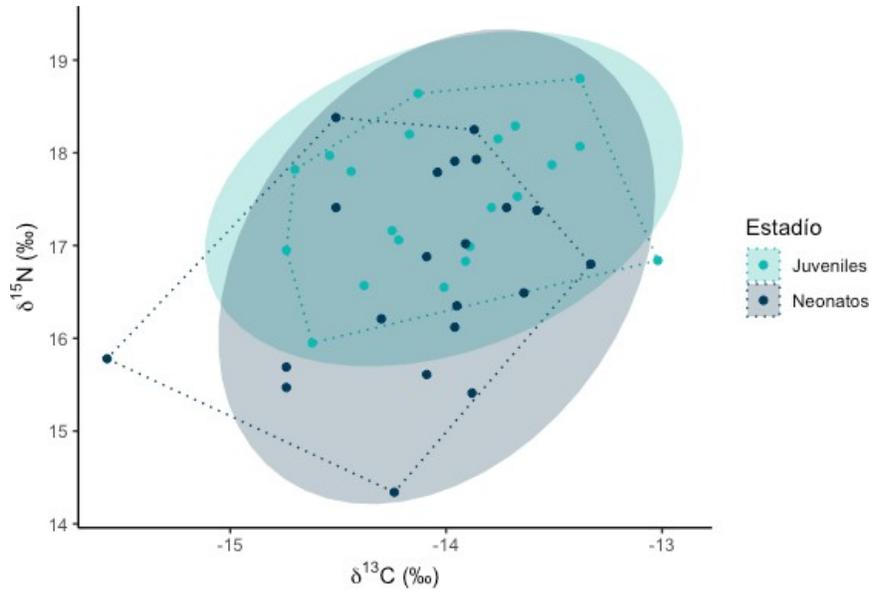
La amplitud del nicho isotópico para los organismos colectados dentro del Golfo de California en la zona de Santa Rosalía (Fig. 22) presentó que la mayor área de 5.09 ‰² les corresponde a los organismos neonatos; mientras que los juveniles tienen un área de 3.33 ‰². En cuanto al traslape del nicho isotópico, estos dos grupos presentaron una alta sobreposición de un 48%, indicando que organismos neonatos y juveniles de *S. zygaena* en Santa Rosalía tienden a alimentarse de los mismos recursos y se alimentan en las mismas zonas.



22Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante el desarrollo ontogénico de *S. zygaena* en Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.

Tabla 6. Traslape y nicho isotópico de *S. zygaena* por sexos y estadios en Santa Rosalía, Baja California Sur.

Estadio	Área total (‰^2)	Área corregida de la elipse (‰^2)
Neonatos	5.09	1.67
Juveniles	3.33	1.13

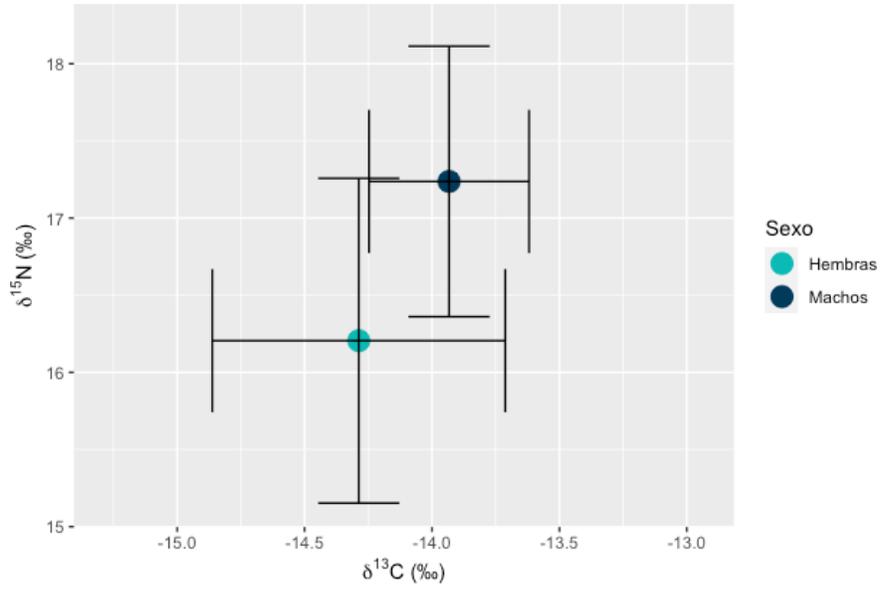


23Fig. Amplitud y traslape isotópico entre estadios de madurez de *S. zygaena* en Santa Rosalía, Baja California Sur.

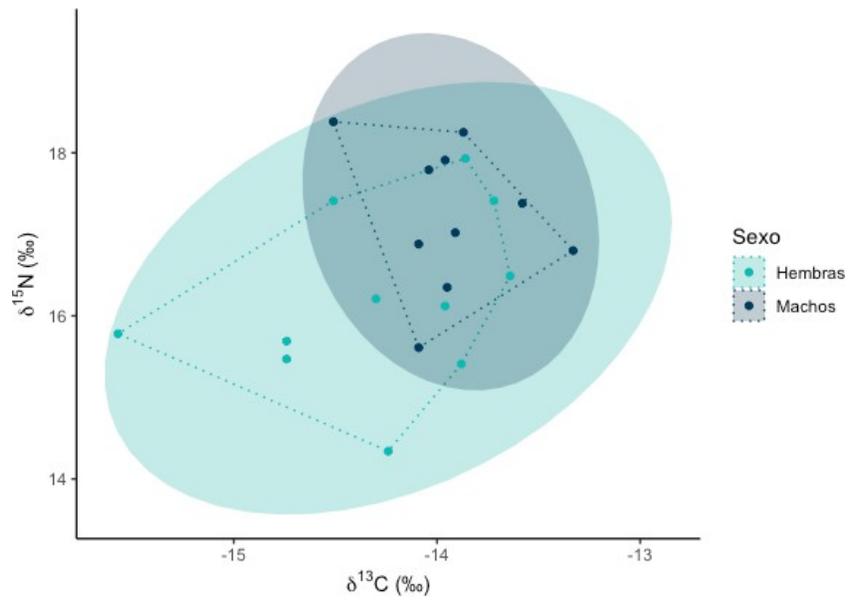
7.5.2 Análisis isotópico por sexos

7.5.2.1 Neonatos

En el caso de los neonatos en Santa Rosalía, las hembras muestran un valor de 3.69 ‰² para su amplitud de nicho isotópico; mientras que los machos tienen una amplitud de 1.73 ‰². Además, se observa un traslape del 32% en el nicho isotópico entre machos y hembras neonatos.



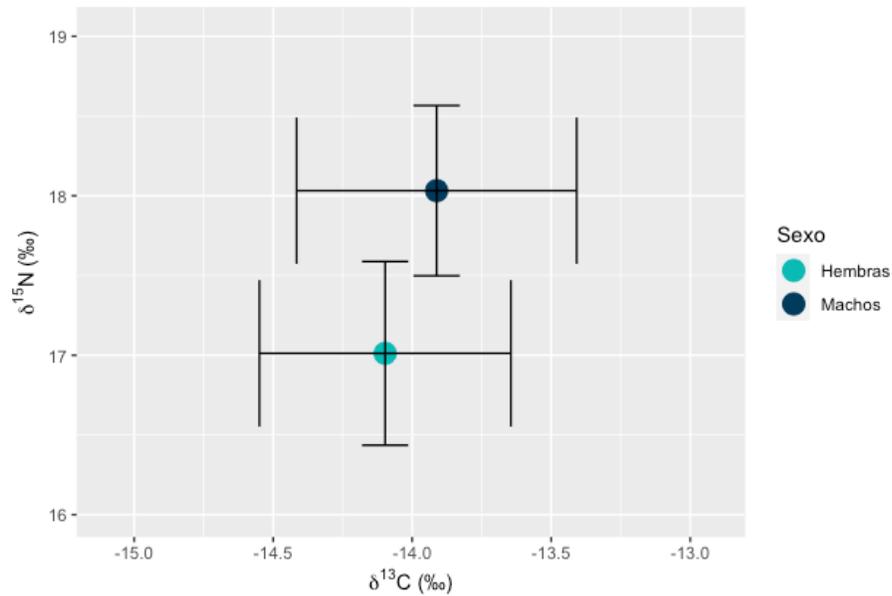
24Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para neonatos de *S. zygaena* Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.



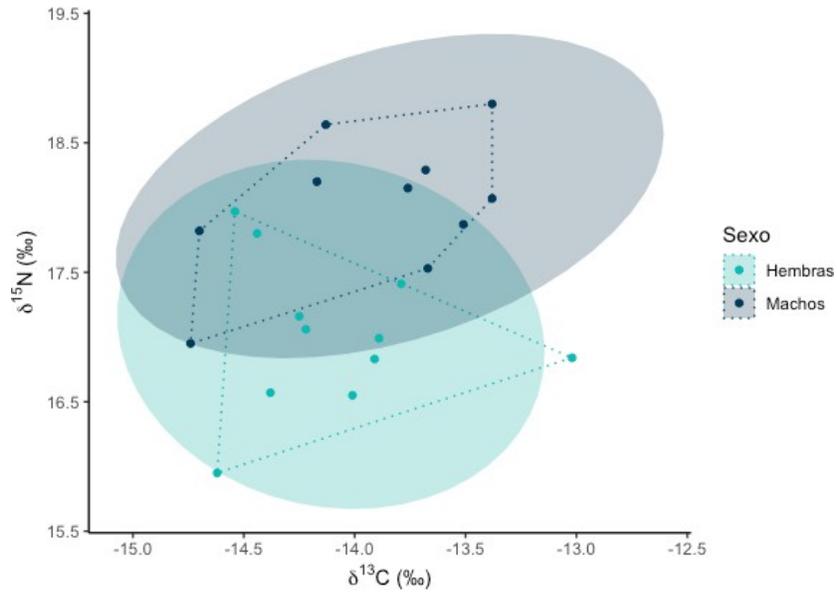
25Fig. Amplitud y traslape isotópico entre neonatos por sexos de *S. zygaena* en Santa Rosalía, Baja California Sur.

7.5.2.2 Juveniles

El análisis de la amplitud del nicho isotópico entre hembras y machos juveniles provenientes de Santa Rosalía presentó valores similares de 1.58 ‰² y 1.51 ‰². Paralelamente se evaluó el traslape entre estos grupos que indicó un valor de 27%, correspondiendo a un bajo traslape.



26Fig. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) durante por sexos para juveniles de *S. zygaena* Santa Rosalía, Baja California Sur en vértebras.



27Fig. Amplitud y traslape isotópico entre juveniles por sexos de *S. zygaena* en Santa Rosalía, Baja California Sur

7.6 Posición trófica

Se determinó la posición trófica de los distintos estadios de madurez de *S. zygaena* en los tres sitios de estudio, mediante la ecuación de Post (2002) y el programa de tRophicPosition del software R, concluyendo que esta especie de elasmobranquio se ubica como depredador terciario y cuaternario en todas sus etapas de desarrollo. Se observó un aumento en la posición trófica de los individuos neonatos y juveniles, en contraste con los organismos adultos, que mostraron la posición trófica más baja.

Tabla 7. Posición trófica de *S. zygaena* por estadios en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía calculadas mediante la ecuación de Post (2002).

Localidad	Estadio		
	Neonatos	Juveniles	Adultos
Punta Lobos	4.64	3.79	3.68
Bahía Tortugas	3.84	4.16	-
Santa Rosalía	3.7	4.26	-

Tabla 8. Posición trófica de *S. zygaena* por sexos y estadios en Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía calculadas mediante la paquetería *tRophicPosition*.

Localidad	Estadio					
	Neonatos		Juveniles		Adultos	
	H	M	H	M	H	M
Punta Lobos	4.8	4.68	4.39	3.51	3.26	3.15
Bahía Tortugas	3.12	3.52	3.17	3.71	-	-
Santa Rosalía	3.05	3.61	3.51	3.92	-	-

8. DISCUSIÓN

Dentro de este estudio, se evaluaron muestras de colágeno vertebral de la cornuda prieta *S. zygaena*, evidenciando cambios isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en su nicho trófico y áreas de alimentación durante su desarrollo ontogénico en tres sitios de estudio, así como diferencias entre sexos. En los sitios estudiados, se observó una notable variación en la composición del $\delta^{15}\text{N}$, destacando un mayor valor en el municipio de Santa Rosalía, ubicado en el Golfo de California. Por otro lado, se identificó una tendencia opuesta en la composición del $\delta^{13}\text{C}$, con valores más bajos registrados en Bahía Tortugas, situada en la costa del Pacífico Oriental Tropical. Estos hallazgos sugieren una heterogeneidad espacial en los procesos biogeoquímicos y las fuentes de nutrientes en estas regiones marinas, lo que

contribuye a comprender la dinámica alimentaria de *S. zygaena* durante su desarrollo ontogénico tanto dentro como fuera del Golfo de California.

8.1 Diferencias isotópicas entre Punta Lobos, Bahía Tortugas y Santa Rosalía

Conforme a los resultados obtenidos, los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvieron en los organismos capturados en la región de Santa Rosalía, dentro del Golfo de California, debido a que dentro de esta región hay una alta productividad primaria, lo cual coadyuba a que se genere una abundante materia orgánica, la cual queda depositada en el fondo del océano y es suspendida en la columna de agua, creando así condiciones anóxicas, las cuales propician los procesos de desnitrificación (Codispoti y Christensen, 1985). Además, la circulación y la estratificación del agua pueden facilitar la acumulación de nutrientes y la formación de gradientes de oxígeno en la columna de agua (Fiedler y Talley, 2006). A su vez, Gutiérrez *et al.*, (2020), mencionan que la productividad primaria dentro del Golfo de California juega un papel importante en la generación de materia orgánica que alimenta los procesos de desnitrificación, mostrando una amplia relación entre la productividad primaria y las tasas de desnitrificación en esta región.

El proceso de desnitrificación, un fenómeno microbiano, tiene lugar en condiciones anaeróbicas, donde las bacterias reducen los nitratos (NO_3^- y NO_2^-) a N_2 o nitrógeno atmosférico como parte de su metabolismo. Utilizan la materia orgánica disponible en el medio como sustrato. Durante este proceso, se consume el nitrógeno ligero (^{14}N) de los nitratos, lo que resulta en la producción de nitratos enriquecidos con el isótopo más pesado (^{15}N) (Graham *et al.*, 2009).

El Golfo de California exhibe una alta productividad primaria debido a las corrientes marinas presentes y a la aportación de nutrientes procedentes de afloramientos costeros, así como de las desembocaduras de ríos o afluentes cercanos a la costa (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Esta región se caracteriza

como una cuenca semicerrada con una alta tasa de evaporación y la presencia de zonas mínimas de oxígeno, lo que promueve los procesos de desnitrificación (Altabet *et al.*, 1999; Aurióles *et al.*, 2006).

La variabilidad en la base trófica y su relación con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el Golfo de California y en el Sistema de la Corriente de California han sido objeto de investigación en distintos estudios. Landry y Ohman (2007), exploraron la estructura y dinámica del ecosistema pelágico en la Corriente de California; mientras que Madin y Harbison (1977), examinaron la comunidad de zooplancton del Golfo de California en comparación con el Sistema de la Corriente de California (Busquets-Vass *et al.*, 2017). Santora y Syderman (2012) también investigaron las características de las comunidades de forrajeo pelágico en el Golfo de las Farallones y áreas adyacentes, encontrando relaciones significativas entre la variabilidad en la base trófica y las variables ambientales. Estos hallazgos destacan la importancia de comprender la dinámica de la base trófica y su relación con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en la regulación de los ecosistemas marinos en el Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur.

La ecología trófica en los ecosistemas marinos, el $\delta^{15}\text{N}$ es un marcador clave para determinar la posición trófica de una especie, con valores más elevados indicando una posición superior en la trama trófica (Post, 2002). Sin embargo, las variaciones en el $\delta^{15}\text{N}$ entre diferentes localidades no siempre se deben a variaciones en la posición trófica. Para este estudio se demuestra que las fluctuaciones observadas de este isótopo se deben a variaciones en la base trófica de cada zona de estudio analizada.

En la costa occidental de Baja California Sur, estudios sobre la composición isotópica del $\delta^{15}\text{N}$ en aminoácidos del plancton han identificado patrones de fraccionamiento isotópico que indican la heterotrofia en la base trófica y la materia orgánica disuelta (McClelland y Montoya, 2002; McCarthy *et al.*, 2007). Además, investigaciones han demostrado que la relación isotópica del carbono en el plancton

varía con la latitud en el hemisferio norte y sur, reflejando diferencias en la productividad y circulación oceánica, lo que subraya la complejidad de los procesos biogeoquímicos en el Océano Pacífico (Rau *et al.*, 1982)

Bahía Tortugas y Punta Lobos se encuentran en la costa occidental de Baja California Sur, donde la Corriente de California, desempeña un papel importante en la dinámica trófica de los ecosistemas marinos adyacentes. Graham *et al.*, (2020) han identificado gradientes latitudinales en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ a lo largo de la Corriente de California, evidenciando un aumento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ hacia latitudes más bajas. Este patrón sugiere diferencias en la disponibilidad de nutrientes y procesos biogeoquímicos a lo largo del trayecto de la corriente, afectando la composición isotópica de los organismos marinos en sitios como los de este estudio.

Las investigación de Sánchez-Hernández *et al.*, (2017) demostró que hay una relación significativa entre la composición isotópica y el comportamiento de depredadores tope como el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) en esta área. Estos estudios indican que las variaciones en la composición isotópica pueden revelar valiosa información sobre las estrategias de forrajeo, las preferencias alimenticias y la dinámica trófica de estos depredadores. En otras palabras, los isótopos no alteran el comportamiento de los tiburones, sino que las diferencias en los isótopos observadas en los tejidos de los tiburones reflejan sus patrones de alimentación y movimiento.

En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en los valores del $\delta^{13}\text{C}$ entre los organismos recolectados en la zona de Bahía Tortuga, con respecto a Punta Lobos y Santa Rosalía, debido a que Bahía Tortugas es caracterizada por su entorno de costas rocosas y la presencia de bosques de macroalgas (Vega-García *et al.*, 2015). Esto puede ser debido principalmente a que la composición del $\delta^{13}\text{C}$ en la Corriente de California muestra un enfoque particular en la relación con la batimetría y la presencia de bosques de macroalgas, indicando

que *S. zygaena* se está alimentando en áreas pelágicas o más lejanas de la costa, en contraste con las muestras colectadas en el Golfo de California.

Una interrogante para abordar esta variación radica en que la costa occidental de Baja California Sur la estrechez de la plataforma continental en Bahía Tortugas (Allen, 2006). Debido a que, a escasos kilómetros de la costa, se encuentra una plataforma oceánica. De este modo, aun cuando los tiburones en las tres áreas de estudio se alimenten de forma similar, aquellos capturados en Bahía Tortugas presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ más negativos, típicos de ambientes oceánicos.

En diversos estudios se ha explorado la influencia de factores ambientales en la variabilidad de $\delta^{13}\text{C}$ a lo largo de la costa de California. Smith *et al.*, (2016) encontraron que la topografía del lecho marino juega un papel crucial en la variabilidad de este isótopo, identificando patrones de gradiente que están directamente relacionados con los cambios en la profundidad y la estructura del fondo marino. Por otro lado, Johnson *et al.*, (2018) examinaron cómo los bosques de macroalgas influyen en la variabilidad del $\delta^{13}\text{C}$ en la Corriente de California. Estos estudios sugieren que los ecosistemas de macroalgas alteran significativamente la composición isotópica del carbono debido a su dinámica particular. Investigaciones previas, como la de Guest *et al.*, (2008), han destacado el papel fundamental que desempeñan las algas pardas y el detritus como fuentes de carbono en estos entornos. Además, se observó una notable similitud del $\delta^{13}\text{C}$ entre las macroalgas, el detritus y organismos filtradores, como el abulón *Haliotis rubra*. Este paralelismo fue documentado en varios estudios (Shepherd 1973, Shepherd & Steinberg 1992, Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2005, Guest *et al.*, 2008), sugiriendo una interconexión en la trama trófica de estos hábitats marinos.

Vega-García *et al.*, (2015) observaron diferencias significativas en el $\delta^{13}\text{C}$ dentro de la zona de Bahía Tortugas, donde sugieren que el $\delta^{13}\text{C}$ procede de diferentes fuentes de carbono, como de las macroalgas presentes en la zona, así como de los pastos marinos adyacentes a la zona, debido a que no hay ríos u otros afluentes

que pudieran incorporar una señal mayormente más alta del $\delta^{13}\text{C}$, donde posiblemente se pueda incorporar más de este isótopo a la presencia de un sistema lagunar llamado La Bocana, ya que está relacionada con cuerpos de agua adyacentes.

8.2 Distribución espacial y posibles áreas de alimentación de *S. zygaena* en el estado de Baja California Sur

Actualmente estudios indican que la presencia de *S. zygaena* en la región de Los Cabos en Baja California Sur está influenciada por la temperatura superficial del mar, la velocidad del viento, la fase y la iluminación de la luna. Se encontró que esta especie utiliza aguas oceánicas abiertas hasta una profundidad de 200m (Calatayud *et al.*, 2023). La distribución de esta especie está relacionada con la presencia de una de sus presas principales, el calamar gigante (*Dosidicus gigas*), cuya migración vertical se ve influenciada por la fase lunar (Gilly *et al.*, 2006).

Las relaciones isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ obtenidas en este estudio sugieren que los organismos de *Sphyrna zygaena* se desplazan tanto a zonas oceánicas como costeras en los sitios de estudio (Bahía Tortugas, Punta Lobos y Santa Rosalía) en Baja California Sur. Un estudio de Ketchum *et al.*, (2020) evidenció migraciones significativas de *S. zygaena* con transmisores acústicos, mostrando desplazamientos desde la Isla Espíritu Santo hasta la Isla Cerralvo en cinco días, y otros movimientos que sugieren el uso del Golfo de California como ruta migratoria y posible área de alimentación para esta especie. Adicionalmente, la IUCN SSC (2023) destacó el Corredor migratorio Loreto-Cabo Pulmo como una zona crucial para esta especie debido a la diversidad de hábitats presentes, incluyendo montes submarinos, manglares y arrecifes coralinos (Thomson *et al.*, 2000; Brusca *et al.*, 2005).

Complementando esta información, se observó que las hembras juveniles de Punta Lobos permanecen en la zona oceánica, mientras que los machos se encuentran en la zona costera. En Bahía Tortugas, tanto hembras juveniles como neonatas tienden a alimentarse en la zona costera, y en Santa Rosalía, dentro del Golfo de California, las hembras neonatas se desplazan de la zona oceánica a la costera, al igual que los machos. Cuando son juveniles, ambos sexos se desplazan entre las zonas oceánica y costera. Estos patrones de movimiento y uso del hábitat reflejan la complejidad y dinamismo en el comportamiento espacial de *S. zygaena*, influenciado por factores ecológicos y tróficos en aguas adyacentes a Baja California Sur.

8.3 Análisis isotópico por estadios de madurez

Estupiñán-Montañaño *et al.*, (2018) observaron que a medida que la cornuda prieta crece, se exhiben cambios ontogénicos significativos en su dieta. En sus análisis sugieren que los tiburones menores a los 150cm de longitud total se alimentan en áreas oceánicas y cerca de la plataforma continental, consumiendo presas de niveles tróficos bajos. Sin embargo, a medida que maduran y crecen, tienden a consumir presas de niveles tróficos altos, lo que puede estar relacionado con una disminución en su susceptibilidad a la depredación por parte de otros tiburones. Esto podría fomentar una migración horizontal entre áreas costeras y oceánicas, donde encuentran presas de mayor tamaño disponibles. Durante este estudio, se detectaron variaciones en los niveles de $\delta^{15}\text{N}$ en el tejido vertebral de *S. zygaena* en los tres sitios de estudio (Bahía Tortugas, Punta lobos y Santa Rosalía) a lo largo de su desarrollo ontogénico. Esto sugiere que la dieta de este tiburón martillo varía a medida que crece, lo que a su vez indica cambios en sus hábitos alimenticios y en las áreas donde se alimenta. Específicamente, estos cambios podrían reflejar movimientos migratorios entre zonas costeras y oceánicas.

La variación ontogénica en la dieta y hábitos alimenticios de *S. zygaena*, es un fenómeno común ampliamente observado en varias en varias especies de

tiburones. Esto se debe principalmente a que los tiburones que llegan a tener grandes tallas tienen la capacidad de alimentarse de presas de mayor tamaño y por lo tanto pueden acceder a diferentes zonas de alimentación a lo largo de su vida. Este patrón de segregación por tallas y los correspondientes cambios en la dieta ha sido documentado en estudios previos (Lowe *et al.*, 1996), que sugirió que la importancia de considerar estos factores en el estudio de la ecología y el comportamiento de los tiburones, incluyendo a *S. zygaena*, esta variabilidad en la dieta y los hábitos alimentarios resalta su adaptabilidad y el papel que representa en los ecosistemas marinos donde habita.

A su vez Estupiñán-Montaña (2021) y Cerutti-Pereyra (2022), en sus investigaciones con *S. lewini*, tanto en la Isla de Malpelo en Colombia, como en el Archipiélago de las Galápagos, respectivamente, se evidencian cambios en su dieta a lo largo de su ontogenia. Estos hallazgos demuestran que los tiburones martillos o cornudas tienen una flexibilidad en el uso de recursos, así como variaciones en los hábitats de alimentación a lo largo de su ciclo vital. Se plantea la posibilidad de que *S. lewini* y *S. zygaena*, al pertenecer al mismo género taxonómico, presenten patrones similares en cuanto a la variación ontogénica en su dieta y en la utilización de distintos hábitats de alimentación durante su ontogenia.

Por otra parte, Solís-Heredia (2022), analizó la dieta de *S. zygaena* en las localidades de Bahía Tortugas y Punta Lobos, evaluando el contenido estomacal, donde se estableció que las presas de mayor importancia para esa región fueron los calamares *Ancistrocheirus lesueurii*, *Dosidicus gigas* y peces del género *Synodus* spp. Se observó que hubo un aumento en el nicho isotópico de organismos adultos con respecto a los juveniles. En contraste con los datos obtenidos en esta investigación, las muestras obtenidas para la región de Punta Lobos indican que las señales isotópicas obtenidas del tejido vertebral indican que los neonatos son el estadio que tienen valores mayores en el $\delta^{15}\text{N}$ con respecto a su estadio juvenil y de adultez.

La especie *S. zygaena* se considera un tiburón con un tipo de reproducción vivípara placentaria. Este término implica que los tiburones reproductores proveen a sus crías un suministro sustancial de nutrientes a sus embriones. Este proceso tiene como objetivo garantizar un desarrollo embrionario exitoso. Para estos organismos el desarrollo embrionario se completa dentro del útero, lo cual les permite recibir una alimentación embrionaria suplementaria, conocida como matrotofia. En el caso de *S. zygaena* esta alimentación sucede en una placenta vitelina (Buddle *et al.*, 2018). En especies placentarias, la madre proporciona nutrientes al embrión a través de la placenta, reflejando así la dieta de la madre. Después del agotamiento de las reservas vitelinas, los nutrientes provienen de la madre. Al nacer, algunos tiburones con este tipo de nutrición materna aún tienen una reserva de energía interna.

Muchos de estos tiburones como el caso de los tiburones martillo, la leche uterina les proporciona nutrientes directamente al embrión, lo que supone un mayor gasto energético para la madre, por consiguiente, el embrión y posteriormente el neonato, reflejará la dieta de la madre más la nutrición proporcionada por la leche uterina (Hamlett *et al.*, 2005). Podemos deducir que *S. zygaena* al recibir una nutrición materna por parte de la madre, refleja un incremento en su señal de $\delta^{15}\text{N}$. Baró-Camarasa *et al.*, (2020) encontraron para *R. longurio* y *P. glaucostigmus* que a medida que los embriones crecen, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ aumentan, lo que podría indicar un cambio en la fuente de nutrientes de la conexión placentaria con la hembra adulta. Además, se observaron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para las dos especies estudiadas, lo que refleja las diferentes estrategias de nutrición y transferencia de proteínas durante el desarrollo embrionario. Diferenciando así con este estudio en cuestión para los organismos neonatos de *S. zygaena*, nuestros hallazgos no coinciden, debido a que los organismos de este estadio son los que obtuvieron los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$.

En contraste con lo mencionado anteriormente, en Bahía Tortugas y Santa Rosalía, los organismos neonatos muestran los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos. Esto sugiera un cambio en la dieta y en las áreas de alimentación a medida que alcanzan la etapa juvenil. Vásquez-Liñero (2022) reportó para la localidad de Santa Rosalía, que la dieta de *S. zygaena* está compuesta principalmente por el calamar gigante (*Dosidicus gigas*), el calamar de profundidad (*Ancistrocheirus lesueurii*), la macarela (*Scomber japonicus*) y la anchoveta (*Engraulis mordax*), indicando que los organismos analizados en su mayoría juveniles presentaban la tendencia a alimentarse en una zona cercana a la costa.

La investigación de Afonso *et al.*, (2022) en Islas Azores, Portugal, reveló diferencias marcadas entre juveniles y adultos de *S. zygaena*. Mientras los adultos se encuentran principalmente en hábitats costeros a lo largo de la Isla de Faial durante el día y se desplazan hacia áreas más alejadas de la costa por la noche, los juveniles muestran un comportamiento diferente, con una mayor actividad y una inmersión más profunda durante la noche. Estas diferencias sugieren una posible área de crianza para los juveniles. Poniendo en comparación los resultados de esta investigación, donde los organismos de *S. zygaena* en Bahía Tortugas y Santa Rosalía, tienen una preferencia a alimentarse de calamares u organismos con un nivel trófico más alto, lo que refleja en un valor de $\delta^{15}\text{N}$ más elevado y también nos comprueba que al desplazarse a zonas más oceánicas para capturar estos recursos tiende a tener movimientos entre las zonas tanto oceánicas como costeras.

Besnard *et al.*, (2023) emplearon el análisis de isótopos estables de mercurio para anticipar la tendencia de *S. zygaena* a residir en las zonas costeras del Pacífico Mexicano, observando ejemplares entre 2014 y 2018 en Bahía Tortugas, Las Barrancas, San Lázaro y Punta Lobos. Su investigación indicó que los juveniles pasan alrededor de dos años en hábitats costeros antes de migrar hacia aguas más profundas o hábitats pelágicos. Estos resultados subrayan la importancia crucial de las áreas costeras en los primeros años del desarrollo ontogénico de esta especie.

Además, para esta investigación la tendencia de estos tiburones en Bahía Tortugas, tienden a moverse hacia hábitats más pelágicos, pero con una propensión a regresar a la zona costera, enfatizando la necesidad de establecer límites en las tallas de captura y considerar el cierre temporal de la pesca en áreas costeras específicas durante las etapas iniciales del ciclo vital de estos tiburones.

8.4 Análisis isotópico por sexos

La investigación sobre los hábitos alimenticios de los tiburones revela una complejidad significativa en las interacciones ecológicas dentro de los ecosistemas marinos. Estudios previos, como los de Wootton (1990) y Lowe *et al.*, (1996), han resaltado la variabilidad en el uso de recursos alimenticios entre individuos de diferentes tamaños y sexos. Además, investigaciones como las de Martin y Fallows (2006) han explorado cómo las condiciones ambientales pueden modular las interacciones depredador-presa entre tiburones y focas, sugiriendo disparidades en los hábitos alimenticios según el sexo y resaltando la importancia del dimorfismo sexual en la ecología trófica de estos depredadores.

Por otro lado, estudios específicos sobre especies como el tiburón azul (*Prionace glauca*), como el realizado por Dicken y Smale (1994), han destacado diferencias en la biología reproductiva entre machos y hembras, lo que puede influir en sus hábitos alimenticios. Asimismo, investigaciones de Klimley (1985) sugieren que los hábitos alimenticios del tiburón martillo (*S. lewini*) pueden variar según el sexo, incluso en especies con bajo riesgo de depredación. Por último, el trabajo de Yopak *et al.*, (2007) sobre la organización cerebral de los tiburones revela posibles diferencias en la capacidad sensorial de respuesta a estímulos relacionados con la alimentación entre machos y hembras, enfatizando la importancia de considerar el sexo en la comprensión de los hábitos alimenticios de estas especies migratorias.

En contraste, para la localidad de Punta Lobos, se observó que las hembras mantuvieron niveles más elevados en el $\delta^{15}\text{N}$ a lo largo de su ontogenia, indicando

una mayor posición trófica en comparación con los machos. Este patrón fue especialmente notable dado que en esta región fue donde se capturaron los ejemplares de mayor tamaño, sugiriendo que alcanzaron la adultez en este sitio específico.

Para el $\delta^{13}\text{C}$, no se evidenciaron diferencias significativas entre sexos en ninguna de las áreas de estudio analizadas, pero lo que si podemos destacar es que los valores más negativos de esta razón isotópica se encontraron en los organismos juveniles de Bahía Tortugas, evidenciando así que los organismos de esta región tienen hábitos alimenticios más pelágicos que los de las demás zonas de estudio.

Diversos estudios, como el de Estupiñán-Montaña et al. (2018), han examinado las diferencias en el comportamiento alimenticio entre machos y hembras de *S. zygaena*. Aunque se observó que ambos sexos tienden a consumir presas de niveles tróficos similares, lo que sugiere una significativa sobreposición trófica, también se identificaron tendencias en función del tamaño. A medida que estos tiburones crecen, ambos sexos tienden a incorporar presas de mayor nivel trófico en su dieta. Sin embargo, dentro del período de estudio, no se encontraron diferencias significativas en los niveles tróficos de las presas consumidas por machos y hembras de similar tamaño y durante los mismos años.

En el contexto de este estudio, se evidenció que en las tres regiones y en todos los estadios analizado, *S. zygaena* exhibe una notable sobreposición en su nicho isotópico. Este hallazgo sugiere que, independientemente del lugar de obtención del recurso o del estado de desarrollo, esta especie presenta una dieta similar entre sexos. Este patrón de comportamiento alimenticio sugiere una estrategia generalista en la selección de presas, lo que podría estar relacionada con la adaptabilidad de esta especie a diferentes ambientes y condiciones alimenticias.

8.5 Posición trófica

Dentro de este trabajo de investigación, se observaron variaciones en la posición trófica de *S. zygaena*, con respecto a los organismos neonatos, los cuales registraron la posición trófica más alta (PT=4.64) en Punta Lobos y los juveniles en Bahía Tortugas (PT=4.16) y Santa Rosalía (PT=4.26). Estos resultados sugieren que esta especie de tiburón martillo posee una variabilidad en sus hábitos alimenticios en las diferentes áreas de estudio, así como en sus diferentes etapa de vida. Los neonatos, podrían mostrar valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos desde su periodo embrionario, reflejando así la dieta de la madre, posiblemente sirviéndoles como estrategia para su desarrollo embrionario y así emplear esta energía en maximizar su crecimiento (Baró-Camarasa *et al.*, 2020).

Por otro lado, los organismos juveniles podrían mostrar una especialización en su dieta o a la competencia por recursos con otras especies en la zonas, también puede deberse a que, frecuentan zonas mayormente ^{15}N enriquecidas, así como en consumir presas de mayor nivel trófico.

S. zygaena presenta una posición trófica promedio de 3.7 a 4, en los tres sitios de estudio, clasificándolos, así como consumidores terciarios o cuaternarios. En aguas ecuatorianas, Estupiñán-Montaña (2018) identificó que *Sphyrna zygaena* presenta una posición trófica que oscila entre 4.45 y 4.91, con una media de 4.73, lo que confirma su papel como un depredador de nivel trófico alto y sugiere una especialización en la selección de presas específicas. En un estudio realizado por Vázquez-Liñero (2022) en la zona de Santa Rosalía, se obtuvo una posición trófica de 4.8 para *S. zygaena*, reforzando su papel como un depredador terciario dentro de la cadena alimentaria en esa región. Por otro lado, Solís-Heredia (2022) encontró una posición trófica de 4.36 para esta misma especie en las áreas de Punta Lobos y Bahía Tortugas, posicionándolo también como un depredador terciario en estas zonas específicas. Además, según los hallazgos de Sánchez-Latorre (2022), el tiburón zorro *Alopias pelagicus* presenta

una posición trófica de 4.5 en Santa Rosalía y Bahía Tortugas, lo que lo clasifica como un depredador terciario en estas áreas de estudio. Estos resultados destacan la importancia de entender las dinámicas tróficas de los tiburones en diferentes regiones y su papel en la estructura de las comunidades marinas.

9. CONCLUSIONES

- Los valores del $\delta^{15}\text{N}$ más altos fueron obtenidos de la localidad de Santa Rosalía, debido a que esta zona tiene un mayor enriquecimiento basal por los procesos biogeoquímicos de la columna de agua dentro de la región del Golfo de California.
- Las muestras obtenidas de Bahía Tortugas reflejaron los valores en el $\delta^{13}\text{C}$ menores, indicando que esta región es pelágica, la cual favorece a los hábitos alimentarios de *S. zygaena*.
- *Sphyna zygaena* presenta diferencias en sus patrones de alimentación y en el uso de hábitat durante su ontogenia, así como por sexos y en las tres zonas de estudio.
- Los análisis isotópicos indican variaciones significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en las diferentes áreas de estudio, demostrando una heterogeneidad espacial en los procesos biogeoquímicos y las fuentes de nutrientes en el Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur.
- Se observaron cambios significativos en los niveles de $\delta^{15}\text{N}$ a lo largo del desarrollo ontogénico de *S. zygaena*, lo que sugiere una variabilidad en la dieta y los hábitos alimentarios a medida que crecen. Esto podría reflejar movimientos migratorios entre zonas costeras y oceánicas, así como cambios en la disponibilidad de presas a lo largo de su vida.

- Los análisis isotópicos revelaron que los organismos adultos y neonatos de *S. zygaena* tienden a alimentarse en áreas costeras; mientras que los juveniles muestran una mayor preferencia por hábitats pelágicos. Esto destaca la importancia de las áreas costeras como hábitats críticos para las etapas tempranas del ciclo vital de esta especie.
- Los neonatos y juveniles de Bahía Tortugas y Santa Rosalía muestran un traslape alto (<50%) en sus hábitos alimenticios y en el uso del hábitat. Esto implica que organismos de esta especie en estas áreas comparten presas y hábitats similares durante estos estadios específicos.
- La región marina de la Península de Baja California funge como un área de alimentación para esta especie.
- Se observó una notable sobreposición en el nicho isotópico entre machos y hembras de *S. zygaena*, lo que sugiere una estrategia generalista en la selección de presas independientemente del sexo. Esto indica una adaptabilidad de la especie a diferentes ambientes y condiciones alimenticias.
- La posición trófica promedio para *S. zygaena* por regiones fue de 3.7-4.0, indicándonos que son consumidores terciarios y cuaternarios.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Afonso, P., Gandra, M., Graça, G., Macena, B., Vandeperre, F., & Fontes, J. (2022). The multi-annual residency of juvenile smooth hammerhead shark in an oceanic island nursery. *Frontiers in Marine Science*, 9, 844893.
- Allen, M. J. (2006). Continental shelf and upper slope. *The ecology of marine fishes: California and adjacent waters*. University of California Press, Berkeley, CA, 167-202.
- Altabet, M. A., Pilskaln, C., Thunell, R., Pride, C., Sigman, D., Chavez, F., & Francois, R. (1999). The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46(4), 655-679.
- Álvarez-Arellano, A. 1987. Aspectos oceanográficos del Golfo de California. *Serie didáctica*. A.4. UABCS. 37 pp.
- Álvarez-Borrego, S., & Lara-Lara, J. R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: *Case studies of productivity and biodiversity in marine systems* (pp. 203-215). Springer.
- Aurioles-Gamboa, D., Koch, P. L., & Le Boeuf, B. J. (2006). Differences in Foraging Location of Mexican and California Elephant Seals: Evidence from Stable Isotopes in Pups. *Marine Mammal Science*, 22(2), 326-338.
- Baró-Camarasa, I., Marmolejo-Rodríguez, A. J., O'Hara, T. M., Elorriaga-Verplancken, F. R., Trejo-Ramírez, A., Martínez-Rincón, R. O., & Galván-Magaña, F. (2021). Isotopic ($\delta^{15}\text{N}$) relationship of pregnant females and their

- embryos: Comparing placental and yolk-sac viviparous elasmobranchs. *Journal of Fish Biology*, 98(3), 784-790.
- Baum JK, Worm B (2009) Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *J Anim Ecol* 78: 699–714.
- 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.
- Beck, M. W., Heck, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F., Weinstein, M. P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51: 633- 641.
- Bernal-Gutiérrez, J.E. 2017. *Edad y crecimiento del tiburón Mustelus californicus en el área de Bahía Tortugas, Baja California Sur*. Tesis maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 58 p.
- Besnard L, Lucca BM, Shipley ON, Le Croizier G, Martínez- Rincón RO, Sonke JE, Point D, Galván-Magaña F, Kraffe E, Kwon SY, Schaal G (2023) Mercury isotope clocks predict coastal residency and migration timing of hammerhead sharks. *J Appl Ecol* 60:803–813
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., Tyminski, J., Márquez, J. F., Castillo, J. L., & Cailliet, G. M. (2007). *El estado actual de los tiburones y rayas sujetos a explotación comercial en el golfo de california: una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación*. 262.

- Bonfil, R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fish. Tech. Pap 119p.
- Brusca RC, Findley LT, Hastings PA, Hendrickx ME, Torre-Cosio J, Van Der Heiden AM. 2005.
- Buddle, A. L., Van Dyke, J. U., Thompson, M. B., Simpfendorfer, C. A., & Whittington, C. M. (2018). Evolution of placentotrophy: using viviparous sharks as a model to understand vertebrate placental evolution. *Marine and Freshwater Research*, 70(7), 908-924.
- Busquets-Vass, G., Newsome, S. D., Calambokidis, J., Serra-Valente, G., Jacobsen, J. K., Aguíñiga-García, S., & Gendron, D. (2017). Estimating blue whale skin isotopic incorporation rates and baleen growth rates: Implications for assessing diet and movement patterns in mysticetes. *PLOS ONE*, 12(5), e0177880.
- Calatayud-Pavía, C. E., Mascareño Suárez, F., Brunetti, J., Eliceche, M., & Ayres, K. A. (2023). Seasonal occurrence and environmental drivers of pelagic shark species in Los Cabos, Mexico, assessed using citizen science. *Environmental Biology of Fishes*, 106(7), 1551-1567.
- Camhi, M. 1998. Sharks on the line: a state-by-state analysis of sharks and their fisheries. National Audubon Society, New York, 158.
- Carlisle, A. B., K. J. Goldman, S. Y. Litvin, D. J. Madigan, J. S. Bigman, A. M. Swithenbank, T. C. Kline Jr. & B. A. Block. 2015. Stable isotope analysis of vertebrae reveals ontogenetic changes in habitat in an endothermic pelagic shark. *Proc. R. Soc. B* 282: 20141446. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1446>

Carleton, S. A. & Martínez del Rio, C. (2005). The effect of cold induced increased metabolic rate on the rate of ^{13}C and ^{15}N incorporation in house sparrows (*Passer domesticus*). *Oecologia* 144, 226–232.

Castro, J.A. and Mejuto, J. 1995. Reproductive parameters of blue shark, *Prionace glauca*, and other sharks in the Gulf of Guinea. *Marine and Freshwater Research* 46: 967–73.

Cerutti-Pereyra, F., Salinas-De-León, P., Arnés-Urgellés, C., Suarez-Moncada, J., Espinoza, E., Vaca, L., & Páez-Rosas, D. (2022). Using stable isotopes analysis to understand ontogenetic trophic variations of the scalloped hammerhead shark at the Galapagos Marine Reserve. *Plos one*, 17(6), e0268736.

Clarke, S., Coelho, R., Francis, M., Kai, M., Kohin, S., Liu, K.M., Simpfendorfer, C., Tovar-Avila, J., Rigby, C., and Smart, J. 2015. Report of the Pacific Shark Life History Expert Panel Workshop, 28-30 April 2015. Western and Central Pacific Fisheries Commission.

Codispoti, L. A., & Christensen, J. P. (1985). Nitrification, denitrification and nitrous oxide cycling in the Eastern Tropical South Pacific Ocean. *Marine Chemistry*, 16(3), 277-300.

Compagno, L., Dando, M. y Fowler, S. (2005). *Sharks of the world*. Princeton University Press. 367 pp.

Cortés, E. 1999. Standardized diet composition and trophic level in shark. *ICES J. Mar. Sci.*, 56: 707-717.

Criss, R. E. (1999). *Principles of stable isotope distribution*. 254 pp.

Curtis, H. (1986). *Biología*. 548 pp.

Curiel-Godoy, P. 2017. *Ecología trófica de la raya guitarra Pseudobatus productus (Ayres, 1854), en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México*. Tesis maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 114 p.

Dambacher JM, Young JW, Olson RJ, Allain V and others (2010) Analyzing pelagic food webs leading to top predators in the Pacific Ocean: A graphtheoretic approach. *Prog Oceanogr* 86: 152–165.

DeNiro, M. & S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 45: 341-351.

Doño, F. 2008. Identificación y caracterización de áreas de cría del tiburón Martillo (*Sphyrna* spp.) en las costas de Uruguay. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de la República de Uruguay.

Durazo, R. 2015. Seasonality of the transitional región of the California Current System off Baja California. *Journal of geophysical Research: Oceans*, 120: 1173-1196.

Ebert, D.A., Fowler, S. and Compagno, L. 2013. *Sharks of the World. A Fully Illustrated Guide*. Wild Nature Press, Plymouth, United Kingdom.

Ellis, J. R., M. G. Pawson & S. F. Shackley. 1996. The comparative feeding ecology of six species of sharks and four species of ray (Elasmobranchii) in the north-east Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 76: 89-106.

- Estrada, A. J., A. N. Rice, L. J. Natanson & G. B. Skomal. 2006. Use of isotopic analysis of vertebrate in reconstructing ontogenetic feeding ecology in white shark. *Ecology*, 87(4). 829 – 834
- Estupiñán-Montaño, C., Galván-Magaña, F., Elorriaga-Verplancken, F., Zetina-Rejón, M. J., Sánchez-González, A., Polo-Silva, C. J., ... & Delgado-Huertas, A. (2021). Ontogenetic feeding ecology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Colombian Eastern Tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 663, 127-143.
- Estupiñán-Montaño, C., Cedeño-Figueroa, L., Estupiñán-Ortiz, J. F., Galván-Magaña, F., Sandoval-Londoño, A., Castañeda-Suarez, D., & Polo-Silva, C. J. (2019). Feeding habits and trophic level of the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae), off Ecuador. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(3), 673-680.
- Félix-López, D. G., Bolaño-Martínez, N., Díaz-Jaimes, P., Oñate-González, E. C., Ramírez-Pérez, J. S., García-Rodríguez, E., ... & Saavedra-Sotelo, N. C. (2019). Possible female philopatry of the smooth hammerhead shark *Sphyrna zygaena* revealed by genetic structure patterns. *Journal of fish biology*, 94(4), 671-679.
- Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 143-180.
- Fry, B. y C. R. Arnold. 1982. Rapid $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ turnover during growth of brown shrimp. *Oecologia*. 54: 200-204.
- Fry, B., & Sherr, B. (1984). $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicator of carbon flow in marine and freshwater ecosystem. *Contribution in Marine Science*, 13-47.

- Franks P.J.S. 1992. Phytoplankton blooms at fronts: patterns, scales, and physical forcing mechanisms. *Rev. Aqua. Sci.* 6(2): 121-137.
- Gallagher, A.J. and Klimley, A.P. 2018. The biology and conservation status of the large hammerhead shark complex: the great, scalloped, and smooth hammerheads. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 28(4): 777-794.
- Galván-Magaña, M.F. 2009. La pesquería de tiburones en Baja California Sur. En Urciaga, G.J., M.L.F. Beltrán & B.D. Lluch (Eds) Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional. CIBNOR, México, 351 p.
- García, A., & Martínez, R. (2020). "Climatic Conditions of Santa Rosalía, Baja California Sur." *Journal of Climate Studies*, 15(2), 120-135.
- Gerking, S. D. (1994). *Feeding ecology of fish*. Academic Press Inc., 416.
- Gilly WF, Markaida U, Baxter CH, Block BA, Boustany A, Zeidberg LD, Reisenbichler K, Robison B, Bazzino- Ferreri GA, Salinas-Zavala CA (2006) Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Mar Ecol Prog Ser* 324:1– 17. <https://doi.org/10.3354/meps324001>
- Graham, B. S., Koch, P. L., Newsome, S. D., McMahon, K. W., & Aurioles, D. (2010). "Using isoscapes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems." *Environmental Science and Technology*, 44(19), 7518-7524.
- Graham, B. S., Koch, P. L., Newsome, S. D., McMahon, K. W., & Aurioles, D. (2009). Using Isoscapes to Trace the Movements and Foraging Behavior of Top Predators in Oceanic Ecosystems. En J. B. West, G. J. Bowen, T. E. Dawson,

& K. P. Tu (Eds.), *Isoscapes: Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping* (pp. 299-318). Springer Netherlands.

Griffin, E., K. L. Miller, B. Freitas and M. Hirshfield. 2008. Predators as prey: Why healthy oceans need sharks. <http://na.oceana.org/en/news-media/publications/reports?page=3>. 03/07/2011.

Guest, J. R., Baird, A. H., Goh, B. P. L., & Chou, L. M. (2008). "Seasonal reproduction in equatorial reef corals." *Invertebrate Reproduction & Development*, 51(4), 253-265.

Gutierrez, D., Corripio-Gomez, D., & Berelson, W. M. (2020). Oxygen and nutrient distributions, stoichiometry and remineralization rates in the Gulf of California. *Progress in Oceanography*, 185, 102345.

Guzmán-Del Prío, S. A., S. R. Mille-Pagaza, R. Guadarrama-Granados, S. De la Campa-De Guzmán, J. Carrillo-Laguna, A. Pereira-Corona, J. Belmar-Pérez, N.J. Parra-Alcocer & A.C. Luque-Guerrero. 1991. La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. molusca: gasterópoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 36: 27-59.

Hamlett, W. C. (Ed.). (2005). Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: sharks, batoids, and chimaeras, *Science Publishers, Inc.* 395-399 pp.

Harvey, C. J., & Kitchell, J. F. (2000). A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a Lake Superior food web. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57, 9.

Heithaus MR, Frid A, Vaudo JJ, Worm B, Wirsing AJ (2010) Unravelling the ecological importance of elasmobranch. In: Carrier JC, Musick JA, Heithaus

MR (ed), Sharks and their Relatives. II. Bio- diversity, Adaptative Physiology and Conservation. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 611–636

Hobson, K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*. 120: 314-326.

Hussey, N. E., MacNeil, M. A., Olin, J. A., McMeans, B. C., Kinney, M. J., Chapman, D. D., ... & Fisk, A. T. (2012). Stable isotopes and elasmobranchs: tissue types, methods, applications and assumptions. *Journal of Fish Biology*, 80(5), 1449-1484.

IUCN SSC Shark Specialist Group. 2023. Migration Corridor Loreto - Cabo Pulmo ISRA Factsheet. Dubai: IUCN SSC Shark Specialist Group.

Jackson, A., R. Inger, A. Parnell & S. Bearhop. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *J. Anim. Ecol.* 80(3), 595-602. Doi: 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.

Johnson, R. F., Smith, A. B., & Brown, L. M. (2018). "The role of kelp forests in modulating carbon isotopic signatures in coastal ecosystems." *Marine Ecology Progress Series*, 601, 45-56.

Ketchum, J.T., Lara-Lizardi F., Trejo-Ramírez A., Hoyos-Padilla M., Bravo E., Álvarez R. y C. Peñaherrera (2020). Evaluación de la conectividad ecológica en el Pacífico Mexicano. Reporte técnico del proyecto Migravías en el Pacífico Mexicano para Fundación Marisla. Pelagios Kakunjá-MigraMar, 76p.

Landry, M. R., & Ohman, M. D. (2007). "Structure and dynamics of the pelagic ecosystem in the California Current System." *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(23-26), 2529-2543.

- Layman, C. A., M. O. Hammill, D. A. Arrington & D. B. Jepsen. 2005. Body size and trophic position in a diverse tropical food web. *Ecology*, 86: 2530-2535.
- Langton, R. W. (1982). *Fishery Bulletin*. National Marine Fisheries Service.
- Logan, J. M., & Lutcavage, M. E. (2010). Stable isotope dynamics in elasmobranch fishes. *Hydrobiologia*, 644(1), 231-244.
- Loor-Andrade, P., Galván-Magaña, F., Elorriaga-Verplancken, F. R., Polo-Silva, C., & Delgado-Huertas, A. (2015). Population and individual foraging patterns of two hammerhead sharks using carbon and nitrogen stable isotopes. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 29(9), 821-829.
- Lowe, C. G., Wetherbee, B. M., Crow, G. L., & Tester, A. L. (1996). Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in Hawaiian waters. *Environmental Biology of Fishes*, 47(2), 203-211.
- Madin, L. P., & Harbison, G. R. (1977). "Zooplankton and nekton community structure in the California Current at a site undercurrent convergence zone." *Marine Biology*, 41(4), 335-348.
- Martínez Ayala, J.C. 2018. *Ecología trófica del cazón mamón *Mustelus lunulatus* (Jordan & Gilbert, 1882) en la costa occidental de Baja California Sur, México*. Tesis maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 106 p.
- McCarthy, M. D., Benner, R., Lee, C., & Fogel, M. L. (2007). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(20), 4727-4744.
- McClelland, J. W., & Montoya, J. P. (2002). *Ecology*, 83(8), 2173-2180.

- McConnaughey, T., & McRoy, C. P. (1979). Food-Web structure and the fractionation of Carbon isotopes in the bering sea. *Marine Biology*, 53(3),
- McCutchan, J. H., W. M. Lewis, C. Kendall & C. C. McGrath. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and Sulphur. *Oikos*, 102(378): e390. doi:10.1034/j.1600-0706.2003.12098. x.
- Micheli, F., Halpern, B. S., Botsford, L. W., & Warner, R. R. (2020). Trajectories and correlates of community change in no-take marine reserves. *Ecological Applications*, 30(5), e02160.
- Morán-Villatoro, J. M. (2018). Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur [tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
<http://www.repositoriodigital.ipn.mx//handle/123456789/26227>
- Nakano, H., & Sano, M. (2021). Stable isotope analysis of elasmobranchs in the coastal waters of central Japan reveals ontogenetic shifts in trophic ecology. *Marine Ecology Progress Series*, 656, 145-156.
- Newsome, S. D., Clementz, M. T., & Koch, P. L. (2010). Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26(3), 509-572. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00354.x>
- Newsome, S. D., Rio, C. M. del, Bearhop, S., & Phillips, D. L. (2007). A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(8), 429-436.

- Nava-Nava, Prisma, & Márquez-Farías, Juan Fernando. (2014). Talla de madurez del tiburón martillo, *Sphyrna zygaena*, capturado en el Golfo de California. *Hidrobiológica*, 24(2), 129-135. Recuperado en 02 de octubre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972014000200005&lng=es&tlng=es.
- Páez-Rosas, D., Lavaniegos, B. E., Gómez-Valdés, J., & Espinoza-Marrón, A. (2015). "Isotopic niche partitioning between two apex predators over time." *Marine Biology*, 162(10), 2035-2044.
- Peterson, B. J. & B. Fry. 1987. Stable isotope in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 293-320.
- Phillips, D. L. 2001. Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique. *Oecologia*. 127: 166-170
- Post, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83(3): 703-718.
- Rau, G. H., Sweeney, R. E., & Kaplan, I. R. (1982). Deep Sea Research Part A. *Oceanographic Research Papers*, 29(8), 1035-1039
- Rau, G. H., Tetssie, J. L., Rassoulzadegan, F., & Fowler, S. W. (1990). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ variations among size fractionated marine particles: Implications for their origin and trophic relationship. 59, 33-38.
- Robles Gil, S. 1985. *Estudio geográfico del estado de Baja California Sur*. Gob. del Edo./Prog. Cult. Front., La Paz. 203 p.
- Román Reyes, J. C. (2005). Análisis del contenido estomacal y la razón de isótopos estables de carbono (^{13}C) y nitrógeno (^{15}N) del atún aleta amarilla (*Thunnus*

albacares), delfín manchado (*Stenella attenuata*) y delfín tornillo (*Stenella longirostris*) del Océano Pacífico Oriental. [Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Rosa, D., Coelho, R., Fernández-Carvalho, J., Santos, M.N. 2017. Age and growth of the smooth hammerhead, *Sphyrna zygaena*, in the Atlantic Ocean: comparison with other hammerhead species. *Marine Biology Research* 13(3): 300-313.

Sánchez-Hernández, J., Rueda-Roa, D. T., Galván-Magaña, F., & Rodríguez-Romero, J. (2017). "Interannual variability in $\delta^{15}\text{N}$ values and niche space of the white shark (*Carcharodon carcharias*) in the Gulf of California." *PLOS ONE*, 12(8), e0183076.

Sánchez-Latorre C. 2022. Cambios tróficos durante el desarrollo ontogénico del tiburón zorro *Alopias pelagicus* en ambas costas de Baja California Sur. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México.

Santamaría Del Ángel, E. M., S. Álvarez Borrego, & F. E. Müller Karger. 1995. Regiones biogeográficas del Golfo de California basadas en las imágenes del Coastal Zone Color Scanner. En: F. González Farias, & J. de la Rosa Vélez (editores), temas de Oceanografía biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California (UABC), 288 (2):63-81.

Santora, J. A., & Sydeman, W. J. (2012). "Characteristics of pelagic forage communities in the Gulf of the Farallones and adjacent areas: Relationships to environmental variables and implications for ecosystem assessment and management." *NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC*, 498, 23-43.

- Santos, C.C. and Coelho, R. 2019. Distribution patterns and indicators of the smooth hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*) in the Atlantic Ocean. *Fisheries Research* 212: 107-113.
- Schmitter-Soto J.J. 1992. Aspectos autoecológicos de los triglidos (Piscis: Scorpaeniformes) en la costa occidental de B. C. S. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN.98 pp.
- Shepherd, S. A. 1973. Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). 1. Ecology of five sympatric species. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 24:217–257.
- Shepherd, S. & P. Steinberg. 1992. Food preferences of three Australian abalone species with a review of the algal food of abalone. In: Shepherd, S., M. Tegner & S. Guzmán del Proo, editors. *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*. Oxford: Blackwell Science. pp. 169–181.
- Siqueiros-Beltrones, D., S. Guzmán & E. Serviere-Zaragoza. 2005. Main diatom taxa in the natural diet of juvenile *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Mollusca: Gastropoda) in Bahía Tortugas and Bahía Asunción. *Pac. Sci.* 59:581–592.
- 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. *South African Journal of Marine Science* 11: 31–42.
- Solís-Heredia L.E. 2022. Ecología trófica tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en dos zonas de la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Springer V.G. & J.P. Gold. 1989. *Sharks in Question*. Smithsonian Institution Press. E.U.A. 187 pp.

- Thomson DA, Findley LT, Kerstitch AN. 2000. Reef fishes of the Sea of Cortez. The rocky-shore fishes of the Gulf of California. Austin: The University of Texas Press.
- Tieszen, L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl & N. A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotope in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*. 57: 32-37.
- Torres-Orozco. E. 1993. Análisis volumétrico de la masa de agua del Golfo de California. *Tesis de Maestría*. CICESE. México. 75 p.
- Vázquez-Liñero M. 2022. Ecología trófica de la cornuda prieta *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Weigmann, S. (2016). Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *Journal of Fish Biology*, 88(3): 837–1037. <https://doi.org/10.1111/jfb.12874>.
- Wootton, R. J. (1990). Ecology of teleost fishes. 404 pp.
- Zarate-Rustrian J. 2010. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en la costa sur de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 59 p.