



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN
BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio* (JORDAN
Y GILBERT, 1882), EN DOS ÁREAS DEL
PACÍFICO MEXICANO.

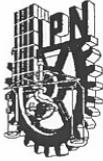
TESIS

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

PRESENTA

MAURICIO CONDE MORENO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2009



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 28 del mes de Mayo del 2009 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 de grado titulada:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio*
(JORDAN Y GILBERT, 1882), EN DOS ÁREAS DEL PACÍFICO MEXICANO"

Presentada por el alumno:

CONDE Apellido paterno	MORENO materno	MAURICIO nombre(s)
		Con registro: A 0 7 0 3 0 6

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

PRESIDENTE

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

SECRETARIO

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

SEGUNDO VOCAL

DR. SERGIO AGUÍÑIGA GARCÍA

TERCER VOCAL

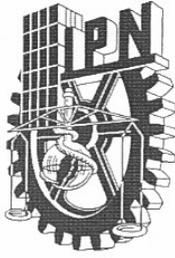
DR. SETH DARNABY NEWSOME

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 10 del mes Junio del año 2009, el (la) que suscribe BIOL. MAR. MAURICIO CONDE MORENO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070306 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 cede los derechos del trabajo titulado: "ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBRUÓN BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio* (JORDÁN Y GILBERT, 1882), EN DOS ÁREAS DEL PCÍFICO MEXICANO" 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: mauriciocondem@gmail.com galvan.felipe@gmail.com
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. MAR. MAURICIO CONDE MORENO
nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres Miguel y Tere
a mis hermanos Miguel y Marcela

AGRADECMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN por haberme permitido realizar mis estudios de maestría. Agradezco también al CONACYT por el apoyo económico otorgado a través de su programa de becas de maestría.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por su tiempo, sus consejos, su paciencia y su apoyo para realizar esta investigación, pero sobre todo le agradezco enormemente el haberme dado la oportunidad de trabajar una vez más con estos fascinantes organismos que son los tiburones, gracias doc.

A los miembros de mi comité revisor: Dr. Sergio Aguñiga García, Dr. Agustín Hernández Herrera, Dr. Seth Newsome, Dra. Laura Sánchez Velasco, Dra. Diane Gendron y Dr. René Funes por todos sus comentarios y aportaciones tan valiosas que sirvieron para enriquecer este trabajo.

A todos los que colaboraron al desarrollo de esta tesis: a Maribel, Vanesa, Yassir y Beto en los muestreos; a María José Muratalla y María José Alderete por proporcionarme los datos necesarios para los análisis de contenidos estomacales; a Fabiola, Yassir, Polo, y Jimena por sus valiosos comentarios y recomendaciones. A los pescadores de “Playa Sur”, Mazatlán y “Chipehua”, Oaxaca.

A mi segunda familia aquí en La Paz: Ruth, Sarai, Bárbara, Fabiola, Emanuel, Jimena, Polo, y Angie por todos los buenos momentos, viajes, ratos de ocio, pláticas y sobre todo por estar ahí. A mis amigos que por estar lejos no puedo ver tan seguido pero también han sido parte importante de mi vida durante estos años de estudio: Lula, Ana, Margot, Chema y a mis amigos de toda la vida: “los poquitos”.

A mi familia: mis padres y hermanos que sin su apoyo incondicional y buenos deseos no me sería posible realizar todo esto, gracias por estar ahí y enseñarme tanto con su ejemplo.

ÍNDICE

I. ÍNDICE DE FIGURAS	III
II. ÍNDICE DE TABLAS	V
III. GLOSARIO.....	VI
IV. RESUMEN.....	VIII
V. ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. OBJETIVO GENERAL.....	7
4.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
5. ÁREA DE ESTUDIO	7
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
6.1 TRABAJO EN CAMPO	10
6.2 TRABAJO DE LABORATORIO	11
6.2.1 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS PARA LOS ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO Y NITRÓGENO.....	11
6.3 TRABAJO DE ESCRITORIO.....	12
6.3.1 ANÁLISIS DE DATOS DE CONTENIDOS ESTOMACALES.....	12
6.3.1.1 MÉTODOS CUANTITATIVOS.....	13
6.3.1.2 ÍNDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA.....	14
6.3.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES ISOTÓPICOS.....	15
6.3.3 AMPLITUD TRÓFICA.....	15
6.3.4 TRASLAPO TRÓFICO.....	16
6.3.5 NIVEL TRÓFICO.....	18
7. RESULTADOS	19
7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MUESTREO.....	19
7.2 DESCRIPCIÓN DEL ESPECTRO TRÓFICO.....	21
7.2.1 ESPECTRO TRÓFICO EN EL SURESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.....	21

7.2.1.1 ESPECTRO TRÓFICO GENERAL EN EL SURESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.....	22
7.2.1.2 ESPECTRO TRÓFICO POR SEXOS Y ESTADIO DE MADUREZ.....	24
7.2.2 ESPECTRO TRÓFICO EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC.....	26
7.2.2.1 ESPECTRO TRÓFICO GENERAL EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC.....	27
7.2.2.2 ESPECTRO TRÓFICO POR SEXO Y ESTADIO DE MADUREZ.....	29
7.3 ANÁLISIS DE ISOTOPOS ESTABLES DE CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) Y NITRÓGENO ($\delta^{15}\text{N}$)	31
7.4 AMPLITUD TRÓFICA.....	36
7.5 TRASLAPO TRÓFICO.....	37
7.6 NIVEL TRÓFICO.....	40
8. DISCUSIÓN.....	41
8.1 Isótopos estables de carbono y nitrógeno: variación por tejido y zona.....	42
8.2 Ecología trófica: variación por sexo y estadio de madurez.....	46
8.3 Ecología trófica: variación por zona de estudio.....	50
9. CONCLUSIONES.....	54
10. RECOMENDACIONES.....	55
11. LITERATURA CITADA.....	56
12. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Rhizoprionodon longurio</i> , tomado de Compagno (1984).....	1
Figura 2. Distribución de <i>Rhizoprionodon longurio</i> tomado de Compagno (1984).....	2
Figura 3. Área de estudio en la zona del Golfo de Tehuantepec.....	8
Figura 4. Área de estudio en el sureste del Golfo de California.....	9
Figura 5. Estructura de tallas (LT) de <i>R. longurio</i> por sexo capturado en ambas zonas de estudio.....	19
Figura 6. Temporalidad de <i>R. longurio</i> por sexo y estadio de madurez capturados en Mazatlán, Sinaloa.....	20
Figura 7. Temporalidad de <i>R. longurio</i> por sexo y estadio de madurez capturados en ensenada Chipehua, Oaxaca.	20
Figura 8. Número de estómagos muestreados, vacíos y con alimento, por sexo y estadio de madurez en el sureste del Golfo de California.....	21
Figura 9. Curva acumulativa de especies presa para <i>R. longurio</i> en el SGC.	22
Figura 10. Espectro trófico de <i>R. longurio</i> en el SGC. A) Métodos de frecuencia de ocurrencia (%FA), gravimétrico (%G) y numérico (%N) y B) Índice de importancia relativa (%IIR).....	23
Figura 11. Porcentaje del índice de importancia relativa de <i>R. longurio</i> por sexo y estadio de madurez en el sureste del SGC, por grupo taxonómico, de las cinco principales especies presa y por preferencia de hábitat de las presas.....	25
Figura 12. Número de estómagos muestreados, vacíos y con alimento, por sexo y estadio de madurez.....	26
Figura 13. Curva acumulativa de especies presa para <i>R. longurio</i> en el Golfo de Tehuantepec.....	27
Figura 14. Espectro trófico de <i>R. longurio</i> en el área del GT. A) Métodos de frecuencia de ocurrencia (%FA), gravimétrico (%G) y numérico (%N) y B) Índice de importancia relativa (%IIR).....	28

Figura 15. Porcentaje del índice de importancia relativa de <i>R. longurio</i> por sexo y estadio de madurez en el Golfo de Tehuantepec, por grupo taxonómico, de las cinco principales especies presa y por preferencia de hábitat de las presas.....	30
Figura 16. Relación entre C/N y la razón de isótopos estables de carbono en el músculo A) e hígado B), las líneas negras marcan el valor teórico de proteína pura.	32
Figura 17. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo e hígado de <i>R. longurio</i> por zona.....	33
Figura 18. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ a través de los meses en músculo y de $\delta^{15}\text{N}$ en hígado de <i>R. longurio</i> . A) SGC y B) GT.....	35
Figura 19. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo de <i>R. longurio</i> , por sexos y estadios de madurez en cada zona. Línea punteada: GT, línea continua: SGC. Hembras juveniles (♀J), hembras adultas (♀A), machos juveniles (♂J) y machos adultos (♂A).....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Muestras procesadas de músculo e hígado de <i>R. longurio</i> por sexo y talla para cada una de las zonas de estudio.	31
Tabla 2. Valores de Amplitud trófica (Bi) de acuerdo al índice de Levin en el SGC y el GT por sexos y estadios de madurez.	36
Tabla 3. Valores de variancia de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo de <i>R. longurio</i> en el SGC y el GT por sexos y estadios de madurez.	36
Tabla 4. Valores del índice de traslapo trófico Morisita-Horn ($C\lambda$) y del análisis de similitud (ANOSIM) entre sexos y estadios de madurez de <i>R. longurio</i> en la zona del SGC y el GT.....	38
Tabla 5. Valores del nivel trófico calculado utilizando contenidos estomacales y los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ tomando como base de la cadena trófica el material orgánico particulado (Thunell y Kepple, 2004; Aguíñiga-García <i>et. al.</i> , 2007).....	40
Tabla 6. Estimación por tejido de los días para el 50% y el 95% de equilibrio sobre la nueva dieta de $\delta^{15}\text{N}$ para la raya <i>Potamotrygon motoro</i> entre las fases de absorción y eliminación (MacNeil <i>et. al.</i> , 2006).....	42

GLOSARIO

Amplitud trófica: Selección de un grupo de presas, con respecto a un número potencial de estas (Gerking, 1994).

Bentónico: Perteneciente o relativo al bentos: conjunto de organismos que viven en los fondos acuáticos (Real Academia de la Lengua española).

Costero: Relativo a zonas cercanas a las costas, específicamente referente a las aguas que bañan toda la plataforma continental (Real Academia de la Lengua española).

Depredador especialista: Depredadores que seleccionan presas para su consumo (Calow y Tytler, 1985; Gerking, 1994).

Depredador generalista: Especies que no presentan selectividad por una presa en particular (Calow y Tytler, 1985).

Enriquecimiento isotópico: Diferencia entre la razón isotópica de un animal y su dieta. Los isótopos más pesados de un elemento se incrementan en abundancia en relación a los isótopos ligeros debido a los procesos de discriminación isotópica (Fry, 1984).

Epipelágico: De la superficie hasta los 200 m aproximadamente. La zona donde hay suficiente luz para realizar la fotosíntesis.

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

Hábito alimentario: Estudio detallado que provee una descripción del alimento que es ingerido recientemente por los organismos con el fin de comprender la interacción ecológica entre el depredador y la presa, por lo que es preciso conocer la cantidad de alimento ingerido y la frecuencia alimenticia del depredador (Harvey y Kitchel, 2000; Carrier *et al* 2004).

Isótopo: Átomos con el mismo número de protones y electrones pero diferente número de neutrones (Jardine *et al* 2003).

Isótopo estable: Un isótopo no radiactivo que no emite partículas de desintegración espontáneamente. Los isótopos estables no tienen riesgo fisiológico (Real Academia de la Lengua española).

Nivel trófico: Posición de los organismos en la cadena alimenticia, determinado por la transferencia de energía de un nivel a otro (Lindeman, 1942; Gerking, 1994).

Oceánico: Referente al océano, específicamente a aguas abiertas (Real Academia de la Lengua española).

Pelágico: Perteneciente o relativo al piélago. Dicho de un animal o de un vegetal marino: Que viven en zonas alejadas de la costa, a diferencia de los neríticos (Real Academia de la Lengua española).

Traslapo trófico: Medida que indica que tan similar es el alimento entre depredadores, sexo o tamaño.

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

RESUMEN

El tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio*, es una especie costera del Océano Pacífico oriental y de importancia en las capturas comerciales de México. Los estudios de alimentación para esta especie se han hecho analizando los contenidos estomacales únicamente en México, y presentan diferencias en varios aspectos de sus hábitos alimentarios a través del tiempo y por zona. Estos estudios aportan información del alimento consumido en el momento y a una escala local, por lo que en el presente estudio se determinó la ecología trófica de *R. longurio* comparando ésta en dos áreas del Océano Pacífico mexicano: Golfo de Tehuantepec (GT) y sureste del Golfo de California (SGC), utilizando información de los contenidos estomacales e isótopos estables de Carbono y Nitrógeno en músculo e hígado del tiburón los cuales aportaron información acerca del alimento que esta asimilando el tiburón, y así determinar la ecología trófica de la especie. Aplicando el índice de Levin, y con base en los valores de nivel trófico y $\delta^{13}\text{C}$ se concluyó que a nivel general *R. longurio* es un consumidor terciario (nivel trófico: 4), y un depredador oportunista que se alimenta sobre la plataforma continental. En el GT se identificaron 37 especies presa, siendo el pez bentónico *Rynchoconger nitens* (59%) la presa más importante de acuerdo con el índice de importancia relativa (IIR). En el SGC se identificaron 20 especies presa, las especies con los mayores porcentajes del IIR fueron peces tanto epipelágicos como bentónicos: *Opisthopterus dovii* (24%), familia Ophichthidae (18%), Bothidae (17%), y cefalópodos: *Argonauta* spp. (15%) y *Loliolopsis diomedea* (12.3%). Aplicando el Índice de Morisita-Horn, el análisis de similitud (ANOSIM) y comparando los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, para determinar el traslapo trófico por sexo y estadios de madurez, se observó que en el GT no hay variación en la alimentación de *R. longurio* por efecto de sexo o estadio de madurez. Mientras que en el SGC se encontraron diferencias significativas entre las dietas por estadio de madurez, los tiburones juveniles consumen más peces; mientras que los adultos se alimentan en mayor proporción de cefalópodos. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron significativamente diferentes (Mann-Whitney $\delta^{15}\text{N}$ U=22 p=0.00) entre áreas, mayores en el SGC (20.6‰±0.8) que en el GT (17.1‰±0.5). Estas diferencias evidencian la posibilidad de que los tiburones *R. longurio* en el SGC y en el GT pertenezcan a poblaciones o stocks diferentes.

ABSTRACT

The Pacific sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio*, is a coastal species from the eastern Pacific Ocean and it is important in the artisanal fisheries in Mexico. Feeding studies on this species in Mexico, have shown differences in some aspects of its food habits; these studies were conducted by analyzing stomach contents, which give information about the recent prey eaten; however, it is not well known what is the real assimilated food and the generalized feeding habits for this species, therefore, in this study, the trophic ecology of *R. longurio* was determined based on two sampling areas of the Mexican Pacific Ocean: Gulf of Tehuantepec (GT) and the southeastern Gulf of California (SGC), using the analysis of stable isotopes of Carbon and Nitrogen in muscle and liver of the shark and the information of stomach contents. For the GT, we identified 37 prey species. The Index of Relative Importance (% IRI) showed that the main prey in this area were the benthic fish: the congrid *Rynchoconger nitens* (59%). In the SGC, 20 prey species were identified. The %IRI in this area showed that the main prey of *R. longurio* are both, pelagic and benthic fishes: *Opisthopterus dovii* (24%), family Ophichthidae (18%), Bothidae (17%), and cephalopods: *Argonauta* spp. (15%) and *Loliolopsis diomedea* (12.3%). Trophic width index, prey species variety and the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values showed that this shark is an opportunistic predator. In the area of the GT, the trophic overlap index, analysis of similarity (ANOSIM) and the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values, indicated a high diet overlap by sex and maturity stage, which means that all sharpnose sharks feed in the same areas. On the other hand, in the SGC, the Morisita-Horn index indicated that there is a high diet overlap between sexes, however, the ANOSIM and $\delta^{15}\text{N}$ values showed that there were significant differences between the diets of juvenile males and adults, males and females. In juveniles, the main prey were fish, while for adults, they were cephalopods. The trophic level was determined, considering the shark as a tertiary consumer (4.1-4.2) in both geographic areas. The $\delta^{15}\text{N}$ values were significantly different ($p < 0.05$) between areas, higher in SGC ($20.6\text{‰} \pm 0.8$) than in the GT ($17.1\text{‰} \pm 0.5$). These differences might be because these sharks from the two areas of study do not migrate between them, which means that they are different populations or stocks.

1. INTRODUCCIÓN

Los tiburones son organismos que forman parte importante de las pesquerías costeras en el mundo (Castillo-Géniz, 1990), y son considerados depredadores tope en los ecosistemas marinos y costeros (Cortés, 1999). Su historia de vida los hace vulnerables a la sobreexplotación debido a los largos períodos de gestación, baja fecundidad, crecimiento lento y prolongada longevidad (Pratt y Casey, 1990; Bonfil, 1994). El tiburón bironche (*Rhizoprionodon longurio*) (Fig. 1) es una especie perteneciente a la familia Carcharhinidae, el cual es ampliamente explotado comercialmente en México desde el Golfo de California hasta Puerto Madero, Chiapas.

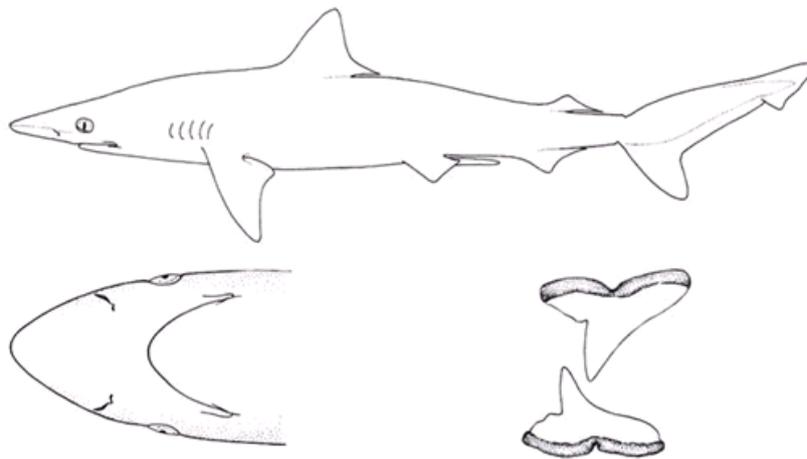


Figura 1. *Rhizoprionodon longurio*, tomado de Compagno (1984).

Esta especie se encuentra únicamente en el Océano Pacífico oriental, desde el sur de California hasta Perú (Fig. 2). Es una especie costera, que se encuentra desde la zona intermareal hasta por lo menos 27 metros de profundidad. Es una especie vivípara placentaria, la talla de primera madurez para machos es a los 80 cm LT y para las hembras a los 82 cm LT (Mejía-Salazar, 2007). El tamaño máximo que alcanza es hasta 110 cm, posiblemente 154 cm; mientras que su tamaño al nacer es de 33-34 cm LT (Compagno, 1984).



Figura 2. Distribución de *Rhizoprionodon longurio* tomado de Compagno (1984).

En cuanto a la alimentación de *R. longurio*, esta información presenta diferencias en algunos aspectos dependiendo el estudio que se revise; es considerado un depredador piscívoro, oportunista (Castillo-Géniz, 1990), generalista (Alatorre-Ramírez, 2003) o especialista (Alderete-Macal, 2007; Muratalla-Torres, 2008), cuya dieta, de acuerdo con Márquez-Farías *et al.* (2004) y Alderete-Macal (2007), está compuesta principalmente por especies de hábitos demersales: peces teleósteos primordialmente, crustáceos, cefalópodos y gasterópodos entre otros; mientras que Alatorre-Ramírez (2003) menciona que las presas principales son especies epipelágicas: peces teleósteos y algunos cefalópodos y Muratalla-Torres (2008) menciona que de acuerdo al hábitat de las presas, el tiburón bironche se alimenta principalmente en el bentos, realizando migraciones hacia la superficie para alimentarse de organismos epipelágicos.

La dinámica trófica, es un aspecto importante de la biología de los peces, particularmente para aquellos que son más vulnerables a ser objeto de explotación. La tendencia actual en el manejo de pesquerías indica un cambio hacia un manejo basado en el ecosistema, y como resultado, la información de las interacciones tróficas se ha vuelto muy importante para los administradores pesqueros (Sainsbury *et al.* 2000; FAO, 2003). Las dietas de los peces representan una integración de varios componentes ecológicos que incluyen comportamiento, condición, uso del

hábitat, toma de energía y las interacciones interespecíficas e intraespecíficas. El conocimiento de los flujos de energía es necesario para el entendimiento de las relaciones tróficas y la estimación de los requerimientos de las diferentes poblaciones de peces (Brodeur y Perci, 1992), incluidos los tiburones. Los tiburones son considerados depredadores tope, y por lo tanto pueden tener un rol importante en la regulación de los ecosistemas marinos hacia los niveles tróficos más bajos y en dar forma a la estructura de la comunidad (Scharf *et. al.* 1998; Cortés 1999); así, su extracción de los ecosistemas podría, alterar la abundancia de especies de niveles tróficos inferiores (Jennings & Kaiser 1998).

Todos los trabajos revisados que incluyen aspectos sobre la alimentación de *R. longurio*, están basados en análisis de contenidos estomacales. Aunque éste método ha aportado información considerable acerca de la ecología trófica de muchos organismos, solo representa el alimento consumido recientemente y presenta problemas de identificación de las presas debido a la elevada tasa de digestión (Pinnegar *et. al.*, 2002), pérdida de presas por regurgitación durante la captura y la dificultad de obtener muestras con suficiente frecuencia para llegar a conclusiones significativas (Vander Zanden *et. al.*, 1997). Actualmente el uso de técnicas bioquímicas como el análisis de las proporciones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en los tejidos, permiten hacer inferencias acerca del alimento asimilado en un periodo de tiempo más grande, dependiendo de la tasa de recambio del tejido que se analice. Esta técnica trabaja bajo el supuesto que la composición isotópica en los tejidos de un organismo está dada por su dieta, gracias a la acumulación del isótopo estable más pesado (^{13}C y ^{15}N) y la excreción diferencial del más ligero (^{12}C y ^{14}N) por el organismo, lo que da el enriquecimiento en la razón isotópica del depredador con respecto a la presa (DeNiro y Epstein, 1981; Peterson y Fry, 1987; Post, 2002). Las proporciones de $\delta^{15}\text{N}$ predicen por lo general el nivel trófico relativo (Michener y Schell, 1994; Pinnegar *et al.*, 2002) debido a que existe un enriquecimiento significativo de éste entre el organismo y su dieta (alrededor de 2-4‰; mientras que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son útiles como evaluadores de fuentes de productividad primaria en los sistemas marinos. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son más positivos en cadenas tróficas costeras/bentónicas y más negativos en los sistemas basados principalmente en plancton.

En el presente estudio se comparó la ecología trófica de *R. longurio* en dos localidades del Pacífico mexicano: sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT) analizando tanto los resultados obtenidos mediante el análisis de contenidos estomacales como con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en dos tejidos con tasas de recambio diferentes (hígado= aproximadamente entre 30 y 166 días y músculo de 3 meses a más de 1 año (MacNeil *et. al.*, 2006; Seth Newsome, Carnegie Institute, com. pers.).

2. ANTECEDENTES

Estudios sobre alimentación de *Rhizoprionodon longurio*:

Castillo-Géniz (1990), menciona que esta especie de tiburón en la zona de Mazatlán, Sinaloa es un depredador oportunista de peces que habitan sobre el fondo de la plataforma continental, pudiendo ser uno de los principales reguladores de las poblaciones de peces demersales de la zona. Menciona también que de acuerdo a la hora de colocación de las cibras y su recobre, probablemente la alimentación se realiza preferentemente durante la noche.

Cortés (1999), determinó para *R. longurio* un nivel trófico de 4.2 basado en la información existente de contenidos estomacales.

Alatorre-Ramírez (2003), analizó el contenido estomacal de *R. longurio* en las costas de Mazatlán, Sinaloa y menciona que éste tiburón es un depredador generalista, piscívoro, que se alimenta principalmente de especies epipelágicas, en su mayoría peces de la familia Scombridae, siendo *Scomber japonicus* la presa principal, seguido por el cefalópodo *Loliolopsis diomedea*. Menciona que las dietas de los tiburones por estadios de madurez y sexos son diferentes.

En la misma zona, Márquez-Farías *et al.* (2004), con base en análisis de contenidos estomacales, encontraron que la dieta de este tiburón estaba compuesta de peces demersales, como serránidos del género *Diplectrum*, cefalópodos y crustáceos. Menciona también que el tamaño de muestra utilizado para el análisis de contenido estomacal en este estudio no fue suficiente para generalizar acerca de los hábitos alimentarios de *R. longurio*.

En Salina Cruz, Oaxaca, Alderete-Macal (2007), estudio los hábitos alimentarios de *R. longurio* mediante contenidos estomacales y concluye que *R. longurio* es un depredador especialista, que generalmente se alimenta de fauna demersal en fondos suaves arenosos y lodosos dentro de los primeros 100 metros de profundidad y de acuerdo con el comportamiento de sus presas principales, propone que se alimenta durante la noche. Menciona que *R. longurio* es principalmente piscívoro, pues se alimenta en su mayoría de peces teleósteos. La presa principal fue el congriado *Rhynchoconger nitens*. Menciona que existe un traslape alto en las dietas de los tiburones por estadios de madurez y por sexos.

Estudios de alimentación de elasmobranquios que utilizan la técnica de isotopos estables de carbono y nitrógeno:

Estrada *et al.* (2003) estimaron las posiciones tróficas para el tiburón azul *Prionace glauca* (3.8), tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (4.0), tiburón zorro *Alopias vulpinus* (4.5), y el tiburón peregrino *Cetorhinus maximus* (3.1) a través de las señales isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en la zona del Atlántico noroccidental. Mencionan que no encontraron diferencias estadísticas entre las posiciones tróficas estimadas en este estudio y las derivadas de análisis publicados de contenidos estomacales de estas especies, indicando que el trabajo con isótopos estables puede ser usado para la estimación de nivel trófico en tiburones. Encontraron que la variación en la manera de forrajear de los tiburones mako se reflejó en los valores tanto de $\delta^{15}\text{N}$ como de $\delta^{13}\text{C}$, los organismos que forrajean mas en zonas costeras presentaron los valores más enriquecidos ($\delta^{15}\text{N}=15.2\text{‰}$ y $\delta^{13}\text{C}=-15.9\text{‰}$) y los que forrajean más hacia mar abierto, presentaron valores menos enriquecidos ($\delta^{15}\text{N}=12.2\text{‰}$ y $\delta^{13}\text{C}=-17.1\text{‰}$).

MacNeil *et al.* (2005), compararon los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre el hígado, músculo y cartílago en *Prionace glauca*, *Isurus oxyrinchus*, y *Alopias vulpinus* en el Atlántico noroccidental y demostraron como el muestreo de multiples tejidos pueden mostrar aspectos de la alimentación que serían imperceptibles si se muestreara sólo uno de ellos. Específicamente encontraron la evidencia de un cambio en la dieta en el tiburón mako de cefalópodos a un pez, *Pomatomus saltatrix*, en primavera y encontraron que el tiburón azul y el zorro presentan dietas consistentes a lo largo del año. Concluyeron que la consistencia observada entre los valores de los isótopos en

los tejidos implicaba que los peces se encontraban en un estado constante con los valores isotópicos de isótopos de su dieta.

Domi *et. al.* (2005) analizaron los valores de isótopos estables de carbono y nitrógeno de cinco especies comerciales de tiburones del Mar Celta: el cazón dientuso ó aceitoso *Galeorhinus galeus*, tiburón boca negra *Galeus melastomus*, tiburón mamón *Mustelus asterias*, tiburón espinoso *Squalus acanthias* y el tiburón pintarroja *Scyliorhinus canicula*. Mencionan que los valores isotópicos sugieren que las cinco especies de tiburones ocupan nichos tróficos diferentes; mientras que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron útiles para la diferenciación de niveles tróficos de las especies, siendo los cazones dientusos los que se alimentan en el nivel trófico más alto (16.7‰) que las otras especies, reflejando su dieta piscívora. Los valores más bajos (11.6‰), correspondientes al tiburón espinoso, se pueden explicar, entre otros aspectos, a su comportamiento migratorio o a su preferencia por presas de niveles tróficos más bajos.

3. JUSTIFICACIÓN

Rhizoprionodon longurio es un tiburón importante en la pesca artesanal del Pacífico mexicano, específicamente en las áreas de estudio del presente trabajo. Los tiburones juegan un papel importante en la cadena alimentaria marina. Considerando el efecto de cascada trófica en las interacciones ecológicas (Brooks y Dodson, 1965), los depredadores pueden afectar la estructura y función de una comunidad (Cortés, 1999; Stevens *et. al.* 2000). El tiburón bironche puede estar jugando un papel importante como depredador en la estructuración de las comunidades costeras en el sureste del Golfo de California y en el Golfo de Tehuantepec, por lo que es importante que se genere información acerca de su ecología trófica para ayudar en el monitoreo de sus poblaciones y sus presas.

Por otro lado, la mayoría de los estudios tróficos en peces se realiza a una escala local y rara vez consideran el área de distribución de los organismos. En consecuencia, las conclusiones acerca de los patrones de alimentación pueden reflejar las condiciones locales más que los hábitos alimentarios generalizados de la especie (Barrientos *et. al.* 2006). La mayoría de los estudios sobre la alimentación de

R. longurio se han realizado en el SGC, y sólo uno en el GT, por lo que en el presente estudio se analizó la ecología trófica de *R. longurio* en dos áreas geográficas distantes del Pacífico mexicano, cuya información de hábitos alimentarios mediante el análisis de contenidos estomacales es diferente, por lo que se compararon entre sí y se complementaron con los análisis de isotopos estables de carbono y nitrógeno, los cuáles aportan información del alimento asimilado por el tiburón.

4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la ecología trófica del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio*, en dos zonas del Océano Pacífico mexicano.

Objetivos particulares

Identificar la composición específica del espectro trófico de *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec y sureste del Golfo de California y su variación por estadio de madurez sexual y sexo mediante el análisis de contenidos estomacales.

Medir la variación de los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de *R. longurio* por zona y tejido.

Determinar la amplitud trófica para ambas zonas y su variación por estadio de madurez sexual y sexo.

Calcular el traslape trófico entre juveniles y adultos, hembras y machos de ambas zona de estudio

Determinar el nivel trófico de *R. longurio* para ambas zonas, y su variación por estadio de madurez y sexo.

5. ÁREA DE ESTUDIO

Los muestreos en el Golfo de Tehuantepec se realizaron en un campo pesquero cercano a Salina Cruz, llamado “Chipehua” (Fig. 3). Este campo pesquero

se encuentra a 140 km al sureste de Huatulco y a 50 km al noroeste de Salina Cruz. Se localiza entre los 16° 02' 36" N y 95° 22' 49" O.

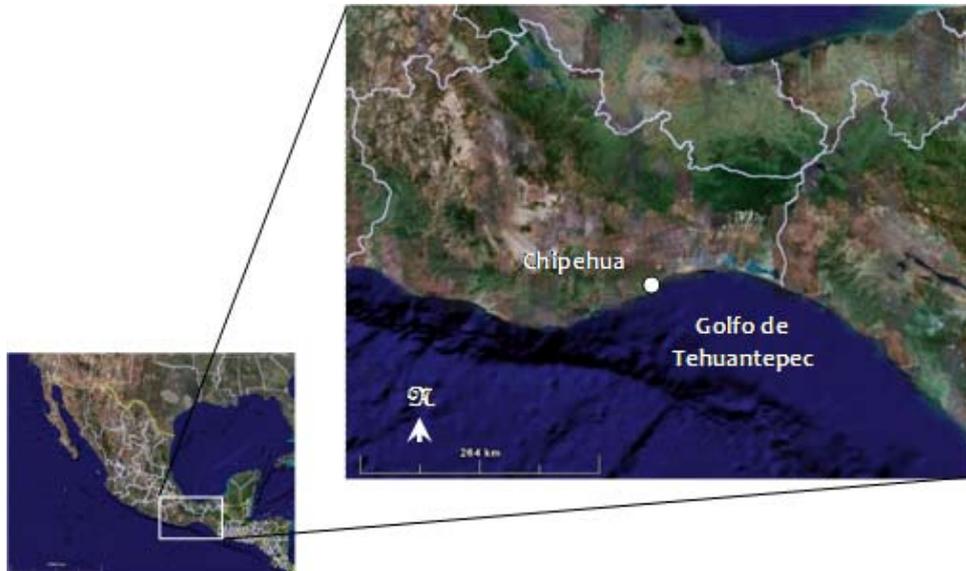


Figura 3. Área de estudio en la zona del Golfo de Tehuantepec.

El Golfo de Tehuantepec es una extensa entrada de la costa situada entre Puerto Ángel y la Barra del Río Suchiate. La temperatura promedio del agua superficial varía entre 25 y 30 °C. Es considerado como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Oriental tropical con altos niveles de productividad primaria, derivado del desarrollo invernal de surgencias costeras y fuerte mezcla vertical por vientos perpendiculares a la costa, proceso que provee nutrientes a la capa superficial (Trasviña *et. al.*, 1995). Estos vientos denominados “nortes” o “tehuanos”, son vientos fríos e intensos procedentes del norte, aumentando su efecto de octubre a abril. El Golfo de Tehuantepec se ve influenciado principalmente por la Corriente de Costa Rica la cual es impulsada por la Contracorriente Norecuatorial, que entra al golfo con dirección norte. Sin embargo, las corrientes dentro del golfo son muy irregulares, los vientos durante la época de los “nortes”, impulsan el agua superficial al suroeste y hacia fuera del golfo. Cuando los vientos del norte se reducen o cesan durante el verano y otoño, las características normales de la circulación se restablecen. La plataforma continental en la porción occidental del

Golfo de Tehuantepec es muy estrecha; mientras que en la parte oriental es más extensa (Ramos y Ramos, 2006).

La segunda localidad de muestreo fue el campamento pesquero “Playa Sur” (Fig. 4), lugar donde se desembarca principalmente la captura de tiburón y cazón de la flota escamera artesanal de Mazatlán ($23^{\circ}11' 00''$ N y $106^{\circ} 26' 30''$ O). El área de captura se localiza en el sureste del Golfo de California en el noroeste de México en la zona sur del estado de Sinaloa, desde la localidad de Mármol ubicada a los $23^{\circ} 13' 00''$ N y $106^{\circ} 30' 00''$ O hasta la boca de Chametla a los $23^{\circ} 45' 25''$ N y $106^{\circ} 05' 15''$ O.

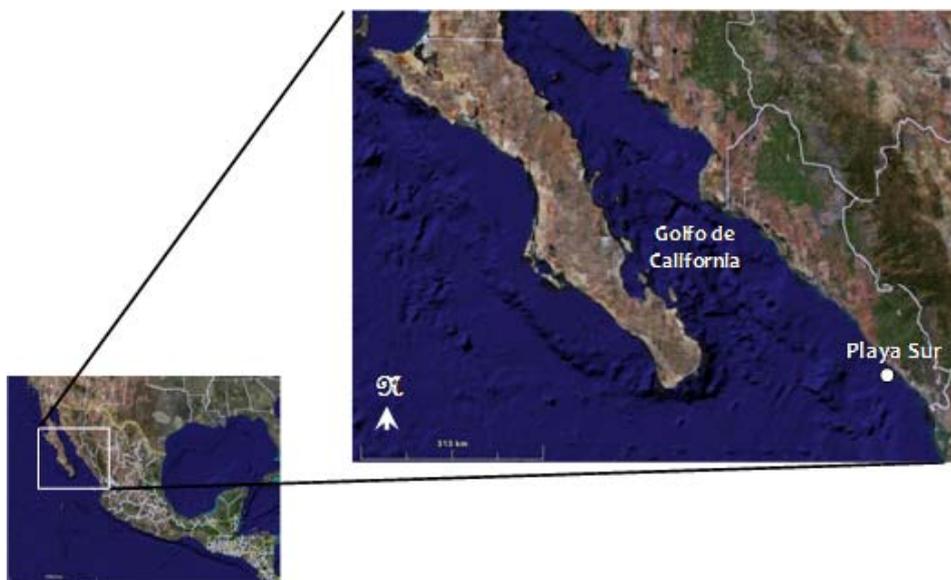


Figura 4. Área de estudio en el sureste del Golfo de California.

El área se caracteriza por una amplia plataforma de leve declive y fondos blandos de origen terrígeno y litoral de playa. El litoral se caracteriza por la presencia de importantes sistemas lagunares así como de una gran cantidad de esteros y marismas. La costa del sur de Sinaloa esta influenciada por ocho ríos principales que afectan los procesos del litoral, aportando sedimentos, materia orgánica y nutrientes (Amezcuca, 1985). Durante los meses fríos en la zona de Mazatlán (Noviembre a Marzo), hay una influencia de la Corriente de California; mientras que durante la

época más cálida (Junio-Septiembre) la zona se ve influenciada por la Corriente Occidental Mexicana (Kessler, 2006).

Los vientos que prevalecen en el Golfo de California son predominantemente del noreste en el invierno y primavera, y del suroeste durante el verano y otoño. Durante el invierno, los vientos del noreste impulsan las aguas superficiales hacia la costa peninsular, causando áreas de surgencias muy intensas en la costa oriental del golfo; durante el verano sucede lo inverso pero con menor intensidad. En la región sur del Golfo de California se presenta una estructura oceanográfica muy compleja y dinámica, ya que en esta convergen tres masas de agua con características diferentes en cuanto a temperatura y salinidad se refiere: la masa de agua caliente del Golfo de California, de alta salinidad, la corriente de agua cálida del Pacífico Ecuatorial, de moderada salinidad y la Corriente de California, de agua fría y baja salinidad (Álvarez-Borrego, 1983).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Trabajo de campo

Para la obtención de los contenidos estomacales y biopsias de músculo e hígado de *R. longurio*, se realizaron muestreos semanales para el Golfo de Tehuantepec (GT) en el campo pesquero de Chipehua, Oax., de septiembre de 2004 hasta mayo de 2006 mientras que en el sureste del Golfo de California (SGC), en el campo pesquero de Playa Sur, Mazatlán, Sin., de octubre de 2003 a junio de 2004. En el primero se utiliza tanto el palangre como red de fondo de luz de malla de 4 pulgadas, donde, aparentemente, no hay diferencias en la vulnerabilidad del tiburón por sexo o talla a ser capturado por ambos artes de pesca, aunque se utiliza más la red de fondo; mientras que en Mazatlán, Sin., la pesquería se realiza por medio de palangres de fondo con anzuelo del 2.5.

A cada tiburón se le midió la longitud total (LT), que va de la punta del hocico hasta la punta distal del lóbulo superior de la aleta caudal, se determinó el sexo y una primera aproximación de la madurez sexual. Para este estudio se colectaron

muestras del músculo de la parte anterodorsal del cuerpo, entre la primer y tercer abertura branquial, (aproximadamente 5 g) y de la parte posterior del hígado, así como el contenido estomacal de cada individuo (en caso de presentarlo) para la obtención de las presas. Las muestras fueron transportadas en hielo al Laboratorio de Ecología de peces de CICIMAR en La Paz, Baja California Sur para ser congeladas.

6.2 Trabajo de laboratorio

6.2.1 Procesamiento de muestras para los análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno

Las biopsias de músculo e hígado del tiburón, una vez descongeladas, se colocaron en viales previamente lavados y esterilizados para realizar la extracción de humedad mediante el uso de un desecador, a una temperatura de 60° C durante 24 horas para los músculos y 48 para los hígados. Debido a que los lípidos en los tejidos están enriquecidos en el isótopo más ligero del C (^{12}C) y esto afecta los valores finales de $\delta^{13}\text{C}$ sesgándolos hacia lo negativo, se realizó una extracción de éstos en ambos tejidos; el objetivo fundamental de éste pretratamiento es demostrar que las muestras son bioquímicamente similares; es decir, con una razón C/N más o menos constante. En el músculo se utilizó la técnica descrita por Paré *et al.* (1994) y Renoe (1994), la cual consiste en colocar cada muestra con 25 mililitros de solución cloroformo-metanol 1:1 con temperatura y presión controlada en un horno de microondas (Microwave Assisted Extraction-MAE modelo MARS5 FALCON) durante 20 minutos. Debido a que el hígado contiene una mayor cantidad de lípidos que el músculo y se ha observado en otros trabajos que el tratamiento que se aplica al músculo no es efectivo en el hígado (Torres-Rojas, 2003), para las muestras de hígado se repitió el proceso tres veces en una solución modificada: cloroformo-metanol 2:1. Este tratamiento no afecta de manera significativa los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos (Pinnegar y Polunin, 1999; Sotiropoulos y Wassenaar, 2004).

La muestra, libre de lípidos, se secó y molió en un mortero de ágata, posteriormente se pesó en una balanza analítica 0.0005 gr para ser colocados en una cápsula de estaño de 8 x 5 mm y enviados al Carnegie Institution for Science en

Washington, E.U.A para la determinación de las abundancias de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), los cuales fueron medidos en un espectrómetro de masa de razones isotópicas (EMRI) (20-20 espectrómetro de masas, PDZEuropa, Sandbach, UK). La combustión de las muestras a CO_2 (bióxido de carbono) y N_2 (nitrógeno) a $1000\text{ }^\circ\text{C}$ se realizó en un analizador elemental en línea (PDZEuropa ANCA-GSL), donde los gases son separados en una columna Carbosieve G (Supelco, Bellefonte, PA, USA) en interfase con el espectrómetro de masas de razones isotópicas antes de introducirlo al espectrómetro de masas. Las razones de isótopos se compararon con gases estándares (1.1237×10^{-2} para el $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y 3.677×10^{-3} para $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), estos son inyectados directamente en el espectrómetro de masas antes y después de que se calcularon los valores promedios de las muestras, así como las de los estándares. El gas estándar utilizado fue acetanilide, y se corrieron siete de éste por cada 43 muestras de tiburón. Los valores de δ se calcularon mediante la fórmula estándar:

$$\delta X(\text{‰}) = \delta[(R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000$$

Se aplicó una corrección de tipo linear usando los valores aceptados del gas estándar y se aplicaron estas correcciones, que fueron menores a 0.2-0.4‰, a todos los valores desconocidos (del tiburón) de cada corrida.

6.3 Trabajo de escritorio

6.3.1 Análisis de datos de contenidos estomacales

La información de los contenidos estomacales se tomó de Alderete-Macal (2007) para el GT y Muratalla-Torres (2007) para el SGC y en la información del proyecto: "Caracterización de la pesquería de tiburones desembarcados en Salina Cruz, Oaxaca" y "Biología de tiburones del Golfo de California".

Se realizó una reevaluación de los datos, agrupándolos en cuatro grupos para cada zona: machos juveniles, hembras juveniles, machos adultos, y hembras adultas. Se considera a los organismos con 81 cm LT o menos como juveniles y a los que midieron 82 cm TL o más como adultos (Mejía-Salazar, 2007). También se

aplicaron los métodos cuantitativos (método numérico, gravimétrico y de frecuencia de aparición) y el índice de importancia relativa de las presas (IRI).

Para determinar si el número de estómagos es suficiente para representar la dieta del tiburón, se realizó una curva acumulativa de especies presa con la ayuda del programa Estimate 7.0, en esta curva todos los estómagos y las presas que contenían (exceptuando la categoría de peces no identificados) se sometieron a 500 permutaciones, los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Clench (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003) para determinar los parámetros de coeficiente de determinación (R^2), el cuál cuando presenta valores cercanos a 1 indica un buen ajuste al modelo y los parámetros de la función, a y b, para así calcular el valor de la pendiente de la curva, el cual, para la ecuación de Clench, y empleando como unidad de esfuerzo individuos o registros de una base de datos, el inventario puede considerarse suficientemente fiable, a pesar de ser aún incompleto, cuando la pendiente se hace aproximadamente $<0,1$.

6.3.1.1 Métodos cuantitativos

La composición cuantitativa de la dieta fue analizada usando los siguientes métodos o índices: Numérico (%N), Gravimétrico (%W), y Frecuencia de Aparición (%FA), dichos métodos fueron incorporados en el Índice de Importancia Relativa (IIR).

Método Numérico.- Registra el número de individuos de cada categoría alimenticia (especie) presente en cada estómago. Si las categorías alimenticias, se encuentran en un estado de digestión avanzado, el número de peces se registra con base a sus restos, el número de crustáceos máximo se basó en el número pareado de ojos, quelas o tórax (impar) (Cabrera 2003). Para los cefalópodos se contaron el número pareado de picos superiores e inferiores. Las desventajas de este método son que proporciona una separación por importancia, ya que enfatiza la importancia de las presas pequeñas en números grandes. La precisión de este método depende mucho del estado de digestión en el que se encuentren las presas, ya que quizá se podría estar subestimado o sobre estimando la muestra. Fórmula:

$$N=(n/NT)*100$$

Donde: **n**= sumatoria del número de cada una de las presas. **NT**= sumatoria del número de todos los componentes alimenticios.

Método Gravimétrico.- Se aplicó para conocer la importancia en peso de las presas. Esta metodología favorece a las presas grandes que tardan más en ser digeridas que a las pequeñas (Cabrera 2003).

$$G=(p/PT)*100$$

Donde: **p**= peso (g) de un determinado tipo de presa. **PT**= peso (g) de la totalidad de especies presa.

Método de Frecuencia de Aparición.- Registra la frecuencia de una presa determinada en los estómagos con alimento y provee de un análisis cualitativo general del espectro alimenticio del organismo (Cabrera 2003).

$$FA=(n/NE)*100$$

Donde: **n**= número de estómagos que tienen el mismo componente alimenticio **NE**= número total de estómagos con alimento.

6.3.1.2 Índice de Importancia Relativa.

Este índice describe la importancia de cada una de las presas en la dieta del tiburón horma, ya que incorpora la biomasa, cantidad y aparición de cada presa en una sola medición (Pinkas *et al.*, 1971), su formulación es la siguiente:

$$\%IIR= \{(N + G) FA\} * 100$$

Donde: **N**= número, **G**= peso, **FA**= frecuencia de aparición.

6.3.2 Análisis de los valores isotópicos

Para confirmar que se haya realizado una extracción exhaustiva de lípidos como indicador de homogeneidad bioquímica de las muestras, se graficó la relación C/N contra los valores de $\delta^{13}\text{C}$. De manera teórica se espera que al hacer una extracción exhaustiva de lípidos los valores de la relación C/N oscilen alrededor de 2.9 que representan proteínas puras (McConnaughey y McRoy, 1979). En caso de que la extracción de lípidos no haya sido exhaustiva, los valores de la relación C/N tenderían a ser mayores conforme más negativos sean los valores de $\delta^{13}\text{C}$, debido a que el tejido estaría enriquecido en ^{12}C presente en los lípidos.

Se compararon gráficamente los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para observar su comportamiento entre tejidos y a través del tiempo, especialmente en el GT ya que en esta zona se muestreó durante un año y medio abarcando dos temporadas diferentes, se aplicó una prueba de normalidad: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks w test y de homogeneidad de varianzas: Prueba de Bartlett para determinar si los datos cumplían con los supuestos estadísticos; en caso de que los datos cumplieran con los supuestos, se aplicó una prueba de ANOVA de una vía, en caso contrario se utilizó una prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Los análisis se llevaron a cabo con ayuda del programa Statistica V 7.0. También se compararon los valores por sexo y estadio de madurez, sin embargo esta comparación forma parte de la determinación del traslapo trófico por lo que se detallará más adelante en ese apartado.

6.3.3 Amplitud trófica

La amplitud del nicho trófico mediante los contenidos estomacales fue calculada utilizando el índice de Levin, el cual se calcula de la siguiente forma:

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

Donde: B_i = Índice de Levin, P_{ij} = proporción de cada una de las presas que conforman la dieta del depredador, n = número total de presas.

Los valores de este índice, están comprendidos de 0 a 1. Valores menores a 0.6 indican que la dieta está dominada por pocas presas; por lo tanto sería un

depredador especialista, mientras que valores mayores a 0.6 indican dietas de depredadores generalistas.

Utilizando los valores de isótopos estables de C y N, se realizó una comparación de la amplitud de nicho trófico utilizando la variancia de los valores por sexo y estadio de madurez, bajo el supuesto de que al consumo de presas de diferentes niveles tróficos corresponderá una mayor variancia de los valores de $\delta^{15}\text{N}$, mientras que al forrajeo en un amplio rango de áreas geográficas corresponderá una mayor variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Hansson *et al.*, 1997; Das *et al.* 2000; Jardine *et al.*, 2003; Estrada *et al.*, 2003; Bearhop *et al.*, 2004) Se tomará como base para establecer el resultado, lo establecido por Bearhop *et al.*, (2004): en una situación ideal, llevando al extremo la especialización y el generalismo, utilizando tejidos que aportan información sobre la alimentación de períodos de tiempo largos, como en este caso el músculo, las poblaciones que presentan valores de variancia bajos o cercanos a 0, son poblaciones de especialistas: donde todos los organismos se especializan en consumir un tipo de presa, ó, generalistas de tipo A: donde todos los organismos consumen en proporciones similares un rango más amplio de presas; mientras que valores de variancia altos corresponden a poblaciones de generalistas de tipo B: cada individuo se especializa en consumir presas diferentes entre sí.

6.3.4 Traslado trófico

Para analizar el traslado trófico entre sexos y tallas mediante los contenidos estomacales, se utilizó el índice de Morisita-Horn (Cabrera, 2003), el cual presenta la siguiente formulación:

$$C\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^n (P_{xi} * P_{yi})}{\sum_{i=1}^n P_{xi}^2 + \sum_{i=1}^n P_{yi}^2}$$

Donde: $C\lambda$ = Índice de Morisita-Horn entre sexos o tallas de x, y entre sexo o talla de y, P_{xi} = proporción de cada una de las presas que conforman la dieta del depredador y que son usados por un sexo o talla, P_{yi} = proporción de cada una de las presas que conforman la dieta usados entre otro sexo o talla, n = numero total de presas.

Los valores de $C\lambda$, van de 0 a 1. Se utilizó la escala propuesta por Langton (1982), en donde define que valores de 0 - 0.29 indica que no hay traslape, de 0.30 - 0.59 el traslape es medio y valores mayores a 0.60 indican traslape alto.

También se utilizó la prueba estadística de ANOSIM (análisis de similitud de una vía) para determinar si la composición específica de las presas fue significativamente diferente entre los grupos definidos previamente. ANOSIM es un procedimiento no paramétrico, análogo al análisis de varianza, que se basa en el remuestreo multifactorial utilizando permutaciones. La prueba estadística implica el cálculo de un estadístico global (R), el cual contrasta la varianza de la similitud dentro y entre los grupos. Cuando los grupos de muestras son distintos unos de otros, la composición de la similitud dentro de los grupos son más grandes que las similitudes que pueda haber entre las muestras de diferentes grupos. Los valores de R varían entre -1 y 1, alcanzando su máximo valor cuando todas las similitudes dentro de los grupos son mayores que las similitudes entre los grupos (existe una separación en la estructura trófica entre los grupos) mientras que en caso contrario, indica que no hay separación en la estructura trófica entre los grupos (Clarke y Warwick, 1994). La significancia de la prueba estadística se determina comparando el estadístico R de la muestra con aquellos que resultan del procedimiento de asignar muestras aleatorias a los grupos a través del re-muestreo mediante permutaciones (Clarke y Warwick, 2001).

El traslape trófico mediante los valores isotópicos se determinó de la siguiente manera: para establecer si existía variación en los valores isotópicos por efecto de tallas, sexos y zonas, los datos fueron divididos en cuatro grupos para su análisis: machos juveniles, hembras juveniles, machos adultos y hembras adultas para cada zona. Se aplicó una prueba de normalidad: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks w test y de homogeneidad de varianzas: Prueba de Bartlett para determinar si los datos cumplían con los supuestos estadísticos; en caso de que los datos cumplieran con los supuestos, se aplicó una prueba de ANOVA de una vía, en caso contrario se utilizó una prueba no paramétrica de Mann-Whitney o Kruskal-Wallis. Los análisis se llevaron a cabo con ayuda del programa Statistica V 7.0.

6.3.5 Nivel trófico.

Para la determinación del nivel trófico (NT) mediante el análisis de contenidos estomacales se utilizó la siguiente fórmula tomada de Christensen y Pauly (1992):

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

Donde: DC_{ij} : Referida como la composición de la dieta, es la proporción de presas (j) en la dieta del depredador (i). **NT**: Nivel trófico de las presas (j). **n**: número de grupos en el sistema.

El nivel trófico mediante isótopos estables se estimó usando los valores de $\delta^{13}\text{N}$ mediante la ecuación propuesta por Post (2002):

$$NT = \lambda + \frac{(\delta^{15}\text{N}_{depredador} - \delta^{15}\text{N}_{base})}{\Delta_n}$$

Donde: λ : Posición trófica del organismo utilizado como base de la cadena trófica en la zona; en este caso: material orgánico particulado (MOP) (Thunell y Kepple, 2004; Aguíñiga-García *et. al.* 2007). Δ_n : Valor teórico de enriquecimiento en ^{15}N por nivel trófico (3.4‰, Minagawa & Wada 1984). $\delta^{15}\text{N}_{depredador}$: Promedio de la determinación de $\delta^{15}\text{N}$ de *R. longurio*. $\delta^{15}\text{N}_{base}$: Determinación de $\delta^{15}\text{N}$ del MOP y los copépodos omnívoros los cuáles cumplen con los criterios propuestos por Post (2002).

Este cálculo se basa en la premisa de que las tasas de los isótopos estables de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) se enriquecen en el isótopo mas pesado conforme se aumenta el nivel trófico, lo que implica un incremento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de aproximadamente 3-4‰ (De Niro and Epstein 1981; Minagawa and Wada 1984; Peterson and Fry, 1987; Cabana and Rasmussen, 1994). Este cambio permite estimar la posición trófica del consumidor (Cabana y Rasmussen, 1996; Vander Zanden y Rasmussen, 1999), a diferencia de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ los cuáles sólo se enriquecen aproximadamente 0.8‰ por nivel trófico, por lo que es más difícil estimar variaciones tróficas con este elemento.

7. RESULTADOS

7.1 Descripción general del muestreo

La estructura de tallas fue de 45 a 115 cm LT (Fig. 5). En el SGC se observan dos picos o modas a los intervalos de talla de 65 y 95 cm LT en machos y a los 65 y 105 cm en hembras; mientras que en el GT se observa una moda en machos a los 85 cm LT y en hembras a los 95 cm LT.

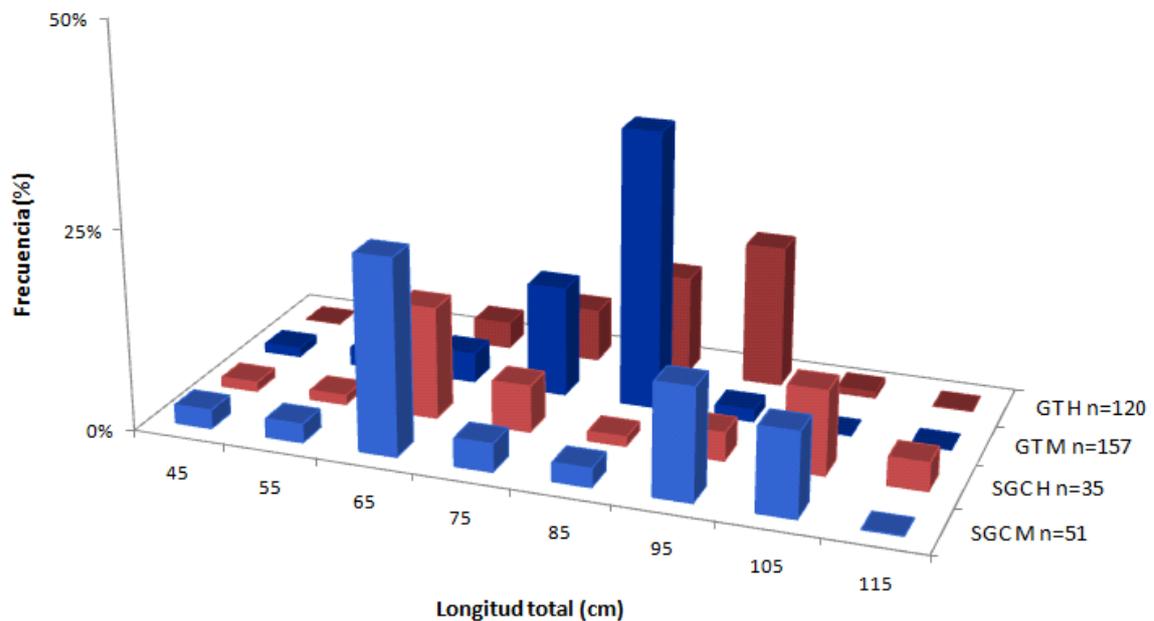


Figura 5. Estructura de tallas (LT) de *R. longurio* por sexo capturado en ambas zonas de estudio. Hembras (H), Machos (M).

En cuanto a la temporalidad, en el SGC (Fig. 6) *R. longurio* se presenta casi en su totalidad en los meses de otoño e invierno, donde los tiburones juveniles se encuentran principalmente en los meses de octubre a diciembre y los adultos de enero a marzo; cabe señalar que se encontraron dos organismos neonatos en el mes de junio.

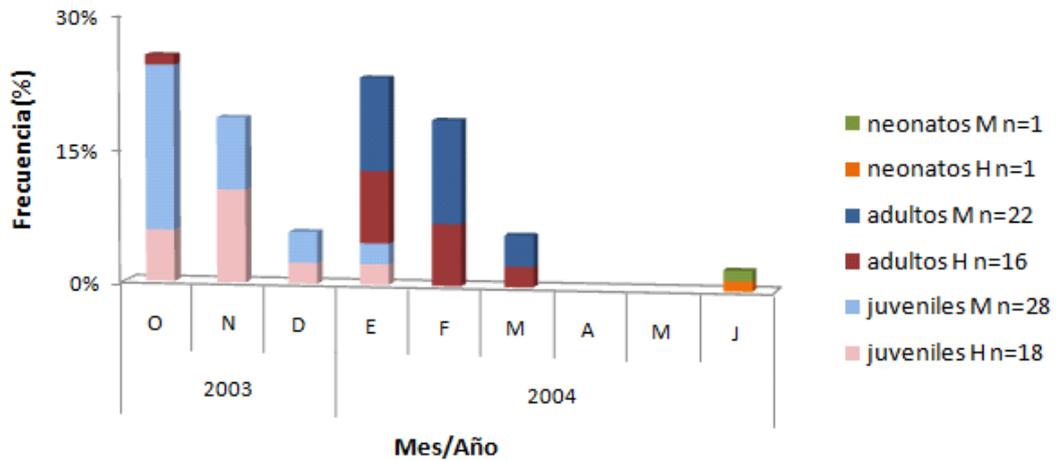


Figura 6. Temporalidad de *R. longurio* por sexo y estadio de madurez capturados en “Playa Sur”, Mazatlán, Sinaloa. Hembras (H), machos (M).

En el GT (Fig. 7) se puede encontrar este tiburón prácticamente durante todo el año; sin embargo las mayores capturas se observan en los meses de verano y no se observó una marcada temporalidad por sexo o estadio de madurez.

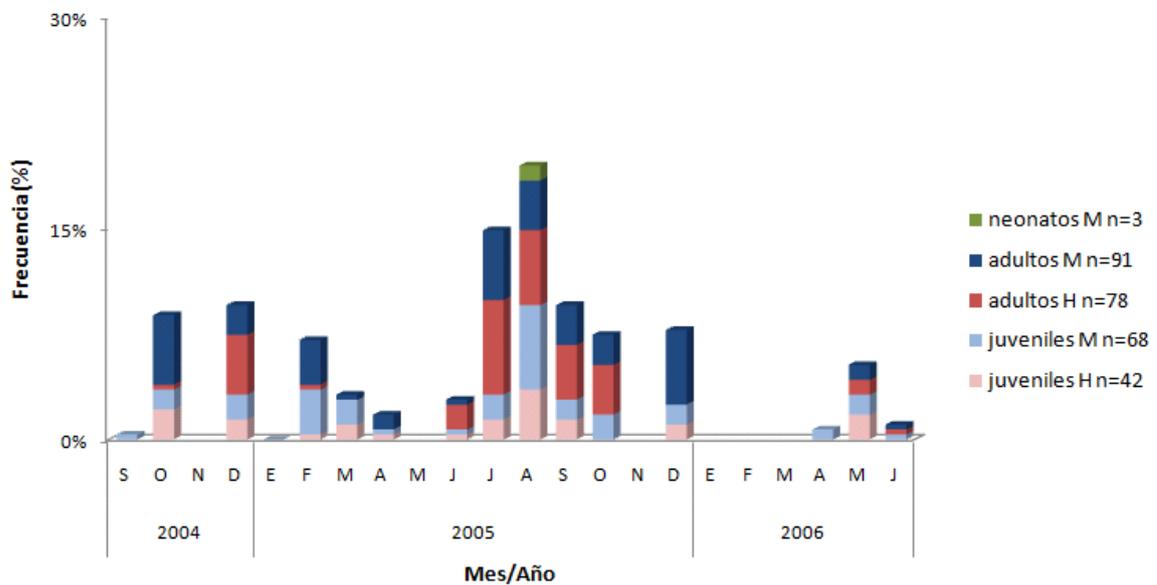


Figura 7. Temporalidad de *R. longurio* por sexo y estadio de madurez capturados en ensenada “Chipehua”, Oaxaca. Hembras (H), machos (M).

7.2 Descripción del espectro trófico

7.2.1 Espectro trófico en el sureste del Golfo de California

Aunque se registraron un total de 86 tiburones, solo fue posible muestrear 61 estómagos de *R. longurio* en esta zona, de los cuales 40 (66%) presentaron contenido estomacal y 21 (34%) se encontraban vacíos. De los estómagos con contenido 9 fueron de hembras juveniles, 11 de hembras adultas, 12 de machos juveniles y 8 de machos adultos (Fig. 8).

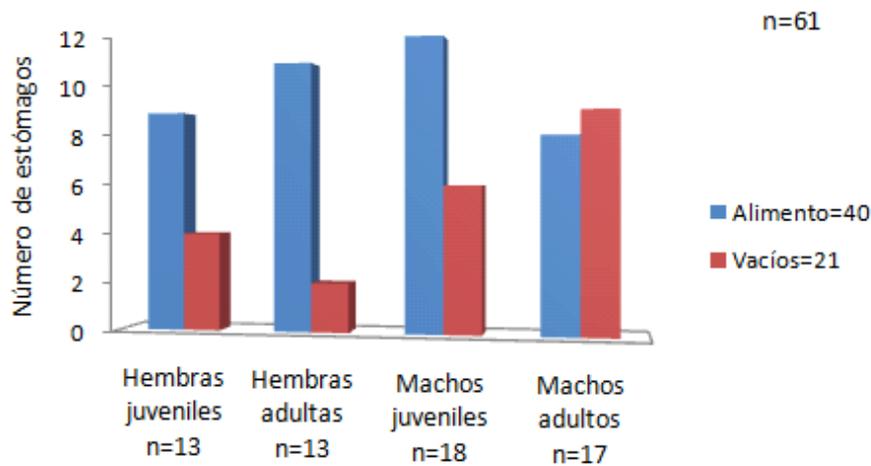


Figura 8. Número de estómagos muestreados, vacíos y con alimento, por sexo y estadio de madurez en el SGC.

Se observó que la curva acumulativa de especies presa no alcanzó a formar una asíntota clara, por lo que el número de estómagos analizados no puede considerarse suficiente (valor de la pendiente = 0.136516), sin embargo se logró caracterizar el 75.7% del espectro trófico de *R. longurio* en esta zona (Fig. 9).

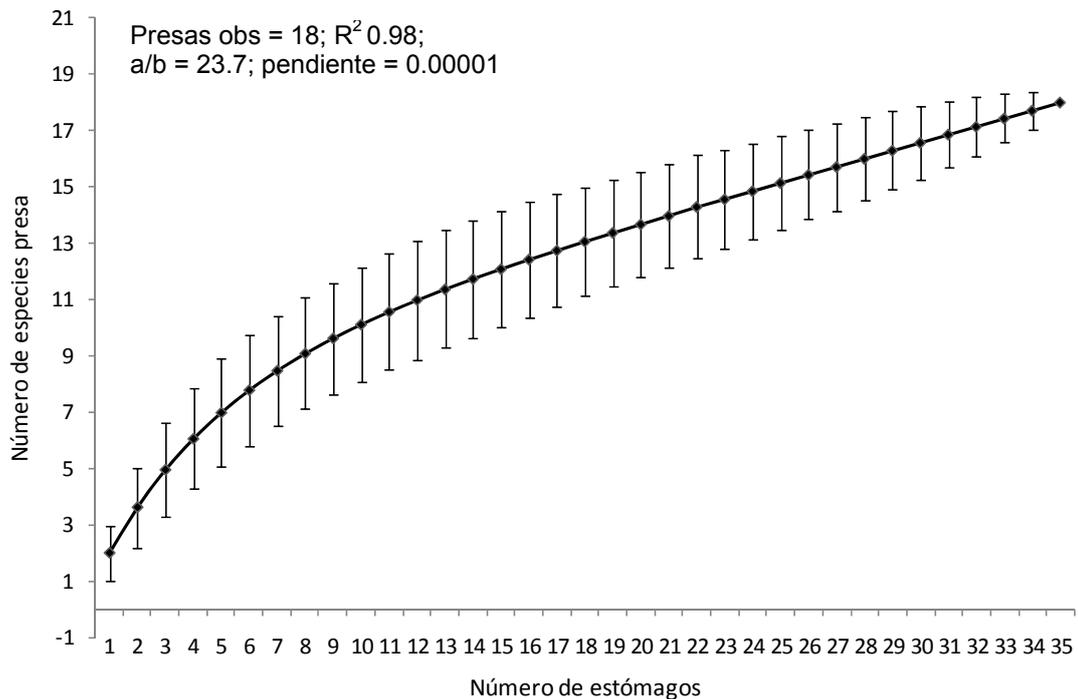


Figura 9. Curva acumulativa de especies presa para *R. longurio* en el SGC.

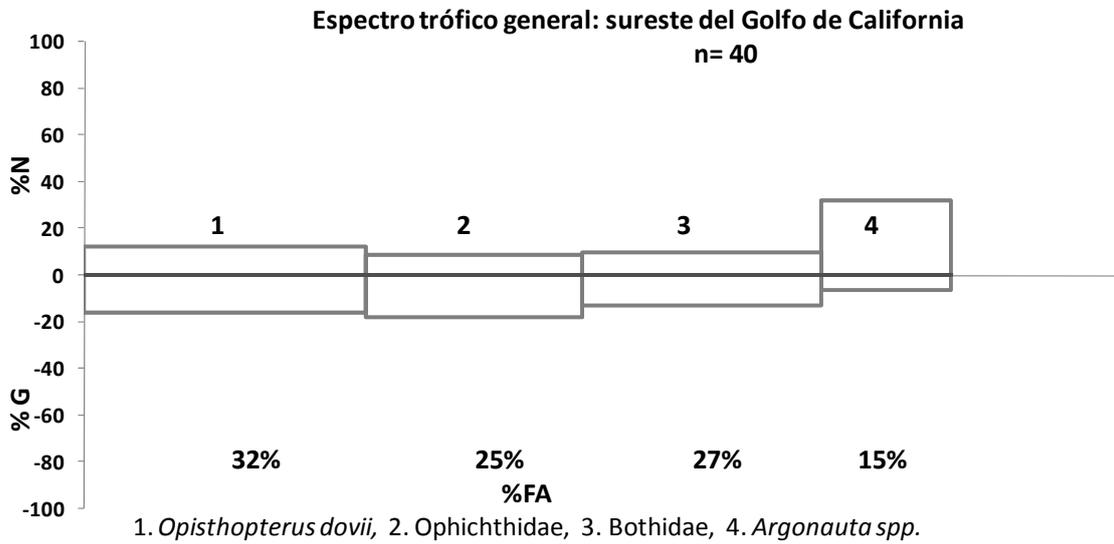
7.2.1.1 Espectro trófico general en el sureste del Golfo de California

Se identificaron un total de 20 especies presa. Las presas que presentaron un mayor porcentaje numérico fueron *Argonauta* spp. (31.97%), *Opisthopterus dovii* (12.3%), *L. diomedae* (11.48%), Bothidae (9.84%), y Ophichthidae (9%). En el porcentaje gravimétrico la familia Ophichthidae y *Opisthopterus dovii* fueron las presas que presentaron mayores valores registrando 17.9% y 15.8% respectivamente, seguidas de la familia Bothidae con 12.9%, *Loliolopsis diomedae* con 9.39%, y *Onychoteuthis banksii* con 8.21%. En el porcentaje de la frecuencia de aparición, la presa más frecuente en los estómagos del tiburón bironche fueron: *O. dovii* (32%), Bothidae (27.5%), Ophichthidae (25%), *Loliolopsis diomedae* (22.5%), y *Argonauta* spp. (15%) (Fig. 10A).

De acuerdo al índice de importancia relativa (%IIR), los peces son el componente más importante de la dieta del tiburón bironche con el 69.17%, en segundo lugar los cefalópodos con un 30.72% y por último los crustáceos con 0.11%. El pez *O. dovii* (24.15%) fue la especie presa más importante, seguido por la familia

Ophichthidae (17.79%), Bothidae (16.51%), los cefalópodos *Argonauta spp.* (15.18%), y *L. diomedea* (12.39%) (Fig. 10B).

A)



B)

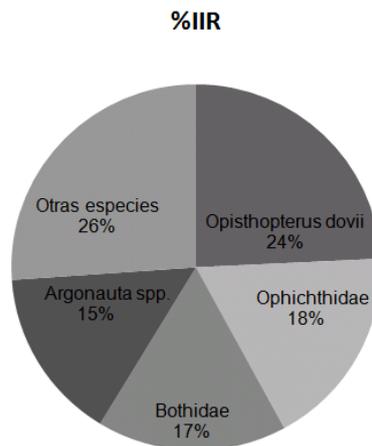


Figura 10. Espectro trófico de *R. longurio* en el SGC. A) Métodos de frecuencia de ocurrencia (%FA), gravimétrico (%G) y numérico (%N) y B) Índice de importancia relativa (%IIR).

7.2.1.2 Espectro trófico por sexos y estadio de madurez.

En las hembras juveniles se identificaron ocho especies presa, en los machos juveniles solo se presentaron peces, contabilizando nueve especies presa; en las hembras adultas se identificaron 10 organismos presa, y en machos adultos un total de 9 especies presa.

De acuerdo al índice de importancia relativa (IIR), los peces fueron las presas más importantes en los tiburones juveniles, tanto hembras como machos (Fig. 11a). En las hembras juveniles las presas más importantes fueron: *O. dovii* (31.9%), familia Ophichthidae (11.8%), y las familias Carangidae y Serranidae (6.4%); mientras que los cefalópodos fueron el segundo grupo en importancia con *L. diomedae* (31.8%) (Fig. 11b). Para los machos juveniles, las presas más importantes fueron peces: la familia Bothidae (46.69%), *O. dovii* (19.8%), familia Serranidae (18.5), Carangidae (5.1) y *C. orqueta* (4.6) (Fig. 11b). En los tiburones adultos, los cefalópodos fueron las presas con mayor importancia (Fig. 11a), en las hembras adultas se presentó: *Argonauta spp.* (42%) y *L. diomedae* (7%), y en segundo lugar los peces: familia Ophichthidae, (26%), *O. dovii* (9%), y familia Bothidae (7%); mientras que en los machos adultos las proporciones cambiaron: *L. diomedae* (34.5%) y *Argonauta spp.* (15.7%), y en menor medida familia Ophichthidae (11.25%), *O. dovii* (10.67%), y familia Carangidae (9.4%). Los tiburones adultos y las hembras juveniles presentaron una mayor importancia de presas de hábitos pelágicos; mientras que los machos juveniles fueron los únicos que se alimentan principalmente de presas bentónicas (Fig. 11c).

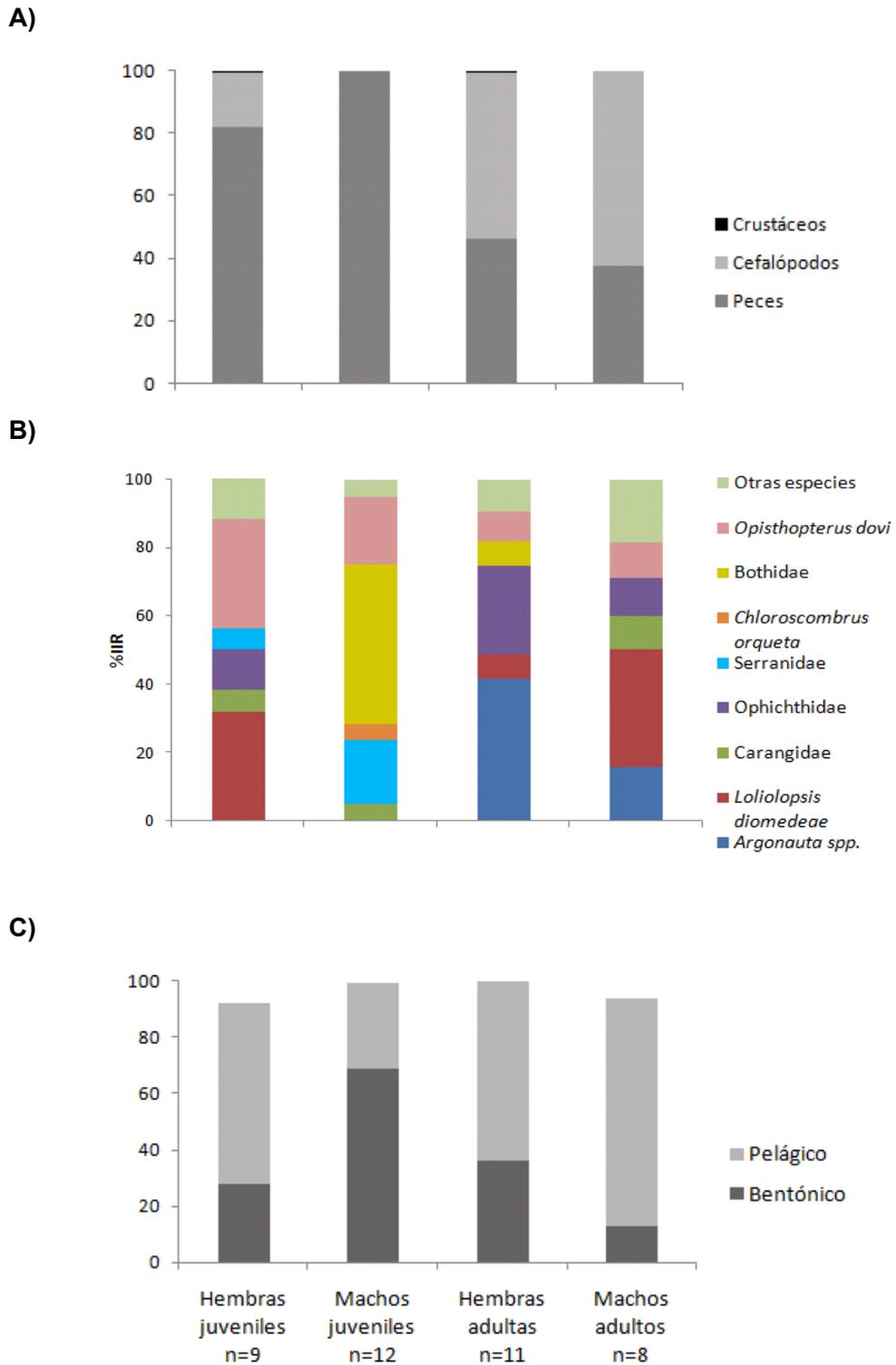


Figura 11. Porcentaje del índice de importancia relativa de *R. longurio* por sexo y estadio de madurez en el SGC. A) por grupo taxonómico, B) de las cinco principales especies presa y C) por preferencia de hábitat de las presas.

7.2.2 Espectro trófico en el Golfo de Tehuantepec

Se analizaron un total de 128 estómagos de *R. longurio*, de los cuales, 50 (39%) se encontraban vacíos y 78 (61%) contenían alimento, de estos últimos 9 pertenecían a hembras juveniles, 21 a hembras adultas, 20 a machos juveniles y 24 a machos adultos (Fig. 12), mientras que 4 fueron de organismos indeterminados en sexo y talla por lo que no fueron tomados en cuenta para los análisis posteriores al igual que cuatro de hembras juveniles y uno de un macho adulto por tratarse de carnada.

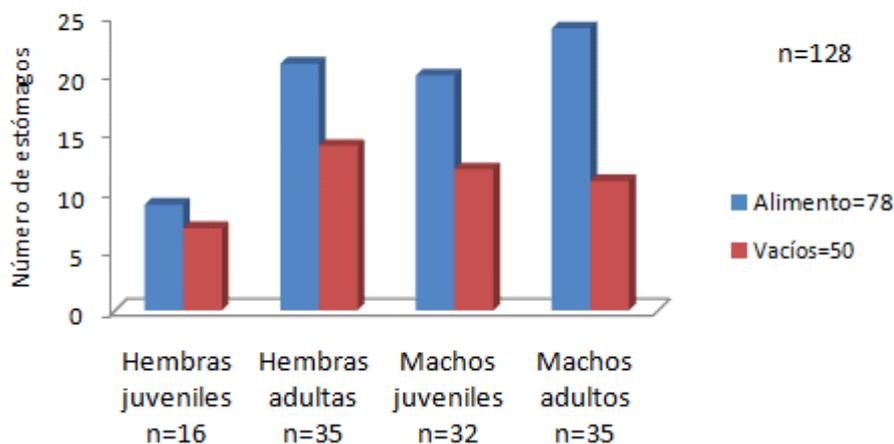


Figura 12. Número de estómagos muestreados, vacíos y con alimento, por sexo y estadio de madurez.

De acuerdo a la curva acumulativa de especies presa el número de estómagos analizados en esta zona tampoco puede considerarse como fiable o suficiente (valor de la pendiente = 0.364669) caracterizando el 40.3% del espectro trófico de *R. longurio* en este lugar, a pesar de contar con un mayor número de muestra que en el SGC, (Fig. 13).

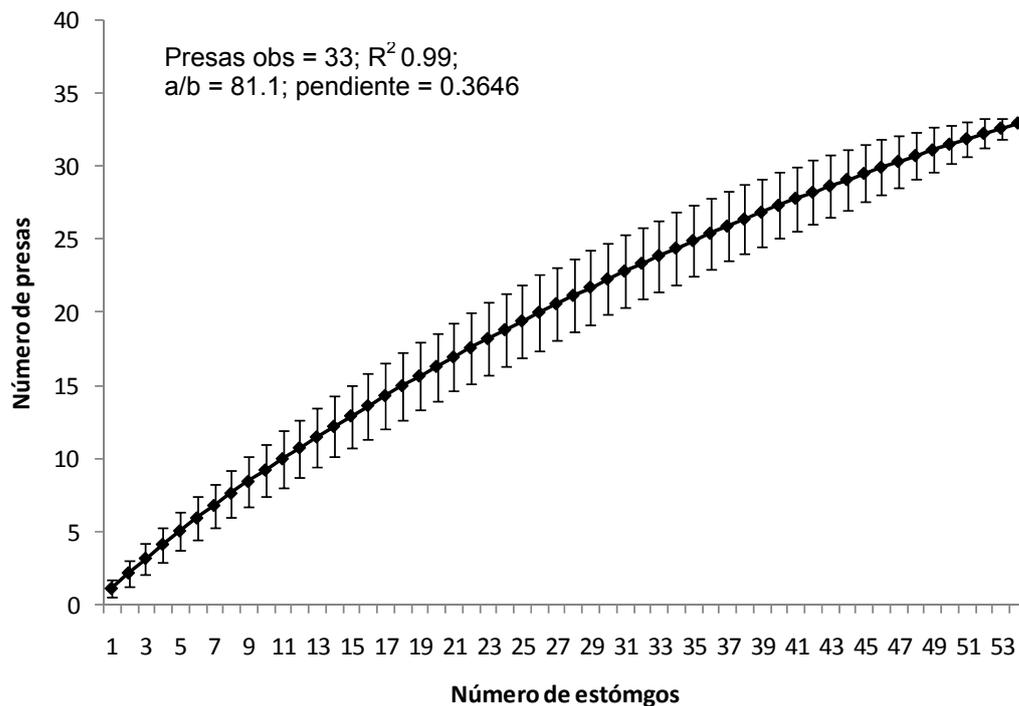


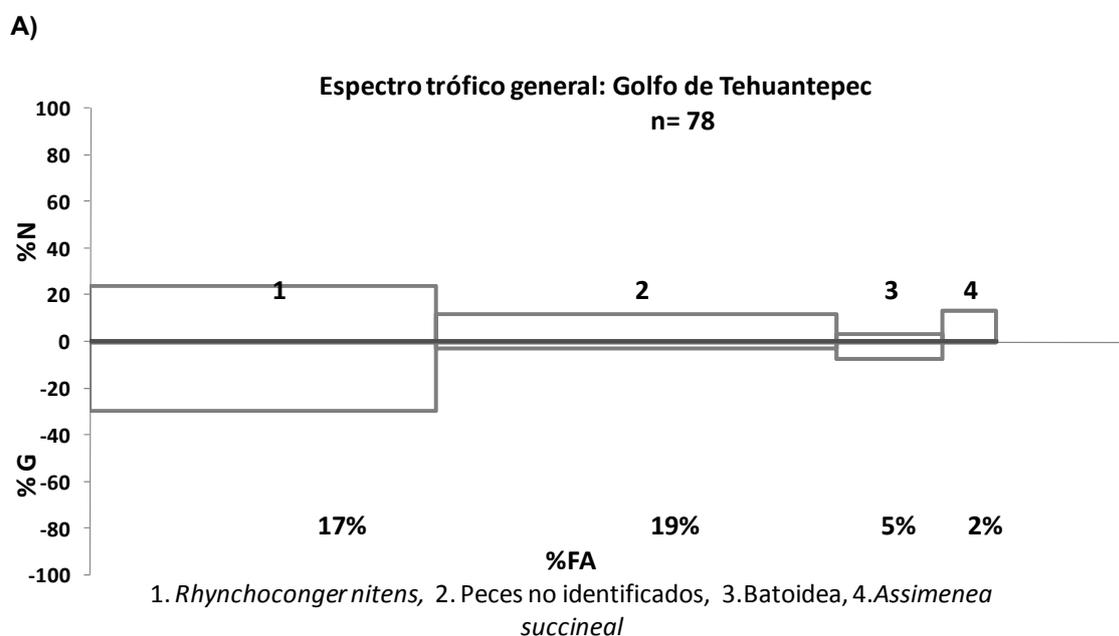
Figura 13. Curva acumulativa de especies presa para *R. longurio* en el GT.

7.2.2.1 Espectro trófico general en el Golfo de Tehuantepec

Se identificaron un total de 37 especies presa. Las especies presa con un mayor porcentaje numérico fueron: *Rhynchoconger nitens* (24.1%), *Assiminea succineal* (13.7%), otros peces no identificados (12%) y organismos del orden Anguilliforme (3.22%). La especie presa con un mayor porcentaje de peso fue *Rhynchoconger nitens* aportando un 29.5% de peso total, seguida de *Auxis spp.* con 15.2%, la familia Scombridae con 10.1%, *Chloroscombrus orqueta*, 9.1%, y la familia Batoidea, 7.2%. Las presas con un mayor porcentaje de frecuencia de aparición fueron: peces no identificados (19.23%), *Rhynchoconger nitens* (16.6%), la familia Batoidea (5.1%), *Euphylax dovii* y Anguilliformes (3.8% cada uno) (Fig. 14A).

De acuerdo con el porcentaje del índice de importancia relativa, los peces son los que presentan una mayor importancia con un 87.24%, los crustáceos obtuvieron un 4.47%, moluscos 4.03%, elasmobranquios 3.51%, Otros invertebrados 0.1% y MONI 0.4%. Las presas más importante en la dieta de *R. longurio* en el GT son

Rhynchoconger nitens con un valor de 58.77%, otros peces no identificados (19%) la familia Batoidea (4%), y *Assiminea succineal* (2%) (Fig. 14B).



B)

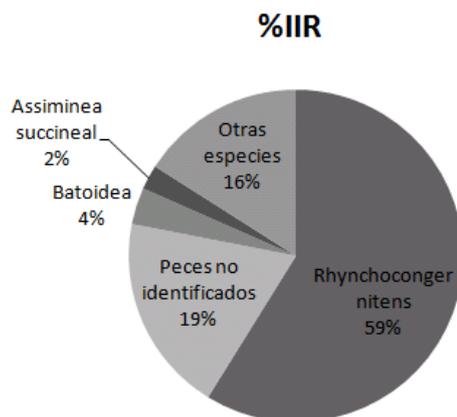


Figura 14. Espectro trófico de *R. longurio* en el área del GT. A) Métodos de frecuencia de ocurrencia (%FA), gravimétrico (%G) y numérico (%N) y B) Índice de importancia relativa (%IIR).

7.2.2.2 Espectro trófico por sexo y estadio de madurez.

En hembras juveniles se identificaron 6 especies presa, en machos juveniles 15, en hembras adultas 11, mientras que los machos adultos presentaron la mayor cantidad de especies presa: 17.

De acuerdo con el porcentaje del índice de importancia relativa, los peces son la categoría más importante en la dieta de todos los tiburones de *R. longurio* en el GT (Fig. 15A). Las presas más importantes en las hembras juveniles fueron: familia Scombridae (43.51%), *R. nitens* (25.57%), y las familias Triglidae y Carangidae (7.72% y 7.17% respectivamente) y en mucho menor medida los crustáceos (9%) (Fig. 15B). En los machos juveniles las presas de mayor importancia en la dieta fueron: *R. nitens* (12.5%), batoideos (8%), y *L. pardale* (7%) (Fig. 15A). En hembras adultas *Auxis spp.* (15.2%), familia Batoidea (13.80%), familia Clupeidae (9.28%), y el crustáceo *P. xantusii* (5.15%) fueron las presas con los mayores porcentajes (Fig. 15A). Las presas más importantes en la dieta de los machos adultos fueron: *R. nitens* con el 84%, *A. succineal* con 6.9% y *C. orqueta* con 2.7% (Fig. 15B). En esta zona, excepto las hembras juveniles, los demás tiburones se alimentaron en mayor proporción de presas de hábitos bentónicos (Fig. 15C).

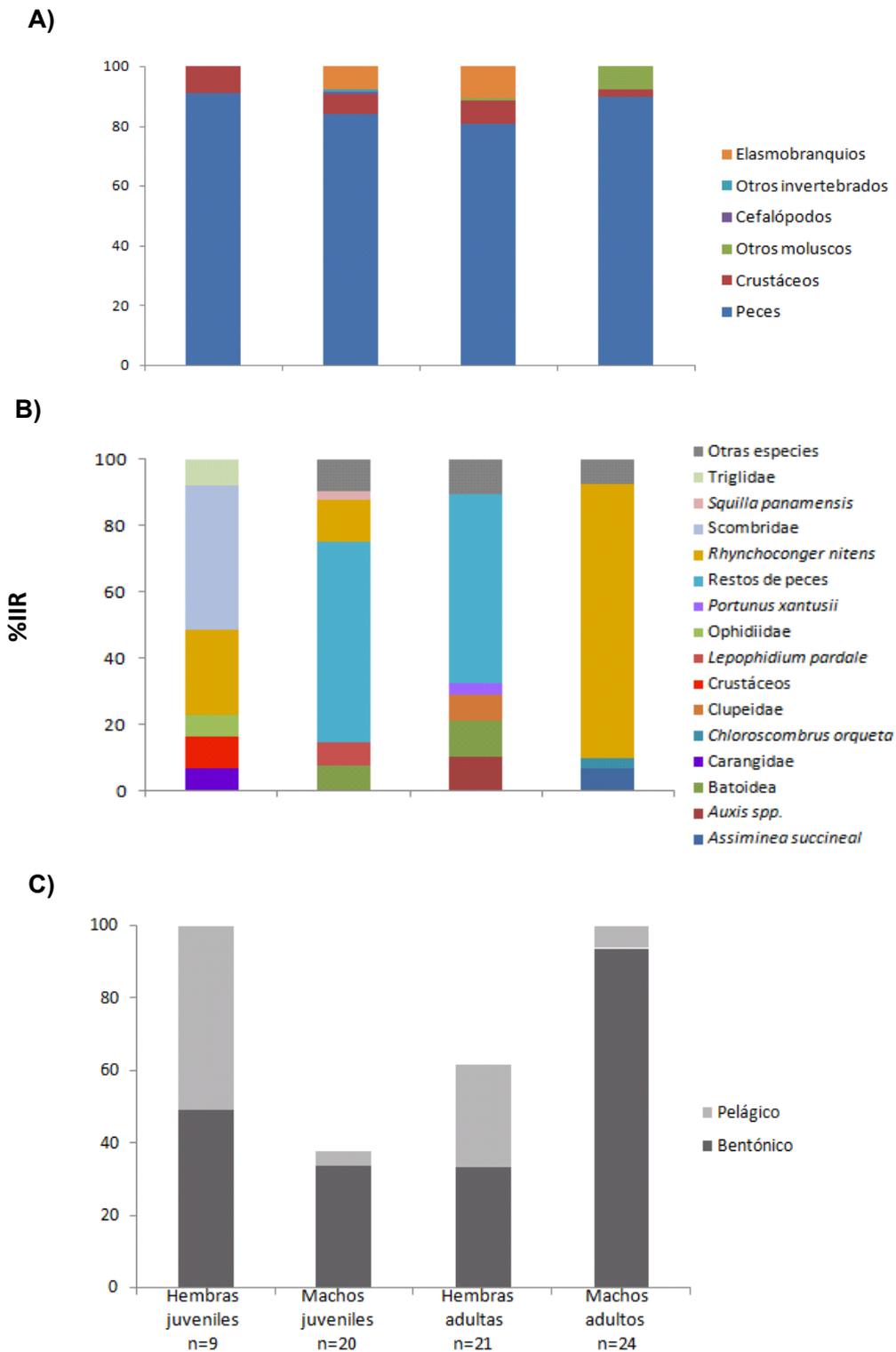


Figura 15. Porcentaje del índice de importancia relativa de *R. longurio* por sexo y estadio de madurez en el GT. A) por grupo taxonómico, B) de las cinco principales especies presa y C) por preferencia de hábitat de las presas.

7.3 Análisis de isotopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

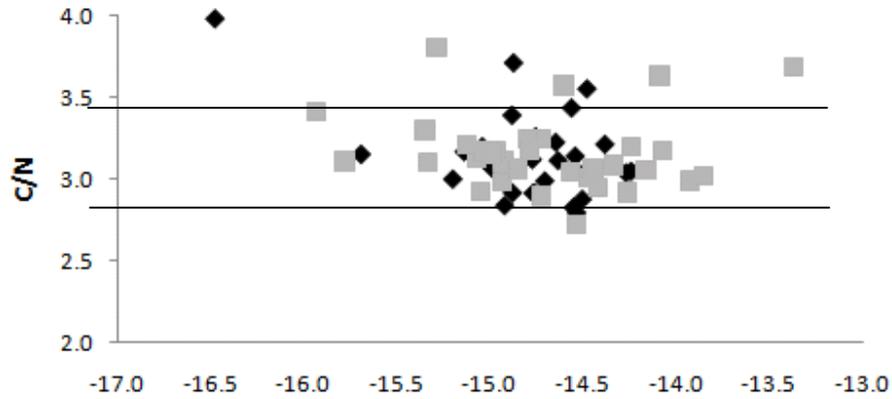
Se procesaron un total de 63 músculos, de los cuales 33 son de tiburones del SGC y 30 del GT; y 14 hígados, de los cuales 6 son de organismos del SGC y 8 del GT. En la tabla 1 se muestra el número de biopsias para cada tejido por sexo y estadio de madurez.

Tabla 1. Muestras procesadas de músculo e hígado de *R. longurio* por sexo y talla para cada una de las zonas de estudio.

SGC						
Talla	Musculo		Subtotal Músculo	Hígado		Subtotal Hígado
	♀	♂		♀	♂	
46 – 81 cm LT	7	9	16	1	2	3
82 -127 cm LT	8	9	17	3	0	3
Total	15	18	33	4	2	6
GT						
46 – 81 cm LT	4	5	9	0	2	2
82 -127 cm LT	15	6	21	2	4	6
Total	3	3	30	2	6	8

Los valores de la relación C/N de músculo oscilaron en un intervalo de 2.8 a 4.0 (Fig. 16A), los cuales están alrededor del valor teórico de proteína pura acepado (2.9); mientras que para hígado oscilaron en un intervalo de 4.0 a 9.3, muy por arriba del valor de proteína pura teórico (Fig. 16B) lo que quiere decir que no se logró una extracción satisfactoria de lípidos en el tejido.

A)



B)

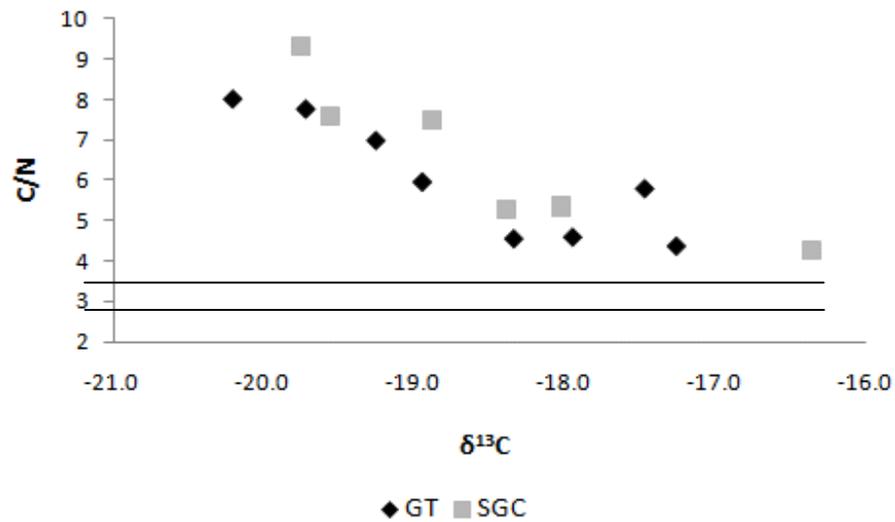


Figura 16. Relación entre C/N y la razón de isótopos estables de carbono en el A) músculo y B) hígado. Las líneas negras marcan el valor teórico de C/N para proteína pura.

Al comparar los valores por tejido (Fig. 17), se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (Mann-Whitney: SGC: $\delta^{13}\text{C}$ U=0.00 P=0.00 y $\delta^{15}\text{N}$ U=42 P=0.02; GT: $\delta^{13}\text{C}$ U=0.00 P=0.01 y $\delta^{15}\text{N}$ U=18 P=0.00), siendo menores los valores en el hígado, para $\delta^{13}\text{C}$ casi 4‰ en ambas zonas (SGC: hígado= -18.5‰, músculo= -14.7‰; GT: hígado= -18.6‰, músculo= -14.8‰), y para $\delta^{15}\text{N}$ de 0.9‰ en el GT (hígado= 16.2‰, músculo= 17.1‰) y 0.7‰ en el SGC (hígado= 19.9‰, músculo=20.6‰), estas diferencias, como se mencionó anteriormente, es posible que se deban a la presencia de lípidos en los hígados, los

cuáles afectan principalmente los valores de $\delta^{13}\text{C}$ lo que no permite utilizarlos para futuras comparaciones, por lo que en adelante sólo se utilizarán los valores de $\delta^{15}\text{N}$ del hígado en las comparaciones generales.

Analizando la variación isotópica en la escala espacial a nivel general (Fig. 17), se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, (Mann-Whitney $\delta^{15}\text{N}$ $U=22$ $p=0.00$); en el SGC el valor promedio en músculos de $\delta^{15}\text{N}$ fue de $20.6\text{‰}\pm 0.8$, y en los hígados de $19.9\text{‰}\pm 0.7$, mientras que en el GT los músculos presentaron un valor promedio de $\delta^{15}\text{N}$ de $17.1\text{‰}\pm 0.5$, 3.5‰ menor al del SGC, la misma tendencia se observó en los valores de los hígados del GT con valores promedio de $16.2\text{‰}\pm 0.5$, 3.7‰ menores a los de SGC. Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de ambas zonas (ANOVA $F=0.09$ $p=0.06$) con valores que van de -15.8‰ a -13.4‰ con un promedio de $-14.7\text{‰} \pm 0.5$ en el SGC y de -15.2‰ a -14.2‰ con un promedio de $-14.7\text{‰} \pm 0.2$ en el GT.

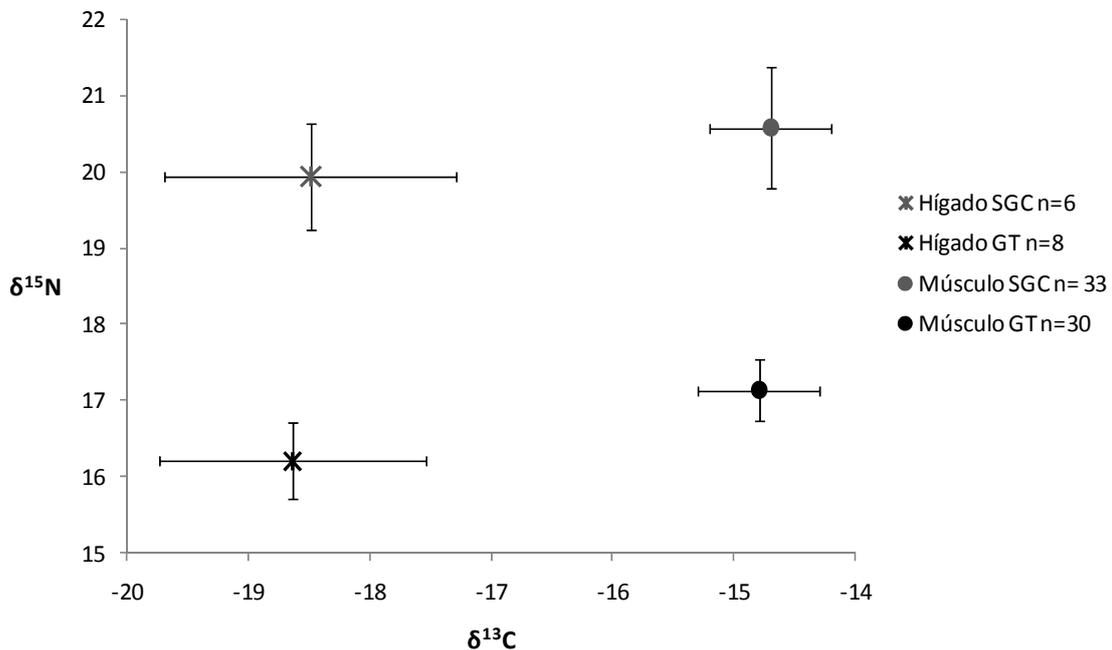


Figura 17. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo e hígado de *R. longurio* por zona.

La variación de los valores a través del tiempo no mostró diferencias significativas para ninguno de los dos isótopos en el SGC (Fig. 18A) (Kruskal-Wallis $H=14.21$ $\delta^{15}\text{N}$ $P=0.05$ y $\delta^{13}\text{C}$ ANOVA $F=0.53$ $P=0.08$), sin embargo, se observa una tendencia en $\delta^{15}\text{N}$ a aumentar a lo largo del tiempo tanto en músculo como en hígado. En el GT (Fig. 18B) se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ correspondientes a Feb-Mar 05 (-15.2 ‰) y Ago-Sep 05 (-14.5 ‰) (Kruskal-Wallis $H=15.46$ $P=0.0085$), no así para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (Kruskal-Wallis $H=2.66$ $P=0.75$), aunque la diferencia en el $\delta^{13}\text{C}$ no es grande, apenas 0.7‰. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ tendieron a aumentar mientras que los de $\delta^{15}\text{N}$ a disminuir; los valores de $\delta^{15}\text{N}$ del hígado mostraron una variación contraria a la de los valores en el músculo.

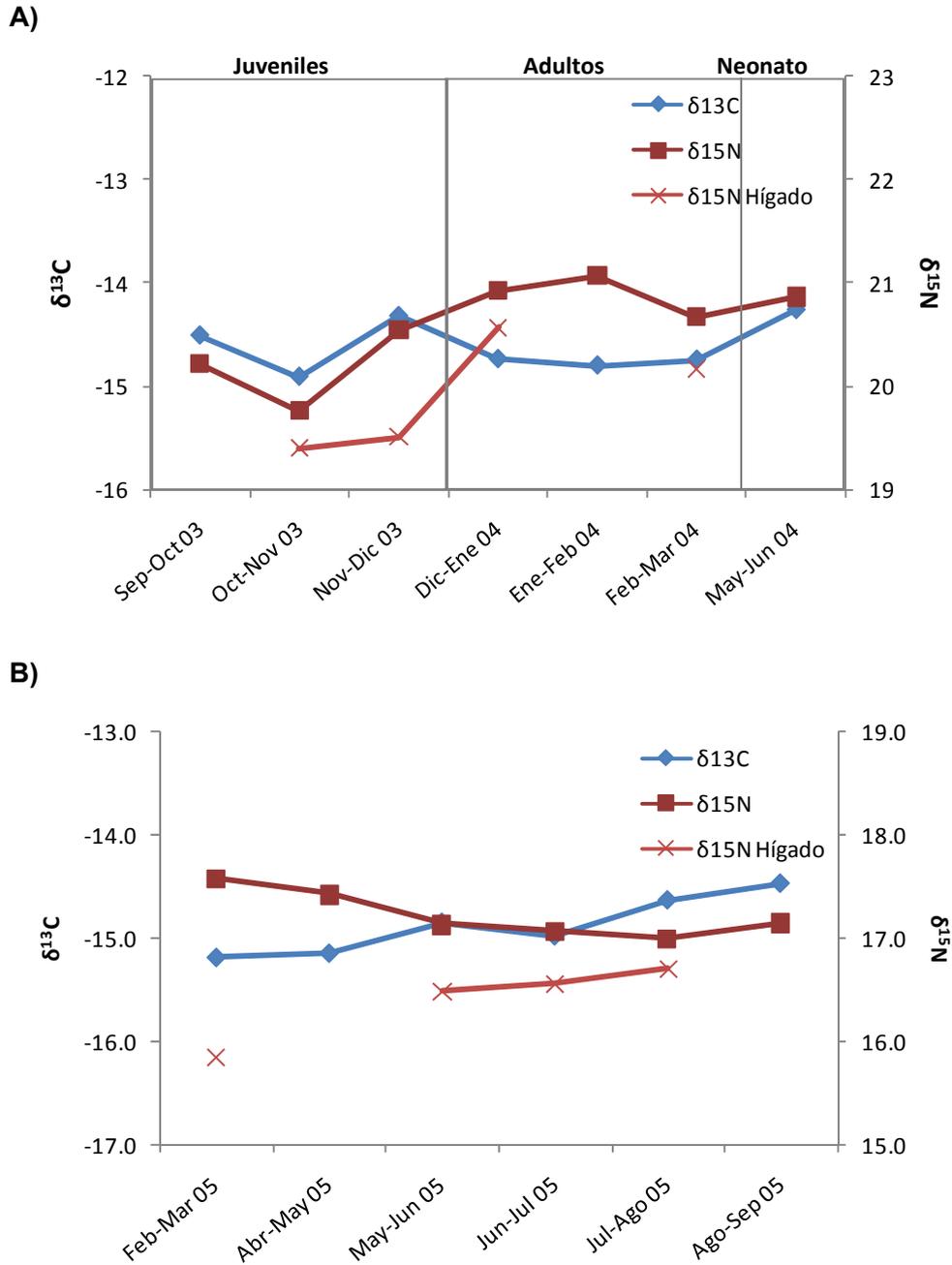


Figura 18. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ a través de los meses en músculo y de $\delta^{15}\text{N}$ en hígado de *R. longurio*, A) SGC y B) GT.

7.4 Amplitud trófica

Utilizando los contenidos estomacales, el índice ecológico de Levin presentó un valor de Bi menor a 0.6 en ambas zonas de estudio tanto a nivel general como por sexos y estadios de madurez (Tabla 2) indicando que *R. longurio* es un depredador especialista, con una dieta que, aunque puede incluir un gran número de especies presa, el espectro trófico está dominado por unas cuantas especies presa.

Tabla 2. Valores de Amplitud trófica (Bi) de acuerdo al índice de Levin en el SGCy el GT, generales, y por sexo y estadio de madurez.

Índice de Levin	Bi SGC	Bi GT
General	0.01	0.00
Machos juveniles	0.03	0.00
Machos adultos	0.03	0.02
Hembras juveniles	0.02	0.06
Hembras adultas	0.05	0.02

De acuerdo con la variación en los valores isotópicos en el músculo (tabla 3) se encontraron valores de variancia muy bajos, menores a uno, en todas las categorías, lo que indica que ambas poblaciones de *R. longurio* (en el SGC y GT) son poblaciones especialistas o generalistas de tipo A.

Tabla 3. Valores de variancia de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo de *R. longurio* en el SGC y el GT por sexos y estadios de madurez.

	SGC		GT	
	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
General	0.2	0.3	0.1	0.2
Machos juveniles	0.2	0.1	0.1	0.1
Machos adultos	0.1	0.2	0.1	0.3
Hembras juveniles	0.2	0.5	0.2	0.1
Hembras adultas	0.1	0.1	0.1	0.2

7.5 Traslado trófico

Se aplicó el índice ecológico de Morisita-Horn, en el cual se observa que en GT existe un traslado alto entre todas las categorías, excepto la comparación de la dieta de machos juveniles y hembras adultas donde se presentó un traslado medio. Utilizando el análisis de similitud, no se mostraron diferencias significativas entre las dietas por sexo y estadio de madurez (Tabla 4).

En el SGC, tomando en cuenta que el supuesto del índice de Morisita-Horn que los grupos de organismos a comparar comparten espacio y tiempo, se aplicó solo por estadio de madurez ya que los juveniles y los adultos no se encuentran en la zona al mismo tiempo. Los valores de traslado fueron de nivel medio para la comparación de machos juveniles con hembras juveniles ($C\lambda=0.57$) y de traslado alto ($C\lambda=0.64$) para machos adultos con hembras adultas. Por otro lado, el análisis de similitud (ANOSIM) se aplicó comparando todos los grupos considerando que los juveniles y adultos no comparten el tiempo pero si el espacio y en temporadas continuas, lo que podría indicar posibles cambios o una continuidad de los hábitos alimentarios, o de la disponibilidad de las especies presa en la zona. Los resultados del análisis no mostraron diferencias significativas en la composición de la dieta entre los distintos grupos por sexo y estadio de madurez exceptuando los machos juveniles con hembras adultas y machos adultos ($R=0.222$, $P=0.008$ y $R=0.203$, $P=0.029$ respectivamente) aunque los valores de R no son muy altos (Tabla 4).

Tabla 4. Valores del índice de traslapo trófico Morisita-Horn ($C\lambda$) y del análisis de similitud (ANOSIM) entre sexos y estadios de madurez de *R. longurio* en la zona del SGC y el GT. Nivel de significancia para el análisis de similitud: $P=0.05$ (*).

	SGC		GT	
	Morisita-Horn ($C\lambda$)	ANOSIM (R, P)	Morisita-Horn ($C\lambda$)	ANOSIM (R, P)
Machos juveniles vs Hembras juveniles	0.58	-0.023, 0.53	0.92	0.108, 0.241
Machos juveniles vs Hembras adultas	-	0.222, 0.008*	0.57	-0.018, 0.592
Machos juveniles vs Machos adultos	-	0.203, 0.029*	0.77	-0.012, 0.557
Hembras juveniles vs Hembras adultas	-	0.089, 0.100	0.74	0.075, 0.224
Hembras juveniles vs Machos adultos	-	-0.055, 0.726	0.92	-0.05, 0.581
Machos adultos vs Hembras adultas	0.64	-0.003, 0.401	0.87	-0.006, 0.476

De acuerdo con los valores isotópicos por sexo y estadio de madurez (Fig. 19) en el SGC, no se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{13}C$ en el músculo (ANOVA $F=3.31$ $P=0.53$) (machos juveniles $\mu=-14.5\pm 0.7$ hembras juveniles $\mu=-14.8\pm 0.4$, hembras adultas $\mu=-14.4\pm 0.4$ y machos adultos $\mu=-15.1\pm 0.3$) mientras que en el hígado si, (ANOVA $F=4.7$ $P=0.04$) entre machos y hembras juveniles con los de hembras adultas ($\mu=-17.2\pm 1.2$, $\mu=-18.4$ y -19.4 ± 0.5 respectivamente). Por otro lado en el GT no se encontraron diferencias significativas en $\delta^{13}C$ en el músculo (Mann-Whitney $H=1.83$ $P=0.60$) (machos juveniles $\mu=-14.7\pm 0.3$, hembras juveniles $\mu=-14.8\pm 0.3$, hembras adultas $\mu=-15\pm 0.4$ y machos adultos $\mu=-14.6\pm 0.2$) ni en el hígado (ANOVA $F=0.046$ $P=0.95$) (machos juveniles $\mu=-18.6\pm 1.6$, hembras juveniles $\mu=-18.3\pm 1.4$, y machos adultos $\mu=-18.4\pm 0.5$).

Con respecto a los valores de $\delta^{15}\text{N}$, en el SGC se encontraron diferencias significativas en el músculo (Kruskal-Wallis $H=12.23$ $P=0.006$) entre las hembras adultas ($\mu=21\text{‰}\pm 0.4$), y los machos juveniles ($\mu=20.4\text{‰}\pm 0.4$) y en el hígado (ANOVA $F=3.08$ $P=0.48$) entre las hembras adultas ($\mu=20.4\text{‰}\pm 0.5$) y las hembras y machos juveniles ($\mu=19.5\text{‰}$ y $\mu=19.4\text{‰} \pm 0.5$ respectivamente). Por otro lado, en el GT no se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo (Mann-Whitney $H=2.19$ $P=0.53$) (machos juveniles $\mu=17\pm 0.4$, hembras juveniles $\mu=17.1\pm 0.3$, hembras adultas $\mu=16.8\pm 0.4$ y machos adultos $\mu=17.1\pm 0.3$) ni en el hígado (Kruskal-Wallis $H=1.36$ $P=0.5$) (machos juveniles $\mu=16.5\pm 0.1$, hembras juveniles $\mu=16.1\pm 0.9$, y machos adultos $\mu=16\pm 0.6$) ni en el hígado (Kruskal-Wallis $H=1.36$ $P=0.5$).

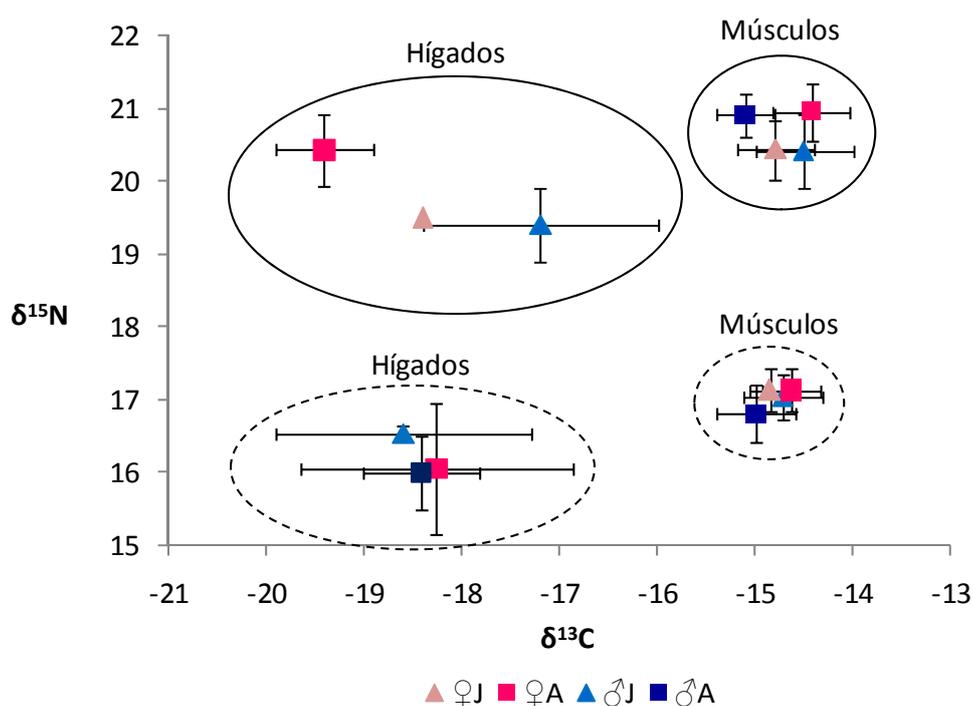


Figura 19. Valores promedio y desviaciones estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo de *R. longurio*, por sexos y estadios de madurez en cada zona. Línea punteada: GT, línea continúa: SGC. Hembras juveniles (♀J), hembras adultas (♀A), machos juveniles (♂J) y machos adultos (♂A).

7.6 Nivel trófico

El nivel trófico determinado de acuerdo a los análisis de contenidos estomacales, en general, dio como resultado valores muy similares tanto por zonas ($\mu=4.2 \pm 0.1$ en el SGC y $\mu=4.0 \pm 0.2$ en el GT), así como al utilizar el $\delta^{15}\text{N}$ ($\mu=4.1 \pm 0.2$ en el SGC y $\mu=4.0 \pm 0.2$ en el GT) (Tabla 5). Estos valores de nivel trófico corresponden al de un consumidor terciario o carnívoro de alto nivel. Al comparar por grupos de sexo y estadio de madurez, tampoco se presentaron diferencias significativas de los valores entre ellos en ninguna de las dos zonas. En el SGC, sin embargo, los valores calculados por grupo con los contenidos estomacales presentaron menor variación que en el GT.

Tabla 5. Valores del nivel trófico calculado utilizando contenidos estomacales y los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ tomando como base de la cadena trófica el $\delta^{15}\text{N}$ del material orgánico particulado (Thunell y Kepple, 2004; Aguíñiga-García *et. al.*, 2007).

	SGC		GT	
	Contenidos estomacales (Christensen y Pauly)	$\delta^{15}\text{N}$ (Post, 2002)	Contenidos estomacales (Christensen y Pauly)	$\delta^{15}\text{N}$ (Post, 2002)
General	4.2 ± 0.1	4.1 ± 0.2	4.0 ± 0.5	4.1 ± 0.2
Machos juveniles	4.2 ± 0	4.1 ± 0.1	4.0 ± 0.7	4.1 ± 0.1
Machos adultos	4.2 ± 0	4.2 ± 0.1	4.0 ± 0.4	4.1 ± 0.3
Hembras juveniles	4.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1	4.1 ± 0.3	4.1 ± 0.1
Hembras adultas	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1	4.1 ± 0.3	4.1 ± 0.1

8. DISCUSIÓN

De acuerdo a las curvas acumulativas, el número de estómagos muestreados no fue suficiente para considerar una descripción del 100% de la dieta de *R. longurio* en ninguna de las dos zonas de estudio; sin embargo, se logró caracterizar un porcentaje de 75% de la dieta para el SGC y de 40% para el GT a pesar de tener un mayor número de muestras que en el SGC. Este resultado podría deberse a que en el GT se presentó un mayor número de tipos de presas (37) en comparación con el SGC (20) lo que puede dificultar que la curva alcance su asíntota por las características propias del método (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003): en las curvas de acumulación, la incorporación de nuevas especies al inventario se relaciona con alguna medida del esfuerzo de muestreo. Cuanto mayor sea este esfuerzo, mayor será el número de especies colectadas. Al principio, se colectan sobre todo especies comunes, y la adición de especies al inventario se produce rápidamente; por tanto, la pendiente de la curva comienza siendo elevada. A medida que prosigue el muestreo son las especies raras, así como los individuos de especies provenientes de otros lugares, los que hacen crecer el inventario, por lo que la pendiente de la curva desciende. El momento en el que esta pendiente desciende a cero corresponde, teóricamente, con el número total de especies que podemos encontrar en la zona estudiada, sin embargo, en este estudio para la dieta de *R. longurio* esto no se logró.

Este tipo de consideraciones son las que dan mayor apoyo a la importancia del complemento del análisis de contenidos estomacales con el de isótopos estables, el cual aporta información del alimento realmente asimilado y que corresponde a un mayor período de tiempo, en este caso, de entre 3 meses a más de un año en el músculo y de 15 días a 6 meses en el hígado, lo que permitirá afirmar ó corregir los resultados obtenidos con los contenidos estomacales. Estos intervalos de tiempo tan amplios a los cuales corresponden el período de alimentación que refleja cada tejido, se debe a que éstos, son los valores mínimos y máximos de las tasas de absorción (cuando el organismo consume alimento enriquecido en el isótopo) y de eliminación (cuando el organismo consume alimento empobrecido en el isótopo) de las cuáles la de absorción se ha observado que es más lenta que la de eliminación en el hígado y viceversa en el músculo (Tabla 5) (MacNeil *et. al.*, 2006). El trabajo de MacNeil *et.*

al., (2006) fue hecho con una raya de agua dulce, *Potamotrygon motoro*, la cuál es más pequeña que *R. longurio* por lo que las tasas de recambio en el tiburón podrían ser incluso mayores, haría falta un trabajo similar en el tiburón bironche para conocer cuáles son las tasas de recambio de sus diferentes tejidos.

Tabla 6. Estimación por tejido de los días para el 50% y el 95% de equilibrio sobre la nueva dieta de $\delta^{15}\text{N}$ para la raya *Potamotrygon motoro* entre las fases de absorción y eliminación (MacNeil *et. al.*, 2006).

	Hígado		Músculo	
	50%	95%	50%	95%
Absorción	39 días	166 días	98 días	422 días
Eliminación	14 días	62 días	-	-

8.1 Isótopos estables de carbono y nitrógeno, variación por tejido y zona.

Al revisar la relación C/N en los tejidos muestreados, los valores del hígado mostraron estar por encima de los esperados para el valor teórico de proteína pura, lo que indica que no se logró una extracción suficiente de los lípidos en este tejido, esto es común en el hígado y el mismo problema se ha presentado en otros estudios (Torres-Rojas, 2003) debido a la gran cantidad de lípidos que contiene este tejido.

La importancia de realizar una extracción de lípidos, es debido a que por su naturaleza química, éstos se encuentran enriquecidos en el isótopo más ligero del carbono (^{12}C) lo que aportaría valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$, como se observó en este trabajo al comparar los valores del hígado con los del músculo, lo que puede ocasionar que se llegue a conclusiones erróneas y haciendo imposible el comparar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de este tejido con los de otros trabajos u otros tejidos, por lo que las únicas comparaciones que se realizaron con estos valores fueron entre ellos mismos.

Bajo este contexto, comparando los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre tejidos se encontraron diferencias significativas estadísticamente, sin embargo, éstas fueron

menores a 1‰, algunos investigadores opinan que diferencias menores a 1‰ no son biológicamente significativas (Seth Newsome, Carnegie Institute, com. pers.), aún así, pueden explicarse por varias razones; Domi *et. al.* (2005) registran la misma tendencia al comparar el $\delta^{15}\text{N}$ en estos tejidos de cinco especies de tiburones y mencionan que las diferencias registradas se pueden relacionar a las diferencias en la composición bioquímica de los tejidos, como la dominancia de aminoácidos libres (carnosina, anserina e histidina), o la prevalencia de urea poco enriquecida isotópicamente que presentan los tejidos de algunos elasmobranquios.

Por otro lado MacNeil *et. al.*, (2005) encontraron en el tiburón zorro, *Alopias vulpinus*, una diferencia de 0.6‰ entre hígado y músculo; mientras que en el tiburón azul, *Prionace glauca*, los valores fueron casi iguales en ambos tejidos, y mencionan que estas pequeñas diferencias podría deberse a la diferencia en la tasa metabólica de ambos tejidos, ya que la del músculo es más baja que la del hígado (MacNeil *et. al.*, 2006), más que a cambios en la dieta a lo largo del tiempo, mientras que en el tiburón mako se logró evidenciar el cambio de dieta por temporadas (ya conocido con base en contenidos estomacales), debido a que los valores isotópicos fueron significativamente diferentes (más de 1‰) entre los tejidos.

Bajo estas premisas, de igual manera, puede atribuirse a las tasas metabólicas diferenciales entre los tejidos y su composición bioquímica la baja diferencia en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre los tejidos observada en este trabajo, haciéndolos comparables, y que por lo tanto, evidencia que *R. longurio* se alimentó de presas con niveles tróficos muy similares dentro de los períodos de alimentación que se reflejan en cada tejido (hígado=14-166 días y músculo=3 meses a más de un año).

Con respecto a la variación en los valores isotópicos por zona, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del músculo ni del hígado por zonas; en lo que respecta a los valores del músculo, éstos corresponden a los de zonas costeras, lo que corrobora que este tiburón se alimenta de especies costeras de acuerdo a lo encontrado en los contenidos estomacales. Esta aseveración es posible ya que es bien conocido que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en zonas costeras tienden a estar más enriquecidos que aquellos de ambientes oceánicos

((Hobson *et. al.*, 1995; Vander Zanden y Rasmussen, 2001; Díaz-Gamboa, 2003; Fry, 2004; López-Ibarra, 2008; Miller *et. al.*, 2008).

Este enriquecimiento del $\delta^{13}\text{C}$ en las zonas costeras y/o bentónicas puede ser debido a la incorporación del carbono por parte de las macrofitas bentónicas, las cuales se encuentran más enriquecidas en ^{13}C con relación al fitoplancton (Michener y Schell, 1994), o bien debido a los afloramientos de fitoplancton inducidos por la mezcla de agua y el consecuente aporte de nutrientes. Otra razón es que en las costas las cadenas alimentarias son más largas, de manera que es mayor la acumulación del enriquecimiento y conforme se acercan a la zona oceánica el aporte de nutrientes es generalmente más limitado. También se ha considerado que los niveles de producción de microalgas de las zonas oceánicas son más lentas por el decremento de CO_2 acuoso y en consecuencia los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de carbono en la base de la red trófica es bajo y aunado a que las cadenas alimentarias son más cortas, el enriquecimiento es menor para cada nivel trófico (Velasco-Tarelo, 2005).

Con respecto al $\delta^{15}\text{N}$ ocurre algo similar que con el $\delta^{13}\text{C}$, en áreas cercanas a la costa donde existe una mayor diversidad de presas y por consiguiente cadenas tróficas más largas, hay un mayor enriquecimiento de $\delta^{15}\text{N}$ (mayores valores). Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ tanto en el músculo como en el hígado de *R. longurio* fueron significativamente diferentes entre las zonas de estudio, siendo en promedio 3.6‰ más elevados en el SGC que en el GT. Recordando que en ambas localidades este tiburón ocupa los mismos niveles tróficos y se alimenta en las mismas zonas (costeras), se pueden descartar estas características como el origen de las diferencias en $\delta^{15}\text{N}$.

Aguíñiga-García *et al.*, (2007), reportan la misma tendencia para las mismas zonas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo del tiburón martillo, *Sphyrna lewini*, y en el MOP (de 3.5 – 5‰ y de 6‰ más elevadas en el SGC respectivamente). Estos autores mencionan que los valores más elevados en el SGC podrían explicarse debido a la presencia de una masa de agua subsuperficial subecuatorial con poco oxígeno asociada a un eddy ciclónico de meso escala con una profundidad de 900 m. Altabet *et. al.* (1999), establecieron que el Golfo de California presenta un enriquecimiento isotópico como resultado de la desnitrificación en aguas subóxicas

subsuperficiales mediante el análisis del $\delta^{15}\text{N}$ en sedimentos de fondo y del NO_3^- en la zona sub-eufótica. Álvarez-Borrego (1983) señala que en general, el Golfo de California se caracteriza por presentar un enriquecimiento en la cantidad de nutrientes en la capa superficial, la mayor parte de los cuales provienen del reciclamiento del MOP y son transportados por surgencias generadas por vientos o por corrientes de marea.

López-Ibarra (2008), reporta la misma tendencia en copépodos omnívoros. Menciona que este gradiente de sur a norte del $\delta^{15}\text{N}$ que se presenta en los copépodos se considera que es inducido por los patrones espaciales de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el nitrato disuelto, el cual alimenta la base de la cadena alimentaria. Ya antes se ha reportado un cambio latitudinal en la concentración de N y C. Dichas variaciones son referidas también por Hobson *et. al.* (1995), quien menciona que los isótopos estables de carbono y nitrógeno en la base de la cadena alimentaria pueden variar espacialmente, lo cual se refleja en una variación espacial en la composición isotópica entre las cadenas tróficas de diferentes ecosistemas. Dicha variación espacial puede ocurrir a gran escala, p. ej. diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las fuentes de nutrientes en las redes alimentarias marinas con respecto a las terrestres, o a una menor escala, debido a diferencias geográficas de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena alimentaria en un mismo ecosistema (Hobson *et. al.* 1995; Vander Zanden y Rasmussen 2001).

Con base en todo lo anterior se puede concluir que las diferencias en el $\delta^{15}\text{N}$ encontradas en este trabajo se deben a diferencias espaciales en los valores de este isótopo en la base de la cadena alimentaria; Aguíñiga-García *et al.*, (2007) proponen a *S. lewini* como un buen indicador de ambientes marinos que difieren en sus características biogeoquímicas, por lo que *R. longurio* podría tener el mismo papel como indicador de estas diferencias.

Se ha propuesto que estas diferencias espaciales en los valores isotópicos pueden utilizarse para establecer los movimientos migratorios en elasmobranquios, sin embargo, se debe tener cuidado al tratar realizar conclusiones a este respecto mediante esta técnica ya que se ha comprobado que las tasas de recambio en tejidos como el músculo, tanto en elasmobranquios como en algunos peces

teleosteos, son lentas y toman hasta más de un año, en consecuencia es altamente difícil que los valores en sus tejidos cambien dramáticamente por temporadas, y que por lo tanto indiquen patrones de migración (Hesslein, *et al.*, 1993; Domi *et al.*, 2005; MacNeil, *et al.*, 2006; Seth Newsome (com. pers. Carnegie Institute) por lo que el tejido más factible para tratar de explicar patrones de migración a corto plazo serían tejidos de tasas de recambio menores, en este caso, el hígado.

La migración de *R. longurio* es poco clara, Mejía-Salazar (2007) en su estudio sobre la biología reproductiva de *R. longurio* propone que los individuos de *R. longurio* capturados en el SGC y el GT forman parte de una misma población con un flujo reproductivo considerable entre ellos. En el actual trabajo se encontraron diferencias muy claras en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los individuos de *R. longurio* entre las zonas de estudio, patrón que se repite tanto en el hígado como en el músculo, sin embargo, en cuanto a los valores en el hígado, estos no serían de utilidad para demostrar esta teoría ya que, tomando en cuenta el estudio de Kato y Hernández (1967), quienes reportan el movimiento de un espécimen de *R. longurio* que fue marcado en la Bahía de San José del Cabo, B.C.S, siendo recapturado 4 meses más tarde 965.6 km al norte en la Península de Baja California, el tiempo que le tomaría a un tiburón del GT llegar al SGC o viceversa, suponiendo que tardara un tiempo similar y tomando en cuenta que la distancia entre ambas zonas es mucho mayor a los 965 km, cualquier marca isotópica en el hígado correspondiente a la primer zona se desvanecería (Domi *et al.*, 2005 y MacNeil *et al.*, 2006), mientras que, si tomamos en cuenta la tasa de recambio del músculo (alrededor de un año o más), debería entonces mostrar valores similares entre zonas si es que existe tal migración entre ellas, lo cual no fue así, por lo que se podría concluir que no existe intercambio de individuos entre el GT y el SGC, sin embargo, para entender mejor la migración de este tiburón sería necesario un estudio de marcado o de genética poblacional.

8.2 Ecología trófica: variación por sexo y estadio de madurez.

Se ha observado que el comportamiento trófico de algunas especies de peces a lo largo de su desarrollo ontogénico cambia de fuentes de alimento ya sea por cambios morfológicos, por la disponibilidad del alimento o por diferencias de sus

requerimientos energéticos (Gerking, 1994; Calow y Tyler, 1985). Esto ha sido observado en diversas especies de tiburones (Cabrera-Chávez-Costa, 2003; Meaghen *et. al.*, 2003; Velasco-Tarelo, 2005; McElroy *et. al.*, 2006; Navia *et. al.*, 2007; Baremore, 2007; Ellis y Musick, 2007; Polo-Silva *et. al.*, 2007) incluidas algunas especies del género *Rhizoprionodon* (Simpfendorfer *et. al.*, 2001; Bethea *et. al.*, 2007). En menor proporción se observan diferencias en la dieta por sexo, lo cual es atribuido principalmente a una segregación sexual (Springer, 1967; Simpfendorfer *et. al.*, 2001; Meaghen *et. al.*, 2003; Mc Elroy *et. al.*, 2006; Polo-Silva *et. al.*, 2007; Hernández-Aguilar, 2008).

A este respecto, en el actual estudio, la amplitud trófica determinada de manera general en ambas zonas, de acuerdo al índice de Levin, como un depredador especialista, no presentó variación por sexo y estadio de madurez, coincidiendo con lo mencionado por Alderete-Macal (2007) en el GT y Alatorre-Ramírez (2003) y Muratalla-Torres (2008) en el SGC, lo que significa que esta especie presenta el mismo patrón selectivo al momento de alimentarse a lo largo de su desarrollo ontogénico tanto en machos como hembras.

Con respecto al nivel trófico, Vander Zanden y Rasmussen (2001) mencionan que la posición trófica derivada de las medidas isotópicas puede usarse para determinar la variabilidad de la dieta entre los organismos de una población; los valores de nivel trófico calculados mediante los contenidos estomacales y los valores de $\delta^{15}\text{N}$, no fueron diferentes por sexo y estadio de madurez en *R. longurio* en ambas áreas de estudio, lo cual indica que no hay una preferencia diferencial por el tipo de presas consumidas por *R. longurio* (especies carnívoras) tanto por sexo como por estadio de madurez.

En el GT de acuerdo al índice de traslape de dieta de Morisita-Horn y el ANOSIM se observó un traslape importante en la dieta por estadio de madurez y por sexo, y se corroboró con los valores isotópicos los cuales no presentaron diferencias significativas en ninguno de los dos tejidos por sexo y estadio de madurez, lo que sugiere entonces que todos los organismos forrajean en las mismas áreas y/o se

alimentan en proporciones muy similares de presas con los mismos hábitats (costero/bentónicos) con base en el $\delta^{13}\text{C}$. Mientras que con base en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se puede inferir que todos los individuos se alimentan en proporciones similares de presas con los mismos niveles tróficos.

En el SGC se presenta una situación diferente. Ya ha sido reportado anteriormente que existe una segregación tanto sexual como por tallas de los tiburones *R. longurio* en la zona del SGC (Castillo-Géniz, 1990; Alatorre-Ramírez, 2003). En este trabajo se encontró, de acuerdo al Índice de Morisita-Horn y al ANOSIM, que existe un traslape de dieta por sexo, tanto en tiburones juveniles como en los adultos, sin embargo, observando los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se presentaron pequeñas diferencias, no significativas, por sexo, en el musculo para los adultos, y más marcado en el hígado para los juveniles, indicando en este último caso que las hembras juveniles se alimentan de presas con menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, tal vez debido a que se deba de especies más pelágicas que las de los machos juveniles, concordando con lo encontrado según los contenidos estomacales.

Por otro lado, con respecto al estadio de madurez, de acuerdo al ANOSIM existen diferencias en la dieta de tiburones machos juveniles con respecto a la de los adultos. Esto también se corroboró mediante los análisis isotópicos, donde se encontró que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron significativamente más altos en los adultos que en los juveniles, tanto en el hígado (1‰) como en el músculo (0.6‰). Y en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en el hígado, siendo menores en las hembras adultas ($\geq 1‰$).

Estas diferencias podrían explicarse por varias razones: una es el factor migración. Como se mencionó en el apartado pasado, la migración de *R. longurio* no es bien conocida aunque el único patrón mejor establecido es el que propone una migración reproductiva en la población del Golfo de California, del sur de la Isla Tiburón, en el centro del Golfo, hacia la región sur del estado de Nayarit, durante invierno-primavera a través de la costa oriental del Golfo de California (Castillo-Géniz, 1990), con movimientos de retorno en el periodo otoño-verano, en dirección opuesta alcanzando su lugar de origen, incluyendo el Alto Golfo de California (Cudney-Bueno y Turk-Boyer, 1998). Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ del hígado del tiburón bironche en el SGC en los primeros dos meses de la temporada, que corresponden a los de tiburones juveniles, son más bajos que el resto, lo que puede deberse a que

los valores corresponden a los de lugares más al norte, de acuerdo con lo establecido por Castillo-Géniz (1990), sin embargo, se ha observado en varios trabajos que en el Golfo de California hay un gradiente latitudinal con respecto al $\delta^{15}\text{N}$ con valores más altos hacia la región norte del Golfo (Altabet *et. al.*, 1999; Díaz-Gamboa y Gendron, 2007; Guerrero-de la Rosa, 2008) por lo que sería de esperarse que los valores al inicio de la temporada fueran más altos y no más bajos como se encontró en este trabajo, de esta manera, o los tiburones vienen de otras zonas y no del norte, o estas diferencias podrían explicarse mejor por otros factores como las diferencias en la alimentación por estadio de madurez, donde los juveniles estarían consumiendo presas con niveles tróficos ligeramente menores que las de los adultos o simplemente con valores de $\delta^{15}\text{N}$ un poco menores.

De acuerdo a lo observado en los contenidos estomacales, los juveniles consumieron en mayor proporción peces que organismos de otros grupos taxonómicos, mientras que los adultos consumieron en mayor proporción cefalópodos que peces, Torres-Rojas (2006) reportó valores de $\delta^{15}\text{N}$ un poco más altos en el cefalópodo *L. diomedea* (16.3‰) que en los peces *C. orqueta* (16.04‰) y la familia Bothidae (15.6‰), presas que son importantes en la dieta de *R. longurio* lo que explicaría mejor las diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ y corroboraría el cambio ontogenético en la dieta encontrado mediante los contenidos estomacales.

Estas diferencias en el comportamiento alimentario por sexo y estadio de madurez de *R. longurio* entre las zonas de estudio registradas en este trabajo han sido observadas en otras especies de tiburones incluida una especie del mismo género, *Rhizoprionodon terranoveae*, en el Atlántico; por un lado Barry (1996) menciona que este tiburón parece utilizar la Bahía de Timbalier, Louisiana, de igual manera por juveniles y adultos debido a su riqueza en alimento, principalmente peces clupeidos, carangidos y bothidos; y por otro lado Bethea *et. al.*, (2006) señala que esta misma especie en el noreste del Golfo de México presenta cambios ontogenéticos en la dieta, donde los juveniles también consumen más presas bentónicas y los adultos más epipelágicas, y atribuye el cambio a un incremento en la capacidad de los adultos a alcanzar presas mayores y más rápidas. De acuerdo con Brodeur y Perci (1992), el traslapo de dieta se incrementa cuando los recursos

son más abundantes, lo cual podría significar que la abundancia del pez *R. nitens* en el GT es grande y por eso se observa el alto grado de traslapo trófico por sexo y estadio de madurez; mientras que en el SGC, las dietas de *R. longurio* se encuentran dominadas por un mayor número de especies presas por lo que se podría inferir que en esta zona hay una mayor igualdad en la abundancia y/o disponibilidad de las especies que consume este tiburón.

8.3 Ecología trófica: variación por zona de estudio.

En cuanto a la amplitud trófica, en ambas zonas el índice de Levin presentó valores muy bajos ($B_i=0.01$ y $B_i=0.00$ en el SGC y GT respectivamente) correspondiendo a los de un depredador especialista, y este resultado no varió por sexo y estadio de madurez. Estos resultados se pueden explicar debido a que, aunque el espectro trófico presentó una gran variedad de tipos presa en ambas zonas (37 en el GT y 20 en el SGC), en el GT la dieta de *R. longurio* estuvo dominada principalmente por una especie, el congriado *R. nitens* (59% IIR), y en el SGC por cuatro tipos de presas: *O. dovii* (24% IIR), familia Ophichthidae (18% IIR), familia Bothidae (17% IIR) y *Argonauta* spp (15% IIR), esto también se reflejó en los valores tanto del índice de Levin como de las variancias isotópicas, siendo ligeramente mayores en el SGC que en el GT.

Al respecto, en el SGC otros autores como Castillo-Géniz (1990), señala que esta especie de tiburón es un depredador oportunista, Alatorre-Ramírez (2003) que es un depredador generalista, y Muratalla-Torres (2008) al igual que Alderete-Macal (2007) lo determinaron como especialista. Los dos últimos trabajos y el presente no concuerdan en la determinación ecológica de *R. longurio* como depredador con los dos primeros. Otros tiburones del género, como *R. terraenovae*, ha sido reportado como altamente oportunista, explotando diversos recursos como peces, crustáceos y moluscos (Gelsleichter *et. al.* 1999); Barry (1996) también reporta cambios en las especies dominantes en la dieta de *R. terraenovae* con respecto a otros trabajos para la misma especie. Al observar todos los cambios en las especies o tipos presa dominantes en la dieta de *R. longurio* a través de los años en los diferentes estudios, y en las diferentes zonas, se podría concluir que este tiburón es un depredador

oportunista más que un especialista, que consume las especies que se encuentren en mayor abundancia al momento en que este tiburón se presenta en la zona, sin embargo, es difícil concluir esto debido a que no conocemos la abundancia de las especies presa en ambas áreas de estudio, lo más factible sería decir que el tiburón bironche tiene la capacidad de capturar una gran variedad de presas pero parece depredar en mayor cantidad y selectivamente sólo a algunas de ellas. Este tipo de comportamiento puede ser una ventaja para *R. longurio* ya que los peces con una dieta demasiado selectiva tienden a ser más susceptibles a cambios en la disponibilidad de las presas en el ecosistema (Trowbridge, 1991).

La determinación de la amplitud trófica mediante los valores de variancia de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ nos arrojó como resultado que estas poblaciones podrían ser tanto especialistas como generalistas de tipo B (Bearhop *et. al.*, 2006) debido a la poca variabilidad encontrada en los valores isotópicos de los músculos que fue el tejido que se utilizó por ser con el que se cuenta en mayor número, sin embargo, estas bajas variancias se pueden deber más bien a la tasa de recambio del tejido que es larga, y la cual podría desvanecer los cambios en la alimentación a lo largo del tiempo (p. ej. de presas bentónicas contra epipelágicas o por grupo taxonómico). Para poder llegar a conclusiones más certeras a este respecto mediante los isotopos se requeriría utilizar un tejido con una tasa de recambio mucho menor y si es posible contar con los valores isotópicos en las presas.

Con respecto al nivel trófico, se considera que es una buena herramienta para determinar el flujo de energía en los ecosistemas acuáticos ya que se calcula como una variable continua que cuantifica la vía de la energía promedio hasta el consumidor (Vander Zanden y Rasmussen, 1999). El nivel trófico determinado, fue el mismo para ambas zonas de estudio, de consumidor terciario o carnívoro de alto nivel ($\text{NT} > 4$), esto concuerda con los hábitos alimentarios de las presas más importantes de *R. longurio*, las cuales son todas especies carnívoras. Cortés (1999), determinó el mismo nivel trófico tanto para *R. longurio* (4.2), como para otros tiburones del mismo género y concuerda con el nivel trófico promedio determinado para los tiburones: consumidores terciarios ($\text{NT} > 4$). Chipps y Garvey (2006), mencionan que el nivel trófico también es útil para determinar patrones de

alimentación debido a que incorpora la contribución relativa de diferentes niveles tróficos a la dieta de los peces. De acuerdo con Vander Zanden *et al.*, (1997) la variación en el nivel trófico refleja la magnitud de dos componentes de la dieta: (1) la amplitud de la dieta, que incluye todas las presas consumidas, y (2) la continuidad en la dieta, que incluye la frecuencia en la cual cada depredador consume repetidamente el mismo tipo de presa. Cuando se presentan niveles altos de variación, indican una amplitud grande y continuidad de la dieta; mientras que una variación baja puede representar dos cosas: una amplitud grande pero con baja continuidad (todos los tiburones consumen proporciones similares de un amplio intervalo de presas), o una amplitud baja (p. ej. todos los individuos se especializan en un reducido grupo de tipos presa).

En este trabajo se encontró una baja variación en los niveles tróficos de los tiburones de *R. longurio* en ambas zonas de estudio, sin embargo, observando el número de presas más importantes y la variación en los valores isotópicos (que también es bajo), estaríamos hablando del último caso para el GT: todos los individuos se especializan en un reducido grupo de tipos presa, mientras que en el SGC todos los tiburones consumen proporciones similares de un intervalo más amplio de presas.

Los valores de nivel trófico calculados en este trabajo mediante los contenidos estomacales (SGC: 4.2 ± 0.1 , GT: 4.0 ± 0.5), no fueron diferentes de los calculados utilizando los valores isotópicos (SGC: 4.1 ± 0.2 , GT: 4.1 ± 0.2), coincidiendo con otros autores como Chipps y Garbey (2006) y Estrada *et al.* (2003) en cuanto a que ambas técnicas son útiles para el cálculo de la posición trófica.

De esta manera, se encontró a nivel general que la estrategia de alimentación de *R. longurio* es la misma en ambas zonas de estudio. De acuerdo al hábitat de sus presas principales (especies costeras) y a los valores de $\delta^{13}\text{C}$, este tiburón se alimenta sobre la plataforma continental, en fondos arenosos y lodosos de especies neríticas, tanto bentónicas como epipelágicas, y de acuerdo con el IIR, es un depredador principalmente ictiófago y en menor grado teutófago, diferentes autores como Sotelo (1984), Castillo-Géniz (1990), Alatorre (2003), Alderete-Macal (2007) y

Muratalla-Torres (2008), mencionan también que los peces son el componente más importante en la dieta de este tiburón.

Por otro lado, se observaron algunas diferencias en los hábitos alimentarios del tiburón por zona, sin embargo, estas diferencias se pueden considerar estándar dadas por las características propias de cada localidad, principalmente la presencia/ausencia y abundancia de especies presa potenciales para este tiburón en su zona de distribución.

En el GT se encontró que todos los individuos de *R. longurio* tanto machos como hembras, juveniles y adultos se alimentan de manera similar: en mayor proporción de especies bentónicas que epipelágicas, y, aunque se encontraron especies de diversos grupos taxonómicos (rayas, crustáceos, gasterópodos, cefalópodos, bivalvos, poliquetos y sipuncúlidos), los peces (92% IIR) fueron las presas principales, específicamente la anguila *R. nitens*, (59% IIR), debido probablemente a que es muy abundante en la zona, y como presas secundarias: rayas y el gasterópodo *Assimenea* spp; todas estas especies habitan en fondos suaves, arenosos y lodosos las cuales según Tapia (1998) y Alderete-Macal (2007) son parte de la fauna característica del GT, debido al tipo de fondo en el lugar. En el SGC se encontraron diferencias en la dieta principalmente por estadio de madurez, los adultos y hembras juveniles se alimentaron en mayor proporción de especies epipelágicas que bentónicas, y lo contrario se observó en los machos juveniles; las presas más importantes en los adultos fueron los cefalópodos: *Argonatus* spp., *L. diomedea*, y en menor medida los peces: anguilas de la familia Ophichthidae y *O. dovii*. Mientras que los juveniles consumieron en mayor proporción peces: *O. dovii*, lenguados de la familia Bothidae, anguilas de la familia Ophichthidae y Serranidos. Castillo-Géniz (1990), señala que esta especie de tiburón en la zona de Mazatlán, Sinaloa es un depredador de peces que habitan sobre el fondo en la plataforma continental, pudiendo ser uno de los principales reguladores de las poblaciones de peces demersales de la zona; Alatorre-Ramírez (2003), reporta también que los cefalópodos forman parte importante de la dieta de este tiburón. En otras especies del género *Rhizoprionodon*, también se ha encontrado que los peces son el componente principal en su dieta, aunque consumen presas de diversos grupos taxonómicos, tales como crustáceos, gasterópodos, elasmobranquios, cefalópodos e

incluso angiospermas, sin embargo, la importancia de cada grupo varía, al igual que en *R. longurio*, con la talla y la zona (Barry, 1996; Simpfendorfer, 1998; Hoffmayer y Parsons, 2003; Bethea *et. al.*, 2004; White *et. al.*, 2004).

9. CONCLUSIONES

- La estrategia alimentaria de *R. longurio* es la misma en ambas zonas de estudio: se alimenta de organismos carnívoros en zonas costeras sobre fondos lodosos y arenosos, de acuerdo con los valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, nivel trófico y al hábitat de las presas principales.
- Las diferencias observadas entre zonas se deben a la abundancia y distribución diferencial de las presas en cada localidad:
 - En el GT este tiburón es principalmente ictiófago y no presentó diferencias en su alimentación por sexo ni estadio de madurez, lo cual podría deberse a la alta disponibilidad de la anguila *R. nitens* en la zona, que es la presa principal de acuerdo con el IIR.
 - En el SGC de acuerdo al índice de traslapo trófico, al ANOSIM y a los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se observaron diferencias entre las dietas por estadio de madurez: los machos juveniles consumen una mayor proporción de peces que cefalópodos, mientras que en los adultos ocurre lo inverso, siendo las presas principales en esta zona el pez carangido *O. dovii*, anguilas de la familia Ophichthidae, lenguados de la familia Bothidae y los cefalópodos *Argonauta spp.* y *L. diomedeeae*.
- *R. longurio* tiene la capacidad de capturar una gran variedad de presas de acuerdo con el número de especies identificadas en los contenidos estomacales, sin embargo, de acuerdo al índice de amplitud trófica que lo cataloga como especialista, selecciona su alimento y consume en mayor cantidad sólo algunas de ellas, presumiblemente las de mayor abundancia por

lo que, y de acuerdo a la variancia en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, esta especie es un depredador oportunista más que especialista.

- La diferencia en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, entre zonas observadas tanto en músculo como en hígado de *R. longurio* se deben por lo tanto a diferencias en los valores en las bases de la cadena trófica propios de cada lugar y no a diferencias en el nivel trófico, cadena alimentaria o zonas de alimentación del tiburón, por lo que este organismo puede ser un buen indicador de las diferencias biogeoquímicas en los ambientes marinos ya que los valores en la base de la cadena trófica se reflejan hasta esta especie.
- Se propone entonces que no existe un intercambio poblacional entre el GT y el SGC de acuerdo con las diferencias encontradas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$.
- Los resultados obtenidos mediante los análisis isotópicos coinciden con los obtenidos a través de los contenidos estomacales, por lo que se puede concluir que la primera es una buena herramienta para evaluar los hábitos alimentarios de *R. longurio* en el SGC y el GT.

10. RECOMENDACIONES

- Hacen falta estudios de marcado y/o de genética poblacional para poder determinar si los organismos pertenecen o no a una misma población y definir sus patrones de migración.
- Es necesario para estudios de alimentación realizar los análisis de isótopos estables en múltiples tejidos con diferentes tasas de recambio, ya que así se puede llegar a una mejor resolución trófica que el uso de un solo tejido.
- Hacen falta más experimentos para cuantificar las tasas de recambio de isótopos estables en diferentes tejidos y especies de elasmobranquios y su variación a lo largo del desarrollo ontogénico, para mejorar la precisión de los análisis isotópicos.

- Es necesario contar con información sobre la abundancia y distribución de las especies presa en cada zona de estudio para llegar a conclusiones más precisas en cuanto a la amplitud de dieta.
- Se recomienda para estudios de ecología trófica mediante isotopos estables de carbono y nitrógeno, obtener los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en las presas ya que esto permitiría estimar un valor de enriquecimiento para el depredador y también sería útil en la determinación de la amplitud de la dieta.

11. LITERATURA CITADA

- Alatorre V.G. 2003. Análisis del contenido estomacal del tiburón *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882), capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 34 pp.
- Aguíñiga S., F. Galván-Magaña, M. Miranda, Y. Torres-Rojas, N. Silverberg y A. Sánchez. 2007. The hammerhead shark *Sphyrna lewini* as an indicator of $\delta^{15}\text{N}$ shifts in particulate organic matter from contrasting oceanographic areas. Abstracts 1st Globec CLIOTOP Symposium. La Paz, B.C.S., México.
- Alderete-Macal M.J. 2007. Hábitos alimenticios del tiburón horma, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882) en Salina Cruz, Oaxaca. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 59 pp.
- Álvarez -Borrego S. 1983. Gulf of California. *En*: Ketchum, B.K. (ed). *Ecosystems of the World 26, Estuaries and Enclosed Seas*. Elssvier Scientific Publishing Co. UK. 427-449 pp.
- Baremore E. 2007. Feeding ecology of the Atlantic angel shark in the northeastern Gulf of Mexico. *Tesis de maestría*. Universidad de Florida. E.U.A. 79 p.
- Barry K. P. 1996. Feeding habits of Blacktip sharks, *Carcharhinus limbatus*, and Atlantic Sharpnose sharks, *Rhizoprionodon terraenovae*, in Louisiana Coastal Waters. *Tesis de Maestría*. University of South Alabama. E.U.A. 80 pp.
- Bethea D. M., J. K. Carlson, J.A. Buckel & M. Satterwhite. 2006. Ontogenetic and site-related trends in the diet of the Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon*

- terraenovae* from the northeast Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 78(2): 287-307.
- Bethea D.M., J.A. Buckel, & J. K. Carlson. 2007. Foraging ecology of the early life stages of four sympatric shark species. *Mar Ecol Prog Ser*. 268: 245-264.
- Bonfil R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical paper* 3410. 119pp.
- Brodeur R.D. & W.G. Pearcy. 1992. Effects of environmental variability on trophic interactions and food web structure in a pelagic upwelling ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 101-119.
- Brooks J. & S.I. Dodson. 1965. Predation, body size, and composition of plankton. *Science*. 150: 28–35.
- Cabrera-Chávez-Costa. A. 2003. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. *Tesis de maestría*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 110 pp.
- Calow P. & P. Tytler. 1985. Fish energetic, new perspectives. *The John Hopkins University Press*. UK. 349 pp.
- Carrier J.C., J.A. Musick, y M.R. Heithaus. 2004. *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press. E.U.A. 596 pp.
- Castillo-Géniz J.L. 1990. Contribución al conocimiento de la biología y pesquería del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio*, (Jordan y Gilbert, 1882) (Elasmobranchii, Carcharhinidae), del Sur de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 128 pp.
- Chippis S.R. & J.E. Garvey. 2006. *Assessment of Food Habits and Feeding Patterns*. American Fisheries Society. E.U.A. 42 p.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. UK: *Natural Environment Research Council*. 144p.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 2001. Primer V6. User manual/tutorial. Primer-E Ltd. Plymouth Marine Laboratory. 910.

- Compagno L.J.V. 1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. FAO Fisheries Synopsis N° 125, 4 (1 and 2): 655 pp.
- Cortés, E. 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES Jou. Mar. Sci.* 56: 707-717.
- Cudney-Bueno, R. y P. J. Turk-Boyer. 1998. Pescando entre mareas del Alto Golfo de California. Una guía sobre la pesca artesanal, su gente y sus propuestas de manejo.
- Das K., C. Beans, L. Hosbeeck, G. Mauer, S.D. Berrow, E. Rogan & J. M. Bouquegneau. 2003. Marine mammals from northeast Atlantic: relationships between their trophic status as determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ measurements and their trace metal concentrations. *Mar. Env. Res.* 56: 349-365.
- Day, J. W. Jr., C. A. S. Hall, W. M. Kemp & A-Yañez-Arancibia, 1989. Estuarine ecology. *Jhon-Wiley & Sons*. E. U. A. 558 pp.
- De Niro M.J. & S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 45 : 495-506.
- Díaz-Gamboa, R.E. 2003. Diferenciación entre Tursiones *Tursiops truncatus* costeros y oceánicos en el Golfo de California por medio de isótopos estables de carbono y nitrógeno. *Tesis de Maestría*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 62 pp.
- Díaz-Gamboa, R.E. y D. Gendron. 2007. Trophic relationships of teutophagous cetaceans and the Jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California. Abstracts 1st Globec CLIOTOP Symposium. La Paz, B.C.S., México.
- Domi N., J.M. Bouquegneau & K. Das. 2005. Feeding ecology of five commercial shark species of the Celtic Sea through stable isotope and trace metal analysis. *Mar. Env. Res.* 60 : 551-569.
- Elroy W.D., B.M. Wetherbee, C.S. Mostello, C.G. Lowe, G.L. Crow & R.C. Wass. 2006. Food habits and ontogenetic changes in the diet of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in Hawaii. *Environmental Biology of Fishes.* 76(1).
- Ellis J.K. & J.A. Musick. 2007. Ontogenetic changes in the diet of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in lower Chesapeake Bay and Virginia (USA) coastal waters. *Environ Biol Fish.* 80: 51-67

- Estrada J. A., A. N. Rice, M. E. Lutcavage & G.B. Skomal. 2003. Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. *J. Mar. Biol. Assoc. of United Kingdom*. 1347-1350 pp.
- FAO (2003) Fisheries management 2. The ecosystem approach to fisheries. FAO, Rome.
- Fry, B. 2004. Conferencia: *Stable Isotope in Pelagic ecosystems Globec-Clitop working group 3*. Presentación: La Paz, México. IPN-CICIMAR, LSU, CSIRO, CIAT-IATTC e IRD.
- Frank K.T., B. Petrie, J.S. Choi & W.C. Leggett. 2005. Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science*. 301(5728):1621–1623.
- Gelsleichter, J., J. A. Musick, & S. Nichols. 1999. Food habits of the smooth dogfish, *Mustelus canis*, dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, and the sand tiger, *Carcharhinus taurus*, from the northwest Atlantic Ocean. *Env. Biol. Fish.* 54: 205-217.
- Gerking, S. D. 1994. Feeding ecology of fish. *Ecol. of Fish. Academic Press*. 416 p.
- Gómez-Fermín E. & K.M. Bashirulah. Relación longitud - peso y hábitos alimenticios de *Rhizoprionodon porosus* Poey 1861 (fam. Carcharhinidae) en el oriente de Venezuela. *Biol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente* 23(1 de 2): 49-54.
- Guerrero de la Rosa, F.J. 2008. Variación en la dieta de los cachalotes del Golfo de California con base en isótopos estables de carbono y nitrógeno. *Tesis de Maestría*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 67 pp.
- Hansson A., W.G. Hobbie, R. Elmgreen, U. Larsson, B. Fry, & S. Johansson. 1997. The stable nitrogen isotope ratio as marker of food web interactions and fish migration. *Ecol.* 78(7): 2249-2257.
- Harvey, C.J. y J.F. Kitchel. 2000. A stable isotope evaluation of structure and spatial heterogeneity of a lake superior food web. *Can. J. fish and Aquat. Sci.* 57: 1395–1403.
- Hesslein, R. H., Hallard, K. A., & Ramlal, P. 1993. Replacement of sulfur, carbon, and nitrogen in tissue of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50(10): 2071–2076.

- Hernández-Aguilar, S. B. 2008. Espectro trófico del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur, México. *Tesis de maestría*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 79 pp.
- Hoffmayer E. R. & G. R. Parsons. 2003. Food habits of three shark species from the Mississippi sound in the northern Gulf of Mexico. *Southeastern Naturalist*. 2(2): 271-280.
- Hobson A., W.G. Ambrose y P.E. Renaud. 1995. Source of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationship within the Northeast water Polynya; in sights from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Mar Eco Prog Ser*. 128: 1-10.
- Jardine, T.D., S.A MacGeachy, C.M. Paton, M. Savoie & R. A. Conjank. 2003. Stable isotopes in aquatic systems, preparation and analysis and interpretation. *Can. Manus. Rep. of Aqua. Sci*. 2656: 37 p.
- Jennings S. & M.J. Kaiser. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. *Adv. Mar. Biol.* 34:201–352.
- Jiménez-Valverde, A. & J. Hortal, 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. 8: 151-161.
- Kessler, W.S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*: 181-217 pp.
- Langton, R. W. 1982. Diet overlap between the Atlantic cod *Gadus Morta* silver hake *Merluccius bilinearis* and fifteenth other northwest Atlantic finfish. *U.S: Nat. Mar. Fish. Serv. Fish Bull.*, 80: 745-759.
- López-García L. y J. Tovar-Ávila. 2008. Estructuras de tallas de tiburón bironche (*Rhizoprionodon longurio*) en el sur del Golfo de California (Nayarit y Sinaloa, México). *III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas*. Facultad de Ciencias, UNAM.
- López-Ibarra G.A. 2008. Estructura trófica de los copépodos pelágicos en el Océano Pacífico oriental tropical. *Tesis de doctorado en ciencias*. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 91 pp.

- MacNeil M., K. Drouillard, A. Fisk. 2005. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 63: 345–353.
- Márquez-Farias J.F., E.D. Corro-Espinosa & G.J. Castillo-Géniz. 2004. Observations on the biology of the Pacific Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon longurio*, Jordan and Gilbert, 1882), captured in Southern Sinaloa, México. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science.* 35 (37): 1-8 pp.
- Mejía-Salazar, L.A., Biología reproductiva del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) en el pacífico Mexicano. *Tesis de maestría.* Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 67 pp.
- Michener, R.H. & D.M. Schell. 1994. Stable isotopes ratios as tracers in marine aquatic food webs. En: K. Lattjha y R. H. Michener (Eds). *Stable isotopes in ecology and environmental science.* R. U. Blackwell Scientific Publications. 138-186 pp.
- Minagawa, W. & E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica Cosmochimica Acta.* 48: 1135-1140.
- Muratalla-Torres. 2008. Hábitos alimenticios del tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1842) en la costa de Mazatlán, Sinaloa. *Tesis de licenciatura.* Universidad Autónoma de Metropolitana. México. 70 pp.
- Navia, A.F., P.A. Mejía-Falla & A. Giraldo. 2007. Feeding ecology of elasmobranch fishes in coastal waters of the Colombian Eastern Tropical Pacific. *BMC Ecology.* 7:8.
- Paré, J.R., M.R. Bélanger & S.S. Stafford. 1994. Microwave-Assisted Process (MAPTM): a new tool for the analytical laboratory. *Trends in analytical chemistry.* 13:176-184 pp.
- Peterson, B. J. & B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 18: 293-320.
- Pinnegar, J.K., S.O. Jennings, M. O'Brien & V.C. Polunin. 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish marked price distribution. *Journal of Applied Ecology.* 39: 377-390.

- Pinnegar, J.K. & N.V.C. Polunin. 1999. Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among Fish Tissues: Implications for the Study of Trophic Interactions. *Functional Ecology*. (13) 225-231.
- Polo-Silva, C.J., A. Baigorri-Santacruz, F. Galván-Magaña, M. Grijalba-Benedeck & A. Sanjuan-Muñoz. 2007. Hábitos alimentarios del tiburón zorro *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839), en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 42(1): 59 – 69.
- Post D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83: 703-718.
- Pratt, H.L. Jr. & J.G. Casey. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth parameters En: Pratt, H.L. Jr., Gruber, S.H. & Taniuchi, T. (Eds.). Elasmobranchs as living resources. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS. 90. 97-109 pp.
- Renoe, B.W. 1994. Microwave assisted extraction. *American Laboratory*. 8: 34-40 pp.
- Sainsbury, K.J., A.E. Punt, & A.D.M. Smith. 2000. *Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives*. ICES Journal of Marine Science, 57: 731–741.
- Sarakino, H.C., I. L. Jonson & M.D. Vander. 2002. A síntesis of tissue preservation effect on carbon and nitrogen stable isotope signature. *Can. J. Zool.* 80: 382-387.
- Scharf F.S., R.M. Yetter, A.P. Summers, & F. Juanes. 1998. Enhancing diet analyses of piscivorous fishes in the Northwest Atlantic through identification and reconstruction of original prey sizes from ingested remains. *Fish Bull* 96:575–588.
- Simpfendorfer, C. A. 1998. Diet of the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori*, from northern Queensland. *Marine and Freshwater Research*. 49(7): 757 – 761.
- Simpfendorfer C.A., A.B. Goodreid, & R.B. McAuley. 2001. Size, sex and geographic variation in the diet of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, from western australian waters. *Environmental Biology of Fishes*. 61(1): 37-46

- Sotiropoulos, M.A., W.M. Tom, & L.I. Wassenaar. 2004. Effects of lipid extraction on stable carbon and nitrogen isotope analyses of fish tissues: potential consequences for food web studies. *Ecology of Freshwater Fish*. (13) 155–160.
- Stevens J.D., R. Bonfil, M.K. Dulvy, P.A. Walker. 2000. The effect of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES J Mar Sci* 57:476–494.
- Tapia, G.M. 1998. El Golfo de Tehuantepec, el Ecosistema y sus Recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 239 pp.
- Thunell R.C. y A.B. Kepple. 2004. Glacial-Holocene D¹⁵N record from the Gulf of Tehuantepec, Mexico: Implications for denitrification in the eastern equatorial Pacific and changes in atmospheric N₂O. *Global Biogeochemical Cycles*. (18) GB1001, doi:10.1029/2002GB002028.
- Trasviña, A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, M. Kosro, R.L. Smith. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: the asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research* 100 (C10), 20649–20663.
- Trowbridge C.D. 1991. Diet specialization limits herbivorous sea slug's capacity to switch among food species. *Ecology* 72(5):1880–1888.
- Torres-Rojas Y. E. 2006. Hábitos alimenticios y la razón de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) del tiburón *Sphyrna lewini*, (Griffith y Smith 1834) capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. *Tesis de maestría*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 108 pp.
- Vander Zanden M.J., G. Cabana, & J.B. Rasmussen. 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios and literature dietary data. *Can J Fish Aquat Sci*. 54: 1142-1158.
- Vander Zanden M.J. & J.B. Rasmussen, 1999. Primary Consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the Trophic Position of Aquatic Consumers. *Ecology*. 80(4): 1395-1404.
- Vander Zanden M.J. & J.B. Rasmussen. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Trophic Fractionation: Implications for Aquatic Food Web Studies. *Limnology and Oceanography*. 46(8): 2061-2066.

White E.P., S.K. Morgan-Ernest, A.J. Kerkhoff, & B.J. Enquist. 2004. Relationships between body size and abundance in ecology. *Trends in Ecology and Evolution*. 22(6): 323-330.

Anexos

Anexo I. Espectro trófico del tiburón bironche *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase	Orden ó Familia	Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes										
	Restos de peces		20	25.64	17	12.88	43.56	5.46	174.14	24.05
Anguilliforme										
	Anguilliforme		3	3.85	4	3.03	4.20	0.53	13.68	1.89
Balistidae										
	<i>Balistes polylepis</i>		1	1.28	1	0.76	4.84	0.61	0.66	0.09
Bothidae										
	Bothidae		11	14.10	12	9.09	76.30	9.57	100.40	13.87
Bregmacerotidae										
	Bregmacerotidae		1	1.28	1	0.76	0.10	0.01	0.35	0.05
Carangidae										
	<i>Chloroscombrus orqueta</i>		1	1.28	1	0.76	64.10	8.04	12.71	1.76
	Carangidae		2	2.56	4	3.03	0.76	0.10	8.55	1.18
Clupeidae										
	Clupeidae		2	2.56	3	2.27	40.82	5.12	21.08	2.91
Congridae										
	<i>Rhynchoconger nitens</i>		13	16.67	30	22.73	207.97	26.07	311.29	42.99
Echeneidae										
	<i>Remorina albescens</i>		1	1.28	1	0.76	3.58	0.45	0.58	0.08

Ophidiidae	1	1.28	1	0.76	0.30	0.04	0.36	0.05
<i>Lepophidium pardale</i>	2	2.56	2	1.52	7.95	1.00	2.38	0.33
Paralichthyidae								
Paralichthyidae	1	1.28	1	0.76	2.40	0.30	0.50	0.07
<i>Citharichthys platophrys</i>	1	1.28	2	1.52	14.10	1.77	1.61	0.22
Pleuronectiforme								
Pleuronectiforme	1	1.28	1	0.76	4.30	0.54	0.63	0.09
Scombridae								
<i>Auxis spp.</i>	1	1.28	1	0.76	107.30	13.45	7.37	1.02
Scombridae	2	2.56	2	1.52	71.29	8.94	10.71	1.48
Synodontidae								
Synodontidae	1	1.28	1	0.76	19.90	2.49	1.60	0.22
Triglidae								
<i>Prionotus albirostris</i>	1	1.28	1	0.76	0.00		0.34	0.05
Triglidae	1	1.28	1	0.76	0.80	0.10	0.40	0.05
Subtotal			87	65.91	674.57	84.57	669.34	92.44
Chondrichthyes								
Batoidea	4	5.13	4	3.03	50.90	6.38	18.84	2.60
Subtotal			4	3	51	6	19	3
Crustacea								
Restos de crustáceos	2	2.56	2	1.52	2.10	0.26	1.65	0.23
Portunoidea								
<i>Euphylax dovii</i>	3	3.85	3	2.27	13.90	1.74	5.83	0.81
<i>Portunus xantusii</i>	2	2.56	3	2.27	37.00	4.64	6.91	0.95
Peneidae								0.00
Peneidae	4	5.13	5	3.79	2.19	0.27	4.87	0.67
Stomatopoda								
Stomatopoda	3	3.85	3	2.27	0	0.00	1.72	0.24
Squillidae								
Squillidae	1	1.28	1	0.76	1.20	0.15	0.42	0.06
<i>Squilla hancocki</i>	1	1.28	1	0.76	4.00	0.50	0.61	0.08

<i>Squilla panamensis</i>	1	1.28	2	1.52	4.06	0.51	0.95	0.13
<i>Schmitius politus</i>	1	1.28	1	0.76	0.15	0.02	0.35	0.05
Solenoceridae								
<i>Solenocera florea</i>	1	1.28	1	0.76	0.80	0.10	0.40	0.05
Geryonidae								
<i>Arenaeus mexicanus</i>	1	1.28	1	0.76	5.50	0.69	0.70	0.10
Subtotal			21	16	69	9	23	3
Cephalopoda								
Enoploteuthidae								
<i>Abraliopsis affinis</i>	1	1.28	1	0.76	0.00	0.00	0.34	0.05
Subtotal			1	1	0	0	0	0
Gasteropoda								
Assimineidae								
<i>Assiminea spp.</i>	2	2.56	17	12.88	2.30	0.29	12.01	1.66
Subtotal			17	13	2	0	12	2
Bivalva								
Lucinidae								
<i>Lucina aproximata</i>	2	2.56	3	2.27	0.20	0.03	2.09	0.29
Subtotal			3	2	0	0	2	0
Polychaeta								
Polychaeta	1	1.28	1	0.76	0.70	0.09	0.39	0.05
Subtotal			1	1	1	0	0	0
Sipunculidea								
Sipunculidea	1	1.28	1	0.76	0.40	0.05	0.37	0.05
Subtotal			1	1	0	0	0	0
MONI	2	2.56	3	2.27	4.40	0.55	2.64	0.37
Total	n=37		132	100	798	100	724	100

Anexo II. Espectro trófico de hembras juveniles del tiburón bironche *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Carangidae								
Carangidae	1	20	1	12.50	0.50	1.85	286.90	7.17
Ophidiidae								
Ophidiidae	1	20	1	12.50	0.30	1.11	272.14	6.80
Congridae								
<i>Rhynchoconger</i>								
<i>nitens</i>	1	20	3	37.50	3.70	13.65	1023.06	25.58
Scombridae								
Scombridae	1	20	1	12.50	20.20	74.54	1740.77	43.52
Triglidae								
Triglidae	1	20	1	12.50	0.80	2.95	309.04	7.73
Subtotal			7	87.50	25.50	94.10	3631.92	90.80
Crustacea								
Resto de crustaceos	1	20	1	12.50	1.60	5.90	368.08	9.20
Subtotal			1	12.50	1.60	5.90	368.08	9.20
Total	n=5		8	100	27	100	4000	100

Anexo III. Espectro trófico de machos juveniles del tiburón bironche *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia	Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes									
	Resto de peces	6	30	6	24.00	23.40	36.03	1566.09	60.72
Anguilliforme									
	Anguilliforme	1	5	1	4.00	0.00	0.00	17.39	0.67
Balistidae									
	<i>Balistes polylepis</i>	1	5	1	4.00	4.84	7.45	49.80	1.93
Bregmacerotidae									
	Bregmacerotidae	1	5	1	4.00	0.10	0.15	18.06	0.70
Ophidiidae									
	Lepophidium pardale	2	10	2	8.00	7.65	11.78	172.00	6.67
Congridae									
	<i>Rhynchoconger nitens</i>	3	15	3	12.00	8.35	12.86	324.24	12.57
Triglidae									
	<i>Prionotus albirostris</i>	1	5	1	4.00	0.00	0.00	17.39	0.67
	Subtotal			15	60.00	44.34	68.28	2164.96	83.94
Chondrichthyes									
	Batoidea	2	10	2	8.00	10.10	15.55	204.81	7.94
	Subtotal			2	8.00	10.10	15.55	204.81	7.94
Crustacea									
Portunoidea									
	<i>Portunus xantusii</i>	1	5	2	8.00	4.00	6.16	61.56	2.39

Squillidae									
<i>Squilla</i>									
<i>panamensis</i>	1	5	2	8.00	5.00	7.70	68.26	2.65	
Stomatopoda									
Stomatopoda	1	5	1	4.00	0.00	0.00	17.39	0.67	
Solenoceridae									
<i>Solenocera florea</i>	1	5	1	4.00	0.80	1.23	22.75	0.88	
Subtotal			6	24.00	9.80	15.09	169.96	6.59	
Cephalopoda									
Enoploteuthidae									
<i>Abraliopsis affinis</i>	1	5	1	4.00	0.00	0.00	17.39	0.67	
Subtotal			1	4.00	0.00	0.00	17.39	0.67	
Polychaeta									
Polychaeta	1	5	1	4.00	0.70	1.08	22.08	0.86	
Subtotal			1	4.00	0.70	1.08	22.08	0.86	
Total	n=20		25	100	64.94	100	2579.20	100	

Anexo IV. Espectro trófico de hembras adultas del tiburón bironche *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Restos de peces	8	38.09524	8	33.33	2.46	1.07	1310.71	56.66
Clupeidae								
Clupeidae	2	9.52381	2	8.33	24.10	10.51	179.46	7.76
Congridae								

<i>Rhynchoconger</i>									
<i>nitens</i>	1	4.761905	3	12.50	2.70	1.18	65.13	2.82	
Paralichthyidae									
<i>Citharichthys</i>									
<i>platophrys</i>	1	4.761905	2	8.33	14.10	6.15	68.96	2.98	
Scombridae									
<i>Auxis spp.</i>	1	4.761905	1	4.17	107.30	46.79	242.67	10.49	
Subtotal			8	33.33	148.20	64.63	556.23	24.04	
Chondrichthyes									
Batoidea	2	9.52381	2	8.33	40.80	17.79	248.82	10.76	
Subtotal			2	8.33	40.80	17.79	248.82	10.76	
Crustacea									
Portunoidea									
<i>Portunus xantusii</i>	1	4.761905	1	4.17	33.00	14.39	88.37	3.82	
Peneidae									
Peneidae	1	4.761905	2	8.33	0.69	0.30	41.12	1.78	
Squillidae									
<i>Squilla hancocki</i>	1	4.761905	1	4.17	4.00	1.74	28.15	1.22	
<i>Schmitius politus</i>	1	4.761905	1	4.17	0.15	0.07	20.15	0.87	
Subtotal			5	20.83	37.84	16.50	177.79	7.69	
Bivalva									
Lucinidae									
<i>Lucina aproximata</i>	1	4.761905	1	4.17	0.00	0.00	19.84	0.86	
Subtotal			1	4.17	0.00	0.00	19.84	0.86	
Total n=21			16	67	226.84	99	1002.69	43	

Anexo V. Espectro trófico de machos adultos del tiburón bironche *R. longurio* en el Golfo de Tehuantepec expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Peces sin identificar	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Anguilliforme								
Anguilliforme	2	8.695652	3	5.17	4.20	1.38	56.98	1.56
Carangidae								
Carangidae	1	4.347826	3	5.17	0.26	0.09	22.86	0.63
<i>Chloroscombrus</i> <i>orqueta</i>	1	4.347826	1	1.72	64.10	21.07	99.09	2.71
Paralichthyidae								
Paralichthyidae	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Pleuronectiforme								
Pleuronectiforme	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Echeneidae								
<i>Remorina</i> <i>albescens</i>	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Congridae								
<i>Rhynchoconger</i> <i>nitens</i>	7	30.43478	20	34.48	198.00	65.08	3030.05	82.91
Scombridae								
Scombridae	1	4.347826	1	1.72	3.80	1.25	12.93	0.35
Synodontidae								
Synodontidae	1	4.347826	1	1.72	19.20	6.31	34.93	0.96
Subtotal			33	56.90	290.36	95.43	3287.97	89.97
Crustacea								

Resto de crustáceos	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Portunoidea								
<i>Euphylax dovii</i>	2	8.695652	2	3.45	9.60	3.16	57.42	1.57
Peneidae								
Peneidae	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Stomatopoda								
Stomatopoda	1	4.347826	1	1.72	0.20	0.07	7.78	0.21
Squillidae								
Squillidae	1	4.347826	1	1.72	1.20	0.39	9.21	0.25
Subtotal			6	10.34	11.40	3.75	89.98	2.46
Gasteropoda								
Assimineidae								
<i>Assiminea spp.</i>	2	8.695652	17	29.31	2.30	0.76	261.45	7.15
Subtotal			17	29.31	2.30	0.76	261.45	7.15
Bivalva								
Lucinidae								
<i>Lucina aproximata</i>	1	4.347826	2	3.45	0.20	0.07	15.28	0.42
Subtotal			2	3.45	0.20	0.07	15.28	0.42
Total			58	100	304.26	100	3654.67	100

Anexo VI. Espectro trófico del tiburón bironche *R. longurio* en el sureste del Golfo de California expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Restos de peces	5	12.5	2	1.60	23.00	3.47	174.14	10.45
Bothidae								
Bothidae	11	27.5	12	9.60	76.3	11.50	625.3215	37.53
Carangidae								
<i>Chloroscombrus</i> <i>orqueta</i>	2	5	2	1.60	107.10	16.15	15.40	0.92
<i>Decapterus sp.</i>	1	2.5	1	0.80	18.10	2.73	1.53	0.09
Carangidae	7	17.5	9	7.20	23.4	3.53	198.3479	11.90435
<i>Opisthopterus dovii</i>	13	32.5	15	12.00	93.70	14.13	146.90	8.82
Ophychthidae								
Ophychthidae	10	25	11	8.80	106.10	16.00	107.33	6.44
<i>Echiopsis brunneus</i>	1	2.5	1	0.80	28.10	4.24	2.18	0.13
Sciaenidae								
<i>Cynoscion</i> <i>parvipinnis</i>	1	2.5	1	0.80	19.00	2.86	1.59	0.10
Scombridae								
<i>Euthynnus lineatus</i>	1	2.5	1	0.80	1.60	0.24	0.45	0.03
Subtotal			64	51.20	520	78.4	1472	88.32
Crustacea								

Peneidae									
Peneidae	1	2.5	1	0.80	0.3	0.045235	2.176011	0.130599	
Stomatopoda									
Stomatopoda	1	2.5	1	0.80	0	0	2.04918	0.122987	
Subtotal			2	1.60	0	0.05	4	0.25	
Cephalopoda									
Argonautidae									
<i>Argonauta</i> spp.	6	15.00	39	31.20	37.70	5.68	95.42	5.73	
Ommastrephidae									
<i>Dosidicus gigas</i>	1	2.50	1	0.80	0.00		0.34	0.02	
Loliginidae									
<i>Loliolopsis diomedea</i>	9	22.50	14	11.20	55.50	8.37	76.10	4.57	
Octopodidae									
<i>Octopus</i> spp.	1	2.50	1	0.80	0.00		0.34	0.02	
Onychoteuthidae									
<i>Onychoteuthis banksii</i>	4	10.00	4	3.20	49.90	7.52	18.22	1.09	
Subtotal			59	47.20	143	21.58	190	11.43	
Total	n=40		125	100	663	100	1666	100	

Anexo VII. Espectro trófico de hembras juveniles del tiburón bironche *R. longurio* en el sureste del Golfo de California expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Restos de peces	2	22.22	2	11.11	4.10	3.45	323.61	6.12
Bothidae								
Bothidae	1	11.11	3	16.67	3.60	3.03	218.86	4.14
Carangidae								
Carangidae	2	22.22	2	11.11	4.90	4.12	338.58	6.41
Ophychthidae								
Ophychthidae	2	22.22	2	11.11	20.40	17.17	628.54	11.89
Serranidae								
Serranidae	2	22.22	2	11.11	4.90	4.12	338.58	6.41
<i>Opisthopterus</i> <i>dovii</i>	3	33.33	3	16.67	40.40	34.01	1689.21	31.96
Subtotal			14	77.78	78.30	65.91	3537.38	66.93
Cephalopoda								
Loliginidae								
<i>Loliolopsis</i> <i>diomedae</i>	3	33.33	3	16.67	40.19	33.83	1683.32	31.85
Subtotal			3	16.67	40.19	33.83	1683.32	31.85
Crustacea								
Penaeidae								
Penaeidae	1	11.11	1	5.56	0.30	0.25	64.53	1.22
Subtotal			1	5.56	0.30	0.25	64.53	1.22
Total			18	100	118.79	100	5285.23	100

Anexo VIII. Espectro trófico de machos juveniles del tiburón bironche *R. longurio* en el sureste del Golfo de California expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Pez no identificado	1	9.09	1	4.55	2.70	1.57	55.55	0.96
Bothidae								
Bothidae	5	45.45	5	22.73	63.80	36.99	2714.22	46.69
Carangidae								
Carangidae	2	18.18	2	9.09	12.90	7.48	301.26	5.18
<i>Chloroscombrus</i>								
<i>orqueta</i>	1	9.09	1	4.55	43.00	24.93	267.94	4.61
<i>Opisthopterus</i>								
<i>dovii</i>	4	36.36	5	22.73	15.50	8.99	1153.19	19.84
Ophychthidae								
Ophychthidae	1	9.09	1	4.55	2.10	1.22	52.39	0.90
Serranidae								
Serranidae	4	36.36	5	22.73	11.90	6.90	1077.30	18.53
Sciaenidae								
<i>Cynoscion</i>								
<i>parvipinnis</i>	1	9.09	1	4.55	19.00	11.01	141.45	2.43
Scombridae								
<i>Euthynnus</i>								
<i>lineatus</i>	1	9.09	1	4.55	1.60	0.93	49.75	0.86
Total			22	100	172.5	100	5813.06	100

Anexo IX. Espectro trófico de hembras adultas del tiburón bironche *R. longurio* en el sureste del Golfo de California expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia	Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes									
Bothidae									
	Bothidae	4	40	4	7.41	8.90	4.00	456.23	7.32
Carangidae									
	Carangidae	1	10	1	1.85	0.50	0.22	20.76	0.33
	<i>Opisthopterus dovi</i>	3	30	4	7.41	24.80	11.14	556.47	8.92
	<i>Decapterus spp.</i>	1	10	1	1.85	18.10	8.13	99.83	1.60
Ophichthidae									
	Ophichthidae	4	40	5	9.26	69.10	31.04	1612.12	25.85
	<i>Echiophis brunneus</i>	1	10	1	1.85	28.10	12.62	144.76	2.32
	Subtotal			16	29.63	149.50	67.16	2890.17	46.35
Cephalopoda									
Argonautidae									
	<i>Argonauta spp.</i>	4	40	29	53.70	25.10	11.28	2599.20	41.68
Onychoteuthidae									
	<i>Onychoteuthis banksii</i>	2	20	2	3.70	24.29	10.91	292.32	4.69
Loliginidae									
	<i>Loliolopsis diomedae</i>	2	20	6	11.11	23.70	10.65	435.17	6.98
	Subtotal			37	68.52	73.09	32.84	3326.69	53.35
Crustacea									
Stomatopoda									
	Stomatopoda	1	10	1	1.85	0.00	0.00	18.52	0.30
	Subtotal			1	1.85	0.00	0.00	18.52	0.30

Total	54	100	222.59	100	6235.39	100
--------------	-----------	------------	---------------	------------	----------------	------------

Anexo X. Espectro trófico de machos adultos del tiburón bironche *R. longurio* en el sureste del Golfo de California expresado en valores absolutos y porcentuales de los métodos numérico (N), gravimétrico (G), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

Subfilo, superclase ó Clase Orden ó Familia Especie	FA	%FA	N	%N	G	%G	IIR	%IIR
Osteichthyes								
Restos de peces	3	37.5	3	9.68	16.20	10.77	386.06	6.00
Carangidae								
Carangidae	3	37.5	4	12.90	5.10	3.39	610.99	9.49
<i>Opisthopterus dovi</i>	3	37.5	3	9.68	13.00	8.64	686.93	10.67
Ophichthidae								
Ophichthidae	3	37.5	3	9.68	14.50	9.64	724.32	11.25
Subtotal			13	41.94	48.80	32.44	2408.30	37.42
Cephalopoda								
Argonautidae								
<i>Argonauta spp.</i>	2	25	10	32.26	12.60	8.37	1015.82	15.78
Onychoteuthidae								
<i>Onychoteuthis banksii</i>	2	25	2	6.45	24.29	16.14	564.91	8.78
Loliginidae								
<i>Loliolopsis diomedea</i>	4	50	4	12.90	47.46	31.55	2222.43	34.53
Ommastrephidae								
<i>Dosidicus gigas</i>	1	12.5	1	3.23	11.00	7.31	131.72	2.05
Octopodidae								
<i>Octopus spp.</i>	1	12.5	1	3.23	6.30	4.19	92.67	1.44
Subtotal			18	58.06	101.65	67.56	4027.55	62.58
Total			31	100	150.45	100	6435.85	100

Anexo XI. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los músculos de *R. longurio* en ambas zonas de estudio.

Sureste del Golfo de California					Golfo de Tehuantepec				
Fecha	LT	Sexo	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Fecha	LT	Sexo	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
06-nov-03	61	h	-14.7	19.9	marzo	74	m	-15.1	17.4
26-nov-03	63	h	-14.6	19.9	13-ago-05	77	m	-14.5	16.9
23-oct-03	67	h	-14.9	20.8	08-sep-05	80	m	-14.9	16.4
14-ene-04	67	h	-14.5	20.7	08-sep-05	80	m	-14.5	17.0
25-nov-03	70	h	-14.3	20.9	08-sep-05	81	m	-14.5	17.4
05-dic-03	72	h	-15.1	20.1	08-sep-05	76	h	-14.6	16.8
25-nov-03	76	h	-15.3	20.8	23-sep-05	76	h	-14.6	17.2
07-ene-04	90	h	-15.1	21.2	13-ago-05	79	h	-15.0	17.6
01-mar-04	92	h	-14.1	20.1	13-ago-05	81	h	-15.2	17.0
07-ene-04	100	h	-13.9	20.9	06-ago-05	82	m	-14.9	16.7
18-feb-04	102	h	-14.6	21.1	enero	85	m	-15.0	16.3
18-feb-04	106	h	-14.8	21.3	febrero	86	m	-14.9	
18-feb-04	108	h	-14.2	21.0	30-sep-05	86	m	-14.4	17.2
07-ene-04	109	h	-14.1	20.8	febrero	89	m	-15.7	17.1
01-mar-04	110	h	-14.5	21.2	01-ago-05	89	m	-15.0	16.8
24-jun-04	42	m	-14.3	20.9	06-ago-05	83.5	h	-16.5	17.5
06-nov-03	56	m	-14.4	20.1	01-oct-05	90	h	-14.6	17.3
17-oct-03	60	m	-14.2	19.8	06-ago-05	90	h	-14.4	16.9
22-oct-03	61	m	-14.4	20.6	06-ago-05	90	h	-14.8	16.7
18-nov-03	64	m	-15.9		06-ago-05	91	h	-14.6	17.2
03-dic-03	64	m	-13.4	20.4	01-oct-05	91	h	-14.3	17.3
09-dic-03	65	m	-15.0	20.6	01-oct-05	92	h	-14.2	17.3
16-dic-03	66	m	-13.9	21.1	08-sep-05	92	h	-14.8	17.4
27-nov-03	69	m	-15.0	19.9	01-abr	93	h	-14.9	17.1
17-ene-04	88	m	-14.7	21.1	01-ago-05	94	h	-14.9	17.4
07-ene-04	92	m	-15.8	20.2	08-sep-05	95	h	-14.5	17.5
01-mar-04	94	m	-15.1	20.8	23-sep-05	95	h	-14.7	16.7
01-mar-04	94	m	-15.3	20.6	01-abr	96	h	-14.8	17.2
18-feb-04	100	m	-15.0	20.8	08-sep-05	96	h	-14.8	16.7
18-feb-04	103	m	-14.8	21.3	08-sep-05	96.5	h	-14.5	16.8
18-feb-04	103	m	-15.4	20.9					

17-ene-04	105	m	-14.9	21.3
17-ene-04	105	m	-14.9	21.2

Anexo XII. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los hígados de *R. longurio* en ambas zonas de estudio.

Sureste del Golfo de California					Golfo de Tehuantepec				
Fecha	LT	Sexo	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Fecha	LT	Sexo	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
06-nov-03	56	m	-16.4	19.7	24-may-06	74	m	-	16.5
29-oct-03	58	m	-18.0	19.1	01-jul-05	73	m	-19.7	16.6
05-dic-03	72	h	-18.4	19.5	02-jul-05	83	m	-17.5	16.5
06-ene-04	93	h	-18.9	21.0	03-ago-05	85	h	-17.3	16.7
18-feb-04	106	h	-19.6	20.2	10-dic-04	99	h	-19.3	15.4
07-ene-04	100	h	-19.8	20.1	17-dic-05	84	m	-17.9	16.5
					17-dic-05	88	m	-18.3	15.4
					10-dic-04	86	m	-18.9	16.0