



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ECOLOGÍA TRÓFICA DEL DORADO
(Coryphaena hippurus) DE LA COSTA DE
JALISCO, MÉXICO, A PARTIR DEL ANÁLISIS DE
ISÓTOPOS ESTABLES Y CONTENIDO
ESTOMACAL

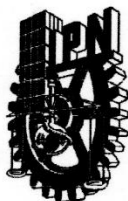
TESIS

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

PRESENTA

SERGIO ALEJANDRO BRIONES HERNÁNDEZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DEL 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 13 del mes de Noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL DORADO (*Coryphaena hippurus*) DE LA COSTA DE JALISCO, MÉXICO,
A PARTIR DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES Y CONTENIDO ESTOMACAL"

Presentada por el alumno:

BRIONES

Apellido paterno

HERNÁNDEZ

materno

SERGIO ALEJANDRO

nombre(s)

Con registro:

A	1	6	0	9	3	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
Director de Tesis

DR. VÍCTOR HUGO GALVÁN PIÑA
2º. Director de Tesis

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes de Noviembre del año 2017

El (la) que suscribe BM. SERGIO ALEJANDRO BRIONES HERNÁNDEZ Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A160931 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA Y DR. VÍCTOR HUGO GALVÁN PIÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL DORADO (*Coryphaena hippurus*) DE LA COSTA DE JALISCO, MÉXICO,

A PARTIR DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES Y CONTENIDO ESTOMACAL"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la

siguiente dirección: sbriones10@gmail.com - galvan.felipe@gmail.com - vhgarpina@gmail.com

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

Sergio Briones

BM. SERGIO ALEJANDRO BRIONES HERNÁNDEZ

Nombre y firma del alumno

Dedicatoria

A mis padres por ser mi mejor ejemplo en la vida, por ser mis primeros maestros quienes me han enseñado a luchar contra todo para lograr mis metas.

Al rock n' roll por estar presente en cada momento...

S.D.M.F.

Agradecimientos

En primer lugar me quiero agradecer a mi familia porque sin ellos jamás habría llegado a donde estoy ahora, por su apoyo incondicional, más que nada por dejarme vivir mi vida y tomar mis decisiones aun cuando no crean que sean las mejores.

A mi director de tesis el Dr. Felipe Galván Magaña a quien debo mi más grande agradecimiento por ser mi guía en el mundo académico. Sobre todas las cosas por haber creído en las ganas de trabajar de un joven de 19 años que llegó a su laboratorio buscando una oportunidad de entrar al mundo de los tiburones. Por ser una gran persona y amigo, ojalá el mundo estuviera lleno de gente tan valiosa como usted, y a usted le dedico la frase famosa de Isaac Newton “Si he logrado ver lejos es porque he subido a hombros de gigantes”.

A mi codirector Dr. Víctor Hugo Galván Piña por todo el apoyo brindado para iniciar el Proyecto Tiburones y Rayas de la costa de Jalisco, un excelente amigo y por gran cantidad de historias divertidas, viajes y congresos.

A mi comité de tesis Dr. Fernando Elorriaga, Dr. Alberto Sánchez y Dr. Agustín Hernández por estar siempre al pendiente del desarrollo de este trabajo y su invaluable consejo.

A CICIMAR y su personal administrativo por todo el apoyo para estancias y congresos, porque pasé la mitad de la maestría dando vueltas por los pasillos preguntando mil veces sobre el mismo trámite que al salir por la puerta de cada una de sus oficinas ya había olvidado lo que me dijeron y con gusto me volvieron a explicar.

A CONACYT, creo que es claro lo que debo agradecer a esta institución, por alimentarme durante dos años

Al IPN ya que mediante su beca BEIFI pude pagar mis deudas generadas durante el semestre.

A la Universidad de Guadalajara por ser un invaluable apoyo económico en el desarrollo de mi estancia de investigación durante el posgrado.

Al M. en C. Bernabé Aguilar Palomino por todo el apoyo y consejo brindado tanto en universidad como en maestría, por ser una pieza clave en el desarrollo del Proyecto Tiburones y Rayas de la costa de Jalisco, las horas invertidas en los muestreos, las fiestas ¡y lo que venga!

Special thanks to PhD. Brittany Graham for believing and accepting me for my research stay at NIWA and discover the power of the compound specific stable isotope analysis. And also but not less important for giving me the opportunity of travelling to one of the most unbelievable countries in the world!

Y dado a que esta tesis se ha estado desarrollando desde 2013 la lista de gente que estuvo presente en ella es larga. Principalmente quiero agradecer a todos y cada uno de los que participaron en la creación del Proyecto de Tiburones y Rayas de la costa de Jalisco allá en Melaque, desde los que pasamos horas acomodando los congeladores a los que en una ocasión nos acompañaron a muestrear, ¡gracias totales a cada uno de los que se ensuciaron las manos!

A toda la bandera de Melaque, porque vaya que fue una buena vida!

A Elena Tamburin primero que nada por ser excelente amiga, por estar ahí cada vez que la necesité, ya sea para hablar o rescatarme de una resaca mortal... No hay mal que una doble canala y una orden de almejas no curen. Y además por ayudarme a adentrarme en este mundo de la isotopología.

A Gina, mi roomie por gran parte de la maestría, porque a pesar de conocerme poco me permitiste entrar en tu casa y soportaste todos mis desastres una y otra vez, no tienes idea de cómo agradezco todas las veces que me escuchaste hablar, aunque muchas veces solo dijeras “ay gordo ¿qué vamos a hacer contigo?”. Por demostrar ser una valiosa amiga. For if the flies!

A Andrés y Christian por todas las buenas pláticas y cervezas en los mejores momentos.

A Fabián y Hanny compañeros de cubículo, porque la séptima temporada d GoT no hubiera sido lo mismo sin su TV, por su valiosa amistad y consejo, la carrilla y compañeros de deudas, porque creen en mí y me impulsan a seguir.

A Ney, por ser una de las personas que más quiero en este mundo incluyendo a la bendición. Por tu apoyo y amistad.

A José Miguel Rangel, porque aunque no lo sepas fuiste clave en los logros que he tenido porque un acto tan sencillo como darme un lugar donde dormir por tres semanas derivó en la oportunidad de desarrollarme profesionalmente. ¿Quién?

A Francisco Córdova, mejor conocido en México como “el frijol” por permitirme la oportunidad de trabajar con él, por la oportunidad de impartir un curso pre congreso y por creer en mí.

A Pablo y Diego, por un buen viaje durante mi primera aventura fuera del país, interminables risas y por ser mis amistades “sanas”, gracias por estar ahí durante estos dos años.

Al Proyecto Tiburones y Rayas del CICIMAR y a todos los que conforman y han conformado al Galvan Team!

A Yassir Torres y Ana Hachoen por ser las primeras personas que me hablaron de isótopos en la vida y que lo hicieron tan bien que decidí dedicarme a ello.

A los compañeros del equipo de futbol CICIBAR por invitarme a jugar y darme esa hermosa oportunidad de lesionarme la rodilla de nuevo!

A la palomilla de la generación 2016 – 2017 por todos los buenos momentos y sobre todo las buenas fiestas, nadie nos ganó...

Quiero agradecer a Stitch, que aunque tú no lo sepas me salvaste la vida, como un ángel fugaz, te voy a extrañar!

Pues ya que empezamos la tercera hoja al Parnazo, Clandestino, Mariscos el Pulpo y expendios de la ciudad de La Paz por hacer de mi estancia más llevadera.

¡Gracias totales!

¡Huélum, huélum, gloria
A la cachi cachi porra,
A la cachi cachi porra,
Pim pom porra
Pim pom porra
Politécnico, politécnico
Gloria!

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. OBJETIVOS.....	6
3.1 Objetivo general.....	6
3.2 Objetivos particulares	7
4. ÁREA DE ESTUDIO	7
5. MATERIAL Y MÉTODOS	8
5.1 Trabajo de campo.....	8
5.2 Trabajo de laboratorio.....	9
5.3 Trabajo de gabinete.....	10
6. RESULTADOS	13
6.1 Dieta general de <i>C. hippurus</i>	16
6.2 Dieta entre sexos de <i>C. hippurus</i>	22
6.3 Dieta entre juveniles y adultos de <i>C. hippurus</i>	25
6.4 Dieta de <i>C. hippurus</i> por temporadas	32
7. DISCUSIÓN.....	36
7.1 Dieta entre sexos de <i>C. hippurus</i>	37
7.2 Dieta entre juveniles y adultos de <i>C. hippurus</i>	37
7.3 Dieta de <i>C. hippurus</i> por temporada.....	40
8. CONCLUSIONES	41
9. RECOMENDACIONES.....	42
10. LITERATURA CITADA.....	43

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio localizada en la costa sur de Jalisco, México.	8
Figura 2 Distribución de frecuencias de tallas en cm de <i>C. hippurus</i> analizados.	14
Figura 3. Distribución de frecuencias de tallas en cm de <i>C. hippurus</i> con contenido estomacal.	15
Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas en cm de los <i>C. hippurus</i> utilizados para el análisis de isótopos estables para las temporada fría (a) y cálida (b).	16
Figura 5 Curva acumulativa de la dieta general de <i>C. hippurus</i>	17
Figura 6. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales dentro de la dieta general de <i>C. hippurus</i>	18
Figura 7. Gráfico de isoespacio para <i>C. hippurus</i> para peces, crustáceos y cefalópodos.	22
Figura 8. Curva acumulativa para la dieta de hembras de <i>C. hippurus</i>	23
Figura 9. Curva acumulativa para la dieta de machos de <i>C. hippurus</i>	23
Figura 10. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de <i>C. hippurus</i>	24
Figura 11. Análisis de nicho isotópico SIBER entre sexos de <i>C. hippurus</i>	25
Figura 12. Curva acumulativa para la dieta de juveniles de <i>C. hippurus</i>	26
Figura 13. Curva acumulativa para la dieta de adultos de <i>C. hippurus</i>	26
Figura 14. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para juveniles y adultos de <i>C. hippurus</i>	27
Figura 15. Análisis de nicho isotópico SIBER entre juveniles y adultos de <i>C. hippurus</i>	28
Figura 16. Gráfico de isoespacio para juveniles de <i>C. hippurus</i> , donde Ojotón = <i>S. crumenophthalmus</i> , Argonauta = <i>Argonauta</i> spp., Calamar gigante = <i>D. gigas</i> y Jaiba nadadora = <i>P. xantusii</i>	29
Figura 17. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de <i>C. hippurus</i> a través del modelo de mezcla, donde Ojotón = <i>S. crumenophthalmus</i> , Argonauta = <i>Argonauta</i> spp., Calamar gigante = <i>D. gigas</i> y Jaiba nadadora = <i>P. xantusii</i>	30
Figura 18. Gráfico de isoespacio para juveniles de <i>C. hippurus</i> con Peces, Crustáceos y Cefalópodos como presas.	31
Figura 19. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de <i>C. hippurus</i> a través del modelo de mezcla utilizando como presas: Peces, Cefalópodos y crustáceos.	32
Figura 20. Curva acumulativa para la dieta de <i>C. hippurus</i> durante la temporada fría.	33
Figura 21. Curva acumulativa para la dieta de <i>C. hippurus</i> durante la temporada cálida.	33

Figura 22. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales en la dieta de <i>C. hippurus</i> durante la temporada fría y cálida.	34
Figura 23. Análisis de nicho isotópico SIBER en <i>C. hippurus</i> entre la temporada fría y cálida.	35

Lista de tablas

Tabla 1. Composición de la dieta de <i>C. hippurus</i> por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).	18
Tabla 2. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de <i>C. hippurus</i> por especies. .	30
Tabla 3. Proporción de aporte a la dieta juveniles de <i>C. hippurus</i> por grupos taxonómicos.	31

GLOSARIO

Depredador epipelágico: Que se encuentra en la columna de agua usualmente en mar abierto, y está restringido a la capa superficial por encima de los 200 m de profundidad (Castro & Huber, 2003).

Depredador especialista: Organismo que tiene una dieta restringida a un reducido número de especies (Gerking, 1994).

Depredador generalista: Un organismo con una dieta amplia, conformada por un gran número de especies (Gerking, 1994).

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

Factor de discriminación trófico: es la diferencia existente expresada en partes por mil (‰) entre el valor isotópico de una presa y de su depredador (Post, 2002).

Fraccionamiento isotópico: Proceso diferencial en el comportamiento de los isótopos estables en el cual los isótopos ligeros tienden a reaccionar con mayor facilidad favoreciendo la concentración de los isótopos pesados (Fry, 2006).

Isoterreno: Zona geográfica con distinta señal isotópica desde la base derivada de distintas fuentes de variación isotópica (Graham *et al.*, 2010).

Isótopo: Cada uno de los elemento químicos que poseen el mismo número de protones y distinto número de neutrones (Fry, 2006).

Isótopo estable: Isótopos que no entran en procesos de decaimiento manteniendo una gran energía de enlace evitando que el núcleo sea separado en sus partículas individuales (Fry, 2006).

Nicho isotópico: Área definida dentro del espacio δ con valores isotópicos (valores δ) como coordenadas (Newsome *et al.*, 2007).

Nicho trófico: Concepto que describe la posición trófica y el espectro trófico de los consumidores en las redes tróficas (Chen *et al.*, 2010)

Tasa de recambio isotópico: Periodo correspondiendo al tiempo en el que el isótopo estable está incorporado en el tejido del consumidor y expresa la señal isotópica de un nuevo recurso alimenticio (Rau *et al.*, 1990).

Trófico: Implica los hábitos de alimentación o relaciones alimenticias de diferentes organismos de una cadena o red de alimentos (Gerking, 1994).

RESUMEN

El dorado (*Coryphaena hippurus*) es capturado por la flota artesanal en Jalisco, México, sin embargo, existe poco conocimiento de su biología que apoye medidas de regulación, considerando que es una especie reservada para pesca deportiva dentro de las 50 millas náuticas a partir de la línea costa. Se describe la ecología trófica del dorado a partir del análisis de contenido estomacal y de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$). Durante 2013 se obtuvieron dorados de la flota artesanal en Jalisco y se analizaron 300 estómagos, de los cuales 197 presentaron contenido. El tamaño de los dorados fue entre 22 y 144 cm de longitud furcal (LF). El espectro trófico incluye 60 especies presa, de las cuales de acuerdo al %PSIRI, *Argonauta* spp. (24%), *Portunus xantusii* (11%), *Dosidicus gigas* (7%) y *Selar crumenophthalmus* (7%) fueron las más importantes en la dieta. Se encontraron diferencias en la dieta entre la temporada fría y cálida ($R = 0.043$, $p < 0.05$) y fue mayor el espectro trófico en los adultos con respecto a juveniles, mientras que no hubo diferencias entre sexos. Se realizó el análisis de isótopos estables en 148 muestras de músculo de dorados y en 63 de presas diferentes. En el $\delta^{15}\text{N}$ se registraron valores entre 10.8‰ y 20.5‰ con un promedio de 15.1‰; mientras que el $\delta^{13}\text{C}$ los valores fueron entre -17.7‰ y -14.6‰, con un promedio de -16.2‰. Con el análisis SIBER se encontraron nichos isotópicos similares entre sexos; mientras que por tallas se observó un aumento en el nicho isotópico de los adultos con respecto a los juveniles debido al aumento en número de presas y el desplazamiento migratorio a través de distintos isoterrenos. Las variaciones del nicho isotópico entre temporadas fría y cálida estuvieron más relacionadas a cambios en las señales isotópicas de N y C desde la base de la cadena trófica que a cambios de su dieta. El modelo de mezcla en juveniles indica que *S. crumenophthalmus* fue la presa más importante. Debido a la alta variabilidad isotópica en organismos adultos se propone a la costa de Jalisco como un corredor migratorio entre áreas de alimentación del dorado.

ABSTRACT

The dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) is fished by the artisanal fleet off the coast of Jalisco, Mexico. However there is a lack of knowledge of its biology to support management, considering this species is reserved for sport fishing on the first 50 nautical miles from the shore. We describe the trophic ecology of the dolphinfish inferred from stable isotope analysis of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$), and stomach content analysis. Dolphinfishes were obtained during 2013 from the artisanal fishing fleet of Jalisco. 300 stomachs were analyzed, of which 197 contained food. Dolphinfishes analyzed presented sizes from 22 to 144 cm of fork length (FL); 60 prey taxa were identified of which according to the %PSIRI the *Argonauta* spp. (24%), *Portunus xantusii* (11%), *Dosidicus gigas* (7%), *Selar crumenophthalmus* (7%) where the most important prey species on the diet. Differences in diets between cold and warm seasons were found ($R = 0.043$, $p < 0.05$) and trophic spectrum was bigger for adults than juveniles while no differences were found between sexes. 148 muscle samples from dolphinfish and 63 samples from different preys were used for the stable isotope analysis. $\delta^{15}\text{N}$ values were from 10.8‰ to 20.5‰ with a mean of 15.1‰ while $\delta^{13}\text{C}$ values were from -17.7‰ to -14.6‰ with a mean of -16.2‰. The SIBER analysis showed similar niches between sexes, while the isotopic niche was bigger for adults than juveniles mainly due to the increment on the food sources and migration movements across different isoscapes. The variation of the isotopic niches between cold and warm seasons was more related to shifts in the isotopic baselines of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in the food web than to diet shifts. The mixing model for juveniles showed *S. crumenophthalmus* as the most important prey. Due to the high isotopic variation observed in adults it is suggested that the coast of Jalisco is a migration corridor between feeding grounds for dolphinfish.

1. INTRODUCCIÓN

El dorado (*Coryphaena hippurus*) es un depredador epipelágico migratorio que se distribuye alrededor del mundo, tanto en aguas tropicales como sub tropicales, asociado a una temperatura superficial del mar $>19^{\circ}\text{C}$ (Farrel *et al.*, 2014). El dorado se caracteriza por tener un crecimiento acelerado de 1.43 a 4.71 mm de crecimiento diario, una madurez temprana siendo activo a la reproducción antes de alcanzar el primer año de vida y teniendo un ciclo de vida corto, de aproximadamente dos años (Oxenford, 1999).

En México la especie se encuentra reservada exclusivamente para la pesca deportiva dentro de la franja de las 50 millas náuticas a partir de la línea de costa de acuerdo a la NOM-017-PESC (DOF: 25/11/2013); sin embargo, se captura frecuentemente como pesca incidental en la pesca artesanal (Tripp-Valdéz *et al.*, 2010). La pesca comercial de dorado en Estados Unidos y América Central es altamente redituable. En Hawái se han registrado capturas de 600 toneladas métricas al año y un precio promedio de \$5 USD/Kg con un rango entre \$1 y \$20 USD/Kg (Kraul, 1999). En América Central se pesca alrededor del istmo de Panamá desde Costa Rica a Ecuador donde su pesca genera ingresos alrededor de 29 millones de dólares al año (Scott, 1992). El potencial altamente migratorio del dorado hace que en ocasiones un mismo stock sea explotado por distintos países (Lasso y Zapata, 1999); dado a que las medidas de manejo no siempre son compartidas entre naciones la especie podría ser susceptible a sufrir los efectos de la sobrepesca.

La información existente para el manejo de los ecosistemas pelágicos en el Océano Pacífico Oriental Tropical es escasa (Olson y Galván-Magaña 2002). En este sentido, es importante conocer el papel que el dorado tiene como depredador en el ecosistema y su uso de hábitat en el Pacífico Central Mexicano, particularmente en las costas de Jalisco.

En la actualidad se ha propuesto un manejo de pesquerías basado en el conocimiento del ecosistema, considerando las interacciones de las especies que determinan la dinámica de los ecosistemas (Botsford *et al.* 1997). Los depredadores tope tienen un papel importante en los ecosistemas pelágicos; la remoción de estos

componentes debido a la pesquería comercial produce un desequilibrio de tipo “top-down” por falta de presión por depredación, pudiendo desencadenar un efecto de cascada trófica (Estes *et al.* 1998; Verheye *et al.* 1998).

Para entender como los procesos de tipo “top-down” controlan la dinámica de las poblaciones, es necesario conocer las interacciones entre los depredadores y sus presas.

El estudio de los hábitos alimenticios por medio del análisis de contenido estomacal es una técnica efectiva que permite observar de manera directa las presas que componen el espectro trófico de la especie estudiada; sin embargo, este tipo de análisis tiene sus limitaciones. Las estructuras duras de los organismos (p.e. picos de calamar, esqueletos de peces, etc.) prevalecen en los estómagos, lo que pudiera causar una sobre estimación de estos grupos o una subestimación de otras fuentes de alimento más blando que es digerido rápidamente. En ocasiones el alto grado de digestión de las presas dificulta su identificación precisa; además esta técnica provee información del alimento consumido recientemente y se ve limitada para describir flujos de energía a largo plazo (Young *et al.*, 2015).

El uso de técnicas alternativas para el estudio de la alimentación de peces ha sido más frecuente durante los últimos 20 años. Una de las más reconocidas es el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, el cual se ha constituido como una herramienta eficiente en el estudio de las redes alimentarias y flujos de energía en los ecosistemas acuáticos (Vander-Zanden 2001).

El uso de isótopos estables permite una medición continua del nivel trófico ya que integra el flujo de energía de diferentes vías tróficas a un solo organismo, por lo que permite describir interacciones complejas como omnivoría y oportunismo en las comunidades ecológicas. Los estudios con isótopos estables describen la dieta asimilada, dentro de un proceso en el que el depredador queda enriquecido con el isótopo pesado (p.e ^{15}N) respecto a su presa y excreta preferencialmente el isótopo ligero (p.e. ^{14}N) a partir de procesos metabólicos, este proceso recibe el nombre de fraccionamiento isotópico (Post, 2002).

Para el estudio de la ecología trófica se suele utilizar el $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. El isótopo estable de carbono representa la señal de los productores primarios en la base de la red trófica.

Estas señales isotópicas de carbono tienen variaciones en el océano que están asociadas a diferentes fenómenos, tales como la geometría del fitoplancton o su tasa de crecimiento (Popp *et al.*, 1998). Valores de carbono elevados se asocian a tasas elevadas de crecimiento (ambientes costeros y zonas de surgencia), mientras que valores más bajos se relacionan con bajas tasas de crecimiento (zonas oceánicas estratificadas).

Existe también una variación latitudinal o gradiente en las señales de $\delta^{13}\text{C}$ en los productores primarios, presentando valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ en latitudes altas en comparación a latitudes menores, debido principalmente al aumento de la solubilidad del CO_2 con el descenso de la temperatura del agua en latitudes mayores, donde el proceso de fraccionamiento isotópico provoca que el CO_2 tienda a tener valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ (Trull y Armand, 2001); sin embargo procesos de productividad y tasas elevadas de crecimiento del fitoplancton asociados a frentes oceánicos podrían elevar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Kukert y Riebesell, 1998). Todas estas variaciones pueden ser detectadas a través de la cadena trófica hasta los depredadores tope lo que permite identificar áreas de alimentación (Cherel y Hobson, 2007).

El isótopo estable de nitrógeno en los productores primarios refleja la señal de $\delta^{15}\text{N}$ en sus fuentes de nutrientes (p.e. NO_3^- , NH_4^+). La fuente principal de nitrógeno que sostiene la mayoría de la producción primaria es el nitrato, el cual presenta valores de $\delta^{15}\text{N}$ de entre 5 y 7‰; sin embargo, la fijación de N_2 por cianobacterias tiene un efecto importante en las abundancias naturales de ^{15}N , ya que presenta valores cercanos a 0‰. En zonas de alta productividad las aguas por debajo de la zona fótica se vuelven anóxicas y debido al proceso de desnitrificación mediante el cual las bacterias toman el oxígeno del nitrato para respirar, se forma una fuente de nitrato altamente enriquecido en ^{15}N (Montoya, 2007).

El isótopo de nitrógeno se usa normalmente para conocer el nivel trófico y amplitud de la dieta del depredador (Fry, 2006). Las variaciones en sus valores en la base de la red trófica permiten que existan zonas geográficas con señales isotópicas particulares denominadas “isoterrenos”, a partir de los cuales es posible identificar movimientos migratorios de organismos marinos (Graham *et al.*, 2010; Lorrain *et al.*, 2015).

2. ANTECEDENTES

El dorado es una especie que es explotada a lo largo de su distribución, debido a su alto valor comercial en el rubro del consumo humano. Es precisamente esta importancia la que ha derivado en una extensa investigación científica sobre su biología y ecología.

Para el estudio del dorado se han abordado temas como edad y crecimiento, describiendo crecimiento acelerado (Chang y Maunder, 2012; Furukawa *et al.*, 2012; Gatt *et al.*, 2015), aspectos reproductivos encontrando una reproducción temprana y desoves a lo largo del año (Beardsley, 1967; Schwenke y Buckel, 2008; Dos Santos *et al.*, 2012), dinámica poblacional y pesquerías describiendo la estacionalidad de las cohortes capturadas (Campos *et al.*, 1993; Arocha *et al.*, 1999; Kraul, 1999), contaminantes (Kojadinovic *et al.*, 2007; Ahmed y Benzer, 2015; Araújo y Cedeño-Macías, 2016), genética poblacional con poca diferenciación genética a lo largo de su distribución (Pla y Pujolar, 1999; Caetano *et al.*, 2012; Merten *et al.*, 2015), uso de hábitat, con tendencia a encontrarse por encima de la termoclina (Furukawa *et al.*, 2014; Merten *et al.*, 2014a) y movimientos migratorios a lo largo del golfo de México con desplazamientos superiores a los 1900 km. (Farrel *et al.*, 2014; Merten *et al.*, 2014b).

Dentro de los primeros trabajos con enfoque en el dorado, se tiene el de Gibbs y Collette (1959), quienes describieron su distribución geográfica, así como sus movimientos migratorios con base en las capturas del Golfo de México. Asimismo, estos autores presentan una descripción de los hábitos alimenticios a partir de 46 estómagos analizados, reportando que estos se alimentan principalmente de peces, como carángidos y otros perciformes.

Con respecto a los hábitos alimenticios del dorado, su estudio ha sido amplio alrededor del mundo, encontrando que es un depredador altamente oportunista que se alimenta principalmente de peces epipelágicos de las familias, Scombridae, Exocoetidae, Carangidae, Balistidae y Monacanthidae entre otros (Rose y Hassler, 1974; Oxenford y Hunte, 1999). Asimismo, se alimenta también de cefalópodos y crustáceos (Young *et al.*, 2010; Rajesh *et al.*, 2016). Los dorados de tallas más pequeñas tienden a alimentarse en mayor proporción de peces y crustáceos; mientras

que los de tallas mayores permanecen consumiendo peces, pero aumentan su ingesta de cefalópodos (Massutí *et al.*, 1998; Varghese *et al.*, 2013; Brewton *et al.*, 2016). Sin embargo, independientemente de la talla, consumen las presas que se encuentren en mayor abundancia. Se ha reportado en el mar caribe un alto consumo de misidáceos durante el invierno disminuyendo su importancia en la dieta en las estaciones posteriores (Oxenford y Hunte, 1999), por otro lado en el Pacífico Colombiano durante el mes de febrero se consumen una mayor cantidad de cefalópodos mientras que durante mayo los crustáceos forman parte importante de la dieta (Lasso y Zapata, 1999); además, el dorado se caracteriza por cambiar de presas en su dieta en relación a su área de distribución (Olson y Galván-Magaña, 2002).

En el Pacífico Mexicano esta especie fue estudiada en el Golfo de California por Aguilar-Palomino *et al.* (1998), quienes realizaron el primer estudio de alimentación en aguas mexicanas, encontrando que el dorado se alimenta en mayor proporción de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y langostilla (*Pleuuroncodes planipes*) seguido de peces óseos sin encontrar variaciones en la dieta asociadas a la talla. Torres-Rojas *et al.* (2014) y Tripp-Valdéz *et al.* (2015), en el Golfo de California encontraron una importancia alta de *P. planipes* en la dieta; sin embargo, en ambos casos los dorados de tallas menores consumen más peces mientras que los de tallas mayores prefieren alimentarse de calamares. Tripp-Valdéz *et al.*, (2010) en Mazatlán, Sinaloa encontró que el dorado se alimenta en mayor proporción del estomatópodo (*Hemisquilla californiensis*) y el pez pajarito (*Hemiramphus saltator*) mostrando una variación estacional en la importancia alimentaria de los crustáceos.

En el sur del Pacífico Mexicano, Ruiz-Pérez *et al.* (2016) describieron la dieta del dorado, evidenciando a la jaiba nadadora (*Portunus xantusii*) y el ojetón (*Selar crumenophthalmus*). En las costas de Jalisco, Amezcua-Gómez (2007) encontró como presas principales al cefalópodo *Argonauta cornuta* y *P. xantusii* como componente principal de la dieta del dorado. Lo anterior corrobora el cambio de dieta de acuerdo a su distribución (Olson y Galván-Magaña, 2002).

Por lo que de manera general el dorado se alimenta de presas epipelágicas fáciles de capturar y abundantes en su área de distribución, teniendo capacidad de acceder a presas de mayor tamaño conforme el dorado aumenta su talla, y a pesar de

los cambios en la composición específica de su dieta su papel funcional como depredador en el ecosistema tiende a mantenerse a lo largo de su distribución.

Con respecto al análisis de isótopos estables en México se han encontrado nichos isotópicos reducidos en el área de Cabo San Lucas así como en Mazatlán mostrando diferencias en los valores entre estos sitios (Tripp-Valdez *et al.*, 2015) así como diferencias entre los valores isotópicos entre juveniles y adultos con los juveniles presentando una posición trófica superior a la de los adultos (Torres-Rojas *et al.*, 2014).

De acuerdo a los pescadores en las costas de Jalisco el dorado se encuentra presente durante todo el año aumentando de manera temporal su abundancia por espacios de 5 a 10 días conocidos como “corridas” (Alejandro Trujillo, comunicación personal), sin embargo, su patrón de abundancia no ha sido descrito para la zona. Se ha considerado que los dorados capturados a lo largo de las costas del Pacífico Mexicano pertenecen a una misma población con poca diferenciación genética por lo que se asume que existe una alta conectividad entre las zonas de captura (Díaz-Jaimes *et al.*, 2006), no obstante, el patrón migratorio de la especie a lo largo de las costas mexicanas es aún desconocido.

El uso conjunto del análisis de isótopos estables y contenido estomacal se ha propuesto como una estrategia estandarizada para el estudio de la ecología de los depredadores pelágicos y sus interacciones, así como la variabilidad espacio temporal de los ecosistemas en los que estos se encuentran (Torres-Rojas *et al.*, 2014). Es por lo anterior que se considera este estudio como la primera aproximación aplicando ambas técnicas para la descripción del uso de hábitat del dorado en el Pacífico Central Mexicano dando una idea sobre el potencial migratorio de esta especie a través de distintas zonas de alimentación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Conocer la ecología trófica del dorado (*C. hippurus*) mediante el análisis de contenidos estomacales y caracterizar su nicho isotópico mediante el análisis de isótopos estables de nitrógeno y carbono.

3.2 Objetivos particulares

- Identificar el espectro trófico del dorado.
- Analizar variaciones de la dieta entre grupos de talla, sexo del dorado, así como por temporada.
- Determinar el nicho isotópico a través de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo del dorado.
- Analizar las variaciones del nicho isotópico del dorado y su relación con sexo, talla y temporada.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprendió entre la Bahía de Chamela al norte ($19^{\circ}34'34''\text{N}$ y $105^{\circ}07'52''\text{O}$) y Bahía de Navidad al extremo sur ($19^{\circ}10'46''\text{N}$ y $104^{\circ}42'07''\text{O}$) (Fig. 1).

El Pacífico Central Mexicano se caracteriza por ser una zona de confluencia de distintas masas de agua, como son el agua tropical superficial (ATS), la vertiente tropical del agua de la corriente de California (ACC), y agua del Golfo de California (AGC) en la zona superficial por encima de los 75 m. La influencia de estas masas de agua varía de manera estacional, durante el invierno (enero – marzo) existe una mezcla de partes iguales de estas tres masas de agua alcanzando la temperatura superficial más baja. Durante la primavera (abril-junio) se tiene presencia de AGC y aguas transicionales, mientras que durante verano y otoño (julio – diciembre) se tiene la mayor presencia de ATS (Portela *et al.*, 2016).

Durante invierno y primavera se producen una serie de surgencias costeras que derivan en una mayor productividad que tiene efecto en la composición de las comunidades presentes en la zona (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012).

En el presente trabajo se considera esta variación tomando como temporada fría los meses que van de enero a junio y temporada cálida los meses de julio a diciembre.

El talud continental en esta zona se caracteriza por ser muy abrupto y cercano a la línea litoral. Estas condiciones propician que exista una convergencia de influencias neríticas y oceánicas. Durante el año las capas de agua permanecen estratificadas y prevalecen termoclinas marcadas entre 20 y 60 m de profundidad. La

salinidad se encuentra siempre cerca de 34 ups siendo inferior únicamente durante los meses de verano y otoño, cuando se producen grandes precipitaciones y desembocaduras de ríos. Esto último produce gran productividad en la zonas más cercanas a la costa (Filonov *et al.*, 2000).

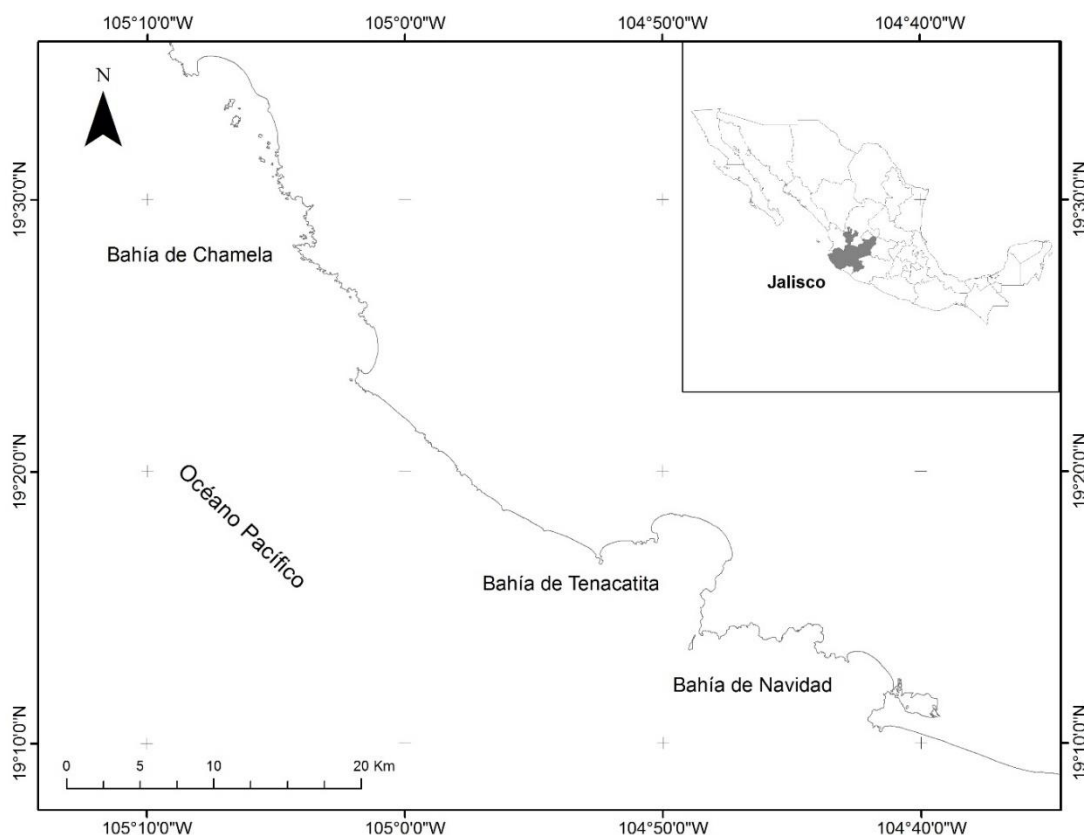


Figura 1. Área de estudio localizada en la costa sur de Jalisco, México.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Trabajo de campo

Se realizaron muestreos de la captura de *C. hippurus* realizada por la flota artesanal en la zona. Las embarcaciones de pesca ribereña de las cuales se obtuvieron las muestras, operan a una distancia máxima de 30 millas náuticas de la costa de Jalisco. Los pescadores utilizan palangre de deriva de monofilamento con una extensión de cinco kilómetros y de 100 a 400 anzuelos tipo “J” de número cinco. Los muestreos se realizaron mensualmente, siempre que las condiciones lo permitieran durante el año

2013 abarcando las dos temporadas hidroclimáticas más representativas en el área de estudio.

Los dorados fueron obtenidos de la cooperativa pesquera Puerto Viejo de Barra de Navidad, Jalisco. Una vez identificado el organismo se procedió a medir la longitud furcal (LF), la cual se midió con una precisión de ± 1 cm. Los organismos fueron clasificados como juveniles o adultos de acuerdo a la talla L50 (80 cm LF) propuesta por Zúñiga-Flores *et al.* (2011) en el sur del Golfo de California. Posteriormente el organismo fue pesado individualmente con una precisión de ± 0.1 kg. Una vez obtenida la biometría se continuó con la disección del organismo, lo que permitió observar las gónadas y determinar el sexo. Se extrajo el estómago completo y una muestra de músculo de la región ventral debido a que al ser una especie de alto valor comercial fue la única zona de donde se permitió tomar la muestra. Las muestras fueron colocadas en hieleras para su transporte y almacenadas en un congelador a -20° C para su posterior análisis.

5.2 Trabajo de laboratorio

Los estómagos fueron descongelados y se extrajo su contenido para lavarlo sobre un tamiz de 0.1 mm de luz de malla, con la finalidad de separar e identificar las presas. Las presas más abundantes y en mejor estado de digestión fueron utilizadas para recolectar muestras de sus músculos para su análisis de isótopos estables. Las presas fueron identificadas hasta el mínimo taxón posible, dependiendo de su grado de digestión se utilizaron distintas claves taxonómicas. Para los peces poco digeridos se utilizó la clave de Allen y Robertson (1994) y Fischer *et al.* (1995b; c); para las presas con un estado de digestión mayor tales como restos de esqueleto se utilizaron las claves de Clothier (1950), Sánchez-Cota (2013) y la colección de esqueletos del Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). La identificación de cefalópodos se realizó de acuerdo a la forma de los picos y en caso de contar únicamente con picos se aplicó un retrocálculo para conocer el peso húmedo del organismo y utilizarlo en el análisis como describen Iverson y Pinkas (1971), Wolff (1982, 1984) y Clarke (1986). Los crustáceos fueron identificados de acuerdo a Fischer *et al.* (1995a).

Para el análisis de isótopos estables de las muestras de músculo se procedió a descongelar la muestra, y se colocó una submuestra de esta en viales esterilizados. Estos se colocaron en una liofilizadora LABCONCO a una temperatura de -50°C en vacío para así extraer la humedad del tejido. La muestra seca se molió en mortero de ágata para posteriormente pesar 0.8 – 1.2 mg de la muestra en una microbalanza y colocar el polvo en una cápsula de estaño de 4 x 6 mm. La determinación de la abundancia de los isótopos estables de nitrógeno y carbono se realizó en dos laboratorios mediante un espectrómetro de masas de razones isotópicas Thermoelectron delta V plus, analizador elemental modelo costech 4010 con una precisión <0.02‰ en el Laboratorio de Isótopos Estables del CICIMAR-IPN, y mediante un espectrómetro de masas de razones isotópicas TermoQuest Delta Plus XL y un analizador elemental modelo 1500 NC (Carlo Erba) con una precisión <0.02‰ en el Laboratorio de Isótopos Estables del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Granada, España.

Los valores de concentración isotópica (δ) de nitrógeno y carbono se representan como δX (‰) serán obtenidos mediante la fórmula propuesta por Park y Epstein (1961):

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

Dónde: $\delta^{15}\text{N}$ R muestra = proporción entre los isótopos $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. R estándar = nitrógeno atmosférico. $\delta^{13}\text{C}$ R muestra = proporción entre los isótopos $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. R estándar = Pee Dee Belemnita (PDB). La precisión analítica para ambos isótopos fue < 0.02‰

5.3 Trabajo de gabinete

Se realizaron curvas acumulativas con cada uno de los grupos a comparar (tallas, sexos y temporadas) para determinar si el tamaño de muestra representó adecuadamente la dieta del dorado (Ferry y Cailliet, 1996). Esto se llevó a cabo mediante el programa EstimateS versión 8. Además, se calcularon coeficientes de variación (CV) para cada estómago analizado, considerando adecuado el tamaño de muestra si el CV tiene un valor menor a 0.05 (Steel y Torrie, 1992).

Para realizar la descripción de los hábitos alimenticios se utilizó el índice de importancia relativa de presa específico (PSIRI) por sus siglas en inglés propuesto Brown *et al.* (2012):

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

Donde $\%FO_i$ es el número de estómagos que presentan la presa i , dividido entre el número total de estómagos.

La abundancia específica por presa ($\%PN_i$) y el peso ($\%PW_i$) se calcularon de la siguiente manera:

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

Donde $\%A$ es la abundancia de cada presa i en el estómago j y n_i es el número de estómagos que presentan la presa i ya sea en abundancia o peso.

Para comparar los grupos de talla, sexo y temporada se utilizó un análisis de similitud (ANOSIM) por una matriz de disimilitud de Bray-Curtis y en caso de encontrar diferencias significativas se utilizó un análisis SIMPER en el programa PRIMER 6 versión 6.1.13 (Clarke y Warwick, 2001)

Para medir la diversidad de presas para cada grupo se utilizó el índice de Shannon-Weiner de acuerdo a lo descrito en Pielou (1975).

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) \log_e(p_i)$$

Donde p_i representa la fracción numérica de cada individuo representante de i especies.

La amplitud de la dieta del dorado se evaluó mediante el índice estandarizado de Levin (Bi) (Krebs, 1999), este índice varía de 0 a 1 con valores <0.6 indicando un depredador especialista y >0.6 un depredador generalista (Labropoulou y Eleftheriou, 1997).

$$Bi = \frac{1}{n - 1[(1/\sum p_{ji}^2) - 1]}$$

Donde $\sum p_{ji}^2$ es la proporción de $\%PSIRI$ de la i presa en la dieta del depredador j y n es el número de especies presa.

Para el cálculo de nivel trófico de la especie basado en la dieta se utilizó la ecuación propuesta por Christensen y Pauly (1992) donde se pondera el peso y nivel trófico de cada especie presa. Los niveles tróficos de peces se obtuvieron de la base disponible en línea FishBase mientras que el nivel trófico de crustáceos y cefalópodos se obtuvo de acuerdo a Cortés (1999).

$$NT_{depredador} = 1 + \left(\sum_{i=1}^n DC_{ij} \right) (NT_i)$$

Donde $\sum_{i=1}^n DC_{ij}$ es la composición de la dieta en proporción de peso de cada una de las presas i en el depredador j mientras que NT_i representa el nivel trófico de cada especie presa i .

Para el cálculo de posición trófica con base al análisis de isótopos estables se utilizó la ecuación propuesta por Post (2002)

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

Donde $\delta^{15}N_{depredador}$ representa la composición isotópica de $\delta^{15}N$ de cada depredador, λ representa la posición trófica del organismo, en este caso materia orgánica particulada ($\lambda = 1$) mientras $\delta^{15}N_{base}$ es la composición isotópica de $\delta^{15}N$ de la materia orgánica particulada en la zona obtenida de Kozak (2014); por último Δ_n representa el factor de discriminación trófico promedio para el $\delta^{15}N$ de 1.9‰ de acuerdo a lo calculado para atunes (Madigan *et al.*, 2012).

Para comparar los valores isotópicos entre los grupos de sexo, talla y temporada se utilizó el análisis de nicho isotópico del paquete SIBER en R, que muestra una serie de elipses que enmarcan, dentro de un intervalo de confianza del 95%, la distribución de los datos isotópicos, dando forma al nicho isotópico, permitiendo comparar el área (‰²) y medir el traslape entre nichos de los consumidores bajo análisis, lo que indica si están compartiendo recursos o utilizando el hábitat de manera similar (Jackson *et al.*, 2011). Además, se utilizó una prueba paramétrica t student para comparar entre las series de datos de los grupos (Zar, 2010), con el fin de fortalecer los datos obtenidos mediante el análisis SIBER.

Para conocer la contribución de las presas a la dieta del dorado mediante el análisis de isótopos estables, se realizó un modelo de mezcla utilizando el paquete

MixSIAR en R, en el cual se usaron los valores isotópicos del depredador, así como los de las presas obtenidas de los contenidos estomacales de los dorados. Este modelo utiliza probabilidad bayesiana para explicar la variación de una mezcla (depredador) a partir de diferentes fuentes (presas) con las señales isotópicas de nitrógeno y carbono. Los resultados del modelo evidencian a la presa que es asimilada en mayor proporción, en este caso en el músculo del depredador (Stock y Semmens, 2016a, b).

En el caso de que las muestras mostraran valores de carbono:nitrógeno por arriba de 3.9 de acuerdo a Post *et al.* (2007) se aplicó la siguiente corrección aritmética para eliminar el efecto de los lípidos en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en el músculo del dorado se aplicó la ecuación propuesta por Logan *et al.* (2008) para atún aleta azul (*Thunnus thynnus*):

$$\delta^{13}\text{C}' - \delta^{13}\text{C} = P - \frac{P \times F}{C:N}$$

Donde $\delta^{13}\text{C}'$ representa el valor de $\delta^{13}\text{C}$ con la extracción de lípidos, $\delta^{13}\text{C}$ representa el valor obtenido para este isótopo estable, $P = 7.489$, $F = 3.097$ y $C:N$ representa el valor de la relación carbono:nitrógeno para cada muestra.

En el caso de las presas se utilizó la corrección que tuvo un ajuste mayor para diferentes taxa:

$$\delta^{13}\text{C}' = 0.967 \times \delta^{13}\text{C} + 0.861$$

6. RESULTADOS

Se analizó un total de 300 estómagos de *C. hippurus* comprendidos en tallas que van de los 22 a 144 cm de LF de los cuales 156 fueron hembras y 139 machos (Fig. 2).

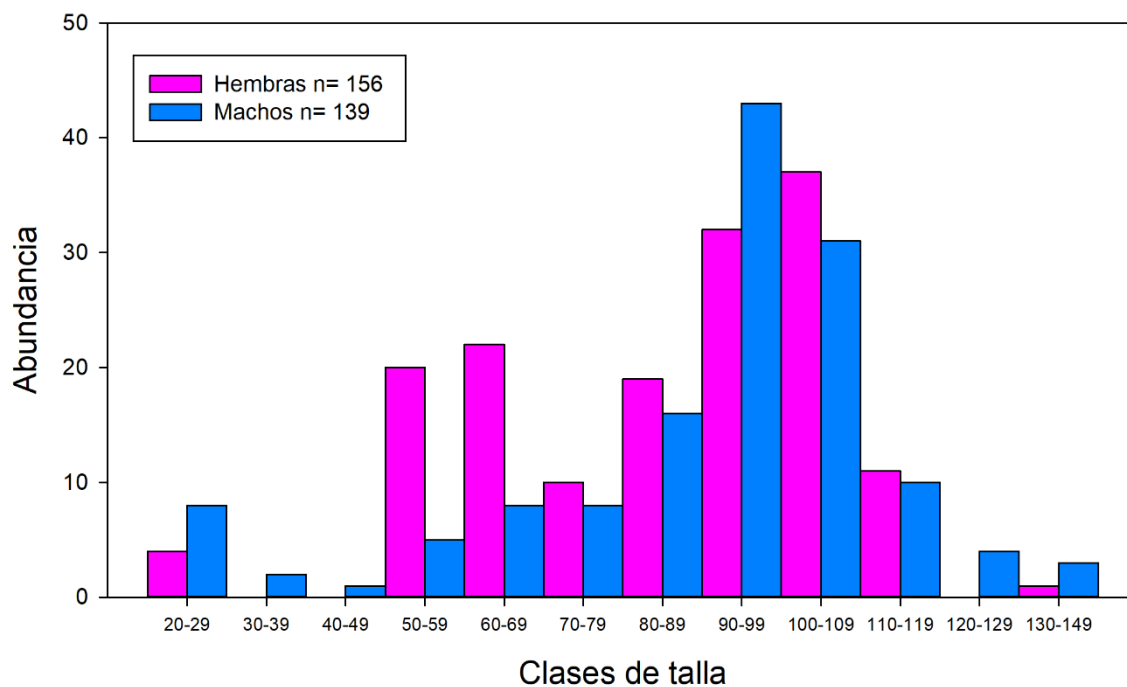


Figura 2 Distribución de frecuencias de tallas en cm de *C. hippurus* analizados.

Del total únicamente 197 (65.6%) presentaron contenido estomacal. Los 197 organismos con contenido correspondieron a individuos en tallas desde 50 a 144 cm de LF con 102 hembras y 90 machos. No fue posible determinar el sexo a los cinco organismos restantes debido a la falta de información en la bitácora (Fig. 3).

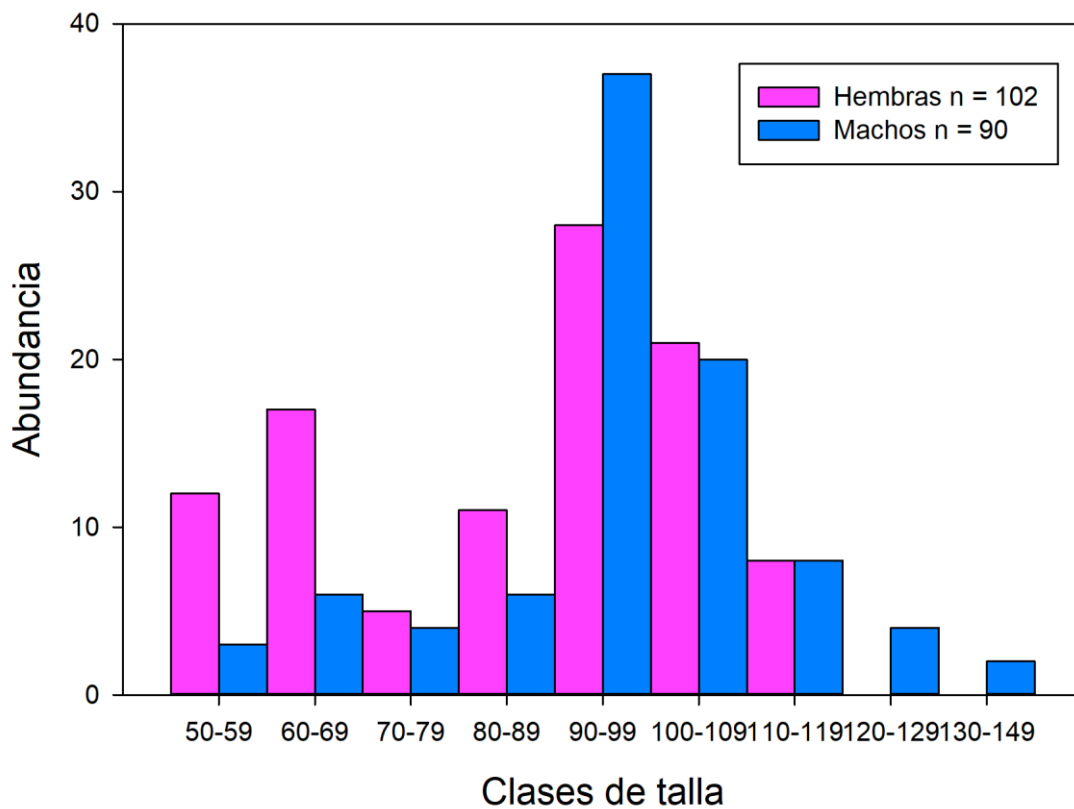


Figura 3. Distribución de frecuencias de tallas en cm de *C. hippurus* con contenido estomacal.

Para el análisis de isótopos estables se utilizó un total de 148 muestras de músculo de dorado con tallas desde 22 hasta 144 cm de LF, repartidas en dos las temporadas de estudio (Fig. 4).

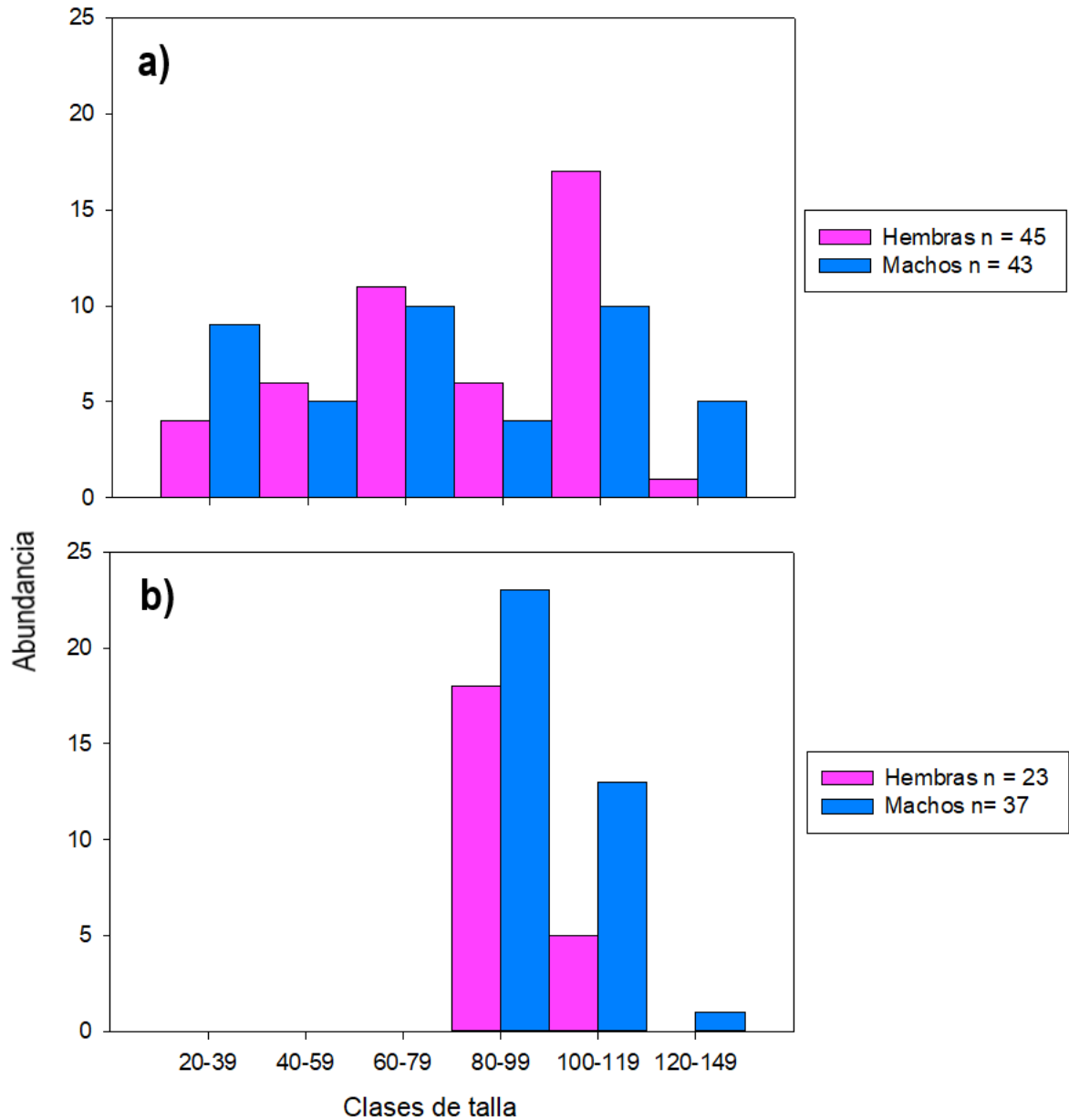


Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas en cm de los *C. hippurus* utilizados para el análisis de isótopos estables para las temporadas fría (a) y cálida (b).

6.1 Dieta general de *C. hippurus*

Se realizó una curva acumulativa para conocer si el número de estómagos fue adecuado para representar la dieta del dorado, encontrando valores en el coeficiente de variación menores a 0.05, alcanzando una asíntota y evidenciando que el tamaño de muestra fue adecuado (Fig. 5).

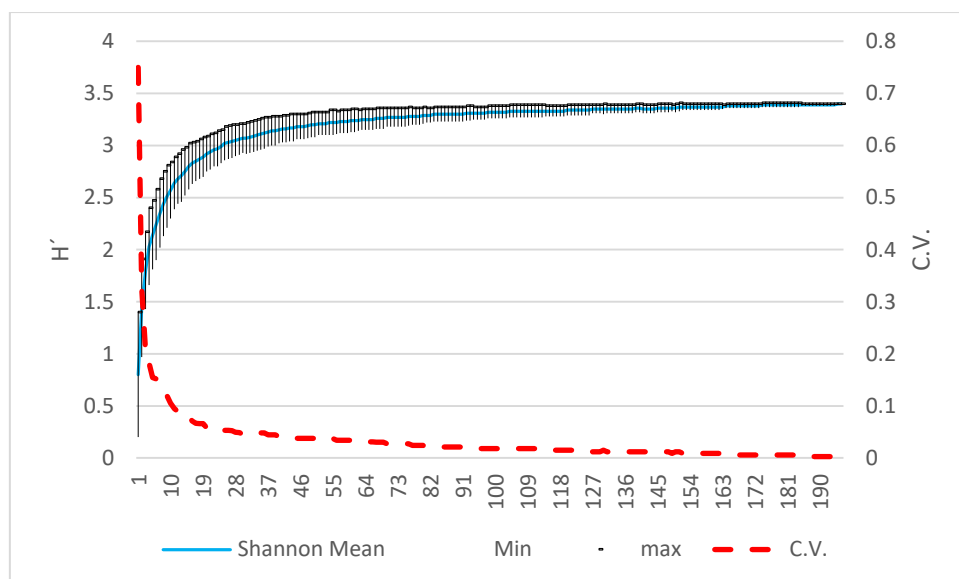


Figura 5 Curva acumulativa de la dieta general de *C. hippurus*

El dorado en la costa sur de Jalisco se alimentó de 60 especies presa (Tabla 1) de las cuales, de acuerdo al %PSIRI, los peces representaron el 50.9%, seguido de los cefalópodos con 35.2%, después por los crustáceos con 12.4% y un 1.3% de material que no pudo ser identificado (MONI). De manera específica, la presa con mayor aporte a la dieta fue el cefalópodo (*Argonauta* spp.) (24.4%), seguido por la jaiba nadadora (*Portunus xantusii*) (10.8%) y finalmente el ojetón (*Selar crumenophthalmus*) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*), ambos con 7.1% (Fig. 6).

A pesar de consumir 60 especies presa el índice de Levin indicó un valor de $B_i = 0.15$, lo que clasificó al dorado como depredador especialista, con una diversidad en la dieta de (H') de 2.5 y un nivel trófico (NT), calculado con los contenidos estomacales, de 4.5.

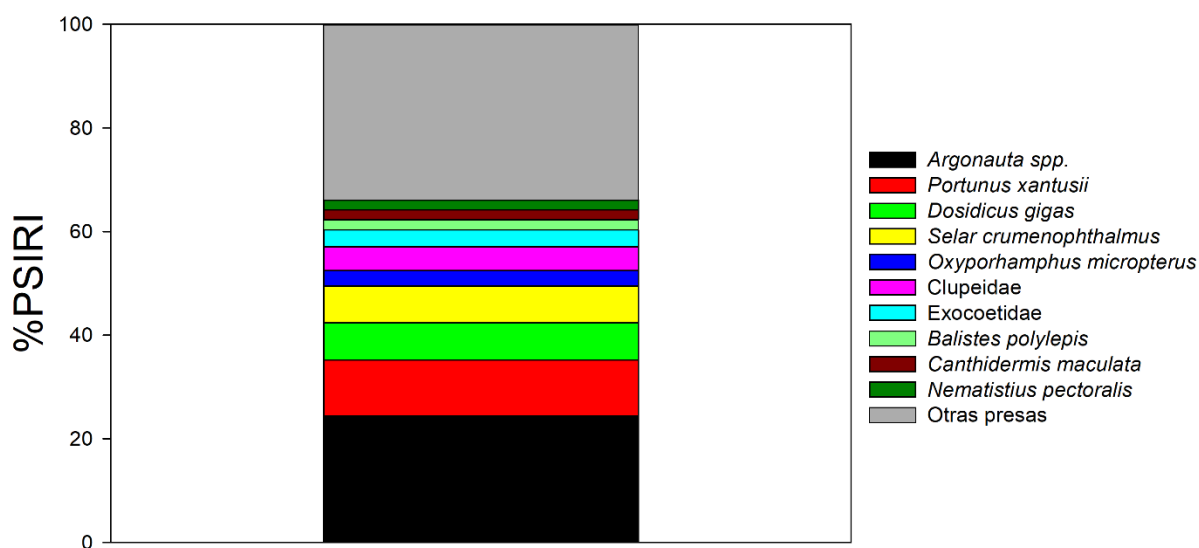


Figura 6. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales dentro de la dieta general de *C. hippurus*.

Tabla 1. Composición de la dieta de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	2.54	0.34	13.29	1.48	58.38	0.91
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	44.67	26.64	59.65	22.19	49.67	24.42
Enoploteuthidae						
<i>Abraliopsis</i> spp.	1.02	0.30	30.00	0.00	0.03	0.15
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	13.71	5.52	40.25	8.75	63.81	7.13
Cefalópodos sin identificar	4.06	2.70	66.39	2.86	70.42	2.78
Subtotal						35.39
Crustacea						
Decapoda						
Munididae						
<i>Pleuroncodes planipes</i>	0.51	0.10	20.00	0.29	57.14	0.20

Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	21.83	11.51	52.74	10.09	46.23	10.80
Crustáceos sin identificar	4.06	1.43	35.22	1.43	35.15	1.43
Subtotal						12.43
Osteichthyes						
Aulopiformes						
Synodontidae						
<i>Synodus</i> spp.	0.51	0.06	12.50	0.00	0.17	0.03
Beloniformes						
Belonidae	1.02	0.33	32.14	0.25	25.01	0.29
<i>Strongylura exilis</i>	0.51	0.17	33.33	0.00	0.04	0.08
Exocoetidae	5.08	2.33	45.81	1.68	33.13	2.00
<i>Cheilopogon furcatus</i>	0.51	0.51	100.0	0.51	100.0	0.51
<i>Cypselurus angusticeps</i>	1.02	0.21	20.37	0.40	39.26	0.30
<i>Cypselurus callopterus</i>	0.51	0.25	50.00	0.51	99.95	0.38
<i>Exocoetus monocirrus</i>	0.51	0.08	15.00	0.05	10.09	0.06
<i>Hirundichthys</i> spp.	0.51	0.03	5.00	0.00	0.29	0.01
Hemiramphidae	0.51	0.02	4.44	0.01	2.86	0.02
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	7.61	3.19	41.92	2.78	36.55	2.99
Clupeiformes						
Clupeidae	6.09	2.82	46.34	2.12	34.84	2.47
<i>Lile stolifera</i>	2.54	0.83	32.69	1.84	72.51	1.33
<i>Opisthonema libertate</i>	2.54	0.40	15.89	1.11	43.79	0.76
Gadiformes						
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros bathymaster</i>	0.51	0.05	9.30	0.00	0.51	0.02
Perciformes						
Carangidae	2.03	0.44	21.63	0.37	18.40	0.41
<i>Carangoides vinctus</i>	4.57	1.13	24.64	1.13	24.65	1.13
<i>Caranx caballus</i>	2.54	0.58	23.00	1.47	57.94	1.03
<i>Caranx caninus</i>	4.57	1.59	34.72	0.97	21.32	1.28
<i>Selar crumenophthalmus</i>	13.71	4.71	34.35	9.55	69.68	7.13
<i>Selene</i> spp.	0.51	0.44	86.67	0.41	81.12	0.43
<i>Selene brevoortii</i>	1.02	0.85	83.33	0.99	97.13	0.92
<i>Selene peruviana</i>	0.51	0.03	5.56	0.29	57.75	0.16
Chaetodontidae						
<i>Chaetodon humeralis</i>	0.51	0.04	7.69	0.02	3.57	0.03

Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	2.03	0.48	23.45	0.31	15.46	0.40
<i>Coryphaena hippurus</i>	4.06	1.25	30.73	1.25	30.88	1.25
Echeneidae						
<i>Remora</i> spp.	0.51	0.17	33.33	0.46	90.48	0.31
Ephippidae						
<i>Chaetodipterus zonatus</i>	0.51	0.45	88.89	0.05	9.09	0.25
Gerreidae						
<i>Eugerres axillaris</i>	0.51	0.17	33.33	0.01	2.41	0.09
Haemulidae						
<i>Haemulopsis</i> spp.	1.02	0.24	23.81	0.22	21.36	0.23
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	6.09	2.20	36.04	1.47	24.05	1.83
Sciaenidae						
<i>Cynoscion</i> spp.	1.52	0.31	2.56	0.14	9.07	0.23
<i>Larimus acclivis</i>	0.51	0.25	50.00	0.48	95.16	0.37
Scombridae	4.06	1.03	25.26	0.42	10.25	0.72
<i>Auxis</i> spp.	1.52	0.26	17.22	0.20	13.34	0.23
<i>Euthynnus lineatus</i>	2.03	0.78	38.61	0.12	5.71	0.45
<i>Katsuwonus pelamis</i>	1.52	0.52	34.07	0.10	6.53	0.31
<i>Scomberomorus sierra</i>	0.51	0.25	50.00	0.25	50.00	0.25
<i>Thunnus</i> spp.	1.02	0.36	35.00	0.00	0.20	0.18
<i>Thunnus albacares</i>	2.03	0.39	19.25	0.39	19.08	0.39
Zoarcidae	0.51	0.19	37.50	0.00	0.00	0.10
Sygnathiformes						
Fistulariidae						
<i>Fistularia commersonii</i>	0.51	0.05	10.00	0.12	22.70	0.08
Tetraodontiformes						
Balistidae	2.03	0.45	22.08	0.73	36.20	0.59
<i>Balistes polylepis</i>	6.09	2.12	34.86	1.86	30.53	1.99
<i>Canthidermis maculata</i>	3.05	1.35	44.21	2.51	82.36	1.93
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	5.58	1.53	27.41	1.22	21.84	1.38
<i>Diodon holocanthus</i>	2.54	0.69	27.11	1.03	40.66	0.83
<i>Diodon hystrix</i>	2.03	0.45	22.27	0.68	33.25	0.56
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	4.57	0.81	17.64	1.22	26.67	1.01

Pez especie 1	0.51	0.17	33.33	0.29	57.14	0.23
Peces sin identificar	28.43	12.21	42.94	9.53	33.51	10.87
Subtotal						50.85
Materia orgánica no identificada	2.03	1.27	62.50	1.39	68.41	1.33
TOTAL						100.0

La relación carbono:nitrógeno (C:N) presentó un valor promedio de 3.9 que sobrepasa el valor 3.5 recomendado para organismos acuáticos (Post *et al.*, 2007). Debido a lo anterior se procedió a hacer un ajuste aritmético para corregir el efecto de los lípidos sobre el $\delta^{13}\text{C}$. Esta corrección se aplicó a todos los datos y la información presentada se encuentra corregida. De manera general ($n = 148$) el valor medio de $\delta^{13}\text{C}$ fue de -16.2‰ con un mínimo de -17.7‰ y un máximo de -14.6‰ . Por parte del $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo un valor medio de 15.1‰ con un mínimo de 10.8‰ y un máximo de 20.5‰ . El cálculo de la posición trófica (PT) mediante el $\delta^{15}\text{N}$ fue de 4.2

No fue posible realizar el modelo de mezcla debido a que, la alta variabilidad isotópica derivada de los movimientos migratorios del dorado, evitaron que se pudieran cumplir con los supuestos de geometría en la gráfica en el isoespacio, los cuales son requeridos por el modelo para aportar información confiable (Fig. 7). Debido a esta limitante, solamente se realizó el modelo de mezcla para los juveniles, los cuales si cumplieron con los supuestos mencionados.

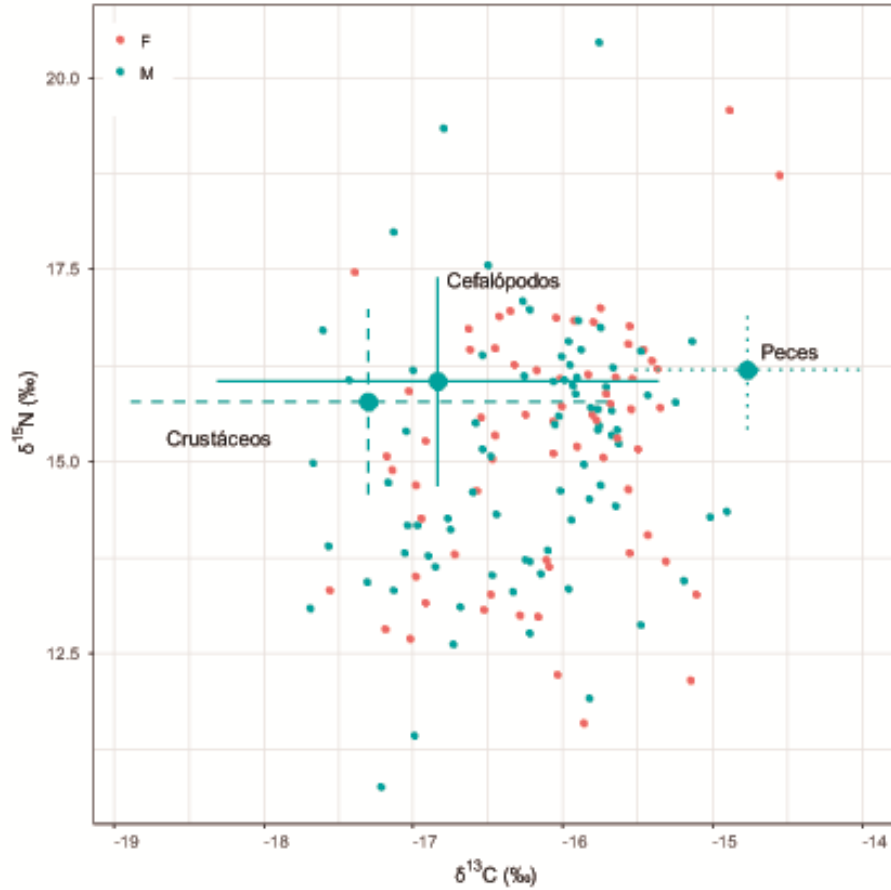


Figura 7. Gráfico de isosespacio para *C. hippurus* para peces, crustáceos y cefalópodos.

6.2 Dieta entre sexos de *C. hippurus*

Se analizaron 102 estómagos de dorados hembras y 90 de machos (Fig. 3). Se realizaron las curvas acumulativas correspondientes para conocer si el tamaño de muestra fue adecuado para describir la dieta para cada sexo, encontrando en ambos casos un valor del coeficiente de variación por debajo de 0.05, por lo que se continuó a describir la dieta de modo confiable (Figs. 8 y 9).

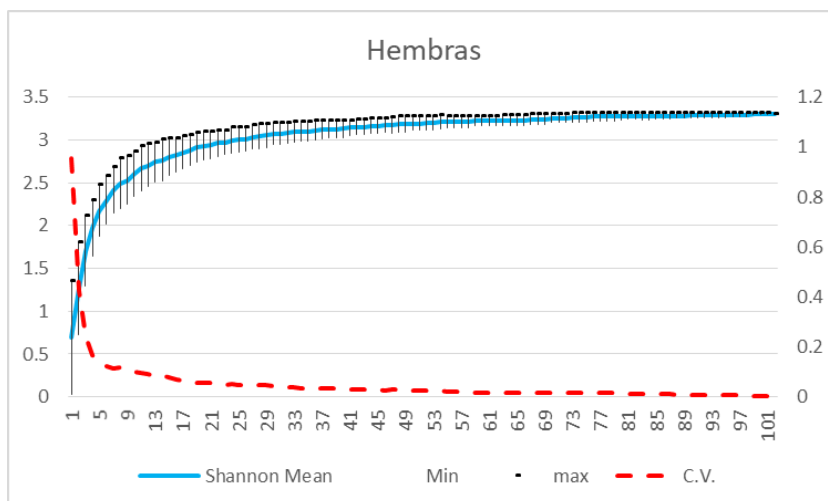


Figura 8. Curva acumulativa para la dieta de hembras de *C. hippurus*.

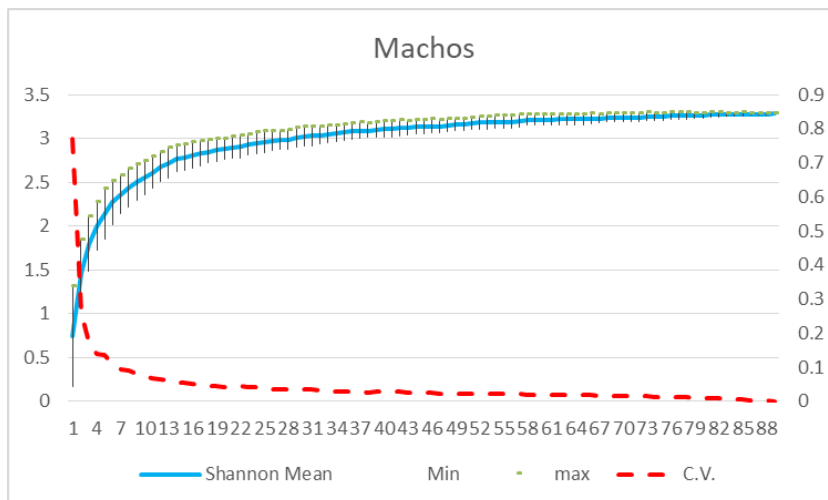


Figura 9. Curva acumulativa para la dieta de machos de *C. hippurus*.

Las hembras y machos se alimentaron de un número similar de especies presa, 45 y 48 respectivamente (Anexos 1 y 2). Las hembras fueron clasificadas como especialistas de acuerdo al índice de Levin ($B_i = 0.25$), al igual que los machos ($B_i = 0.17$), con una diversidad (H') de 2.6 para hembras y de 2.2 para machos. Se estimó un nivel trófico (NT) de 4.3 en ambos casos.

Las hembras se alimentaron en mayor proporción de *Argonauta* spp. (19.9%), seguido de *P. xantusii* (9%), *D. gigas* con (8.6%) y *S. crumenophthalmus* (8.2%). En el caso de los machos estas cuatro especies principales se mantuvieron, *Argonauta* spp.

con 27.1%, *P. xantusii* con 12.9%, *S. crumenophthalmus* representó el 6.4% mientras que *D. gigas* con 5.9% (Fig. 10)

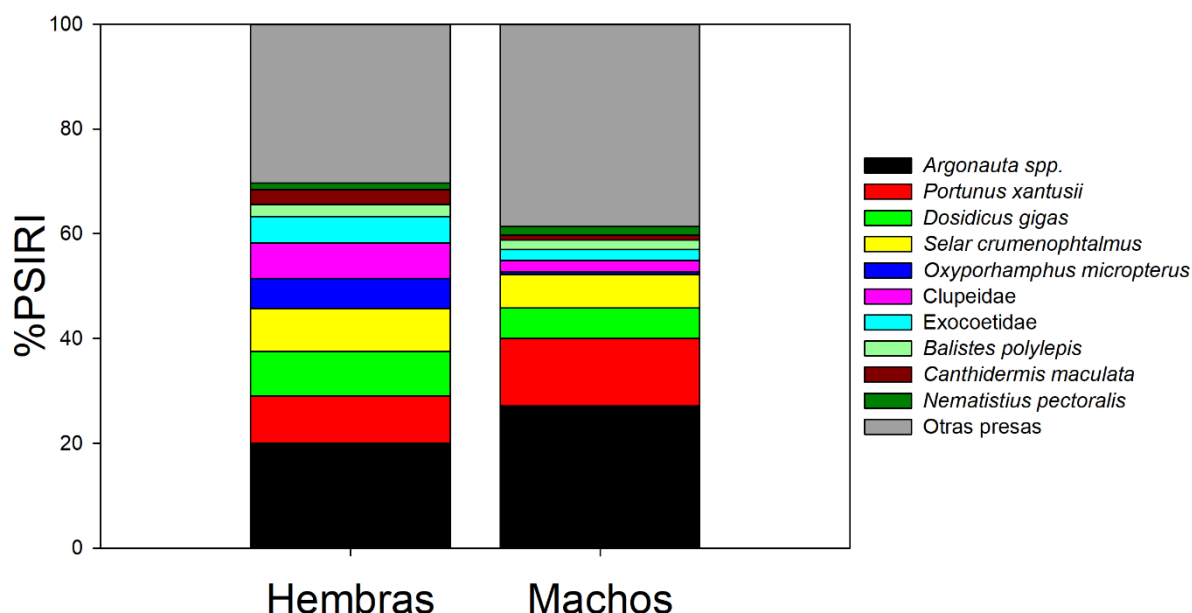


Figura 10. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de *C. hippurus*.

Se comparó la composición de la dieta mediante ANOSIM y no se encontraron diferencias significativas en la dieta entre sexos ($R_{ANOSIM} = -0.001$, $p = 0.54$).

Con respecto al análisis de isótopos estables, las hembras ($n = 68$) presentaron un valor medio de $\delta^{13}C$ de -16.1‰ con un mínimo de -17.6‰ y un máximo de -14.6‰ . El $\delta^{15}N$ mostró una media de 15.2‰ , con un mínimo de 11.6‰ y máximo de 19.6‰ . Para los machos ($n = 80$) se obtuvo un valor medio de $\delta^{13}C$ de -16.3‰ con un mínimo de -17.7‰ y un máximo de -14.9‰ . En el caso del $\delta^{15}N$ se presentó una media de 15.1‰ , un mínimo de 10.8‰ y un máximo de 20.5‰ . El cálculo de posición trófica (PT) a partir del $\delta^{15}N$ fue de 4.2 para ambos sexos.

Se realizó la comparación entre los valores isotópicos entre machos y hembras sin encontrar diferencias significativas tanto en el $\delta^{13}C$ ($t_{student} = 1.31$, $p = 0.19$) como en el $\delta^{15}N$ ($t_{student} = 0.56$, $p = 0.57$). El análisis de nicho isotópico SIBER mostró que ambos sexos presentaron un nicho isotópico de forma y tamaño similar; en el caso de las hembras el área corregida de la elipse ($SEAc$) fue de 3.12‰^2 mientras que para

los machos fue de 3.32‰^2 , se estimó la probabilidad de traslape de los nichos mediante iteraciones bayesianas obteniendo una probabilidad (p) de traslape elevada de 0.77 (Fig. 11).

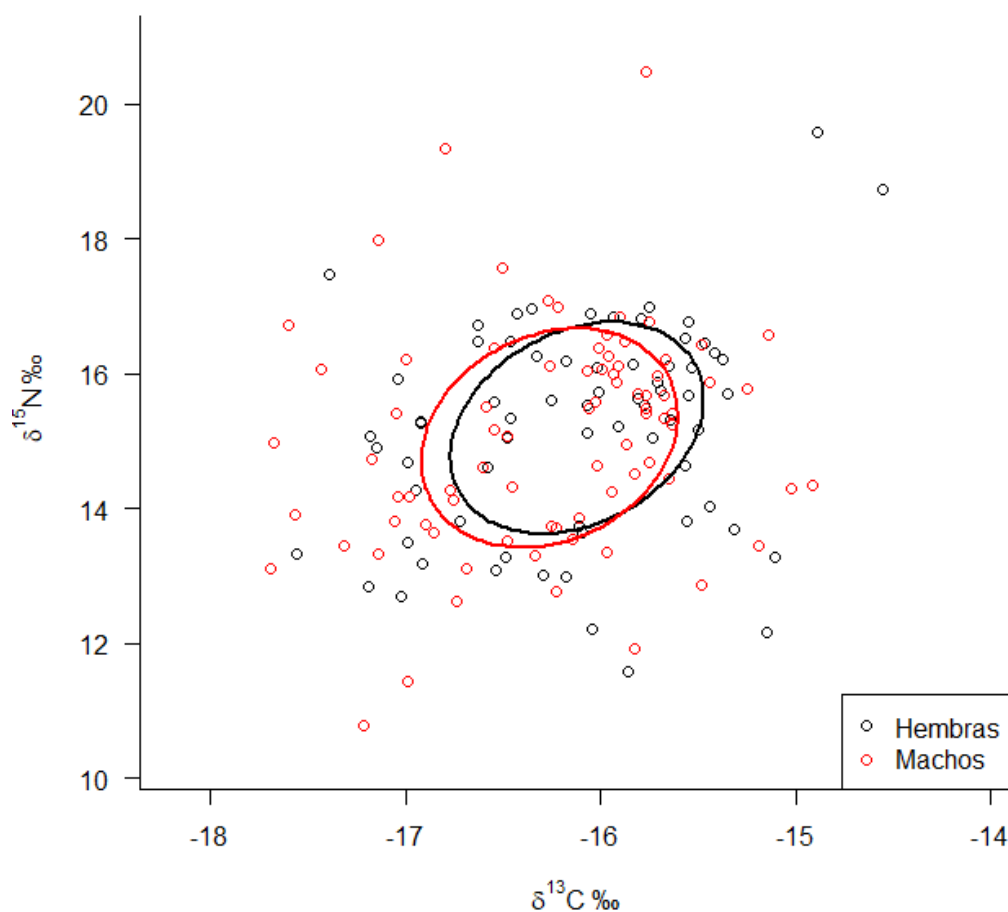


Figura 11. Análisis de nicho isotópico SIBER entre sexos de *C. hippurus*.

6.3 Dieta entre juveniles y adultos de *C. hippurus*

Se revisaron 46 estómagos de juveniles y 145 de adultos de dorado (Fig. 3). Después de realizar las curvas acumulativas para ambos grupos se obtuvo un coeficiente de variación menor a 0.05, por lo que se continuó con el análisis de la dieta entre juveniles y adultos de manera confiable (Figs. 12 y 13).

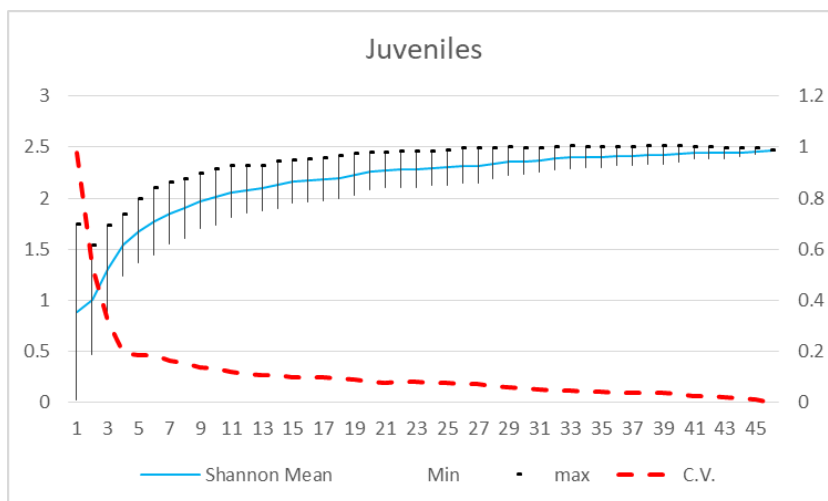


Figura 12. Curva acumulativa para la dieta de juveniles de *C. hippurus*.

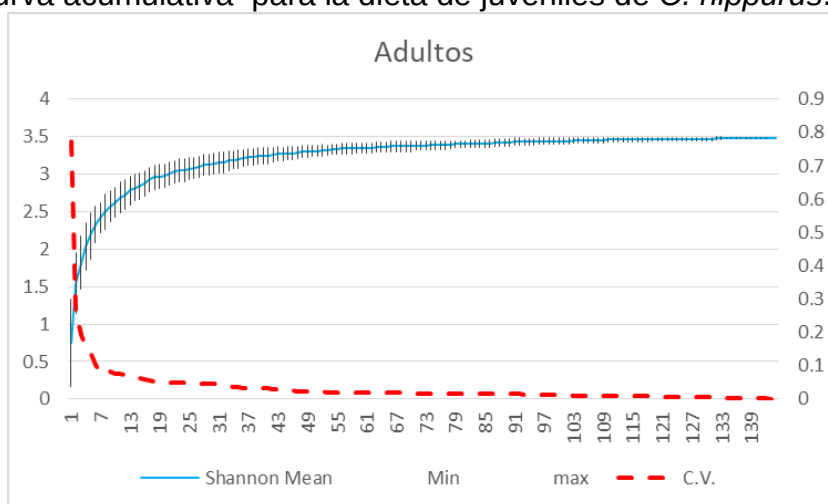


Figura 13. Curva acumulativa para la dieta de adultos de *C. hippurus*.

En los juveniles se encontró un total de 25 especies presa (Anexo 3), de las cuales *Argonauta* spp. representó el 38%, seguido de *S. crumenophthalmus* con 14.7%, en tercer lugar a la familia Clupeidae con 4.5% y *P. xantusii* con 3.7%. El grupo juveniles se consideró especialista ($B_i = 0.17$) con un diversidad (H') de 2 y un nivel trófico (NT) de 4.6.

Para adultos se registraron 59 especies presa, de las cuales *Argonauta* spp. aportó el 19.1% seguido de *P. xantusii* que representó el 13.5% mientras que *D. gigas* y *S. crumenophthalmus* aportaron el 9.1% y 5%, respectivamente (Fig. 14). Los adultos clasificaron como depredadores especialistas ($B_i = 0.19$) con una diversidad (H') de 2.5 y un nivel trófico (NT) de 4.

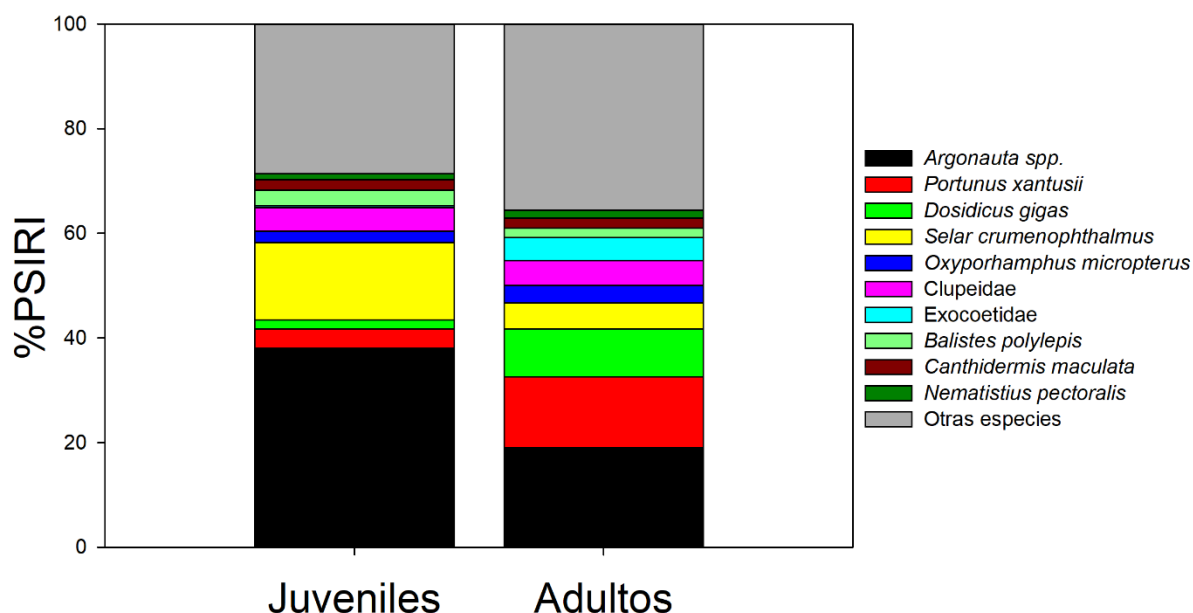


Figura 14. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para juveniles y adultos de *C. hippurus*.

A pesar de la diferencia entre la diversidad y riqueza de las dietas entre juveniles y adultos, no se encontraron diferencias significativas entre las dietas ($R_{ANOSIM} = -0.043$, $p = 0.94$).

Debido a que solo se obtuvieron muestras de juveniles durante la temporada fría (Fig. 3), para las comparaciones se utilizaron solo los valores de los adultos correspondientes a dicha temporada. En el análisis de isótopos estables se encontró que los juveniles ($n = 44$) presentaron un valor medio de $\delta^{13}C$ de -15.9‰ , con un mínimo de -17.6‰ y un máximo de -14.9‰ . El $\delta^{15}N$ presentó un valor medio de 16‰ , con mínimo de 12.9‰ y máximo de 19.6‰ . La posición trófica (PT) calculada por medio del $\delta^{15}N$ fue de 4.6. Los adultos ($n = 43$) presentaron un valor medio de $\delta^{13}C$ de -16.1‰ , con un mínimo de -17.4‰ y un máximo de -14.6‰ . Con respecto al $\delta^{15}N$ se registró un valor medio de 15.2‰ con un mínimo de 11.9‰ y máximo de 18.7‰ . Su posición trófica (PT) fue de 4.

Se realizó la comparación estadística entre juveniles y adultos encontrando diferencias significativas en el $\delta^{15}N$ ($t_{student} = 2.72$, $p = 0.008$), pero no en el $\delta^{13}C$ ($t_{student} = 0.99$, $p = 0.32$). El SIBER mostró que el nicho isotópico de los juveniles fue más

reducido ($SEAc = 1.31\text{‰}^2$) con respecto al de los adultos ($SEAc = 3.24\text{‰}^2$), a pesar de que la elipse de los primeros se centró comprendida casi en su totalidad dentro de la de los segundos, la probabilidad de traslape (p) fue baja con un 0.38 lo que sugirió un uso diferente de recursos y hábitat (Fig. 15).

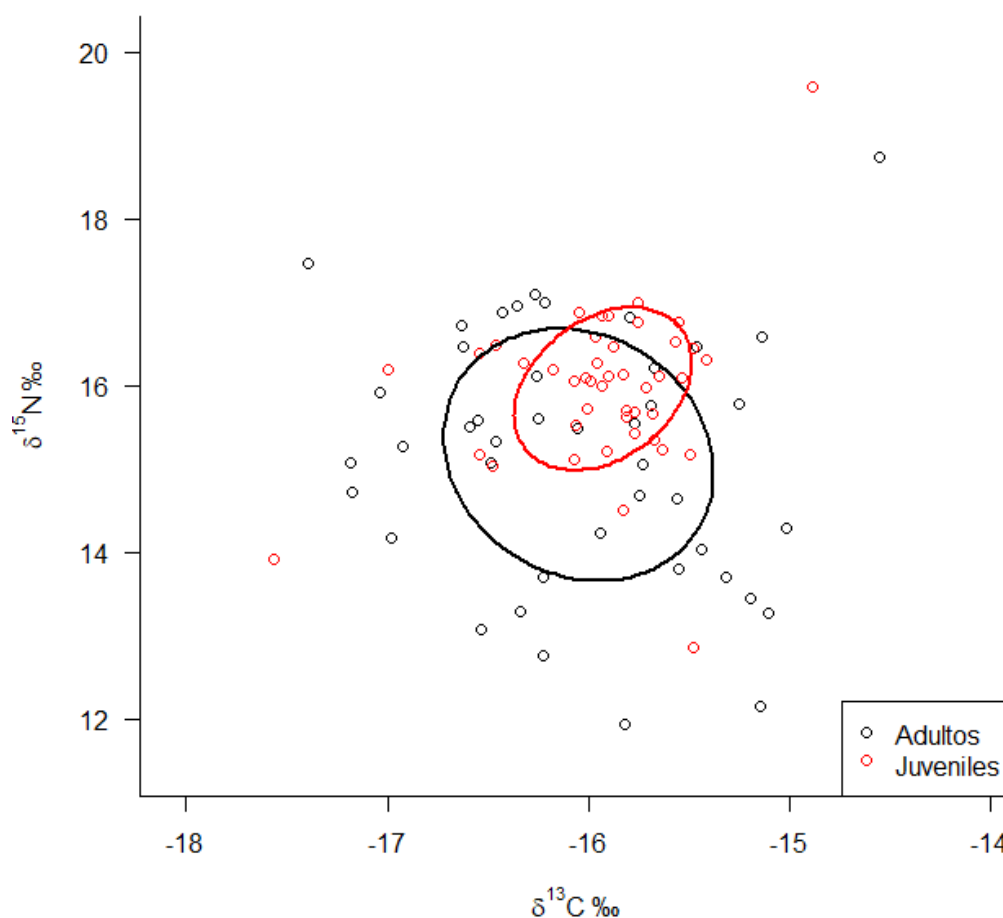


Figura 15. Análisis de nicho isotópico SIBER entre juveniles y adultos de *C. hippurus*.

En el caso de los organismos juveniles, al considerarlos un grupo de la población no migratorio, fue utilizado para realizar el modelo de mezcla en MixSIAR. En este caso la menor dispersión de los datos permitió que se respetara la geometría del modelo, por lo que los resultados fueron confiables (Fig. 16).

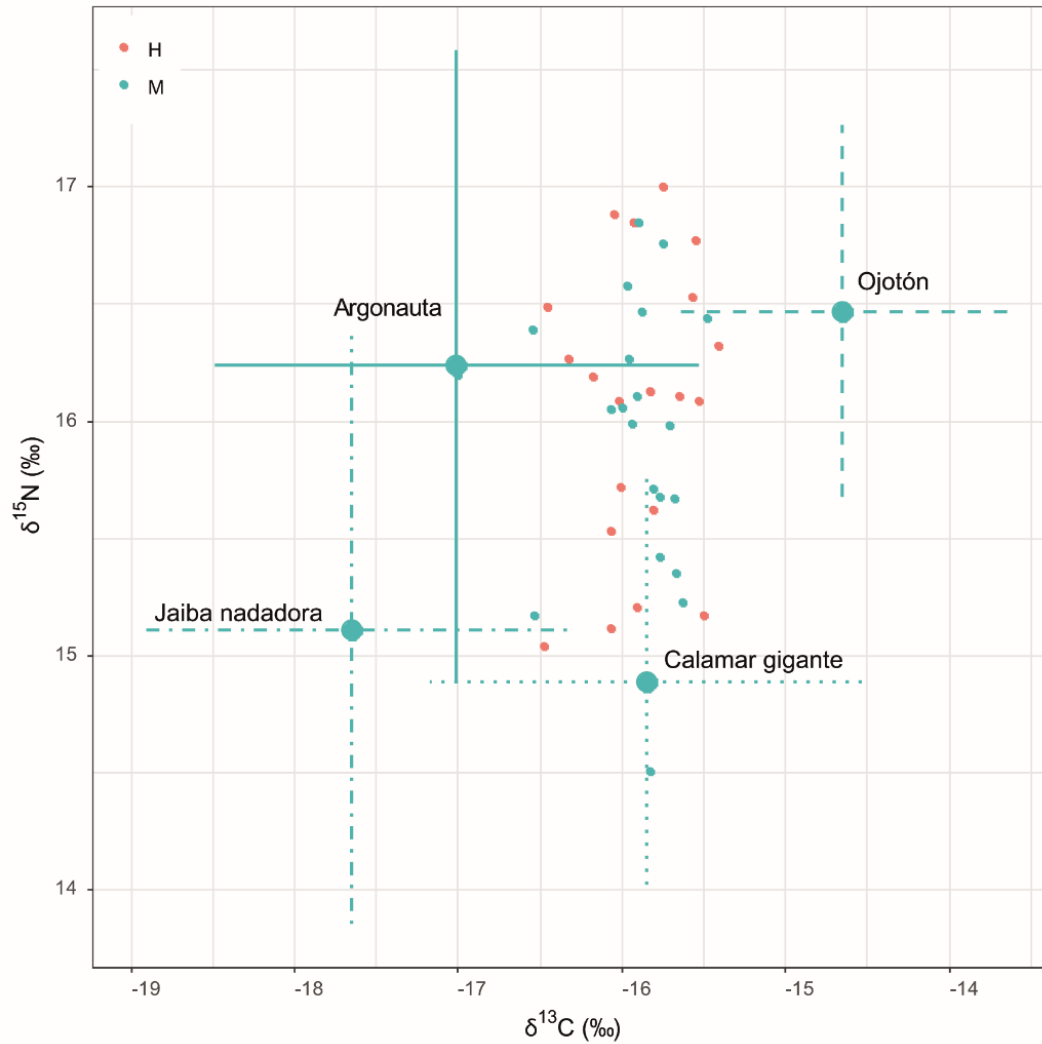


Figura 16. Gráfico de isospacio para juveniles de *C. hippurus*, donde Ojotón = *S. crumenophthalmus*, Argonauta = *Argonauta* spp., Calamar gigante = *D. gigas* y Jaiba nadadora = *P. xantusii*.

El modelo mostró que *S. crumenophthalmus* aportó un 38% seguido por *Argonauta* spp. con 24%, en tercera posición se mostró *D. gigas* con 20% y por último *P. xantusii* con 18% (Tabla 2; Fig. 17).

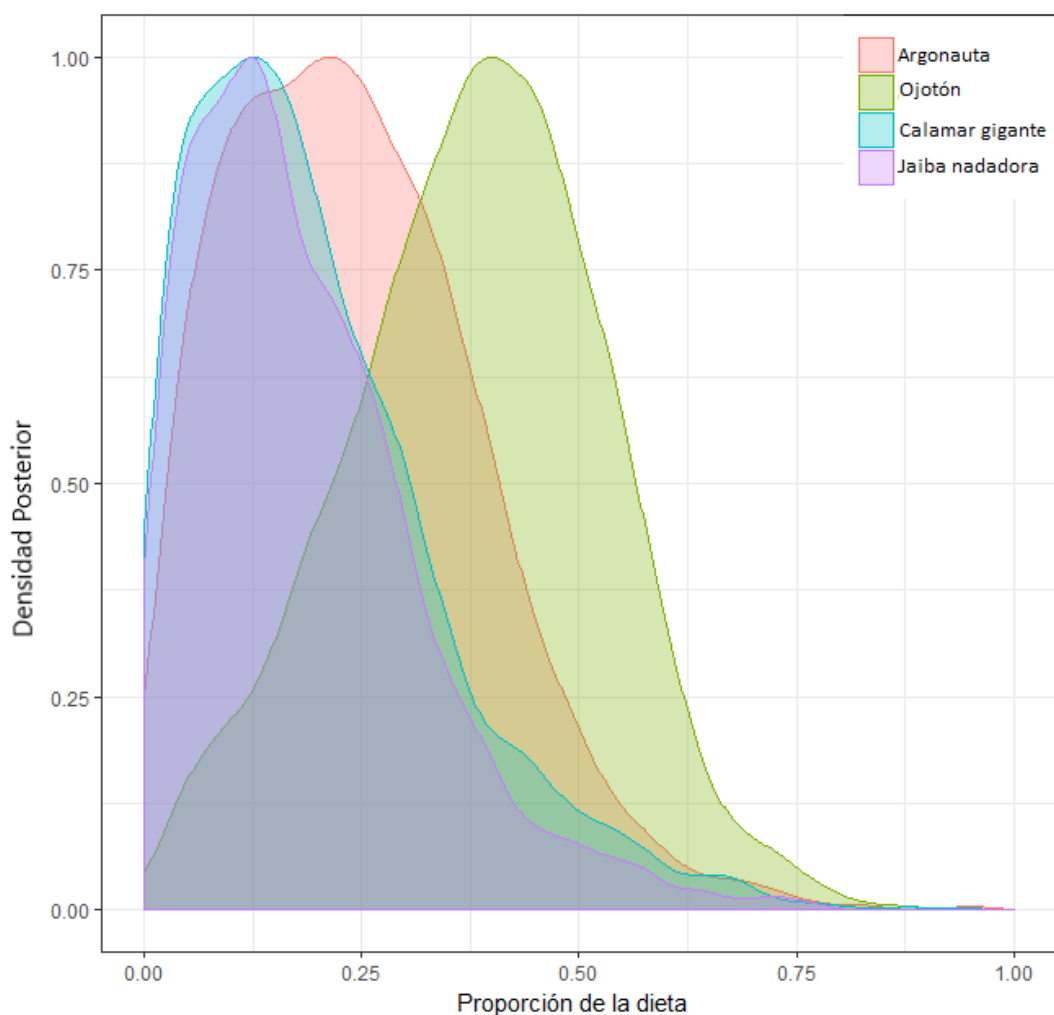


Figura 17. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de *C. hippurus* a través del modelo de mezcla, donde Ojotón = *S. crumenophthalmus*, Argonauta = *Argonauta* spp., Calamar gigante = *D. gigas* y Jaiba nadadora = *P. xantusii*.

Tabla 2. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de *C. hippurus* por especies.

Presa	Media $\pm$ DS	25%	50%	75%	95%
<i>Argonauta</i> spp.	0.24 $\pm$ 0.14	0.13	0.23	0.33	0.5
<i>S. crumenophthalmus</i>	0.38 $\pm$ 0.15	0.28	0.39	0.48	0.61
<i>D. gigas</i>	0.20 $\pm$ 0.15	0.09	0.17	0.27	0.48
<i>P. xantusii</i>	0.18 $\pm$ 0.13	0.08	0.16	0.26	0.44

Se realizó también un modelo de mezcla agrupando diferentes especies en grupos taxonómicos peces, cefalópodos y crustáceos (Fig. 18; Anexo 8), para observar cuales de estos tres grupos tenían mayor aporte a la dieta del dorado.

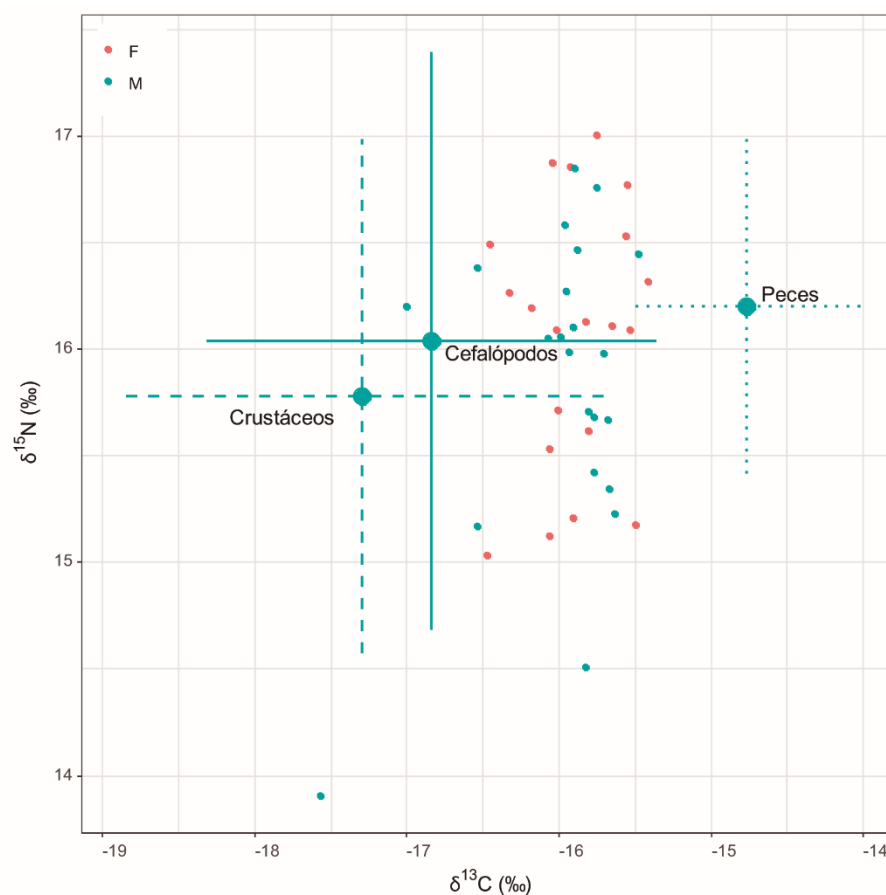


Figura 18. Gráfico de isoespacio para juveniles de *C. hippurus* con Peces, Crustáceos y Cefalópodos como presas.

El modelo de mezcla, a partir de grupos taxonómicos, evidenció que la dieta del dorado se basó en peces en un 44%, seguido de crustáceos y cefalópodos con 29% y 28%, respectivamente (Tabla 3; Fig. 19).

Tabla 3. Proporción de aporte a la dieta juveniles de *C. hippurus* por grupos taxonómicos.

Presa	Media $\pm$ DS	25%	50%	75%	95%
Peces	0.44 $\pm$ 0.16	0.35	0.45	0.54	0.69
Cefalópodos	0.28 $\pm$ 0.18	0.14	0.25	0.39	0.6
Crustáceos	0.29 $\pm$ 0.17	0.16	0.27	0.38	0.6

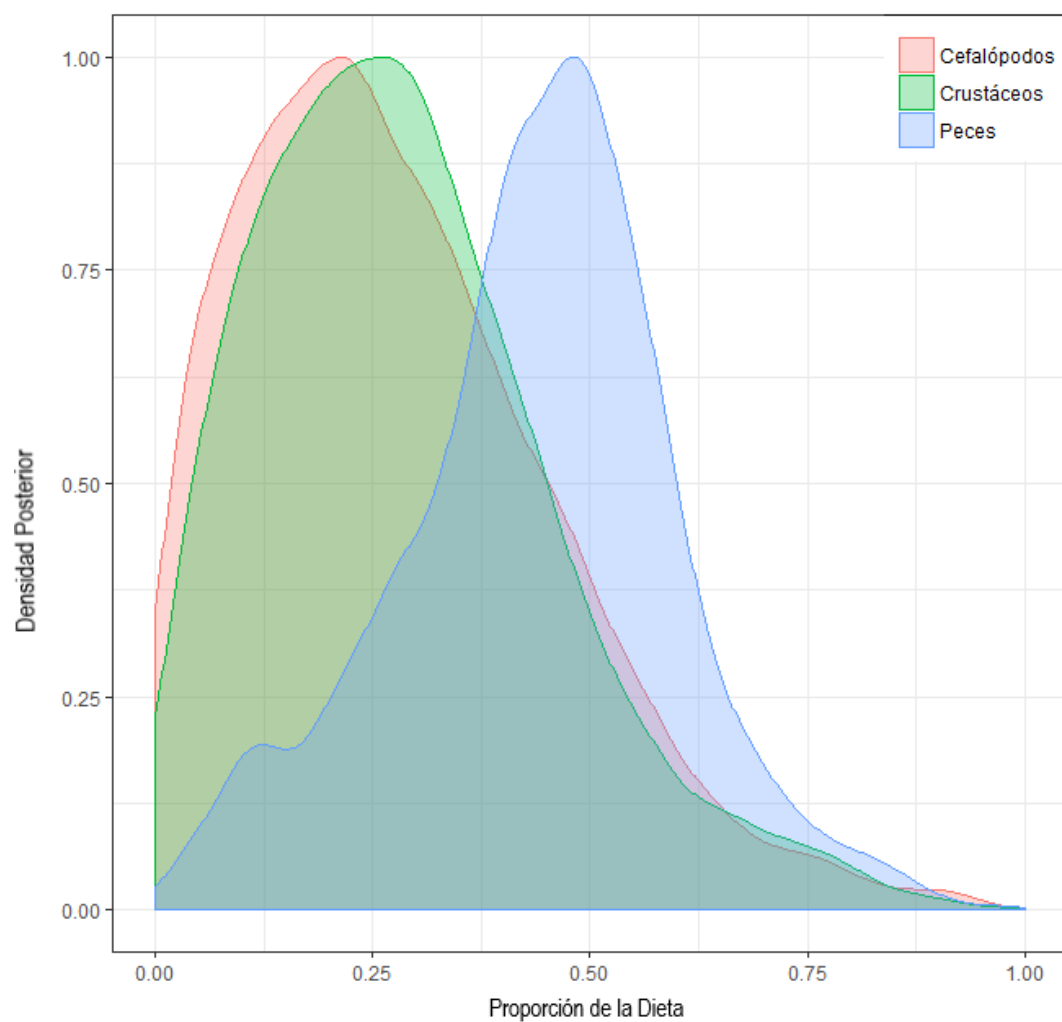


Figura 19. Proporción de aporte a la dieta de juveniles de *C. hippurus* a través del modelo de mezcla utilizando como presas: Peces, Cefalópodos y crustáceos.

6.4 Dieta de *C. hippurus* por temporadas

Se analizaron 96 estómagos para la temporada fría y 101 para la temporada cálida. Se realizaron las curvas acumulativas correspondientes, encontrando que el tamaño de muestra fue adecuado para describir la dieta en cada temporada (Figs. 20 y 21).

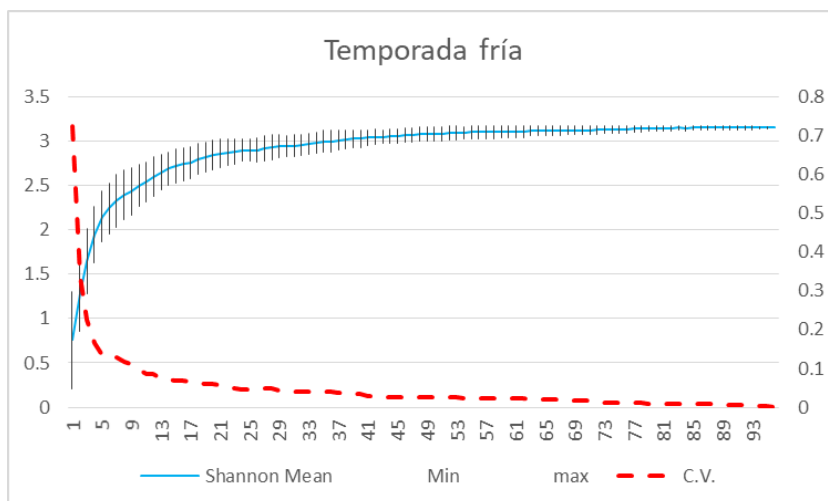


Figura 20. Curva acumulativa para la dieta de *C. hippurus* durante la temporada fría.

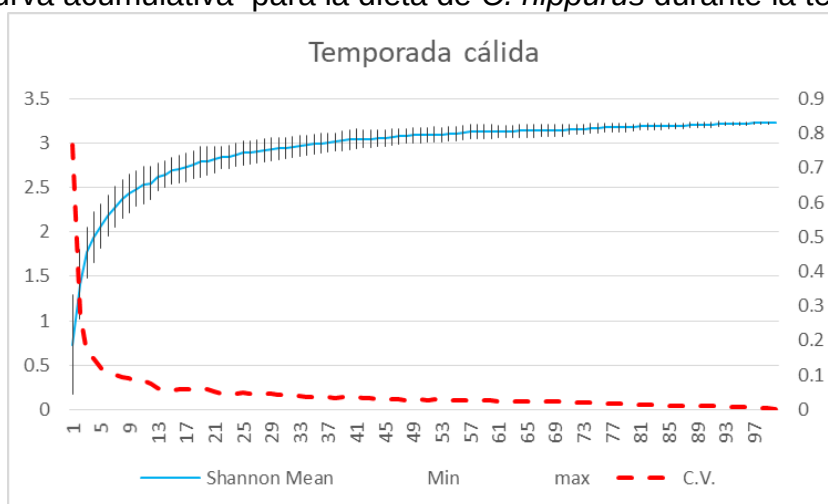


Figura 21. Curva acumulativa para la dieta de *C. hippurus* durante la temporada cálida.

Durante la temporada fría *C. hippurus* se alimentó de 38 especies presa, de las cuales *Argonauta* spp. aportó el 27.3%, seguido de *D. gigas* con 9.8% y la familia Clupeidae con 7.7% y *S. crumenophthalmus* con 6.9%. El dorado, durante esta temporada, se clasificó, como un depredador especialista ($B_i = 0.12$), con una diversidad (H') de 2.3 y un nivel trófico (NT) de 4.3.

Durante la temporada cálida se alimentó de 47 especies, siendo *Argonauta* spp. la más importante con 21.7%, seguido de *P. xantusii* con 16.9%, *S. crumenophthalmus* con 7.3% y *D. gigas* con 4.6% (Fig. 22). Durante la temporada cálida se comportó como especialista ($B_i = 0.13$), con una diversidad (H') de 2.3 y nivel trófico (NT) de 4.4.

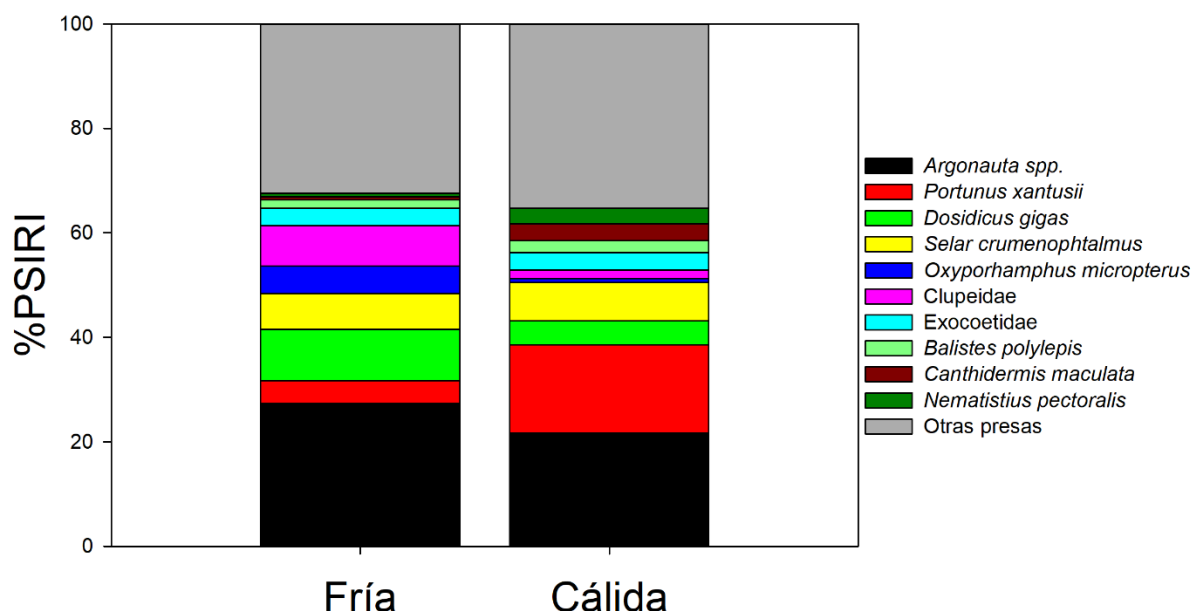


Figura 22. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales en la dieta de *C. hippurus* durante la temporada fría y cálida.

Se compararon las dietas entre ambas temporadas encontrando diferencias significativas ($R_{ANOSIM} = 0.034$, $p = 0.001$). El análisis SIMPER mostró una disimilitud de 90%. Posteriormente se analizaron las diferencias en la dieta entre adultos de ambas temporadas ya que fueron los grupos mejor representados en ambos casos, de esa manera se eliminó el sesgo que pudieran estar introduciendo la presencia de juveniles durante la temporada fría y su menor representación durante la temporada cálida obteniendo como resultado una diferencia significativa entre las dietas por temporada ($R_{ANOSIM} = 0.079$, $p = 0.001$).

Para las comparaciones de los valores isotópicos se utilizaron únicamente a los organismos adultos debido a que no se obtuvieron muestras de juveniles de la temporada cálida; se observó un valor medio de $\delta^{13}C$ de -16.1‰ para la temporada fría con un intervalo de -17.4‰ a -14.6‰ . Para el $\delta^{15}N$ se obtuvo un promedio de 15.2‰ en un intervalo de 11.9‰ a 18.7‰ . La temporada cálida tuvo un valor promedio de $\delta^{13}C$ -16.5‰ en un intervalo de -17.7‰ a -14.9‰ . El $\delta^{15}N$ tuvo un promedio de 14.5‰ en un intervalo de 10.8‰ a 20.5‰ . La posición trófica (PT) calculada para la

temporada fría fue más elevada con 4.4, mientras que para la temporada cálida se estimó un 3.9.

Con respecto a los valores isotópicos entre temporadas se encontraron diferencias significativas en $\delta^{13}\text{C}$ ($t_{\text{student}} = 3.28$, $p < 0.05$) y en $\delta^{15}\text{N}$ ($t_{\text{student}} = 2.19$, $p < 0.05$). Con el análisis SIBER, se mostraron nichos isotópicos de forma y tamaño similares. La temporada fría presentó un área de elipse (SEAc) de 3.24‰^2 ; mientras que la temporada cálida mostró un área de 3.63‰^2 , una probabilidad (p) de traslapo media de 0.53, debido a que la temporada cálida mostró valores más bajos para ambos isótopos (Fig. 23).

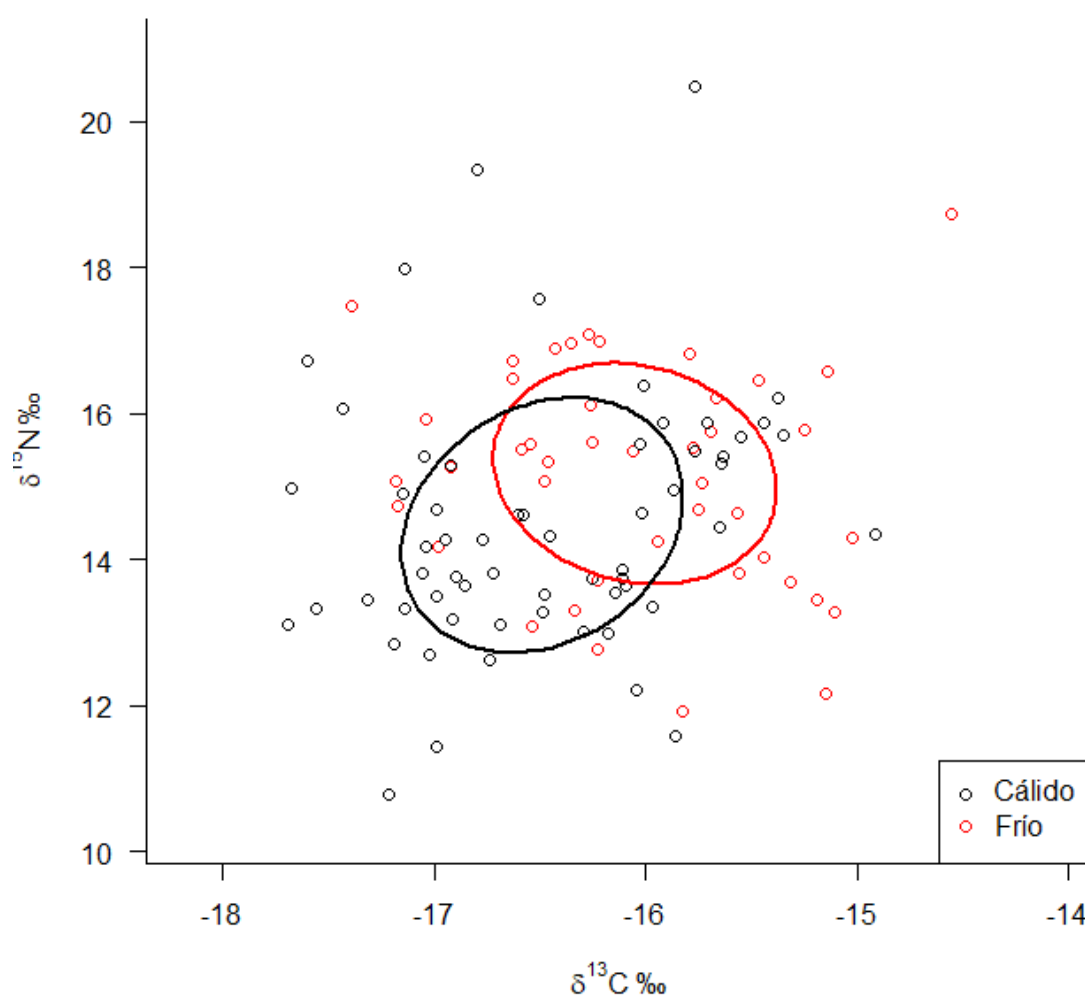


Figura 23. Análisis de nicho isotópico SIBER en *C. hippurus* entre la temporada fría y cálida.

7. DISCUSIÓN

El espectro trófico del dorado en el presente estudio estuvo compuesto por 60 especies presa; sin embargo, de acuerdo al índice de amplitud de dieta se clasificó como un depredador especialista, debido a que la dieta se encontró representada principalmente por cuatro especies: *Argonauta* spp., *P. xantusii*, *S. crumenophthalmus* y *D. gigas*. Estos resultados difieren a trabajos realizados en otras áreas del Pacífico Mexicano. Para el área de Cabo San Lucas, México, las especies presa principales del dorado fueron: *P. planipes* y *D. gigas* (Aguilar-Palomino *et al.*, 1998; Torres-Rojas *et al.*, 2014; Tripp-Valdéz *et al.*, 2015). En el sudeste del Golfo de California su dieta estuvo compuesta principalmente por *H. californiensis* y *H. saltator* (Tripp-Valdéz *et al.*, 2010); mientras que en Oaxaca se identificaron especialmente a *P. xantusii* y *S. crumenophthalmus* (Ruiz-Pérez *et al.*, 2016).

Las diferencias encontradas en la dieta del dorado podrían estar relacionadas a cambios en las condiciones oceanográficas y la disponibilidad de las presas en las distintas áreas de estudio en el Pacífico Mexicano. Se ha observado que la especie cambia su dieta de acuerdo a su distribución, pero manteniendo una dieta a base de organismos epipelágicos, por lo que su papel funcional como depredador se mantiene (Olson y Galván-Magaña, 2002). Cambios en la dieta han sido también reportados para el pez vela (*Isitiophorus platypterus*) a lo largo del Pacífico Mexicano, mostrando una dieta basada en *Argonauta* spp. en el área de Jalisco y cambiando a peces dentro del Golfo de California (Rosas-Alayola *et al.*, 2002).

El análisis de isótopos estables mostró una variabilidad elevada en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, dentro de un intervalo de 10.8‰ a 20.5‰, lo cual podría explicarse debido a sus movimientos migratorios a través de distintos isoterrenos (Graham *et al.*, 2010). En este sentido el dorado se caracteriza por esta cualidad ampliamente migratoria. En el Pacífico Mexicano se ha descrito como una sola población a lo largo de su distribución (Díaz-Jaimes *et al.*, 2006); sin embargo, debido a que sus patrones de movimiento en la zona son aún desconocidos, este trabajo es una aportación relevante acerca de los grandes desplazamientos que podría estar realizando el dorado a lo largo del Pacífico Mexicano. Estudios anteriores en el Océano Atlántico Occidental han

registrado movimientos en esta especie de hasta 1,915 km en 51 días (Merten *et al.*, 2014b).

Por otro lado, la variación isotópica en el músculo del dorado en el área de Cabo San Lucas, es baja, indicando que permanecen alimentándose en esa zona por periodos prolongados, incorporando la señal isotópica de la zona en el músculo (Torres-Rojas *et al.*, 2014; Tripp-Valdéz *et al.*, 2015). Por esta razón, debido a la alta variabilidad isotópica en el músculo de dorado que se encontró en este estudio para la costa de Jalisco, se sugiere que esta zona podría funcionar como un corredor migratorio para el dorado entre zonas altamente productivas, como son las surgencias asociadas al sistema de la Corriente de California en el extremo sur de la Península de Baja California (Zaytsev *et al.*, 2003) y el sistema de surgencias producidas por los vientos Tehuanos en el Golfo de Tehuantepec, al sur del Pacífico Mexicano (Stumpf y Legeckis, 1977).

7.1 Dieta entre sexos de *C. hippurus*

Se registró un traslape alto entre las dietas de machos y hembras a partir de los contenidos estomacales, así como entre sus nichos isotópicos, lo que indicó que utilizan el espacio y los recursos de manera similar. En ambos sexos se presentó una variación isotópica elevada en $\delta^{15}\text{N}$, indicando un amplio movimiento migratorio (Lorrain *et al.*, 2015). El traslape alto en la dieta entre sexos ha sido ampliamente reportado en estudios de alimentación de dorado, tanto con base en contenidos estomacales (Massutí *et al.*, 1998; Oxenford y Hunte, 1999; Young *et al.*, 2010; Brewton *et al.*, 2016) como por análisis de isótopos estables (Torres-Rojas *et al.*, 2014; Tripp-Valdéz *et al.*, 2015); no obstante en el mar Árabe se han encontrado diferencias de dieta entre sexos, con hembras consumiendo preferencialmente peces voladores (Familia Exocoetidae), mientras que los machos consumen calamares (Familia Ommastrephidae), argumentando diferencias relacionadas con el requerimiento energético de las hembras para la producción de las gónadas (Varghese *et al.*, 2013); sin embargo no ha sido estudiado, el contenido energético de la dieta asociado al índice gonadosomático en esta especie.

7.2 Dieta entre juveniles y adultos de *C. hippurus*

No se registraron cambios ontogénicos en la dieta del dorado, el cual fue un hallazgo similar al reportado por Aguilar-Palomino *et al.* (1998) en Cabo San Lucas; aunque posteriormente Torres-Rojas *et al.* (2014) y Tripp-Valdéz *et al.* (2015) describieron cambios ontogénicos en la misma zona. Si bien no existieron diferencias significativas en la dieta para el presente estudio, si se encontró un número menor de especies presa en los organismos juveniles con respecto a los adultos, así como diferencias en la proporción de consumo de las presas. La ausencia de diferencias significativas de acuerdo al ANOSIM, fue debido a que las especies presa encontradas en los contenidos estomacales de los juveniles se encontraron también presentes en la dieta de los adultos aunque en proporción diferente por lo que el índice falla en detectar diferencias.

El análisis SIBER mostró que los nichos isotópicos tuvieron un tamaño diferente, donde los juveniles presentaron un nicho isotópico más reducido relacionado al bajo número de especies presa que consumen. Asimismo la baja variabilidad isotópica en los juveniles indicó que estos organismos aún no presentan desplazamientos migratorios grandes, por lo que su señal isotópica es representativa de la costa de Jalisco, a diferencia de los adultos.

En Hawaii se demostró que las cohortes de dorado, nacidas en la zona permanecen durante los primeros cinco meses para después comenzar sus desplazamientos migratorios (Kraul, 1999). De igual manera Hernández-Tlapale *et al.* (2015) encontraron que los juveniles de dorado en la Bahía de La Paz B.C.S. tienden a mantenerse dentro de la misma zona. En el caso de los adultos su nicho isotópico fue más amplio con grandes variaciones relacionadas a un aumento en su espectro trófico ya que cada especie presa consumida podría tener un valor isotópico diferente elevando la variabilidad de los valores en el depredador. Por otro lado un aumento en su capacidad de desplazamiento como demuestran Merten *et al.* (2014b) permitiría al dorado adulto alimentarse en isoterrenos distintos a lo largo del Pacífico Mexicano.

Un aumento en los recursos alimentarios de un depredador asociado a su talla ha sido reportado para atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), ya que al llegar a cierta talla su mayor capacidad termoregulatoria le permite utilizar aguas más profundas para alimentarse (Graham *et al.*, 2007). Si bien el dorado no tiene capacidad

termoregulatoria ni utiliza aguas profundas para alimentarse (Merten *et al.*, 2014a; Hernández-Tlapale *et al.*, 2015), el aumento en la talla le permite explorar áreas más amplias para alimentarse. El patrón encontrado en el presente estudio concuerda con la mayoría de los estudios en dorado, donde los juveniles se alimentan de un número menor de especies presa y de especies con menor capacidad de desplazamiento, mientras que al crecer aumentan su consumo de calamares (Familia Ommastrephidae) y peces voladores (Familia Exocoetidae), así como también incrementa el número de especies presa sobre las que depredan (Young *et al.*, 2010; Torres-Rojas *et al.*, 2014; Brewton *et al.*, 2016), lo cual está relacionado con un aumento en su capacidad de locomoción, tamaño de la boca (Grubbs, 2010) y estrategias de alimentación adquiridas, donde organismos adultos llevan a cabo maniobras más complejas (p.e. nadados en círculo, cacería en grupo o uso del olaje para facilitar su desplazamiento) (Nunes *et al.*, 2015).

El modelo de mezcla en MixSIAR se realizó únicamente para el grupo de dorados juveniles, asumiendo que son organismos residentes que han incorporado la señal isotópica de las presas de la zona en su tejido muscular, ya que los adultos al tener una variación tan elevada no permitieron que se respetara la geometría necesaria para el modelo, a diferencia de los juveniles. El modelo mostró que para los juveniles la presa más importante de las cuatro utilizadas fue *S. crumenophthalmus*, seguido de *Argonauta* spp., *D. gigas* y *P. xantusii* respectivamente. Si bien el *Argonauta* spp. estuvo presente en mayor abundancia en los contenidos estomacales y en segundo lugar estuvo *S. crumenophthalmus*, es posible que debido al tamaño de *Argonauta* spp., la cantidad de agua en su tejido y su rápida digestión la energía aportada por esta presa sea utilizada para mantener el metabolismo activo del dorado, el cual es elevado, dando como resultado que los juveniles consuman el 19% de su peso corporal al día (Olson y Galván-Magaña, 2002); mientras que presas con mayor contenido energético y proteico como *S. crumenophthalmus* que son de digestión más lenta se utilicen para la formación de masa muscular, por lo que se presume que pueda existir un enrutamiento energético de las presas consumidas.

La incertidumbre es elevada con respecto a los resultados obtenidos con el modelo de mezcla, debido a que resulta difícil discernir las diferencias entre las presas.

Por esta razón es recomendable agrupar los ítems en grupos taxonómicos y así favorecer la discriminación del modelo entre sus componentes (Phillips *et al.*, 2014). En este caso la incertidumbre relacionada con los peces disminuyó, pero aumentó entre crustáceos y cefalópodos, debido a la similitud de sus valores isotópicos. Cabe señalar que los modelos de mezcla han sido ampliamente utilizados en ecosistemas terrestres (Inger *et al.*, 2006; Semmens *et al.*, 2009) y sistemas lagunares (Vander-Zanden y Vadeboncoeur, 2002; Solomon *et al.*, 2011), donde las fuentes de variabilidad isotópica así como el desplazamiento de los organismos es menor que en los ecosistemas marinos. Estos últimos presentan una gran cantidad de fuentes de variación isotópica de nitrógeno y carbono desde la base con relación a diversos factores biológicos y oceanográficos (Graham *et al.*, 2010) y a su vez el área de estudio presenta una mezcla importante de masas de agua (Portela *et al.*, 2016), dando lugar a posibles isoterrenos distintos.

7.3 Dieta de *C. hippurus* por temporada

El análisis por temporadas ha evidenciado en el pasado diferencias significativas en la dieta del dorado en el Pacífico Colombiano y Panamá, principalmente en la proporción de consumo de las presas principales, con mayor consumo de cefalópodos en una temporada y crustáceos en otra (Lasso y Zapata, 1999).

En el presente estudio el consumo de cefalópodos fue mayor durante la temporada fría, mientras que los crustáceos fueron más importantes durante la temporada cálida, de la misma manera que fue reportado en Mazatlán (Tripp-Valdéz *et al.*, 2010); mientras que en el área de Cabo San Lucas, lo que se registró fue una disminución en la importancia de *P. planipes* durante la temporada cálida; sin embargo se mantuvo como presa principal (Tripp-Valdéz *et al.*, 2015). Durante ambas temporadas, en el presente estudio, la dieta del dorado estuvo dominada por cuatro especies principales y se registró un ligero aumento en la riqueza de la dieta durante la temporada cálida. En este caso, utilizando ANOSIM, se encontraron diferencias significativas a pesar de que las mismas cuatro especies principales aportaron más del 50% de la dieta en ambas temporadas; algunas de las presas poco importantes no coincidieron entre las temporadas. Con respecto al análisis SIBER, se registró un traslape bajo entre temporadas, pero la forma de nicho isotópico y la dispersión de los datos fue similar,

lo que permitió inferir que los dorados no cambian la manera en la que utilizan el hábitat, consumiendo una gran cantidad de presas con desplazamientos migratorios grandes.

Los valores isotópicos durante la temporada fría fueron menos negativos en el caso del isótopo estable de carbono y más elevados en el caso del nitrógeno. Debido a que no se observó un cambio fuerte en el nivel trófico utilizando contenidos estomacales, las diferencias encontradas en la temporada fría se explicaron principalmente debido a la presencia de surgencias que aumentan la productividad primaria en la zona (Ambriz-Arreola et al., 2012). El aumento en la tasa de crecimiento del fitoplancton aumenta el fraccionamiento isotópico del isótopo de carbono, lo que resulta en valores menos negativos (Kukert y Riebesell, 1998); mientras que en el caso del nitrógeno el aumento de la actividad biológica en la superficie eleva la capa mínima de oxígeno, por lo que agua hipóxica se encuentra cerca de la superficie y enriquece la concentración del isótopo pesado de nitrógeno (^{15}N), debido al proceso de desnitrificación (Montoya, 2007).

8. CONCLUSIONES

El dorado en la costa sur de Jalisco se alimentó sobre un amplio espectro trófico pero incidió preferencialmente sobre *Argonauta* spp., *P. xantusii*, *S. crumenophthalmus* y *D. gigas*.

Se encontraron diferencias en la dieta de acuerdo a los contenidos estomacales entre las temporadas con un ligero aumento de riqueza durante la temporada cálida pero manteniendo los componentes principales de la dieta.

Se registró un aumento del espectro trófico de la especie con respecto a la talla de los dorados, lo cual fue respaldado mediante el análisis de isótopos estables.

La amplia dispersión de los valores isotópicos encontrados y la amplitud de los nichos isotópicos en los adultos se debió al amplio espectro trófico consumido y por los posibles movimientos migratorios a través de distintos isoterrenos, por lo que se sugiere que la costa sur de Jalisco funciona como un corredor migratorio entre zonas de alimentación, mientras que los juveniles fueron considerados residentes.

9. RECOMENDACIONES

Uno de los supuestos sobre los que está planteado el presente trabajo es presentar información científica que pueda ser de utilidad para el manejo pesquero. El conocer las presas sobre las que incide el dorado en la costa de Jalisco permite conocer las especies sobre las que ejerce presión por depredación y el análisis de isótopos estables muestra a través de la dieta asimilada la manera en la que este depredador utiliza el hábitat, encontrando una elevada movilidad entre distintas zonas de alimentación.

Sin embargo, se recomienda el uso de técnicas de estudio que permitan conocer con mejor detalle los movimientos migratorios del dorado a través de las costas mexicanas. Dicha información sería útil para evitar la pesca incidental en ciertas temporadas o un manejo compartido por cuotas y áreas que permita el aprovechamiento sostenible del recurso.

Se propone utilizar el análisis de isótopos estables en compuestos específicos de aminoácidos (CSIA-AA) por sus siglas en inglés. Esta técnica permite observar los cambios en la señal isotópica desde la base de la cadena trófica hasta los depredadores, en este caso el dorado, así que mediante la comparación de los isoterrenos descritos para el Pacífico Oriental Tropical y las señales de la base, el conocimiento de la tasa de recambio del tejido utilizado y la fecha de captura, es posible hacer una descripción de patrones de movimientos del stock de dorado presente en la zona. La información generada podría ser validada mediante el uso de marcas satelitales.

Por otro lado la tasa de recambio del músculo utilizado para el análisis de isótopos estables parece ser superior al tiempo de permanencia del dorado en el área de estudio, por lo que utilizar un tejido como la sangre que tiene una ventana temporal menor sería más útil para describir la ecología trófica del dorado en la costa de Jalisco a partir del análisis de isótopos estables.

10. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Palomino B., Galván-Magaña F., Abitia-Cárdenas L.A., Muhlia-Melo A.F. y Rodríguez-Romero J. 1998. Aspectos alimentarios del dorado *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 24: 253 – 265.
- Allen G.R. y Robertson D.R. 1994. Fishes of the tropical eastern Pacific. University of Hawaii Press, Honolulu. 327 pp.
- Ahmed Q. y Benzer S. 2015. Heavy metal concentration in dolphinfish (*Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758) from Karachi Harbour, Pakistan. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 2(5): 26 – 29.
- Ambriz-Arreola I., Gómez-Gutiérrez J., Franco-Gordo M.C., Lavaniegos B.E. y Godínez-Domínguez E. 2012. Influence of coastal upwelling-downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 451: 119-136.
- Amézcuca-Gómez C.A. 2007. Relaciones tróficas entre el pez vela (*Istiophorus platypterus*) y el dorado (*Coryphaena hippurus*) en la costa de los estados de Jalisco y Colima, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 93 PP.
- Araújo C.V.M. y Cedeño-Macías L.A. 2016. Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment* 541: 149 – 154.
- Arocha F., Marcano L.A., Lárez A., Altuve D. y Alió J. 1999. The fishery, demographic size structure and oocyte development of dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Venezuela and adjacent waters. *Scientia Marina* 63(3-4): 401 – 409.
- Beardsley G.L. 1967. Age, growth and reproduction of the Dolphinfish *Coryphaena hippurus*, in the strait of Florida. *Copeia* 2: 441 – 451.
- Botsford L.W., Castilla J.C. y Peterson C.H. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science* 277: 509-515.
- Brewton R.A., Ajemian M.J., Young P.C. y Stunz G.W. 2016. Feeding ecology of dolphinfish in western Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 145: 839 – 853.
- Brown S.C., Bizzarro J.J., Cailliet G.M. y Ebert D.A. 2012. Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environmental Biology of Fishes* 95(1): 3 – 20.

- Campos J.A., Segura A., Lizano O. y Madrigal E. 1993. Ecología básica de *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) y abundancia de otros grandes pelágicos en el Pacífico de Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 41(3): 783 – 790.
- Castro P. y Huber M.E. 2003. Marine Biology 4th ed. McGraw-Hill, Nueva York, 468 pp.
- Chang S. y Maunder N.M. 2012. Aging material matters in the estimation of von Bertalanffy growth parameters for dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). *Fisheries Research* 119 – 120: 147 – 153.
- Chen G., Wu Z., Gu B., Liu D., Li X. y Wang Y. 2010. Isotopic niche overlap of two planktivorous fish in the southern China. *Limnology* 12(2): 151 – 155.
- Cherel Y. y Hobson K.A. 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.
- Christensen V. y Pauly D. 1992. ECOPATH II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling* 61: 169-185.
- Clarke M.R. 1986. A handbook for the identification of cephalopod beaks. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Clarke K.R. y Warwick R.M. 2001. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Clothier, C.R. 1950. A key to some Southern California fishes based on vertebral characters. *U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin* 79: 1-83.
- Cortés 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES Journal of Marine Science* 56: 726-738.
- Day J.W. Jr., Hall C.A.S., Kemp W.M. y Yañez-Arancibia A. 1989. Estuarine Ecology. John-Wiley & Sons. E.U.A. 558 pp.
- Díaz-Jaimes P., Uribe-Alcocer M., Ortega-García S. y Jean-Dominique D. 2006. Spatial and temporal mitochondrial DNA genetic homogeneity of dolphinfish populations (*Coryphaena hippurus*) in the eastern central Pacific. *Fisheries Research* 80: 333 – 338.
- Dos Santos A.C.L., Coutinho I.M., Viana M.L., Mariana Gomes Do Rego M.G., Branco I.S.L., Hazin F.H.V. y De Oliveira P.G.V. 2014. Reproductive biology of dolphinfish, *Coryphaena hippurus* (Actinopterygii: Coryphaenidae), in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Scientia Marina* 78(3): 363 – 369.

- Estes J., Tinker A.M.T., Williams T.M. y Doak D.F. 1998. Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science* 282: 473-476.
- Farrel E.R., Boustany A.M., Halpin P.N. y Hammond D.L. 2014. Dolphinfinh (Coryphaena hippurus) distribution in relation to biophysical ocean conditions in the northwest Atlantic. *Fisheries Research* 151: 177 – 190.
- Ferry L.A. y Cailliet G.M. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? En: Makinlay D. y Shearer K. (eds) Gutshop 96': Feeding ecology and nutrition in fish symposium proceedings. American Fisheries Society, Physiology Section, Bethesda, Maryland.
- Filonov A.E., Tereshchenko I.E., Monzón C.O., González-Ruelas M.E. y Godínez-Domínguez E. 2000. Variabilidad estacional de los campos de temperatura y salinidad en la zona costera de los estados de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas* 26(2): 303–321.
- Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K., y Niem V.H. 1995a. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro Oriental, Volumen 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: Plantas e invertebrados, 1 – 646.
- Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K., y Niem V.H. 1995b. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro Oriental, Volumen 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: Vertebrados Parte 1, 670 – 1200.
- Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K., y Niem V.H. 1995c. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro Oriental, Volumen 3. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: Vertebrados Parte 2, 1201 - 1813.
- Fry B. 2006. Stable Isotope Ecology. Springer-Verlag, New York 308 pp.
- Furukawa S., Ohshimo S., Tomoe S., Shiraishi T., Nakatsuka N. y Kawabe R. 2012. Age, growth, and reproductive characteristics of dolphinfinh *Coryphaena hippurus* in the waters off west Kyushu, northern East China Sea. *Fisheries Science* 78: 1153 – 1162.
- Furukawa S., Tsuda Y., Nishihara G.N., Fujioka K., Ohshimo S., Tomoe S., Nakatsuka N. Kimura H., Aoshima T., Kanehara H., Kitagawa T., Chiang W., Nakata H. y Kawabe R. 2014. Vertical movements of pacific Bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and dolphinfinh (*Coryphaena hippurus*) relative to the thermocline in the northern East China Sea. *Fisheries Research* 149: 86 – 91.

- Gatt M., Dimech M. y Schembri P.J. 2015. Age, Growth and reproduction of *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) in Maltese waters, Central Mediterranean. *Mediterranean Marine Science* 16(2): 334 – 345.
- Gerking S.D. 1994. Feeding Ecology of fish. Academic Press, E.U.A. 416 pp.
- Gibbs R.H. y Collete B.B. 1959. On the identification, distribution and biology of the dolphins *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*. *Bulletin of Marine Sciences of the Gulf and the Caribbean*. 9(2):117-152.
- Graham B.S., Grubbs D., Holland K., Popp B.N. 2007. A rapid ontogenetic shift in the diet of juvenile yellowfin tuna from Hawaii. *Marine Biology* 150: 647 – 658.
- Graham B.S., Koch P.L., Newsome S.D., McMahon K.W. y Aurioles D. 2010. Using Isoscapes to trace movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems. En: West J., Bowen G., Dawson T. y Tu K. (eds) *Isoscapes*, Springer, Dordrecht.
- Grubbs R.D. 2010. Ontogenetic shifts in movements and habitat use. En: Carrier J.F., Musick J.A., Heithaus M.R. (eds) *Sharks and their relatives II: Biodiversity, Adaptative physiology and conservation*. CRC Press, Florida.
- Hernández-Tlapale C., Ketchum J.T., Marín-Enriquez E., Muhlia-Melo A. Movimientos horizontales y verticales del dorado (*Coryphaena hippurus*) en la bahía de La Paz, México. *Ciencias Marinas* 41(4): 283 – 295.
- Inger R., Ruxton G.D., Newton J., Colhoun K., Robinson J.A., Jackson A.L. y Bearhop S. 2006. Temporal and intrapopulation variation in prey choice of wintering geese determined by stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology* 75: 1190 – 1200.
- Iverson L.K. y Pinkas L. 1971. A pictorial guide to beak of certain eastern Pacific cephalopods. California Department of Fish and Game Fish Bulletin 152.
- Jackson A.L., Parnell A.C., Inger R. y Bearhop S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology* 80: 595-602.
- Kojadinovic J., Potier M., Le Corre M., Cosson R.P. y Bustamante P. 2007. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environmental Pollution* 146: 548 – 566.
- Kozak, E.R. 2014. Abundancia, tasa de producción de huevos, y estructura trófica de copépodos (Calanoida) en relación a la variabilidad hidrológica en la costa del Pacífico central mexicano. Tesis de Doctorado, Universidad de Guadalajara, San Patricio-Melaque, Jalisco. 99 PP.

- Kraul S. 1999. Seasonal abundance of dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Hawaii and tropical Pacific Ocean. *Scientia Marina* 63(3-4): 261 – 266.
- Kukert H. y Riebesell U. 1998. Phytoplankton carbon isotope fractionation during diatom spring bloom in a Norwegian fjord. *Marine Ecology Progress Series* 173: 123 – 137.
- Labropoulou M. y Eleftheriou A. 1997. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: importance of morphological characteristics in prey selection. *Journal of fish biology* 50: 324 – 340.
- Lasso J. y Zapata L. 1999. Fisheries and biology of *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) in the Pacific coast of Colombia and Panama. *Scientia Marina* 63 (3-4): 387 – 399.
- Logan J.M., Jardinne T.D., Miller T.J., Bunn S.E., Cunjak R.A. y Lutcavage M.E. 2008. Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: comparison of chemical extraction and modelling methods. *Journal of Animal Ecology* 77: 838 – 846.
- Lorrain A., Graham B.S., Popp B.N., Allain V., Olson R.J., Hunt B.P.V., Potier M., Fry B., Galván-Magaña F., Menkes C.E.R., Kaehler S. y Ménard F. 2015. Nitrogen isotopic baselines and implications for estimating foraging habitat and trophic position of yellowfin tuna in the Indian and Pacific Oceans. *Deep Sea Research II: Tropical Studies in Oceanography* 113: 188 – 198.
- Madigan D.J., Litvin S.Y., Popp B.N., Carlisle A.B., Farwell C.J. y Block B.A. 2012. Tissue turnover rates and isotopic trophic discrimination factors in the endothermic teleost, pacific Bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *PLoS ONE* 7 (11): e49220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049220>
- Massutí E., Deudero S., Sánchez P. y Morales-Nin B. 1998. Diet and feeding of dolphin (*Coryphaena hippurus*) in western Mediterranean waters. *Bulletin of Marine Science* 63: 329 – 341.
- Merten W., Appeldoorn R., Rivera R. y Hammond D. 2014a. Diel vertical movements of adult male dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic as determined by use of pop-up satellite archival transmitters. *Marine Biology* 161(8): 1823 – 1834.
- Merten W., Appeldoorn R. y Hammond D. 2014b. Movements of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) along the U.S. east coast as determined through mark and recapture data. *Fisheries Research* 151: 114 – 121.
- Merten W.B., Schizas N.V., Craig M.T., Appeldoorn R.S. y Hammond D.L. 2015. Genetic structure and dispersal capabilities of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic. *Fishery Bulletin* 113: 419 – 429.

- Montoya J.P. 2007. Natural abundance of ^{15}N in marine planktonic ecosystems. En: Michener R. y Lajtha K. (eds) *Stable isotopes in ecology and environmental science*. 2nd Ed. Blackwell Malden, MA, 176 – 201.
- Newsome S.D., Martínez del Río C., Bearhop S. y Phillips D.L. 2007. A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(8): 429 – 436.
- Nunes J., Freitas R., Reis-Filho J., Loiola M., y Sampaio C. 2015. Feeding behaviour of the common dolphinfish *Coryphaena hippurus*: Older fish use more complex foraging strategies. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 95(6): 1277-1284.
- Olson R.J. y Galván-Magaña F. 2002. Food habits and consumption rates of Common Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the eastern Pacific Ocean. *U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin* 100: 279 – 298.
- Oxenford H.A. 1999. Biology of the Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: a review. *Scientia Marina* 63: 277 – 301.
- Oxenford H.A. y Hunte W. 1999. Feeding habits of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the eastern Caribbean. *Scientia Marina* 63: 303-315.
- Park R. y Epstein S. 1961. Metabolic fractionation of C^{13} and C^{12} in plants. *Plant Physiology* 36: 133 – 138.
- Phillips D.L., Inger R., Bearhop S., Jackson A.L., Moore J.W., Parnell A.C., Semmens B.X. y Ward E.J. 2014. Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. *Canadian Journal of Zoology* 92: 823 – 835.
- Pielou E.C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, New York.
- Pla C. y Pujolar J.M. 1999. Genetic homogeneity of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western Mediterranean and eastern Atlantic. *Scientia Marina* 63 (3-4): 337 – 341.
- Popp B.N., Laws E.A., Bidigare R.R., Dore J.E., Hanson K.L. y Wakeham S.G. 1998. Effect of phytoplankton cell geometry on carbon isotopic fractionation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62(1): 69 – 77.
- Portela E., Beier E., Barton E.D., Castro R., Gódinez V., Palacios-Hernández E., Fiedler P.C., Sánchez-Velasco L. y Trasviña A. 2016. Water masses and circulation in the tropical pacific off Central Mexico and surrounding areas. *Journal of Physical Oceanography* 46: 3069 – 3081.
- 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. y Montaña C.G. 2007. Getting the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152: 179 – 189.
- Rajesh K.M., Rohit P. y Abdussamad E.M. 2016. Fishery, diet composition and reproductive biology of dolphinfish *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) off Karnataka, south-west coast of India. *Indian Journal of Fish* 63(4): 35 – 40.
- Rau G.H., Tetssie J.L., Rassoulzadegan F. y Fowler S.W. 1990. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationship. *Marine Ecology Progress Series* 59: 33 – 38.
- Rose C.D. y Hassler W.W. 1974. Food habits and sex ratios of dolphin *Coryphaena hippurus* captured in western Atlantic ocean off Hatteras, North Carolina. *Transactions of the American Fisheries Society* 103(1): 94 – 100.
- Ruiz-Pérez N.E., Cerdaneres-Ladrón de Guevara G., Lopez-Herrera D.L. y Altamirano-Ramírez I.R. 2016. Trophic interactions between five pelagic fish species cohabiting in the coast of Oaxaca, Mexico. *Hidrobiológica*. 26(1): 77 – 85.
- Sánchez-Cota J.B. 2013. Catálogo de esqueletos de peces óseos marinos de importancia comercial de Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S. 272 PP.
- Schwenke K.L. y Buckel J.A. 2008. Age, growth and reproduction of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) caught off the coast of North Carolina. *Fishery Bulletin* 106: 82 – 92.
- Scott I.R. 1992. A review of the Dorado fishery of Ecuador. *Inf. Int. Inst. Nac. Pesca Ecuador*. 34pp.
- Semmens B.X., Ward E.J., Moore J.W. y Darimont C.T. 2009. Quantifying Inter- and Intra-Population Niche Variability Using Hierarchical Bayesian Stable Isotope Mixing Models. *PLoS ONE* 4(7): e6187. doi:10.1371/journal.pone.0006187
- Solomon C.T., Carpenter S.R., Clayton M.K., Cole J.J., Coloso J.J., Pace M.L., VanderZanden M.J., Weidel B.C. 2011. Terrestrial, benthic, and pelagic resource use in lakes: results from three-isotope Bayesian mixing model. *Ecology* 92(5): 1115 – 1125.
- Steel R.G.D. y Torrie J.H. 1992. Principles and Procedures of Biostatistics. McGraw-Hill, New York.
- Stock B.C. y Semmens B.X. 2016a. MixSIAR GUI User Manual. Version 3.1. <https://github.com/brianstock/MixSIAR>. doi:10.5281/zenodo.56159.

- Stock B.C. y Semmens B.X. 2016b. Unifying error structures in commonly used biotracer mixing models. *Ecology* 97(10): 2562 – 2569.
- Stumpf H.G. y Legeckis R.V. 1977. Satellite observations of mesoscale eddy dynamics in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography* 7: 648 – 658.
- Torres-Rojas Y.E., Hernández-Herrera A., Ortega-García S. y Soto-Jiménez M.F. 2014. Feeding habits variability and trophic position of dolphinfish in waters south of Baja California Peninsula, Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 143: 528 – 542.
- Tripp-Valdéz A., Galván-Magaña F. y Ortega-García S. 2010. Feeding habits of Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology* 26: 578 – 582.
- Tripp-Valdéz A., Galván-Magaña F. y Ortega-García S. 2015. Food sources of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) based on stomach content and stable isotopes analyses. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 95(3): 579 – 591.
- Trull T.W. y Armand L. 2001. Insights into Southern ocean carbon export from $\delta^{13}\text{C}$ of particles and dissolved inorganic carbon during the SOIREE iron release experiment. *Deep Sea Research II* 48: 2655 – 2680.
- Varghese S.P., Somvanshi V.S., John M.E. y Dalvi R.S. 2013. Diet and consumption rates of common dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in the eastern Arabian sea. *Journal of Applied Ichthyology* 29: 1022 – 1029.
- Verheye H.M., y Richardson A.J. 1998. Long-term increase in crustacean zooplankton abundance in the southern Benguela upwelling region (1951-1996): bottom-up or top-down control? *ICES Journal of Marine Science* 55: 803-807.
- Vander-Zanden M.J. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology Oceanography* 46(8): 2061-2066.
- Vander-Zanden M.J. y Vadeboncoeur Y. 2002. Fishes as integrators of benthic and pelagic foodwebs in lakes. *Ecology* 83(8): 2152 – 2161.
- Wolff C.A. 1982. A beak key for eight eastern central Pacific cephalopod species, with relationship between their beak dimensions and size. *U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin* 80: 357-370.
- Wolff C.A. 1984. Identification and estimation of size from the beaks of eighteen species of the Pacific Ocean. NOAA Technical Report NMFS 17.

- Young J.W., Landsell M.J., Campbell R.A., Cooper S.P., Juanes F. y Guest M.A. 2010. Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia. *Marine Biology* 157: 2347 – 2368.
- Young J.W., Hunt B.P.V, Cook T.R., Llopiz J.K., Hazen E.L., Pethybridge H.R., Ceccarelli D., Lorrain A., Olson R.J., Allain V., Menkes C., Patterson T, Nicol S., Lehodey P., Kloser R.J., Arrizabalaga H. y Choy C.A. 2015. The trophodynamics of marine top predators: Current knowledge, recent advantages and challenges. *Deep Sea Research II* 113: 170 – 187.
- Zar J.H. 2010. Biostatistical analysis. 5th edition. Pearson Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Zaytsev O., Cervantes-Duarte R., Montante O., Gallegos-García A. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography* 59: 489 – 502.
- Zúñiga-Flores M.S., Ortega-García S., Rodríguez-Jaramillo M.C. y López-Martínez J. 2011. Reproductive dynamics of the common dolphinfish *Coryphaena hippurus* in the Southern Gulf of California. *Marine Biology Research* 7: 677-689.

ANEXOS

Anexo 1. Composición de la dieta de hembras de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	2.94	0.32	10.71	1.48	50.34	0.90
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	39.22	21.28	54.27	18.70	47.69	19.99
Enoploteuthidae						
<i>Abraliopsis</i> spp.	0.98	0.49	50.00	0.00	0.05	0.25
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	13.73	7.34	53.48	9.81	71.49	8.58
Cefalópodos sin identificar	3.92	2.65	67.50	2.61	66.62	2.63
Subtotal						32.35
Crustacea						
Decapoda						
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	18.63	10.15	54.51	7.84	42.07	9.00
Crustáceos sin identificar	4.90	1.85	37.69	1.59	32.51	1.72
Subtotal						10.72
Osteichthyes						
Beloniformes						
Belonidae	0.98	0.14	14.29	0.00	0.01	0.07
<i>Strongylura exilis</i>	0.98	0.33	33.33	0.00	0.04	0.16
Exocoetidae	6.86	3.10	45.24	2.22	32.36	2.66
<i>Cheilopogon furcatus</i>	0.98	0.98	100.0	0.98	100.0	0.98
<i>Cypselurus angusticeps</i>	0.98	0.33	33.33	0.68	69.47	0.50
<i>Cypselurus callopterus</i>	0.98	0.49	50.00	0.98	99.95	0.74
<i>Exocoetus monocirrus</i>	0.98	0.15	15.00	0.10	10.09	0.12
<i>Hirundichthys</i> spp.	0.98	0.05	5.00	0.00	0.29	0.03
Hemiramphidae	0.98	0.04	4.44	0.03	2.86	0.04
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	12.75	6.01	47.17	5.46	42.84	5.74
Clupeiformes						
Clupeidae	7.84	3.75	47.78	3.48	44.31	3.61

<i>Lile stolifera</i>	4.90	1.60	32.69	3.55	72.51	2.58
<i>Opisthonema libertate</i>	1.96	0.21	10.48	1.05	53.51	0.63
Perciformes						
Carangidae	0.98	0.14	14.29	0.15	14.86	0.14
<i>Carangoides vinctus</i>	4.90	1.02	20.88	0.95	19.39	0.99
<i>Caranx caballus</i>	0.98	0.07	6.67	0.02	1.76	0.04
<i>Caranx caninus</i>	3.92	1.28	32.56	0.51	13.12	0.90
<i>Selar crumenophthalmus</i>	14.71	5.72	38.89	10.58	71.92	8.15
<i>Selene</i> spp.	0.98	0.85	86.67	0.80	81.12	0.82
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	0.98	0.08	7.69	0.02	1.64	0.05
<i>Coryphaena hippurus</i>	5.88	1.94	33.04	1.89	32.16	1.92
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	5.88	1.78	30.23	0.80	13.65	1.29
Sciaenidae						
<i>Cynoscion</i> spp.	1.96	0.41	20.83	0.25	12.84	0.33
Scombridae	4.90	0.86	17.64	0.36	7.27	0.61
<i>Auxis</i> spp.	0.98	0.10	10.00	0.00	0.12	0.05
<i>Euthynnus lineatus</i>	1.96	0.45	22.94	0.22	11.18	0.33
<i>Katsuwonus pelamis</i>	0.98	0.11	11.11	0.02	1.58	0.06
<i>Scomberomorus sierra</i>	0.98	0.49	50.00	0.49	50.00	0.49
<i>Thunnus</i> spp.	1.96	0.69	35.00	0.00	0.20	0.35
<i>Thunnus albacares</i>	1.96	0.24	12.18	0.24	12.05	0.24
Tetraodontiformes						
Balistidae						
<i>Balistes polylepis</i>	6.86	2.38	34.66	2.15	31.30	2.26
<i>Canthidermis maculata</i>	3.92	1.81	46.18	3.82	97.35	2.81
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	4.90	1.18	24.03	0.92	18.81	1.05
<i>Diodon holocanthus</i>	1.96	0.98	50.00	0.55	28.06	0.77
<i>Diodon hystrix</i>	2.94	0.38	13.03	0.58	19.67	0.48
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	7.84	1.53	19.55	2.33	29.73	1.93
Pez especie 1	0.98	0.33	33.33	0.56	57.14	0.44
Peces sin identificar	29.41	13.94	47.40	11.24	38.21	12.59
Subtotal						56.93
TOTAL						100.0

Anexo 2. Composición de la dieta de machos de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	2.22	0.38	17.14	1.57	70.45	0.97
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	48.89	30.22	61.81	24.05	49.19	27.13
Enoploteuthidae						
<i>Abraliopsis</i> spp.	1.11	0.11	10.00	0.00	0.02	0.06
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	14.44	3.76	26.01	8.02	55.55	5.89
Cefalópodos sin identificar	4.44	2.90	65.28	3.30	74.22	3.10
Subtotal						37.15
Crustacea						
Decapoda						
Munididae						
<i>Pleuroncodes planipes</i>	1.11	0.22	20.00	0.63	57.14	0.43
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	25.56	13.44	52.61	12.25	47.94	12.85
Crustáceos sin identificar	3.33	1.04	31.11	1.32	39.54	1.18
Subtotal						14.46
Osteichthyes						
Aulopiformes						
Synodontidae						
<i>Synodus</i> spp.	1.11	0.14	12.50	0.00	0.17	0.07
Beloniformes						
Belonidae	1.11	0.56	50.00	0.56	50.00	0.56
Exocoetidae	3.33	1.89	56.67	1.98	59.50	1.94
<i>Cypselurus angusticeps</i>	1.11	0.08	7.41	0.10	9.06	0.09
Hemiramphidae						
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	2.22	0.57	25.67	0.20	8.78	0.38
Clupeiformes						
Clupeidae	4.44	1.93	43.47	0.71	15.88	1.32

<i>Opisthonema libertate</i>	3.33	0.65	19.50	1.24	37.31	0.95
Gadiformes						
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros bathymaster</i>	1.11	0.10	9.30	0.01	0.51	0.05
Perciformes						
Carangidae	3.33	0.80	24.07	0.65	19.58	0.73
<i>Carangoides vinctus</i>	3.33	1.18	35.42	1.31	39.27	1.24
<i>Caranx caballus</i>	4.44	1.20	27.08	3.20	71.98	2.20
<i>Caranx caninus</i>	4.44	1.47	33.05	1.28	28.83	1.38
<i>Selar crumenophthalmus</i>	13.33	3.82	28.69	8.92	66.90	6.37
<i>Selene peruviana</i>	1.11	0.06	5.56	0.64	57.75	0.35
Chaetodontidae						
<i>Chaetodon humeralis</i>	1.11	0.09	7.69	0.04	3.57	0.06
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	3.33	0.96	28.70	0.67	20.07	0.81
<i>Coryphaena hippurus</i>	2.22	0.53	23.81	0.60	27.02	0.56
Echeneidae						
<i>Remora</i> spp.	1.11	0.37	33.33	1.01	90.48	0.69
Ephippidae						
<i>Chaetodipterus zonatus</i>	1.11	0.99	88.89	0.10	9.09	0.54
Gerreidae						
<i>Eugerres axillaris</i>	1.11	0.37	33.33	0.03	2.41	0.20
Haemulidae						
<i>Haemulopsis</i> spp.	2.22	0.53	23.81	0.47	21.36	0.50
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	4.44	1.86	41.94	1.39	31.27	1.63
Sciaenidae						
<i>Cynoscion</i> spp.	1.11	0.22	20.00	0.02	1.52	0.12
<i>Larimus acclivis</i>	1.11	0.56	50.00	1.06	95.16	0.81
Scombridae	3.33	1.27	37.96	0.51	15.22	0.89
<i>Auxis</i> spp.	2.22	0.46	20.83	0.44	19.95	0.45
<i>Euthynnus lineatus</i>	2.22	1.21	54.29	0.01	0.23	0.61
<i>Katsuwonus pelamis</i>	2.22	1.01	45.56	0.20	9.00	0.61
<i>Thunnus albacares</i>	2.22	0.58	26.32	0.58	26.10	0.58
Zoarcidae	1.11	0.42	37.50	0.00	0.00	0.21
Sygnathiformes						
Fistulariidae						

<i>Fistularia commersonii</i>	1.11	0.11	10.00	0.25	22.70	0.18
Tetraodontiformes						
Balistidae	4.44	0.98	22.08	1.61	36.20	1.30
<i>Balistes polylepis</i>	5.56	1.95	35.15	1.64	29.35	1.79
<i>Canthidermis maculata</i>	2.22	0.90	40.28	1.16	52.36	1.03
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	6.67	3.03	45.50	2.65	39.73	2.84
<i>Diodon holocanthus</i>	3.33	0.40	11.85	1.64	49.06	1.02
<i>Diodon hystrix</i>	1.11	0.56	50.00	0.82	73.99	0.69
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	1.11	0.03	2.33	0.02	2.13	0.02
Peces sin identificar	28.89	11.32	39.17	8.12	28.10	9.72
Subtotal						45.48
Materia orgánica no identificada	4.44	2.78	62.50	3.04	68.41	2.91
TOTAL						100.0

Anexo 3. Composición de la dieta de juveniles de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1.09	0.43	20.00	0.00	0.01	0.22
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	30.43	38.74	63.64	37.28	61.25	38.01
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	3.26	1.12	17.22	2.50	38.26	1.81
Cefalópodos sin identificar	1.09	0.43	20.00	0.58	26.47	0.51
Subtotal						40.55
Crustacea						
Decapoda						
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	6.52	4.42	33.89	3.03	23.27	3.73
Crustáceos sin identificar	3.26	2.54	38.89	2.07	31.67	2.30

Subtotal	6.03					
Osteichthyes						
Exocoetidae	1.09	0.65	30.00	0.05	2.35	0.35
Hemiramphidae						
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	1.09	2.17	100.0	2.17	100.0	2.17
Clupeiformes						
Clupeidae	2.17	3.99	91.67	3.26	75.00	3.62
<i>Opisthonema libertate</i>	1.09	0.14	6.67	1.58	72.73	0.86
Perciformes						
Carangidae	1.09	0.72	33.33	0.01	0.33	0.37
<i>Carangoides vinctus</i>	1.09	0.14	6.25	1.25	57.41	0.69
<i>Caranx caballus</i>	2.17	1.23	28.33	1.19	27.44	1.21
<i>Caranx caninus</i>	1.09	0.43	20.00	0.06	2.98	0.25
<i>Selar crumenophthalmus</i>	11.96	11.33	47.36	18.04	75.46	14.68
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena hippurus</i>	2.17	1.04	23.81	0.90	20.66	0.97
Haemulidae						
<i>Haemulopsis</i> spp.	1.09	0.72	33.33	0.63	28.91	0.68
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	2.17	1.45	33.33	0.87	20.01	1.16
Scombridae						
<i>Katsuwonus pelamis</i>	1.09	0.24	11.11	0.03	1.58	0.14
<i>Thunnus albacares</i>	1.09	1.09	50.00	1.02	46.88	1.05
Tetraodontiformes						
Balistidae						
<i>Balistes polylepis</i>	3.26	3.04	46.67	2.81	43.11	2.93
<i>Canthidermis maculata</i>	1.09	1.93	88.89	2.14	98.42	2.04
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	2.17	2.36	54.17	2.34	53.92	2.35
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	3.26	1.63	24.95	2.73	41.86	2.18
Peces sin identificar	16.30	18.01	55.23	13.45	41.42	15.73
Subtotal	53.42					
TOTAL	100.0					

Anexo 4. Composición de la dieta de adultos de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-

específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1.38	0.32	11.61	2.01	72.97	1.17
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	19.66	21.84	55.56	16.25	41.34	19.05
Enoploteuthidae						
<i>Abraliopsis</i> spp.	0.69	0.41	30.00	0.00	0.03	0.21
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	8.28	7.14	43.13	11.09	67.01	9.11
Cefalópodos sin identificar	2.41	3.52	73.02	3.70	76.70	3.61
Subtotal						33.15
Crustacea						
Decapoda						
Munididae						
<i>Pleuroncodes planipes</i>	0.34	0.14	20.00	0.39	57.14	0.27
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	12.76	14.24	55.80	12.75	49.95	13.49
Crustáceos sin identificar	1.72	1.14	33.02	1.28	37.23	1.21
Subtotal						14.97
Osteichthyes						
Aulopiformes						
Synodontidae						
<i>Synodus</i> spp.	0.34	0.09	12.50	0.00	0.17	0.04
Beloniformes						
Belonidae	0.69	0.44	32.14	0.34	25.01	0.39
<i>Strongylura exilis</i>	0.34	0.23	33.33	0.00	0.04	0.12
Exocoetidae	3.10	2.95	47.57	2.27	36.55	2.61
<i>Cheilopogon furcatus</i>	0.34	0.69	100.0	0.69	100.0	0.69
<i>Cypselurus angusticeps</i>	0.69	0.28	20.37	0.54	39.26	0.41
<i>Cypselurus callopterus</i>	0.34	0.34	50.00	0.69	99.95	0.52
<i>Exocoetus monocirrhus</i>	0.34	0.10	15.00	0.07	10.09	0.09
<i>Hirundichthys</i> spp.	0.34	0.03	5.00	0.00	0.29	0.02
Hemiramphidae	0.34	0.03	4.44	0.02	2.86	0.03

<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	4.83	3.65	37.77	3.09	32.02	3.37
Clupeiformes						
Clupeidae	3.45	2.57	37.28	1.85	26.80	2.21
<i>Lile stolifera</i>	1.72	1.13	32.69	2.50	72.51	1.81
<i>Opisthonema libertate</i>	1.38	0.50	18.20	1.01	36.55	0.76
Gadiformes						
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros bathymaster</i>	0.34	0.06	9.30	0.00	0.51	0.03
Perciformes						
Carangidae	1.03	0.37	17.72	0.51	24.42	0.44
<i>Carangoides vinctus</i>	2.76	1.49	26.94	1.13	20.56	1.31
<i>Caranx caballus</i>	1.03	0.40	19.44	1.62	78.72	1.01
<i>Caranx caninus</i>	2.41	1.67	34.64	1.14	23.55	1.40
<i>Selar crumenophthalmus</i>	5.52	2.80	25.41	7.25	65.72	5.03
<i>Selene</i> spp.	0.34	0.60	86.67	0.56	81.12	0.58
<i>Selene peruviana</i>	0.34	0.04	5.56	0.40	57.75	0.22
Chaetodontidae						
<i>Chaetodon humeralis</i>	0.34	0.05	7.69	0.02	3.57	0.04
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	1.38	0.65	23.45	0.43	15.46	0.54
<i>Coryphaena hippurus</i>	2.07	1.37	33.04	1.42	34.29	1.39
Echeneidae						
<i>Remora</i> spp.	0.34	0.23	33.33	0.62	90.48	0.43
Ephippidae						
<i>Chaetodipterus zonatus</i>	0.34	0.61	88.89	0.06	9.09	0.34
Gerreidae						
<i>Eugerres axillaris</i>	0.34	0.23	33.33	0.02	2.41	0.12
Haemulidae						
<i>Haemulopsis</i> spp.	0.34	0.10	14.29	0.10	13.81	0.10
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	2.76	1.95	35.31	1.15	20.87	1.55
Sciaenidae						
<i>Cynoscion</i> spp.	1.03	0.43	20.56	0.19	9.07	0.31
<i>Larimus acclivis</i>	0.34	0.34	50.00	0.66	95.16	0.50
Scombridae	2.76	1.39	25.26	0.57	10.25	0.98
<i>Auxis</i> spp.	1.03	0.36	17.22	0.28	13.34	0.32
<i>Euthynnus lineatus</i>	1.38	1.07	38.61	0.16	5.71	0.61

<i>Katsuwonus pelamis</i>	0.69	0.63	45.56	0.12	9.00	0.38
<i>Scomberomorus sierra</i>	0.34	0.34	50.00	0.34	50.00	0.34
<i>Thunnus</i> spp.	0.69	0.48	35.00	0.00	0.20	0.24
<i>Thunnus albacares</i>	1.03	0.19	9.00	0.20	9.81	0.19
Zoarcidae	0.34	0.26	37.50	0.00	0.00	0.13
Sygnathiformes						
Fistulariidae						
<i>Fistularia commersonii</i>	0.34	0.07	10.00	0.16	22.70	0.11
Tetraodontiformes						
Balistidae	1.38	0.61	22.08	1.00	36.20	0.80
<i>Balistes polylepis</i>	3.10	1.92	30.93	1.63	26.33	1.78
<i>Canthidermis maculata</i>	1.72	1.22	35.28	2.73	79.14	1.97
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	3.10	1.33	21.46	0.91	14.71	1.12
<i>Diodon holocanthus</i>	1.72	0.93	27.11	1.40	40.66	1.17
<i>Diodon hystrix</i>	1.38	0.61	22.27	0.92	33.25	0.77
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	2.07	0.58	13.98	0.79	19.07	0.68
Pez Especie 1	0.34	0.23	33.33	0.39	57.14	0.31
Peces sin identificar	14.14	10.87	38.44	8.68	30.69	9.77
Subtotal						50.07
Materia orgánica no identificada	1.38	1.72	62.50	1.89	68.41	1.81
TOTAL						100.0

Anexo 5. Composición de la dieta en temporada fría de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Ancistrocheiridae						
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	5.21	0.69	13.29	3.04	58.38	1.87
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	48.96	28.11	57.42	26.42	53.96	27.27
Enoploteuthidae						

<i>Abraliopsis</i> spp.	1.04	0.10	10.00	0.00	0.02	0.05
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	18.75	7.35	39.21	12.19	64.99	9.77
Cefalópodos sin identificar	5.21	2.93	56.22	2.78	53.30	2.85
Subtotal						41.84
Crustacea						
Decapoda						
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	12.50	6.13	49.04	2.69	21.56	4.41
Crustáceos sin identificar	6.25	1.55	24.74	1.30	20.87	1.43
Subtotal						5.84
Osteichthyes						
Aulopiformes						
Synodontidae						
<i>Synodus</i> spp.	1.04	0.13	12.50	0.00	0.17	0.07
Beloniformes						
Belonidae						
<i>Strongylura exilis</i>	1.04	1.04	100.0	1.04	100.0	1.04
Exocoetidae	8.33	3.51	42.08	2.71	32.57	3.11
<i>Exocoetus monocirrus</i>	1.04	0.16	15.00	0.11	10.09	0.13
<i>Hirundichthys</i> spp.	1.04	0.05	5.00	0.00	0.29	0.03
Hemiramphidae						
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	13.54	5.88	43.42	4.76	35.17	5.32
Clupeiformes						
Clupeidae	12.50	5.79	46.34	4.35	34.84	5.07
<i>Lile stolidera</i>	4.17	1.49	35.86	3.66	87.86	2.58
Perciformes						
Carangidae						
<i>Carangoides vinctus</i>	5.21	0.94	18.13	1.23	23.64	1.09
<i>Caranx caballus</i>	2.08	0.38	18.06	1.75	84.07	1.06
<i>Selar crumenophthalmus</i>	13.54	4.29	31.67	9.52	70.29	6.90
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	3.13	0.40	12.75	0.47	14.92	0.43
<i>Coryphaena hippurus</i>	3.13	0.63	20.04	0.81	25.93	0.72
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	3.13	1.20	38.48	0.10	3.27	0.65
Sciaenidae						

<i>Cynoscion</i> spp.	3.13	0.64	20.56	0.28	9.07	0.46
Scombridae	7.29	1.24	16.97	0.40	5.50	0.82
<i>Auxis</i> spp.	2.08	0.28	13.33	0.35	16.71	0.31
<i>Euthynnus lineatus</i>	4.17	1.61	38.61	0.24	5.71	0.92
<i>Thunnus</i> spp.	2.08	0.73	35.00	0.00	0.20	0.37
<i>Thunnus albacares</i>	2.08	0.25	12.18	0.25	12.05	0.25
Zoarcidae	1.04	0.39	37.50	0.00	0.00	0.20
Sygnathiformes						
Fistulariidae						
<i>Fistularia commersonii</i>	1.04	0.10	10.00	0.24	22.70	0.17
Tetraodontiformes						
Balistidae	1.04	0.12	11.11	0.02	1.77	0.07
<i>Balistes polylepis</i>	6.25	2.13	34.07	1.16	18.50	1.64
<i>Canthidermis maculata</i>	1.04	0.13	12.50	1.01	97.44	0.57
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	10.42	2.99	28.72	2.47	23.70	2.73
<i>Diodon holocanthus</i>	5.21	1.41	27.11	2.12	40.66	1.76
<i>Diodon hystrix</i>	4.17	0.93	22.27	1.39	33.25	1.16
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	5.21	0.69	13.28	1.92	36.87	1.31
Peces sin identificar	29.17	13.08	44.85	8.86	30.39	10.97
Subtotal						51.02
Materia orgánica no identificada	2.08	1.22	58.33	1.39	66.65	1.30
TOTAL						100.0

Anexo 6. Composición de la dieta en temporada cálida de *C. hippurus* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%P), porcentaje de peso presa-específico (%PP) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Especie presa	%FO	%N	%PN	%P	%PP	%PSIRI
Mollusca						
Cephalopoda						
Argonautidae						
<i>Argonauta</i> spp.	40.59	25.25	62.19	18.17	44.76	21.71
Enoploteuthidae						

<i>Abraliopsis</i> spp.	0.99	0.50	50.00	0.00	0.05	0.25
Ommastrephidae						
<i>Dosidicus gigas</i>	8.91	3.77	42.33	5.48	61.45	4.62
Cefalópodos sin identificar	2.97	2.48	83.33	2.94	98.96	2.71
Subtotal						29.29
Crustacea						
Decapoda						
Munididae						
<i>Pleuroncodes planipes</i>	0.99	0.20	20.00	0.57	57.14	0.38
Portunidae						
<i>Portunus xantusii</i>	30.69	16.63	54.18	17.12	58.78	16.87
Crustáceos sin identificar	1.98	1.32	66.67	1.54	77.96	1.43
Subtotal						18.68
Osteichthyes						
Beloniformes						
Belonidae	1.98	0.64	32.14	0.50	25.01	0.57
Exocoetidae	1.98	1.20	60.71	0.70	35.37	0.95
<i>Cheilopogon furcatus</i>	0.99	0.99	100.0	0.99	100.0	0.99
<i>Cypselurus angusticeps</i>	1.98	0.40	20.37	0.78	39.26	0.59
<i>Cypselurus callopterus</i>	0.99	0.50	50.00	0.99	99.95	0.74
Hemiramphidae	0.99	0.04	4.44	0.03	2.86	0.04
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	1.98	0.64	32.14	0.90	45.52	0.77
Clupeiformes						
Clupeidae						
<i>Lile stolifera</i>	0.99	0.20	20.00	0.11	11.11	0.15
<i>Opisthonema libertate</i>	4.95	0.79	15.89	2.17	43.79	1.48
Gadiformes						
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros bathymaster</i>	0.99	0.09	9.30	0.01	0.51	0.05
Perciformes						
Carangidae	3.96	0.86	21.63	0.73	18.40	0.79
<i>Carangoides vinctus</i>	3.96	1.30	32.78	1.03	25.91	1.16
<i>Caranx caballus</i>	2.97	0.78	26.30	1.20	40.52	0.99
<i>Caranx caninus</i>	8.91	3.09	34.72	1.90	21.32	2.50
<i>Selar crumenophthalmus</i>	13.86	5.11	36.84	9.58	69.12	7.34
<i>Selene</i> spp.	0.99	0.86	86.67	0.80	81.12	0.83
<i>Selene brevoortii</i>	1.98	1.65	83.33	1.92	97.13	1.79

<i>Selene peruviana</i>	0.99	0.06	5.56	0.57	57.75	0.31
Chaetodontidae						
<i>Chaetodon humeralis</i>	0.99	0.08	7.69	0.04	3.57	0.06
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena</i> spp.	0.99	0.55	55.56	0.17	17.07	0.36
<i>Coryphaena hippurus</i>	4.95	1.84	37.14	1.68	33.85	1.76
Echeneidae						
<i>Remora</i> spp.	0.99	0.33	33.33	0.90	90.48	0.61
Ephippidae						
<i>Chaetodipterus zonatus</i>	0.99	0.88	88.89	0.09	9.09	0.49
Gerreidae						
<i>Eugerres axillaris</i>	0.99	0.33	33.33	0.02	2.41	0.18
Haemulidae						
<i>Haemulopsis</i> spp.	1.98	0.47	23.81	0.42	21.36	0.45
Nematistidae						
<i>Nematistius pectoralis</i>	8.91	3.14	35.25	2.76	30.98	2.95
Sciaenidae						
<i>Larimus acclivis</i>	0.99	0.50	50.00	0.94	95.16	0.72
Scombridae	0.99	0.83	83.33	0.43	43.48	0.63
<i>Auxis</i> spp.	0.99	0.25	25.00	0.07	6.60	0.16
<i>Katsuwonus pelamis</i>	2.97	1.01	34.07	0.19	6.53	0.60
<i>Scomberomorus sierra</i>	0.99	0.50	50.00	0.50	50.00	0.50
<i>Thunnus albacares</i>	1.98	0.52	25.32	0.52	26.10	0.52
Tetraodontiformes						
Balistidae	2.97	0.76	25.74	1.42	47.67	1.09
<i>Balistes polylepis</i>	5.94	2.12	35.65	2.53	42.55	2.32
<i>Canthidermis maculata</i>	4.95	2.50	50.56	3.93	79.34	3.22
Diodontidae						
<i>Diodon</i> spp.	0.99	0.14	14.29	0.03	3.23	0.09
Tetraodontidae						
<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	3.96	0.91	23.08	0.55	13.91	0.73
Pez Especie 1	0.99	0.33	33.33	0.57	57.14	0.45
Peces sin identificar	27.72	11.37	41.03	10.16	36.64	10.77
Subtotal						50.6
Materia orgánica no identificada	1.98	1.32	66.67	1.54	77.96	1.43
TOTAL						100.0

Anexo 7. Valores isotópicos utilizados para el modelo de mezcla por especie. * Dos muestras tomadas de distintos lugares del manto del mismo organismo

Especie	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	DE $\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	DE $\delta^{13}\text{C}$	n
<i>Argonauta</i> spp.	14.34	1.28	-18.81	1.45	11
<i>S. crumenophthalmus</i>	14.57	0.68	-16.45	0.96	3
<i>D. gigas</i>	12.99	0.77	-17.65	1.28	2*
<i>P. xantusii</i>	13.21	1.19	-19.45	1.28	5

Anexo 8. Valores isotópicos utilizados para el modelo de mezcla por grupos taxonómicos, promedio y desviación estándar para cada isótopo, mostrando las especies que componen cada categoría. *Muestras tomadas de distintos sitios del manto del mismo organismo ** El grupo crustáceos está compuesto únicamente por *P. xantusii*.

Especie	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	DE $\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	DE $\delta^{13}\text{C}$	n
Peces	14.3	0.68	-18.64	1.44	13
<i>S. crumenophthalmus</i>	14.57	0.68	-16.45	0.96	3
<i>B. polylepis</i>	14.53	0.28	-17.77	0.07	2
<i>C. caballus</i>	14.25	0.58	-16.33	0.36	2
<i>C. maculata</i>	14.23	-	-16.54	-	1
<i>Cynoscion</i> spp.	12.41	-	-16.11	-	1
<i>L. stolifera</i>	14.48	0.15	-16.28	0.25	4
Cefalópodos	14.14	1.3	-18.64	1.44	13
<i>Argonauta</i> spp.	14.34	1.28	-18.81	1.45	11
<i>D. gigas</i>	12.99	0.77	-17.65	1.28	2*
Crustáceos**	13.21	1.19	-19.45	1.28	5