

INSITUTO POLITECNCIO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



CAMBIOS TRÓFICOS DURANTE EL DESARROLLO ONTOGÉNICO DEL TIBURÓN ZORRO *Alopias pelagicus* EN AMBAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

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

> PRESENTA CLARA SÁNCHEZ LATORRE

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

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

			La	a Paz,	B.C.S.,	a a	25 ^j e	Marzo	del 192	2
El Colegio d	le Profesores de Posgr		RO INTERDISC	IPLINA		CIENCI	AS MARINA	s	en su Ses	sión
			(Unidad A	\cadémic	a)					
ORDINARIA	No. 0-353-22 celeb	rada el día	11 del mes	s fet	prero	de	2022	conoc	ció la solic	itud
presentada	por el (la) alumno (a):									
Apellido Paterno:	SÁNCHEZ	Apellido Materno:	LATORRE		Nombr	e (s):	CLARA			
Número de	registro: A 2 1	0 0 7 0]							
del Program	na Académico de Posg	rado: MAES	TRÍA EN CIEN	ICIAS	EN MAN	EJO D	E RECURS	OS MAR	NOS	
Referente a 1 Se desig	l registro de su tema de gna al aspirante el tema	e tesis; acorda de tesis titula	ndo lo siguie do:	nte:					•	
"CAMBIOS AMBAS CO	TRÓFICOS DURANTE E OSTAS DE BAJA CALIFO	EL DESARROLLO ORNIA SUR, MÉ	O ONTOGÉNIO XICO"	CO DE	L TIBUR	ÓN ZO	ORRO Alop	oias pel	agicus EN	
Objetivo ge	neral del trabajo de tes	is:								
Analizar la isótopos e	a ontogenia alimentaria estables de nitrógeno y	de <i>A. pelagic</i> carbono en vé	us en ambas rtebras y mú	costas sculo.	: de Baja	Califo	ornia Sur, r	nediant	e el análisi	s de
2 Se desig	gna como Directores de	e Tesis a los p	rofesores:							
Director:	DR. FELIPE GALVÁN MA	GAÑA		2° D	irec DR.	FERNA	NDO RICARD	O ELORRI	AGA VERPLAN	ICKEN
L						No	o aplica:			
3 El Traba	ijo de investigación bas	se para el desa	rrollo de la te	sis se	erá elabo	rado j	oor el alum	nno en:		
EL CENTR	O INTERDISCIPLINARIO E	DE CIENCIAS MA	RINAS - IPN							
que cuenta	con los recursos e infr	aestructura neo	cesarios.							
4 El intere en que se s Revisora co	sado deberá asistir a lo suscribe la presente, h prrespondiente.	os seminarios o asta la aproba	iesarrollados ción de la ve	en el ersión	área de complet	adscri a de l	pción del t a tesis po	trabajo (r parte d	desde la fe le la Comi	echa sión
	Director(a) de 3	ſesis		2° [irector o	le Tes	is (en su c	caso)		
	~	A			/	T	1/.			
	DR. FELIPE GAL	ÁN MAGAÑA		DR.	FERNAN	DO RI	CARDO ELO	ORRIAGA	VERPLAN	KEN
	Aspirante			Pre	sidente (del Co	legio	0	S LECU	NO REDEN
			E		DR	. SER	IO HERN	ANDEZ	TRUILURT	
		M2C777783				(j	1	L.P.	N.
									CICIN	AR
									DIREC	CION

SIP-13

REP 2017

NOMBRE DEL TRABAJO

CAMBIOS TRÓFICOS DURANTE EL DESA RROLLO ONTOGÉNICO DEL TIBURÓN ZO RRO Alopias pelagicus EN AMBAS COST A AUTOR

CLARA SÁNCHEZ LATORRE

RECUENTO DE PALABRAS

17193 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

67 Pages

RECUENTO DE CARACTERES

93573 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.1MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 18, 2022 10:02 AM GMT-7

FECHA DEL INFORME

Nov 18, 2022 10:04 AM GMT-7

9% de similitud general

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

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado

- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

]		Noviembro	٦
En la Ciudad	d de La Paz, B.C.S.,	siendo lat 12:00 hor	as del dí	lel mes d	_]
del 2022	se reunieron los mier	nbros de la Comisión Revi	sora de la Tesis,	designada por el Coleg	io de
Profesores	de Posgrado de CENT	RO INTERDISCIPLINARIO DE CIE	INCIAS MARINAS	para examinar la tesis	titulada:
"CAMBIOS Alopias pe	TRÓFICOS DURANTE EL elagicus EN AMBAS CO	DESARROLLO ONTOGÉNIC STAS DE BAJA CALIFORNIA	O DEL TIBURÓN Z SUR, MÉXICO"	ORRO del (la) alur	nno (a):
Apellido Paterno:	SÁNCHEZ A	aterno:	Nombre (s):	CLARA	
Número de	registro: A 2	1 0 0 7 0			
Aspirante de	el Programa Académic	o de Posgrado: MAESTR	RÍA EN CIENCIAS EN	MANEJO DE RECURSOS MAI	RINOS
Una vez que trabajo de te	e se realizó un análisis esis tiene_ 9% de similit	de similitud de texto, utili ud. Se adjunta reporte d	zando el softwar e software utiliz	e antiplagio, se encontra zado.	ó que el
Después qu textos de la SI NO	ue esta Comisión revis tesis identificados con SE CONSTITUYE L	só exhaustivamente el cor no coincidentes con otros c JN POSIBLE PLAGIO.	ntenido, estructur locumentos, cono	ra, intención y ubicaciór cluyó que en el presente	ו de los ∍trabajo
<u>JUSTIFICA</u> "El mayor po lo cual se er	CIÓN DE LA CONCLU prcentaje de similitud se e ncuentra debidamente ci	JSIÓN: (Porejemplo, el% de similit a encuentra en la metodología y tado	ud se localiza en metodolog y los antecedentes	ías adecuadamente referidas a fuente del trabajo,	original)
**Es responsa de similitud p	bilidad del alumno comoau ara establecer el riesgo o la	<u>a existencia de un posible plagi</u>	iplagio, y del Directo o.	r o Directores de tesis el anál	isis del %
Finalmente miembros d UNANIMID	y posterior a la lectur e la Comisión manife <u>s</u> AD MAYORÍA	a, revisión individual así c taron APROBAR SU en virtud de los motivo	como el análisis SPENDER s siguientes:	e intercambio de opinio NO APROBAR la t	nes, los esis por
"SATISFACE I	LOS REQUISITOS SEÑALAI	DOS POR LAS DISPOSICIONES R	EGLAMENTARIAS	VIGENTES"	
		COMISIÓN REVISOR	A DE TESIS		
Dr. FEUF D Nomb	PE GALVAN MAGAÑA lirector de Tesis ore completo y firma	DR. ROCELIO GONZÁLI Nombre completo y	C. A. EZ ARMAS	DR. ARTURO TRIPP VAL Nombre completo y fir	DEZ ,
DR. FERNANI V E Nomi	DO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN Director de Tesis bre completo y firma	DRA. ALEJANDRA PIÑO Nombre completo y	<mark>ÓN GIMATE</mark> firma	DR. SELGIO HERNÁNDEZ Vombre completo y fi PRESIDENTE DEL COL PROFESORES	LECUTIVO TOPERAL BODEO, D.
				5.	I.P.N.
				г	DIRECCIÓN

SIP-14 REP 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

La Paz, B.C.S., el día 24 del mes de Noviembre del año 2022 En la Ciudad de Alumno (a) del Programa LCM. CLARA SÁNCHEZ LATORRE El (la) que suscribe MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS A210070 adscrito al con número de registro manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA y DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN y cede los derechos del trabajo titulado: "CAMBIOS TRÓFICOS DURANTE EL DESARROLLO ONTOGÉNICO DEL TIBURÓN ZORRO Alopias pelagicus EN AMBAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes dirección(es) de correo: <u>clara10sanchez@hotmail.com - fgalvan@ipn.mx - felorriaga@ipn.mx</u> Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.



Nombre completo y firma autógrafa del (de la) estudiante

Agradecimientos

Al CICIMAR y al IPN por darme la oportunidad de seguir formándome en el mundo de las ciencias marinas y por hacer posible esta tesis.

A CONACYT y a BEIFI por los apoyos ecónimos brindados a lo largo de toda la maestría.

A mi director de tesis Dr. Felipe Galván por recibirme y darme una plaza en su proyecto de investigación. Gracias por guiarme con el cambio de tema de tesis y por darme la oportunidad de realizar la estancia y de participar en congresos.

A mi codirector Dr. Fernando Elorriaga por estar siempre pendiente y brindarme toda la información necesaria.

A mi comité, Dra. Alejandra Piñón, Dr. Artupo Tripp y Dr. Rogelio González, por las sugerencias y revisiones a lo largo de estos años. Al Dr. Sergio Agüíñiga por transmitirme sus conocimientos sobre isótopos estables y ayudarme a entender mis resultados.

Al Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra en Granada, al Dr. Antonio Delgado por toda la ayuda recibida durante mi estancia. Por enseñarme que medir isótopos estables no solo consiste en darle a un botón.

Al pack, por ayudarme con los análisis, pero sobre todo por el apoyo emocional, por ser los primeros en estar ahí y haber sido mi familia estos años.

A mi familia adoptiva disfuncional por transmitirme sus conocimientos y por hacerme reír cuando lo necesitaba.

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional, por haberme dado las alas para volar solita, pero no dejar que me haga daño al caer. A mi tía Patricia por la bonita visita.

A Cristóbal por hacerme crecer como persona, confiar en mi más que yo y ser un ejemplo a seguir.

A todos los (ex) alumnos del CICIMAR que me apoyaron para saber cuál sería mi próximo paso en todo el procesamiento de muestras.

A todas las fiestas que voy a extrañar. ¡Viva México y el tequila!

Índice general

GI	losario	vii
Re	esumen	ix
AŁ	bstract	x
1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	4
3.	Hipótesis	6
4.	Objetivos	6
	4.1 Objetivo general	6
	4.2 Objetivos específicos	6
5.	Material y métodos	7
	5.1. Áreas de estudio	7
	5.1.1 Bahía Tortugas	7
	5.1.2 Santa Rosalía	
	5.2. Trabajo de campo	9
	5.3 Trabajo de laboratorio	9
	5.3.1. Procesamiento de vértebras	9
	5.3.2. Procesamiento de músculo	11
	5.4 Fase de gabinete	12
	5.4.1 Valores isotópicos	12
	5.4.2 Análisis de datos	
	5.4.3 Posición trófica	13
	5.4.4 Amplitud y traslapo de nicho isotópico	
6.	Resultados	15
	6.1 Relación C:N	
	6.2 Diferencias isotópicas entre zonas	17
	6.3 Bahía Tortugas	
	6.3.1 Análisis isotópico por estadios	
	6.3.2 Análisis isotópico por sexo	

6.3.3 Posición trófica	27
6.3.4 Amplitud trófica	28
6.4 Santa Rosalía	28
6.4.1 Análisis isotópico por estadio	29
6.4.2 Análisis isotópico por sexo	32
6.4.3 Posición trófica	34
6.4.4 Amplitud trófica	35
7. Discusión	
7.1 Diferencias isotópicas entre Bahía Tortugas y Santa Rosalía	36
7.2 Análisis isotópico por estadios	40
7.3 Análisis isotópico por sexo	42
7.4 Posición trófica	44
7.5 Amplitud trófica	45
8. Conclusiones	46
9. Recomendaciones	47
Dibliggrafia	40

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio en México
Figura 2. Tres estadios de A. pelagicus determinados en cada vértebra. N:
neonatos, J: juveniles, A: adultos10
Figura 3. Obtención del tejido vertebral de A. pelagicus con el microtaladro 11
Figura 4. Relación entre la razón C:N y la razón isotópica de carbono en
vértebras (A) sin tratamiento previo (B) después de ser expuestas a ácido. La
línea roja indica el máximo teórico de proteína pura
Figura 5. Relación del δ^{13} C con y sin tratamiento de desmineralización
Figura 6. Relación entre la razón C:N y a razón isotópica de carbono en músculo.
La línea roja indica el máximo teórico de proteína pura 17
Figura 7. Valores isotópicos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y Santa Rosalía
a partir de tejido vertebral
Figura 8. Valores isotópicos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a
partir de tejido muscular
Figura 9. Nichos isotópicos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a
partir del tejido vertebral
Figura 10. Nichos isotópicos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a
partir del tejido muscular
Figura 11. Valores isotópicos para neonatos, juveniles y adultos de A. pelagicus a
partir de tejido vertebral de Bahía Tortugas
Figura 12. Nicho isotópico de neonatos, juveniles y adultos de A. pelagicus a
partir de tejido vertebral de Bahía Tortugas
Figura 13. Valores isotópicos de juveniles y neonatos de A. pelagicus a partir de
tejido muscular de Bahía Tortugas23
Figura 14. Nichos isotópicos de juveniles y adultos de A. pelagicus a partir de
tejido muscular de Bahía Tortugas24
Figura 15. Valores isotópicos para hembras y machos de A. pelagicus a partir de
tejido vertebral de Bahía Tortugas 24
Figura 16. Nichos isotópicos de hembras y machos de A. pelagicus a partir del
tejido vertebral de Bahía Tortugas 25

Figura 17. Valores isotópicos para hembras y machos de A. pelagicus a partir de
tejido muscular de Bahía Tortugas 26
Figura 18. Nicho isotópico de hembras y machos de A. pelagicus a partir de tejido
muscular de Bahía Tortugas 26
Figura 19. Valores isotópicos para neonatos, juveniles y adultos de A. pelagicus a
partir de tejido vertebral en Santa Rosalía 29
Figura 20. Nichos isotópicos de neonatos, juveniles y adultos A. pelagicus a partir
de tejido vertebral en Santa Rosalía 30
Figura 21. Valores isotópicos para juveniles y adultos A. pelagicus a partir de
tejido muscular en Santa Rosalía
Figura 22 . Nichos isotópicos de juveniles y adultos A. pelagicus a partir de tejido
muscular en Santa Rosalía 31
Figura 23. Valores isotópicos para hembras y machos A. pelagicus a partir de
tejido vertebral en Santa Rosalía
Figura 24. Nichos isotópicos para machos y hembras A. pelagicus a partir de
tejido vertebral en Santa Rosalía
Figura 25. Valores isotópicos para hembras y machos A. pelagicus a partir de
tejido muscular en Santa Rosalía
Figura 26. Nichos isotópicos de hembras y machos A. pelagicus a partir de tejido
muscular en Santa Rosalía 34

Lista de tablas

Tabla 1. Número de muestras por grupos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y
Santa Rosalía en tejido vertebral y muscular15
Tabla 2 . Valores de δ ¹⁵ N y δ ¹³ C en vértebras y músculo de <i>A. pelagicus</i> en Bahía
Tortugas
Tabla 3 . Valores de δ ¹⁵ N y δ ¹³ C en vértebras y músculo de <i>A. pelagicus</i> en Santa
Rosalía18
Tabla 4. Posición trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Bahía Tortugas
calculadas mediante dos aproximaciones27
Tabla 5. Amplitud trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Bahía Tortugas.
Tabla 6. Posición trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Santa Rosalía
calculadas mediante dos aproximaciones
Tabla 7. Amplitud trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Santa Rosalía.

Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tasa de recambio isotópica: Periodo en el que el valor del isótopo estable es incorporado en el tejido del consumidor y este refleja la señal isotópica de un nuevo recurso alimenticio. (Carlisle *et al.*, 2012).

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

δ¹³**C**: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la razón de ${}^{13}C/{}^{12}C$ de una muestra y la razón ${}^{13}C/{}^{12}C$ del estándar (Pee Dee Belemnita) (Rau *et al.*, 1990).

δ¹⁵N: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la razón ¹⁵N/¹⁴N de una muestra y la razón ¹⁵N/¹⁴N del respectivo estándar (nitrógeno atmosférico) (Rau *et al.,* 1990).

Resumen

Los tiburones son depredadores tope que usualmente presentan cambios en su dieta conforme crecen y cambian de ambiente. Las especies del género Alopias se capturan mundialmente, pero son vulnerables a la sobrepesca, debido a que presentan un crecimiento lento, una madurez tardía, un periodo de gestación largo y nacen solo dos crías por camada. Por estos motivos, es importante conocer aspectos de su biología básica, para aplicar estrategias de regulación en su pesquería. En el presente estudio se analiza la ontogenia alimentaria de A. pelagicus en ambas costas de Baja California Sur, México, mediante el análisis de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}N$) y carbono ($\delta^{13}C$) en vértebras y músculo. El promedio isotópico para las vértebras en Bahía Tortugas (n=35) fue de 12.72±1.06 ‰ para el δ^{15} N y -14.79±0.61 ‰ para el δ^{13} C; en músculo (n=32) fue de 16.63±0.76 ‰ para el δ^{15} N y -17.18±0.39 ‰ para el δ^{13} C. En Santa Rosalía el promedio isotópico para las vértebras (n=125) fue de 14.4 \pm 1.59 ‰ para el δ^{15} N y -14.18±0.51 ‰ para el δ^{13} C; en músculo (n=43) fue 18.08±0.96 ‰ y -16.43±0.34 ‰ para el δ^{13} C. Los valores del δ^{15} N fueron más altos en ambos tejidos en Santa Rosalía debido a la diferencia isotópica de la base trófica; mientras que el δ¹³C fue más bajo en Bahía Tortugas, mostrando un comportamiento trófico más oceánico (p<0.05). En Santa Rosalía el δ^{13} C de las vértebras mostró diferencias significativas entre estadios, señalando que los neonatos se alimentan en áreas más costeras que los juveniles y adultos (p<0.05). En la misma zona, $\delta^{15}N$ del músculo fue mayor en las hembras que en los machos (p<0.05). No se observaron diferencias en los resultados isotópicos por sexo ni ontogénicos en Bahía Tortugas (p>0.05), lo cual indica un traslapo alto de nichos isotópicos. La posición trófica promedio calculada en ambos tejidos para ambas zonas fue de 4.5 que corresponde a un consumidor terciario, sin presentar diferencias durante su ontogenia ni entre sexos. En cuanto a la amplitud trófica, A. pelagicus se clasificó como consumidor generalista a lo largo de su vida y especialista a partir del tejido muscular. Debido a sus mayores requerimientos energéticos, los individuos juveniles y las hembras presentaron una mayor amplitud de sus nichos isotópicos.

Palabras clave: vértebras, músculo, isótopos estables

Abstract

Sharks are top predators which usually present dietary and habitat changes during their ontogenetic development. Thresher sharks are highly caught by fisheries worldwide and are threatened due to its slow growth, late sexual maturity, long gestation periods and the production of only two pups per litter. However, little is known about their biology to recommend management or conservation plans. Understanding the life history of pelagic species is important to ensure their survival. The aim of the present study was to evaluate the trophic ontogeny of Alopias pelagicus from both coasts of Baja California Sur, Mexico, based on the analysis of stable isotope ratios of carbon (δ^{13} C) and nitrogen (δ^{15} N) of vertebra and muscle. For Bahía Tortugas, mean vertebra (n=35) $\delta^{15}N$ values were 12.72±1.06 ‰ and δ^{13} C -14.79±0.61 ‰; while muscle (n=32) δ^{15} N values were 16.63±0.76 ‰ and δ^{13} C -17.18±0.39 ‰. For Santa Rosalía, mean vertebra $(n=125) \delta^{15}N$ values were 14.4±1.59 ‰ and $\delta^{13}C$ -14.18±0.51 ‰; while muscle $(n=125) \delta^{15}N$ 43) δ^{15} N values were 18.08±0.96 ‰ and δ^{13} C -16.43±0.34 ‰. These results showed higher δ¹⁵N values in Santa Rosalía as a result of baseline isotopic differences between the two regions, whereas δ^{13} C values were lower in Bahía Tortugas, suggesting a more offshore behavior (p<0.05). In Santa Rosalía, there were significant differences by sex in muscle for $\delta^{15}N$, whereas $\delta^{13}C$ showed ontogenetic shifts, indicating that neonates feed on more coastal areas than juveniles or adults (p<0.05). Neither sex nor ontogenetic differences were observed in Bahía Tortugas (p>0.05), evidencing a high overlap between their isotopic niches. Mean trophic position for both tissues and zones was 4.5, which corresponds to a tertiary predator, without showing any differences between stages or sex. The trophic amplitude calculated with vertebrae classified A. pelagicus as a generalist consumer, while the one calculated with muscle classified them as a specialist consumer. Due to their higher energetic needs, juveniles and females showed the largest isotopic niches amplitude.

Key words: vertebrae, muscle, stable isotopes

1. Introducción

Los elasmobranquios son componentes críticos en los ecosistemas marinos al ser los depredadores tope de sus redes tróficas y tener el control del equilibrio ecosistémico (Carrier *et al.*, 2012). Esta subclase se ha convertido en un recurso pesquero explotable debido a su abundancia, tamaño y disponibilidad en los océanos (Branstetter, 1993; Cortés, 1999).

Dentro de estos depredadores, se encuentran los tiburones zorro (*Alopias*), un género compuesto por *A. superciliosus* (tiburón zorro ojón), *A. vulpinus* (tiburón zorro común) y *A. pelagicus* (tiburón zorro pelágico). Son grandes tiburones migratorios, presentes en aguas costeras poco profundas hasta aguas oceánicas, a distintos niveles de profundidad. Estas especies se caracterizan por su larga cola que supone la mitad de su longitud corporal (Compagno, 1984). Estos tiburones usan la cola para acorralar, desorientar y aturdir a peces agrupados en cardúmenes e invertebrados pelágicos que forman parte de su dieta (Aalbers *et al.*, 2010; Teo *et al.*, 2018).

Las especies del género *Alopias* se capturan mundialmente en pesquerías de palangre y redes de enmalle pelágicas en mar abierto, pero se pescan también con redes de enmalle de fondo y de superficie ancladas. Además, se capturan incidentalmente en otras artes de pesca como las redes de arrastre de fondo y las trampas para peces (Maguire *et al.*, 2006). Todas estas pesquerías se ven impulsadas por la demanda que existe de su carne y sus aletas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) registró un máximo en su pesca en 2011 con un total de unas 22,000 toneladas, mientras que en 2014 se notificaron unas 19,000 toneladas. En muchos países, especialmente en el Océano Índico, existe una grave falta de reporte de las capturas, lo que dificulta la realización de una evaluación sólida del estado de salud de estos elasmobranquios (CITES, 2016).

Los tiburones zorro son excepcionalmente vulnerables a la sobrepesca debido a que presentan un crecimiento lento, una madurez tardía (4–14 años), un largo periodo de gestación (9-12 meses) y un número reducido de crías (2–4 crías por camada) (Liu *et al.*, 1999; CMS, 2014).

1

A causa de estos motivos y a la reducción de poblaciones en muchas regiones, *Alopias superciliosus* y *A. vulpinus* están clasificados como "vulnerables" en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); mientras que *A. pelagicus* se considera "en peligro" (Rigby *et al.*, 2019). Asimismo, el Shark Specialist Group - Grupo de Especialistas en Tiburones (SSG) ha destacado a la familia Alopiidea como la segunda más amenazada entre todos los tiburones y la séptima entre todos los elasmobranquios (CMS, 2014).

La especie eplipelágica *A. pelagicus* se distribuye en aguas tropicales y templadas del Indo-Pacífico, sin registros en el Océano Atlántico. Habita aguas oceánicas y, se encuentra hasta los 300 metros de profundidad y puede medir hasta 4.28 m de longitud total (Weigmann, 2016). Su reproducción es vivípara aplacentaria, con dos crías por camada y una vida media de 29 años (Liu *et al.*, 1999; Compagno, 2001). Se dispone de pocos datos biológicos de *A. pelagicus,* con estudios limitados a su edad y crecimiento, reproducción y análisis demográficos (Liu *et al.*, 1999, 2006; White, 2007; Tsai *et al.*, 2010).

Los estudios de isótopos estables han permitido ampliar nuestro conocimiento sobre la estructura y dinámica de las comunidades ecológicas (Post, 2002), así como del hábitat de numerosas especies que se encuentran bajo algún tipo de protección o de las que resulta difícil conseguir muestras de estómagos para la identificación de presas (Hobson, 1999; Hussey *et al.*, 2010). Esto permite realizar muestreos menos invasivos, tomando muestras de sangre o realizando biopsias. Las técnicas de estudio isotópicas proporcionan, por ejemplo, una medida de la posición trófica, a través de la asimilación de energía de las diferentes vías tróficas de un organismo (Hussey *et al.*, 2010).

Recientemente, los estudios de ecología trófica han podido seguir avanzando gracias al desarrollo de modelos de mezcla para isótopos estables como MixSIR (Semmens & Moore, 2008). Estos modelos han permitido a los ecólogos cuantificar dietas complejas de las especies, en muchos casos sin sacrificar al animal y sin la necesidad de realizar análisis de contenidos estomacales. Para grandes depredadores como son los tiburones, el análisis de isótopos estables aporta información ecológica importante para explicar sus funciones en los ecosistemas marinos (Hussey *et al.*, 2010).

El δ^{15} N se usa para indicar la posición trófica de una especie, anticipando que el incremento de este valor por eslabón trófico es de 3–4‰ (Peterson y Fry, 1987; Post, 2002). En cambio, el incremento de δ^{13} C es menor a lo largo de los niveles tróficos (~1 ‰) (Peterson y Fry, 1987; Post, 2002; Polo-Silva *et al.*, 2013), por lo cual en ecosistemas marinos aporta información acerca del hábitat que es aprovechado por el o los consumidores; por ejemplo, a lo largo de un gradiente costero/oceánico (Polo-Silva *et al.*, 2013).

Para especies de crecimiento lento como lo tiburones, la señal isotópica del tejido muscular proporciona información acerca de las presas asimiladas por el depredador de 1 a 2 años previos a su muerte (Hussey *et al.*, 2010; Polo-Silva *et al.*, 2013). Otros tejidos como las vértebras son metabólicamente inertes y pueden registrar información ecológica de toda la vida del ejemplar (Estrada *et al.*, 2006; Polo-Silva *et al.*, 2013).

Los cambios ontogénicos en el uso del hábitat trófico a menudo reflejan un cambio en las estrategias de supervivencia; desde juveniles que emplean su energía para el crecimiento, hasta adultos que priorizan actividades como la reproducción (Grubbs, 2010; Carlisle *et al.*, 2015). Estos cambios en los hábitos alimenticios son un fenómeno común en tiburones y rayas, ya que debido a su tamaño pueden alimentarse de distintas presas y tener acceso a diferentes áreas de alimentación (Lowe *et al.*, 1996). Por estos motivos, las vértebras son de gran importancia para su estudio, ya que acumulan material calcificado a medida que los individuos incrementan su edad, lo que produce áreas concéntricas en estas estructuras que corresponden a la temporada o años en la que este material fue depositado (Cailliet *et al.*, 2006).

Históricamente, estudiar la ontogenia de especies pelágicas ha sido difícil debido a su naturaleza migratoria e inaccesibilidad de su hábitat, dejando un gran desconocimiento de su historia de vida. Esta falta de información acerca de sus primeras etapas de vida es preocupante, ya que la supervivencia de organismos juveniles es vital para mantener la salud de especies longevas, como son los elasmobranquios (Grubbs, 2010; Carlisle *et al.* 2015). Asimismo, conocer estos

3

aspectos de la biología básica de especies amenazadas y de importancia comercial es útil para el desarrollo de estrategias de conservación o regulación pesquera (Lluch-Cota *et al.*, 2007).

2. Antecedentes

Son pocos los estudios de biología básica realizados del tiburón zorro pelágico, ya que la mayoría están dirigidos a otras especies de este género como *Alopias vulpinus* (Preti *et al.*, 2001; Natanson, 2002; Teo *et al.*, 2018). Entre las pocas investigaciones de *A. pelagicus* se encuentran las de edad y crecimiento realizadas en la costa oeste del Océano Pacífico (Kwang-Ming *et al.*, 1999; Drew *et al.*, 2015), donde se evalúa el estado de la población de esta especie. Otro estudio sobre su biología básica se llevó a cabo en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México por Lara *et al.* (2020), donde se determinaron las concentraciones de mercurio, selenio y cadmio en los músculos de *A. pelagicus* para evaluar una posible amenaza para el ser humano. Asimismo, este es el único estudio de ecología trófica en aguas mexicanas, en el cual se examinó el contenido estomacal de 25 ejemplares del tiburón zorro pelágico durante 2015-2016. Como resultado se obtuvo que el ítem presa principal de esta especie fue *Sardinops sagax*, seguido de *Merluccius* spp.

La ecología trófica de este tiburón ha sido estudiada principalmente en aguas del Pacífico ecuatoriano. Moteki *et al.* (2001) examinaron el contenido estomacal de siete especies pelágicas, entre ellas *A. pelagicus* y encontraron como presas principales pequeños peces de las familias Paralepididae, Phosichthyidae y Gempylidae.

Este tópico también fue estudiado en Manta, Ecuador, por Polo-Silva (2008) y Polo-Silva *et al.* (2009), con el objetivo de determinar el espectro trófico del tiburón zorro pelágico, teniendo en cuenta el sexo y el grado de madurez. Las presas más representativas fueron el calamar gigante *Dosidicus gigas,* el pez linterna *Benthosema panamense* y el calamar *Sthenoteuthis oualaniensis*, sin presentar un cambio significativo de las presas por sexo y estadio de madurez. Además, el depredador obtuvo un nivel trófico de 4.2 (Polo-Silva, 2008) y 3.9 (Polo-Silva, 2009) estimado mediante el modelo propuesto por Cortés (1999).

Asimismo, en Ecuador, Calle-Morán & Galván-Magaña (2020) obtuvieron como presas principales del tiburón zorro pelágico a los calamares *Ommastrephes bartramii*, *D. gigas* y, *S. oualaniensis*, así como el pez *Merluccius gayi*, estimando a partir del modelo propuesto por Cortés (1999) un nivel trófico para el depredador de 5.0, el cual es típico de depredadores tope.

González-Pestana *et al.* (2019) realizaron un estudio de contenido estomacal de esta especie de tiburón en el norte de Perú y determinaron que las presas más importantes fueron los calamares *D. gigas* y *Ancistrocheirus lesueurii*. La posición trófica estimada mediante la ecuación de Christensen & Pauly (1992) fue 4.4.

Los isótopos estables de este depredador solo han sido estudiados en aguas ecuatorianas. Polo-Silva (2008) obtuvo diferencias significativas en los valores del δ^{13} C en las vértebras entre sexos, mientras que los valores del δ^{15} N fueron estadísticamente similares. Este resultado coincidió con el de Estupiñán-Montaño (2016), quien estudió la ontogenia alimentaria de tres tiburones en la Reserva Marina de Galápagos. Polo-Silva (2008) clasificó a *A. pelagicus* como depredador especialista, presentando una mayor afinidad de alimentarse en la zona oceánica; mientras que Estupiñán-Montaño (2016) lo clasificó como depredador generalista. Su posición trófica calculada mediante la ecuación de Post (2002) fue de 2.5 en vértebra (Estupiñan-Montaño 2016) y mediante la ecuación de Vander-Zander (1997) de 4.0 en músculo. Asimismo, se encontraron cambios ontogénicos en la alimentación de esta especie, sugiriendo cambios en el uso de hábitat y posición trófica a través de su crecimiento (Estupiñán-Montaño, 2016).

Calle-Morán (2010) y Polo-Silva *et al.* (2013) describieron la ecología trófica de *A. pelagicus*, reportando valores promedio del δ^{13} C entre -16.3‰ y -16.1‰ para músculo y vértebras, respectivamente. Con respecto al δ^{15} N reportaron valores promedio entre 13.1‰ y 8.3‰ para músculo y vértebras, respectivamente. Con base en estos resultados, los autores concluyeron que esta especie presenta hábitos tróficos especialistas con preferencia por alimentarse en la zona oceánicacostera y es un depredador de nivel trófico 4.5 (Calle-Morán, 2010) y 4.2 (Polo-Silva *et al.* 2013) calculado con la ecuación de Post (2002) en músculo.

5

Finalmente Insuasti & Páez (2016) describieron el comportamiento trófico de tres especies de tiburones en Galápagos, entre ellas *A. pelagicus.* Se obtuvo un nivel trófico de 3.8 para esta especie, calculado en músculo a partir de la ecuación propuesta por Vander-Zander (1997) con valores de δ^{13} C de -16.59‰ y δ^{15} N de 11.89‰. Se catalogó la especie como un depredador generalista y oceánico.

3. Hipótesis

Alopias pelagicus presenta cambios en su nicho isotópico de acuerdo con el sitio de muestreo (costa del Pacífico vs. costa del Golfo de California), así como a lo largo de su ontogenia y por sexo. Asimismo, la especie se clasifica como un depredador terciario y generalista.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la ontogenia alimentaria de *A. pelagicus* en ambas costas de Baja California Sur, México, mediante el análisis de isótopos estables de nitrógeno y carbono en vértebras y músculo.

4.2 Objetivos específicos

- Analizar los nichos isotópicos de *A. pelagicus* por localidad, así como por estadio y sexo, mediante los valores del δ¹³C y δ¹⁵N medidos en vértebra y músculo.
- Determinar su posición trófica por localidad, estadio y sexo con base en los valores del δ¹⁵N medidos en vértebra y músculo.
- Calcular la amplitud trófica de la especie por localidad, estadio y sexo, mediante el análisis del δ¹⁵N, así como caracterizar el uso de su hábitat a partir del δ¹³C, ambos valores medidos en vértebra y músculo.

5. Material y métodos

5.1. Áreas de estudio

Las muestras se colectaron en dos lugares: en el campo pesquero de Bahía Tortugas, ubicado en la costa occidental de Baja California Sur y en Santa Rosalía, ubicado hacia el Golfo de California, México.



Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio en México.

5.1.1 Bahía Tortugas

Bahía Tortugas (27 ° 39'35 " N; 114 ° 52'35 " W) se localiza en la región del Pacífico norte en el municipio de Mulegé y pertenece a la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Tiene una extensión aproximada de 20.5 km² y una profundidad aproximada de 11 m en el centro y 19 m hacia la boca (Guzmán-Del Próo *et al.*, 1991).

Este lugar está ubicado en una zona de transición entre aguas templadas y subtropicales (Martínez-Fuentes *et al.*, 2016) y, debido a la gran influencia que tiene la zona de la Corriente de California, la temperatura del agua tiene un patrón estacional que varía desde los 12.7°C en mayo hasta los 19°C en agosto (Guzmán-Del Próo *et al.*, 2000). Este patrón estacional permite identificar dos

periodos: uno más frío en invierno y primavera, y uno cálido en verano y otoño. Durante la temporada fría, los vientos favorecen la surgencia en la zona de la costa y la Corriente de California impide la llegada de agua más cálida procedente del sur, por lo que las aguas superficiales se encuentran con valores de temperatura y salinidad relativamente bajos. En cambio, durante la temporada cálida los vientos del noroeste se debilitan y la región recibe un flujo de aguas tropicales y subtropicales, produciéndose un aumento de temperatura y salinidad (Durazo, 2015).

Las surgencias que tienen lugar en el periodo frío poseen efectos importantes en los ecosistemas circundantes, aportando nutrientes a la capa superficial del agua que quedan disponibles para la producción orgánica primaria. Como consecuencia, en esta región hay una concentración significativa de biomasa de organismos, muchos de los cuales tienen importancia comercial, generando así, regiones ricas en recursos pesqueros (Arreguín-Sánchez, 2000; Martínez-Fuentes *et al.,* 2016; Martínez-Ayala, 2018).

5.1.2 Santa Rosalía

Santa Rosalía (27°20′20″N; 112°16′01″O) se encuentra en el Golfo de California, un mar marginal del Océano Pacífico situado entre la Península de Baja California y la costa occidental del continente de México. Presenta una longitud de 1,070 km (Bizzarro *et al.*, 2007) y una anchura promedio de 150 km. Debido al exceso de evaporación sobre la precipitación se le ha caracterizado como una gran cuenca de evaporación, con un rango anual de temperaturas y salinidades relativamente altas (Roden, 1954).

Este golfo es la única cuenca de evaporación del Océano Pacífico debido a su ubicación entre dos masas de tierra caliente y de la ausencia de entrada de agua dulce a la región (Roden, 1954; Bizzarro *et al.*, 2007). Su profundidad variable, las características de su hábitat y su exclusiva ubicación en una zona de transición entre regiones faunísticas templadas y tropicales propician en gran medida la riqueza biológica del Golfo de California (Bizzarro *et al.*, 2007).

El clima en Santa Rosalía es de tipo mediterráneo/desértico, con una temperatura media anual de 22º C, con lluvias en verano. En los meses de otoño e invierno el clima alcanza cerca de 20º C y una precipitación total anual menor de

100 mm (Martínez-Riveaux, 2021). La temperatura superficial en la cuenca en esta zona también presenta un comportamiento estacional con valores mínimos en febrero de entre 14 y 18 °C, aumentando progresivamente hacia el verano, cuando se alcanzan valores entre 29 y 31 °C (García-Pámanes *et al.*, 2011).

5.2. Trabajo de campo

Las muestras *Alopias pelagicus* de Bahía Tortugas se recolectaron de agosto del 2013 a agosto del 2016 y provienen de la pesca artesanal con palangre; mientras que, las muestras de Santa Rosalía se obtuvieron de octubre de 2017 a octubre de 2019 y provienen de capturas de pesca artesanal con redes de enmalle con una luz de malla variable de aproximadamente entre 10-15 cm.

Se midió la longitud total (LT) y longitud precaudal (LP) en todos los individuos y se determinó el sexo por la presencia de gonopterigios en los machos. De cada organismo se extrajo una muestra compuesta por una o más vértebras provenientes de la región dorsal cercana a la cabeza junto con un trozo de músculo. Estas se mantuvieron congeladas a -20 °C en el Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México.

5.3 Trabajo de laboratorio

Las muestras de vértebras y músculo fueron descongeladas y limpiadas removiendo el arco neuronal y el tejido conjuntivo con ayuda de un bisturí y pinzas. Una vez limpias, se dejaron secar durante 24 horas y se almacenaron en bolsas de plástico con su debida etiqueta. Asimismo, se apartó 1 g de músculo de cada muestra en viales Eppendorf. Para el área de Bahía Tortugas se obtuvo un total de 29 muestras de vértebras y 32 de músculo. En Santa Rosalía, se obtuvo un total de 50 muestras de vértebras y 43 de músculo.

5.3.1. Procesamiento de vértebras

Una vez limpias y secas las vértebras, se midió su diámetro y se obtuvo la la ecuación que relaciona el radio de las vértebras con la talla del organismo partir de una regresión linear. Con base en esta ecuación y en la talla de primera madurez propuesta por Romero-Caicedo *et al.* (2014), se determinaron tres

estadios ontogénicos dentro de las vértebras. Para obtener la muestra que corresponde al estadio neonato se realizaron las perforaciones en el primer anillo de crecimiento visible. La muestra que corresponde al estadio juvenil se obtuvo perforando en el anillo de crecimiento anterior a los 8.6 mm de radio para machos y 8.7 mm de radio para hembras. En las vértebras de los tiburones maduros, se perforó el último anillo de crecimiento visible para tomar la muestra correspondiente al estadio adulto. Por lo tanto, a partir de cada vértebra de un organismo inmaduro se obtuvieron tres muestras; mientras que para cada vértebra de un organismo inmaduro se obtuvieron dos muestras. En Bahía Tortugas se encontraron 11 individuos inmaduros, mientras que en Santa Rosalía se encontraron 24.



Figura 2. Tres estadios de *A. pelagicus* determinados en cada vértebra. N: neonatos, J: juveniles, A: adultos.

Una vez determinados los estadios, se procedió a tomar las muestras de colágeno de las vértebras. Para ello se usó un microtaladro con una broca de diámetro de 1 mm. Se realizaron perforaciones sobre los anillos de crecimiento preestablecidos, para los adultos se determinaron los tres estadios, mientras que para los juveniles solo dos. El material resultante de cada perforación (polvo) se depositó en viales Eppendorf de 1.5 ml.



Figura 3. Obtención del tejido vertebral de A. pelagicus con el microtaladro.

Para seguir con el procedimiento, se realizó una estancia en el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT) en Granada, España, donde se pesó una cantidad de 0.6 mg del polvo contenido en cada vial y se depositó en cápsulas de estaño de 3.2 x 4mm. Para ello se utilizó una balanza analítica modelo AS 82/220.X2 PLUS con una precisión de ±0.01 mg. Seguidamente, las muestras fueron analizadas en un espectrómetro de masas de razones isotópicas (DELTA plus XL, Thermo- Finnagen) con error de 0.1 ‰, con el fin de cuantificar los valores de δ^{13} C y δ^{15} N.

Se repitió el proceso de pesado y encapsulado (esta vez en cápsulas de plata) con las mismas muestras, pero antes de medir los valores isotópicos, se llevó a cabo un baño de vapor de ácido clorhídrico sobre las muestras con el objetivo de degradar los carbonatos inorgánicos presentes. Este proceso se realizó en un desecador cerrado por 24 horas. De esta manera se obtuvieron dos resultados de cada muestra de vértebra: con carbonatos inorgánicos y sin ellos.

5.3.2. Procesamiento de músculo

Con el fin de mantener el balance osmótico en sus tejidos, los elasmobranquios retienen urea que influyen en los valores del δ^{15} N. También retienen grasas que afectan a los valores del δ^{13} C, por lo que es necesario extraer

estos dos productos de las muestras de músculo. Sin embargo, Post *et al.* (2007) mencionan que también se puede realizar una corrección aritmética para la eliminación de lípidos en este tejido, por lo que dicha corrección se utilizó en este trabajo.

La extracción de urea se llevó a cabo según la metodología de Kim & Koch (2012) y para ello se usó un baño mecánico Bransonic M 8800. Cada muestra se depositó en un tubo de ensayo agregándole 10 ml de agua desionizada y estos se colocaron en el baño durante 15 min. Pasado este tiempo se retiró el agua y se volvió a realizar el procedimiento dos veces más.

Posteriormente, se colocaron las muestras en una liofilizadora a 0.120 mbar y -40°C por aproximadamente 48 h con el fin de extraer la humedad presente en el músculo. Una vez secas, las muestras se molieron con un mortero de ágata para ser transportadas al IACT, donde se realizó el mismo proceso de pesado, encapsulado y medición de isótopos estables que en las vértebras.

5.4 Fase de gabinete

5.4.1 Valores isotópicos

Los valores de los isótopos estables de cada elemento se representaron mediante la notación delta (δ), en partes por mil (∞), la cual expresa las diferencias relativas de las razones isotópicas entre los elementos de las muestras y los estándares. Para ello, se usó la siguiente fórmula (Park & Epstein, 1961):

$$\delta^{15}N \circ \delta^{13}C = \left[\left(\frac{R_{muestra}}{R_{estándar}}\right) - 1\right] * 1000$$

Donde:

 $R_{muestra}$ es la razón del elemento de mayor masa entre el de menor masa (¹⁵N/¹⁴N y ¹³C/¹²C). Los $R_{estándar}$ empleados son nitrógeno atmosférico (N₂) para el δ^{15} N y una calcita fósil llamada *Pee Dee Belemnita* (PDB) para el δ^{13} C.

La razón absoluta (R) de ${}^{13}C/{}^{12}C$ para el estándar PDB ha sido reportada como 0.0112372 (Craig, 1957); mientras que la razón absoluta de ${}^{15}N/{}^{14}N$ es de 0.003677. Por definición, los valores de δ de ambos elementos es 0 ‰ (Mariotti, 1983).

Se procedió a graficar los valores del δ ¹³C contra la proporción de C y N, para observar que los valores estén dentro del rango determinado para las proteínas puras asimiladas, según McConnaughey & McRoy (1979) de 2.9 a 3.8.

Al verificar la razón C:N en músculo se encontró que todos los valores estaban por encima de 3.5, lo que indica un exceso de lípidos en el tejido. Debido a que esto provoca un enriquecimiento de los valores de ¹²C, se procedió a realizar la corrección aritmética mencionada anteriormente (Post *et al.*, 2007):

 δ^{13} C corregido = δ^{13} C muestra - 3.32 + 0.99 * C:N

5.4.2 Análisis de datos

Para cada grupo (δ^{13} C/ δ^{15} N, localidad y tejido) se determinó la normalidad de los datos mediante la prueba de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) y la homocedasticidad de sus varianzas mediante la prueba de Levene. Para los grupos que se ajustaron a una distribución normal y fueron homocedásticos, se usó el estadístico paramétrico ANOVA con su posterior prueba de Tukey para múltiples comparaciones para determinar las diferencias entre subgrupos. Las comparaciones en los grupos que no cumplieron con alguno de los dos supuestos se realizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En todos los análisis se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

5.4.3 Posición trófica

Se utilizó la ecuación propuesta por Post (2002) para determinar el nivel trófico de *A. pelagicus* durante su ontogenia, por lugar y sexo. Para minimizar los efectos de la variación, las especies que actúan como organismo base deberán ser aquellas que compartan el mismo hábitat que la especie objetivo. Por lo tanto, para Santa Rosalía se usó la materia orgánica particulada y para Bahía Tortugas, la langostilla *Pleuroncodes planipes*.

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

Donde:

TP es la posición trófica del depredador, λ es la posición trófica del organismo base; 1 en el caso de Santa Rosalía y 2 en el caso de Bahía Tortugas.

 $δ^{15}N_{depredador}$ es el valor promedio de las firmas isotópicas de *Alopias pelagicus* y $δ^{15}N_{base}$ del organismo base correspondiente; para Santa Rosalía $δ^{15}N_{MOP}$ = 11.1‰ (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2013) y para Bahía Tortugas $δ^{15}N_{langostilla}$ = 12.10‰ (Martínez-Alaya, 2018). $Δ_n$ es el valor del factor de enriquecimiento; 1.95‰ para el tejido vertebral y 2.44‰ para el tejido muscular (Hussey *et al.,* 2010).

Con el objetivo de comparar dos metodologías, también se usó el paquete tRophicPosition en el programa R, que incluye un modelo bayesiano para calcular la posición trófica usando isótopos estables, con una o múltiples bases. Este paquete utiliza simulaciones de cadenas de Markov Monte Carlo y a diferencia de la ecuación de Post (2002), incorpora los valores del δ^{13} C (Quezada-Romegialli *et al.*, 2018). Para que el modelo se ajustara correctamente, se usaron los mismos organismos base que anteriormente; así como los mismos factores de enriquecimiento.

5.4.4 Amplitud y traslapo de nicho isotópico

Para analizar los nichos isotópicos de la especie durante su ontogenia, por lugar y sexo, se utilizó el paquete SIBER (Stable Isotope Bayesian Elipses on R) en el programa R. Este método es una alternativa a la determinación del nicho, el cual se basa en elipses calculadas a partir de matrices de covarianzas que definen la forma y área de estas y la media de los datos determina su ubicación. Con este método se obtiene también el área de la elipse corregida, que no subestima el área en el caso de muestras pequeñas; así como la estimación bayesiana del área. A su vez, estas elipses, representan la amplitud del nicho isotópico y el posible traslapo entre ellas, que equivaldría a si se están compartiendo recursos o utilizando un hábitat de manera similar. Se consideran valores cercanos a 1 como un traslapo alto y cercanos 0 como nulo (Jackson *et al.*, 2011). De acuerdo con lo planteado por Langton (1982), el traslapo es bajo si esta entre 0-29%, medio entre 30-60% y alto si es >60%.

Por otra parte, Bearhop *et al.* (2004) y Newsome *et a*l. (2007) proponen que la amplitud alimentaria se puede medir a partir de la varianza (σ^2) de los valores del δ^{15} N. Los valores inferiores a uno son propios de consumidores con hábitos

especialistas, mientras que, aquellos mayores a uno, caracterizan a consumidores con hábitos generalistas (Jaeger *et al.*, 2009).

6. Resultados

Se contó con 29 vértebras de *A. pelagicus* de Bahía Tortugas, de las cuales se obtuvo un total de 76 muestras de tejido vertebral pero solo 35 se trataron con ácido para extraer los carbonatos inorgánicos. De músculo se obtuvo un total de 32 muestras. En Santa Rosalía, se contó con 49 vértebras, a partir de las cuales se obtuvo un total de 125 muestras de tejido vertebral; mientras que de músculo se obtuvo un total de 43 muestras.

	Bahía Tortugas		Santa F	Rosalía
	Vértebras	Músculo	Vértebras	Músculo
Neonatos	13		49	
Juveniles	14	12	50	18
Adultos	8	20	26	25
Machos	12	11	30	12
Hembras	23	21	95	31
Total	35	32	125	43

Tabla 1. Número de muestras por grupos de A. pelagicus en Bahía Tortugas y SantaRosalía en tejido vertebral y muscular.

6.1 Relación C:N

La razón C:N se midió para cada tejido de forma independiente englobando cada uno ambas zonas de estudio y todos los grupos. Este valor para las vértebras a las que no se le dio tratamiento para desmineralización fluctuó entre 3.2 y 4.8 con un promedio de 3.8±0.31 (Fig.4A). Debido a que el rango teórico establecido de las proteínas puras es de 2.9 a 3.8 (McConnaughey & McRoy, 1979), los valores obtenidos son relativamente altos debido a un exceso de carbonatos inorgánicos.

Por el contrario, las muestras sometidas a ácido, presentaron una razón C:N que fluctuó entre 3.3 y 4.6 con un promedio de 3.7 ± 0.2 (Fig. 4B). Este tratamiento bajó un poco el promedio (t=3.5, p=0.0005), ya que se retiraron los

carbonatos inorgánicos presentes, encontrándose así este dentro del rango teórico de muestras con bajas concentraciones de lípidos y los resultados no se verían influenciados por la presencia de otros componentes (Post *et al.,* 2007; Kim & Koch, 2012).



Figura 4. Relación entre la razón C:N y la razón isotópica de carbono en vértebras sin tratamiento previo (A) después de ser expuestas a ácido (B). La línea roja indica el máximo teórico de proteína pura.

Se procedió a graficar la relación de los valores del δ^{13} C con y sin tratamiento (Fig. 5). El coeficiente de terminación fue de 0.33 y la ecuación de la recta: y = 0,4553x - 7,7655.



Figura 5. Relación del δ^{13} C con y sin tratamiento de desmineralización.

Para el caso del músculo, los valores de la razón C:N fluctuaron entre 3.7 y 4.6 con un promedio de 4.0+-0.16. Estos valores indican que la extracción de urea fue exitosa al estar por encima de 2.5, pero también se observa un exceso de lípidos en el tejido, al excederse de 3.8 (Fig. 6). Por lo tanto, se procedió a aplicar la corrección aritmética propuesta por Post *et al.* (2007) para corregir los valores del δ^{13} C.



Figura 6. Relación entre la razón C:N y a razón isotópica de carbono en músculo. La línea roja indica el máximo teórico de proteína pura

6.2 Diferencias isotópicas entre zonas

Con base en los valores promedio en vértebras mostrados en las Tablas 2 y 3, se encontraron diferencias significativas tanto en el δ^{15} N (X²=37.85, p=7.65e⁻¹⁰) como en el δ^{13} C (X²=26.85, p=2.19e⁻⁰⁷) entre Bahía Tortugas y Santa Rosalía. En el caso del músculo también se encontraron diferencias significativas en el δ^{15} N (F=49.54, p=8.84e⁻¹⁰) y el δ^{13} C (F=75.8, p=6.62e⁻¹³) entre ambas zonas de estudio. Las figuras 7 y 8 reflejan como, para ambos tejidos, el δ^{15} N fue mayor en la costa del Golfo de California que en la occidental; mientras que el δ^{13} C tuvo valores más negativos en la costa occidental de la península que en la del Golfo.

	Vértebras (n=35)		Músculo (n=32)		
	δ ¹⁵ N ‰ (Air-N ₂)	δ ¹³ C ‰ (V-PDB)	δ ¹⁵ N ‰ (Air-N ₂)	δ ¹³ C ‰ (V-PDB)	
Mín.	11.32	-16.00	15.1	-17.92	
Media	12.72±1.06	-14.79±0.61	16.63±0.76	-17.18±0.39	
Máx.	16.27	-13.16	18.15	-16.32	

Tabla 2. Valores de δ^{15} N y δ^{13} C en vértebras y músculo de *A. pelagicus* en Bahía Tortugas.

Tabla 3. Valores de δ^{15} N y δ^{13} C en vértebras y músculo de *A. pelagicus* en Santa Rosalía.

	Vértebras (n=125)		Músculo (n=43)		
	δ ¹⁵ N ‰ (Air-N₂)	δ ¹³ C ‰ (V-PDB)	δ ¹⁵ N ‰ (Air-N ₂)	δ ¹³ C ‰ (V-PDB)	
Mín.	11.33	-15.73	16.24	-17.33	
Media	14.4±1.59	-14.18±0.51	18.08±0.96	-16.43±0.34	
Máx.	17.93	-13.01	19.93	-15.77	

Las figuras 7 y 8 también reflejan cómo los valores de δ^{15} N fueron mayores en ambas zonas de estudio en el tejido muscular (los valores fluctúan entre 15.1‰ y 19.9‰) que en el vertebral (los valores fluctúan entre 11.32 ‰ y 17.93 ‰) (X²=125.07, p<2.2e-16).



Figura 7. Valores isotópicos de *A. pelagicus* en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a partir de tejido vertebral.



Figura 8. Valores isotópicos de *A. pelagicus* en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a partir de tejido muscular.

La amplitud del nicho isotópico obtenido a partir de las vértebras fue mayor en Santa Rosalía (2.6 ‰²) que en Bahía Tortugas (2.1 ‰²); sin embargo, el músculo mostró un área ligeramente mayor en Bahía Tortugas (0.88‰²) que en Santa Rosalía (0.81 ‰²). El traslapo entre nichos fue mayor en las vértebras con un 39% (Fig. 9), que en el músculo con un 23% (Fig.10). En ambos casos hubo una sobreposición baja.



Figura 9. Nichos isotópicos de *A. pelagicus* en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a partir del tejido vertebral.



Figura 10. Nichos isotópicos de *A. pelagicus* en Bahía Tortugas y Santa Rosalía a partir del tejido muscular.

6.3 Bahía Tortugas

Los datos del δ^{15} N y δ^{13} C de Bahía Tortugas obtenidos a partir de las muestras vertebrales presentaron una distribución normal (D=0.11, p=0.36; D=0.14, p=0.08, respectivamente). Lo mismo ocurrió con las muestras de músculo (D=0.09, p=0.66; D=0.09, p=0.69, respectivamente).

Para el caso de la homogeneidad de varianzas, los datos del δ^{15} N de las muestras vertebrales fueron homocedásticos (F=3.27, p=0.08) y los datos de δ^{13} C no (F=8.4, p=0.006); mientras que, en el caso del músculo, tanto los datos del δ^{15} N como los del δ^{13} C fueron homocedásticos (F=0.35, p=0.56; F=7e⁻⁰⁴, p=0.98, respetivamente).

6.3.1 Análisis isotópico por estadios

Vértebras

Los datos del δ^{15} N de las vértebras presentaron un promedio de 12.67 ± 1.17 ‰ en neonatos, de 12.74 ± 1.18 ‰ en juveniles y de 12.79 ± 0.67 ‰ en adultos; sin encontrarse diferencias significativas entre ellos (F= 0.22, p=0.64). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -14.6 ± 0.53 ‰ en neonatos, de -14.97 ±

0.68 ‰ en juveniles y de -14.78 \pm 0.59 ‰ en adultos (Fig.11). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre estos grupos (X²=2.97, p=0.23).



Figura 11. Valores isotópicos para neonatos, juveniles y adultos de *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral de Bahía Tortugas.

Los juveniles abarcaron la mayor área de nicho isotópico con un 2.74 $\%^2$, seguido de los neonatos con un 1.9 $\%^2$ y la menor área fue de los adultos con un 1.4 $\%^2$ (Fig.12). El mayor traslapo de nichos fue entre neonatos y juveniles con un 48%. Los adultos se traslaparon tanto con los neonatos como con los juveniles en un 41%.



Figura 12. Nicho isotópico de neonatos, juveniles y adultos de *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral de Bahía Tortugas.

Músculo

Los valores del δ^{15} N en músculo presentaron un promedio de 16.83 ± 0.79 ‰ en juveniles y de 16.51 ± 0.74 ‰ en adultos. No hubo diferencias significativas entre los dos estadios para esta razón isotópica (F=1.59, p=0.22). El valor promedio del δ^{13} C fue -17.26 ± 0.46 ‰ en juveniles y -17.12 ± 0.35 ‰ en adultos (Fig. 13). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre estos dos grupos (F=1.19, p=0.28).



Figura 13. Valores isotópicos de juveniles y neonatos de *A. pelagicus* a partir de tejido muscular de Bahía Tortugas.

Los juveniles volvieron a mostrar la mayor amplitud del nicho isotópico con un 1.24 ‰², siendo 0.86 ‰² la amplitud del nicho de los adultos (Fig. 14). El traslapo entre ambos fue en un 47%, considerándose intermedio, igual que el obtenido a partir de las vértebras.



Figura 14. Nichos isotópicos de juveniles y adultos de *A. pelagicus* a partir de tejido muscular de Bahía Tortugas.

6.3.2 Análisis isotópico por sexo

Vértebras

Los valores del δ^{15} N de las vértebras en las hembras presentaron un promedio de 12.92 ± 1.21 ‰ y en los machos de 12.34 ± 0.56 ‰. No se encontraron diferencias significativas del δ^{15} N para machos y hembras (F = 2.37, p = 0.13). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -14.89 ± 0.42 ‰ en las hembras y de -14.59 ± 0.85 ‰ en los machos (Fig. 15). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre sexos para δ^{13} C (X²=0.09, p=0.75).



Figura 15. Valores isotópicos para hembras y machos de *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral de Bahía Tortugas.

La amplitud de nicho obtenida a partir del área corregida de las elipses fue mayor en hembras con un 1.67 ‰² que en machos con un 1.1 ‰² (Fig. 16) Estos nichos se traslaparon en un 27%.



Figura 16. Nichos isotópicos de hembras y machos de *A. pelagicus* a partir del tejido vertebral de Bahía Tortugas.

Músculo

Los valores de δ^{15} N del músculo en las hembras presentaron un promedio de 16.61 ± 0.81 ‰ y en los machos de 16.66 ± 0.70 ‰. No se encontraron diferencias significativas entre estos dos grupos (F=0.02, p=0.88). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -17.19 ± 0.39 ‰ para las hembras y de -17.16 ± 0.43 ‰ para los machos (Fig. 17). En este caso tampoco se encontraron diferencias significativas entre sexos (F=0.007, p=0.93).



Figura 17. Valores isotópicos para hembras y machos de *A. pelagicus* a partir de tejido muscular de Bahía Tortugas

La amplitud del nicho isotópico en este caso siguió el mismo patrón que con las vértebras, siendo mayor en hembras (1‰²) que en machos (0.83‰²) (Fig. 18). En cambio, el traslapo de sus nichos isotópicos fue mayor (44%) que en el caso anterior.



Figura 18. Nicho isotópico de hembras y machos de *A. pelagicus* a partir de tejido muscular de Bahía Tortugas.

6.3.3 Posición trófica

Las posiciones tróficas obtenidas con la fórmula propuesta por Post (2002) fueron más bajas en ambos tejidos que las obtenidas con el paquete tRophicPosition del programa R (vértebra: F=616, p=7.42e-09; músculo: F=14.26, p=0.009). Para las vértebras se obtuvo una posición trófica promedio de 2.4 con el método de Post (2002); mientras que con el paquete tRophicPosition la posición trófica promedio fue de 4.6. Para el músculo, la posición trófica promedio fue de 3.9 con el método de Post (2002); mientras que con el programa estadístico fue de 4.4 (Tabla 4).

En cuanto a la comparación entre tejidos, se destaca como para la ecuación de Post (2002) los valores de músculo fueron más altos (F=600, p=4.81e-08); mientras que para tRophicposition no hubo diferencias (F=1.05, p=0.34) (Tabla 4). Asimismo, tampoco se reportaron diferencias ni entre sexos ni estadios (p>0.05).

	Vértebra		Músculo		
	Post (2002)	tRophicPosition	Post (2002)	tRophicPosition	
Neonatos	2.4	4.6			
Juveniles	2.4	4.6	4	4.1	
Adultos	2.4	4.8	3.8	4.3	
Machos	2.2	4.6	3.9	4.7	
Hembras	2.4	4.3	3.8	4.6	
Promedio	2.4	4.6	3.9	4.4	

Tabla 4. Posición trófica de *A. pelagicus* por estadios y sexos en Bahía Tortugas calculadas mediante dos aproximaciones.

6.3.4 Amplitud trófica

A partir de la amplitud calculada con la varianza del δ^{15} N se observó como los valores de las vértebras tendieron a estar por encima de 1, mientras que los del músculo tendieron a estar por debajo (Tabla 5). Sin embargo, tanto los adultos como los machos presentaron en vértebras un valor menor a 1. De la misma manera, todos los grupos calculados a partir del tejido muscular presentaron amplitudes por debajo de uno y son especialistas, independientemente de su estadio de vida o sexo.

	Vértebras	Músculo
Neonatos	1.4	
Juveniles	1.4	0.6
Adultos	0.4	0.5
Hembras	1.4	0.6
Machos	0.3	0.5
Promedio	1	0.5

 Tabla 5. Amplitud trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Bahía Tortugas.

6.4 Santa Rosalía

Los datos de δ^{15} N y δ^{13} C obtenidos en Santa Rosalía a partir de las muestras vertebrales resultaron no seguir una distribución normal (D=0.094, p=0.007; D=0.08, p=0.046, respectivamente); mientras que los obtenidos a partir de músculo sí siguieron una distribución normal (D=0.11, p=0.21; D=0.08, p=0.76, respectivamente).

En el caso de la homogeneidad de varianzas, los datos de δ^{15} N a partir de las muestras vertebrales resultaron ser homocedásticos (F=0.3, p=0.74) y los datos de δ^{13} C no (F=6.18, p=0.003); sin embargo, en el caso del músculo, tanto los datos de δ^{15} N como los de δ^{13} C fueron homocedásticos (F=0.71, p=0.4; F=1.06, p=0.31, respetivamente).

6.4.1 Análisis isotópico por estadio

Vértebras

Los datos de δ^{15} N de las vértebras presentaron un promedio de 14.91±1.59 ‰ en neonatos, de 14.47 ± 0.87 ‰ en juveniles y de 14.89 ± 1.15 ‰ en adultos; sin encontrarse diferencias significativas entre ellos (X²= 1.08, p=0.58). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -13.84 ±0.41 ‰ en neonatos, de -14.6 ± 0.42 ‰ en juveniles y de -14.27 ± 0.51 ‰ en adultos (Fig. 19). En este caso sí se encontraron diferencias significativas durante la ontogenia (X²= 19.42, p=6.078e⁻⁵). La prueba de Tukey arrojó los siguientes valores: neonatos-juveniles p= 0.00001, neonatos-adultos p= 0.0005 y juveniles-adultos p= 0.005.



Figura 19. Valores isotópicos para neonatos, juveniles y adultos de *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral en Santa Rosalía.

A partir del área de la elipse corregida de las muestras de vértebras, se obtuvo que la mayor amplitud trófica la presentaron los juveniles con un 3.17‰², seguidos de los adultos con un 1.94‰² y los neonatos con un 1.79‰² (Fig. 20). El mayor traslapo fue entre neonatos y adultos que se superpusieron en un 55%, seguidos de los juveniles y adultos con un 54% y finalmente los neonatos y juveniles con un 49%.



Figura 20. Nichos isotópicos de neonatos, juveniles y adultos *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral en Santa Rosalía.

Músculo

Los valores de δ^{15} N en músculo presentaron un promedio de 17.78 ± 0.76 ‰ en juveniles y de 17.83 ± 0.85 ‰ en adultos. No hubo diferencias significativas entre los dos estadios para esta razón isotópica (F=2.93, p=0.09). El promedio de δ^{13} C fue -16.48 ± 0.29 ‰ en juveniles y -16.32± 0.4‰ en adultos (Fig. 21). Tampoco se apreciaron diferencias significativas entre estos dos grupos (F=0.38; p=0.54).



Figura 21. Valores isotópicos para juveniles y adultos *A. pelagicus* a partir de tejido muscular en Santa Rosalía.

En este caso los adultos presentaron una amplitud del nicho mayor que los juveniles ($1.27\%^2$ y $0.78\%^2$, respectivamente) y el traslapo entre sus nichos fue medio, al sobreponerse en un 48% (Fig. 22).



Figura 22. Nichos isotópicos de juveniles y adultos *A. pelagicus* a partir de tejido muscular en Santa Rosalía.

6.4.2 Análisis isotópico por sexo

Vértebras

Los valores del δ^{15} N de las vértebras en las hembras presentaron un promedio de 14.31 ± 1.64 ‰ y en los machos de 14.67 ± 1.45 ‰. No se encontraron diferencias significativas para δ^{15} N entre machos y hembras (X²=2.21, p=0.14). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -14.21 ± 0.52 ‰ en las hembras y de -14.08 ± 0.49 ‰ en los machos (Fig.23). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre sexos para el δ^{13} C (F=1.11, p=0.3).





La amplitud calculada mediante las áreas de las elipses corregidas fue de 2.68 ‰² en hembras y 2.28 ‰² en machos para las vértebras (Fig. 24). El traslapo de los nichos isotópicos fue del 68%.



Figura 24. Nichos isotópicos para machos y hembras *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral en Santa Rosalía.

Músculo

Los valores de δ^{15} N del músculo en las hembras presentaron un promedio de 17.95 ± 0.77 ‰ y en los machos de 17.44 ± 0.74 ‰. Se encontraron diferencias significativas entre estos dos grupos (F=5.68, p=0.02). Para el δ^{13} C se obtuvo un promedio de -16.42 ± 0.37 ‰ para las hembras y de -16.29 ± 0.33 ‰ para los machos (Fig. 25). En este caso no se encontraron diferencias significativas entre sexos (F=0.042, p=0.84).



Figura 25. Valores isotópicos para hembras y machos *A. pelagicus* a partir de tejido muscular en Santa Rosalía.

La amplitud calculada para las muestras de músculo mostró un área mayor en machos que en hembras (1.31 ‰² y 0.9 ‰² respectivamente). El traslapo en este caso fue medio al sobreponerse las elipses en un 46% (Fig. 26).



Figura 26. Nichos isotópicos de hembras y machos *A. pelagicus* a partir de tejido muscular en Santa Rosalía.

6.4.3 Posición trófica

Las posiciones tróficas en función del estadio y del sexo en Santa Rosalía fueron similares con respecto a las registradas en Bahía Tortugas. Es decir, las posiciones tróficas para cada grupo obtenidas a partir de la fórmula de Post (2002) también fueron más bajas en ambos tejidos que las obtenidas con el paquete tRophicPosition del programa R (vértebras: F= 123.8, p=3.81e-⁰⁶; músculo: F= 38.44, p=0.0008). Para las vértebras, mediante el método de Post (2002) se obtuvo una posición trófica promedio de 2.7; mientras que con el paquete tRophicPosition la posición trófica promedio fue de 4.3. Para el músculo con el método de Post (2002) la posición trófica promedio fue de 3.7; mientras que con el programa estadístico fue de 4.5 (Tabla 5).

En cuanto a la comparación entre tejidos, se repitió lo ocurrido en Bahía Tortugas. Es decir, para la ecuación de Post (2002), los valores de músculo fueron mayores a los de vértebra (F=75.34, p=5.4e-05), hecho que no sucedió con tRophicPosition (F=1.89, p=0.2). Asimismo, tampoco se reportaron diferencias ni entre sexos ni estadios (p>0.05).

	Vértebra		Músculo	
	Post (2002)	tRophicPosition	Post (2002)	tRophicPosition
Neonatos	2.6	4.5		
Juveniles	2.7	4	3.7	4.3
Adultos	2.8	4.3	3.8	4.7
Machos	2.8	4	3.5	4.3
Hembras	2.6	4.5	3.8	4.6
Promedio	2.7	4.3	3.7	4.5

Tabla 6. Posición trófica de *A. pelagicus* por estadios y sexos en Santa Rosalía calculadas mediante dos aproximaciones.

6.4.4 Amplitud trófica

La amplitud calculada con base en la varianza del δ^{15} N mostró como en las vértebras los valores están por encima de 1. Esto significa que *A. pelagicus* presentó hábitos alimenticios generalistas en Santa Rosalía, independientemente de su estadio de vida o sexo. No obstante, el caso del músculo es diferente ya que los juveniles y las hembras presentaron una amplitud por debajo de uno, es decir, son depredadores especialistas.

	Vértebra	Músculo
Neonatos	2.4	
Juveniles	3.3	0.8
Adultos	1.6	1.0
Hembras	2.7	0.8
Machos	2.1	1.0
Promedio	2.4	0.9

Tabla 7. Amplitud trófica de A. pelagicus por estadios y sexos en Santa Rosalía.

7. Discusión

El presente estudio destaca como en ambos tejidos analizados (vértebras y músculo) los valores del δ^{15} N y δ^{13} C fueron más elevados en Santa Rosalía en el Golfo de California que en Bahía Tortugas en el Océano Pacífico oriental. También quedó reflejado cómo los valores del δ^{15} N fueron más elevados en ambas zonas de estudio en tejido muscular que en vertebral. En Santa Rosalía, se encontraron diferencias ontogénicas en el δ^{13} C, así como entre sexos en el δ^{15} N, manteniéndose estable todos los valores isotópicos en Bahía Tortugas.

7.1 Diferencias isotópicas entre Bahía Tortugas y Santa Rosalía

Comparación isotópica

Las composiciones del nitrógeno isotópico de los productores primarios establecen el δ^{15} N de la base trófica y dependen de numerosos factores como pueden ser: los valores del δ^{15} N de su fuente de nutrientes, sus transformaciones biológicas, el fraccionamiento isotópico (Graham *et al.*, 2009). El Golfo de California es una cuenca semicerrada con un alto nivel de evaporación y con valores relativamente altos del δ^{15} N debido a los procesos de desnitrificación que se dan en la zona de mínimo oxígeno (Altabet *et al.*, 1999; Aurioles *et al.*, 2009). Los procesos de desnitrificación ocurren cuando, en ausencia de O₂, las bacterias reducen los nitratos en el ambiente (NO₃⁻ y NO₂) a N₂ para poder asimilar la materia orgánica. En este proceso se consume el nitrógeno ligero de los nitratos

(¹⁴N), dejando en el ambiente nitratos enriquecidos de nitrógeno pesado (¹⁵N) (Graham *et al.*, 2009).

Sabiendo que el zooplancton tiene valores del δ^{15} N mayores en el Golfo de California que en el Sistema de la Corriente de California (Busquets-Vass *et al.,* 2017) y que este patrón se ha repetido en el presente estudio con *A. pelagicus*; se demuestra que la variabilidad en la base trófica se mantiene hasta los depredadores tope.

Por otro lado, el δ^{15} N se usa para indicar la posición trófica de una especie, donde valores más elevados corresponden a especies de mayor nivel trófico (Post, 2002). Pero en este caso, la diferencia del δ^{15} N entre Bahía Tortugas y Santa Rosalía, no se debe a que *A. pelagicus* tenga una posición trófica diferente en cada costa, sino a esta diferencia de la base trófica debido a los procesos de desnitrificación antes mencionados.

Hasta ahora, la comparación isotópica en depredadores de niveles tróficos superiores en ambas costas de la península de Baja California solo se ha llevado a cabo en mamíferos marinos, estando los individuos del Golfo de California más enriquecidos en ¹⁵N que los de la costa occidental de Baja California. Por ejemplo, estas diferencias entre ambas regiones (Golfo de California vs. Pacífico) se han evidenciado para lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) residentes de cada costa (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2018) y para determinar el origen migratorio de delfines comunes de rostro corto (*Delphinus delphis*) varados en el Golfo de California (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2020). Por lo tanto, este es el primer estudio en elasmobranquios y se han obtenido los mismos resultados.

Asimismo, los valores del δ^{15} N a lo largo de la costa este del Océano Pacífico oriental están fuertemente influenciados por la Corriente de California. Algunos autores como Graham *et al.* (2009) y Aurioles *et al.* (2006) afirman la existencia de un gradiente del δ^{15} N en el Pacífico Noreste que aumenta conforme disminuye la latitud, es decir, en la península de Baja California el δ^{15} N de un organismo base será mayor que en el Golfo de Alaska. Asimismo, para el Pacífico Oriental Tropical, desde Baja California hasta Ecuador, otros estudios (Olson *et al.*, 2010; Busquets-Vass *et al.*, 2017, 2021) muestran una notoria diferencia en los valores del δ^{15} N; aumentando estos con la latitud. Por lo tanto, teniendo en cuenta que Bahía Tortugas y Santa Rosalía se encuentran en la zona de transición templado tropical, estas costas deberán mostrar valores los del δ^{15} N más elevados del Pacífico Noreste y Oriental Tropical. Actualmente solo hay estudios de isótopos estables para esta especie en Ecuador (Polo-Silva, 2008; Calle-Morán, 2010; Estupiñan-Montaño, 2016); donde los valores promedio de este isótopo fueron menor en todos los casos que los de nuestro estudio tanto en músculo como en vértebra; hecho que corrobora lo publicado por los autores antes mencionados.

Los isótopos estables de carbono son utilizados para indicar la contribución relativa de diferentes fuentes primarias potenciales a la dieta de una red trófica (Hobson *et al.*, 1994; Hansson *et al.*, 1997). El δ^{13} C presenta un gradiente costero-oceánico. Los valores más altos se encuentran en regiones productivas cercanas a la costa, como pueden ser zonas de afloramientos; mientras que los valores más bajos se encuentran más lejos de la costa, en regiones menos productivas. Durante el proceso de fotosíntesis, el fitoplancton asimila con mayor facilidad el ¹²C que el ¹³C; por lo tanto, en zonas más productivas como puede ser una región costera, aumenta el valor del δ^{13} C, al ser el carbono pesado el que queda más disponible en el medio (Graham *et al.*, 2009). En regiones oceánicas donde los nutrientes son más limitados, las tasas de crecimiento del fitoplancton son bajas, el carbono orgánico está más enriquecido en ¹²C y los valores del δ^{13} C disminuirán (France, 1995).

En los resultados se observa como en ambos tejidos, el δ^{13} C fue más negativo en Bahía Tortugas que en Santa Rosalía. Estos números parecen indicar que, en la costa occidental de Baja California Sur, *A. pelagicus* está alimentándose en regiones más lejanas a la costa que dentro del Golfo de California. Otra posible explicación para esta diferencia es la estrecha plataforma continental de Bahía Tortugas, donde a los pocos kilómetros de distancia de la costa, se encuentra la plataforma oceánica. Por lo tanto, aunque en ambas regiones los tiburones se estén alimentando a una distancia similar de la costa, los capturados sobre plataforma oceánica (Bahía Tortugas) muestran valores de δ^{13} C más negativos. Los valores promedio del δ^{13} C de Santa Rosalía (vértebras: -14.18±0.51 ‰, músculo: -16.41±0.34 ‰) mostraron cierta similitud con aquellos publicados por otros autores en Ecuador. En la parte continental del país, Polo-Silva (2008) y Calle-Morán (2010) encontraron valores de -16±0.1 ‰ y -16.3±0.5 ‰, respectivamente en músculo y, en las Islas Galápagos, Estupiñan-Montaño (2016) encontró valores de -14.2±0.7‰ en vértebras. Todos estos estudios concluyeron que esta especie habita en zonas oceánicas. Estos resultados podrían indicar que *A. pelagicus* presenta el mismo hábitat alimenticio oceánico en el Golfo de California que en Ecuador y puede deberse a la amplia plataforma continental presente en los lugares de estudio. Sin embargo, en la costa occidental de la península (Bahía Tortugas) donde la plataforma continental no es amplia, los valores del δ^{13} C fueron menores.

El traslapo de los nichos isotópicos de las zonas de estudio resultó ser bajo en ambos tejidos (39% y 23%), reflejando la gran diferencia en ambas razones isotópicas entre zonas, ya que el hábitat trófico del tiburón zorro pelágico es diferente en cada área de estudio.

Comparación por tejidos

Para ambas zonas, los valores del δ^{15} N fueron mayores en músculo que en vértebras. Asimismo, el δ^{13} C fue más positivo en vértebra que en músculo. Polo-Silva (2008) y Núñez-González (2019) observaron este mismo patrón en *A. pelagicus* y *Prionace glauca* respectivamente para el δ^{15} N; mientras que Galindo-Rosado (2016) lo observó en *Carcharhinus falciformis* para ambas razones isotópicas. Estas diferencias isotópicas entre tejidos se pueden explicar por dos motivos: (1) Diferencias bioquímicas del tejido: cada uno presenta diferentes tasas de recambio metabólicas y diferente factor de enriquecimiento isotópico. El músculo presenta un enriquecimiento mayor (2.4 ‰) que la vértebra (1.95 ‰) (Hussey *et al.*, 2010), lo que podría influenciar la marca isotópica del nitrógeno (Méndez da Silveira, 2015). MacNeil *et al.* (2005) demostraron que la tasa de recambio del δ^{15} N fue dos veces más rápida en hígado que en músculo y que las vértebras tienen la tasa de recambio más lenta debido al lento crecimiento de sus bandas. El tejido de este último es metabólicamente inerte, por lo que se puede deducir que la señal isotópica se mantiene intacta apenas es asimilada o incorporada por el tejido (Campana *et al.*, 2002; Estrada *et al.*, 2006) mientras que el músculo presenta un recambio metabólico más lento (aprox. 60 días) (MacNeil *et al.*, 2005). Estos autores también encontraron que los valores de δ^{13} C decrecen con el aumento de las tasas metabólicas de los tejidos. (2) El segundo motivo es la ventana temporal de firma isotópica que registra cada tejido. Esto es, mientras que las vértebras proporcionan las señales isotópicas de toda la vida del organismo, el músculo solo registra información isotópica de los últimos meses de vida del animal (MacNeil *et al.*, 2005; Estrada *et al.*, 2006).

7.2 Análisis isotópico por estadios

En varias especies de tiburones, la variación ontogénica es común, debido a que los grandes tiburones pueden alimentarse de grandes presas. Además, ellos tienen acceso a diferentes áreas de alimentación y pueden segregarse por tallas (Lowe *et al.*, 1996).

Los resultados de la presente investigación indicaron que en ninguna de las dos zonas de estudio se encontraron diferencias del δ^{15} N a lo largo de la ontogenia de *A. pelagicus* ni en tejido vertebral ni muscular, lo cual indica que esta especie se alimenta de los mismos grupos de presas a lo largo de toda su vida. Esta conclusión también se obtuvo en las aguas de Ecuador, donde Polo-Silva (2008) y Calle-Morán (2010) estudiaron la ontogenia del tiburón zorro pelágico y dedujeron que esta especie tampoco presenta segregación en la alimentación por estadios de madurez. Por el contrario, Estupiñan-Montaño (2016) sí encontró diferencias durante la ontogenia de este tiburón en las Islas Galápagos. Una posible explicación para la diferencia presente en este último estudio es que el número de muestras utilizadas fue mucho mayor que en el resto de los estudios. Otra posible explicación podría ser las diferencias ambientales entre zonas de estudio, en algunos casos provocan variaciones ontogénicas y en otros no.

Lara *et al.* (2020) estudiaron el contenido estomacal de los mismos ejemplares de *A. pelagicus* del presente estudio en Bahía Tortugas y obtuvieron como presa principal la sardina *Sardinops sagax*; los tiburones maduros e inmaduros presentaron el mismo patrón de alimentación. Este estudio respalda

que *A. pelagicus* en Bahía Tortugas se alimenta de presas de niveles tróficos similares a lo largo de su vida.

En la costa continental de Ecuador, Polo-Silva (2008) y Calle-Morán (2010) no encontraron diferencias en la razón isotópica del carbono entre estadios, presentando la especie patrones alimenticios limitados a la zona oceánica. Este resultado también se obtuvo en el presente estudio en Bahía Tortugas. Por otro lado, Estupiñán-Montaño (2016) en las Islas Galápagos evidenció que esta razón presentó diferencias en los neonatos tanto con juveniles como con adultos, resultado similar al encontrado en Santa Rosalía; las vértebras presentaron diferencias entre todos los estadios, deduciendo un posible desplazamiento oceánico-costero conforme crece para esta especie. De manera contraria, el δ^{13} C de Santa Rosalía en músculo indica que la especie no presenta cambios entre juveniles y adultos. Esta controversia puede deberse a dos razones: (1) la tasa de recambio metabólica de cada tejido es diferente y, (2) la diferencia entre estadios es más notoria en los neonatos. El menor traslapo entre nichos lo presentaron los neonatos y juveniles (49%). Es decir, estos dos grupos comparten el hábitat en menor medida; mientras que juveniles y adultos comparten el nicho isotópico en un 54%.

Lowe *et al.* (1996) señalaron que los tiburones cambian su dieta conforme crecen y cambian de ambiente. Entre otros motivos, explican que los tiburones de diferentes estadios de desarrollo ocupan áreas diferentes, ya que se segregan por tallas. Este comportamiento se está reflejando en los tiburones capturados en Santa Rosalía, aunque no haya una diferencia de presas a lo largo de su vida, sí lo hay en el hábitat. Estrada *et al.* (2006) afirmaron que una alta varianza isotópica puede sugerir que existe cierta heterogeneidad influenciada por migraciones o alta movilidad en zonas donde seguramente existen diferentes presas o que las fuentes de carbono orgánico de cada zona son distintas. Sabiendo que este cambio en el uso del hábitat no se dio en Bahía Tortugas, este estudio corrobora que *A. pelagicus* muestra flexibilidad en su comportamiento trófico dependiendo de sus requerimientos durante el desarrollo.

Cabe destacar que en ambas zonas de estudio los valores del δ^{13} C fueron más negativos en los juveniles y más positivos en los neonatos. De la misma

manera, los nichos isotópicos de juveniles fueron mayor que los de neonatos y adultos. Por lo tanto, se puede inferir que en ambas costas de Baja California los individuos neonatos de *A. pelagicus* presentan un hábitat alimentario más estrecho y costero; mientras que los juveniles presentan un hábitat más amplio y oceánico. Calle-Morán (2010) atribuyó este fenómeno a que organismos neonatos y juveniles tienen una capacidad limitada de llegar hacia zonas más oceánicas, provocando que su hábitat se restrinja a zonas costeras. En el presente trabajo solamente los neonatos mostraron un hábitat o movilidad limitada.

7.3 Análisis isotópico por sexo

Wooton (1990) y Lowe *et al.* (1996) señalaron que los tiburones no solo usan de manera diferente los recursos alimenticios en función de su talla, sino que también se segregan por sexo, debido a los diferentes recursos disponibles en un determinado sistema.

Los resultados de la presente investigación indicaron que el δ^{15} N en Bahía Tortugas no presentó diferencias entre sexos en ningún tejido; lo cual coincide con lo reportado por Lara *et al.* (2020) para esta misma zona, quien analizó el contenido estomacal de estos mismos individuos y no encontró cambios intrasexuales en su dieta.

Por otro lado, en Santa Rosalía no se encontraron diferencias entre sexos en el δ^{15} N en tejido vertebral, pero sí en el muscular. Una vez más destaca como vértebras y músculo presentan resultados diferentes; hecho que respalda que la tasa de recambio, así como la ventana temporal de información isotópica para cada tejido es diferente. Por lo tanto, estos datos están reflejando que a lo largo de su vida, machos y hembras se están alimentando de presas del mismo nivel trófico; hecho que se ve reflejado en el traslapo alto (68%) de su nicho isotópico entre sexos. Sin embargo, el músculo reflejó que durante los últimos meses de vida, machos y hembras encontraron presas diferentes, probablemente debido a las condiciones del ambiente y a los diferentes requerimientos energéticos de las hembras adultas para reproducirse.

Estos resultados complementan lo observado en el apartado anterior e indica que en Santa Rosalía *A. pelagicus* presenta ciertos cambios en su

comportamiento trófico a lo largo de su vida, así como por sexo; mientras que en Bahía Tortugas tiende a mantenerse estable.

En cuanto al δ^{13} C, este no presentó diferencias significativas entre sexos en ninguna zona de estudio ni tejido, pero los valores más bajos en todos los casos los presentaron las hembras. Esta conclusión queda soportada por Calle-Morán (2010) en el Pacífico ecuatoriano, quien reportó valores mayores de δ^{13} C en los machos por una probable mayor capacidad de explotación hacia ambientes bentónicos. Por lo tanto, se puede inferir que, aunque en las costas de Baja California no haya segregación por sexos de *A. pelagicus* en cuanto a su hábitat trófico, las hembras presentan mayor afinidad por zonas oceánicas que los machos.

Por otro lado, el nicho isotópico de las hembras fue más amplio que el de los machos, característica que puede sugerir cierta heterogeneidad en sus principales presas o ambientes, reflejando un gradiente oceánico-costero. En consecuencia, las hembras no solo presentan un hábitat trófico con tendencia más oceánica que los machos, sino que también más extenso.

Los resultados obtenidos en Bahía Tortugas; donde no se encontraron diferencias entre sexos en ninguna razón isotópica, coincidieron con los valores isotópicos reportados por Insuasti & Páez (2016) y Estupiñan-Montaño (2016) en las islas Galápagos, así como con los de Calle-Morán (2010) en la costa de Ecuador. Polo-Silva (2008) reportó valores de δ^{13} C muy diferentes a los de este estudio, encontrando segregación por sexo solamente en tejido vertebral, con valores más negativos en los machos.

Asimismo, cabe destacar el hecho de que tanto las diferencias ontogénicas como entre sexos, solo se presentaron en Santa Rosalía; mientras que en Bahía Tortugas todos los individuos presentan el mismo comportamiento trófico independientemente de su edad o sexo. Esto demuestra la heterogeneidad del hábitat en Santa Rosalía, hecho corroborado por un mayor nicho isotópico (2.6‰²) de *A. pelagicus* durante toda su vida en dicha zona del Golfo de California con respecto a Bahía Tortugas (2.1‰²) en el Océano Pacífico.

43

7.4 Posición trófica

La posición trófica es definida como un valor no entero que representa la energía ponderada que es transferida tróficamente a un consumidor (Polo Silva, 2008; Vander-Zanden & Rasmussen, 1999). Para poder usar correctamente el δ^{15} N como estimador de nivel trófico de una misma especie en lugares diferentes, es necesario identificar y medir la variación del δ^{15} N de los productores primarios en los diferentes hábitats. Luego se ajustan los valores isotópicos del depredador con los de referencia para que el δ^{15} N refleje la variación del nivel trófico y no la variación del δ^{15} N de la base de la cadena trófica (Cabana & Rasmussen, 1996).

Polo-Silva *et al.* (2013) reportaron como factor de enriquecimiento más apropiado el encontrado en Kim *et al.* (2012), ya que estos autores realizaron un estudio controlado de la alimentación del tiburón leopardo (*Triakis semifasciata*) en músculo y sangre lo suficientemente largo (aprox. 1250 días), para que el músculo incorpore totalmente la dieta del depredador. Sin embargo, en el presente estudio se usó el factor de enriquecimiento propuesto por Hussey *et al.* (2010) ya que, aunque la duración del experimento fue menor (aprox. 365 días), estos autores obtuvieron dicho factor no solo para músculo, sino también para vértebra. En este estudio, se comparan dos metodologías y dos tejidos para la obtención de la posición trófica.

En cuanto a las vértebras, con la ecuación de Post (2002) se obtuvieron niveles tróficos de 2.4 y 2.7; mientras que con tRophicPosition estos valores fueron 4.6 y 4.3. Como la literatura clasifica a *A. pelagicus* como consumidor terciario y cuaternario, con posiciones tróficas desde 3.8 (Insuasti & Páez, 2016) hasta 5 (Calle-Morán, 2010); se infiere que la ecuación de Post (2002) a partir de tejido de vertebral no es un buen estimador de posición trófica de esta especie. Esta misma conclusión fue reportada por Estupiñan-Montaño (2016), quién obtuvo una posición trófica de 2.5 para esta especie a partir de tejido vertebral.

A partir del músculo, con la ecuación de Post (2002) los niveles tróficos fueron 3.9 y 3.7; mientras que con tRophicPosition fueron 4.4 y 4.5. Estas diferencias mostradas entre tejidos a partir de la ecuación de Post permiten inferir que este método no es tan efectivo como el programa tRophicPosition, el cual no presenta diferencias entre tejidos.

Asimismo, en ambas zonas de estudio la posición trófica del tiburón zorro pelágico fue de alrededor 4.5, clasificándose como depredador terciario, y no varía ni por zona de estudio, ni sexo ni estadio. Este resultado es acorde con lo publicado por Lara *et al.* (2020) y Fernández-Aguirre (en proceso), quienes reportaron como presa principal de *A. pelagicus* a la sardina *Sardinops sagax* en Bahía Tortugas y a la anchoveta *Engraulis mordax* en Santa Rosalía. Ambas especies presa se alimentan de plancton, por lo que tienen un nivel trófico similar y, en consecuencia, *A. pelagicus* presenta un nivel trófico similar en ambas zonas de estudio. La ausencia de variabilidad entre sexos y estadios también fue reportada por Polo-Silva *et al.* (2009), quienes obtuvieron un nivel trófico de 3.9 para la especie. Por otro lado, Calle-Morán (2010) obtuvo un nivel de 4.5, siendo este consecuente con el del presente estudio. Por lo tanto, se infiere una vez más que *A. pelagicus* muestra flexibilidad en su comportamiento trófico dependiendo de la disponibilidad de presas en el ambiente.

7.5 Amplitud trófica

Bearhop *et al.* (2004) señalan que la varianza de las razones del $\delta^{15}N$ son un buen indicador de la amplitud del espectro alimentario. De manera general se observó como con tejido vertebral *A. pelagicus* es generalista; mientras que con tejido muscular es especialista. Los valores por debajo de 1 en adultos y machos en Santa Rosalía fueron debido a que el número de muestra en ambos grupos es menor, hecho que se refleja en la varianza de sus valores de $\delta^{15}N$.

Estupiñan-Montaño (2016) midió la amplitud con vértebras y también definió a esta especie como generalista; mientras que Calle-Morán (2010), midiendo con músculo, la catalogó como especialista. Hay que tener en cuenta que esta contrariedad entre tejidos puede deberse, una vez más, a las diferentes ventanas temporales de sus firmas isotópicas. De esta manera se infiere que *A. pelagicus* presenta el mismo comportamiento alimenticio en Ecuador que las costas de Baja California; al presentar hábitos alimenticios generalistas a lo largo de su vida (vía las vértebras); pero si se evalúan solo los últimos meses de su vida (vía el músculo), la especie presentaría hábitos especialistas.

Tanto con las amplitudes del nicho isotópico obtenidas con las elipses, como con las obtenidas a partir de la varianza del $\delta^{15}N$, se aprecia como los

organismos juveniles y las hembras presentaron una amplitud mayor. Esto se puede deber a que los individuos juveniles, al no estar completamente desarrollados, enfocan su energía en crecer y para ello requieren más nutrientes y una dieta/uso de hábitat más amplios, lo que lleva a considerarlos depredadores generalistas, mientras que los adultos tienden a ser más especialistas. Asimismo, las hembras requieren más energía y un mayor aporte nutrimental para alcanzar mayores tallas y sostener los requerimientos de su gestación.

8. Conclusiones

- Los valores del δ¹⁵N fueron mayores en Santa Rosalía que en Bahía Tortugas debido a la diferencia en la base de la cadena trófica.
- Los valores del δ¹³C fueron más bajos en Bahía Tortugas como resultado de una plataforma continental más estrecha que en Santa Rosalía.
- Los valores del δ¹⁵N fueron mayores en músculo que en vértebra debido a las diferentes tasas de recambio y ventanas temporales que presentan ambos tejidos.
- En Bahía Tortugas ninguna razón isotópica presentó diferencias por grupos, por lo tanto, esta zona presentó estabilidad de hábitos alimentarios entre estadios y sexo.
- Sen Santa Rosalía el δ¹³C no presentó diferencias entre sexos, pero sí ontogénicas, al alimentarse los neonatos más cerca de la costa y el δ¹⁵N solamente presentó diferencias entre sexos en el músculo.
- En ambas costas los individuos neonatos de A. pelagicus presentaron un hábitat alimentario más estrecho y costero; mientras que los juveniles presentaron un hábitat más amplio y oceánico.
- >>> El tiburón zorro pelágico se clasificó como depredador terciario, y su posición trófica no varía ni por zona de estudio, ni sexo ni estadio.

- tRophicPosition es una herramienta más precisa que la ecuación propuesta por Post (2002) para estimar el nivel trófico de *A. pelagicus* a partir de tejido vertebral.
- A. *pelagicus* presentó hábitos alimenticios generalistas a lo largo de su vida (vértebras); pero si se evalúan solo los últimos meses de su vida (músculo), la especie presentó hábitos especialistas.

9. Recomendaciones

- Realizar el estudio de edad y crecimiento de A. pelagicus en Baja California Sur para poder determinar una talla de primera madurez más ajustada para esta investigación.
- Medir los isótopos estables de carbono y nitrógeno en músculo de neonatos y embriones de *A. pelagicus* para poder comparar la firma isotópica con la de las hembras adultas.
- Medir el δ¹⁵N de la materia orgánica particulada en Bahía Tortugas para facilitar el cálculo de la posición trófica de depredadores para futuros estudios en la zona.

Bibliografía

- Aalbers, S. A., Bernal, D., & Sepulveda, C. A. (2010). The functional role of the caudal fin in the feeding ecology of the common thresher shark Alopias vulpinus. *Journal of Fish Biology*, *76*(7), 1863-1868.
- Altabet, M. A., Pilskaln, C., Thunell, R., Pride, C., Sigman, D., Chavez, F., & Francois, R. (1999). The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, *46*(4), 655-679.
- Aurioles-Gamboa, D., Koch, P. L., & Le Boeuf, B. J. (2006). Differences in Foraging Location of Mexican and California Elephant Seals: Evidence from Stable Isotopes in Pups. *Marine Mammal Science*, 22(2), 326-338.
- Aurioles-Gamboa, D., Rodríguez-Pérez, M. Y., Sánchez-Velasco, L., & Lavín, M.
 F. (2013). Habitat, trophic level, and residence of marine mammals in the Gulf of California assessed by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, *488*, 275-290.
- Bearhop, S., Adams, C. E., Waldron, S., Fuller, R. A., & Macleod, H. (2004). Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73(5), 1007-1012.
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., Tyminski, J., Márquez, J. F., Castillo, J.
 L., & Cailliet, G. M. (2007). *El estado actual de los tiburones y rayas sujetos* a explotación comercial en el golfo de california: una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación. 262.

Branstetter, S. (1993). Conservation Biology of Elasmobranchs. 108.

- Busquets-Vass, G., Newsome, S. D., Calambokidis, J., Serra-Valente, G., Jacobsen, J. K., Aguíñiga-García, S., & Gendron, D. (2017). Estimating blue whale skin isotopic incorporation rates and baleen growth rates: Implications for assessing diet and movement patterns in mysticetes. *PLOS ONE*, *12*(5), e0177880.
- Busquets-Vass, G., Newsome, S. D., Pardo, M. A., Calambokidis, J., Aguíñiga-García, S., Páez-Rosas, D., Gómez-Gutiérrez, J., Enríquez-Paredes, L. M., & Gendron, D. (2021). Isotope-based inferences of the seasonal foraging and migratory strategies of blue whales in the eastern Pacific Ocean. *Marine Environmental Research*, *163*, 105201.

- Cabana, G., & Rasmussen, J. B. (1996). Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(20), 10844-10847.
- Calle-Morán, M. D. (2010). Ecología trófica del tiburón zorro pelágico Alopias pelagicus en Santa Rosa de Salinas, Pacífico ecuatoriano. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Calle-Morán, M. D., & Galván-Magaña, F. (2020). Diet composition and feeding habits of the pelagic thresher shark Alopias pelagicus in Eastern Central Pacific Ocean, Ecuadorian waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 100(5), 837-845. Cambridge Core.
- Campana, S. E., Natanson, L. J., & Myklevoll, S. (2002). Bomb dating and age determination of large pelagic sharks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *59*(3), 450-455.
- Carlisle, A. B., Goldman, K. J., Litvin, S. Y., Madigan, D. J., Bigman, J. S., Swithenbank, A. M., Kline, T. C., & Block, B. A. (2015). Stable isotope analysis of vertebrae reveals ontogenetic changes in habitat in an endothermic pelagic shark. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141446.
- Carrier, J. C., Musick, J. A., & Heithaus, M. R. (2012). *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC Press.
- CITES. (2016). Ficha descriptiva para la 17^a Conferencia de las Partes (CoP17) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).
- CMS. (2014). Ficha informativa para la 11° Reunión de la Conferencia de las Partes (CoP11) de la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS) (Inclusión de las especies en el Apéndice II de la CMS).
- 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 1. Hexanchiformes to Lamniformes. 258.
- Compagno, L. J. V. (2001). Sharks of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date. Food & Agriculture Org.
- Cortés, E. (1999). Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES Journal of Marine Science*, *56*(5), 707-717.

Craig, H. (1957). Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *12*(1), 133-149.

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

- Curtis, H. (1986). *Biología*. 548 pp.
- Drew, M., White, W. T., Dharmadi, Harry, A. V., & Huveneers, C. (2015). Age, growth and maturity of the pelagic thresher Alopias pelagicus and the scalloped hammerhead Sphyrna lewini. *Journal of Fish Biology*, *86*(1), 333-354.
- Durazo, R. (2015). Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *120*(2), 1173-1196.
- Elorriaga-Verplancken, F., Paniagua, A., Blanco-Jarvio, A., Carone, E., Hernández, R., Ballínez-Ambriz, C., & Rosales Nanduca, H. (2020). Stable isotope assessment of a mass stranding of short-beaked common dolphins (Delphinus delphis delphis) reveals their provenance: Integrating knowledge of a little-known odontocete in the Gulf of California. *Regional Studies in Marine Science*, 40.
- Elorriaga-Verplancken, F. R., Sandoval-Sierra, J., Paniagua-Mendoza, A., & Robles-Hernández, R. (2018). Seasonality and potential foraging grounds of migratory California sea lions from La Paz Bay, Southern Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals*, 56-61.
- Estrada, J. A., Rice, A. N., Natanson, L. J., & Skomal, G. B. (2006). Use of Isotopic Analysis of Vertebrae in Reconstructing Ontogenetic Feeding Ecology in White Sharks. *Ecology*, 87(4), 829-834.
- Estupiñán-Montaño, C. (2016). Ontogenia alimentaria de tres especies de tiburones pelágicos: Alopias pelagicus, Carcharhinus falciformis y Prionace glauca en la reserva marina de galápagos, Ecuador. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
- France, R. I. (1995). Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: Foodweb implications. *Marine Ecology Progress Series*, 124, 307-312.
- Fry, B., & Sherr, B. (1984). D13C measurements as indicator of carbon flow in marine and freshwater ecosystem. *Contribution in Marine Science*, 13-47.

- Galindo-Rosado, M. A. (2016). Composición isotópica δ15N y δ13C durante el desarrollo ontogénico del tiburón piloto Carcharhinus falciformis Müller & henle 1839 en la zona oceánica del Pacífico Oriental Tropical. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- García-Pámanes, J., Trasviña-Castro, A., Lara-Lara, J. R., & Bazán-Guzmán, C. (2011). Variaciones estacionales del flujo vertical de materia orgánica particulada en la región central del Golfo de California. *Ciencias marinas*, 37(1), 33-49.
- Gerking, S. D. (1994). Feeding ecology of fish. Academic Press Inc., 416.
- González-Pestana, A., Acuña-Perales, N., Córdova, F., Coasaca, J., Alfaro, E., Alfaro-Shigueto, J., & Mangel, J. C. (2019). Feeding habits of thresher sharks Alopias sp. In northern Peru: Predators of Humboldt squid (Dosidicus gigas). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(3), 695-702. Cambridge Core.
- Graham, B. S., Koch, P. L., Newsome, S. D., McMahon, K. W., & Aurioles, D. (2009). Using Isoscapes to Trace the Movements and Foraging Behavior of Top Predators in Oceanic Ecosystems. En J. B. West, G. J. Bowen, T. E. Dawson, & K. P. Tu (Eds.), *Isoscapes: Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping* (pp. 299-318). Springer Netherlands.
- Grubbs, R. D. (2010). Ontogenetic Shifts in Movements and Habitat Use. En Sharks and Their Relatives II. CRC Press.
- Guzman-del Proo, S. A., Mille-Pagaza, S. R., Campa-Guzmán, S., Carrillo-Laguna, J., Pereira Corona, A., Belmar-Perez, J., Parra-Alcocer, M. J., & Luque-Guerrero, A. C. (1991). La comunidad bentónica de los bancos de abulón (Haliotis spp. Mollusca: Gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Anales de la EscuelaNacional de Ciencias Biológicas*, 36, 27-59.
- Guzmán-Del Próo, S. A., Salinas, F., Zaytsev, O., Belmar-Pérez, J., & Carrillo-Laguna, J. (2000). Potential dispersion of reproductive products and larval stages of abalone (Haliotis spp.) as a function of the hydrodynamics of Bahia Tortugas, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, *19*(2), 869-881.

- Hansson, S., Hobbie, J. E., Elmgren, R., Larsson, U., Fry, B., & Johansson, S. (1997). The Stable Nitrogen Isotope Ratio as a Marker of Food-Web Interactions and Fish Migration. *Ecology*, 78(7), 2249-2257.
- Harvey, C. J., & Kitchell, J. F. (2000). A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a Lake Superior food web. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, *57*, 9.
- Hobson, K. A. (1999). Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: A review. *Oecologia*, *120*(3), 314-326.
- Hobson, K. A., Piatt, J. F., & Pitocchelli, J. (1994). Using Stable Isotopes to Determine Seabird Trophic Relationships. *Journal of Animal Ecology*, 63(4), 786-798. https://doi.org/10.2307/5256
- Hussey, N. E., Brush, J., McCarthy, I. D., & Fisk, A. T. (2010). Δ15N and δ13C diet–tissue discrimination factors for large sharks under semi-controlled conditions. Special Issue of papers derived from a presentation at the session entitled 'Biology of Elasmobranchs: from Genes to Ecophysiology and Behaviour' at the Society for Experimental Biology's Annual Main Meeting, Glasgow, UK, 28 June–1 July, 2009, 155(4), 445-453.
- Insuasti, P. R., & Páez, D. (2016). Comportamiento alimentario de tres especies de tiburones capturados ilegalmente en la reserva marina de Galápagos. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil.
- 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.
- Jaeger, A. P., Blanchard, P., Richard, P., & Cherel, 2009. (2009). Using carbon and nitrogen isotopic values of body feathers to infer inter and intraindividual variations of seabird feeding ecology during moult. . 156(6): *Marine Biology*, 156(6).
- Kim, S. L., Casper, D. R., Galván-Magaña, F., Ochoa-Díaz, R., Hernández-Aguilar, S. B., & Koch, P. L. (2012). Carbon and nitrogen discrimination factors for elasmobranch soft tissues based on a long-term controlled feeding study. *Environmental Biology of Fishes*, 95(1), 37-52.

- Kim, S. L., & Koch, P. L. (2012). Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis. *Environmental Biology of Fishes*, 95(1), 53-63.
- Kwang-Ming, L., Che-Tsung, C., Tai-Hsiang, L., & Shoo-Jeng, J. (1999). Age, Growth, and Reproduction of the Pelagic Thresher Shark, Alopias pelagicus in the Northwestern Pacific. *Copeia*, 1999(1), 66-74.

Langton, R. W. (1982). Fishery Bulletin. National Marine Fisheries Service.

- Lara, A., Galván-Magaña, F., Elorriaga-Verplancken, F., Marmolejo-Rodríguez, A.
 J., Gonzalez-Armas, R., Arreola-Mendoza, L., Sujitha, S. B., & Jonathan, M.
 P. (2020). Bioaccumulation and trophic transfer of potentially toxic elements in the pelagic thresher shark Alopias pelagicus in Baja California Sur, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, *156*, 111192.
- Liu, K.-M., Chang, Y.-T., Ni, I.-H., & Jin, C.-B. (2006). Spawning per recruit analysis of the pelagic thresher shark, Alopias pelagicus, in the eastern Taiwan waters. *Fisheries Research*, *82*, 56-64.
- Liu, K.-M., Chen, C.-T., Liao, T.-H., & Joung, S.-J. (1999). Age, Growth, and Reproduction of the Pelagic Thresher Shark, Alopias pelagicus in the Northwestern Pacific. *Copeia*, 1999(1), 68-74. JSTOR.
- Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreguín-Sánchez, F., Aurioles-Gamboa,
 D., Jesús Bautista-Romero, J., Brusca, R. C., Cervantes-Duarte, R.,
 Cortés-Altamirano, R., Del-Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A.,
 Fernández, G., Hendrickx, M. E., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B.,
 López-Martínez, J., ... Sierra-Beltrán, A. P. (2007). The Gulf of California:
 Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*, *73*(1), 1-26.
- Lowe, C. G., Wetherbee, B. M., Crow, G. L., & Tester, A. L. (1996). Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark, Galeocerdo cuvier, in Hawaiian waters. *Environmental Biology of Fishes*, 47(2), 203-211.
- MacNeil, M. A., Skomal, G. B., & Fisk, A. T. (2005). Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. *Marine Ecology Progress Series*, 302, 199-206.
- Maguire, J.-J., Nations, F. and A. O. of the U., Sissenwine, M., Csirke, J., Garcia, S., & Grainger, R. (2006). *The State of World Highly Migratory, Straddling*

and Other High Seas Fishery Resources and Associated Species. Food & Agriculture Org.

- Mariotti, A. (1983). Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural 15N abundance measurements. *Nature*, *303*(5919), 5919.
- Martínez Riveaux, D. de la C. (2021). Biología de la reproducción de Pseudobatos Glaucostigmus (Jordan & Gilbert, 1883) en Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- McConnaughey, T., & McRoy, C. P. (1979). Food-Web structure and the fractionation of Carbon isotopes in the bering sea. *Marine Biology*, *53*(3),
- Méndez da Silveira, D. E. (2015). Composición isotópica de carbono y nitrógeno (δ 13C y δ 15N) en tejidos de tiburones de la Costa Occidental de Baja California Sur. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Moteki, M., Arai, M., Tsuchiya, K., & Okamoto, H. (2001). Composition of piscine prey in the diet of large pelagic fish in the eastern tropical Pacific Ocean. *Fisheries Science*, *67*(6), 1063-1074.
- Natanson, L. J. (2002). Preliminary investigations into the age and growth of the shortfin mako, isurus oxyrinchus, white shark, carcharodon carcharias, and thresher shark, alopias vulpinus, in the western north atlantic ocean. *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas Working Document, Standing Committee on Research and Statistics*, *1*, 66.
- Newsome, S. D., Clementz, M. T., & Koch, P. L. (2010). Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26(3), 509-572. https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00354.x
- Newsome, S. D., Rio, C. M. del, Bearhop, S., & Phillips, D. L. (2007). A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *5*(8), 429-436.
- Núñez González, R. Z. (2019). Ontogenia alimentaria del tiburón azul (Prionace glauca) en la Costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Olson, R. J., Popp, B. N., Graham, B. S., López-Ibarra, G. A., Galván-Magaña, F., Lennert-Cody, C. E., Bocanegra-Castillo, N., Wallsgrove, N. J., Gier, E., Alatorre-Ramírez, V., Ballance, L. T., & Fry, B. (2010). Food-web inferences

of stable isotope spatial patterns in copepods and yellowfin tuna in the pelagic eastern Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, *86*(1), 124-138.

- Park, R., & Epstein, S. (1961). Metabolic fractionation of C13 & C12 in plants 12. *Plant Physiology*, *36*(2), 133-138.
- Peterson, B. J., & Fry, B. (1987). Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, 293-320. JSTOR.
- Polo Silva, C. J. (2008). Ecología trófica de los tiburones zorro Alopias pelagicus Nakamura, 1935 y Alopias superciliosus (Lowe, 1839) en el Pacifico Ecuatoriano. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Polo-Silva, C., Newsome, S. D., Galván-Magaña, F., Grijalba-Bendeck, M., & Sanjuan-Muñoz, A. (2013). Trophic shift in the diet of the pelagic thresher shark based on stomach contents and stable isotope analyses. *Marine Biology Research*, 9(10), 958-971.
- Polo-Silva, C., Rendón, L., & Galván-Magaña, F. (2009). Descripción de la dieta de los tiburones zorro (Alopias pelagicus) y (Alopias superciliosus) durante la época lluviosa en aguas ecuatorianas. *PANAMJAS*, *4*(4), 556-571.
- Post, D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, *83*(3), 703-718.
- Post, D. M., Layman, C. A., Arrington, D. A., Takimoto, G., Quattrochi, J., & Montaña, C. G. (2007). Getting to the fat of the matter: Models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*, 152(1), 179-189.
- Preti, A., Smith, S. E., & A. Ramon, D. (2001). Feeding habits of the common thresher shark (Alopias vulpinus) sampled from the california-based drift gill net fishery, 1998-1 999. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 42, 9.
- Quezada-Romegialli, C., Jackson, A. L., Hayden, B., Kahilainen, K. K., Lopes, C.,
 & Harrod, C. (2018). TRophicPosition, an r package for the Bayesian estimation of trophic position from consumer stable isotope ratios. *Methods in Ecology and Evolution*, *9*(6), 1592-1599.
- Rau, G. H., Tetssie, J. L., Rassoulzadegan, F., & Fowler, S. W. (1990). 13C/12C
 and 15N/14N variations among size fractionated marine particles:
 Implications for their origin and trophic relationship. 59, 33-38.

- Rigby, C. L., Barreto, R., Carlson, J., Fernando, D., Fordham, S., Francis, M. P., Herman, K., Jabado, R. W., Liu, K. M., Winker, H., Marshal, A., Pacoureau, N., Romanov, E., & Sherley, R. B. (2019). *Alopias spp. The IUCN Red List* of Threatened Species 2019.
- Roden, G. I. (1954). Oceanographic aspects of the Gulf of California, Mem. 3, 20-38.
- Román Reyes, J. C. (2005). Análisis del contenido estomacal y la razón de isótopos estables de carbono (13C) y nitrógeno (15N) 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.
- Semmens, B. X., & Moore, J. W. (2008). *MixSIR: A Bayesian stable isotope mixing model. Version 1.0.*
- Teo, S. L. H., Rodriguez, E. G., & Sosa-Nishizaki, O. (2018). Status of common thresher sharks, Alopias vulpinus, along the west coast of North America: Updated stock assessment based on alternative life history [PDF].
- Tsai, W.-P., Liu, K.-M., & Joung, S. (2010). Demographic analysis of the pelagic thresher shark, Alopias pelagicus, in the north-western Pacific using a stochastic stage-based model. *Marine and Freshwater Research*, *61*, 1056-
- Vander-Zanden, M. J., & Rasmussen, J. B. (1999). Primary Consumer δ 13C and δ 15N and the Trophic Position of Aquatic Consumers. *Ecology*, *80*(4), 1395-1404.
- Weigmann, S. (2016). Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *Journal of Fish Biology*, *88*(3), 837-1037.
- White, W. T. (2007). Biological observations on lamnoid sharks (Lamniformes) caught by fisheries in eastern Indonesia | Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom | Cambridge Core. https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-the-marine-biologicalassociation-of-the-united-kingdom/article/abs/biological-observations-onlamnoid-sharks-lamniformes-caught-by-fisheries-in-eastern-

Wooton, R. J. (1990). Ecology of teleost fishes. 404 pp.