



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**ECOLOGÍA TRÓFICA DEL CAZÓN MAMÓN**  
*Mustelus lunulatus* (JORDAN & GILBERT, 1882)  
**EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA**  
**CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

**T E S I S**

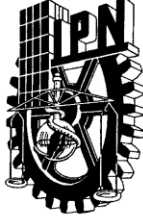
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**

Julio Cesar Martínez Ayala

LA PAZ, B.C.S., 2018





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 07 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BM. JULIO CÉSAR MARTÍNEZ AYALA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160924 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. ARTURO TRIPP VALDEZ Y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL CAZÓN MAMÓN *Mustelus lunulatus* (Jordan & Gilbert, 1882) .

EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: cesarchaneke@hotmail.es - galvan.felipe@gamil.com - atrippv@gmail.com

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

BM. JULIO CÉSAR MARTÍNEZ AYALA

*Nombre y firma del alumno*

## **Agradecimientos**

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por la aceptación y apoyo académico de alto nivel para la elaboración de la tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Institucional de Formación de investigadores (PIFI) por el apoyo económico otorgado.

Al Dr. Arturo Tripp Valdez, por la confianza brindada, por sus sugerencias para mejorar este trabajo y más que nada por la paciencia mostrada, y su apoyo incondicional durante los tiempos difíciles, mis respetos.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por el apoyo incondicional y orientación que mostró hacia mí. Gracias.

Al Dr. Alberto Sánchez por sus consejos y cooperación para llevar a cabo de una manera efectiva el análisis de isótopos estables.

A los miembros del comité de revisión del manuscrito Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas, Dr. Felipe Galván Magaña, Dr. Alberto Sánchez González, Dr. Rogelio González Armas, por el tiempo dedicado a leer y corregir con sus considerables conocimientos y experiencia esta tesis.

Al Laboratorio de Ecología de Peces y Laboratorio de Química Marina del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por facilitarme la utilización de sus instalaciones y equipo.

Al biólogo Armando Martínez Castro, M. en C. Rosario Simental Anguiano, M. en C. Sergio Briones y M. en C. Katerin Soto por la asesoría y consejos brindados en la identificación de las especies.

Al Dr. Fabián Cervantes Gutiérrez, Dra. Alejandra Murillo Cisneros por su apoyo técnico en los análisis de preparación de las muestras para los análisis de isótopos estables.

Al Lic. Humberto Ceseña Amador y al C. César Servando Casas Núñez por su ayuda en todos esos trámites tediosos y su rápida solución.

A todas las personas (pescadores de Bahía Tortugas y Punta Lobos, personal académico y administrativo de las diferentes áreas del CICIMAR: Plancton, Pesquerías, Desarrollo de Tecnologías, Oceanología, Biblioteca, Centro de Cómputo) que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

A esa persona especial que me recordó lo que se necesita para no detenerse.

**Dedicatoria**

**A mi familia**

**A mis colegas, camaradas y amigos**

**Y en especial a Mi abuelo (Francisco Ayala Guerrero)**

## Índice General

Índice de Tablas.....	ii
Índice de Figuras.....	iii
Glosario.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
Antecedentes.....	6
Justificación.....	8
Objetivo.....	9
Objetivos específicos.....	9
Materiales y Métodos.....	10
Resultados.....	23
Análisis de contenidos estomacales.....	23
Análisis de Isotopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ .....	43
Discusión .....	60
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	77
Literatura.....	78
Anexos.....	88

## Índice de Tablas

Tabla 1.- Número de muestras por año.....	22
Tabla 2.- Resultados de método numérico e índice de importancia de Bahía Tortugas y Punta Lobos.....	25
Tabla 3.- Promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ bajo efectos con y sin lípidos y urea .....	44
Tabla 4.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por sexo a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.....	46
Tabla 5.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por sexo a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos .....	48
Tabla 6.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por estadio de madurez a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.....	50
Tabla 7.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por estadio de madurez a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos.....	52
Tabla 8.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por temporada a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.....	54
Tabla 9.- Niveles tróficos de <i>Mustelus lunulatus</i> por temporada a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos.....	56
Tabla 10.- Porcentaje medio de la contribución de presas a la dieta de <i>Mustelus lunulatus</i> con base en el modelo de mezcla para el área de Bahía Tortugas. ....	57
Tabla 11.- Porcentaje medio de la contribución de presas a la dieta de <i>Mustelus lunulatus</i> con base en el modelo de mezcla para el área de Punta Lobos. ....	59



## Índice de Figuras

Figura 1.- <i>Mustelus lunulatus</i> (Jordan & Gilbert, 1882) Foto por Robertson (2016).....	2
Figura 2.- Área de estudio: Bahía Tortugas y Punta Lobos.....	11
Figura 3.- Gráfico propuesto por Amundsen <i>et al.</i> (1996) para analizar la estrategia alimentaria. CEF = componentes interindividuales, CDF = componentes intraindividuales.....	17
Figura 4.- Porcentaje de llenado de los estómagos con alimento de <i>Mustelus lunulatus</i> .....	23
Figura 5.-Curva de diversidad acumulada Bahía tortugas.....	28
Figura 6.- Índice de Importancia de presa específico Bahía Tortugas (PSIRI).....	28
Figura 7.- Curva de diversidad acumulada Punta Lobos .....	29
Figura 8.- Índice de Importancia de presa específico de Punta Lobos (PSIRI).....	30
Figura 9.- Índice de Importancia de presa específico por sexo en Bahía Tortugas (PSIRI).....	32
Figura 10.- Índice de Importancia de presa específico por sexo Punta Lobos (PSIRI).....	34
Figura 11.- Índice de Importancia de presa específico por temporada: cálida y fría, Bahía Tortugas (PSIRI).. ..	36
Figura 12.- Índice de Importancia de presa específico por temporada: cálida y fría, en Punta Lobos (PSIRI) .....	38
Figura 13.- Índice de Importancia de presa específico por estadio de madurez: inmaduro y maduro en Bahía Tortugas (PSIRI).....	40
Figura 14.- Índice de Importancia de presa específico por estadio de madurez: inmaduro y maduro en Punta Lobos (PSIRI).....	42
Figura 15.- Amplitud trófica y traslapo trófico de hembras y machos de <i>Mustelus lunulatus</i> en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan las hembras y los puntos rojos los machos.....	45
Figura 16.- Amplitud trófica y traslapo trófico de hembras y machos de <i>Mustelus lunulatus</i> en Punta Lobos. Los puntos negros representan las hembras y los puntos rojos los machos.....	47

Figura 17.- Amplitud trófica y traslapo trófico de inmaduros y maduros de <i>Mustelus lunulatus</i> en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan los inmaduros y los puntos rojos los maduros.....	49
Figura 18.- Amplitud trófica y traslapo trófico de inmaduros y maduros de <i>Mustelus lunulatus</i> en Punta Lobos. Los puntos negros representan los inmaduros y los puntos rojos los maduros.....	51
Figura 19.- Amplitud trófica y traslapo trófico de <i>Mustelus lunulatus</i> entre temporadas cálida y fría en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan los organismos muestreados durante la temporada cálida y los puntos rojos los organismos muestreados durante la temporada fría.....	53
Figura 20.- Amplitud trófica y traslapo trófico de <i>Mustelus lunulatus</i> entre las temporadas cálida y fría en Punta Lobos. Los puntos negros representan los organismos muestreados durante la temporada cálida y los puntos rojos los organismos muestreados durante la temporada fría.....	55
Figura 21.- Contribución de las presas en la dieta de <i>M. lunulatus</i> de Bahía Tortugas, con base en la utilización del Modelo de mezcla MixSiar, las áreas de las cajas representan el 95 (caja central), 75 y 50% de los intervalos de confianza de la contribución probable de cada pesa a la dieta.....	57
Figura 22.- Contribución de las presas en la dieta de <i>M. lunulatus</i> de Punta Lobos, con base en la utilización del Modelo de mezcla MixSiar, las áreas de las cajas representan el 95 (caja central), 75 y 50% de los intervalos de confianza de la contribución probable de cada pesa a la dieta.....	58

## **Glosario.**

**DEPREDADOR ESPECIALISTA:** Organismo que utiliza un número bajo de recursos y presenta mayor preferencia por algunos componentes en particular (Gerking, 1994).

**DEPREDADOR GENERALISTA:** Organismo que utiliza una gran variedad de recursos alimenticios sin ninguna selección (Gerking, 1994).

**DEPREDADOR OPORTUNISTA:** Organismo que incluye en su dieta, una variedad de recursos que se encuentran disponibles en su hábitat (Gerking, 1994).

**ECOLOGÍA TRÓFICA:** El estudio de los organismos y sus interacciones alimenticias (Presa-depredador) en un ecosistema dado, bajo la perspectiva funcional.

**ESPECTRO TRÓFICO:** Total de componentes alimentarios de la dieta de un organismo (Day et al., 1989).

**ESPECTRÓMETRO DE MASAS DE RAZONES ISOTÓPICAS:** Instrumento analítico de gran precisión que se utiliza para medir la razón isotópica de una muestra relativa a un estándar ( $\delta$ ). (Roman-Reyes, 2005).

**ENRIQUECIMIENTO ISOTÓPICO:** Diferencia entre la razón isotópica de un animal y su dieta. Los isótopos más pesados de un elemento se incrementan en abundancia en relación a los isótopos ligeros debido a los procesos de discriminación isotópica (Peterson y Fry, 1987).

**ISÓTOPO ESTABLE:** Es un isótopo que posee gran energía de enlace que no permite que el núcleo sea separado en sus partículas individuales, y a la razón  $N/Z+$  que debe ser aproximadamente inferior a 1-1.5 (Criss, 1999).

**NIVEL TRÓFICO:** Posición o categoría en la que se clasifica un determinado organismo dentro de la cadena trófica; dicha posición está dada de acuerdo a la manera en la cual obtiene su materia y energía (Gerking, 1994).

## Resumen

El cazón *Mustelus lunulatus*, es una especie importante en las pesquerías artesanales de la costa occidental de Baja California Sur; sin embargo, no se tienen suficientes registros de su ecología trófica, lo cual es necesario para la comprensión de su hábitat y su relación con sus presas. Se usó el análisis de contenidos estomacales e isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para conocerla ecología trófica de esta especie. Las muestras se obtuvieron en los campos pesqueros de Punta Lobos y Bahía Tortugas, Baja California Sur, México, durante los años 2013-2017. El espectro trófico estuvo integrado por tres especies de cefalópodos, 29 especies de crustáceos y nueve especies de peces. De acuerdo con el índice de importancia relativa de presa específica (PSIRI), en la zona de Bahía Tortugas, la langostilla *Pleuroncodes planipes* fue la especie presa más importante (39.94% PSIRI) seguida del crustáceo *Hemisquilla californiensis* (19.46%); mientras que para Punta Lobos la especie *Platymera gaudichaudii* fue la más importante (25.87%), además de dos especies pertenecientes a los géneros *Achelous* spp. (4.43%) y *Portunus* spp. (4.49%), obteniendo un nivel trófico que osciló entre 3.7 y 3.85 en ambas zonas. La dieta fue similar en las dos zonas durante las temporadas (cálida y fría), ambas determinadas mediante la detección de anomalías de temperatura superficial del agua de mar en estas zonas. El análisis isotópico a partir de muestras de músculo de *M. lunulatus* capturados en Bahía Tortugas mostró valores de  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-16.60 \pm 0.93$  ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$ :  $15.89 \pm 1.89$  ‰; mientras que en Punta Lobos los promedios fueron  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-16.22 \pm 0.73$  ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$ :  $18.22 \pm 0.76$  ‰. Dentro de cada categoría (sexo, estadio de madurez, temporada) no se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos. Usando el modelo de mezcla, para Bahía Tortugas la especie presa *Callinectes* spp. fue la más representativa y para Punta Lobos, las especies presa pertenecientes a la familia Cancridae, fueron las de mayor aporte a la dieta de *M. lunulatus*.

**Palabras clave:** *Mustelus lunulatus*, ecología trófica, contenidos estomacales, PSIRI, isótopos estables, modelo de mezcla, Baja California Sur, México.

## Abstract

The dogfish *Mustelus lunulatus*, is an important species in the artisanal fisheries of the western coast of Baja California Sur; however, there are not enough records of its trophic ecology. Which is necessary for the understanding of its habitat and its relationship with its prey. The analysis of stomach contents and stable isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  was used to know its trophic ecology. The samples were obtained in the fishing fields of Punta Lobos and Bahía Tortugas, Baja California Sur, Mexico during the years 2013-2017. The trophic spectrum consisted of 3 species of cephalopods, 29 species of crustaceans and 9 species of fish. According to the relative prey index of relative prey (PSIRI), in the area of Bahía Tortugas, the lobster *Pleuroncodes planipes* was the most important prey species (39.94% PSIRI) followed by the crustacean *Hemisquilla californiensis* (19.46%); while for Punta Lobos the species *Platymera gaudichaudii* was the most important (25.87%), in addition to two species belonging to the genera *Achelous* spp. (4.43%) and *Portunus* spp. (4.49%), obtaining a trophic level that ranged between 3.7 and 3.85 in both areas. The diet was similar in both areas during the seasons (Warm and Cold), both determined by detecting sea surface temperature anomalies in both areas. The isotopic analysis from muscle samples of *M. lunulatus* captured at Bahía Tortugas showed values of  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-16.60 \pm 0.93$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $15.89 \pm 1.89$  ‰; while in Punta Lobos the averages were  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-16.22 \pm 0.73$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $18.22 \pm 0.76$  ‰. Within each category (sex, stage of maturity, season) no significant differences were found in the isotopic values. Using the mixing model, for Bahía Tortugas the prey species *Callinectes* spp. it was the most representative and for Punta Lobos, the prey species belonging to the Cancridae family were the ones with the greatest contribution to the diet of *M. lunulatus*.

Key words: *Mustelus lunulatus*, trophic ecology, stomach contents, PSIRI, stable isotopes, mixing model.

## Introducción

Como consecuencia del aumento en el esfuerzo pesquero, los océanos del mundo han perdido más del 90% de la abundancia de grandes depredadores como los tiburones, estos organismos por sus características biológicas pueden considerarse como uno de los grupos de organismos más vulnerables ante las pesquerías (Carrier *et al.*, 2004). Sin embargo, entre los tiburones hay una gran variedad de niveles de productividad biológica, por consiguiente, distinta capacidad de recuperación ante alteraciones poblacionales (Castillo-Geniz y Tovar-Avila, 2016).

En Baja California Sur la captura de elasmobranquios de importancia comercial se integra de un total de 37 especies de tiburones y una especie de batoideo (*Rhinobatos productus*) (Villavicencio-Garayzar, 1996) y durante los últimos treinta años han operado al menos tres tipos de pesquerías que capturan tiburones de diversas especies en las costas de Baja California y Baja California Sur, incluido el litoral del Golfo de California: la pesquería artesanal de tiburones con redes y anzuelos (palangre) en ambos litorales del estado; la pesca oceánica y costera de pez espada y tiburones en la costa occidental de Baja California realizada por una flota de mediana altura y la pesca de arrastre de escama marina con embarcaciones de mediana altura (Castillo-Geniz y Tovar-Avila, 2016).

Las especies de tiburones pelágicos más abundantes y por ende las de mayor importancia pesquera en la costa occidental de Baja California Sur son: el tiburón azul, *Prionace glauca* y el tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (Jaime-Rivera, 2004). Sin embargo, la diversidad de especies de tiburones en las capturas de pesca artesanal es mayor, ya que no sólo se pesca con anzuelos, sino también con redes de enmalle de fondo. De este modo, las capturas incidentales de tiburones como el martillo *Sphyrna zygaena*, el tiburón sulfín *Galeorhinus galeus*, los cazones pertenecientes al género *Mustelus* y el tiburón angelito *Squatina californica*, suman un número considerable de organismos en las capturas de esta pesquería (Castillo-Geniz y Tovar-Avila, 2016).

El género *Mustelus* es un grupo de tiburones que aporta uno de los mayores volúmenes de captura en el Pacífico mexicano. Dentro de este grupo, se encuentra la especie *Mustelus lunulatus* la cual forma parte del recurso pesquero en B.C.S. (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013). Esta especie se distribuye desde el sur de California hasta Panamá, incluyendo la isla Malpelo en Colombia. Habita en los fondos de la plataforma continental y cerca de la costa (a una de profundidad 0-200 m), es una especie vivípara aplacentada, presenta un cuerpo alargado, delgado y ojos horizontales ovalados, dientes molariformes y asimétricos con cúspide reducida a un punto bajo, cúspides ausentes, excepto en tiburones jóvenes, condición de dentículos bucofaríngeos desconocido, lóbulo caudal ventral fuertemente falcado en adultos, color uniforme gris o gris-marrón arriba, luz abajo, sin manchas blancas o negras o barras oscuras (Fig. 1). Es utilizado para consumo humano y alcanza una longitud máxima de hasta 175 cm (Compagno, 1984).

Se ha estimado que para *M. lunulatus* en el norte del Golfo de California las hembras se reproducen anualmente, con una gestación de aproximada de 11 meses, siendo la maduración para las hembras y los machos a los 103 y 91 cm LT, respectivamente (Pérez-Jiménez *et al.*, 2010). En B.C.S., *M. lunulatus* es comúnmente llamado cazón mamón. En el Golfo de California, esta especie se captura durante todas las temporadas de pesca excepto durante los meses de mayo a agosto, durante los cuales se encuentra en veda (DOF: 11/06/2012), además se captura con palangres de fondo en el Pacífico central mexicano (Pérez-Jiménez *et al.*, 2005).



Figura 1.- *Mustelus lunulatus* (Jordan y Gilbert, 1882) Foto tomada de Robertson (2016)

Además de su valor comercial, *M. lunulatus* tiene un papel ecológico importante en el sistema bento-pelágico, debido a su condición de depredador, por lo que las evaluaciones sobre aspectos biológicos como reproducción, crecimiento y alimentación de ésta, resultan ser relevantes tanto en el contexto pesquero como ecológico (Navia *et al.*, 2006). Con respecto a los estudios de alimentación, es necesario mencionar que este tipo de investigaciones, aportan de forma integral información biológica básica necesaria para conocer las vías del flujo energético entre las comunidades; asimismo permite comprender las interacciones que se establecen entre las especies como la depredación y la competencia (Galván *et al.*, 1989), lo que puede aportar información para establecer posibles zonas de alimentación o zonas de alta producción, estableciendo bases para un mejor manejo de las especies que constituyen los recursos pesqueros importantes.

Uno de los métodos de mayor uso para la caracterización del espectro trófico es el método conocido como análisis de contenido estomacal, esta metodología permite describir el alimento de un organismo en el periodo entre la ingesta y la digestión, aunque puede no ser apto para explicar los patrones de alimentación en una ventana de tiempo mayor, lo que resulta en una limitante en su aplicación para determinar las interacciones tróficas en los ecosistemas (Vander-Zanden *et al.*, 1997); sin embargo si el número de muestras obtenidas es alto y tomadas durante un lapso de tiempo amplio, este método podría explicar mejor dichos patrones.

En complemento, el análisis de isótopos estables ofrece una amplia representación de las fuentes nutricionales (desde la base de la cadena alimenticia), que están siendo aprovechadas proporcionando una descripción integrada en el tiempo de las relaciones tróficas basadas en la dieta asimilada, por lo que brinda información dentro de una ventana de tiempo mayor (Chips y Garvey, 2006). Además, este análisis es una herramienta útil para describir y determinar el flujo energético a través de las redes tróficas y puede ser usada para conocer el origen del alimento asimilado, además de poder definir el hábitat en el cual un depredador está consumiendo su alimento (Harrigan *et al.*, 1989).



Los isótopos más utilizados en la elaboración de trabajos de ecología trófica son  $\delta^{15}\text{N}$  y el  $\delta^{13}\text{C}$ . El valor del isótopo de  $\delta^{15}\text{N}$  es utilizado para determinar las relaciones alimenticias y tróficas entre depredadores y sus presas, debido a que existe un enriquecimiento significativo entre el organismo y su dieta (alrededor de 2-4 ‰). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  son utilizados para determinar las fuentes de energía, ya que el  $\delta^{13}\text{C}$  presente en un ser vivo representa el carbono que contiene su dieta (Créach *et al.*, 1997). Por consiguiente, con ayuda de estas medidas de las razones de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ;  $\delta^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$  se ha incrementado el conocimiento de sitios de alimentación y el flujo de energía en ecosistemas acuáticos. Estas medidas de razones de isótopos estables son obtenidas a partir del tejido de los organismos, en la mayoría de los casos, los tejidos de los consumidores están enriquecidos en isótopos pesados de carbono y nitrógeno (C, N) asociados a sus dietas.

El análisis de isótopos de estos dos elementos es de gran utilidad en la determinación de las fuentes principales de presa/alimento consumido tanto para carnívoros como para herbívoros en diversos ecosistemas (Michener y Schell, 1994; Kelly, 2000). Cabe mencionar que la relación entre los isótopos estables de carbono y nitrógeno constituye una herramienta efectiva para la discriminación entre presas de diferente origen (Chamberlain *et al.*, 2005).

Algunas de las desventajas que tiene esta herramienta son la baja resolución taxonómica, por lo cual se logran determinar valores de razones isotópicas a nivel de orden y familia, inclusive a nivel de grupo (peces, crustáceos, cefalópodos, etc.). Otra desventaja es la alta variabilidad de las razones isotópicas en el ambiente y en los organismos, las cuales pueden afectar estas razones de forma directa e indirecta (Kim y Koch, 2012).

Dentro de la variabilidad de estas razones isotópicas en los organismos se encuentra la propia fisiología de cada grupo animal, en este caso para los tiburones es importante tener en cuenta la presencia de urea y lípidos, por lo que es necesario llevar a cabo técnicas de extracción dependiendo del tipo de tejido que se utilice como material de estudio. La urea puede sesgar los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , debido a que el

enriquecimiento en  $^{14}\text{N}$ , puede presentar valores más negativos del  $\delta^{15}\text{N}$  (Kim y Koch, 2012).

Para contrarrestar la desestabilización de la proteína causada por las altas concentraciones de urea, los elasmobranquios también deben sintetizar o ingerir N-óxido de trimetilamina (TMAO) ( $\text{C}_3\text{H}_9\text{NO}$ ) que probablemente tenga una composición isotópica diferente que la proteína. Las concentraciones de urea y TMAO en los tejidos del cuerpo fluctúan según la salinidad ambiental (Kim y Koch, 2012).

En este contexto, además de determinar si es significativa dicha desestabilización por parte de la urea en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , el objetivo de la presente investigación es determinar la ecología trófica del cazón mamón (*M. lunulatus*), con el fin de lograr un entendimiento adecuado de las conexiones entre este depredador y sus presas, así como la variación interespecífica en su alimentación.

## Antecedentes

Gómez *et al.* (2003) durante junio de 1988 a julio de 1992 realizaron muestreos no continuos en el Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano donde se colectó información sobre el contenido estomacal de *M. lunulatus* y *M. henlei*. En general estas especies se alimentaron preferencialmente de crustáceos (93%), consumiendo principalmente las especies *Portunus iridiscens*, *S. panamensis* e *Hipoconcha panamensis*, en segundo lugar, se encontraron moluscos cefalópodos de la familia Loliginidae (4%) y en menor proporción peces (2%); el restante correspondió a materia orgánica no identificada (MONI).

Navia-López *et al.* (2006) analizaron especímenes de *M. lunulatus* capturados en las faenas de pesca de arrastre de un barco camaronero en la zona central del Pacífico colombiano, se identificaron 13 ítems alimentarios en el contenido estomacal, siendo los estomatópodos (*Squilla panamensis* y *S. parva*) el grupo taxonómico dominante en número y peso.

Rojas (2006) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, reportó que *Mustelus dorsalis* es carnívoro polífago, y que, al igual que muchos tiburones, presenta un carácter oportunista, en este caso con una clara tendencia carcinófaga, donde el espectro alimentario incluyó peces (*Anchoa* spp. *Caranx* spp, *Lujanus* spp., *Engraulis* spp. y *Ophistonema* spp.), crustáceos (*Squilla hancocki*, *S. parva* y *Farfantepenaeus* spp.) y cefalópodos (*Octopus* spp.). *Squilla hancocki* se constituyó como la especie presa más importante.

Navia-López (2009) realizó un estudio sobre la alimentación de *Mustelus henlei* y *Mustelus lunulatus*, donde menciona que en el Pacífico colombiano la dieta de *M. lunulatus* es heterogénea, siendo preferencial por un tipo de alimento (estomatópodos); mientras que las demás categorías de alimento se consideran raras. La importancia alimentaria de los estomatópodos en la dieta de *M. lunulatus* se ha determinado con base a la frecuencia de ingesta y a la cantidad de animales

ingeridos, ya que se ha determinado que *Squilla panamensis* representa el 63% de su dieta. Los valores de amplitud calculados indican que *M. lunulatus* es la especie de más alta especialización trófica (menor amplitud de nicho), a pesar de tener el mayor número de presas identificadas en su dieta comparado con *M. henlei*.

En cuanto a los antecedentes en aguas mexicanas, la información es muy escasa; en el INAPESCA (2006) se reportó que *M. lunulatus* y *M. henlei* forman parte de la pesquería multiespecífica artesanal en el océano Pacífico y el Golfo de California. La importancia de esta pesquería va desde el punto de vista alimenticio y laboral. Su valor comercial varía por el tipo de carne, aletas y tamaño. Algunas de las especies que son capturadas sustancialmente de forma estacional son el cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio* y otros cazones mamones (*Mustelus* spp.). Estas especies son muy características por las migraciones estacionales masivas al interior del Golfo de California. Dichas migraciones son conocidas como "corridas", las cuales se dan de manera estacional (Márquez-Farías, 2002).

En el caso de *M. lunulatus*, se posiciona en segundo lugar (12.62%) de incidencia pesquera en el Golfo de California después de *M. henlei* (60.33%); mientras que Márquez-Farías, (2002) reportó que *M. lunulatus* en el Pacífico mexicano, es una de las especies con baja frecuencia en registros. Además, mencionó que para años anteriores a 2002 la información sobre *M. lunulatus* es nula o no existe información disponible.

El único antecedente publicado sobre los hábitos alimentarios de *M. lunulatus* es el trabajo desarrollado por Moreno-Sánchez *et al.* (2012) quienes caracterizaron la dieta del cazón mamón en la Isla El Pardito, Baja California Sur, México, en donde se colectaron un total de 40 estómagos, reportándose que su dieta incluyó 21 componentes alimenticios; donde peces y crustáceos fueron los grupos taxonómicos más importantes ya que representaron el 97% del espectro trófico. Por número y peso, las presas más importantes en los estómagos fueron *Munida tenella*, *Decapтерus* spp., *Hemisquilla californiensis* y *Cancer amphioetus*.

## Justificación

En México, la falta de medidas de manejo pesquero adecuadas para tiburón ha tenido como consecuencia un incremento pesquero desordenado, que ha resultado en una presión excesiva sobre este recurso. Este tipo de pesquerías explota una gran variedad de especies, además emplean artes de pesca múltiples con diferente selectividad, situación que dificulta la obtención de información (Ramírez-Amaro, 2011), resultando en la disminución de las abundancias de los grandes tiburones en las últimas décadas, obligando a las pesquerías tanto de mediana altura como ribereñas a pescar especies de elasmobranquios que con anterioridad no se pescaban, siendo en su mayoría especies costeras. Una de las cuales es *Mustelus lunulatus*, una especie presente en las pesquerías de tiburones del Pacífico mexicano, lo que significaría que, en un futuro próximo, la pesquería podría enfocarse sobre esta especie, así como en otras de hábitos similares, significando una posible amenaza para sus poblaciones.

La especie *M. lunulatus* mantiene una relación ecológica estricta con otras especies (depredador-presa) lo cual, posiciona a esta especie como un depredador tope en el hábitat bento-pelágico, asimismo mantiene el equilibrio de esta red tan compleja, además de formar parte de la pesquería artesanal en la costa occidental de Baja California Sur como una de las especies de importancia comercial. Por ello es necesario generar información sobre los aspectos de biología básica para esta especie, como lo es su espectro trófico (Ramírez-Amaro, 2011).

## **Objetivo general**

Caracterizar la ecología trófica del cazón mamón *Mustelus lunulatus* (Jordan & Gilbert, 1882) en la costa occidental de Baja California Sur, México.

## **Objetivos específicos**

I.- Determinar y cuantificar la composición específica del espectro trófico de la especie *M. lunulatus*.

II.- Determinar las presas principales en la dieta del cazón mamón *M. lunulatus* con base en el contenido estomacal y de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

III. Estimar el posible traslapo trófico entre sexos y estadios de madurez sexual (maduros e inmaduros) a través de los análisis de contenido estomacal y valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

IV.- Determinar el nivel trófico promedio de *M. lunulatus*, con base en el contenido estomacal y analizando los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el tejido muscular de esta especie y de sus presas principales.

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio.**

La costa occidental de la península de Baja California está influenciada principalmente por la Corriente de California, que sigue una dirección paralela a la costa hasta llegar casi al extremo sur de la península. Esta corriente se origina aproximadamente a los 48°N como una extensión de la corriente de las Aleutianas y se caracteriza por aguas frías y de baja salinidad. La temperatura media anual es de 18°C y la salinidad de <35 ups (Sverdrup *et al.*, 1942; Álvarez-Sánchez, 1977; Hernández-Aguilar, 2008). La masa de agua que se encuentra frente a la costa occidental de Baja California está incluida en el Círculo del Pacífico Norte, la cual fluye hacia el Sur. Esta corriente en conjunto con la corriente de Davidson (Cervantes-Duarte, 1988) y la corriente Norecuatorial, transportan aguas de origen tropical que están caracterizadas por presentar valores altos de temperatura y salinidad, así como niveles bajos de oxígeno disuelto (Robles-Gil, 1985).

A lo largo de la costa de Baja California, los vientos que vienen del norte y del noroeste son de gran importancia ya que mueven las aguas de manera paralela a la costa y con la influencia que ejerce la rotación de la tierra, las aguas superficiales se dirigen hacia la zona oceánica, las cuales se reemplazan por aguas frías y de mayor salinidad que provienen de profundidades de aproximadamente 200 m., dando como resultado surgencias, las cuales tienen efectos importantes en el ecosistema, ya que aportan nutrientes a la capa superficial quedando disponibles para la producción orgánica primaria (Rueda, 1983).

Estos fenómenos ocurren con frecuencia, en una zona ubicada a la altura de Cabo Colonet cerca de la Bahía de Sebastián Vizcaíno, la cual se caracteriza por su dinámica de circulación, en donde se presenta un giro anticiclónico. Este giro ha sido descrito a partir de distribuciones de los campos de temperatura, salinidad y corrientes. Se ha estimado que el giro tiene un diámetro de 50 a 65 km y se extiende hasta una profundidad de 60 a 70 m (Groves y Reid, 1958; Scripps Institution of Oceanography , 1962; Wyllie, 1960; Amador-Buenrostro, 1995) con velocidades en su periferia de hasta 0.70 ms<sup>-1</sup>.

Se realizaron muestreos biológicos de tiburones capturados en la pesca artesanal desembarcada en campos pesqueros de la costa occidental de Baja California Sur (B.C.S.), principalmente en Punta Lobos ( $23^{\circ} 25' N$ ,  $110^{\circ} 14' W$ ) y Bahía Tortugas ( $27^{\circ} 41' N$ ,  $114^{\circ} 53' W$ ) (Fig. 2).

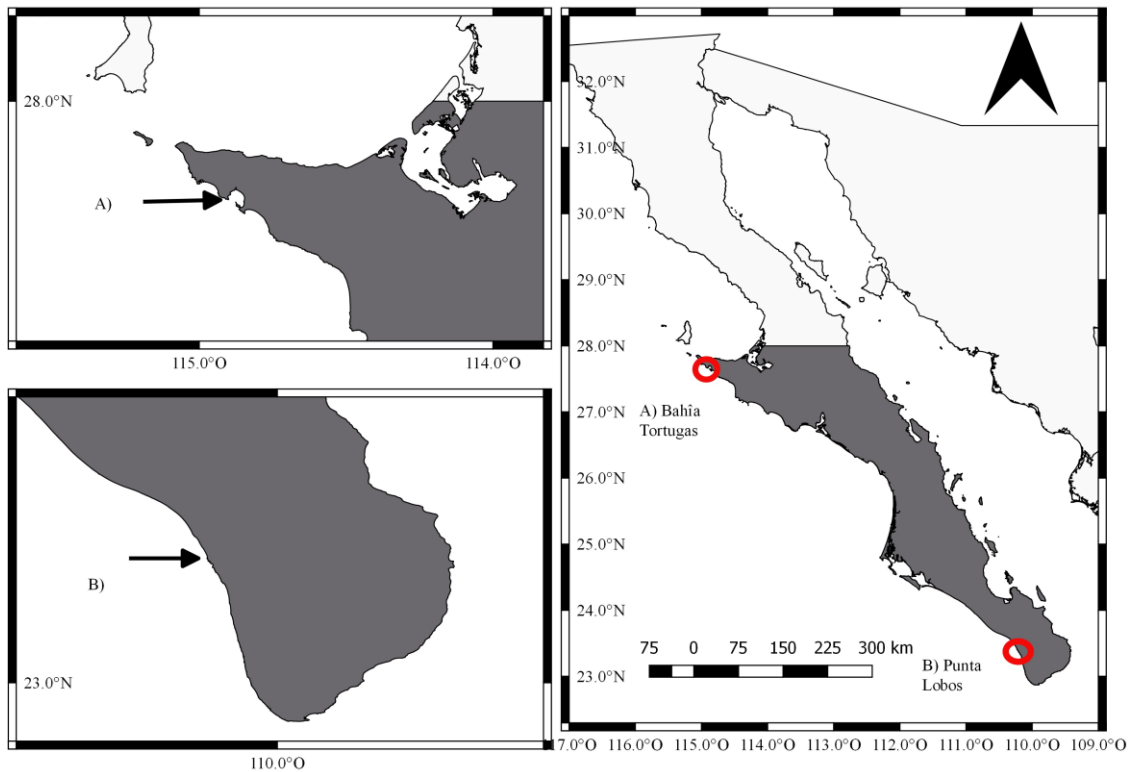


Figura 2.- Área de estudio: Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B)

### Trabajo en campo

En total se recolectaron 120 estómagos y 171 muestras de músculo durante el periodo 2013-2017. Los estómagos se obtuvieron mediante un corte ventral al tiburón desde la altura del esófago hasta la cloaca, también fueron obtenidos los datos morfométricos: longitud total y longitud precaudal, así como los datos biométricos (sexo y estadio de madurez), la madurez sexual, se clasificó en maduros e inmaduros de acuerdo a lo reportado por Pérez-Jiménez *et al.* (2010), donde los organismos hembra de esta especie mayores e iguales a 103 cm fueron considerados maduros; mientras que para los machos la talla para categorizarlos



como maduros es mayor e igual a 91 cm, siendo aquellos organismos inferiores a estas longitudes inmaduros, aunque es importante tener en consideración que otras especies de elasmobranquios maduran a un tamaño menor, por lo que también es importante obtener información sobre las características morfométricas en machos como, la longitud del gonopterigio, su rotación y calcificación; mientras que en las hembras depende del estado de los ovarios o de las marcas de cortejo. Las muestras fueron puestas en hielo para su transporte al Laboratorio de Ecología de Peces de CICIMAR en La Paz, B.C.S., donde fueron congeladas y procesadas.

### **Trabajo de laboratorio**

Se calculó la porción de llenado de acuerdo con la escala propuesta por Stillwell y Kohler (1982): donde el grado 0= indicó un estómago vacío, el grado 1 es aquel estómago que se encontró al 25% de llenado; el grado 2 fueron los estómagos que se encontraron al 50% de llenado; el grado 3, aquel estómago que se encontró al 75% de llenado y por último el grado 4, aquellos estómagos que se encontraron totalmente llenos. El contenido estomacal se separó por grupo taxonómico de presas y se identificó al taxón mínimo posible utilizando las claves de identificación de Clothier y Baxter (1969), Alvares *et al.* (2014) y Fischer *et al.*, (1995). También se utilizó la colección de esqueletos de peces del laboratorio de CICIMAR. Los crustáceos y sus restos se identificaron por medio de los exoesqueletos utilizando las claves de Garth y Stephenson (1996). Al realizar la clasificación e identificación, las especies presa o ítems alimentarios fueron pesados en una balanza analítica Oertling OB152 max 1500 g, así como la cuantificación de cada uno de los individuos correspondientes a cada ítem alimentario.

Para el caso del tejido muscular del depredador, este fue lavado con agua destilada quitando impurezas y obtenido en promedio 2 g de músculo y depositándolos en viales, esto se hizo también para los músculos de las presas encontradas en los contenidos estomacales, siempre y cuando el estado de digestión lo permitiera.

**Análisis de datos:**

Con el fin de poder realizar la comparación por categoría de temporada, la cual se dividió en cálida y fría. Fueron utilizados los datos de temperatura superficial del agua, obtenidos de la página EDDRAP perteneciente a la NOAA. Posteriormente se calcularon los promedios de temperatura superficial del agua por día y mes identificando las anomalías de temperatura. Con ellas se construyó un histograma para ambas zonas de estudio, permitiendo identificar a qué temporada pertenecieron los meses de cada año en los cuales se realizaron los muestreos biológicos, separando así las muestras por temporada cálida y fría.

Utilizando el Software estadístico EstimateS Versión 8.2.0, se determinó el tamaño mínimo de muestra necesario para representar de manera adecuada la dieta de esta especie. Para lo cual se construyeron curvas de diversidad acumulada, utilizando la información de las presas que fueron encontradas en los contenidos estomacales, esto estimando el índice de diversidad de Shannon-Wiener para cada estómago y mediante una aleatorización de datos se construyó una curva acumulada, donde una dieta bien representada alcanzó un valor asintótico con el coeficiente de variación (CV)  $<0.05$ , de tal forma que al aumentar el número de estómagos, ya no se observara un cambio significativo en la diversidad de presas.

**Métodos cuantitativos:**

Después de concluir con los análisis cualitativos (trabajo taxonómico) se procedió a efectuar los análisis cuantitativos correspondientes con la finalidad de conocer su contribución en el espectro trófico del cazón mamón, para lo cual se emplearon los métodos que a continuación se enlistan:

### **Método numérico**

El porcentaje en número se empleó para separar los componentes de cada muestra de estómago, en categorías de alimento, compilando el número total de individuos de cada una y expresándolo como un porcentaje del número total de individuos por categoría de alimento (Peláez, 1997):

$$\%N = (N_i/NT) * 100$$

Dónde: %N= Porcentaje en número; Ni= Número total de individuos de cada categoría o i especie; NT= Número total de individuos.

### **Método Gravimétrico**

Con este método se obtuvo el peso de los contenidos estomacales, para lo cual se sumaron los pesos de cada componente alimenticio de los diferentes estómagos, expresándose como el porcentaje de la suma total de todos los componentes alimenticios, para todos los estómagos (Peláez, 1997).

$$\%P = (P_i/PT) * 100$$

dónde: %P= Porcentaje en peso; Pi= Peso de una presa en la muestra; PT= Peso total de las diferentes presas encontradas en las muestras.

### **Método de frecuencia de aparición.**

Con este método se registró la ocurrencia con la que se presentó cada componente alimentario, el cual fue expresado como porcentaje de la totalidad de estómagos con alimento (Peláez, 1997). Este índice se calculó mediante esta fórmula:

$$FO\% = (N_i/NT) * 100$$

dónde: FO= Frecuencia de Aparición; Ni= Número de tractos que tenían el mismo componente; NT= Número de tractos con alimento.

## PSIRI

Para determinar la importancia de cada componente alimentario encontrado en los estómagos de *M. lunulatus*, se utilizó el Índice de importancia relativa de la presa de mayor importancia (%PSIRI), propuesto por Brown *et al.* (2011).

Se usó: la frecuencia de ocurrencia (FO), el porcentaje promedio de abundancia de los individuos por componente alimenticio (%  $A_i$ ) y la abundancia de presas específicas (%  $PA_i$ ) en donde tanto la FO como la %  $A_i$  y %  $PA_i$  son calculadas respectivamente con las ecuaciones siguientes:

Frecuencia de ocurrencia FO ( $FO_i$ ):

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

Porcentaje promedio del número de individuos por componente alimenticio (%  $N_i$ , %  $W_i$ ):

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

Abundancia de presas específicas (%  $PN_i$ , %  $PW_i$ ):

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

En donde para el caso de las fórmulas anteriores:

%  $A_{ij}$  = Abundancia (por recuentos o pesos) de la presa en la categoría i en un estómago de la muestra j

$N_i$  = Número de estómagos que contiene la presa i

n = Número total de estómagos

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

## Índices ecológicos

### Amplitud de nicho trófico (Índice de Levin) y Estrategia alimenticia (Método de Amundsen)

Una vez obtenidos los valores de las abundancias de cada presa en la dieta se calculó la amplitud del nicho trófico ( $B_i$ ) utilizando el índice estandarizado de Levin (Krebs, 1999). Este índice va del cero a uno, donde los valores de  $B_i$  son cercanos a cero, el depredador se considera como especialista. Cuando los valores son cercanos a uno ( $>0.6$ ), se consideran generalistas y se refiere a que los depredadores consumen cualquier presa sin ninguna selección.

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

dónde:  $B_i$  = es el índice de Levin para el depredador  $i$ ;  $P_{ij}$  = Es la proporción de la dieta del depredador  $i$  dada por la presa  $j$ , y  $n$  = es el número de categorías de presas.

La estrategia alimenticia se estudió tanto por organismo, sexo, localidades y años, usando el método gráfico de evaluación de Amundsen *et al.* (1996). La ecuación para calcular la abundancia específica de las presas es:

$$P_i = \frac{\sum S_i}{\sum S_{ti}} * 100$$

dónde:  $P_i$  = Es la abundancia específica (número, masa o volumen) de la presa  $i$ ,  
 $S_i$  = Es la abundancia de la presa  $i$  en los estómagos;  $S_{ti}$  = Es la abundancia total de presas de los depredadores que contienen la presa  $i$

El análisis gráfico consiste en representar, para cada componente de la dieta, su frecuencia de ocurrencia frente a su abundancia específica. En el gráfico se encuentran las presas dominantes en la parte superior, las raras u ocasionales en la parte inferior del gráfico a lo largo de la diagonal.

El eje vertical representa la estrategia alimenticia del depredador en términos de generalista o especialista. Si los puntos de las presas se ubican en la parte superior izquierda del diagrama, podría ser indicativo de especialización en algunos

individuos en la población del depredador; en cambio, si las presas se ubican en la parte superior derecha del gráfico la especialización sería alta. Por último, presas con una alta abundancia y baja ocurrencia (superior- izquierda), son consumidas por unos pocos individuos reflejando especialización; mientras que presas con una baja abundancia y alta frecuencia de ocurrencia (ubicadas en la sección inferior-derecha) son consumidas ocasionalmente por la mayoría de los individuos (Fig. 3).

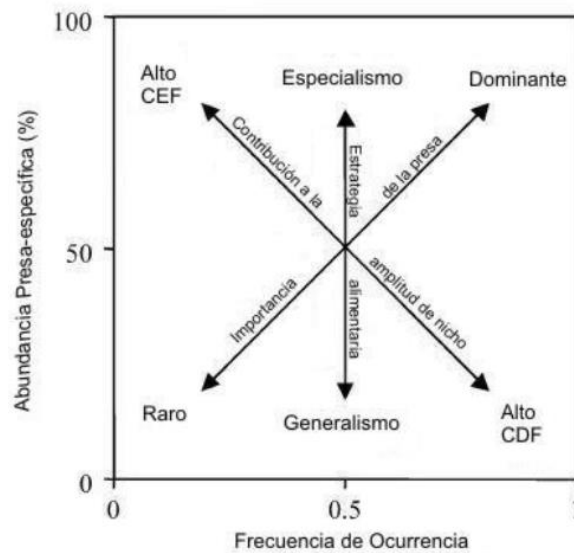


Figura 3.- Gráfico propuesto por Amundsen *et al.* (1996) para analizar la estrategia alimentaria. CEF = componentes interindividuales, CDF = componentes intraindividuales.

### Traslado de dietas

Para evaluar el traslapo de dietas entre tallas y sexos se aplicó el análisis de similitud (ANOSIM), el cual es considerado como análogo al análisis de varianza (ANOVA). Esta prueba denominada como de permutación aleatoria, permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la composición de la dieta de los consumidores. Aunque cabe mencionar que al usar este análisis es arrojado un valor de R, el cual técnicamente tiene un sesgo menor cuando su valor se encuentra entre (-1,1), si se obtiene el valor de 1 indicará que todos los componentes alimentarios dentro de cada categoría son más similares entre ellos que otros componentes alimentarios de diferente categoría, y si el valor de R es aproximadamente 0 se acepta la hipótesis nula, de esta manera las semejanzas

entre y dentro de las categorías en promedio serán iguales. R generalmente cae entre 0 y 1, indicando cierto grado de discriminación entre las categorías. La prueba estadística R es una útil medida comparativa del grado de separación de las categorías, y su valor es al menos tan importante como su significancia estadística (Clarke & Warwick, 2001), sin embargo también es obtenido un  $p$  valor con el cual se corrobora la significancia estadística de dicha disimilitud.

### **Estimación del nivel trófico promedio**

Para determinar el nivel trófico a partir de las presas encontradas en los estómagos analizados se utilizó el programa TrophLab2K, el cual está construido con base en la ecuación propuesta por Christensen y Pauly (1992) y aporta información con respecto a la posición relativa de los organismos en la red alimenticia. Esta ecuación es la más utilizada dada la sencillez de su aplicación. De acuerdo con estos autores, el detritus y los productores primarios presentan un nivel trófico igual a 1; mientras que, para el resto de los grupos, la posición trófica (PT) del depredador o grupo (i) se define como uno más la suma de los niveles tróficos de las presas, multiplicado por la proporción de la presa en la dieta del depredador. La posición trófica a partir de tipo de presas encontradas en los estómagos se estimó de acuerdo con la ecuación propuesta por Christensen y Pauly (1992).

$$PT = 1 + \left( \sum_{j=1}^n DC_{ij} \right) (NT_j)$$

*Dónde:*  $DC_{ij}$  referida como la composición de la dieta, es la proporción de presas (j) en la dieta del depredador (i);  $NT_j$  = nivel trófico de las presas (j);  $n$  = número de grupos en el sistema.

El valor del nivel trófico (NT) de las especies presas se consultó en el programa Fishbase en el caso de peces (Froese y Pauly, 2016).

### **Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno.**

Las muestras de músculos de cazón mamón *M. lunulatus* y de las presas se colocaron en viales previamente lavados y esterilizados para realizar la extracción de humedad del músculo en una liofilizadora LABCONCO FreeZone 2.5, a una temperatura promedio de -40 °C en una presión de 0.120 mbar durante 48 h. Después de secar las muestras se molieron usando un mortero de ágata.

### **Extracción de urea.**

Posterior al liofilizado, se procedió con la extracción de urea, para lo cual las muestras fueron puestas en viales de vidrio, donde se le agregó 10 ml de agua desionizada a cada muestra, posteriormente se sometieron a un sonificador BRANSON 3800 durante 15 min, se decantó el sobrante y este proceso se repitió 3 veces. Una vez sonificada la muestra se secaron nuevamente las muestras para continuar con la metodología de isótopos estables (Kim y Koch, 2012).

El análisis isotópico se realizó en el laboratorio de espectrometría de masas del CICIMAR utilizando un espectrómetro de masas de razones isotópicas (Termo SCIENTIFIC DELTA V Plus isotope ratio !VS), las proporciones isotópicas se estimaron usando las siguientes ecuaciones:

$$\delta X = \frac{R_{Sample} - R_{Standard}}{R_{Standard}} * 1000$$

dónde: X= la diferencia en la composición isotópica entre la muestra y el estándar en partes por mil (‰) y R= la relación del isótopo más pesado al isótopo más ligero (Es decir,  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ ). El estándar para  $\delta^{13}\text{C}$  corresponde a Pee Dee Belemnita (PDB), mientras que el estándar para  $\delta^{15}\text{N}$  es nitrógeno atmosférico.

Considerando que la presencia de lípidos en las muestras puede enriquecer valores de  $\delta^{12}\text{C}$  y puede afectar a los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , se utilizó la corrección aritmética propuesta por Post *et al.* (2007):



$$\delta^{13}C_{corrected} = \delta^{13}C_{sample} - 3.32 + 0.99 * C:N$$

*dónde:*  $\delta^{13}C$  es el valor obtenido directamente de la muestra y C:N es la proporción de carbono-nitrógeno encontrado en la muestra. Estos valores corregidos proporcionan una estimación normalizada del  $\delta^{13}C$  sin el efecto de los lípidos y son comparables a los valores de  $\delta^{13}C$  después de una extracción química (Post *et al.*, 2007; Logan *et al.*, 2008).

Para determinar si existían diferencias significativas en las lecturas de isótopos entre sexos y tallas de la especie, los valores obtenidos de  $\delta^{13}C$  y  $\delta^{15}N$  fueron sometidos a una prueba ANOVA de una vía, para el caso de datos con un comportamiento normal y la prueba U de Mann-Whitney para el caso de datos con comportamiento no normal.

### **Contribución de especies presa a la dieta del depredador**

Para determinar las presas más importantes que son asimiladas por esta especie se utilizó el modelo de mezcla SIAR (Stable Isotopes Analysis on R), el cual es un modelo de tipo bayesiano desarrollado sobre la plataforma R, el cual utiliza los valores de los isótopos de C y N de las muestras tanto del depredador como de sus presas principales. Se calcula la probabilidad del porcentaje de contribución a la dieta que una presa (fuente) tiene hacia el depredador (mezcla).

Los resultados de este análisis son una distribución de la importancia que cada componente de la dieta tiene expresados en porcentajes que van del 1 al 99% (Parnell *et al.*, 2010). En la mayoría de los casos al utilizar este modelo, se requiere algún tipo de agrupación en la variable. Estos grupos diferentes pueden ser, por ejemplo: grupos demográficos diferentes (por ontogenia y/o sexo), periodos diferentes de muestreo (por temporadas), lugares diferentes de muestreo (por zona) o diferencias en las muestras a nivel individual. En el programa R, se utilizó el paquete SIAR y se pueden usar hasta 30 grupos en un solo análisis. Donde debe

incluirse más de una observación por grupo, al menos tres, aunque pueden ser cinco o más, para estimar variaciones dentro de los grupos (Inger *et al.* 2015).

### **Amplitud de nicho y traslapo trófico.**

Para determinar la amplitud del nicho trófico, así como corroborar el traslapo trófico entre los sexos y tallas se utilizó la prueba SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses). Donde los valores de sobreposición trófica obtenidos a partir de SIBER de las diferentes categorías, indican que resultados por debajo de 0.29 son de sobreposición baja; valores entre 0.30 - 0.65 son de sobreposición media y valores de 0.66 – 1 es una sobreposición alta (Jackson *et al.*, 2011). Esta prueba usa medidas basadas en elipses calculadas por medio de matrices de covarianza que definen la forma y el área de esas elipses que son representativas de la amplitud del nicho trófico (Jackson *et al.*, 2011). La amplitud de nicho puede ser medida con el valor de varianza de los datos, donde valores inferiores a 1 son propios de poblaciones de hábitos especialistas (Bearhop *et al.*, 2004; Newsome *et al.*, 2007; Méndez, 2015). Para medir la amplitud de nicho poblacional se utilizaron los promedios de músculo de *M. lunulatus*.

### **Nivel trófico basado en el análisis isotópico**

La posición trófica relativa mediante isótopos estables se estimó usando la ecuación propuesta por Post (2002).

$$NT = \lambda + \left( \frac{\delta^{15} N_{\text{consumidor}_{\text{secundario}}} - \delta^{15} N_{\text{base}}}{\Delta n} \right)$$

*Dónde:*  $\lambda$  es la posición trófica del organismo usado para estimar  $\delta^{15}N$  base y es el enriquecimiento en  $^{15}N$  por nivel trófico.

En este caso las especies elegidas para calcular el  $\delta^{15}N$  base deben ser aquellas que compartan el mismo hábitat que la especie objetivo, de esta manera se integrará la marca isotópica de la red trófica en una escala de tiempo suficientemente larga para minimizar los efectos de la variación a corto plazo (Post, 2002).

## Resultados

### Análisis de contenido estomacal

Se registraron un total de 122 organismos de *Mustelus lunulatus*, 87 hembras y 35 machos, el número más alto de tiburones se registró en el año 2015 (Tabla 1).

Tabla 1.- Número de muestras por año.

Años	2011	2013	2014	2015	2016	2017
# Muestras Totales	3	11	25	46	12	25
# Muestras Punta Lobos	3	11	15	0	0	0
# Muestras Bahía Tortugas	0	0	10	46	12	25

El grado de llenado 1 se presentó en un 19% de los estómagos revisados, el grupo 2 se presentó en un 18%, donde el mayor porcentaje se concentró en los grados 3 y 4 con un 32% y 31% respectivamente (Fig. 4).

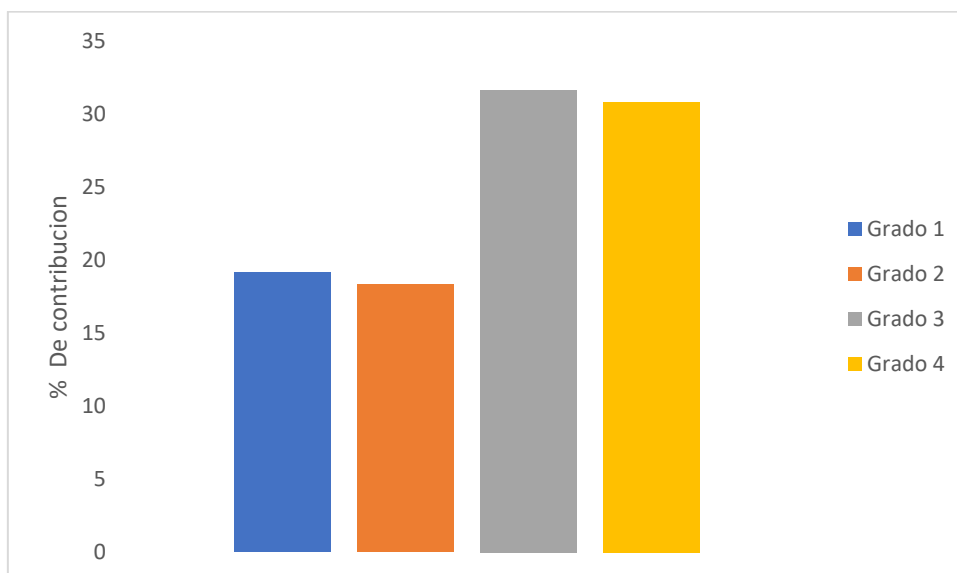


Figura 4.- Porcentaje de llenado de los estómagos con alimento de *Mustelus lunulatus*.

El espectro trófico se integró por tres especies de cefalópodos pertenecientes a dos familias, 29 especies de crustáceos pertenecientes a 17 familias y nueve especies de peces comprendidos en ocho familias.

Tabla 2.- Espectro trófico de *M. lunulatus* en la costa occidental de Baja California Sur. Se representan los porcentajes numéricos (%N), gravimétrico (%G), frecuencia de aparición (%FO), e índice de importancia de presa específico (%PSIRI)

Grupo	Familia	Especie	Bahía Tortugas									Punta Lobos									
			%FO	N	%N	W	%W	PNi	PWi	%IRI	%PSIRI	%FO	N	%N	W	%W	PNi	PWi	%IRI	%PSIRI	
<b>Cefalópodos</b>																					
	Octopodidae	<i>Euasxoctopus spp.</i>	2.2	2	0.31	20.1	0.51	33.3	41.49	0.03	0.82	3.5	1	0.87	8.0	0.76	8.3	7.20	0.07	0.27	
		<i>Octopus alecto</i>	1.1	1	0.16	1.96	0.05	20	14.48	0.00	0.19										
	Loiginidae	<i>Lolliguncula spp.</i>	1.1	1	0.16	15.2	0.39	12.5	25.87	0.01	0.21	3.5	1	0.87	2.6	0.24	12.5	4.10	0.05	0.29	
<b>Crustáceos</b>																					
	Palaciade	<i>Palaciade spp.</i>	1.1	1	16	0.4	0.01	2.17	0.32	0.0	0.01										
	Axiidae	<i>Axiidae</i>	1.1	2	0.31	11.8	0.3	9.09	18.63	0.01	0.15										
	Balanidae spp.		1.1	1	0.16	0.52	0.01	25	0.32	0.0	0.14										
	Portunidae	<i>Achelous spp.</i>										6.9	6	5.22	52.6	5.00	66.7	61.80	0.93	4.43	
		<i>Arenaeus mexicanus</i>										13.8	7	6.09	17.5	1.66	27.8	14.90	1.41	2.95	
		<i>Callinectes bellicosus</i>	1.1	1	0.16	4.64	0.12	16.7	13.22	0.01	0.16										
		<i>Callinectes spp</i>	2.2	3	0.47	66.5	1.68	41.7	51.59	0.08	1.02	3.5	2	1.74	4.7	0.44	50.0	27.60	0.10	1.34	
		<i>Portunidae spp.</i>	2.2	2	0.31	22.8	0.58	20.8	33.93	0.03	0.60										
		<i>Portunus spp.</i>	1.1	1	0.16	3.68	0.09	33.3	12.54	0.00	0.25	13.8	5	4.35	47.4	4.51	41.7	23.40	1.61	4.49	
		<i>Portunus asper</i>	2.2	2	0.31	12.8	0.32	15.5	21.55	0.02	0.41	3.5	1	0.87	2.1	0.20	16.7	7.30	0.05	0.41	
	Cancridae	<i>Cancer johngarthi</i>	1.1	1	0.16	1.0	0.03	16.7	2.85	0.00	0.11	3.5	1	0.87	16.0	1.52	33.3	38.20	0.11	1.23	
		<i>Cancer spp.</i>										6.9	3	2.61	23.4	2.22	39.3	29.20	0.44	2.36	
	<u>Hemisquillidae</u>	<i>Hemisquilla californiensis</i>	13.2	16	2.48	507.0	12.90	44.4	58.19	3.41	6.77	6.9	2	1.74	17.2	1.63	22.2	29.20	0.31	1.77	
		<i>Hemisquilla spp.</i>	17.5	21	3.26	464.5	11.80	65.1	79.26	4.44	12.69										
	<u>Palinuridae</u>	<i>Panulirus interruptus</i>	8.8	8	1.24	314.0	7.95	47.9	65.56	1.36	4.99										
		<i>Panulirus spp.</i>	28.6	27	4.19	510.0	13.00	50.0	54.03	8.23	14.85										
	Penaeidae	<i>Penaeidae spp.</i>	1.1	5	0.78	23.7	0.60	62.5	40.33	0.03	0.57	3.4	1	0.87	0.4	0.04	11.1	0.73	0.04	0.20	
		<i>Litopenaeus vannamei</i>										3.4	1	0.87	11.4	1.08	50.0	65.60	0.09	1.99	
		<i>Trachypenaeus spp.</i>										6.9	8	6.96	11.7	1.12	35.4	6.50	0.73	1.45	
	Calappidae	<i>Platymera gaudichaudii</i>	2.2	2	0.31	48.7	1.23	56.2	60.47	0.06	1.28	48.3	32	27.80	351.0	33.40	50.8	56.40	38.90	25.87	
		<i>Calappa convexa</i>										6.9	2	1.74	1.4	0.13	25.0	2.20	0.17	0.94	
	Munididae	<i>Pleuroncodes</i>	38.5	452	70.19	1557.5	39.50	79.5	76.23	70.90	29.94	3.5	1	0.87	0.3	0.03	16.7	0.50	0.04	0.30	

		<i>planipes</i> <i>Squilla spp.</i>	2.2	3	0.47	25.5	0.65	31.3	22.80	0.04	0.59										
Grupo	Familia	Especie	Bahía Tortugas									Punta Lobos									
			%FO	N	%N	W	%W	PNi	PWi	%IRI	%PSIRI	%FO	N	%N	W	%W	PNi	PWi	%IRI	%PSIRI	
<b>Crustáceos</b>																					
	Xanthidae	<i>Xanthidae spp.</i>	6.6	8	1.24	23.4	0.59	43.9	43.43	0.20	2.88										
	<u>Ethusidae</u>	<i>Ethusa spp.</i>										6.9	2	1.74	7.3	0.69	30.6	13.2	0.22	1.51	
	Grapsidae	<i>Grapsidae spp.</i>										3.4	1	0.87	25.4	2.42	50.0	57.8	0.15	1.86	
	<u>Aethridae</u>	<i>Hepatus lineatus</i>										3.4	1	0.87	0.6	0.06	16.7	1.00	0.04	0.3	
		<i>Hepatus spp.</i>										3.5	1	0.87	0.6	0.06	16.7	2.10	0.04	0.32	
	Majidae	<i>Majidae spp.</i>										3.5	1	0.87	2.7	0.26	33.3	24.90	0.05	1.00	
	<u>Ocypodidae</u>	<i>Ucides spp.</i>										3.4	1	0.87	3.4	0.32	16.7	10.60	0.05	0.47	
<b>Peces</b>																					
	Atherinopsidae	<i>Atherinopsidae spp.</i>	1.1	1	0.16	0.37	0.01	4.17	0.53	0.00	0.03										
		<i>Atherinopsis spp.</i>										3.4	1	0.87	2.6	0.24	33.3	23.50	0.05	0.98	
	Serranidae	<i>Paralabrax spp.</i>	1.1	1	0.16	3.50	0.09	16.7	9.97	0.00	0.15										
	Sebastidae	<i>Sebastes spp.</i>	1.1	1	0.16	5.26	0.13	16.6	16.33	0.01	0.18										
	Balistidae	<i>Balistidae spp.</i>										3.4	1	0.87	1.92	0.18	167	3.11	0.05	0.34	
	Muraenesocidae	<i>Cynoponticus coniceps</i>										3.4	1	0.87	38.9	3.69	11.1	72.90	0.21	1.45	
	Fistulariidae	<i>Fistularia spp.</i>										3.5	3	2.61	94.7	9.00	25.0	85.10	0.53	1.90	
	Paralichthyidae	<i>Hippoglossina spp.</i>										3.5	1	0.87	29.4	2.76	100	100.0	0.16	3.45	
	Kyphosidae	<i>Kyphosidae spp.</i>										3.5	1	0.87	13.3	1.27	33.3	70.60	0.10	1.79	
	Restos de pees		7.7	7	1.09	26.80	0.68	24.8	24.28	0.23	1.89										
<b>Invertebrados</b>																					
	Polychaeta.spp.		3.3	3	0.47	2.03	0.05	61.1	37.88	0.03	1.63										
<b>Vegetación Sumergida</b>																					
	Zosteraceae	<i>Zostera marina</i>	39.6	38	5.90	33.1	0.84	21.9	11.13	4.48	6.54	3.4	1	0.87	0.3	0.03	8.33	0.27	0.04	0.15	
<b>Material no identificado</b>																					
	MONI		34.1	33	5.12	237	6.01	32.9	32.41	6.37	11.12	86.2	25	21.7	264	25.1	36.5	42.80	53.2	34.19	

De acuerdo con el método numérico se encontraron un total de 769 organismos presa, de los cuáles 91.52 % fueron crustáceos, 2.22 % fueron peces, 0.78% cefalópodos, 0.39% poliquetos y 5.1 % fue vegetación sumergida. Las especies más numerosas fueron: *Pleuroncodes planipes* (59.06%), *Platymera gaudichaudii* (4.7%), *Panulirus interruptus* (4.56%) y *Hemisquilla californiensis* (5.1%). Con un peso total de 5,042.78 gramos, de los cuales, los crustáceos aportaron el 94.04%, los peces 4.29%, los cefalópodos 0.95% y la vegetación sumergida 0.66%. Los crustáceos de la familia Munididae y Calappidae fueron las que aportaron los porcentajes más altos en peso con 30.91% y 8.23% respectivamente. Siendo *P. planipes* la especie de mayor frecuencia, seguido de *P. interruptus* (21%), *P. gaudichaudii* (14.17%) y *H. californiensis* (11.67%).

## **Análisis de dieta por zona**

### **Bahía Tortugas**

Para esta zona se obtuvo un total de 93 estómagos, de los cuales 91 presentaron contenido estomacal. Al realizar la curva de diversidad acumulada para esta zona, el número de muestras suficientes fue alcanzado en el estómago 87 ( $CV \leq 0.05$ ), logrando caracterizar el espectro trófico de esta especie (Fig. 5).



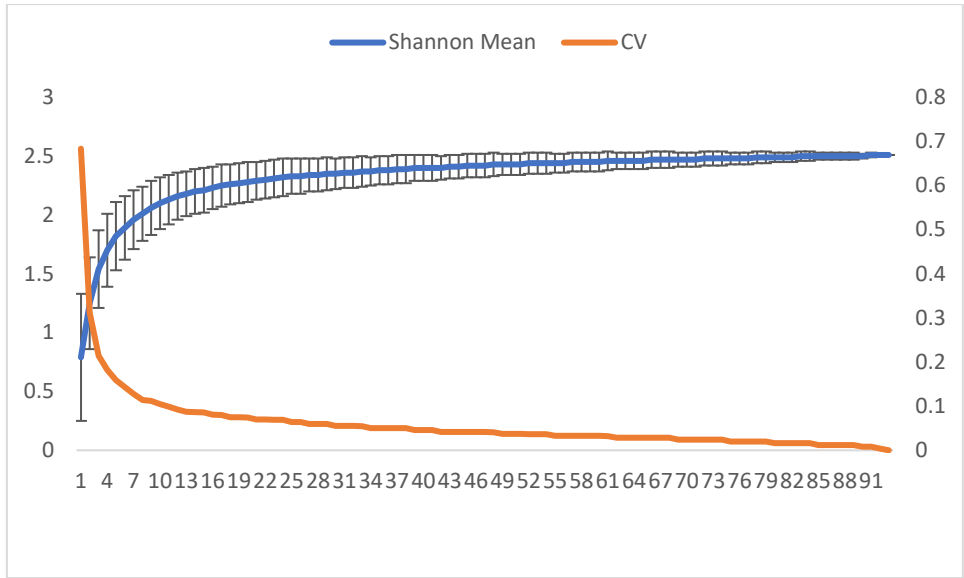


Figura 5.-Curva de diversidad acumulada Bahía Tortugas

Para esta zona el índice de importancia de presa específico (PSIRI), señaló a *P. planipes* y *H. californiensis* como las especies presa de mayor importancia dentro de la dieta de *M. lunulatus*, representando el 41.06 % y el 19.46% de la importancia respectivamente para la zona de Bahía Tortugas (Fig. 6).

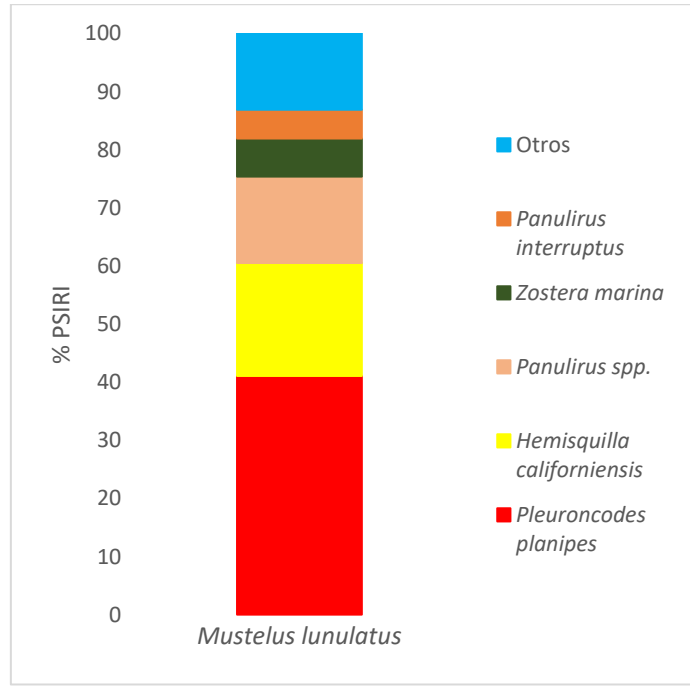


Figura 6.- Índice de Importancia de presa específico Bahía Tortugas (PSIRI).

Al realizar el gráfico de Amundsen para esta zona (Anexo 2), *M. lunulatus* mostró una amplitud trófica baja, donde la mayoría de los ítems alimentarios fueron raros y/u ocasionales, mientras que la minoría de estas presas se presentaron de manera frecuente con alta contribución y dominancia, sugiriendo que este depredador es de carácter especialista. Al calcular el índice de Levin se obtuvo un valor inferior a 0.6, pudiéndose corroborar que este tiburón puede ser considerado como especialista. También se obtuvo un valor de 3.81 en el cálculo del nivel trófico, por lo que se le consideró como consumidor terciario, por lo tanto, se le clasifica como un depredador tope dentro del hábitat bento-pelágico.

### Punta Lobos.

Para esta zona se obtuvo un total de 29 estómagos, presentándose contenido en todos ellos. Al realizar la curva de diversidad acumulada para esta zona, el número suficiente de muestras fue alcanzado al obtener un valor de coeficiente de variación  $\leq 0.05$  en el estómago número 22, con lo cual se logró caracterizar el espectro trófico de esta especie (Fig. 7).

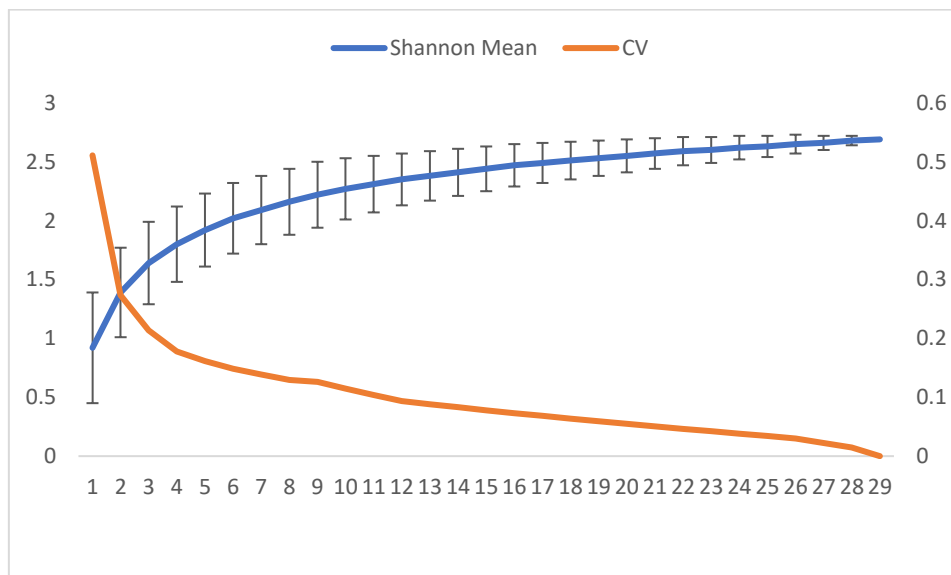


Figura 7.- Curva de diversidad acumulada Punta Lobos

Para esta zona los crustáceos fueron los organismos con el mayor número de individuos, así como el mayor porcentaje en peso por estómago, siendo los de mayor frecuencia: *P. gaudichaudii* (48.28%), *Arenaeus mexicanus* (13.79%) y una especie perteneciente al género *Portunus* spp. (13.79%). Siendo esta primera la del mayor número de individuos por estómago.

De acuerdo con el índice de importancia relativa de presa específico (PSIRI), *P. gaudichaudii* fue la especie presa más importante aportando el 25.87% seguida de dos especies pertenecientes al género *Achelous* spp. y *Portunus* spp. con 4.43 % y 4.49 % respectivamente (Fig. 8). Cabe mencionar que el ítem alimentario categorizado como restos de crustáceo obtuvo un valor de importancia más alto, esto se debe a que la mayoría de sus componentes fueron partes de crustáceo, las cuales no pudieron ser identificadas de manera apropiada, debido a su estado de digestión.

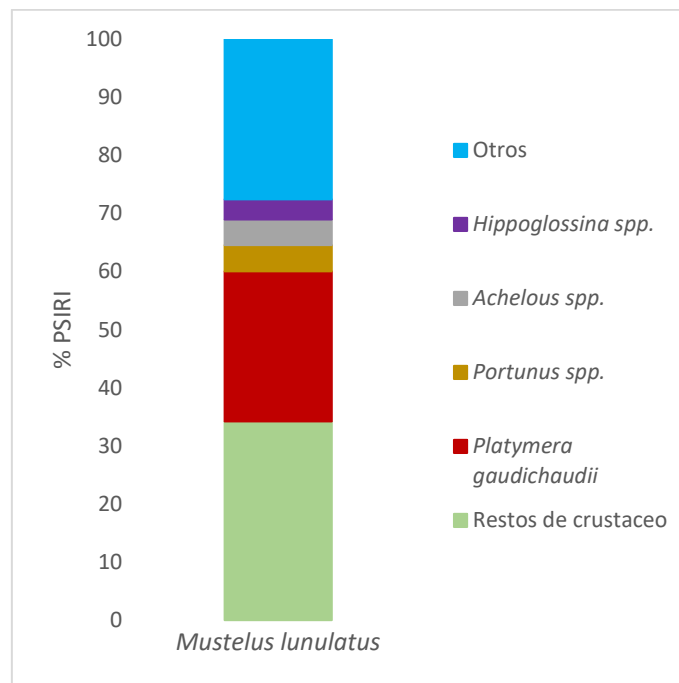


Figura 8.- Índice de Importancia de presa específico Punta Lobos (PSIRI).

El gráfico de Amundsen para Punta Lobos (Anexo 2), mostró para *M. lunulatus* una amplitud trófica similar a Bahía Tortugas, presentándose la mayoría de las especies presa dentro del carácter de raras, mientras las restantes fueron categorizadas como de alta contribución y dominancia, mostrando que se alimentó de un mayor número de especies comparado con Bahía Tortugas; sin embargo la mayor ingesta estuvo representada por la especie *P. gaudichaudii*, por lo que este depredador puede ser considerado especialista de acuerdo a este índice. Al calcular el índice de Levin se obtuvo un valor de 0.21. De igual manera que para la zona Bahía Tortugas también fue obtenido un nivel trófico de 3.70, colocando a este tiburón como un consumidor terciario.

## **Análisis de dieta por sexo**

### **Bahía Tortugas**

Los valores del método numérico y gravimétrico fueron superiores al 80%, en hembras y machos, siendo los crustáceos el grupo con el mayor aporte. En el caso de las hembras, las especies de crustáceos con la mayor frecuencia fueron *P. planipes* la cual representó el 45.71 % y *H. californiensis* que aportó el 24.29 %, además de una especie perteneciente al género *Panulirus* spp. el 28.57%. En el caso de machos, la especie *H. californiensis* fue la especie de mayor frecuencia con el 50% y seguida de la especie perteneciente al género *Panulirus* spp. la cual represento el 31.82 % y como tercera especie más importante fue la especie *P. planipes* con el 13.64 %.

El índice de importancia de presa específica (PSIRI) en hembras arrojó como resultado que las especies *P. planipes*, *H. californiensis* y *Panulirus* spp., obtuvieron los valores más altos, aportando el 64.94 % de la dieta para las hembras siendo sus porcentajes 36.48 %, 15.09 % y 13.37 % respectivamente para cada especie. En machos se obtuvo como resultado que la especie *H. californiensis* presentó un porcentaje de importancia del 32.45 % mientras *Panulirus* spp. aportó 21.4 %, seguido de *P. planipes* el cual presentó 7.78 % (Fig. 9).

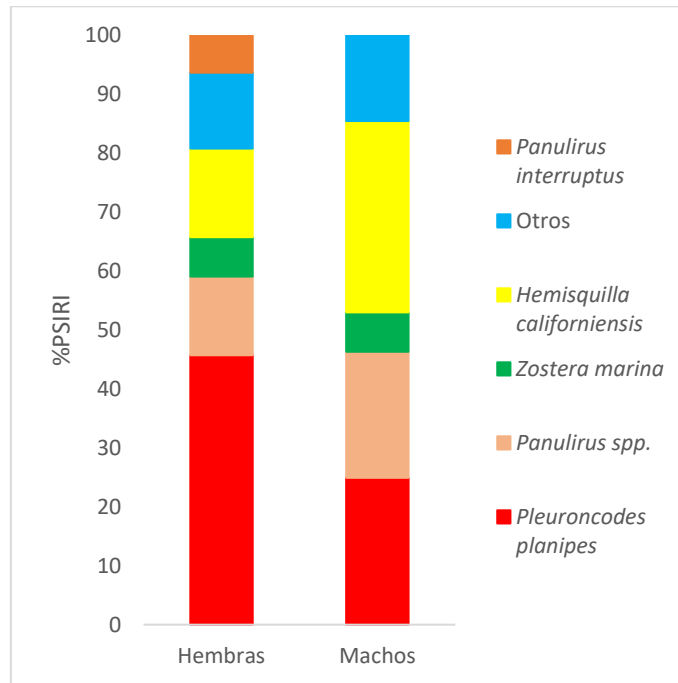


Figura 9.- Índice de Importancia de presa específico por Sexo; Hembras y Machos, Bahía Tortugas (PSIRI).

Al realizar la prueba ANOSIM para la categoría de sexo, se obtuvo un  $p$  de 0.001 con un valor de  $R$  global de 0.128, mostrando estadísticamente la existencia de disimilitud, por consiguiente, se utilizó una prueba SIMPER, para detectar diferencias. Estas diferencias radicarón en los porcentajes de contribución a la dieta en las siguientes especies: *P. planipes*, *Zostera marina*, *Panulirus spp.*, además de un ítem alimentario categorizado como restos de crustáceos. Las hembras se alimentaron de *P. planipes*, *Z. marina* y *Panulirus spp.* en diferentes proporciones que los machos; sin embargo, los machos se alimentaron en mayor medida de la especie *H. californiensis*, haciendo de esta última, la especie que marcó la mayor diferencia en la dieta entre sexos para *M. lunulatus*.

Para hembras como para machos el gráfico de Amundsen (Anexo 7), mostró que *M. lunulatus* en Bahía Tortugas presenta una estrategia alimentaria especialista y un depredador con una amplitud trófica baja. Asimismo, tanto el índice de Levin (hembras= 0.03, machos= 0.55) como el valor de nivel trófico entre sexos fue similar

(hembras y machos= 3.8), con lo cual se puede categorizar a este tiburón como un depredador especialista y consumidor terciario.

### **Punta Lobos**

Para las hembras y machos de *M. lunulatus* en Punta Lobos los métodos numérico y gravimétrico presentaron valores superiores al 90%, correspondientes al grupo de los crustáceos. Al igual que para Bahía Tortugas, en hembras las especies más frecuentes fueron los crustáceos, teniendo como principal representante la especie *P. gaudichaudii* con el 50%, seguido de *Portunus* spp. el cual representó el 12.5%. Mientras que, para machos, las especies con la mayor frecuencia fueron *P. gaudichaudii* además de *Calappa convexa* seguida de *Achelous* spp. con una frecuencia de 41.67 %, 16.67 % y 8.33 % respectivamente. En el caso de los peces este grupo representó el 24.99 % de ocurrencia.

En hembras el PSIRI mostró que la especie presa más importante fue *P. gaudichaudii* con el 29.5 % seguida de la especie *A. mexicanus* con el 5.35 %. Para los machos la especie *P. gaudichaudii* fue la presa más importante con el 20.23 % seguida de una especie de crustáceo perteneciente al género *Achelous* spp. con el 8.33 %, aunque es necesario mencionar que el ítem alimenticio denominado como “restos de crustáceo” presentó el porcentaje de importancia más alto para este sexo con el 38.74 % (Fig. 10).

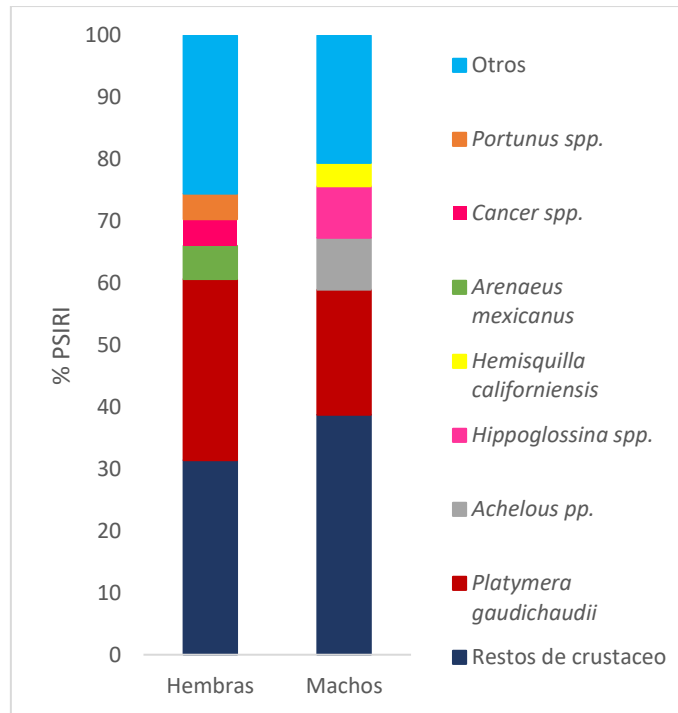


Figura 10.- Índice de Importancia de presa específico por Sexo; Hembras y Machos en Punta Lobos (PSIRI).

Al realizar tanto el gráfico Amundsen como el índice de Levin para ambos sexos, se obtuvo que hembras y machos de *M. lunulatus* son especialistas, teniendo para las hembras un gráfico de Amundsen característico de una especie especialista (Anexo 8) y un índice de Levin de 0.25. Para los machos se obtuvo un gráfico de Amundsen (Anexo 8) similar al de las hembras con un índice de Levin de 0.41. Además de que para ambos sexos se determinó un nivel trófico que osciló entre 3.6 y 3.7 categorizando a esta especie como depredador terciario independientemente del sexo.

Al realizar la prueba ANOSIM para la categoría de sexo, se obtuvo un  $p$  valor de 0.38 y un valor de  $R$  de 0.004, indicando que existe una similitud de dieta entre hembras y machos. Por lo que, tanto hembras como machos podrían estarse alimentando de las mismas especies presa. Al igual que para las anteriores categorías la curva de diversidad acumulada fue alcanzada  $CV < 0.05$ .

## **Análisis de dieta por temporada**

### **Temporada cálida y fría Bahía tortugas**

Las muestras obtenidas de Bahía Tortugas durante la temporada cálida pertenecen a los años 2014-2016 y para la temporada fría estuvieron representadas por los años 2015 y 2017 (Anexo 9). Al igual que en la categoría anterior, el grupo de los crustáceos representó cerca del 90 % para los dos métodos ya mencionados. Durante la temporada cálida los crustáceos con más frecuencia en los estómagos analizados fueron la langostilla *P. planipes* (44.78 %) y la langosta *Panulirus* spp. (31.34 %) seguido de *H. californiensis* (16.42 %). Para la época fría *H. californiensis* fue la especie más frecuente (66.67 %), seguida de *P. planipes* (20.83 %) y como tercera más importante *Panulirus* spp. (20.8 %).

El índice de importancia relativa de presa específica (PSIRI) para la temporada cálida, mostró a *P. planipes* (36.23 %) como la especie presa más importante junto con la langosta *Panulirus* spp. (15.82 %) y la especie *H. californiensis* (8.83 %). Mientras que, para la temporada fría, mostró a *H. californiensis* como la especie presa más importante (48.12 %) colocando a *P. planipes* (12.4 %) como la segunda más importante seguida de *Panulirus* spp. (15.82 %) (Fig. 11).



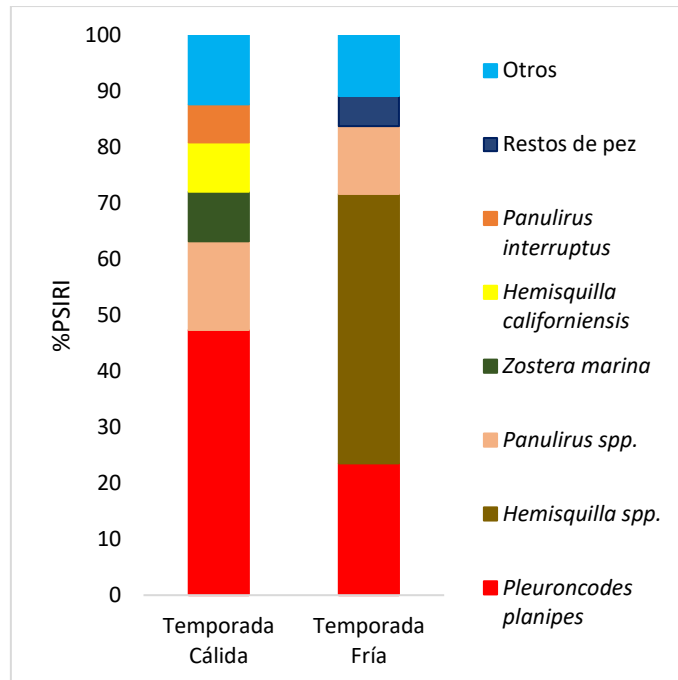


Figura 11.- Índice de Importancia de presa específico por temporada; cálida y fría, Bahía Tortugas (PSIRI).

Al realizar la prueba ANOSIM para esta categoría, se obtuvo un  $p$  valor de 0.001 con un valor de  $R$  de 0.305, mostrando que estadísticamente existe una disimilitud, por lo cual se utilizó una prueba SIMPER para observar donde se encontraban esas diferencias. Estas diferencias radicarón en los porcentajes de contribución a la dieta en dos especies principales: *H. californiensis* y *P. planipes*, además de la presencia de *Z. marina*. Para este caso, durante la temporada cálida esta especie se alimentó principalmente de *P. planipes*, mientras que durante la temporada fría se alimentó en mayor proporción de *H. californiensis*.

Al obtener el gráfico de Amundsen para ambas temporadas (Anexo 3) se observó que *M. lunulatus* obtuvo una baja amplitud trófica, revelando que esta especie es un depredador especialista en ambas temporadas, de acuerdo con este índice. Lo cual fue corroborado con el valor obtenido por medio del índice de Levin (0.032 y 0.357). En el caso del nivel trófico, ambas temporadas obtuvieron valores que oscilaron entre 4.0 y 3.7 con una desviación estándar cercana a 0.57 colocando a este tiburón como un consumidor terciario.

## Temporada cálida y fría Punta Lobos

Las muestras provenientes de Punta Lobos para la temporada cálida correspondieron a los años 2013 y 2014, mientras que para la temporada fría fueron los años 2011, 2013 y 2014 (Anexo 10). Al realizar la curva de diversidad acumulada para la temporada cálida de Punta lobos, el coeficiente de variación no alcanzó el valor deseado; sin embargo, se observaron tendencias en la alimentación de *M. lunulatus*.

Para la zona de Punta Lobos en ambas temporadas, los ítems alimentarios con los valores más altos en número y peso también fueron los crustáceos, aportando más del 70 % del total. Sin embargo, las especies con los mayores porcentajes de contribución a estas medidas fueron distintas (*P. gaudichaudi* y especies de la familia Portunidae respectivamente).

Durante la temporada cálida los valores de frecuencia de aparición de especies presa más altos estuvieron representados por *P. gaudichaudii* (50 %), una especie perteneciente al género *Portunus* (37.5 %) y *A. mexicanus* (25 %). En cuanto a la temporada fría los crustáceos con más frecuencia en los estómagos analizados fueron *P. gaudichaudii* (47.37 %), la cual fue la especie de mayor frecuencia, seguida de *A. mexicanus*, *Cancer* spp., y *Trachypenaeus* spp. (10.53 %).

Al realizar el cálculo del PSIRI tanto para la temporada cálida, como la fría la especie *P. gaudichaudii* (18.58 %) fue la especie presa más importante. En el caso de la temporada cálida, la especie en segundo lugar de importancia fue la especie perteneciente al género *Portunus* spp. (11.66 %), en este caso es importante mencionar que el ítem alimentario categorizado como MONI para esta temporada representó el 40.66 %, debido principalmente al alto grado de digestión del contenido estomacal, lo que dificultó en gran medida la identificación. Para la temporada fría las especies en el segundo lugar de importancia fueron la especie presa *Achelous* spp. e *Hippoglossina* spp. ambos con un 5.26 % (Fig. 12). Con lo que respecta al porcentaje restante en ambas temporadas y en la mayoría de las categorías analizadas, está representado por especies con porcentajes muy bajos, así como el

ítem alimentario nombrado como otros, está representado por especies presa con valores de importancia aún más bajos (Tabla 2).

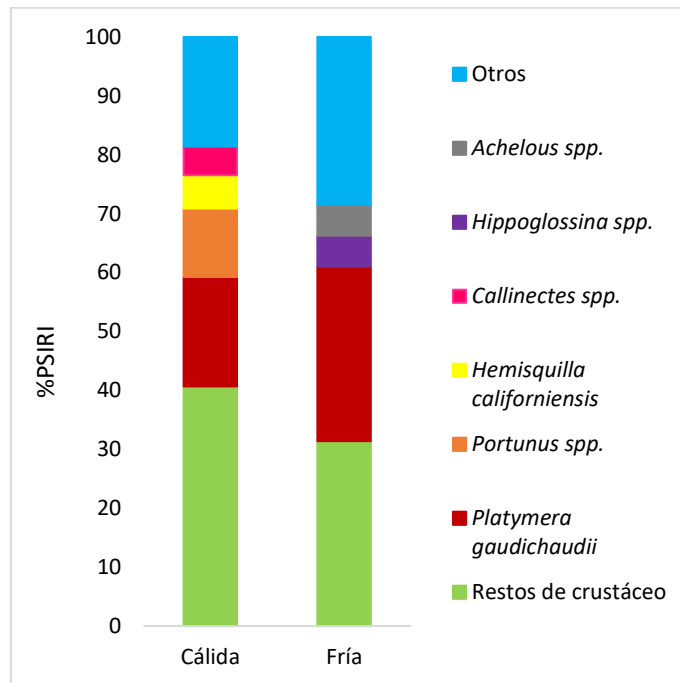


Figura 12.- Índice de Importancia de presa específico por temporada cálida y fría, Punta Lobos (PSIRI).

Al realizar la prueba ANOSIM para esta categoría en esta zona, se obtuvo un  $p$  de 0.84 con un valor de  $R$  de -0.102, mostrando que estadísticamente se presentó una similitud en la dieta de *M. lunulatus* entre temporadas, lo que quiere decir que tanto en la temporada cálida como fría se alimentaron de las mismas presas en proporciones similares.

Al realizar el gráfico de Amundsen para las temporadas cálida y fría en Punta Lobos (Anexo 4), la especie *M. lunulatus* se le categorizó como especialista según los criterios con los cuales es interpretado el cuadro de Amundsen. El valor del índice de Levin obtuvo valores inferiores a 0.6 en ambas temporadas, lo cual corrobora su categoría de especialista. El cálculo de nivel trófico indica valores que oscilaron entre 3.5 y 3.7, posicionando a este tiburón como un consumidor terciario durante las dos temporadas analizadas.

## Análisis de dieta por estadio

### Tiburones Inmaduros y Maduros Bahía Tortugas

Al igual que en la categoría por temporada en Bahía Tortugas, en la categoría por estadio de madurez para esta misma zona, los crustáceos fueron el grupo con los valores más altos en número y en peso aportando más del 85 % en cada caso.

Los crustáceos con más frecuencia en la dieta de los organismos inmaduros de *M. lunulatus* fueron *Pleuroncodes planipes* (42.37 %), *Panulirus* spp. (32.2 %) y *H. californiensis* (27.12 %). En el caso de los organismos maduros fueron las mismas especies, sin embargo, con otro orden: *Panulirus* spp. con un 39.29 %, *H. californiensis* la segunda más frecuente con 35.72 %, por último, *P. planipes* con un 32.14 %.

El PSIRI mostró que para los organismos inmaduros de *M. lunulatus*, *P. planipes* (33.59 %) fue la especie presa más importante junto con *Panulirus* spp. (16.34 %). En el caso de los organismos maduros este índice mostró que *H. californiensis* representó un 23.99 % la cual fue considerada la especie presa más importante, mientras *P. planipes* presentó un 22.96 % y *Panulirus* spp. un 11.71 % (Fig. 13).

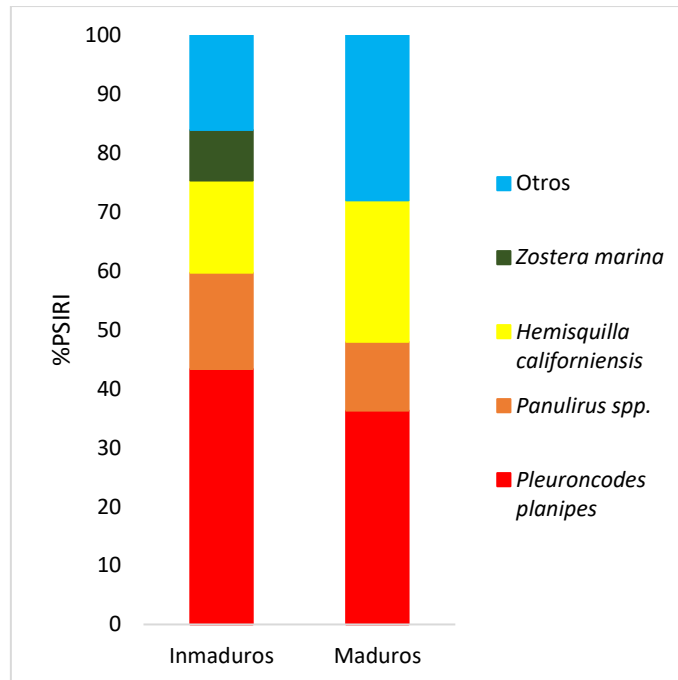


Figura 13.- Índice de Importancia de presa específico por Estadio de madurez; inmaduro y maduro, Bahía Tortugas (PSIRI).

Al realizar la prueba ANOSIM para esta categoría, se obtuvo un  $p$  valor de 0.064 con un valor de  $R$  de 0.049, mostrando que estadísticamente no existe una disimilitud, sin embargo, el valor está muy próximo al  $p$  valor estadístico utilizado para aceptar o rechazar la disimilitud, por lo tanto, se utilizó una prueba SIMPER para observar donde se encontraban esas diferencias. Estas diferencias radicaron en los porcentajes de contribución a la dieta en las siguientes especies: *P. planipes*, *Z. marina*, una especie perteneciente al género *Panulirus* spp. Los organismos inmaduros se alimentaron en mayor porcentaje de *P. planipes* seguido de *Panulirus* spp, mientras que los maduros se alimentaron de *P. planipes* seguido de *H. californiensis*. siendo, *Z. marina* el ítem alimentario que marcó tal diferencia.

Los gráficos de Amundsen generados tanto para los organismos inmaduros como maduros (Anexo 5), mostraron que para Bahía Tortugas *M. lunulatus* se le considera una especie especialista. El índice de Levin en inmaduros mostró un valor de 0.39 y en maduros de 0.28, indicando de igual manera que tanto los organismos maduros como inmaduros son depredadores especialistas. En este caso por estadio

de madurez, el nivel trófico calculado osciló entre 3.6 y 3.9 lo que permitió posicionarlo como un consumidor terciario

### **Tiburones inmaduros y maduros Punta Lobos**

Al realizar la curva de diversidad acumulada para la categoría de organismos inmaduros en Punta Lobos no fue posible obtener un coeficiente de variación adecuado para poder representar la dieta de esta especie. Sin embargo, fueron realizados los análisis correspondientes, con el fin de observar tendencias y datos importantes sobre la dieta de *M. lunulatus* en sus estadios de madurez.

Del mismo modo que para Bahía Tortugas en la categoría de estadio de madurez, en Punta Lobos, los métodos numérico y gravimétrico estuvieron representados por el grupo de los crustáceos, siendo este, más del 80 % de dicha representatividad.

En ambos estadios, la especie *P. gaudichaudii* (40 %) fue la especie con la mayor frecuencia. Sin embargo, en el caso de los inmaduros, *A. mexicanus* (40 %) fue la especie con el valor de frecuencia más alto después de *P. gaudichaudii*. Para el caso de los organismos maduros las especies *Calappa convexa*, *Cancer* spp. y *Portunus* spp. obtuvieron el 12.5 % siendo aquellas con los valores más importantes después de *P. gaudichaudii*.

En lo que respecta al índice de importancia relativa de presa específico (PSIRI) para los organismos inmaduros, *P. gaudichaudii* fue la especie presa más importante (20.35 %) junto con *Achelous* spp. (10 %) y *A. mexicanus* (8.55 %). Para los maduros este índice mostró que una vez más *P. gaudichaudii* fue la especie presa más importante (31.71 %) además de *Cancer* spp., *Portunus* spp. son el 4.28 % y el 4.16 % respectivamente (Fig. 14).

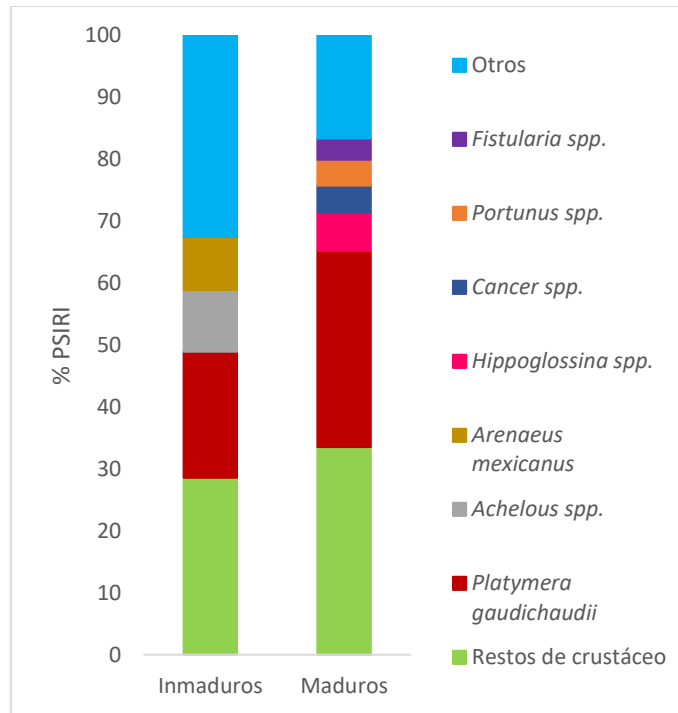


Figura 14.- Índice de Importancia de presa específico por Estadio de madures; inmaduro y maduro, Punta Lobos (PSIRI).

Para ambos estadios el gráfico de Amundsen (Anexo 6) mostró que *M. lunulatus* en Punta Lobos fue considerado como una especie especialista y un depredador con una amplitud trófica baja. Al calcular el índice de Levin y nivel trófico para ambos estadios, se obtuvo un valor inferior a 0.6 en el índice de Levin y un valor de 3.7 en nivel trófico, lo que posiciona a este depredador como consumidor terciario y especialista.

Al realizar la prueba ANOSIM para esta categoría, se obtuvo un  $p$  valor de 0.064 con un valor de  $R$  de 0.049, indicando que existe una similitud en la dieta entre maduros e inmaduros, lo que sugiere tanto maduros como inmaduros en su mayoría se alimentan de las mismas especies presa.

## **Análisis de Isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ .**

Se analizaron 199 biopsias de tiburones, que fueron seccionadas de acuerdo con lugar de procedencia, sexo, estadio de madurez y temporada. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  del cazón *M. lunulatus* capturados en Bahía Tortugas tuvieron promedio de:  $15.89 \pm 1.89 \text{ ‰}$  y  $\delta^{13}\text{C} -16.60 \pm 0.93 \text{ ‰}$ , respectivamente y en Punta Lobos  $\delta^{15}\text{N} = 18.22 \pm 0.76 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C} = -16.99 \pm 0.73 \text{ ‰}$ . El  $\delta^{13}\text{C}$  en el tejido muscular analizado del cazón *M. lunulatus* osciló entre  $-14.23$  a  $-18.43 \text{ ‰}$  y el  $\delta^{15}\text{N}$  osciló entre  $12.75$  a  $19.77 \text{ ‰}$ .

Al obtener una razón C:N que osciló entre 3.1-3.9 con un promedio de  $3.4 \pm 0.21$ , fue necesario realizar la corrección aritmética propuesta por Post en 2007 para corregir el efecto de lípidos sobre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  presentes en el tejido muscular.

## **Extracción de urea**

Al realizar la relación C:N de los tejidos con el proceso de extracción de urea y sin extracción, para las muestras de *M. lunulatus*, obteniéndose valores entre 3.35-4.08 y 3.57-4.05 respectivamente. Al realizar la prueba ANOVA de una vía ( $F(1,54) = 0.00002$ ,  $p=0.996$ ) fue posible determinar que no existen diferencias significativas entre las muestras con y sin la extracción de urea, mostrándose valores promedio de C:N, 3.91 y 3.90 respectivamente. Al ser estos superiores a 3.5 indica que no existe un efecto de la urea sobre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Logan y Lutcavage, 2010). Sin embargo, estos valores de C:N no demuestran mantenerse entre el intervalo teórico establecido de proteína de acuerdo con Logan y Lutcavage (2010), poniendo en evidencia que existe un efecto de lípidos sobre las muestras. Por consiguiente, fue necesaria la corrección aritmética propuesta por Post *et al.*, 2007.



Tabla 3. - Promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  bajo efectos con-sin lípidos y urea

Categorías	$\delta^{15}\text{N}$	Con corrección de lípidos $\delta^{13}\text{C}$	Sin corrección de lípidos $\delta^{13}\text{C}$	C:N
Con extracción de urea	17.09	-16.69	-17.24	3.91
Sin extracción de urea	17.02	-16.51	-17.06	3.90

### **Análisis isotópico por sexo de Bahía Tortugas**

Para este análisis se utilizaron 86 biopsias de *M. lunulatus* hembras y 34 de machos. Los valores isotópicos promedios de C y N que se obtuvieron para hembras y machos fueron iguales ( $U=1331.000$ ,  $p>0.05$ ) al utilizar la prueba estadística Mann-Whitney, las hembras con promedio para  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.59 \text{‰} \pm 0.73$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $16.15 \text{‰} \pm 1.61$ , en el caso de los machos fue para  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.70 \text{‰} \pm 0.57$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $15.82 \text{‰} \pm 1.45$ .

Indicando que tanto las hembras como los machos tienen la misma dieta dentro de la zona de Bahía Tortugas, siendo probable el traslape de dieta entre sexos para esta especie. En este contexto al generar las elipses bayesianas con ayuda del método SIBER, se obtuvo un valor de traslape alto de 0.66 (Jackson *et al.*, 2011) y así como amplitudes tróficas similares entre sexos, de acuerdo a las áreas de las elipses que fueron generadas (Fig. 15).

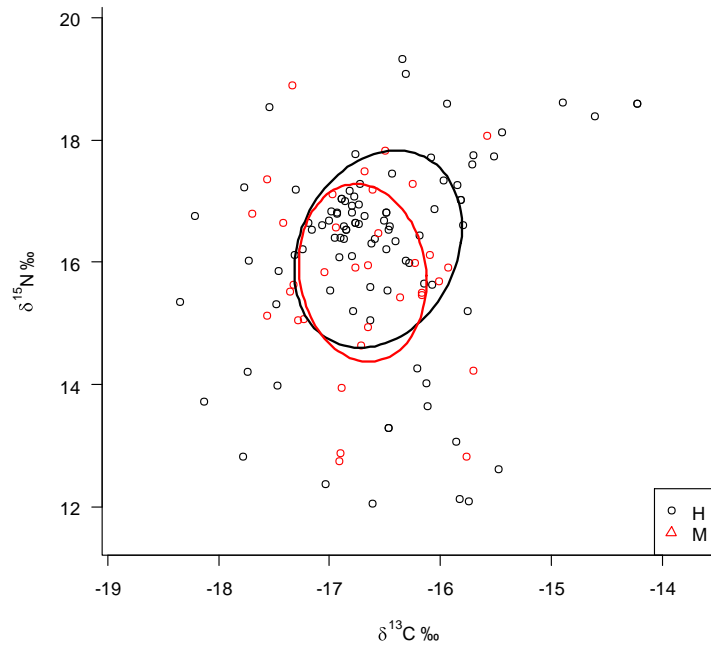


Figura 15.- Amplitud trófica y traslape trófico de hembras y machos de *Mustelus lunulatus* en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan las hembras y los puntos rojos los machos.

Al tomar los valores de varianza de los datos promedio de isótopos para la categoría de sexos, hembras ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.73$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 1.61$ ) y machos ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.57$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 1.45$ ) resultaron superiores a 1, propios de poblaciones de hábitos generalistas (Da-Silveira, 2015) ya que al alcanzar un valor más alto de varianza indica una mayor amplitud trófica, por lo tanto, mayor número fuentes posibles o presas, categoriza a esta especie como generalista, contrario a lo determinado con los índices utilizados en contenido estomacal.

Tabla 4.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por sexo a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.

Espece	Grupo	Nivel trófico NT
	Promedio	3.87
<i>M. lunulatus</i>	Hembras	3.91
	Machos	3.87

Los valores determinados en el nivel trófico promedio calculado en *M. lunulatus* en hembras y machos, puede ser atribuido a una dieta constante a base de las mismas presas con niveles tróficos similares o que se encuentren en la misma profundidad (Tabla 4). Teniendo como resultado valores correspondientes al de un consumidor terciario o carnívoro de alto nivel (Pauly & Palomares, 2000).

#### **Análisis isotópico por sexo de tiburones en Punta Lobos**

Para esta zona fueron utilizadas 39 biopsias de *M. lunulatus*, que a su vez se dividieron en hembras y machos con 19 y 20 muestras respectivamente. El promedio de los valores isotópicos para hembras fue  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-17.00 \text{‰} \pm 0.83$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $18.11 \text{‰} \pm 0.77$ , en el caso de los machos fue  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.99 \text{‰} \pm 0.68$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $18.30 \text{‰} \pm 0.80$ . Con la finalidad de comparar si los valores isotópicos de C y N entre hembras y machos eran iguales, fue utilizada la prueba estadística Mann-Whitney donde se obtuvo un valor de  $U=184$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y una  $U=162$ , ambas con un  $p>0.05$ , demostrando que no hay diferencias significativas entre ellos.

Con el resultado de esta prueba estadística fue posible determinar que los valores de nitrógeno y carbono son similares entre sexos. Lo que podría reflejar que tanto las hembras como los machos se alimentan en las mismas zonas, así como de las mismas presas, por ello al utilizar el método SIBER fue posible determinar el grado de traslapo de la dieta de *M. lunulatus* entre sexos.

Al generar las elipses bayesianas con ayuda de este método, se obtuvo un valor de traslapo medio de 0.62 y así como amplitudes tróficas similares entre sexos, de

acuerdo con las áreas de las elipses que fueron generadas (Fig. 16), de tal manera que tanto hembras como machos comparten las mismas zonas de alimentación.

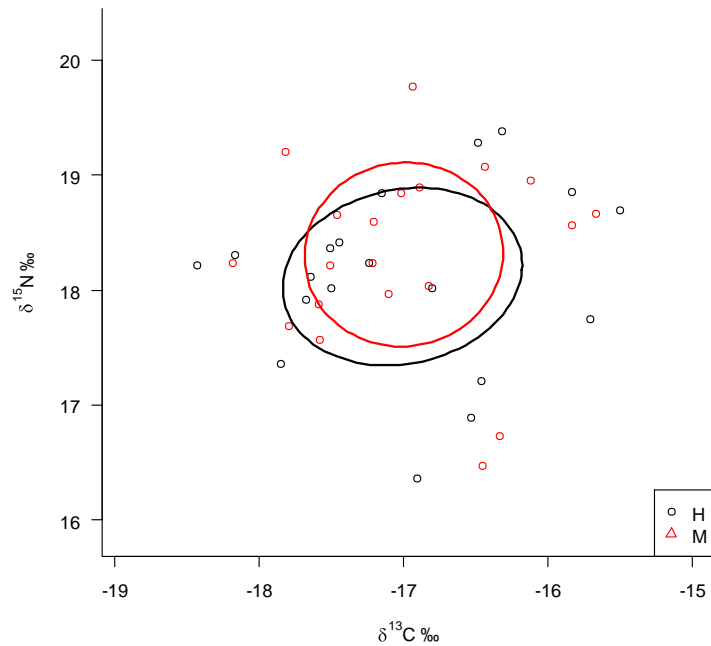


Figura 16.- Amplitud trófica y traslape trófico de hembras y machos de *Mustelus lunulatus* en Punta Lobos. Los puntos negros representan las hembras y los puntos rojos los machos.

A diferencia de la zona de Bahía Tortugas, las hembras y machos de *M. lunulatus* en Punta Lobos, son de carácter especialista ya que los valores de sus varianzas provenientes de los datos isotópicos de C y N ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.83$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.77$  para hembras), ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.68$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.80$  para machos) son menores a 1. Lo que puede resultar al ingerir menos especies presa, distintas a las hembras y machos de Bahía Tortugas o mayor disponibilidad de las mismas.

Tabla 5.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por sexo a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos

Especie	Grupo	Nivel trófico NT
<i>M. lunulatus</i>	Promedio	3.77
	Hembras	3.75
	Machos	3.80

El nivel trófico promedio calculado para *M. lunulatus* en Punta Lobos entre sexos, fue similar al nivel obtenido en Bahía Tortugas, lo que puede ser atribuido a una dieta similar basada principalmente en crustáceos, así como lo determinado por el análisis de contenido estomacal. Además, al igual que en Bahía Tortugas, los valores entre hembras y machos de Punta Lobos sugieren que se alimentan de especies con niveles tróficos similares (Tabla 5), dichos valores categorizan a las hembras y machos de *M. lunulatus* como un consumidor terciario.

#### **Análisis isotópico por estadio de madurez de Bahía Tortugas**

Para esta categoría se analizaron 116 biopsias subdivididas en inmaduros y maduros, 75 y 41 respectivamente. El promedio de los valores isotópicos para estos estadios fue de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.67 \text{ ‰} \pm 0.64$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $15.56 \text{ ‰} \pm 1.65$  en inmaduros, en maduros para  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-16.48 \text{ ‰} \pm 0.72$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $16.94 \text{ ‰} \pm 0.97$ . En este caso al utilizar la prueba estadística Mann-Whitney para la comparación de los valores isotópicos de nitrógeno fue de ( $U=705.000$ ,  $p<0.05$ ) el cual indica que existen diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre inmaduros y maduros. Para el caso de los valores de carbono el valor estadístico de la prueba Mann-Whitney fue de ( $U=1403.000$ ,  $p>0.05$ ), determinando que no existen diferencias significativas entre inmaduros y maduros.

Con lo obtenido por medio de la prueba estadística fue posible determinar que los valores de carbono son similares entre estadios, mientras que con los de nitrógeno fue posible determinar una diferencia significativa. Lo que podría reflejar que en el caso de carbono tanto los inmaduros como los maduros se alimentan en las mismas zonas, sin embargo, al presentarse dicha diferenciación en los valores isotópicos de nitrógeno se encuentran alimentándose en la misma zona, pero no así de las mismas presas. Al generar las elipses (método SIBER) (Fig. 17) fue posible observar tal diferencia, donde el traslape presentó un valor medio de 0.42, corroborando que podrían estarse alimentando de especies presa diferentes, aunque en la misma zona.

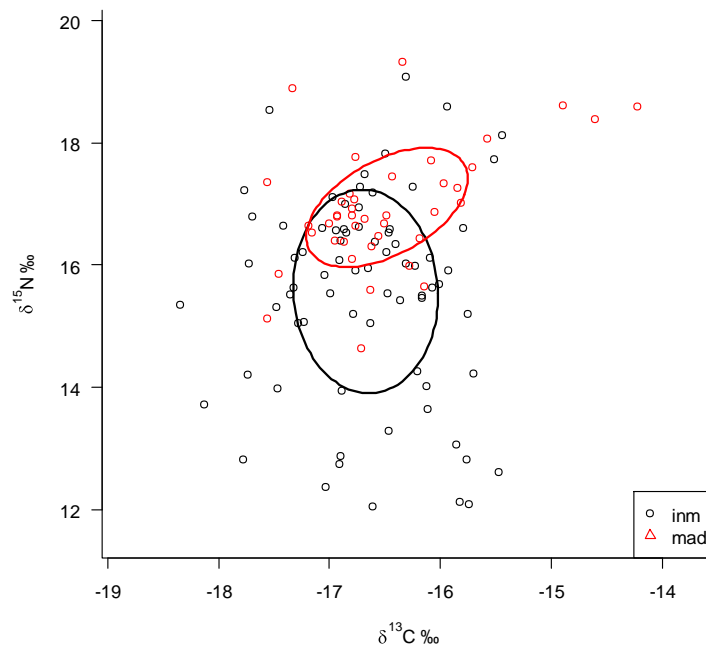


Figura 17.- Amplitud trófica y traslape trófico de inmaduros y maduros de *Mustelus lunulatus* en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan los inmaduros y los puntos rojos los maduros.

Distinto a la categoría por sexos en Bahía Tortugas, los organismos maduros de *M. lunulatus* en esta zona, son de carácter especialista ya que los valores de sus varianzas provenientes de los datos isotópicos de N ( $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.97$  para maduros) fueron menores a 1. Mientras que los inmaduros presentaron valores superiores a 1 en N ( $\delta^{15}\text{N} = \pm 1.65$  para inmaduros), pudiendo caracterizarlos como generalistas, exponiendo que los organismos inmaduros se alimentan de una mayor variedad de especies presa.

Tabla 6.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por estadio de madurez a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.

Especie	Grupo	Nivel trófico NT
<i>M. lunulatus</i>	Promedio	3.94
	Inmaduro	3.75
	Maduro	4.13

Los valores de nivel trófico promedio calculado por estadio de madurez muestran que, en Bahía Tortugas, tanto inmaduros como maduros son depredadores terciarios, donde los organismos maduros presentaron en nivel trófico más alto (Tabla 6).

### **Análisis isotópico por estadio de madurez de Punta Lobos**

Para la zona de Punta Lobos fueron analizadas 35 biopsias siendo para inmaduros y maduros, 18 y 17 respectivamente. El promedio de los valores isotópicos para inmaduros fue de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.78 \text{‰} \pm 0.81$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $18.16 \text{‰} \pm 0.68$ , en maduros para  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-17.28 \text{‰} \pm 0.60$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $18.10 \text{‰} \pm 0.87$ . Al realizar la prueba estadística Mann-Whitney para la comparación de los valores isotópicos de nitrógeno fue de ( $U=128.000$ ,  $p>0.05$ ) y para el caso de los valores de carbono el valor estadístico de la prueba Mann-Whitney fue de ( $U=108.000$ ,  $p>0.05$ ), determinando para ambos casos que no existen diferencias significativas en los valores isotópicos entre inmaduros y maduros. A diferencia de la zona de Bahía

Tortugas en la zona de Punta lobos no fue posible determinar diferencias significativas en los valores de carbono y nitrógeno.

Al generar las elipses (Fig. 18) fue posible observar un traslazo medio de 0.51, poniendo en evidencia que tanto los organismos inmaduros como maduros se alimentan en la misma área, así como de las mismas especies presa, aunque es necesario mencionar que el tamaño de muestra de Punta Lobos es más pequeño que el número obtenido en Bahía Tortugas, lo cual puede estar influenciando dicho resultado.

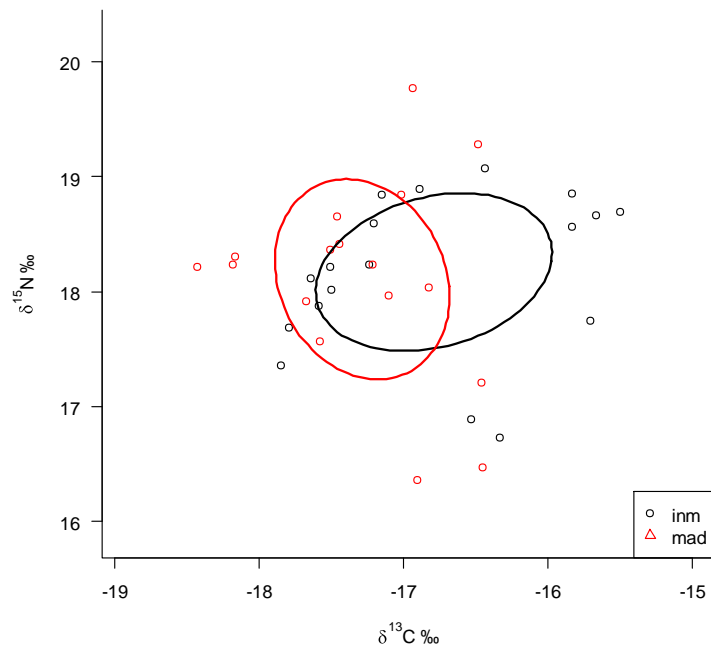


Figura 18.- Amplitud trófica y traslazo trófico de inmaduros y maduros de *Mustelus lunulatus* en Punta Lobos. Los puntos negros representan los inmaduros y los puntos rojos los maduros.



Los organismos inmaduros y maduros de *M. lunulatus* en Punta Lobos, son de carácter especialista ya que los valores de sus varianzas de sus datos isotópicos de C y N ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.81$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.68$  para inmaduros), ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.60$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.87$  para machos) son inferiores a 1. Lo que puede ser resultado de un menor consumo de especies presa distintas los organismos inmaduros de Bahía Tortugas.

Tabla 7.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por estadio de madurez a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos.

Especie	Grupo	Nivel trófico NT
	Promedio	3.75
<i>M. lunulatus</i>	Inmaduro	3.76
	Maduro	3.74

Para la zona de Punta Lobos, el nivel trófico promedio por estadio de madurez fue similar a la anterior categoría, indicando que la ingesta de organismos maduros e inmaduros proviene de niveles tróficos similares (Tabla 7). Estos resultados muestran similitud con los niveles de la zona de Bahía Tortugas, categorizando a los organismos de Punta Lobos como consumidores terciarios.

### **Análisis isotópico por temporada de Bahía Tortugas**

Para las temporadas cálida y fría de la zona de Bahía Tortugas se analizaron 120 biopsias de músculo de *M. lunulatus* 97 y 24 respectivamente. El promedio de los valores isotópicos para la temporada cálida fue de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.54 \text{‰} \pm 0.70$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $15.96 \text{‰} \pm 1.68$ , en la temporada fría para  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-16.93 \text{‰} \pm 0.53$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $16.43 \text{‰} \pm 0.97$ . Al comparar los valores isotópicos de nitrógeno ( $U=1004.000$ ,  $p>0.05$ ) entre ambas temporadas, se determinó que no existen diferencias significativas entre ellas, diferente a los valores de carbono ( $U=758.000$ ,  $p<0.05$ ), donde se determinó que entre temporadas existe diferencia estadística de estos valores isotópicos entre temporadas.

Al construir las elipses con ayuda del método SIBER (Fig. 19) fue posible observar la semejanza en la dieta de este depredador entre las temporadas, donde el valor fue de 0.47 correspondiente a un traslapeo medio, poniendo en evidencia que tanto durante la temporada cálida como la temporada fría estos organismos se alimentan en la misma área a lo largo del periodo, así como que consumen las mismas especies presa o especies con razones isotópicas similares, que posicionan a estos organismos en el mismo nivel trófico durante ambas temporadas.

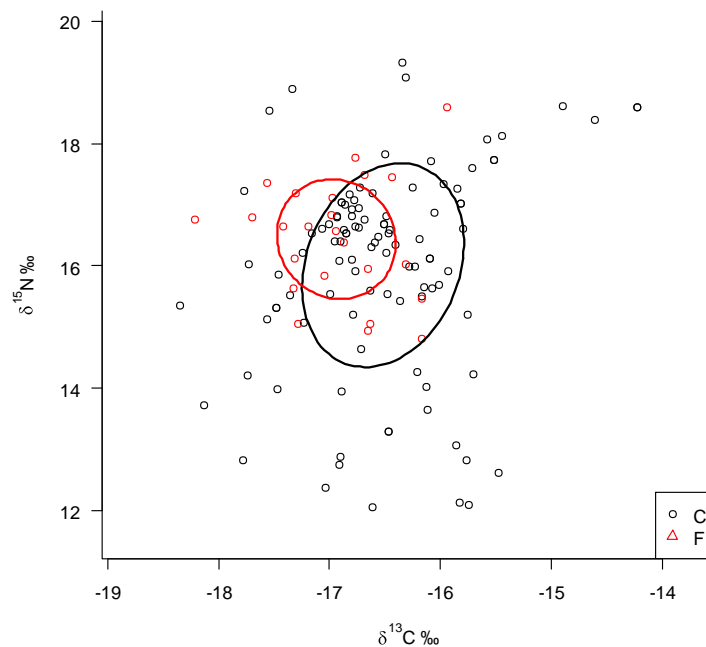


Figura 19.- Amplitud trófica y traslapeo trófico de *Mustelus lunulatus* entre las temporadas cálida y fría en Bahía Tortugas. Los puntos negros representan los organismos muestreados durante la temporada cálida y los puntos rojos los organismos muestreados durante la temporada fría.

Los organismos de *M. lunulatus* correspondientes a la temporada cálida en Bahía Tortugas, son de carácter generalista ya que los valores de sus varianzas de sus datos isotópicos de N fueron superiores a 1 ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.70$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 1.68$  para la

temporada cálida), mientras que para la temporada fría ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.53$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.97$  para la temporada fría) fueron inferiores a 1 caracterizando a estos organismos durante la temporada fría como depredadores especialistas.

Tabla 8.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por temporada a partir de análisis de isótopos estables para el área de Bahía Tortugas.

Especie	Grupo	Nivel trófico NT
	Promedio	3.93
<i>M. lunulatus</i>	cálida	3.86
	fría	3.93

El nivel trófico promedio por temporada para Bahía Tortugas fue similar, lo cual puede ser atribuido a que, tanto en la temporada cálida como fría, este depredador pudo alimentarse en la misma profundidad ingiriendo presas con niveles tróficos iguales (Tabla 8). Por consiguiente *M. lunulatus* se mantuvo como consumidor terciario durante ambas temporadas.

### **Análisis isotópico por temporada de Punta Lobos**

Para las temporadas cálida y fría de la zona de Punta Lobos se analizaron 40 biopsias subdivididas en 7 y 33 respectivamente. El promedio de los valores isotópicos para la temporada cálida fue de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-17.72 \text{‰} \pm 0.24$  y para  $\delta^{15}\text{N}$  de  $17.89 \text{‰} \pm 0.30$ ; mientras que para la temporada fría los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  fueron de  $-16.83 \text{‰} \pm 0.82$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $18.29 \text{‰} \pm 0.82$ . Al comparar los valores isotópicos de nitrógeno ( $U=59.000$ ,  $p<0.05$ ) y carbono ( $U=25.000$ ,  $p<0.05$ ), se determinó que efectivamente existen diferencias significativas entre temporadas, mostrando que los organismos se alimentan de presas distintas durante estos periodos.

Para esta zona fue posible determinar diferencias significativas en los valores isotópicos de nitrógeno y carbono entre temporadas, demostrando que *M. lunulatus* tiene una dieta distinta durante la temporada cálida comparada con la fría.

Al construir las elipses con ayuda de la prueba SIBER (Fig. 20) fue posible observar la diferencia en la dieta de este depredador entre la temporada cálida y fría, donde el traslape trófico presentó un valor bajo de 0.11, dejando en claro que tanto entre temporadas estos organismos se alimentan en diferentes áreas, así como el consumo distinto de especies presa. Es necesario mencionar que el tamaño de muestra para esta zona fue más pequeño que el utilizado para Bahía Tortugas, lo cual pudo influir en el resultado.

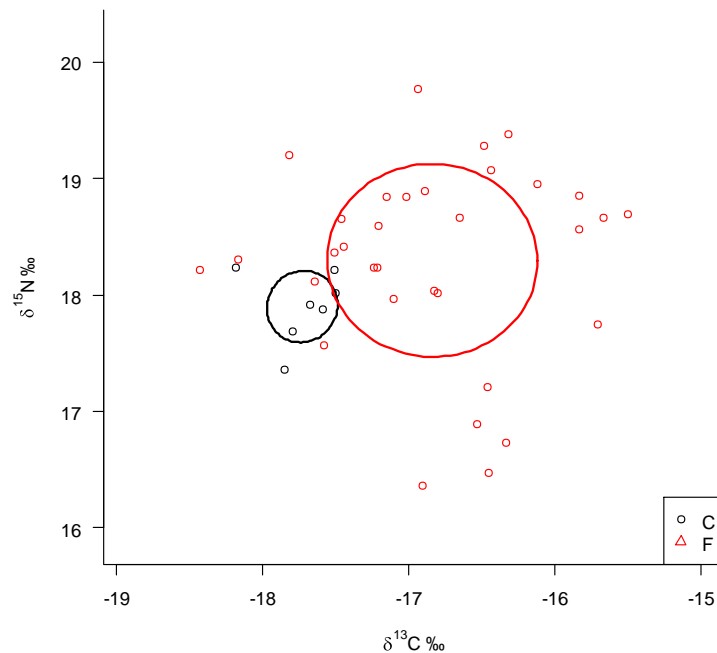


Figura 20.- Amplitud trófica y traslape trófico de *Mustelus lunulatus* entre las temporadas cálida y fría en Punta Lobos. Los puntos negros representan los organismos muestreados durante la temporada cálida y los puntos rojos los organismos muestreados durante la temporada fría.

Los organismos de *M. lunulatus* correspondientes a las temporadas cálida y fría en Punta Lobos, pueden ser caracterizados como depredadores especialistas ya que los valores de sus varianzas de sus datos isotópicos de C y N fueron inferiores a 1 ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.24$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.30$  para la temporada cálida), ( $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.71$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.82$  para

la temporada fría). Lo que indica que el número especies presa consumidas, así como su disponibilidad pudo ser similar a través de ambas temporadas, reflejándose una alimentación relativamente constante en cuanto a consumo de presas a lo largo de un año.

Tabla 9.- Niveles tróficos de *Mustelus lunulatus* por temporada a partir de análisis de isótopos estables para el área de Punta Lobos.

Especie	Grupo	Nivel trófico NT
	Promedio	3.74
<i>M. lunulatus</i>	cálida	3.69
	fría	3.80

El nivel trófico entre temporada para Punta Lobos fue similar, siendo ligeramente más alto durante la temporada fría. Lo que podría estar relacionado con el cambio de especies presa dentro de la dieta de *M. lunulatus* entre temporadas, por lo tanto, la ingesta de presas con diferentes niveles tróficos es posible (Tabla 9), asimismo se clasificó a este tiburón como un depredador terciario (Pauly & Palomares, 2000).

### **Modelo de mezcla Bayesiano (SIAR) Bahía Tortugas**

#### **Contribución de presas a la dieta Bahía Tortugas**

Al realizar el modelo SIAR se lograron identificar las posibles contribuciones de algunas fuentes (presas) al músculo de *M. lunulatus*, observándose que tanto *Callinectes* spp. como *P. interruptus* son las presas que aportaron alas mayores contribuciones; seguido por *P. planipes*, *H. californiensis* y *Portunus* spp (Fig. 21).

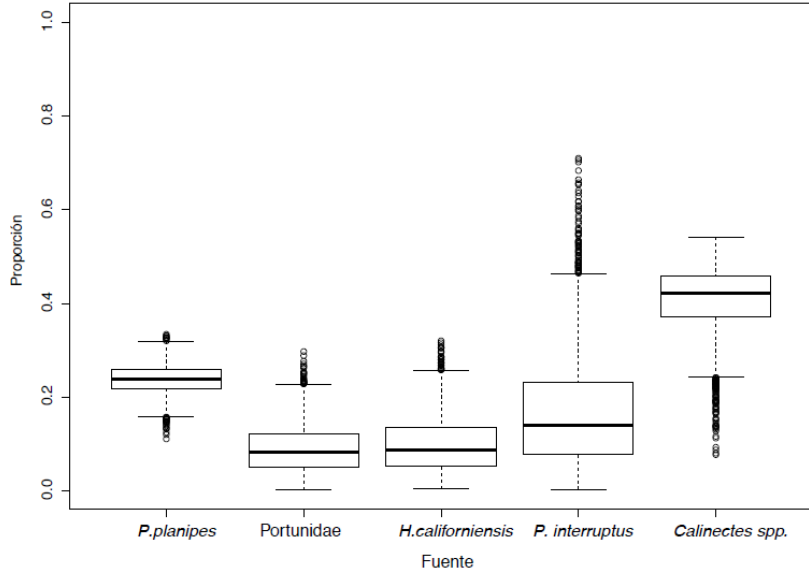


Figura 21.- Contribución de las presas en la dieta de *M. lunulatus* de Bahía Tortugas, con base en la utilización del Modelo de mezcla MixSiar, las áreas de las cajas representan el 95 (caja central), 75 y 50% de los intervalos de confianza de la contribución probable de cada pesa a la dieta.

Tabla 10.- Porcentaje medio de la contribución de presas a la dieta de *Mustelus lunulatus* con base en el modelo de mezcla para el área de Bahía Tortugas.

Especie	Media	SD
<i>P. planipes</i>	23.9	0.030
Portunidae	8.9	0.051
<i>H. californiensis</i>	9.8	0.057
<i>P. interruptus</i>	16.3	0.112
<i>Callinectes</i> spp.	41.1	0.065

Las presas con las mayores proporciones a la dieta de *M. lunulatus* fueron *Callinectes* spp. (41.1%) seguido de *P. planipes* (23.9%) y *P. interruptus* (16.3%) (Tabla 10, Figura 21). Dejando a otras especies en segundo plano, siendo algunas de ellas, especies principales dentro de los análisis de contenidos estomacales.

## Contribución de presas a la dieta Punta Lobos

Para esta zona el modelo de mezcla mostró las posibles contribuciones de algunas fuentes (presas) al músculo del cazón mamón. Siendo los grupos con la mayor contribución a la dieta: Cancridae/Grapsidae spp. y el pez *Hippoglossina* spp; seguido por la familia Portunidae, *A. mexicanus* y *Achelous* spp. (Fig. 22), es importante mencionar que las familias Cancridae y Grapsidae fueron agrupadas en un mismo ítem alimentario debido a los valores isotópicos bastante semejantes.

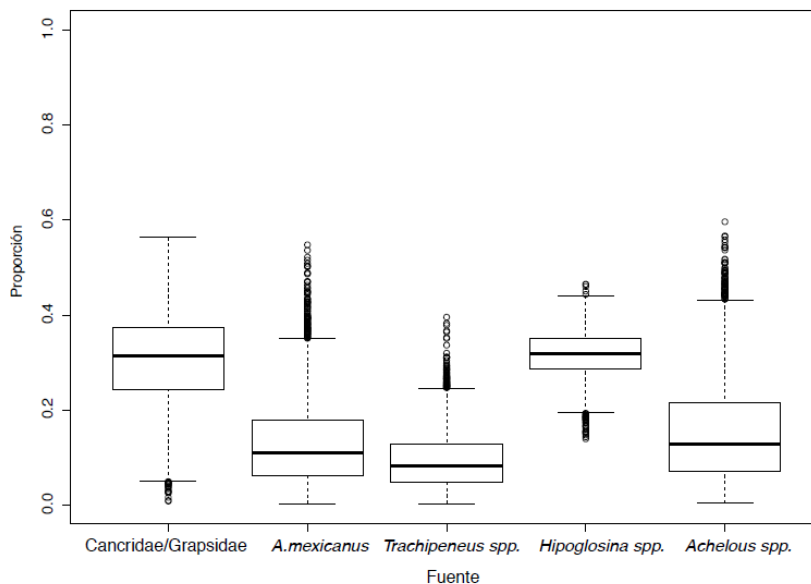


Figura 22.- Contribución de las presas en la dieta de *M. lunulatus* de Punta Lobos, con base en la utilización del Modelo de mezcla MixSiar, las áreas de las cajas representan el 95 (caja central), 75 y 50% de los intervalos de confianza de la contribución probable de cada presa a la dieta.

Tabla 11.- Porcentaje medio de la contribución de presas a la dieta de *Mustelus lunulatus* con base en el modelo de mezcla para el área de Punta Lobos.

Especie	Media	SD
Cancridae/Grapsidae	30.2	0.093
<i>A. mexicanus</i>	13.2	0.092
<i>Trachipenaeus</i> spp.	9.5	0.059
<i>Hippoglossina</i> spp.	31.6	0.048
<i>Achelous</i> spp.	15.4	0.108

Para la zona de Punta Lobos en *M. lunulatus* fueron encontradas proporciones distintas de las presas, así como presas diferentes, sin embargo, se halló un patrón similar a Bahía Tortugas, encontrando al grupo *Hippoglossina* spp. (31.6 %) seguido de Cancridae/Grapsidae (30.2 %) y *Achelous* spp. (15.4 %) (Tabla 11, Fig. 22).



## Discusión

### Hábitos alimenticios.

La especie *Mustelus lunulatus* fue categorizada como una especie carcinófaga, tal y como lo reportó Moreno-Sánchez *et al.* (2012) en el Golfo de California, donde la especie se alimenta principalmente de crustáceos. Sin embargo, las presas registradas en Bahía Tortugas y Punta Lobos, fueron distintas, ya que la langostilla *Pleuroncodes planipes* fue la especie de mayor importancia dentro de la dieta de *M. lunulatus* en Bahía Tortugas, mientras que para el Golfo de California la especie de mayor importancia fue la langosta chaparra *Munida tenella*, ambas pertenecientes a la familia Munididae.

Se debe destacar que tanto para la costa occidental de Baja California, como el Golfo de California el estomatópodo *Hemisquilla californiensis* fue la segunda especie presa más importante, lo que podría significar que *H. californiensis* se constituye como una especie clave en la dieta de este tiburón.

Los estomatópodos como *H. californiensis* y géneros similares como *Squilla*, son presas importantes dentro de la alimentación de *M. lunulatus* en la costa occidental y oriental de Baja California Sur, México. Navia *et al.* (2006) reportaron que el tiburón mamón *M. lunulatus* (“toyo vieja” para Colombia), se alimentó principalmente de estomatópodos pertenecientes al género *Squilla*; además es posible que *M. lunulatus* compita con otros elasmobranquios epibentónicos por este recurso. Otras especies importantes en la dieta de *M. lunulatus* en el Parque Nacional Natural Gorgona Pacífico colombiano fueron cefalópodos y peces (Gómez *et al.*, 2003), semejante al resultado obtenido en el presente estudio.

En la costa occidental de Baja California Sur, México, *M. henlei* se alimenta principalmente de *P. planipes*, seguida de MONI y especies de peces y cefalópodos, además de que se consideró como un tiburón especialista (Romero *et al.*, 2013), demostrando la similitud en la dieta entre *M. henlei* y *M. lunulatus*.

En Punta Lobos, la presa principal de *M. lunulatus* fue el crustáceo *Platymera gaudichaudii*; mientras que, a lo largo de la occidental de Baja California, *M. henlei* se alimenta de *P. planipes* (Rodríguez-Romero *et al.*, 2013), lo que podría indicar que entre estas especies podría existir una repartición de recursos.

*M. dorsalis*, ha sido categorizado como oportunista y carcinófago, ya que se alimentó principalmente de crustáceos del grupo Brachyura, peces y poliquetos para Costa Rica (Rojas, 2006). El grupo de los poliquetos forma parte importante de su dieta, debido a la diferencia de la zona de estudio o a una diferencia en su estrategia de vida y requerimientos alimenticios. En las costas de Elkhorn Slough, California, *M. californicus*, con una distribución similar a *M. lunulatus*, se alimenta principalmente de crustáceos de la familia Varunidae y Cancridae (Talent, 1987). Al coexistir en la misma zona podría existir la posibilidad de que estos depredadores compartan o compitan por el recurso.

Es importante mencionar que por la poca información generada sobre *M. lunulatus* se optó por discutir la información a nivel de género con los estudios de Moreno-Sánchez *et al.* (2012), Navia *et al.* (2006) y Gómez *et al.* (2003), siendo evidente que en los estudios tróficos sobre este género indicaron que la mayoría de las especies son depredadores terciarios y especialistas.

### **Hábitos alimenticios por Sexo**

El consumo de especies presa entre hembras y machos de *M. lunulatus* mostró cierta diferencia significativa en los porcentajes de contribución de las especies presa, las hembras se alimentan en mayor medida de la langostilla *P. planipes* y *Panulirus* spp. y los machos se alimentaron principalmente del estomatópodo *H. californiensis* seguida en orden de importancia por *P. planipes* y *Panulirus* spp.

Moreno-Sánchez *et al.* (2012) reportaron que hembras y machos de esta especie se alimentaron de las mismas especies presa, pero en diferentes proporciones. Así tanto las hembras y los machos de *M. lunulatus*, se alimentaron

principalmente de *Munida tenella*; sin embargo, en las hembras la segunda especie en orden de importancia fue *H. californiensis* y en los machos el pez *Decapterus* spp.

Esto mismo fue observado en machos y hembras de *M. henlei* (Rodríguez-Romero *et al.*, 2013) las diferencias en la ingesta de grupos de crustáceos entre especies de *Mustelus*, sugiere que existe una repartición de recursos. Además, se debe destacar que al comparar los espectros tróficos de *M. henlei* y *M. lunulatus*, no se presentaron diferencias significativas en las dietas entre hembras y machos, lo que es indicativo que entre los sexos de ambas especies pueden estar compitiendo por el recurso lo que significaría que se están alimentando de las mismas presas, las cuales son de gran abundancia y presencia, así como de fácil acceso.

### **Hábitos alimenticios por temporada.**

Durante las temporadas fría y cálida, *M. lunulatus* se alimentó de *P. gaudichaudii* en Punta Lobos; mientras que en Bahía Tortugas los porcentajes de contribución de cada ítem alimentario fueron distintos, siendo *P. planipes* la presa principal durante la temporada cálida y *H. californiensis* durante la temporada fría. Este cambio de presas principales entre temporadas fue reportado en el Golfo de California por Moreno-Sánchez *et al.* (2012), donde documentaron que, durante la temporada fría *Munida tenella* fue la presa principal, seguidos de *Cancer amphioetus* y *H. californiensis*.

Navia *et al.* (2006) en el Pacífico colombiano menciona que *M. lunulatus* se alimentó de estomatópodos (*Squilla* spp.) durante la época cálida. En Bahía Tortugas, se determinó que este depredador se alimentó de crustáceos de la familia Munididae durante la temporada cálida y de estomatópodos durante la temporada fría. En Punta Lobos no hubo un cambio significativo de presas entre temporadas, mostrando que *M. lunulatus* se alimentó de las especies de fácil acceso presentes en cada temporada, lo cual puede estar dado por las características propias de la zona, así como de las condiciones físicas presentes en cada temporada (Campos *et al.*, 2009; Rodríguez-Romero *et al.*, 2013).

Belleggia (2012), encontró que para *M. schmitti* cambió de alimentación entre la temporada cálida y fría en la Plataforma Continental Argentina, alimentándose principalmente de peces y poliquetos durante la temporada fría y en la temporada cálida su dieta se basó principalmente de crustáceos pertenecientes al grupo Brachyura.

La diferencia en el cambio de régimen alimentario en Bahía Tortugas, comparado con Punta Lobos, pudo deberse a la disponibilidad del alimento durante esa temporada, lo cual se encuentra influenciado por las condiciones ambientales y fisicoquímicas del agua de mar, que es influenciada por fenómenos naturales, como el evento de El niño (Magaña *et al.*, 2001) o el evento sin precedentes definido como “El Blob” (Cavole *et al.*, 2016).

### **Hábitos alimenticios por estadio de Madurez.**

En la zona de Bahía Tortugas, los organismos adultos se alimentaron principalmente del estomatópodo *H. californiensis* y los juveniles se alimentaron de la langostilla *P. planipes*. En la zona de Punta Lobos ambos se alimentan de crustáceos; sin embargo, los adultos consumen especies de mayor tamaño como *H. californiensis*. Navia *et al.* (2006) comentaron que los juveniles *M. lunulatus* en aguas de Colombia se alimentaron de estomatópodos como *Squilla panamensis* y *S. parva*. Lo cual podría estar relacionado al tamaño de la boca del depredador para consumir presas de cierto tamaño.

Con respecto a la relación entre el tamaño del depredador, el tamaño y tipo de presa, Belleggia, (2012) determinó que en *M. schmitti*, al aumentar su longitud consume cefalópodos y bivalvos; mientras que los tiburones más pequeños consumen crustáceos.

Para el presente estudio, en la zona de Punta Lobos el alimento principal de *M. lunulatus* fue *P. gaudichaudii* lo cual concuerda con lo reportado por Rodríguez-Romero *et al.* (2013), en donde esta especie se constituyó como el segundo alimento en orden de importancias en los juveniles de la especie *M. henlei*. Además, estos autores mencionaron que se registró una menor similitud en las dietas de esta especie entre adultos y juveniles, diferente a lo observado en la dieta de *M. lunulatus* entre adultos y juveniles, donde la diferencia radicó en las proporciones de consumo de sus presas.

*M. californicus* también presentó una diferencia en su dieta con respecto a su tamaño siendo los organismos menores a 100 cm aquellos que se alimentaron en su mayoría de *Hemigrapsus oregonensis* (un cangrejo de tamaño pequeño); además de *Cancer gracilis* (un crustáceo de tamaño mediano), ambos formando más del 60% de la dieta de esta especie. Mientras que aquellos organismos mayores a 100 cm se alimentaron de algunas especies de la familia Cancridae (organismos de tamaño mediano y grande) (Talent, 1987), coincidiendo con lo mencionado por Belleggia, (2012) donde el tamaño de la boca del depredador se relacionó con el tamaño de la presa, similar a la tendencia alimentaria de *M. lunulatus*, consumiendo las mismas presas entre adultos y juveniles, pero en proporciones distintas, alimentándose de presas de mayor tamaño a medida que su longitud total aumenta.

### **Amplitud de nicho trófico y nivel trófico**

Para Bahía Tortugas y Punta Lobos *M. lunulatus* es una especie de carácter especialista y nivel trófico característico de consumidor terciario. En las categorías de sexo, estadio de madurez y temporada no se encontraron diferencias en el nivel trófico y amplitud trófica. Esto mismo fue reportado para el Golfo de California (Moreno-Sánchez *et al.*, 2012). Poniendo en evidencia que, tanto en la costa occidental de Baja California Sur como en el Golfo de California, *M. lunulatus* presentó la misma amplitud trófica. *M. henlei* es considerado depredador

especialista, que se alimentó principalmente de crustáceos (Rodríguez-Romero *et al.*, 2013). Esto contrasta con lo reportado para *M. lunulatus* y *M. schmitti* que son consideradas consumidor secundario y con diferente amplitud trófica entre estadios de madurez y temporadas (Belleggia, 2012). Las semejanzas en el tipo de alimentación entre las especies del género *Mustelus*, así como las variables que intervienen en la distribución y abundancia de dichas presas. Otra razón pueden ser las adaptaciones morfológicas propias de cada especie, para la caza y consumo de las especies presa disponibles en su hábitat.

## Isótopos estables de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$

### Efecto de urea en tejido muscular

Los valores promedios de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de *Mustelus lunulatus* contrastaron con lo reportado por Méndez-Da-Silvera, (2015) en el músculo de *M. henlei* en Punta Lobos. Los valores de *M. lunulatus* y *M. henlei*, tienen una diferencia de 1 ‰, *M. henlei* mostró los valores enriquecidos en  $^{15}\text{N}$  y empobrecidos en  $^{13}\text{C}$ . Esta diferencia puede ser debido a la diferencia en la dieta de estas dos especies, espacio-temporal entre ambos estudios.

No se encontró evidencia de un efecto de la urea sobre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en el músculo de *M. lunulatus*, lo cual contrastó con lo encontrado por Logan y Lutcavage, (2010) donde se estudiaron tres especies de elasmobranchios: *Carcharhinus plumbeus*, *Leucoraja* spp. y *Squalus acanthias*, donde el tejido de estas especies de tiburones mostró un efecto de la urea sobre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , concluyendo que la urea aumenta los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en el tejido muscular de estos depredadores.

La evidencia de este efecto para estas especies puede ser diferente a lo encontrado en *M. lunulatus*, debido a la diferencia de hábitat y biología diferente. La especie *S. acanthias*, tiene hábitos costeros similares a *M. lunulatus*, por lo cual se

esperaría un resultado similar; sin embargo, esta diferencia puede ser debido al metabolismo de *M. lunulatus*, el cual puede tener un proceso de fraccionamiento distinto a las especies estudiadas por Logan y Lutcavage (2010).

El fraccionamiento isotópico es el resultado de la excreción de urea y otros desechos nitrogenados que están empobrecidos en  $^{15}\text{N}$  en relación con los depósitos de nitrógeno corporal total durante la desaminación y la transaminación de aminoácidos. La magnitud del fraccionamiento o la discriminación probablemente se relaciona con la cantidad de productos de desecho nitrogenados excretados (Macko *et al.*, 1987; Hussey *et al.*, 2012). Además, se menciona que esta variación puede ser ocasionada por variables como la diferencia entre especies, tipos de tejido y temperatura, así como el consumo de proteína en su dieta (Hussey *et al.*, 2012).

Por lo que se sugiere el experimento de extracción de urea para cada grupo de elasmobranquios o inclusive a nivel especie. Sin embargo, este tipo de experimentos necesitan estudios de validación, los cuales requieren de organismos observados y muestreados bajo condiciones controladas, lo cual es muy difícil con especies de elasmobranquios de gran tamaño.

### **Comparación isotópica por sexo.**

En los isótopos estables de C y N no se encontraron diferencias significativas para *M. lunulatus* lo cual es similar a lo reportado para la especie *M. henlei* en Punta Lobos (Méndez-Da-Silvera, 2015). Los machos de *M. henlei* tienen valores más enriquecidos en  $\delta^{15}\text{N}$ , y más empobrecidos en  $\delta^{13}\text{C}$ , aproximadamente en 1 ‰ comparados con *M. lunulatus*, siendo a nivel interespecífico hembras y machos de ambas especies se alimentan en la misma zona y de especies similares, sin embargo a nivel intraespecífico, los machos de *M. henlei* se alimentan en zonas más costeras y de especies con mayor nivel trófico que los machos de *M. lunulatus*.

## Comparación por estadio de madurez

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los tiburones juveniles y adultos de *M. lunulatus*, fueron similares a los obtenidos por Méndez-DaSilveira (2015) para Punta Lobos. Los organismos juveniles de *M. henlei*, solo se registraron hembras, donde no se encontró diferencia en los valores isotópicos de C y N entre estadios de *M. henlei*. Con lo que se puede argumentar que, para ambas especies, no se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos de C y N entre sus estadios. Al comparar entre especies, los valores isotópicos de C y N en los organismos adultos son similares. Los valores de los organismos juveniles varían aproximadamente en 1 ‰, donde puede observarse que los juveniles de *M. henlei* tienen valores isotópicos de C más negativos y más positivos de N, comparados con los valores de C y N de *M. lunulatus*, mostrando que los juveniles de *M. henlei* se están alimentando en una zona más alejada de la costa, así como de especies de mayor nivel trófico, haciendo poco probable la competencia por recurso durante este estadio.

Los valores de juveniles y de adultos de *M. lunulatus* de Bahía Tortugas y Punta Lobos no presentaron diferencias significativas, indicando que ambos estadios se alimentaron en la misma zona, por lo que puede ser descartada la competencia dentro de esta categoría.

Al realizar la comparación de estos estadios entre zonas, se logró observar que los juveniles de Bahía Tortugas y Punta Lobos tienen valores semejantes en  $\delta^{13}\text{C}$  (Variación en décimas); mientras que en  $\delta^{15}\text{N}$  los valores de Punta Lobos fueron mayores aproximadamente en 3 ‰. Los adultos de Punta Lobos obtuvieron un valor de  $\delta^{13}\text{C}$  más negativo, aproximadamente en 1 ‰, para esta misma zona los valores  $\delta^{15}\text{N}$  en adultos fue mayor aproximadamente en 2 ‰. Este incremento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  puede deberse a la disponibilidad de presas con niveles tróficos más bajos en la zona de Bahía Tortugas, así como la diferencia de presas que existen en cada zona, ya que la batimetría de estas dos zonas es distinta, siendo Punta Lobos la zona más profunda. Otro factor que puede influenciar estos resultados en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , es la diferencia en latitud, ya que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en las bases de las



redes tróficas pueden estar en niveles distintos a diferente latitud (Wada y Hattori, 1991).

### **Comparación por temporada**

Los valores isotópicos obtenidos del músculo de *M. lunulatus* para las temporadas cálida y fría en Punta Lobos fueron diferentes, contrastando con lo obtenido por Méndez-Da Silveira (2015), donde los valores isotópicos de *M. henlei* no fueron diferentes a lo largo del año 2013, indicando que no existieron diferencias en los valores isotópicos de este depredador a lo largo de las dos temporadas presentes durante ese año. Cabe mencionar que los datos provenientes de la temporada cálida fueron promediados a lo largo de una serie histórica de varios años, que comparado con Méndez-Da Silveira, (2015), donde las muestras provienen del año 2013, a excepción de los meses de junio-julio en los cuales es efectiva la veda de estos organismos. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible observar las tendencias alimenticias que siguen estos depredadores entre temporadas, durante las cuales, si existen cambios aparentes en los valores isotópicos promedio de ambas especies, lo que podría significar que sus hábitos alimenticios se pueden ver afectados.

En otro estudio realizado por Méndez-Da Silveira (2012) en *M. henlei* para la zona de Punta Lobos, se recolectaron muestras durante la época fría, obteniéndose valores isotópicos que oscilaron entre 18.3 a 19.0 ‰ en  $\delta^{15}\text{N}$  y -15.7 a -16.4‰ en  $\delta^{13}\text{C}$  semejante a lo encontrado en este estudio con *M. lunulatus*, donde se obtuvieron valores promedios en  $\delta^{15}\text{N}$  18.29 ‰  $\pm$  0.82 y para  $\delta^{13}\text{C}$  de -16.83 ‰  $\pm$  0.82.

Se puede interpretar que, durante la época fría, tanto *M. henlei* como *M. lunulatus* podrían alimentarse de las mismas presas dentro de una misma zona, donde puede ser posible la competencia por recurso o en caso contrario si se alimentan de diferentes presas con niveles tróficos similares, podría existir la repartición de recursos entre estas dos especies para la zona de Punta Lobos. En contraste en la zona de Bahía Tortugas los valores isotópicos promedio de *M. lunulatus* para la

temporada fría fueron de  $-16.93 \text{ ‰} \pm 0.53$  en  $\delta^{13}\text{C}$  y para  $\delta^{15}\text{N}$   $16.43 \text{ ‰} \pm 0.97$ , pudiendo mencionar que para esta zona este depredador se encuentra en una zona oceánica cercana a la costa, semejante a Punta Lobos; sin embargo, el valor de  $\delta^{15}\text{N}$  es menor, indicando que su ingesta de presas se basa en especies de crustáceos con valores isotópicos bajos o con niveles tróficos más bajos.

Al ser escasa la información sobre isótopos estables en especies pertenecientes al género *Mustelus*, en especial en la zona de la costa occidental de Baja California Sur y gran parte del Pacífico mexicano, se optó por comparar los resultados de este estudio con otros en la misma zona. Por ejemplo, el realizado por Conde Moreno (2009), quien reportó valores isotópicos para la especie *Rhizoprionodon longurio* en el área del Golfo de Tehuantepec, así como en el suroeste del Golfo de California. Donde señaló que para esta especie de tiburón en el suroeste del Golfo de California no hubo diferencia en los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre las temporadas cálida y fría. Lo que coincidió con *M. lunulatus* en la zona de Bahía Tortugas, donde tampoco se presentó ningún cambio en los valores isotópicos promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  entre temporadas.

En otro estudio realizado por Maya-Meneses (2012), el cual presentó los valores promedio de los isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo de las especies de tiburón azul *Prionace glauca* y tiburón mako *Isurus oxyrinchus*, se mencionó que para la zona de Punta Lobos los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *I. oxyrinchus* no fueron distintos a lo largo del año de muestreo (incluyendo ambas temporadas), pero si existieron diferencias para  $\delta^{13}\text{C}$  entre zonas, lo cual también coincidió con lo encontrado en el presente estudio para *M. lunulatus* donde no se observaron diferencias significativas entre temporadas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .

En cambio, Maya-Meneses, (2012) reportó que para *P. glauca* si existió una diferencia en dichos valores entre localidades y años, lo cual puede indicar que este cambio en los valores isotópicos promedio entre temporadas puede ocurrir en algunas especies de tiburones y para otras no, atribuyendo este hecho a la diferencia en los hábitos alimenticios de cada tiburón, ya que unas especies son más costeras y otras más oceánicas; asimismo unas especies son bentónicas y otras pelágicas.

Algo a tomar en cuenta, al utilizar un tipo de tejido para el análisis de isótopos estables, es la velocidad de recambio de dicho tejido, lo cual está relacionado con la variable del tiempo. En este caso se utilizó tejido muscular, el cual tiene un recambio aproximado de 1 año o más en elasmobranchios, dependiendo de la especie o grupo (Malpica-Cruz, 2012). En este caso *M. lunulatus* podría tener un recambio aproximado de 7 meses, semejante al recambio de tejido muscular que ocurre en *Triakis semifasciata* (Malpica-Cruz, 2012), debido a que ambas especies de tiburón presentan características ecológicas similares, así como de pertenecer a la misma familia. Considerando el recambio en el tejido, las observaciones realizadas en el presente estudio es un reflejo de lo sucedido siete meses hacia atrás desde la obtención de las muestras, de tal manera que aquello sucedido durante la temporada cálida en realidad es lo que sucedió durante la temporada fría, y viceversa. Observándose valores isotópicos diferentes entre las temporadas, en el cual se observaron aumentos en los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  de *M. lunulatus* de una temporada a otra en Bahía Tortugas y para Punta Lobos hubo un enriquecimiento en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , lo cual puede indicar que los valores de C y N en los niveles tróficos, así como en su base cambian de una temporada a otra o de un año a otro, contrastando con los supuestos de uso de isótopos estables por Jackson y Harkness, (1987).

### **Nivel trófico y amplitud trófica para isótopos estables**

A la fecha no ha sido reportado el valor de nivel trófico para el cazón mamón a través del uso de isótopos estables. *M. lunulatus* es considerado uno de los principales depredadores del ambiente bentónico, comparte esta posición con otros depredadores bentónicos como *M. henlei* (Navia *et al.*, 2006). Los valores isotópicos de *M. lunulatus* ( $3.87 \pm 0.1$ , Bahía Tortugas y  $3.77 \pm 0.03$ , Punta Lobos) son similares a los valores obtenidos para *Rhizoprionodon longurio*,  $4.1 \pm 0.2$ , en el sureste del Golfo de California (Conde-Moreno, 2009), ambos depredadores fueron posicionados como organismos bentónicos y depredadores terciarios. Conde-Moreno (2009) reportó que no se encontraron diferencias isotópicas entre sexos y estadios para *R. longurio*,

similar a lo reportado en el presente estudio para *M. lunulatus*, a excepción de los adultos y juveniles en Bahía Tortugas, donde la diferencia fue de 1 ‰.

*R. longurio* tiene un nivel trófico promedio que osciló entre 4.1 y 4.2 para las categorías por sexo estadio y temporada, semejante a lo encontrado en *M. lunulatus*, donde los valores oscilaron entre 3.8 y 3.9 para las distintas categorías en ambas zonas. Otra especie con niveles tróficos similares es el tiburón martillo *Sphyrna zygaena* un depredador mesopelágico y bentónico, del cual Ochoa-Diaz (2009) reporta que al utilizar  $\delta^{15}\text{N}$ , en la costa occidental de Baja California Sur esta especie tiene un nivel trófico de 4.1, el cual es un depredador terciario al igual que lo encontrado para *M. lunulatus* en el presente trabajo (Nivel trófico de 3.9 en Bahía Tortugas y 3.7 en Punta Lobos). Cabe mencionar que, a pesar de las diferencias morfológicas, de hábitat y alimentación entre *S. zygaena* (dieta basada en cefalópodos) y *M. lunulatus* (dieta basada en crustáceos), ambas especies son categorizadas como depredadores terciarios, lo cual puede ser atribuido a el consumo de especies presa con niveles tróficos similares.

La amplitud del nicho trófico indica que, *M. lunulatus* es una especie especialista. Aunque entre temporadas *M. lunulatus* resultó ser especialista en la fría y generalista en la cálida en Bahía Tortugas

Los elasmobranquios son depredadores que obedecen la ley del mínimo forrajeo, apoyando la caracterización de *M. lunulatus* como generalista dentro de esa categoría; sin embargo, en el presente estudio se alimenta principalmente de crustáceos, lo que apoya la determinación de *M. lunulatus* como depredador especialista a nivel de grandes grupos.

## Modelo de mezcla

Las contribuciones de algunas fuentes (presas), como los crustáceos pertenecientes al género *Callinectes* y *P. planipes* fueron las de mayor aporte a la dieta de *M. lunulatus*. Lo cual coincide parcialmente con lo observado por el método de contenido estomacal, donde la langostilla *P. planipes* fue la especie más importante en su dieta; sin embargo, al generar el modelo de mezcla, esta especie fue la segunda presa en orden de importancia para este tiburón, contrario a lo que se esperaba, que al utilizar la herramienta de isótopos se validara que esta especie presa fuera la de mayor aporte.

Otra razón por la que dichas especies presa tengan estas contribuciones medias hacia *M. lunulatus*, puede deberse a que las proporciones de isótopos estables en los tejidos de los peces reflejan los efectos combinados del metabolismo (tasa de recambio), el crecimiento (la adición de tejido nuevo), enrutamiento isotópico (ruta de los componentes de la dieta hacia tejidos individuales o específicos), composición de proteína de tejido (la asociación de determinadas relaciones de isótopos estables con aminoácidos específicos) y la dieta (MacNeil *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede atribuir que el aprovechamiento de las presas de *M. lunulatus* para la formación de músculo es distinta, ya que estas presas varían en aporte alimenticio en calorías, proteínas y grasas. Donde se ha reportado que por cada 100 g de dicha presa se aportan diferentes cantidades de dichos compuestos, para el caso de un cangrejo se tiene registrado lo siguiente: calorías 124 cal, proteínas 19.5 g, grasas 5.1 g; para la langosta: calorías 91.2 cal, proteínas 18.3 g, grasas 2 g; langostino: calorías 95.7 cal, proteínas 21 g, grasas 1.3 g y en camarones las calorías aportadas son en promedio 95.7 cal, proteínas 21 g, grasas 0.7 g (Eroski, 2018), donde es posible que *P. planipes* tenga una cantidad relativamente baja de proteína, comparada con otros grupos.

La diferencia en la cantidad de estos compuestos en las presas además del enrutamiento isotópico dentro de cada organismo, más el efecto que tienen las proteínas y grasas sobre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Kim y Koch., 2012), puede ser la razón por la cual *P. planipes* en la zona de Bahía Tortugas y las especies presa

principales de cangrejo en Punta Lobos dentro de los contenidos estomacales no sean las presas más importantes a nivel isotópico, así como las presas de mayor aporte a la generación de tejido. Sin embargo dentro de los contenidos estomacales existió el ítem alimentario denominado restos de crustáceo, en el cual se reunieron partes de crustáceos que no fue posible identificar, es probable que las muestras que integran dicho ítem tanto de Bahía Tortugas y Punta Lobos, podrían ser restos de *P. planipes* así como de *P. interruptus* y especies pertenecientes al género *Portunus* o quizás a otra especie de crustáceo que puede tener un mayor aporte a la dieta de este tiburón, sin embargo fue digerida fácilmente.

### **Eventos que influyeron en la alimentación de *M. lunulatus***

Los fenómenos El Niño y El Blob o la mancha son fenómenos oceanográficos que han generado diversos impactos sobre las costas a lo largo del Pacífico oriental, donde algunos son tanto físicos, ecológicos, sociales y económicos, por ejemplo, algunos impactos producidos por el evento El Niño (Magaña *et al.*, 2001). Uno de los impactos más importantes que ejercen gran influencia sobre los ámbitos ya mencionados es el cambio de especies en una zona determinada, por ejemplo en las costas de Perú se observó que durante el evento El Niño, aparecieron especies pelágicas que no son tan comunes cuando no existe tal evento, al igual que el desplazamiento de cardúmenes de anchoveta, la cual no puede ser compensada con la presencia de nuevas especies (SENAMHI, 2014), lo que pudo haber sucedido de manera similar en la costa occidental de Baja California Sur, aumentando o disminuyendo la abundancia y/o presencia de especies comunes y raras, como el caso de *P. planipes* y otras especies presentes en la dieta de *M. lunulatus*.

La temperatura superficial del mar influye sobre este cambio de especies, sustituyéndose (cambio en biomasa) varias especies de copépodos, huevos y larvas de especies de importancia comercial, como la sardina (Palomares-García *et al.*, 2003). De esta manera la temperatura superficial del mar fue una variable importante que afectó la abundancia de las especies, entre ellas *P. planipes*, lo cual explicó su gran abundancia y presencia de en la dieta de *M. lunulatus* en el presente estudio. La langostilla *P. planipes*, es una especie que soporta intervalos de temperatura

superficial distintos (Boyd, 1967) con respecto a los producidos por estos fenómenos, pudiéndose encontrar a temperaturas que van desde los 8.8 hasta los 21 grados centígrados (NOAA, 1974).

La temperatura superficial del agua aumenta hasta +4.4 grados centígrados durante los eventos ya mencionados (Palomares-García *et al.*, 2003), concordando con lo obtenido en el presente estudio, donde al utilizar los datos de la NOAA para clasificar las temporadas cálida y fría, se logró obtener promedios de temperatura superficial del agua para la costa occidental de Baja California entre 26-29 grados centígrados, lo que supera el intervalo de tolerancia de esta presa, causando una mortandad masiva, por consiguiente, un varamiento masivo de este crustáceo en las costas de Baja California Sur (Cavole *et al.*, 2016).

Otro fenómeno que modifica la temperatura superficial del agua es el fenómeno la Mancha, El Blob o WWA (Warm-Water Anomaly), que se hizo presente durante los años (2013-2014), extendiendo sus efectos hasta el año 2015, el cual coincidió con el fenómeno El Niño. Acompañado de eventos anómalos como: florecimientos algales nocivos en algunas partes del sur de California, varamientos masivos de mamíferos marinos y aves marinas, así como presencia de especies de aguas tropicales en zonas templadas, donde antes no se observaban de manera normal (Cavole *et al.*, 2016), siendo *P. planipes* otro ejemplo ya que su alta abundancia y aparición en California, precedió a la señal de El Niño por varios meses, apoyando una correlación con El Blob; sin embargo para las zonas de Baja California Sur aún falta información para aseverar este hecho (Cavole *et al.* 2016), aunque no se puede descartar que pueda deberse al efecto del fenómeno de El Niño y la Mancha combinados. Estos fenómenos podrían influir en el espectro trófico de *M. lunulatus*, comparado con lo encontrado por otros autores en zonas aledañas y en especies del mismo género.

## Conclusiones

- El cazón mamón *Mustelus lunulatus* se alimentó principalmente de crustáceos en las zonas de Punta Lobos y Bahía Tortugas, dejando en segunda instancia a otros grupos de organismos presa como peces y cefalópodos.
- Para la zona de Bahía Tortugas las especies principales fueron la langostilla *Pleuroncodes planipes*, el estomatópodo *Hemisquilla californiensis* y otras especies de crustáceos pertenecientes a la familia Portunidae. Para la zona de Punta Lobos la especie presa principales fueron el crustáceo “Cangrejo Rojo” *Platymera gaudichaudii*, y una especie de pez plano perteneciente al género *Hipoglossina* spp. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en las presas de *M. lunulatus*, demostraron que las especies presa que más aportan a la generación de su tejido muscular fueron *Callinectes* spp. para la zona de Bahía Tortugas y la familia Cancridae para Punta Lobos.
- Dentro de las categorías de sexos, estadios y por temporadas para Bahía Tortugas no se encontraron diferencias significativas entre las especies presa; aunque si existió una diferencia en las proporciones de estas presas dentro de las categorías, similar a lo ocurrido en Punta Lobos, donde entre categorías no se encontraron diferencias significativas de presas, sin embargo dentro de las categorías, las proporciones de las presas si fueron distintas para algunas de ellas, haciendo posible el traslape de dieta entre categorías en ambas zonas. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  mostraron un traslape alto de dieta entre hembras y machos, un traslape medio entre inmaduros y maduros para Bahía Tortugas y Punta Lobos. Mientras que para la categoría por temporada en la zona de Bahía Tortugas existió un traslape medio y en Punta Lobos ocurrió un traslape bajo.
- El nivel trófico obtenido por medio de la técnica de contenidos estomacales fue corroborado con los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , donde dichos valores son propios de un depredador terciario, que se alimenta cerca del fondo en la zona nerítica (depredador bentónico y costero).
- El porcentaje de contribución de *P. planipes* y *H. californiensis* a la dieta de *M. lunulatus* en Bahía Tortugas, podría estar relacionado con los fenómenos de



calentamiento del agua ocurridos durante 2014 y 2015 como El Niño y a Mancha. Mientras que para el caso de Punta Lobos no fue tan importante la contribución de *P. planipes*, así como el efecto de la Mancha no fue tan intenso debido a que Punta Lobos se encuentra a una distancia donde el fenómeno ya no tuvo un gran impacto. Sin embargo, no se descarta un efecto de recambio de especies sobre las especies presentes en la zona.

- En lo que respecta a los análisis de isotopos estables, la urea en el tejido muscular de esta especie no presentó un efecto significativo sobre los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$ .
- *M. lunulatus* es una especie de tiburón que guarda una estrecha relación presa depredador con las especies de crustáceo con las que interactúa en el hábitat bento-pelágico, además de especies de peces y cefalópodos que se encuentren disponibles, lo cual posiciona a este depredador como consumidor terciario y regulador de las poblaciones de especies presa que conforman su dieta.

## Recomendaciones

- Se recomienda la obtención de un mayor número de muestras biológicas de *Mustelus lunulatus* para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos, para tener una mejor representación de la población tanto para años como para las categorías aquí presentadas. Además, se recomienda realizar extracción de lípidos al tejido muscular de este depredador para próximos estudios de la especie.
- También se recomienda obtener muestras biológicas de presas potenciales de esta especie en ambas zonas, para estudios de isótopos estables, los cuales pueden servir como base para ampliar los conocimientos de la red trófica donde está involucrado *M. lunulatus*. Esto aunado a estudios bromatológicos tanto en este tiburón como en sus presas, en los cuales se obtiene información sobre la composición física, química, su acción en el organismo, su valor alimenticio y calórico de los alimentos ingeridos con el fin de dilucidar las contribuciones de las presas a los tejidos del depredador y del mismo modo ampliar la información bromatológica de *M. lunulatus*, abriendo el panorama a nuevos usos de este recurso, así como a una mejor comprensión del organismo y llegar a un buen aprovechamiento de la especie.

## Literatura citada:

- Amador-Buenrostro Alberto, María Luisa Argote-Espinosa, Manuel Mancilla-Peraza, Manuel Figueroa-Rodríguez. 1995. Variaciones De Periodo Corto De La Circulación Anticiclónica En Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. Ciencias Marinas, 21(2): 201-223
- Amundsen, P.A., H.M. Gabler & F.J. Staldvik, 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*. 48:607-614.
- Álvarez Fernando, José Luis Villalobos, Michel E. Hendrickx, Elva Escobar-Briones, Gabino Rodríguez-Almaraz y Ernesto Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 208-219.
- Belleggia Mauro. 2012. Ecología trófica del gatuzo *Mustelus schmitti* (Springer 1939), en el Mar Argentino. Tesis de Doctorado. Univ. Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias exactas y Naturales Argentina. 223 pp.
- Boyd Carl M. 1967. The Benthic and Pelagic Habitats of the Red Crab, *Pleuroncodes planipes* PACIFIC SCIENCE, 21:398-403 pp
- Brown-Simon C. & Joseph J. Bizzarro & Gregor M. Cailliet & David A. Ebert. 2011. Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environ Biol Fish*. 1-18
- Cabrea-Chavez-Costa, A. A. 2003. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de B. C. S. Tesis de maestría. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. 95 pp
- Cabrera-Chávez-Costa, A.A., F. Galván-Magaña y O. Escobar-Sánchez. 2010. Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (bibron, 1839) off the western coast of Baja California Sur, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*. 26 (4): 499 - 503

- Carrier J.C., J.A. Musick, y M.R. Heithaus. 2004. Biology of sharks and their relatives. CRC Press. E.U.A. 596
- Castillo Géniz José Leonardo y Javier Tovar Ávila. 2016. Tiburones mexicanos de importancia pesquera en la CITES. Instituto Nacional de Pesca. Primera edición. 9-94
- Cavole, L.M., A.M. Demko, R.E. Diner, A. Giddings, I. Koester, C.M.L.S. Pagniello, M.-L. Paulsen, A. Ramirez-Valdez, S.M. Schwenck, N.K. Yen, M.E. Zill, and P.J.S. Franks. 2016. Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography* 29(2):273–285
- Cervantes-Duarte Rafael.1988. Estructura Hidrográfica y Condiciones de surgencia frente a punta Eugenia, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. 92 pp.
- Chamberlain, C.P., Waldbauer, J.R., Fox-Dobbs, K., Newsome, S.D., Koch, P.L., Smith, D.R., Church, M.E., Chamberlain, S.D., Sorenson, K.J., Risebrough, R. 2004. Pleistocene to recent dietary shifts in California condors. PNAS. 102(46): 16707-16711
- Christensen, V. y Pauly, D. 1992. The ECOPATH II a software for balancing steady state models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*. 61: 169–185
- Clarke KR & RM Warwick. 2001. Primer v6: User manual/ tutorial. Primer-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth. 91 pp.
- Cortés, E. 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. – ICES Journal of Marine Science. 56: 707–717
- Conde Moreno Mauricio. 2009. Ecología Trófica Del Tiburón Bironche, *Rhizoprionodon Longurio* (Jordan Y Gilbert, 1882), En Dos Áreas Del Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. 80 pp.

- Clothier, C & J. Baxter.1969. Vertebral characters of some Californian fishes with notes on other Eastern Pacific species. Department of fish and Game. Marine Resources Operations. State of California. 32 pp
- Compagno, L. J. V. 1984. FAO species catalogue. Vol.4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fisheries Synopsis 125 4(2): 251- 655
- Creach, V., M.T. Schricke, G. Bertru y A. Mariorti.1997. Stable isotopes and gut analyses to determine feeding relationships in saltmarsh macroconsumers. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 44: 599-611.
- Criss R. E., 1999. Principles of stable isotope distribution. Oxford University Press: New York. 254 pp.
- FAO. 1995. Fischer, W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K.E.; Niem V.H.. Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico central-oriental Volumen II: Vertebrados-Parte 1.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, y V. H. Niem., 1995a. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I: Plantas e invertebrados. FAO, 1-646 pp.
- Day, J. W. Jr., C. A. S. Hall, W. M. Kemp & A-Yañez-Arancibia, 1989. Estuarine ecology. Jhon-Wiley & Sons. E. U. A. 558 pp.
- Diario Oficial de la Federacion.11/06/2012.1-4.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2016. FishBase.
- Galván-Magaña, F., Henk J. Nienhuis & Klimley A.P . 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. Calif. Fish and Game 75(2): 74-84
- Garth, J. & W. Stephenson.1969. Brachyura of the Pacific coast America. Brachyura: Portunidae. Marine Biology Monography. 1: 154 pp
- Gerking, S.D. 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press. E.U.A. 416 pp.

- Gómez Giovany O., Zapata Luis A., Franke Rebeca A. & Ramos Gabriel E. 2003. Hábitos Alimentarios de *Mustelus Lunulatus* Y *M. Henlei* (Pisces: Triakidae) Colectados En El Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico Colombiano Bol. Invest. Mar. Cost. 32: 219-229
- Groves, G.W., y J.L. Reid, Jr. 1958. Estudios oceanograficos sobre las aguas de Baja California. Primer Congreso de Historia Regional. Memoria Mexicali 1958. SIO Contribution. 1057: 997-1031
- Inapesca. 2006. Breviario De La Pesquería De Tiburones Del Golfo De California. La Pesquería De Tiburones Del Golfo De California. 237-258
- Harrigan, P., J.C. Zieman y S.A. Macko. 1989. The base of nutritional support for the gray snapper (*Lutjanus griseus*): an evaluation based on combines stomach content and stable isotope analysis. Bulletin of Marine Science. 44: 65-77.
- Hernández-Aguilar Sandra Berenice.2008. Espectro Trófico Del Tiburón Azul *Prionace Glauca* (Linnaeus, 1758) En La Costa Occidental De Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas Mexico. 79 pp.
- Hyslop, E. 1980. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. Journal Fish Biology. 17: 411-429.
- Hussey N. E., M.A.MacNeil, J. A. Olin, B. C. McMeans, M. J. Kinney, D.D.Chapman and A. T. Fisk. 2012. Stable isotopes and elasmobranchs: tissue types, methods, applications and assumptions. Journal of Fish Biology. 80: 1449–1484
- Inger Richard, Andrew Jakson, Andrew Parnell y Stuart Bearhop.2015. SIAR V4 (Stable Isotope Analysis in R) *An Ecologist's Guide*). 1-14
- Jackson D. y Harkness D. D., 1987. The use and interpretation of values as a means of establishing dietary composition. *Oikos* 48: 258-264

- Jackson, A. L., Inger, R., Parnell, A. C., & Bearhop, S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*. 80(3): 595–602
- Jaime-Rivera, M. 2004. Captura de tiburones pelágicos en la costa occidental de Baja California Sur y su relación con cambios ambientales. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. 121 pp.
- Krebs, C.J. 1999. Chapter 13: Niche Measures and Resource Preferences. En: *Ecological Methodology* (2nd Edition). Addison–Welsey Publishers, Inc.: New York. 445–495
- Logan, J.M., Jardine, T.D., Miller, T.J., Bunn, S.E., Cunjak, R.A. & Lutcavage, M. E. 2008 Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: comparison of chemical extraction and modelling methods. *Journal of Animal Ecology*. 77 (4): 838–846
- Logan, J. M. & Lutcavage, M. E. (2010a). Stable isotope dynamics in elasmobranch fishes. *Hydrobiologia* 644: 231–244
- Macneil MA, Skomal GB, Fisk AT. 2005. Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 302:199-206
- Magaña Víctor O., Jorge L. Vázquez, Joel B. Pérez y José L. Pérez. 2001. Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998. *El Fenómeno El Niño/Oscilación Del Sur (ENOS) Y Sus Impactos En México*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 1: 17-24
- Malpica-Cruz L., S.Z. Herzka, and O. Sosa-Nishizaki. 2012. Tissue-specific isotope trophic discrimination factors and turnover rates in a marine elasmobranch: empirical and modeling results. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 551–564
- Márquez-Farias Juan Fernando. 2002. Análisis de la pesquería de tiburón de México. Tesis de Maestría. Univ. Nacional de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia México. 97 pp.

- Maya-Meneses Claudia Ivette. 2012. Traslado Trófico Del Tiburón Azul (*Prionace Glauca*) Y Tiburón Mako (*Isurus Oxyrinchus*) Capturados En La Costa Occidental De Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 65 pp.
- Mendez-Da Silveira Eduardo David. 2012. Variación Isotópica del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre diferentes tejidos musculares del tiburón cazón (*Mustelus henlei*) en la zona del Pacífico de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura Universidad de Guadalajara. Centro de Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 64 pp.
- Mendez-Da Silveira Eduardo David. 2015. Composición Isotópica de carbono Y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) en tejidos de tiburones de la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de maestría Instituto Politécnico Nacional Centro interdisciplinario De Ciencias Marinas. 103 pp. MFR Paper 1091. From Marine Fisheries Review Vol 36 No 10 .1974. Technical Information Division Environmental Science Information Center, NOAA, Washington, DC 20235
- Michener, R.H., y D.M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. Stable isotopes in ecology and environmental science. Boston, Blackwell Scientific Publications. 138-157
- Moreno-Sánchez, X.G., Escobar-Sánchez, O., Abitia-Cardenas L.A. & Cruz-Escalona V.H.. 2012. Diet composition of the Sicklefins Smooth-Hound Shark *Mustelus lunulatus* caught off el Pardito Island, Baja California Sur, Mexico. Marine Biodiversity Records (5): e67
- Navia A.F., Giraldo, A. & Mejía-Falla, P. A. 2006. Notas sobre la biología y dieta del toyo vieja (*Mustelus lunulatus*) en la zona central de pesca del Pacífico colombiano. Cali, Colombia. Invest. Mar., Valparaíso. 34(2): 217-222
- Navia-López Andrés Felipe. 2009. Hábitos Alimentarios, Relaciones Tróficas E Importancia Ecológica De *Urotrygon Rogersi* (Elasmobranchii: Batoidea) En La Zona Central Del Océano Pacífico Colombiano. Tesis De Maestría. Universidad Del Valle Facultad De Ciencias Naturales Y Exactas. Santiago De Cali 115 pp.



- Ochoa-Díaz, M. 2009. Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: aplicación de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México . 90 pp.
- Palomares-García R., A. Martínez-López, R. De Silva-Dávila, R. Funes-Rodríguez, M. A. Carballido-Carranza, R. Avendaño-Ibarra, A. Hinojosa-Medina and G. A. López-Ibarra. 2003. Biological effects of El Niño 1997-98 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, Mexico. *Geofísica Internacional*. 42(3): 455-466
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S., & Jackson, A. L. 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PloS One*, 5(3): e9672.
- Pauly, D. & M.L. Palomares. 2000. Approaches for dealing with three sources of bias when studying the fishing down marine food web phenomenon. En: Briand, F. (ed.), *Fishing Down the Mediterranean Food Webs*. CIESM. Workshop Series. 12: 61–66
- Pelaez, M. 1997. Hábitos alimenticios de la cabrilla sardinera *Mycteroperca rosácea* Streets 1877 (Pices:Serranidae) en Bahía de la Paz B.C.S., y las zonas adyacentes. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma de Baja California Sur., México. 62 pp.
- Pérez-Jiménez Juan C., Oscar Sosa-Nishizaki, y Emmanuel Furlong-Estrada. 2005. Artisanal Shark Fishery at "Tres Marias" Islands and Isabel Island in the Central Mexican Pacific. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 35: 333–343
- Pérez-Jiménez Juan C. y O. Sosa-Nishizaki. 2010. Determining reproductive parameters for population assessments of two smoothhounds (*Mustelus californicus* and *Mustelus lunulatus*) from the northern Gulf of California, México. *Marine Science*. 86(1): 3–13
- Peterson, B. J. & B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18: 293-320.

- Pinkas, L., Oliphant, S. & Iverson, I. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Department Fish and Game. Fishery Bulletin. 152:1-105
- Post D.M., Layman, C.A., Arrington, D.A., Takimoto, G., Quattroch, J. & Montaña, C. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152 (1): 179–189
- Post D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83 (3): 703–718
- Ramírez-Amaro Sergio Roberto. 2011. Caracterización de la pesquería artesanal de elasmobranquios en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría Instituto Politécnico Nacional Centro interdisciplinario De Ciencias Marinas. 82 pp.
- Ramírez-Amaro Sergio R., Cartamil, D., Galván-Magaña, F., González-Barba, G., Graham, J.B., Carrera-Fernández, M., Escobar-Sánchez, O., Sosa-Nishizaki, O., Rochín-Alamillo, A. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina*. 77(3): 473-487
- Robles Gil, S. 1985. Estudio geográfico del estado de Baja California Sur. Gob. del Edo./Prog. Cult. Front., La Paz. 203
- Rodríguez-Romero Jesús, Efrén Álvarez-Bauman, María Ruth Ochoa-Díaz, Juana López-Martínez and Minerva Maldonado-García. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 48 (2): 261-271
- Rojas M. José Rodrigo. 2006. Reproducción y alimentación del tiburón enano *Mustelus dorsalis* (Pisces: Triakidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica: Elementos para un manejo sostenible. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* 54 (3): 861-871
- Román-Reyes, J.C. 2005. Análisis del contenido estomacal y la razón de isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) 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 México. La Paz, B.C.S. México. 143 pp.
- Rueda, S. F. 1983. La precipitación como indicador de variación climática en la Península de Baja California y su relación dendrocronológica. Tesis de Maestría. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. B. C. S. 125 pp.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI ., 2014. El fenómeno del Niño en el Perú. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014 - 2021 (Objetivo Nacional y Objetivo Estratégico 1). 1-33
- Sora L. Kim & Paul L. Koch.2012. Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis. *Environ Biol Fish.* 95:53–63
- Steven R. Chipps and James E. Garvey. Assessment of Food Habits and Feeding Patterns.2006. 1-46 del Libro Analysis and interpretation of freshwater fisheries data, Chapter: Assessment of diets and feeding patterns, Publisher: American Fisheries Society, Editors: C.S. Guy, M.L Brown.473-514
- Stillwell, C.E. & Kohler, N.E., 1982. Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39(3):407-414
- Sverdrup, H., M. Johnson & R. Fleming. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N.J., 1087.
- Talent Larry G. 1982. Food habits of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, the brown smoothhound, *Mustelus henlei*, the shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus*, and the bat ray, *Myliobatis californica*, in Elkhorn Slough, California. *Calif. Fish And Came.* 68(4) : 224-234
- Trujillo-Olvera Ariana. 2015. Espectro Trófico Del Pez Espada (*Xiphias Gladius* Linneaus, 1758) En La Costa Occidental De Baja California Sur. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas México. 86 pp.

Vander Zanden M.J., G. Cabana, & J.B. Rasmussen. 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios and literature dietary data. *Can J Fish Aquat Sci.* 54: 1142-1158.

Villavicencio-Garayzar, C.J. 1996. Aspectos poblacionales del angelito, *Squatina californica* Ayres, en Baja California México. *Cienc. Mar.* 7 (1-2): 15-21.

Wada E. y Hattori A., 1991. Nitrogen in the sea: forms, abundances, and rate processes. Boca Raton: CRC Press.

Wyrski, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *J. Oceanol. and Limnol.* 2 (1): 117-147

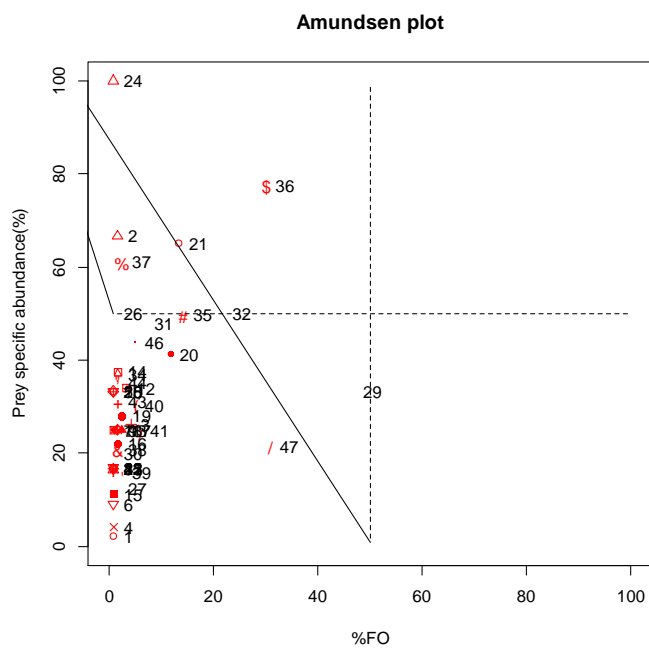
<http://pescadosymariscos.consumer.es/crustaceos/propiedades-nutritivas>

<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>

# Anexos

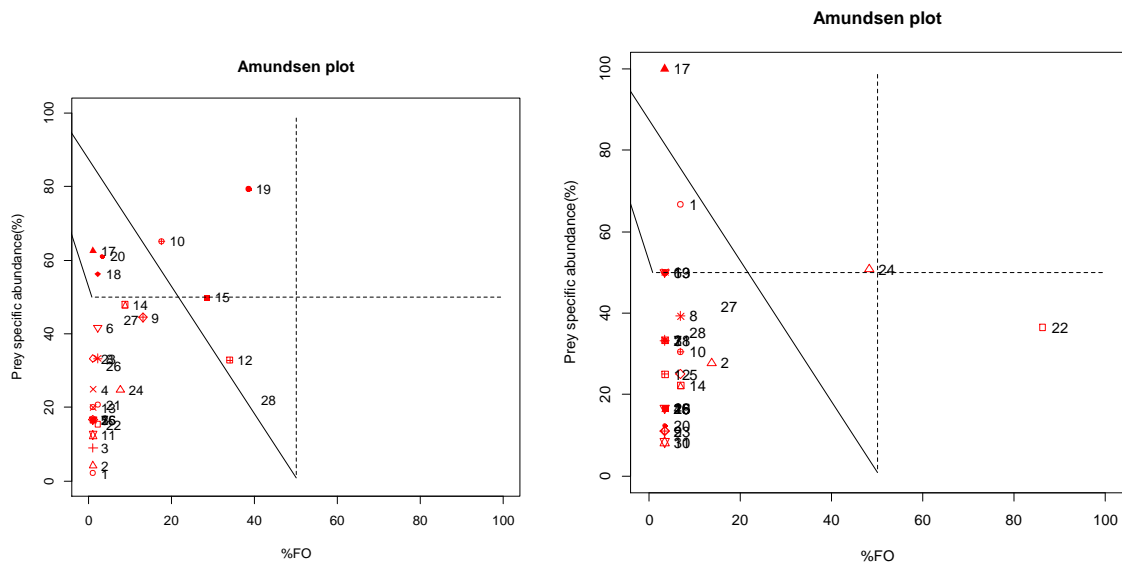
## Anexo 1.-

### Amundsen General grafico



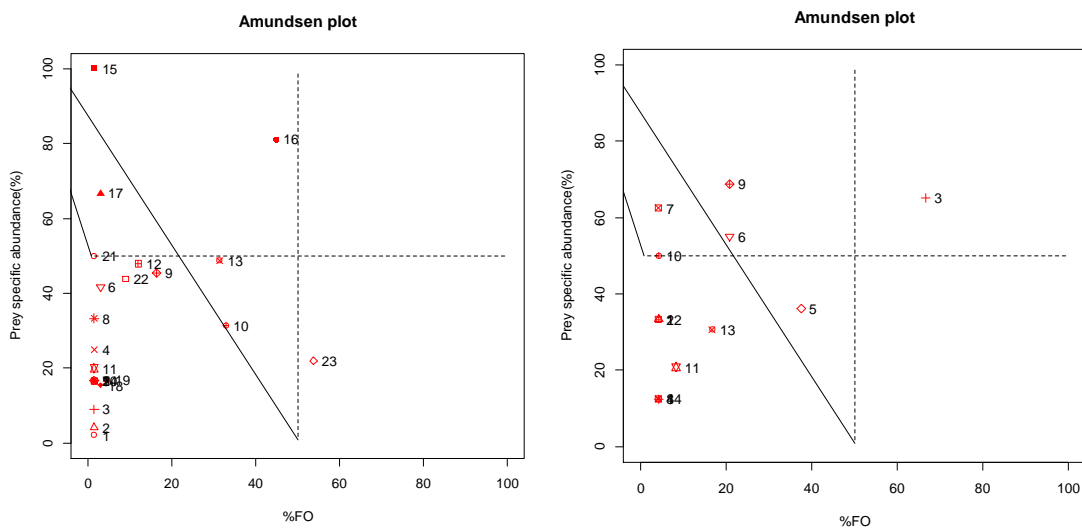
Anexo 2.-

Amundsen Bahía Tortugas y Punta Lobos gráfico 2 (Izquierda) y 3 (Derecha)



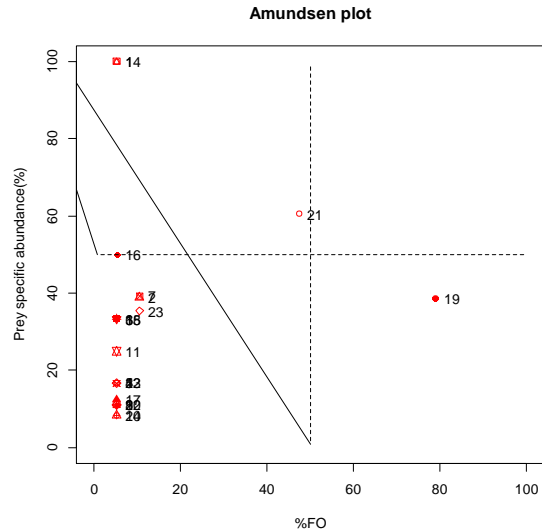
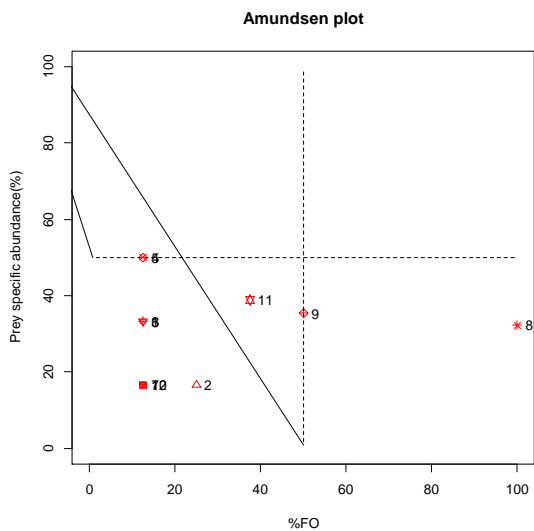
Anexo 3.-

Amundsen Bahía Tortugas temporada cálida y fría gráfico 4 (Izquierda) y 5 (Derecha)



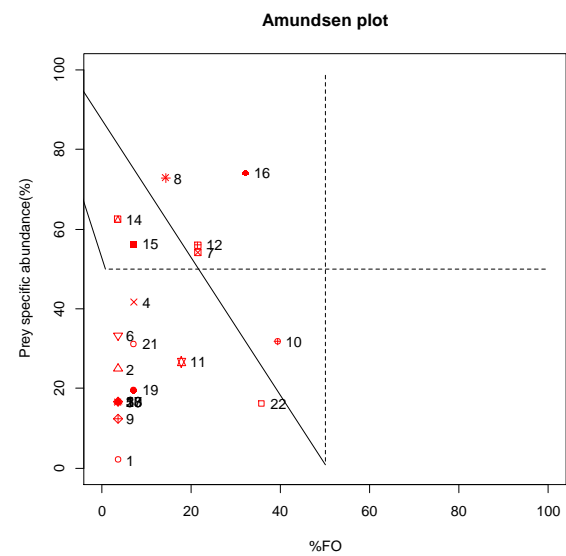
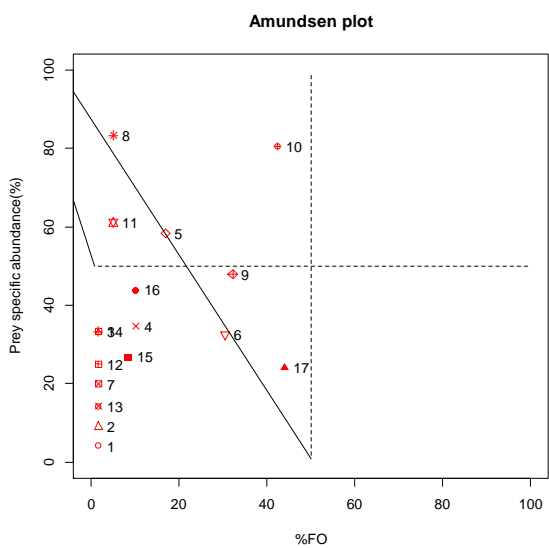
Anexo 4.-

Amundsen Punta Lobos temporada cálida y fría gráfico 6 (Izquierda) y 7 (Derecha)



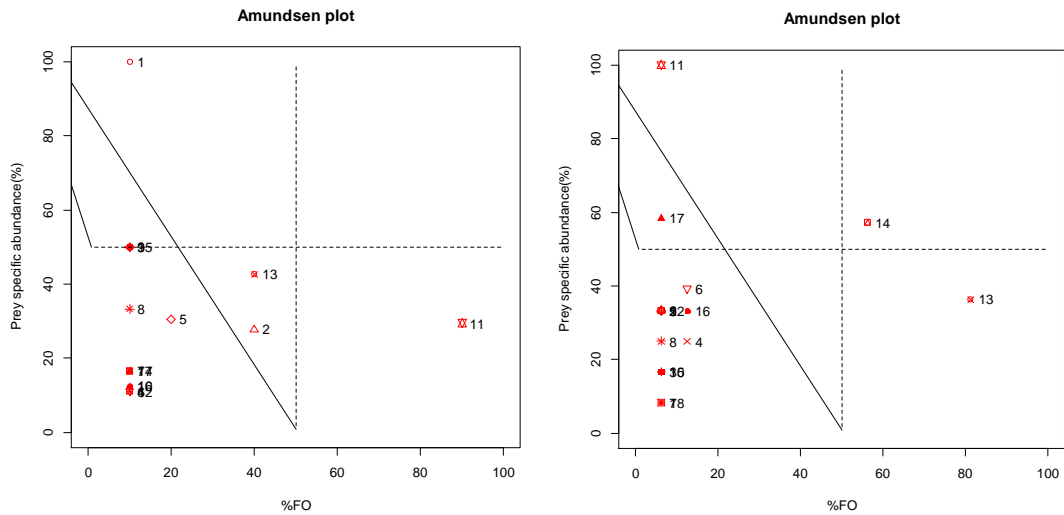
Anexo 5.-

Amundsen Bahía Tortugas inmaduros y Maduros gráfico 8 (Izquierda) y 9 (Derecha)



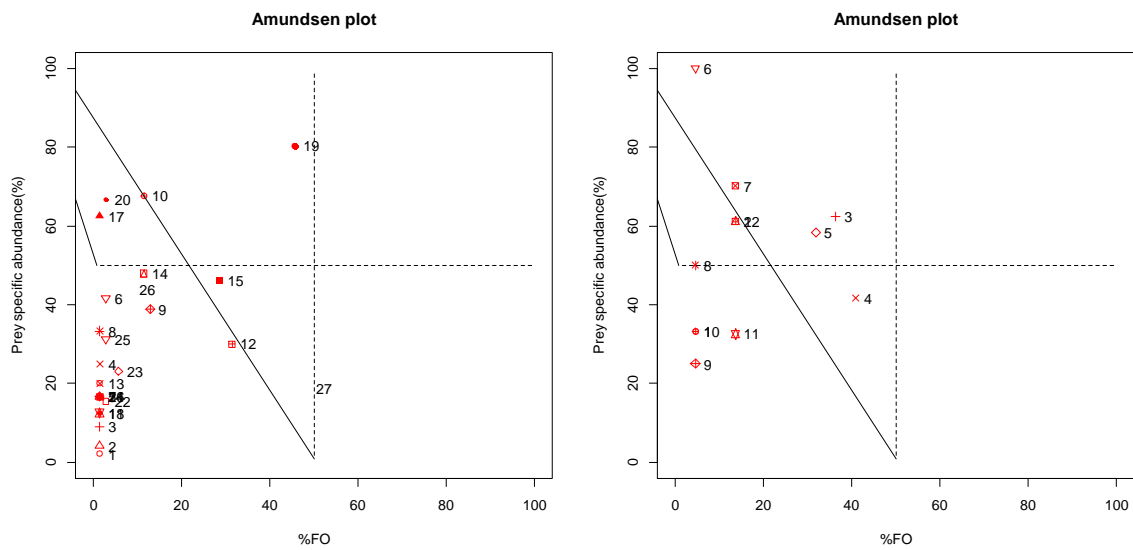
Anexo 6.-

Amundsen Punta lobos inmaduros y maduros gráfico 10 (Izquierda) y 11(Derecha)



Anexo 7.-

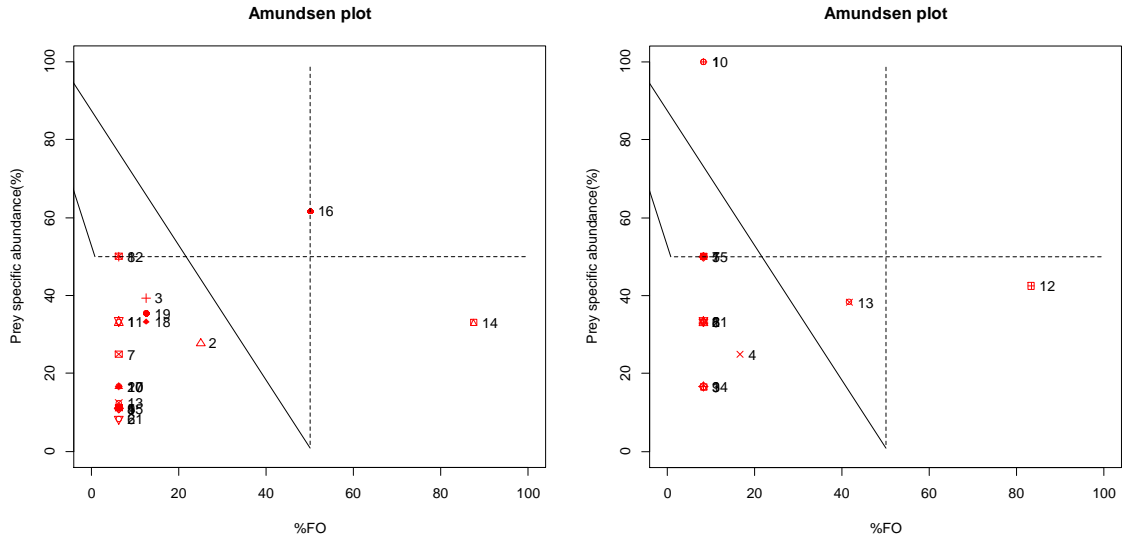
Amundsen Bahía Tortugas hembras y machos gráfico 12 (Izquierda) y 13 (Derecha)



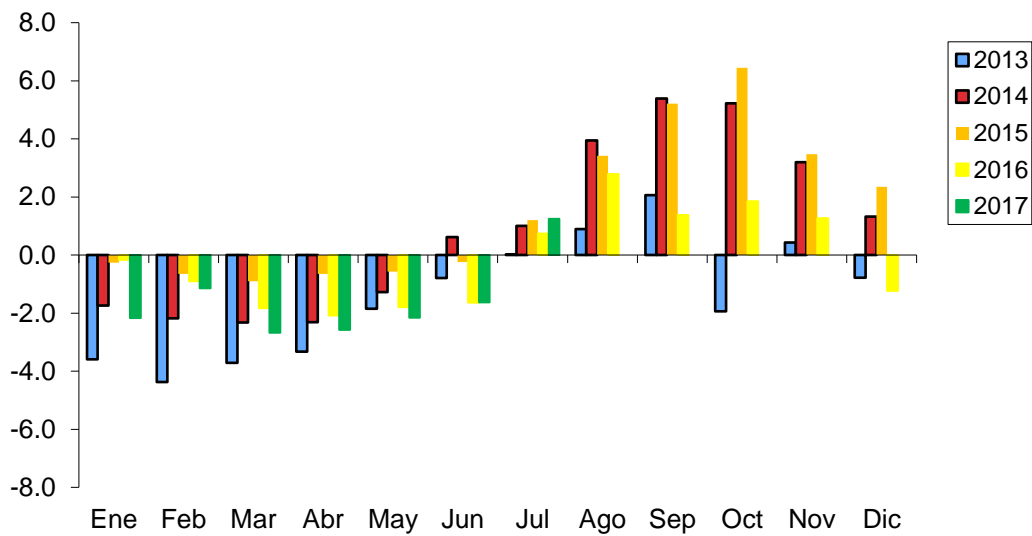


Anexo 8.-

Amundsen Punta Lobos hembras y machos gráfico 14 (Izquierda) y 15 (Derecha)

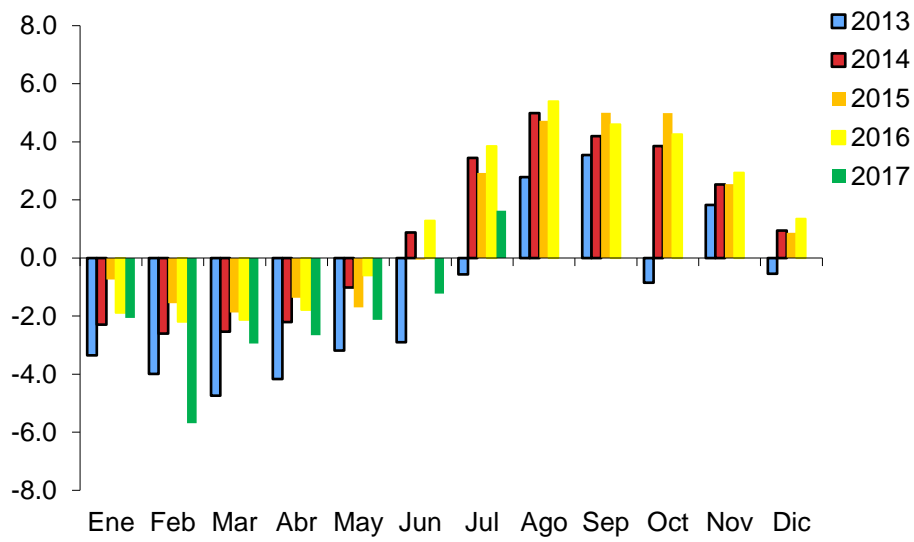


Anexo 9.-



Anomalías de temperatura en la zona de Bahía Tortugas 2013-2015

Anexo 10.-



Anomalías de temperatura en la zona de Punta Lobos 2013-2015