

Métricas alimentarias de dos condriictios meso-bentónicos en aguas de Chile central

Food metric of two meso-benthic chondrichthyans in waters of central Chile

Carlos Canales-Cerro¹, Naití A. Morales², Francisco J. Concha^{3,4}, Francisco Fernandoy¹, Sebastian Hernández^{5,6}, Roberto Meléndez† y Sebastian A. Klarian^{1,3*}

¹Centro de Investigación Marina Quintay CIMARQ, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andres Bello, Quillota # 980, Viña del Mar, Chile

²Center for Ecology and Sustainable Management of Oceanic Islands (ESMOI), Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Larrondo #1281, Universidad Católica del Norte, Chile

³Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, CT 06269-3043, USA

⁴Laboratorio de Biología y Conservación de Condriictios, Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso, Av. Borgoño 16344, Viña del Mar, Chile

⁵Sala de Colecciones Biológicas, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo #1281, Coquimbo, Chile

⁶Biomolecular Laboratory, Center for International Programs, Universidad Veritas, Avenida 20, calle 31, San José, Costa Rica

† Fallecido

*Autor de correspondencia: sebastian.klarian@unab.cl

Abstract. - Little has been studied of the food metrics of most chondrichthyans, which provide baseline information for the assessment of fishing status to guide the development of ecosystem-based management plans. Therefore, the main goal of this study was to approach the isotopic niche of *Dipturus chilensis* and *Callorhynchus callorhynchus* in Valparaíso (central Chile). The main findings showed that *C. callorhynchus* presented a narrow ellipse ($E= 0.79$; $RC= 4.14$; $\theta= 1.39$), meanwhile *D. chilensis*, presented an ellipse with greater extension ($E= 0.95$; $RC= 8,23$; $\theta= -0.11$), therefore a wide isotopic niche.

Key words: Isotopic niche, stable isotopes, food webs, ecosystem-based fisheries management

INTRODUCCIÓN

En aguas de la zona central de Chile se encuentran dos especies de condriictios de alto valor comercial: el pejegallo *Callorhynchus callorhynchus* (Linnaeus, 1758) y la raya volantín *Dipturus chilensis* (Guichenot, 1848). Capturadas en su mayoría por pesca artesanal, estas especies también son parte frecuente del “bycatch” en la pesquería de la merluza común *Merluccius gayi* (Alarcón *et al.* 2011, Aldea 2012). Estos peces son considerados como depredadores oportunistas meso-bentónicos de fondos blandos (Reyes & Hüne 2012, Bustamante *et al.* 2014), alimentándose preferentemente de invertebrados y, en menor medida, de peces pequeños (Di Giacomo & Perier 1996, Alarcón *et al.* 2011, Aldea 2012). De hecho, los elasmobranquios, tienen un rol fundamental en todos

los ecosistemas que integran, ya que son considerados como mediadores de la salud ecosistémica (Bruno & O’Connor 2005). Sin embargo, poco se ha estudiado de sus métricas alimentarias (Albo-Puigserver *et al.* 2015), que entregan información basal para la evaluación del estatus pesquero y sirven para guiar el desarrollo de planes de manejo basados en el ecosistema (Ferretti *et al.* 2010, Churchill *et al.* 2015, Espinoza *et al.* 2015, Essington *et al.* 2015).

Las métricas tróficas conjugan aspectos bióticos y abióticos necesarios para que una especie exista en un lugar y tiempo determinado, como por ejemplo la amplitud de nicho y el área estándar de la elipse (Layman *et al.* 2007). Hutchinson (1957), define el nicho de una especie como un hipervolumen, con n factores ambientales como

dimensiones en el hipervolumen, importantes para la supervivencia y reproducción de la especie. Estudiar todos aquellos factores al mismo tiempo resulta extremadamente complejo, por lo que una aproximación válida es realizar evaluaciones de subáreas dentro de este hipervolumen. Una de ellas es el nicho trófico, que contempla la diversidad de las presas o fuentes alimentarias (Reid *et al.* 2016, Yeakel *et al.* 2016). Los isótopos estables son una herramienta útil para cuantificar fuentes alimentarias, como también evaluar los procesos biológicos de los depredadores. De esta forma, Yeakel *et al.* (2016) define a un nicho isotópico como una simplificación a la definición de Hutchinson (1957), donde las n -dimensiones son determinadas por el número de isótopos utilizados, donde además se pueden incorporar los factores ambientales que influyen en el flujo de elementos a través del ecosistema. Por lo tanto, este tipo de aproximación —interacciones depredador-presa— será equivalente al nicho trófico (Bearhop *et al.* 2004, Newsome *et al.* 2007). De esta forma, el objetivo principal de este trabajo fue realizar una aproximación al nicho isotópico de la raya volantín y el pejegallo en Chile central por medio de algunas métricas alimentarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 33 ejemplares de pejegallo (63,2 cm \pm 1,47 longitud total; promedio \pm desviación estándar) y 32 de raya volantín (88,6 cm \pm 0,43), fueron capturados a bordo de embarcaciones artesanales. Las capturas se realizaron durante la primavera y el verano de 2011 frente a las costas Valparaíso (Chile central). Además, se tomaron muestras de fauna acompañante y oferta ambiental (*e.g.*, langostinos, cangrejos, entre otras), para comparar distintos valores de $\delta^{13}\text{C}$ y con ello inferir una preferencia de hábitat. Se extrajo una muestra de tejido muscular de todas las rayas y pejegallos, las que fueron congeladas a -80°C para luego extraer el contenido de urea y lípidos (Hussey *et al.* 2010) en una solución de cloroformo:metanol (2:1 v/v) (Bligh & Dyer 1959). Las muestras de los demás taxa fueron lavadas con abundante agua Mili-Q. Todas las muestras fueron secadas a una temperatura de 55°C entre 18 y 24 h, dependiendo de su humedad, reducidas a un peso de entre 400 y 600 μg en cápsulas de estaño y finalmente almacenadas en contenedores al vacío para

evitar su rehidratación. La composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los depredadores, fauna acompañante y oferta ambiental, se midió en un Analizador Elemental acoplado a un espectrómetro de masa de flujo continuo “nu instruments”. La relación de isótopos estables fue reportada en notación de δ según la siguiente ecuación:

$$\delta^{13}\text{C} \text{ o } \delta^{15}\text{N} = \left[\left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

Dónde, R es $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente. Fueron usados los estándares Pee Dee Belemnite para $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno atmosférico para $\delta^{15}\text{N}$, en donde la precisión de los análisis fue menor a 0,2‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

Las métricas se analizaron a través de la amplitud y uniformidad del nicho isotópico. Para obtener una mejor resolución del hábitat se ocuparon los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la fauna acompañante y oferta ambiental como un bioindicador (Cherel & Hobson 2007, Reid *et al.* 2016). El cálculo de las métricas como el área total de la elipse (TA), el rango de $\delta^{13}\text{C}$ (RC) - $\delta^{15}\text{N}$ (RN), el área estándar corregida de la elipse estándar (SEAc), excentricidad del polígono (E) y el ángulo mayor de SEAc (θ) fue hecho a través del paquete “siber” (Layman *et al.* 2007, Jackson *et al.* 2011). Finalmente, para detectar diferencias entre los depredadores se utilizó un análisis de PERMANOVA (Quinn & Keough 2002). Todos los análisis estadísticos fueron realizados a través del software de libre disposición R (R Development Core Team 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y de $\delta^{15}\text{N}$ del pejegallo, raya volantín y la oferta ambiental (bioindicadores de hábitat) se resumen en la Tabla 1. De esta tabla se desprende que los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ para pejegallo y raya volantín fueron de $-14,77 \pm 1,05$ y $-12,15 \pm 2,31$, respectivamente. De acuerdo con estos valores, se infirió que los pejegallos de la bahía de Valparaíso hicieron uso reducido de ambientes bentopelágicos en comparación con los ejemplares de raya volantín, que exhibieron distintos usos de hábitats de la bahía (Fig. 1) (PERMANOVA $F=34,15$, $P=0,001$). El análisis de los polígonos mostró que ambos depredadores tuvieron un tamaño similar de

Tabla 1. Resumen de la estadística descriptiva de la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la oferta ambiental y depredadores provenientes de la bahía de Valparaíso, Chile / Summary statistics of the isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ on environmental offer and predators from the Valparaíso Bay, Chile

Grupo	Especie	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		n
		μ	D.S	μ	D.S	
Oferta ambiental / Fauna acompañante	<i>Pleuroncodes monodon</i>	-15,52	0,12	17,56	1,23	4
	<i>Betaeus emarginatus</i>	-13,13	-	16,89	-	1
	<i>Cancer setosus</i>	-14,84	0,99	19,78	0,86	3
	<i>Homalaspis plana</i>	-13,95	1,24	18,24	0,51	4
	<i>Petrolisthes granulatus</i>	-15,09	0,54	14,25	1,22	3
	<i>Petrolisthes violaceus</i>	-14,89	0,56	14,36	1,72	3
	<i>Petrolisthes laevigatus</i>	-13,95	0,77	14,64	1,18	3
	<i>Hypsoblennius sordidus</i>	-13,09	0,63	18,06	0,24	5
	<i>Helcogrammoides chilensis</i>	-12,81	2,26	17,47	0,36	5
	<i>Scartichthys viridis</i>	-11,10	0,76	16,08	0,37	4
	<i>Prolatilus jugularis</i>	-15,35	0,36	17,44	0,78	2
	Depredadores	<i>Callorhynchus callorhynchus</i>	-14,77	1,05	18,51	1,61
<i>Dipturus chilensis</i>		-12,15	2,31	18,13	0,74	32
					Total	102

μ = media, D.S= desviación estándar

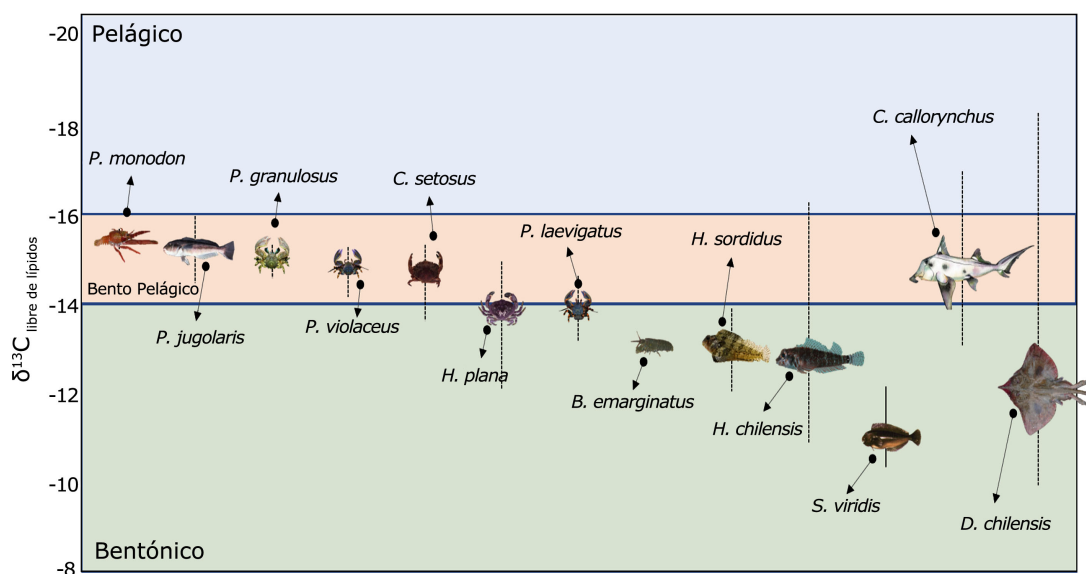


Figura 1. Representación gráfica del hábitat hipotético en base a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del pejegallo, la raya volantín y la oferta ambiental en la bahía de Valparaíso, Chile. Líneas punteadas corresponden a la desviación estándar / Graphic representation of the hypothetical habitat based on the values of $\delta^{13}\text{C}$ of the plownose chimaera, the yellownose skate and the environmental offer in the Valparaíso Bay, Chile. Dotted lines correspond to the standard deviation

TA y SEAc. El pejegallo presentó un TA de 17,47 y un SEAc de 5,49, mientras que la raya volantín presentó un TA de 15,33 y un SEAc de 5,38. Según el análisis de superposición de nichos isotópicos, el área de SEAc compartida entre los depredadores fue de 0,53, lo que representa un 9,62% y un 9,81% del SEAc del pejegallo y raya volantín, respectivamente, lo que sugiere que estas dos especies presentan una baja superposición de nicho ($P \sim 0,51$) (Fig. 2). Las métricas alimentarias determinaron que el pejegallo presentó una elipse estrecha ($E= 0,79$) influenciada en menor medida por el $\delta^{13}C$ ($\theta= 1,39$), que corresponde a una amplitud menor del uso de hábitat ($RC= 4,14$), aunque con una mayor extensión en el uso de sus posibles presas ($RN= 6,54$). En el nicho isotópico de la raya volantín se detectó una elipse con mayor extensión ($E= 0,95$), con un notorio dominio de los valores de $\delta^{13}C$ ($\theta= -0,11$). Esta influencia del carbono en la raya volantín da cuenta de una utilización amplia del hábitat ($RC= 8,23$), pero no así de la diversidad de posibles presas ($RN= 3,26$).

Las métricas alimentarias representan una medida confiable del nicho isotópico que es utilizado por un individuo y, por lo tanto, un indicador de la diversidad trófica (Jackson *et al.* 2011). La probabilidad de superposición de nicho trófico (TA y SEAc) no fue lo suficientemente alta como para indicar un solapamiento significativo entre las especies de condriictios en la bahía

de Valparaíso. Esto podría explicarse por las características del uso de hábitat (RC) y las potenciales diferencias en el consumo de las presas (RN). Por ejemplo, RN provee información de la longitud trófica de los individuos, mientras que RC entrega una estimación de la diversidad de las fuentes alimentarias (Jackson *et al.* 2011). De esta forma, nuestros resultados evidenciaron que hay un uso diferenciado del hábitat por parte de *C. callorynchus* y *D. chilensis* en la bahía de Valparaíso. Se interpreta, que esto se debe a que la raya volantín mostró una capacidad de desplazamiento mayor que los pejegallos, puesto que su rango de RC fue mayor. Por ejemplo, Simpson *et al.* (2019) describen patrones de desplazamiento desde áreas costeras a profundas a través de la historia de vida de cuatro especies de rayas simpátricas. Por lo tanto, según los resultados obtenidos, la capacidad de desplazamiento de la raya volantín en la Bahía de Valparaíso puede ser desde zonas de baja profundidad hacia hábitats más profundos. De hecho, esta hipótesis se sustenta en el paradigma propuesto por Domí *et al.* (2005) quienes muestran una relación positiva entre la tasa de desplazamiento y el RC. Los resultados obtenidos coinciden con los de Grubbs *et al.* (2016), quienes propusieron que la baja sobreposición trófica de los depredadores atenúa el efecto negativo de una potencial disrupción o perturbación en la cascada trófica. Pues bien, las evidencias que se encontraron en este estudio sugieren el particionamiento trófico y el uso diferenciado de hábitat entre la raya volantín y el pejegallo.

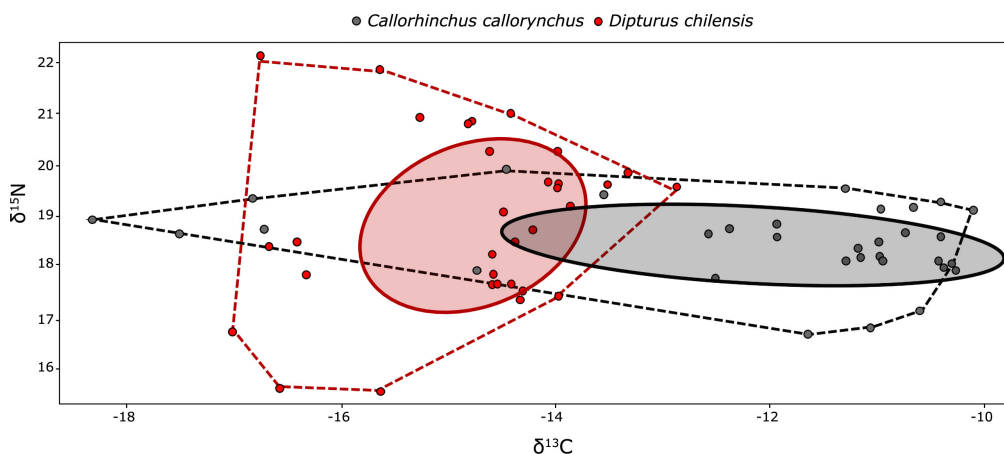


Figura 2. Análisis bayesiano de las elipses a través de isótopos estables (SIBER, por sus siglas en inglés) en líneas sólidas (SEAc) y en líneas punteadas el análisis del polígono (TA) para el pejegallo y la raya volantín en la bahía de Valparaíso, Chile / Solid lines are the (SEAc) stable isotope Bayesian ellipses analysis (SIBER). Dot lines are Convex-hull analysis (TA) for the plownose chimaera and the yellownose skate in the Valparaíso Bay, Chile

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sentido pésame a la familia del Profesor Julio Lamilla. Este trabajo es una humilde expresión de gratitud hacia su persona. Esta investigación fue financiada por el proyecto: UNAB DI-06-11/I “Efectos pesqueros en tiburones de Chile central”.

LITERATURA CITADA

- Alarcón C, LA Cubillos & E Acuña. 2011.** Length-based growth, maturity and natural mortality of the cockfish *Callorhynchus callorhynchus* (Linnaeus, 1758) off Coquimbo, Chile. *Environmental Biology of Fishes* 92: 65-78.
- Albo-Puigserver M, J Navarro, M Coll, J Aguzzi, L Cardona & R Sáez-Liante. 2015.** Feeding ecology and trophic position of three sympatric demersal chondrichthyans in the northwestern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 524: 255-268.
- Aldea C. 2012.** Guía representativa de la biodiversidad de los fondos marinos de Magallanes, 229 pp. Ediciones Fundación CEQUA, Punta Arenas.
- Bearhop S, CE Adams, S Waldron, RA Fuller & H Macleodj. 2004.** Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology* 73: 1007-1012.
- Bligh E & WJ Dyer. 1959.** A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 37: 911-917.
- Bruno JF & MI O'Connor. 2005.** Cascading effects of predator diversity and omnivory in a marine food web. *Ecology Letters* 8: 1048-1056.
- Bustamante C, C Vargas-Caro & MB Bennett. 2014.** Not all fish are equal: functional biodiversity of cartilaginous fishes (Elasmobranchii and Holocephali) in Chile. *Journal of Fish Biology* 85: 1617-1633.
- Cherel Y & KA Hobson. 2007.** Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: A tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 329: 281-287.
- Churchill DA, MR Heithaus, JJ Vaudo, RD Grubbs, K Gastrich & JI Castro. 2015.** Trophic interactions of common elasmobranchs in deep-sea communities of the Gulf of Mexico revealed through stable isotope and stomach content analysis. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 115: 92-102.
- Di Giacomo EE & MR Perier. 1996.** Feeding habits of cockfish, *Callorhynchus callorhynchus* (Holocephali: Callorhynchidae), in Patagonian waters (Argentina). *Marine and Freshwater Research* 47: 801-808.
- Domi N, JM Bouquegneau & K Das. 2005.** Feeding ecology of five commercial shark species of the Celtic Sea through stable isotope and trace metal analysis. *Marine Environmental Research* 60: 551-569.
- Espinoza M, SEM Munroe, TM Clarke, AT Fisk & IS Wehrmann. 2015.** Feeding ecology of common demersal elasmobranch species in the Pacific coast of Costa Rica inferred from stable isotope and stomach content analyses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 470: 12-25.
- Essington TE, PE Moriarty, HE Froehlich, EE Hodgson, LE Koehn, KL Oken, MC Siple & CC Stawitz. 2015.** Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 6648-6652.
- Ferretti F, B Worm, GL Britten, MR Heithaus & HK Lotze. 2010.** Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters* 13: 1055-1071.
- Grubbs RD, JK Carlson, JG Romine, TH Curtis, WD McElroy CT McCandless, CF Cotton & JA Musick. 2016.** Critical assessment and ramifications of a purported marine trophic cascade. *Scientific Reports* 6(20970). <doi: 10.1038/srep20970>
- Hussey NE, MA MacNeil & AT Fisk. 2010.** The requirement for accurate diet-tissue discrimination factors for interpreting stable isotopes in sharks. *Hydrobiologia* 654: 1-5.
- Hutchinson GE. 1957.** Concluding remarks. In: Cold spring harbor symposium on quantitative biology, pp. 415-427. Cold Spring Harbor, New York.
- Jackson AL, R Inger, AC Parnell & S Bearhop. 2011.** Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses R. *Journal of Animal Ecology* 80: 595-602.
- Layman CA, DA Arrington, CG Montaña & DM Post. 2007.** Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology* 88: 42-48.
- Newsome S, C Martinez del Rio, S Bearhor & DL Phillips. 2007.** A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 429-436.
- Quinn GP & MJ Keough. 2002.** Experimental design and data analysis for biologists, 553 pp. Cambridge University Press, New York.
- R Development Core Team. 2018.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <<https://www.R-project.org>>
- Reid W, C Sweeting, B Wigham, R McGill & N Polunin. 2016.** Isotopic niche variability in macroconsumers of the East Scotia Ridge (Southern Ocean) hydrothermal vents: What more can we learn from an ellipse? *Marine Ecology Progress Series* 542: 13-24.
- Reyes P & M Hüne. 2012.** Peces del sur de Chile, 500 pp. Ocho Libros Editores, Santiago.

Simpson SJ, WD Sims & CN Trueman. 2019. Ontogenetic trends in resource partitioning and trophic geography of sympatric skates (Rajidae) inferred from stable isotope composition across eye lenses. *Marine Ecology Progress Series* 624: 103-106.

Yeakel JD, U Bhat, EA Elliott-Smith & SD Newsome. 2016. Exploring the isotopic niche: Isotopic variance, physiological incorporation, and the temporal dynamics of foraging. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 1-16.

Editor: Francisco Concha

Recibido el 25 de noviembre de 2019

Acceptado el 20 de agosto de 2020