



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**CARACTERIZACIÓN DE LA BAHÍA DE LA PAZ,
BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO, COMO UNA
POSIBLE ÁREA DE CRIANZA DEL TIBURÓN
BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan &
Gilbert, 1882)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ABEL TREJO RAMÍREZ

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA 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 26 del mes de Mayo del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"CARACTERIZACIÓN DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO
COMO UNA POSIBLE ÁREA DE CRIANZA DEL TIBURÓN BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio*
(Jordan & Gilbert, 1882)

Presentada por el alumno:

TREJO Apellido paterno	RAMÍREZ materno	ABEL nombre(s)							
		Con registro: <table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> </table>	A	1	5	0	1	4	2
A	1	5	0	1	4	2			

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
Director de Tesis

DR. JAMES KETCHUM MEJÍA
2º. Director de Tesis

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

DR. EDGAR MAURICIO HOYOS PADILLA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 09 del mes de Junio del año 2017

El (la) que suscribe BIÓL. ABEL TREJO RAMÍREZ Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A150142 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA Y DR. JAMES KETCHUM MEJÍA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"CARACTERIZACIÓN DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO COMO UNA POSIBLE ÁREA

DE CRIANZA DEL TIBURÓN BIRONCHE, *Rhizoprionodon longurio* (Jordán & Gilbert, 1882)"

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

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

siguiente dirección: bio.atr_xoc@hotmail.com - galvan.felipe@gmail.com - jtketchum@ucdavis.edu

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

BIÓL. ABEL TREJO RAMÍREZ

Nombre y firma del alumno

Agradecimientos

Gracias a mis papás y a mis hermanos por confiar y apoyarme en cada proyecto que tengo en mente, y estar ahí en los momentos difíciles.

Gracias a mis amigos de toda la vida que siempre están ahí para cuando los necesito, y a todos los amigos que hice en La Paz, hicieron esta aventura mucho más amena y divertida.

Gracias al Doc Galván por haberme dado la oportunidad de haber entrado en su laboratorio y haber aprendido de un gran investigador y líder, pero sobre todo de una persona sencilla y amable. El mundo científico necesita más personas como usted. También le tengo que agradecer a su esposa Cristi, el aceptarnos con los brazos abiertos cada vez que íbamos a su casa. Muchas gracias señora Cristi

Gracias al Doc James por haberme dado su confianza, el haberme abierto las puertas de Pelagios, por la oportunidad de aprender de usted y por haberme compartido su conocimiento y su experiencia. Le debo muchísimo.

Gracias al Doc Mauricio por haber leído y contestado mi correo, gracias a usted mi aventura y mi sueño que tuve desde niño de trabajar con los tiburones comenzó. Al igual que sus consejos y atinadas correcciones. He aprendido bastante de usted, su pasión se contagia. El mundo necesita más personas como usted. En verdad muchas gracias.

Al Doc Rogelio y al Doc Agustín por haberme dado sus consejos y observaciones. El trabajo quedó pulido gracias sus comentarios.

Gracias a Pelagios Kakunjá por cada oportunidad que me han dado de crecer tanto profesional como personalmente, también por todo el apoyo que tuve para la realización de mi muestreo. Estoy muy contento y orgulloso de pertenecer a este gran equipo.

Gracias al todo el Galván *Team*, por cada muestra de apoyo, por cada consejo y ayuda para la realización de mi tesis, por los momentos divertidos. Somos el mejor equipo de

CICIMAR. Me he divertido mucho con ustedes. Para evitar conflictos evitaré mencionarlos, porque son un buen, pero saben que no los olvidaré.

Gracias a los capitanes Ciro Arista y Martín Cuevas, por haber sido tan accesibles y atentos en enseñarme, sin ustedes no hubiera podido sacar mis muestras, se los agradezco demasiado.

A todos los voluntarios que sacrificaron un fin de semana para acompañarme a mis salidas de muestreo. Fue una grata experiencia el haber convivido con ustedes en la embarcación.

To the person that donated 1000 dollars for my fieldwork, I used your donation in tracks, thank you so much!

A Armando por haberme explicado cómo utilizar *Surfer* de una manera más sencilla, gracias a usted pude hacer mis mapas comenzando desde cero.

Al Dr. Raúl Martínez por haberme ayudado en todas mis dudas en estadística y en R, personas como usted hacen que el mundo de los números sea más fácil de entender.

A Isis Baró gracias por haberme corregido mi tesis (haberle puesto comas y puntos donde deberían ir) y haberla leído no sé cuántas veces.

To Idea Wild that donated equipment to video record of the methodology in field for this and other projects.

A todos los pescadores que reportaron las recapturas, su información fue de mucha ayuda, muchas gracias.

Durante estos dos años y medio hubo mucha gente involucrada e interesada en este proyecto, cada granito ayudó a su culminación. Gracias a todos ustedes.

Contenido

Agradecimientos.....	i
Contenido.....	iii
Lista de tablas.....	vi
Lista de figuras.....	ix
Glosario.....	1
Resumen.....	3
Abstract.....	5
1. Introducción.....	7
2. Antecedentes.....	8
2.1. Áreas de Crianza.....	8
2.1.1. Estudios realizados en áreas de crianza.....	10
2.2. Variables ambientales y el uso del hábitat.....	12
2.3. Hábitos alimenticios.....	12
2.3.1. Isótopos estables.....	14
2.3.1.1. Fraccionamiento isotópico.....	14
2.3.1.2. Tasas de recambio.....	15
2.4. Patrones de movimiento.....	16
2.5. Tiburón bironche (<i>Rhizoprionodon longurio</i>).....	17
2.5.1. Estudios del tiburón bironche.....	20
3. Justificación.....	22
4. Hipótesis.....	24
5. Objetivo general.....	24
5.1. Objetivos particulares.....	24
6. Materiales y métodos.....	26

6.1. Área de estudio.....	26
6.2. Caracterización de la población.....	28
6.2.1. Captura de los tiburones	28
6.2.2. Marcaje tradicional	30
6.2.3. Análisis estadísticos, gráficas y mapas	31
6.2.4. Temporalidad	31
6.2.5. Proporción sexual.....	31
6.2.6. Estimación de edades	32
6.2.7. Temporada de nacimiento.....	32
6.2.8. Relaciones entre características morfométricas.....	32
6.2.9. Comparaciones entre los porcentajes en diferentes áreas	33
6.3. Factores ambientales.....	33
6.4. Hábitat trófico.....	34
6.4.1. Obtención de muestras y procesamiento para el análisis isotópico	34
6.4.2. Diferencias isotópicas entre categorías.....	36
6.4.3. Traslapo trófico.....	36
6.4.4. Posición trófica	37
6.4.5. Modelos de mezcla	38
6.4.6. Amplitud trófica.....	38
6.5. Patrones de movimiento	40
6.5.1. Marcaje interno.....	40
6.5.2. Movimientos a escala fina (horas).....	40
6.5.2.1. Tratamiento de los datos de la telemetría activa	41
6.5.3. Movimientos a mediana escala (días-meses)	42
7. Resultados	44

7.1. Caracterización de la población.....	44
7.2. Factores ambientales.....	52
7.3. Hábitat trófico.....	56
7.4. Patrones de movimiento	73
8. Discusión.....	82
8.1. Caracterización de la población.....	82
8.2. Factores ambientales.....	85
8.3. Hábitos alimenticios.....	86
8.3.1. Hábitos alimenticios por sexo.....	93
8.3.2. Hábitos de alimentación por estadios de desarrollo	95
8.3.3. Hábitos alimenticios por época del año	99
8.4. Patrones de movimiento	101
8.5. Evidencias de la BLP como un área de crianza del tiburón bironche	104
9. Conclusiones.....	106
10. Literatura citada.....	108
Anexo 1. Cartel de recompensa de la recaptura	132

Lista de tablas

Tabla 1. Índice de Importancia Relativa (IIR) de las presas del tiburón bironche. Los valores están representados en porcentajes.....	39
Tabla 2. Estimación de edad. Número de organismos capturados en los diferentes estadios de desarrollo junto con su porcentaje.	46
Tabla 3 Normalidad de las medidas. LT, longitud total; LF, longitud furcal; LP, longitud precaudal; DA, diámetro del ancho. W, valor de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk junto con el valor de p.....	47
Tabla 4. Correlación de Spearman y regresiones. LT, longitud total; LF, longitud furcal; LP, longitud precaudal; DA, diámetro del ancho. S, valor de la prueba de correlación de Spearman junto con el valor de p y de rho.	48
Tabla 5. Porcentaje de captura del tiburón bironche. Los valores de captura (%) por los diferentes estadios de desarrollo se obtuvieron de trabajos anteriores.....	50
Tabla 6. Correlaciones cruzadas. La temporada de nacimientos como variable de respuesta; la TSM y la clorofila como variables explicativas.	52
Tabla 7. Número de muestras de tejido sanguíneo por categorías tomando en cuenta la tasa de recambio de 87 días (~3 meses).	56
Tabla 8. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del tiburón bironche en tejido sanguíneo para las diferentes categorías. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).	57
Tabla 9. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre sexo, estadio de desarrollo y época del año.....	57
Tabla 10. Comparación de los valores isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre estadios de desarrollo. Prueba post hoc de Dunn.	58
Tabla 11. Comparación de los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre estadio de desarrollo. Prueba post hoc de Dunn.....	59

Tabla 12. Traslado trófico entre sexos. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslado; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.	60
Tabla 13. Traslado trófico entre estadios de desarrollo. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslado; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.	62
Tabla 14. Traslado trófico entre épocas del año. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslado; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.	63
Tabla 15. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en la Bahía de La Paz. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).....	64
Tabla 16. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de zooplancton entre la época cálida y fría en la Bahía de La Paz.	64
Tabla 17. Posición trófica en las diferentes categorías. PT; valores medios de la posición trófica (\pm desviación estándar).	65
Tabla 18. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche entre sexo, estadio de desarrollo y época del año.....	65
Tabla 19. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche entre estadios de desarrollo. Prueba post hoc de Dunn.	65
Tabla 20. Valores isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las presas del tiburón bironche. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).	66
Tabla 21. Proporciones de las especies presa en los modelos de mezcla en las diferentes categorías. Los valores están representados en media.	68
Tabla 22. Amplitud trófica. Varianza de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche. Valores < 1 son de hábitos especialistas, valores > 1 son de hábitos generalistas.	72
Tabla 23. Valores por trayectoria de una hembra. Coeficiente de Rayleigh (r), velocidad, y distancia por cada ciclo circadiano.	75

Tabla 24. Captura-recaptura. El código corresponde a la marca de espagueti colocada en el tiburón. Los días en libertad fueron calculados mediante la diferencia de días entre la fecha de captura-liberación y la recaptura. La edad de la recaptura fue calculada mediante la suma de días de libertad a la edad de la captura.	79
Tabla 25. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche en el Pacífico mexicano. La posición trófica (PT). Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).....	89
Tabla 26. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en diferentes tejidos del tiburón bironche. Valores isotópicos presentados en medias (\pm desviación estándar).	91
Tabla 27. Comparación del índice de Levin y la varianza. Índice de Levin (Bi) obtenido mediante contenido estomacal (Bi > 0.6 generalista, <0.6 especialista). Varianza (σ^2) del $\delta^{15}\text{N}$ (Varianza > 1 generalista, < 1 especialista). Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).	92
Tabla 28. Comparación de las posiciones tróficas por sexos. Posición trófica (PT), Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).....	95
Tabla 29. Comparación de las posiciones tróficas por estadios de desarrollo. Posición trófica (PT), Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).....	98

Lista de figuras

Figura 1. Tiburón bironche, <i>R. longurio</i> . a) Vista lateral; se observa el inicio de la segunda aleta dorsal después del origen de la aleta anal. b) Vista ventral; hendiduras nasales oblicuas y pliegues labiales. c) Diente superior e inferior (figura elaborada por el autor).	18
Figura 2. Distribución del tiburón bironche, <i>R. longurio</i> (figura basada y modificada de Fishbase, 2017).....	19
Figura 3. Área de estudio. Bahía de la Paz con batimetría en metros. Elaborado por el autor con datos de MapSource versión 6.15.11.0 (GARMIN Ltd., 2006)	27
Figura 4. Toma de medidas del tiburón bironche. a) Longitud precaudal (LP); longitud furcal(LF); longitud total (LT); diámetro de ancho (DA). b) Determinación del sexo, hembra (♀); macho (♂); longitud del gonopterigio (LG) (figura elaborada por el autor).	29
Figura 5. Mapa de distribución por sexos. Captura de los tiburones bironche entre la temporada del marzo 2015 al marzo 2016. La batimetría está mostrada en metros. 44	
Figura 6. Abundancia por época. CPUE (No. de individuos/días de muestreo por mes). Comparación de la abundancia de tiburón bironche en la Bahía de La Paz entre época cálida (junio-noviembre) y fría (diciembre-mayo) (p= 0.04777).	45
Figura 7. Intervalo de tallas. Tallas de nacimiento a la máxima reportada en México 170 cm LT. En la línea punteada azul la talla de madurez sexual 92.5 cm LT para machos y en la rosa 100.5 cm LT para hembras. Comparación de las tallas entre sexos (p > 0.05).....	45
Figura 8. Mapa de distribución de la abundancia por estadio de desarrollo.....	46
Figura 9. Temporada de nacimiento. La línea punteada negra representa los meses en los que se capturaron los neonatos. La línea roja representa los meses en que nacieron, esto es el resultado de la resta de la edad de cada organismo a la fecha de captura.	47

Figura 10. Regresiones lineales y exponencial entre la LP como variable independiente y LT, LF, DA y peso como variables independientes. La fórmula para la regresión lineal es $Y=a+bX$ y para la regresión exponencial es $Y=a^*Xb$.	48
Figura 11. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). En rojo son las áreas de captura del tiburón bironche y en azul los diferentes estadios de desarrollo. Varianza acumulada explicada de 98.6.	51
Figura 12. Mapa de distribución de los porcentajes de captura por estadio de desarrollo. Basado en las abundancias por categoría en el presente estudio y en trabajos anteriores.	51
Figura 13. Temporada de nacimientos de tiburón bironche, junto con la TSM y la clorofila mensual en la temporada de marzo 2015 a marzo 2016 en la Bahía de La Paz.	53
Figura 14. Correlaciones cruzadas. a) Correlación de la temporada de nacimientos con la TSM; b) Correlación de la temporada de nacimientos con la clorofila. Líneas en rojo indican los meses con mayor correlación.	53
Figura 15. Temperatura superficial del mar (TSM) mensual en °C de abril 2015 a marzo 2016 (mapas elaborados por el autor con datos de la NOAA).	54
Figura 16. Clorofila mensual en mg/m-3 de abril 2015 a marzo 2016 (mapas elaborados por el autor con datos de la NOAA).	55
Figura 17. Valores isotópicos de $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por sexo. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.	58
Figura 18. Valores isotópicos de $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por estadio de desarrollo. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.	59
Figura 19. Valores isotópicos de $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por época del año. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.	60

Figura 20. Traslapo trófico entre sexos. La línea solida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.	61
Figura 21. Traslapo trófico entre estadios de desarrollo. La línea solida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.	62
Figura 22. Traslapo trófico entre épocas del año. La línea solida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.	63
Figura 23. Gráfica de dispersión de valores isotópicos de zooplancton en la Bahía de La Paz. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.	64
Figura 24. Modelo de mezcla de las presas potenciales del tiburón bironche.	67
Figura 25. Modelo de mezcla de hembras.	69
Figura 26. Modelo de mezcla de machos.....	69
Figura 27. Modelo de mezcla de los neonatos.	70
Figura 28. Modelo de mezcla de los juveniles < 1 año.....	70
Figura 29. Modelo de mezcla de las adultas preñadas.	71
Figura 30. Modelo de mezcla de época cálida.	71
Figura 31. Modelo de mezcla de época fría.	72
Figura 32. Grafica de dispersión del coeficiente de Rayleigh (r) muestra. a) Coeficiente de Rayleigh para todo el trayecto. b) Coeficiente de Rayleigh para el trayecto visualmente más direccional. El punto de rojo cae en el intervalo de 9 min que fue elegido como el intervalo óptimo.	73
Figura 33. Coeficiente de Rayleigh (r) por 72 horas de una hembra.....	74
Figura 34. Seguimiento por 72 horas de una hembra de tiburón bironche. En rojo está la trayectoria que realizó durante el día y en azul la trayectoria durante la noche. El triángulo indica el inicio del seguimiento, mientras que el cuadrado indica el fin.	75

Figura 35. Perfil vertical de una hembra de tiburón bironche. En línea roja se muestran las profundidades durante el día. En línea azul se muestran las profundidades durante la noche..... 76

Figura 36. Mapa de las capturas-recapturas. Los kilómetros son los que realizó el tiburón del punto de su liberación (amarillo) hasta el lugar de la recaptura (rojo). La batimetría está representada en metros. a) Macho con el código 009; b) Macho con el código 017; c) Macho con el código 022; d) Macho con el código 049. 80

Figura 37. Mapa de las capturas-recapturas. Los kilómetros son los que realizó el tiburón desde el punto de su liberación (amarillo) hasta el lugar de la recaptura (rojo). La batimetría está representada en metros. e) Macho con el código 050; f) Hembra con el código 078; g) Hembra con el código 096; h) Hembra con el código 357. 81

Figura 38. Distribución de los valores de la relación C:N. Los puntos representan los valores de la relación C:N de cada muestra de tejido sanguíneo del tiburón bironche. Las líneas punteadas representan el valor superior e inferior en el equilibrio de los lípidos y las proteínas..... 88

Glosario

Adulto: Individuo sexualmente maduro de una población ([Castro, 1993](#)).

Appendiculae: Procesos dendríticos aplanados que se proyectan desde la superficie del cordón umbilical ([Alcock, 1890](#)).

Días julianos: Es un calendario que se usa en astronomía, por la facilidad que brinda para calcular diferencias de días entre dos fechas. La primera fecha que se tomó en cuenta como referencia fue el primero de enero año 4713 AC, y de ahí se ha contado día por día hasta la fecha actual.

Embrión: Organismo que se encuentre en el estadio de pre-eclosión en el caso de los tiburones ovíparos, y en el caso de los tiburones vivíparos y vivíparos aplacentados es el estadio de parto ([Castro, 1993](#)).

Gonopterigio: Órganos copuladores del macho, que son modificaciones de los bordes internos de las aletas pélvicas, característicos de los elasmobranquios ([Álvarez del Villar, 1978](#)).

Isótopo estable: La palabra “isótopo” significa; mismo (*iso*) y lugar (*topo*) en la tabla periódica de los elementos. Los isótopos son formas del mismo elemento que difieren en el número de neutrones en el núcleo, un neutrón más o uno menos no afecta químicamente las reacciones, lo que sucede es que el número atómico (número de neutrones + número de electrones) aumenta o disminuye ([Fry, 2006](#)). Se sabe que hoy en día todos los elementos tienen múltiples formas o isótopos, pero los elementos que particularmente se utilizan más en los estudios de isótopos estables son hidrogeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre ([Fry, 2006](#)).

Juveniles: Organismos no madurados sexualmente ([Castro, 1993](#)).

Neonato: Organismo que se encuentra en el estadio posterior a la eclosión o del parto. Esta etapa puede durar de cuatro a seis semanas y, en el caso de los tiburones vivíparos, se identifican por ser libres nadadores con una cicatriz umbilical. El estadio de neonato termina cuando la cicatriz umbilical está cerrada, y para las especies

vivíparas aplacentadas y ovíparas, cuando tienen una longitud mayor a la del tamaño de nacimiento ([Castro, 1993](#)).

Reanimación: Conjunto de medidas que se realizan en caso de asfixia aparente. Se coloca al tiburón en el mar (o su medio) moviéndolo de modo que el agua entre por su boca hacia las branquias de manera abundante. Esta maniobra ayuda al sistema de intercambio al aumentar en gran medida la velocidad y eficiencia de la difusión de oxígeno hacia la sangre ([Hueter, 1994](#)).

Resiliencia: Se refiere a la capacidad que tienen las poblaciones de recuperarse después de un cambio, debido a perturbaciones naturales o derivadas de actividades humanas ([Doak et al., 1998](#)). Se han desarrollado métodos sencillos, como el potencial de recuperación (r_{2M}), para medir de una forma relativa la capacidad de recuperación de una población a la presión pesquera ([Au & Smith, 1997](#)). La productividad y por lo tanto la resiliencia están categorizadas como baja ($r_{2M} < 0.04$), media ($r_{2M} = 0.04-0.07$) o alta ($r_{2M} > 0.08$) ([Smith et al., 1999](#); [Furlong-Estrada et al., 2015](#)).

Viviparidad placentaria: Es el modo de reproducción más avanzado. Los embriones dependen inicialmente del vitelo almacenado, pero después son alimentados por la madre a través de una conexión placentaria. El embrión, al estar en el útero, posee un cordón umbilical que crece hasta que se vuelve un tubo de unos 20 cm de largo. De este modo los tejidos de la madre y del embrión se ponen en contacto directo y los nutrientes pasan al embrión. La viviparidad solo se encuentra en el orden Carcharhiniformes (e.g. familias Triakidae, Hemigaelidae, Sphyrnidae y Carcharhinidae ([Compagno et al., 2005](#))).

Resumen

Las áreas de crianza de tiburones se encuentran en zonas costeras, donde las hembras paren a sus crías. Estas áreas funcionan como refugios para los tiburones neonatos y juveniles, se caracterizan por presentar una abundancia de presas y protección contra depredadores. La identificación y caracterización de estas áreas de crianza es fundamental para diseñar planes de manejo y estrategias de conservación para los tiburones en sus estadios más vulnerables. El objetivo de este estudio es determinar si la Bahía de La Paz (BLP) es un área de crianza del tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio*, para lo cual se analizaron: (i) la temporada de nacimientos, (ii) la estacionalidad, (iii) los factores ambientales que la influyen, (iv) el hábitat trófico (isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sangre) y (v) patrones de movimiento (telemetría acústica activa) de los neonatos y los juveniles. Los tiburones se capturaron con línea y anzuelo para tomar biometrías, colocarles marcas convencionales y acústicas y obtener biopsias de sangre. Se capturaron 237 ejemplares de marzo 2015 a marzo 2016, con un intervalo de tallas de 35-84 cm de longitud total (LT); para machos (n=114), y de 38–86 cm LT para hembras (n=123), y con una proporción sexual macho:hembra de 1:1. La edad de los tiburones capturados fue de 7 días a 13 meses. La temporada estimada de nacimiento fue mayo-junio, lo cual concuerda con un desfase de uno a dos meses antes de que la BLP alcance las temperaturas del agua más cálidas. Lo anterior posiblemente porque las aguas cálidas benefician el desarrollo de los embriones y aceleran el metabolismo de los neonatos y juveniles. Los análisis de isótopos estables indican que tanto hembras como machos se están alimentando de presas del mismo hábitat y en las mismas zonas, con un traslape trófico alto, siendo estos tiburones consumidores carnívoros terciarios con una amplitud de dieta generalista. Las señales isotópicas de los neonatos indican que se están alimentando en zonas más costeras. Por otro lado, los juveniles y adultos se alimentan de presas similares, pero los adultos tienen el espectro trófico más amplio y presentan las señales isotópicas más lejanas de la costa. Los análisis de telemetría indican que este tiburón se desplaza sin una dirección definida en la BLP, y se desplaza a una mayor distancia y a mayor profundidad durante el día. La parte sur de la BLP puede ser

considerada como un área de crianza del tiburón bironche, debido a que cumple con los tres criterios establecidos para determinar un área de crianza: 1) mayor abundancia de neonatos y juveniles en comparación con estudios hechos en otras zonas, 2) los tiburones nacen en la BLP y permanecen hasta que maduran sexualmente, presentando una alta fidelidad al sitio y 3) la bahía es utilizada repetidamente durante varios años como área de nacimiento, refugio y alimentación de las etapas juveniles.

Abstract

Shark nursery areas are found in coastal zones where females give birth to their offspring. These areas are used as refuges for neonates and juvenile sharks and are characterized by an abundance of prey and protection against predators. The identification and characterization of these nursery areas is fundamental for designing management plans and conservation strategies for sharks in their most vulnerable stages. The aim of this study is to determine if La Paz Bay (LPB) is a nursery area for the Pacific sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio* by examining: (i) pupping times of the year, (ii) seasonality, (iii) environmental factors that influence the bay, (iv) trophic habitat (stable isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in blood), and (v) movement patterns (active acoustic telemetry) of neonates and juvenile sharks. Sharks were captured with hook and line to take measurements, place conventional and acoustic tags, and to obtain blood biopsies. Two hundred and thirty seven (237) sharks were caught from March 2015 to March 2016, with a range of sizes of 35-84 cm total length (LT) for males ($n = 114$), and 38-86 cm LT for females ($n = 123$) and a sex ratio of 1:1 male:female. The estimated pupping season was May-June, which correlates with a lag of one to two months before LPB reaches the warmest temperatures. The latter is possibly due to the fact that warm waters benefit the development of embryos and accelerate the metabolism of neonates and juveniles. Stable isotope analyses showed that both females and males are feeding on the same prey and in the same areas with a very high trophic overlap. These sharks were tertiary consumers with an opportunistic diet breadth. Isotopic signals from neonates show that these are fed in more coastal areas. On the other hand, juveniles and adults feed on similar prey, however, adults have the widest trophic spectrum and with the most distant isotopic signals from the coast. The telemetry analysis shows that this shark moves randomly in the bay, moving greater distances and greater depths during the day. The southern part of LPB can be considered as a nursery area for the Pacific sharpnose shark because it meets the three criteria to determine a nursery area: 1) greater abundance of neonates and juveniles compared to studies done in other areas, 2) sharks are born in the LPB and

remain there until they mature sexually, having a high fidelity to the area, and 3) the bay is used repeatedly during several years as a pupping, refuge, feeding area.

1. Introducción

Los tiburones son un recurso pesquero vulnerable y susceptible a la sobre pesca, debido a que se caracterizan por un bajo potencial reproductivo, un número de crías reducido, periodos de gestación largos, crecimiento lento y requieren de un largo periodo para alcanzar la madurez sexual (Castro, 1993; Walker, 1992). Además, algunas especies se segregan por tamaño (Springer, 1967; Ketchum *et al.*, 2013), sexo (Klimley, 1987; Sims *et al.*, 2001; Sims, 2005; Wearmouth & Sims, 2008) y ciclo reproductivo (Springer, 1960). Ese comportamiento de segregación hace que, en las capturas, se extraiga una sección de la población muy homogénea. Asimismo, factores como el incremento en el esfuerzo pesquero, la captura de tiburones juveniles en las pesquerías comerciales, regulaciones inadecuadas para la pesquería y la degradación de sitios de crianza importantes en hábitats costeros, estuarinos y de agua dulce, propician que las poblaciones disminuyan (Camhi *et al.*, 1998; Stone *et al.*, 1998).

Las áreas de crianza son zonas altamente productivas y discretas geográficamente, donde las hembras grávidas paren a sus crías o depositan sus huevos y las crías pasan sus primeras semanas, meses o años de vida (Castro, 1993). Por lo anterior, se reconoce que las áreas de reproducción y crianza (hábitats críticos) son de vital importancia para mantener las poblaciones de las especies que las ocupan (Anislado & Robinson, 2001; Heupel & Simpfendorfer, 2002).

El tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* es una especie pequeña. Su longitud total (LT) máxima reportada en México es de 170 cm (Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013). Es una especie costera que vive en fondos lodosos y arenosos de la plataforma continental desde las costas de California hasta Perú (Castro, 1983).

La especie *R. longurio* es explotada comercialmente desde el Golfo de California (GC) hasta Puerto Madero, Chiapas, debido a que suele segregarse en cardúmenes (Castillo-Géniz *et al.*, 1997; Márquez-Farías, 2002; Márquez-Farías *et al.*, 2005).

Con el presente estudio se pretende caracterizar y determinar a la Bahía de La Paz como un área de crianza del tiburón bironche, describiendo a la población por medio de biometrías y medición de la temperatura superficial del mar y la clorofila. Asimismo,

se analiza el hábitat trófico utilizando isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sangre y por último observar los patrones de movimientos realizando telemetría acústica activa y de marcaje-recaptura.

2. Antecedentes

2.1. Áreas de Crianza

Los tiburones, por lo general, son animales móviles con una compleja y amplia distribución, particularmente las especies de gran tamaño. [Castro \(1993\)](#) menciona que se han identificado tres tipos de áreas de acuerdo con el uso que los tiburones hacen de cada una de ellas:

- **Áreas de alimentación de adultos:** comprenden la mayor parte del rango de la especie de que se trate. Es decir, son las áreas donde los adultos viven, excepto las áreas donde se aparean o las áreas de crianza.
- **Áreas de apareamiento:** lugares donde los adultos se congregan con el propósito de aparearse, las cuales no necesariamente coinciden con las áreas de crianza.
- **Áreas de crianza:** zonas discretas geográficamente en donde las hembras grávidas paren a sus crías o depositan sus huevos, y donde las crías pasan sus primeras semanas, meses o años de vida. Las características de las áreas de crianza pueden estar limitadas por la profundidad del agua y tipo de hábitat. Es decir, generalmente son aguas someras y altamente productivas, como manglares costeros y estuarios, donde los juveniles pueden encontrar abundante alimento y un menor riesgo de depredadores ([Meek, 1916](#); [Springer, 1967](#); [Castro, 1987](#); [Castro, 1993](#), [Morrissey & Gruber, 1993](#)).

[Heupel et al. \(2007\)](#) establecieron tres criterios para que un área sea considerada como de crianza:

1. Los tiburones juveniles y neonatos se encuentran en un área específica comparado a otras áreas (e.g. la densidad en un área es mayor que en otras áreas).
2. Los tiburones juveniles y neonatos muestran una tendencia de permanecer o regresar por periodos largos (e.g. la fidelidad al sitio es mayor que en otras áreas).
3. El área o hábitat es usada repetidamente a través de los años.

Por su parte [Bass \(1978\)](#) dividió las áreas de crianza en dos tipos:

- **Áreas de crianza primarias:** son aquellas áreas donde ocurre el parto o eclosión de los huevos y las crías viven ahí por período corto de tiempo.
- **Áreas de crianza secundarias:** son aquellas áreas en las cuales los juveniles se encuentran después de haber dejado las áreas de crianza primarias y antes de alcanzar la madurez (e.g. [Clarke, 1971](#); [Castro, 1987](#); [Gruber et al., 1988](#)).

Sin embargo, en algunas especies, las áreas de crianza primarias y secundarias ocurren en la misma zona ([Snelson et al., 1984](#), [Heupel et al., 2007](#)).

[Springer \(1967\)](#) y [Branstetter \(1990\)](#) sugieren que las áreas de crianza también pueden ser categorizadas por el grado de exposición a depredadores potenciales, dividiéndolas en:

- **Áreas de crianza protegidas:** áreas localizadas en zonas no frecuentadas por los adultos.
- **Áreas de crianza no protegidas:** áreas localizadas en hábitats ocupados por adultos.

Los criterios anteriores pueden ser comprobados mediante estudios de marcaje-recaptura, análisis de isótopos estables, monitoreo acústico y estudios genéticos ([Heupel et al., 2007](#)).

2.1.1. Estudios realizados en áreas de crianza

Se han realizado diversos trabajos relacionados con las áreas de crianza de tiburones alrededor del mundo. Por ejemplo, [Castro \(1993\)](#) determinó que, la Bahía Bulls, EUA es un área de crianza para nueve especies de tiburones durante primavera y verano, mediante la presencia de hembras grávidas con embriones próximos a la expulsión, neonatos y juveniles. Además, determinó que la región del sur de Florida y las Bahamas son utilizadas con los mismos fines por el tiburón limón, *Negaprion brevirostris*, y que las lagunas de la costa oriental de Florida son las principales áreas de crianza para el tiburón toro *Carcharhinus leucas*.

[Simpfendorfer & Milward \(1993\)](#) examinaron la composición de capturas y dietas de integrantes de la familia Carcharhinidae y Sphyrnidae en la Bahía de Cleveland, Australia, y encontraron que la permanencia de individuos jóvenes en las áreas de crianza depende de la abundancia de las presas.

[Heupel & Simpfendorfer \(2002\)](#) estimaron las tasas de mortalidad natural y por pesca usando datos de telemetría de los jóvenes de tiburón puntas negras, *C. limbatus* y concluyeron que éstos son más vulnerables durante su permanencia en áreas de crianza.

En México, se han localizado áreas de nacimiento y crianza de varias especies de tiburón, por ejemplo, en el Pacífico mexicano, particularmente en la costa de Sinaloa, se han reportado como zonas de nacimiento y crianza de *Sphyrna lewini*, *S. zygaena*, *C. limbatus* y *R. longurio* ([Saucedo et al., 1982](#); [Compagno et al., 1995](#)).

Para la región del Pacífico mexicano central, [Anislado \(2000\)](#) señala a la costa michoacana como una potencial área de crianza de *S. lewini*, debido a la presencia de hembras grávidas, neonatos y juveniles.

En el Pacífico mexicano sur, [Alejo-Plata et al. \(2007\)](#), concluyeron que la costa de Oaxaca es utilizada como un área de crianza, debido a la alta incidencia de neonatos, juveniles y hembras preñadas del tiburón piloto *C. falciformis*, del tiburón martillo común *S. lewini*, y en menor proporción se han reportado capturas de neonatos y

juveniles del tiburón puntas negras *C. limbatus* y neonatos de *C. porosus*, *Nasolamia velox* y *Mustelus lunulatus*.

En el Golfo de California, [Salomón-Aguilar et al. \(2009\)](#) establecieron con base a la literatura, que existen registros de áreas de crianza y reproducción de 14 especies de tiburones de importancia comercial, distribuidas en seis familias: Carcharhinidae, Sphyrnidae, Triakidae, Squatinidae, Lamnidae y Alopiidae. Las seis especies que presentaron mayores registros en cuanto a sitios de reproducción fueron: *C. limbatus*, *S. lewini*, *R. longurio*, *C. falciformis*, *Squatina californica* y *C. obscurus*.

[Muntaner-López \(2016\)](#), marcó individuos de tiburón puntas plateadas *C. albimarginatus* con marcas acústicas en el Archipiélago Revillagigedo. Observó que los tiburones cercanos a las tallas de nacimientos y los juveniles tienen una alta fidelidad a las islas de San Benedicto y Socorro, las cuales son más someras y protegidas. Por otro lado, los adultos tuvieron mayor fidelidad a Roca Partida, la cual es la punta de una montaña submarina que, carece de zonas someras. Concluye, que los tiburones punta plateada cambian las zonas en las que habitan dependiendo de su ontogenia.

En el Golfo de México y el Mar Caribe, se han registrado áreas de crianza para *R. terraenovae*, *C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. limbatus* y *S. tiburo* ([Bonfil, 1997](#); [Castillo-Géniz et al., 1998](#)).

[Hoyos-Padilla \(2001\)](#) y [Hueter et al. \(2007\)](#) determinaron que la Laguna Yalahau, Quintana Roo, es un área de crianza primaria principalmente para el tiburón puntas negras *C. limbatus*, ya que observaron que el 99% de la captura de tiburones fueron de esta especie y de estos el 96% fueron neonatos. No obstante, mencionan que la laguna puede funcionar como un área de crianza multiespecífica debido que también encontraron neonatos, juveniles (< 1 año) y juveniles de tiburón limón *N. brevirostris*, tiburón gata, *Ginglymostoma cirratum*, cazón pech *S. tiburo*, y una hembra preñada de cazón de playa *R. terraenovae*.

2.2. Variables ambientales y el uso del hábitat

Debido a la fluctuación y dinámica de los hábitats costeros, la presencia de tiburones y su uso del hábitat varía en una escala espacio-temporal (Knip *et al.*, 2010; Speed *et al.*, 2010; Heupel & Simpfendorfer, 2014). Estudios sobre la distribución y abundancia de tiburones han demostrado que ciertas especies tienden a agregarse en ciertos sitios, determinado tanto por factores ambientales como la temperatura, salinidad, O₂ disuelto (Klimley 1987), así como por sus necesidades biológicas tales como alimentación, reproducción y el uso de áreas de crianza (Holzwarth *et al.*, 2006; Drymon *et al.*, 2014; Espinoza *et al.*, 2014; Legare *et al.*, 2015).

Se ha observado en el GC que las migraciones de tiburones están influenciadas por las condiciones oceanográficas, principalmente por las fluctuaciones en la temperatura del agua (Kato & Hernández-Carvallo, 1967) y por cambios en el ciclo de vida de algunas especies como el tiburón martillo común, *S. lewini* (Hoyos-Padilla *et al.*, 2014). Por otro lado, se ha observado que la densidad de alimento y sus necesidades biológicas tienen un efecto en la temporada reproductiva y sus actividades de reproducción (Heupel & Simpfendorfer, 2014).

Por otra parte, el estudio ecológico de estos patrones de distribución y abundancia de los tiburones es importante para comprender el nivel de vulnerabilidad y la afectación que las actividades antropogénicas tienen sobre las poblaciones de los tiburones costeros (Chin *et al.*, 2010; Yates *et al.*, 2015).

2.3. Hábitos alimenticios

El análisis de la dieta es un aspecto fundamental en el manejo de los elasmobranquios, ya que provee información que puede ayudar a determinar las interacciones entre las especies y su ambiente. Los diferentes componentes alimenticios que comprenden una dieta pueden ser determinados directamente de los estudios de contenidos estomacales e isótopos estables (Kim & Koch, 2012; Hussey *et al.*, 2012a).

Los análisis de contenido estomacal (ACE) aportan información acerca de la composición de la dieta y de los hábitos alimenticios de los organismos, determinando la cantidad, frecuencia y biomasa de las presas digeridas por un consumidor en diferentes épocas del año (Escobar-Sánchez *et al.*, 2010). Este tipo de estudios presentan algunas desventajas: 1) solo proveen información del alimento consumido recientemente (Pinnegar *et al.*, 2002), 2) presentan problemas de identificación de las presas debido a las altas tasas de digestión (Pinnegar *et al.*, 2002), 3) pérdida del contenido estomacal porque suele haber regurgitación debido al estrés durante la captura y el manejo, (Renones *et al.*, 2002), 4) dificultad para obtener un número de muestras suficiente para llegar a conclusiones significativas (Vander-Zanden, *et al.*, 1997) y 5) el animal debe de encontrarse muerto o debe ser sacrificado, ya que en la mayoría de los casos se extrae todo el estómago.

Actualmente se está trabajando con técnicas bioquímicas como el análisis de las proporciones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en los tejidos. Este tipo de análisis permite analizar cuantitativamente la dieta asimilada y el hábitat trófico espacio-temporal dependiendo de la tasa de recambio del tejido que se analice (Koch, 2007; Conde-Moreno, 2009), siendo una herramienta que complementa los métodos tradicionales (Kim & Koch, 2012).

En contraste con ACE, la técnica de isótopos estables presenta algunas ventajas: 1) muestreo menos invasivo o no letal en animales mediante toma de muestras de sangre, pelo, músculo o piel (Hobson *et al.*, 1993; Kurlle & Worthy, 2001; Matich *et al.*, 2010a; Kinney *et al.*, 2011); 2) posibilidad de estudiar animales en peligro de extinción o con poca frecuencia de aparición, y 3) potencial de reducir la cantidad de muestras requeridas para monitorear la dinámica trófica (Vander-Zanden *et al.*, 1997). Los análisis de isótopos estables (AIE), en conjunto con los ACE, responden a preguntas de investigación con diferentes ventanas de tiempo, tales como: 1) el comportamiento de alimentación generalista o especialista, 2) modelación de múltiples especies presa en la dieta para inferir cambios estacionales desde la base de la cadena trófica, y 3) cambios en la alimentación de otras especies, diferencias la dieta entre sexos y estadios de desarrollo, amplitud de nicho, traslape trófico y posición trófica (Hussey *et*

al., 2012b). Por lo tanto, los análisis de isótopos estables son una herramienta de complemento para los análisis de contenidos estomacales (Harvey & Kitchel, 2000).

2.3.1. Isótopos estables

2.3.1.1. Fraccionamiento isotópico

El fraccionamiento isotópico denota la diferencia en la composición de los isótopos estables entre un consumidor y su dieta (Martínez del Río *et al.*, 2009). Comúnmente es referido como factor de discriminación tejido-dieta por sus siglas en inglés (DTDF) o factor de discriminación trófico (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson & Clark, 1992). Este factor está regido por el comportamiento de los mismos isótopos en los procesos metabólicos durante la realización o la ruptura de enlaces químicos (Gannes *et al.*, 1997). Así los tejidos del consumidor son más enriquecidos de isótopos pesados (^{13}C y ^{15}N) en relación con su presa (Wada *et al.*, 1991; Martínez del Río *et al.*, 2009). El factor de discriminación se reporta como $\Delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{13}\text{C}$ y es calculado con la siguiente ecuación:

$$\Delta^h X = \delta^h X_{\text{Consumidor}} - \delta^h X_{\text{Presa}}$$

Dónde: Δ es el factor de discriminación; h es el isótopo más pesado; X es el elemento (Hussey *et al.*, 2010).

El análisis en el fraccionamiento de los isótopos de nitrógeno (^{15}N : ^{14}N) en tejidos de animales ayuda a examinar la posición trófica y la estructura de la red trófica en un ecosistema, donde la concentración de ^{15}N tiende a incrementar en consumidores conforme a su dieta (Minagawa & Wada, 1984).

Por otro lado, el fraccionamiento de carbono (^{13}C : ^{12}C) entre los consumidores primarios y los depredadores proveen una herramienta para examinar el uso del hábitat y los patrones de movimiento y migración. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ generalmente se conservan en cada nivel trófico de un ecosistema. Este valor es usado para conocer los valores de fuentes de carbono en la dieta (Fisk *et al.*, 2002; MacNeil *et al.*, 2005;

Estrada *et al.*, 2003; Newsome *et al.*, 2009; Matich *et al.*, 2010a; Olson *et al.*, 2010; Hussey *et al.*, 2011). También el $\delta^{13}\text{C}$ ha sido utilizado para diferenciar entre fuentes de carbono costeras ($\delta^{13}\text{C}$ enriquecidas) y oceánicas ($\delta^{13}\text{C}$ empobrecidas) (France, 1995).

2.3.1.2. Tasas de recambio

La aplicación del análisis de isótopos estables indica residencia, patrones de movimiento y migración (Hobson, 1999; Rubenstein & Hobson, 2004; Graham *et al.*, 2010; Hobson *et al.*, 2010). El tiempo de retención de los valores isotópicos en una red trófica depende de la tasa de recambio de cada tejido. Así, el animal podría moverse entre redes tróficas isotópicamente distintas, pero retendría el valor de alimentación previa por algún tiempo (Hussey *et al.*, 2012a).

Se conoce que las tasas de recambio de los isótopos estables en los tejidos de los organismos indican los efectos combinados del metabolismo (recambio de tejido existente), del crecimiento (adición de nuevo tejido), de la ruta isotópica (la mezcla de los componentes de la dieta en los diferentes tejidos), la composición de proteínas en los tejidos (asociación de valores isotópicos diferentes con aminoácidos específicos) y la dieta. Por lo que existen tejidos con tasas metabólicas altas (e.g. sangre e hígado), los cuales indican cambios más rápidos en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la dieta, y tejidos con tasas metabólicas más lentas (e.g. cartílago, músculo). Como resultado, cada tejido reflejará un período de alimentación diferente (Tieszen *et al.*, 1983; MacNeil *et al.*, 2006; Caut *et al.*, 2013).

2.4. Patrones de movimiento

El movimiento de los organismos es definido como el cambio en su ubicación espacial, el cual depende por la interacción espacial, y por factores externos (bióticos y abióticos) (Nathan *et al.*, 2008).

Las preferencias del hábitat en tiburones y en algunos peces pelágicos migratorios (e.g. atunes, picudos y dorados) pueden ser determinadas por factores bióticos y abióticos en diferentes escalas espacio-temporales (Klimley & Nelson, 1984; Klimley *et al.*, 1988; Klimley *et al.*, 1993; Brill & Lutcavage, 2001; Hearn *et al.*, 2010; Furukawa *et al.*, 2011; Schaefer *et al.*, 2011; Simpfendorfer & Heupel, 2012; Ketchum *et al.*, 2014a & b).

La dispersión de los animales de un punto fijo y su regreso a la misma locación es conocida como el refugio central (Hamilton & Watt, 1970). Ciertas especies de tiburones permanecen en áreas específicas, como el tiburón puntas blancas de arrecife (*Triaenodon obesus*, Nelson & Johnson, 1980), adultos de tiburón martillo (*S. lewini*, Klimley & Nelson, 1984; Ketchum *et al.*, 2014a), juveniles de tiburón martillo (*S. lewini*, Holland *et al.*, 1993), juveniles de tiburón limón (*N. brevirostris*, Morrissey & Gruber, 1993) y el tiburón gris de arrecife (*C. amblyrhynchos*, Economakis & Lobel, 1998).

Un número de hipótesis han sido formuladas para explicar el área de refugio central de los tiburones con el fin de minimizar el gasto de energía (Klimley & Nelson, 1984), usar como puntos de referencia para la orientación con respecto a estructuras físicas (e.g. montañas submarinas, cañones; Klimley *et al.*, 1988; Klimley *et al.*, 1993), para termorregular (Ketchum *et al.*, 2014a), evasión de depredadores (Morrissey & Gruber, 1993), incrementar la tasa de desarrollo embrionario (Economakis & Lobel, 1998) y la evasión de machos (Sims *et al.*, 2001).

Los cambios espaciales y temporales en estos comportamientos puede cambiar diariamente (Cartamil *et al.*, 2003), temporalmente (Heupel *et al.*, 2004) y ontogénicamente (Grubbs, 2010; Hoyos-Padilla *et al.*, 2014). Los avances en la

tecnología en telemetría pueden ayudar a entender la variabilidad del refugio espacial y temporal (Ketchum *et al.*, 2014a).

La evaluación de la preferencia del hábitat es importante para predecir el comportamiento (Queiroz *et al.*, 2012), los efectos de los cambios en el hábitat (Arthur *et al.*, 1996) y para determinar los requerimientos biológicos, con el fin de apoyar la protección de áreas críticas para las especies (Arthur *et al.*, 1996).

2.5. Tiburón bironche (*Rhizoprionodon longurio*)

El tiburón bironche, *R. longurio* (Figura 1), es una especie pequeña de elasmobranquio. *Rhizoprionodon* del griego *rhiza* o *rhizoma*, que significa “raíz”, *prion*, que significa “sierra”, y *odont*, *odontus*, que significa “diente”, es decir, “raíz del diente de sierra”. El nombre es una alusión al antepasado del género *Prionodon*. Por otro lado, *longurio* del latín significa “joven esbelto” (Castro, 2011).

Su longitud total (LT) máxima reportada en México es de 170 cm (Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013). La especie se caracteriza por tener un morro puntiagudo y largo (más largo que el ancho de la boca), con apariencia semi-transparente visto desde abajo y por la posición del origen de su segunda aleta dorsal que está colocada por detrás del origen de la aleta anal (Compagno *et al.*, 2005). Tiene hendiduras nasales oblicuas, presenta pliegues labiales bien marcados alrededor de las esquinas de la boca, y su mandíbula se compone de dientes con cúspides oblicuas con bordes ligeramente aserrados (Castro, 1983; Compagno, 1984; Compagno *et al.*, 2005), su coloración es gris o gris-café en el dorso y costados, mientras que el vientre es blanco (Mejía-Salazar, 2007).

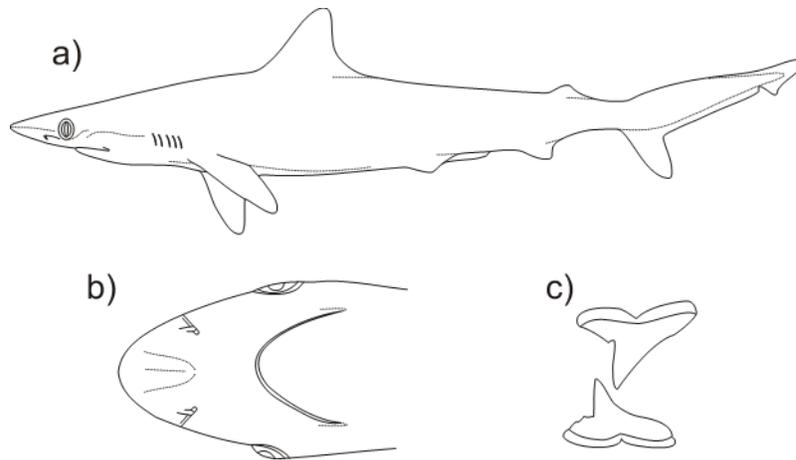


Figura 1. Tiburón bironche, *R. longurio*. a) Vista lateral; se observa el inicio de la segunda aleta dorsal después del origen de la aleta anal. b) Vista ventral; hendiduras nasales oblicuas y pliegues labiales. c) Diente superior e inferior (figura elaborada por el autor).

Es una especie costera que vive en fondos lodosos y arenosos de la plataforma continental del Pacífico Este, habitando desde el sur de California a Perú (Castro, 1983), incluyendo la Isla Malpelo y la Isla del Coco (Robertson & Allen, 2002) (Figura 2). Se congrega en la cercanía de la desembocadura de ríos y, en ocasiones, penetra hacia lagunas costeras donde permanece algún tiempo, probablemente como parte de su ciclo de vida (Mejía-Salazar, 2007). Este tiburón se puede encontrar desde la zona intermareal hasta los 54 m (Corro-Espinosa, 2011).

La edad y la talla en la que el 50% de los organismos alcanzan la madurez sexual es de 2.4 años con una LT de 100.5 cm para machos y 1.5 años con una LT de 92.4 cm para hembras (Corro-Espinosa, 2011). La edad máxima que alcanzan estos tiburones es de 6.5 años para machos y 7.5 años para hembras (Corro-Espinosa, 2011). Las hembras tienen entre 1-12 embriones con una media de 7.4 crías por camada (Compagno, 1984; Bizzarro *et al.*, 2000; Márquez-Farías *et al.*, 2005). Se reproduce anualmente, con un período de gestación estimado de 10-12 meses (Márquez-Farías, 2002; Corro-Espinosa, 2011). Los embriones están conectados a la madre por medio de un cordón umbilical ornamentado a manera de *appendiculae*. La talla al nacer es de 30 a 37 cm LT en una proporción sexual de 1H: 1M y la temporada de nacimiento es de mayo a agosto (Márquez-Farías *et al.*, 2005; Corro-Espinosa, 2011). La fecundación e implantación se lleva a cabo de mayo a junio (Corro-Espinosa, 2011).

Las hembras presentan solo el ovario izquierdo funcional y no presentan almacén de esperma en la glándula oviducal (Márquez-Farías *et al.*, 2005).

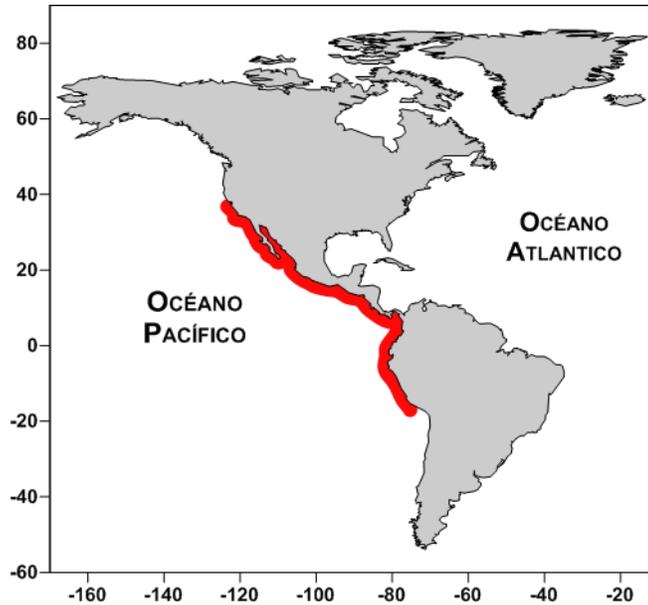


Figura 2. Distribución del tiburón bironche, *R. longurio* (figura basada y modificada de Fishbase, 2017).

Se alimenta sobre la plataforma continental y su dieta consiste tanto de especies de hábitos demersales como de especies epipelágicas (e.g. peces teleósteos, crustáceos, cefalópodos y gasterópodos). Por lo tanto, puede realizar migraciones verticales en la columna de agua (Márquez-Farías *et al.*, 2005; Alderete-Macal, 2007; Muratalla-Torres, 2008; Conde-Moreno, 2009; Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013).

Es una especie común y es explotada comercialmente desde el Golfo de California hasta Puerto Madero, Chiapas, debido a que suele segregarse en grandes escuelas o cardúmenes. Sus movimientos estacionales denominados “corridas”, hacen que sea explotada temporalmente (Castillo-Géniz *et al.*, 1997; Márquez-Farías, 2002; Márquez-Farías *et al.*, 2005).

2.5.1. Estudios del tiburón bironche

[Kato & Hernández-Carvallo \(1967\)](#) marcaron individuos de *R. longurio* y de otras especies en el área de la boca del GC. Reportaron que un espécimen marcado en mayo en Cabo San Lucas fue recapturado cuatro meses después y había viajado ~915 km hacia el norte sobre la costa occidental de Baja California.

[Saucedo *et al.* \(1982\)](#) y [Rodríguez-García \(1986\)](#) registraron esta especie como importante en las capturas de pesca artesanal en Mazatlán, Sinaloa.

[Castillo-Géniz \(1990\)](#) estudió la pesquería de tiburón bironche como una de las especies más importantes económicamente en Sinaloa por su volumen de captura. Se identificaron los siguientes grupos taxonómicos en el contenido estomacal del tiburón bironche: 1) Teleósteos, 2) Cefalópodos, 3) Crustáceos y 4) Grupos diversos entre los que se encontraban restos de isópodos, aves y pequeñas cantidades de arena, piedras y vegetales.

[Corro-Espinosa & Hernández-Carvallo \(2002\)](#) evaluaron la importancia del tiburón bironche entre las especies de tiburón presentes en las costas de Sinaloa.

[Márquez-Farías *et al.* \(2005\)](#) realizaron observaciones biológicas y reproductivas de esta especie en las costas de Sinaloa. En el estudio se determinó, que *R. longurio* tiene una gestación de 10- 11 meses con una media de 7 crías por camada y que es una especie piscívora.

[Alderete-Macal \(2007\)](#) describió los hábitos alimenticios del tiburón bironche en Salina Cruz, Oaxaca. En el trabajo concluye que, esta especie se alimenta principalmente de fauna demersal con una preferencia hacia peces y que por el comportamiento de sus presas podría tener hábitos de alimentación nocturnos. Además, no encontró diferencias de alimentación entre sexos ni estadios de desarrollo.

[Mejía-Salazar \(2007\)](#) describió la biología reproductiva de este tiburón en dos localidades, una en el GC y otra en la costa de Oaxaca. Sugiriendo que el periodo de gestación dura de 11-12 meses y observó que la temporada de nacimiento es de mayo a agosto y que probablemente la expulsión de neonatos es en la BLP.

Conde-Moreno (2009) determinó la ecología trófica del tiburón bironche al sur del GC y en el Golfo de Tehuantepec (GT) mediante el análisis de contenido estomacal y de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. En su investigación, encontró que los tiburones bironche son depredadores piscívoros terciarios con hábitos oportunistas para ambos sitios, aunque varían las especies presa de un sitio a otro.

Corro-Espinosa *et al.* (2011) realizaron la dinámica poblacional del tiburón *R. longurio* para el GC. En el estudio, determinaron la edad y la talla de madurez sexual, la cual es 2.4 años con 100.5 cm de LT para machos y de 1.5 años con 92.4 cm LT para hembras. También determinaron la edad máxima, que es de 6.5 y 7.5 años para machos y hembras respectivamente.

Alatorre-Ramírez *et al.* (2013) determinaron la composición de la dieta mediante análisis de contenido estomacal en el Pacífico mexicano, encontrando que ésta es una especie piscívora con hábitos oportunistas y un consumidor terciario.

Frías-Espéricueta *et al.* (2014) determinaron las concentraciones de metales pesados de cobre, cadmio, plomo y zinc dentro del tiburón bironche en el sureste del GC. Sugirieron una relación inversa entre la transferencia de metales madre-embrión y el crecimiento embrionario.

Osuna-Peralta *et al.* (2014) identificaron 24 tipos de presas diferentes para el sureste del GC, de las cuales 19 fueron peces, cuatro cefalópodos y una de crustáceo. En el estudio propusieron que esta especie, puede ser un depredador oportunista más que especialista, debido al número limitado de presas.

Frías-Espéricueta *et al.* (2015) determinaron la cantidad total de mercurio en hembras y embriones del tiburón bironche en tejido sanguíneo, hígado y la placenta en el sureste del GC. Los resultados sugieren que existe una transferencia de mercurio transplacentar.

Furlong-Estrada *et al.* (2015) determinaron la capacidad de recuperación ante perturbaciones mediante su potencial de recuperación r_{2M} del tiburón bironche, del tiburón martillo común y del tiburón sedoso en la entrada del GC. En el estudio,

concluyeron que el tiburón bironche presenta un alto incremento poblacional y una productividad mayor en comparación con los dos otros tiburones estudiados.

3. Justificación

Numerosas pesquerías de tiburones en todo el mundo se han expandido y colapsado rápidamente, demostrando la incapacidad de las especies de soportar un intenso esfuerzo pesquero sin bases sustentables (Alonso-Castelán, 1999; García *et al.*, 2003). Una de las razones de porque los tiburones no resisten la presión pesquera es debido a que estos peces han evolucionado con presiones naturales de mortalidad baja en comparación a otros grupos de peces (Clark *et al.*, 2006). Otra razón es que la pesca de neonatos y de hembras grávidas de algunas especies de elasmobranquios sigue siendo indiscriminada por parte de la pesca dirigida en las temporadas y áreas de nacimiento (Márquez-Farías, 2002). Se ha demostrado que la eliminación de las poblaciones de cierto grupo de peces (e.g. tiburones, atunes y picudos) en las comunidades marinas, pueden afectar la estructura poblacional de otras especies tanto negativa como positivamente vía cascadas tróficas (Cox *et al.*, 2002; Essington *et al.*, 2002; Kitchell *et al.*, 2002; Stevens *et al.*, 2000; Myers *et al.*, 2007).

Se ha considerado que algunas especies de tiburones de grandes tallas (e.g. *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. obscurus* y *Galeocerdo cuvier*) han sido sobreexplotadas por la pesca artesanal en el Golfo de California (Smith *et al.*, 1999; Bizzarro *et al.*, 2009a). Por lo tanto, se ha incentivado a cambiar el esfuerzo pesquero hacia las poblaciones costeras de pequeños elasmobranquios (Smith *et al.*, 1999; Bizzarro *et al.*, 2009a). Sin embargo, las pesquerías en zonas costeras pueden tener un efecto negativo sobre las poblaciones de tiburones si no se identifican previamente las áreas y las temporadas vulnerables en la vida de estas especies, ya que se ha documentado que los tiburones realizan migraciones hacia aguas someras para parir (Castro, 1993; Klimley *et al.*, 1993; Simpfendorfer & Milward, 1993; Bonfil, 1997; Anislado & Robinson, 2001; Bush & Holland, 2002). Estas áreas, por lo tanto, deben ser consideradas como críticas para

la conservación y mantenimiento de las poblaciones (SEMARNAP, 2000; Anislado & Robinson, 2001; Heupel & Simpfendorfer, 2002; Heupel *et al.*, 2007).

El tiburón bironche es una de las tres especies de mayor importancia en la pesca artesanal ribereña en el centro y sur del GC, junto con los juveniles de la cornuda común *S. lewini* y juveniles de cornuda prieta *S. zygaena* (Corro-Espinosa & Hernández-Carvallo, 2002; Bizzarro *et al.*, 2000; Bizzarro *et al.*, 2009a & b). Al ser una especie costera de talla pequeña, de rápido crecimiento, de baja longevidad, con una reproducción anual, una madurez sexual rápida y con alrededor de siete crías por camada, este tiburón presenta un alto incremento poblacional y una productividad mayor en comparación con otros tiburones más vulnerables (e.g. *C. falciformis* y *S. lewini*), hipotéticamente, sería capaz de sostener una pesquería dirigida, pero aún deben implementarse estrictas medidas de manejo sustentable (Corro-Espinosa, 2011; Furlong-Estrada *et al.*, 2015).

Actualmente, este tiburón está catalogado en la Lista Roja de CITES como una especie con “*información deficiente*” y cuya tendencia poblacional se desconoce en la actualidad (<http://www.iucnredlist.org/details/161662/0>). No se sabe si el tiburón bironche utiliza lagunas costeras como áreas de crianza o si sólo utiliza aguas abiertas como su congénere *R. terraenovae* (Castillo-Géniz *et al.*, 1998). Sin embargo, existen estudios que suponen una aparente migración al interior del GC, principalmente en primavera, para la expulsión de neonatos en la BLP (Villavicencio-Garayzar *et al.*, 1997; Instituto Nacional de Pesca, 2000).

Debido a lo anterior, es importante analizar y obtener información de las características biológicas y el uso del hábitat para este tiburón en la BLP, tales como 1) la estructura poblacional (Tavares, 2010), 2) hábitat trófico, 3) patrones de movimiento (Hussey *et al.*, 2012a) y 4) áreas de reproducción, crianza, alimentación, refugio y limpieza (Camhi *et al.*, 1998; Anislado & Robinson, 2001; Tavares, 2010; Ketchum *et al.*, 2014b). Es fundamental conocer estos aspectos ya que aportan información relevante para elaborar un plan de manejo, para alcanzar una conservación exitosa de los tiburones y de los ambientes que habitan, así como de zonas aledañas (Hussey *et al.*, 2012a; Ketchum *et al.*, 2014b).

4. Hipótesis

La Bahía de La Paz presenta características adecuadas donde los neonatos y juveniles de diferentes especies de tiburones pueden encontrar refugio y el alimento necesario durante sus primeros meses de vida, por lo tanto, puede ser una importante área de crianza del tiburón bironche.

5. Objetivo general

Caracterizar e identificar la Bahía de La Paz como un área de crianza para el tiburón bironche.

5.1. Objetivos particulares

- Describir las características de la población del tiburón bironche dentro de la BLP (distribución espacio-temporal, composición de tallas y edades, proporción sexual y temporada de nacimientos) y comparar la abundancia relativa de los neonatos y juveniles con otras zonas.
- Evaluar si existe una relación en la temporada de nacimiento con la temperatura superficial del mar y la clorofila en BLP mediante datos de satélite.
- Describir el hábitat trófico mediante el análisis de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en tejido sanguíneo (diferencias de los valores isotópicos, traslapo trófico, posición trófica, amplitud trófica entre sexos, estadios de desarrollo y épocas del año, así como estimar el aporte de las especies presas potenciales en la señal isotópica del tiburón bironche).
- Describir los movimientos a escala fina (horas del día) y mediana escala (meses), mediante marcaje-recaptura y telemetría acústica activa (distribución

espacio temporal, movimientos horizontales y verticales tanto diurnos como nocturnos, estimar la distancia máxima y la velocidad de nado).

6. Materiales y métodos

6.1. Área de estudio

La BLP (Figura 3) es un importante cuerpo de agua, ya que es el más grande y profundo del GC se localiza desde los 24° 07' hasta 24° 21' N y de los 110° 17' a los 110° 40' (Obeso-Nieblas *et al.*, 2004). En el extremo sur se ha desarrollado una laguna costera (Ensenada de La Paz) de profundidades muy someras, la cual está protegida del mar abierto por una barrera arenosa (El mogote) (Mejía-Salazar, 2007). Esta laguna se comunica permanentemente con las aguas de la bahía a través de un canal que se forma entre la barrera arenosa y la costa sur de la bahía (Álvarez-Arellano *et al.*, 1997). La BLP tiene una dimensión aproximada de 80 km de largo y su parte más ancha es de 35 km. La comunicación con el GC ocurre a través de tres entradas: Boca Norte, una comunicación ancha y profunda que alcanza profundidades de 350 m, el canal de San José, estrecho y poco profundo en el extremo sur (62 m) y el canal de San Lorenzo, más estrecho aún y más somero. La bahía presenta un gradiente batimétrico con profundidades desde 10 m en la parte más al sur, hasta 450 m en su parte norte, lugar donde se localiza la Cuenca Alfonso (Obeso-Nieblas *et al.*, 2004).

En BLP se pueden identificar tres patrones de vientos característicos: vientos del noroeste, vientos del norte y vientos del suroeste (conocidos como “Nortes”, “Coyas”, y “Coromuel”, respectivamente; Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). Los vientos, durante los meses de noviembre a mayo, soplan por la mañana del noroeste y después del crepúsculo cambian a vientos del sur. Durante el resto del año los vientos de sureste y del suroeste son los dominantes y las calmas son frecuentes durante primavera y verano (Obeso-Nieblas, 2003).

El clima de la Región Sur del GC, donde se encuentra la BLP, es de tipo desértico (BW), muy cálido, con régimen de lluvias en verano y una oscilación térmica extremosa, esta catalogación está en el sistema de clasificación de Köpen y modificado posteriormente por García (1973). La temperatura promedio anual es de 23°C, la mínima promedio en invierno es de 8°C y la máxima promedio para verano es de 37°C (INEGI, 1994). La temporada cálida se extiende de junio a noviembre y la

temporada fría va de diciembre a mayo (Martínez-López *et al.*, 2001). La evaporación promedio anual en la BLP es de 215 mm y la humedad relativa está entre 62 y 70% (Obeso-Nieblas & Jiménez-Illescas, 1989). La precipitación está asociada a los vientos del suroeste, tormentas tropicales y huracanes. La precipitación promedio anual es de 180 mm (Obeso-Nieblas, 2003).

El régimen de la marea en la BLP es predominantemente semidiurno (Obeso-Nieblas, 2003).

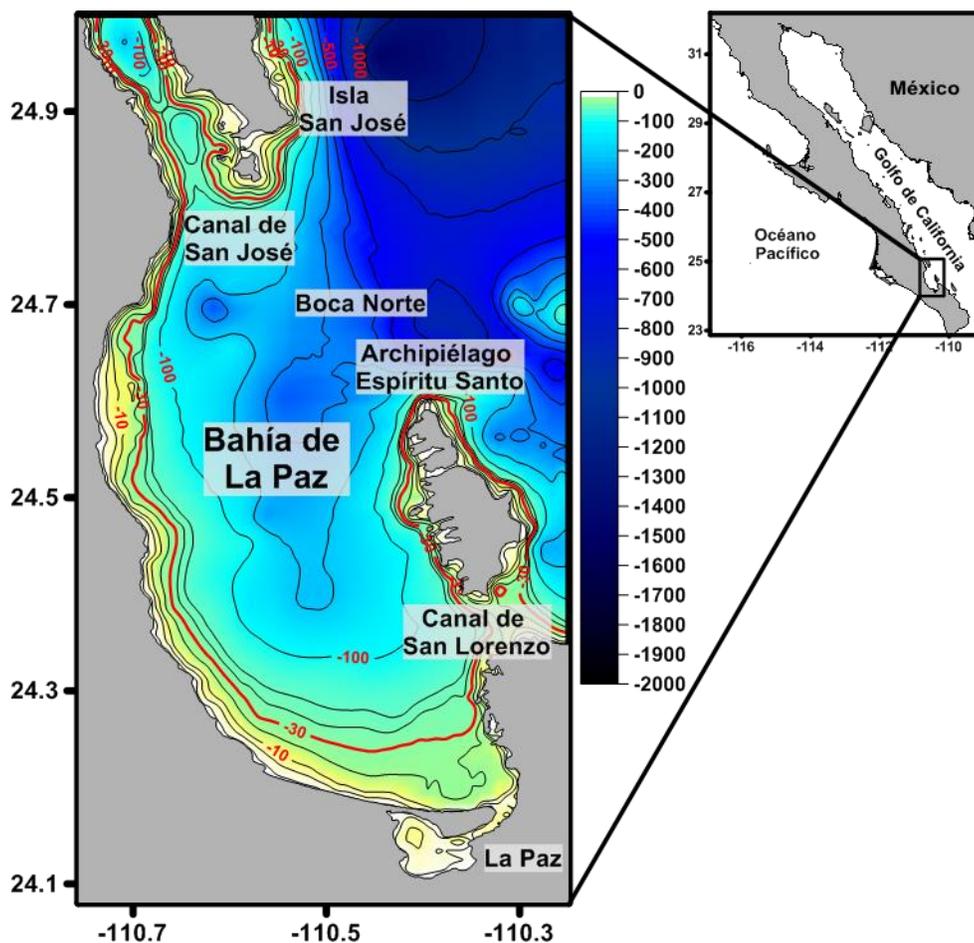


Figura 3. Área de estudio. Bahía de la Paz con batimetría en metros. Elaborado por el autor con datos de MapSource versión 6.15.11.0 (GARMIN Ltd., 2006)

6.2. Caracterización de la población

6.2.1. Captura de los tiburones

Los muestreos se llevaron a cabo de marzo de 2015 hasta marzo de 2016. Se realizaron al menos dos salidas por mes en una embarcación de fibra de vidrio tipo panga y una lancha de pesca deportiva tipo Robalo R220 con motor fuera de borda de 225 HP. Las capturas se realizaron durante el día, de 10 a 16 h. El tipo de pesca utilizado fue línea de mano, utilizando anzuelos tipo “J” del número 8. A todos los anzuelos se les retiró la barbilla para poder tener una liberación más fácil del tiburón. Las presas utilizadas para la captura del tiburón bironche fueron calamar, sardina, lisa, cabrilla y mojarra.

Una vez capturado cada tiburón, se subió a la embarcación, colocándolo sobre una toalla húmeda y se le cubrieron los ojos con un paño húmedo. La exposición a la luz solar directa por largos intervalos de tiempo causa daño a la retina ([Jones, 1979](#)). De esta manera se evitó la exposición directa de la retina con el sol y además se consiguió la relajación del animal observando su condición todo el tiempo. Se regresaron al agua aquellos tiburones que se observaron cansados para que se oxigenaran y recobraran la fuerza. La manera de reavivarlos fue siguiendo el método de [Hoyos-Padilla \(2001\)](#), sujetando al tiburón del morro y haciendo que este nadara en forma del símbolo de un infinito.

Para cada tiburón capturado se registró la siguiente información en una bitácora: fecha, hora de captura, coordenadas geográficas (tomadas con un GPS, Dakota® 20), longitud precaudal (LP) del tiburón, longitud furcal (LF), longitud total (LT), diámetro de ancho (DA, medida tomada detrás de la primera aleta dorsal), todas las medidas se hicieron en centímetros, estadio de madurez (neonato, juvenil o adulto) y sexo (presencia o ausencia de gonopterigios). Además, en caso de ser macho se registró la longitud, torsión y calcificación de los gonopterigios, y si era hembra se registró la presencia de marcas de apareamiento o posible estadio gestante. Finalmente, también se anotó la condición del animal al momento de ser liberado (Figura 4).

Los criterios utilizados para clasificar a los tiburones en los diferentes estadios de desarrollo fueron:

Neonato. Al ser una especie vivípara, los embriones están conectados a la madre mediante un cordón umbilical. Al nacer este cordón se desprende quedando una marca de nacimiento o cicatriz umbilical (Compagno *et al.*, 2005). En el presente estudio se consideraron como neonatos a todos los individuos que presentaron la marca de nacimiento abierta.

Juvenil. Los individuos con cicatriz cerrada y menores a 80 cm de LT se consideraron juveniles (Márquez-Farías *et al.*, 2005; Corro-Espinosa *et al.*, 2011).

Subadultos. Los individuos entre 80-95 cm de LT se consideraron subadultos. Márquez-Farías *et al.*, (2005) observaron que entre esas tallas los tiburones se encuentran en un estado de transición entre inmadurez a madurez.

Adultos. Los individuos considerados como adultos alcanzan la madurez sexual a la talla de 100.5 cm LT para machos y para hembras es de 92.4 cm LT (Corro-Espinosa *et al.*, 2011).

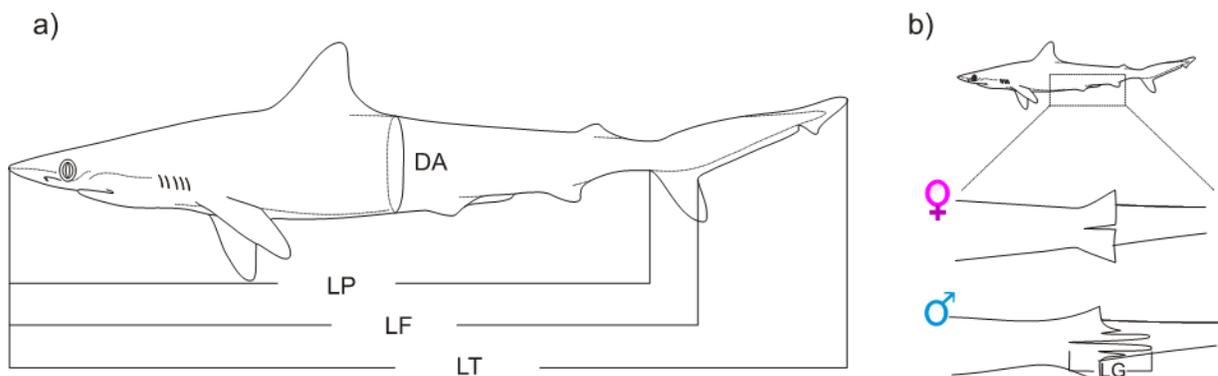


Figura 4. Toma de medidas del tiburón bironche. a) Longitud precaudal (LP); longitud furcal (LF); longitud total (LT); diámetro de ancho (DA). b) Determinación del sexo, hembra (♀); macho (♂); longitud del gonopterigio (LG) (figura elaborada por el autor).

Para determinar la condición de cada tiburón al momento de ser liberado, se utilizó la escala de vitalidad de Hueter (1994), el cual utiliza el siguiente criterio:

- Condición 1 “Buena”– No se necesita reanimar al tiburón al regresarlo al agua. Nado rápido al liberarlo con un vigoroso salpicar de agua.

- Condición 2 “Regular” –No se requiere de reanimación. Presenta nado lento pero fuerte al liberarlo.
- Condición 3 “Pobre” – Corto periodo requerido para reanimarlo (30 s). Una vez reanimado nada lento atípico al soltarlo.
- Condición 4 “Muy pobre” – Largo periodo para reanimarlo (> 30 s). Una vez liberado presenta nado limitado o ausente, pero con respiración funcional.
- Condición 5 “Muerte” – Muerto al removerlo de la red o moribundo e incapaz de reanimarse después de un largo período sumergido.

Durante el manejo se dio prioridad en mantener a los tiburones lo menos estresados posible. Cuando se capturó a más de un individuo a la vez se les liberó del anzuelo y se mantuvieron dentro del agua (Protocolo #16022 de Universidad de California, Davis, verificado por el Comité de Uso y Cuidado Animal).

6.2.2. Marcaje tradicional

Se marcaron todos los tiburones capturados durante el muestreo utilizando marcas tradicionales (Hueter, 1994). Se utilizó una marca llamada comúnmente de “espagueti”. Esta consta de un cuerpo de plástico de 12 cm unido a un sujetador y a un dardo de acero inoxidable que se inserta en el músculo del animal. Cada marca tiene impreso un código de identidad y un número telefónico para llamar al CICIMAR-IPN y reportar la fecha, coordenadas de sitio de captura, longitud total y el código de la marca. Previamente al marcaje, se les explicó a los pescadores localizados cerca del área de muestreo que hacer en caso de encontrar una marca, además se diseñaron y se colocaron carteles (Anexo 1) en puntos estratégicos en la ciudad de La Paz (e.g. marinas, muelles, tiendas de pesca y campos pesqueros), explicando la metodología y el teléfono al que tenían que llamar. A las personas que regresaron físicamente la marca de espagueti se les dio una recompensa de \$100 pesos mexicanos a cada uno.

6.2.3. Análisis estadísticos, gráficas y mapas

Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el programa estadístico *RStudio* (R Development Core Team, 2016). Se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad a los factores a analizar y después se prosiguió a hacer pruebas paramétricas o pruebas no paramétricas, dependiendo si se cumplían o no con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de dichas pruebas. Los demás análisis estadísticos se describen en cada uno de los siguientes apartados.

Para la realización de los mapas se siguieron estos pasos: 1) extracción de las coordenadas de la línea de costa de las zonas de interés con el programa *GEODAS-NG* (National Geophysical Data Center, 2000), 2) la edición de los mapas se realizó en el programa *Surfer* versión 10.1.561 (Golden Software, Inc., 2011), y 3) generación de la batimetría del área de estudio con el programa *MapSource* versión 6.15.11.0 (GARMIN Ltd., 2006).

6.2.4. Temporalidad

Para saber si existió diferencia en la abundancia entre la época cálida y fría se estimó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) mensual con el fin de estandarizar el esfuerzo de muestreo durante todo el año.

$$CPUE = \frac{\text{Número de organismos}}{\text{Número de días de muestreo por mes}}$$

Una vez obtenida la CPUE mensual se realizó una prueba de U de Mann-Whitney entre las temporadas del año.

6.2.5. Proporción sexual

Para conocer la proporción sexual se realizó una prueba de chi-cuadrada (X^2) para neonatos y juveniles.

6.2.6. Estimación de edades

Para estimar la edad de cada individuo se utilizó la ecuación inversa de von Bertalanffy y las constantes se obtuvieron del trabajo de [Corro-Espinosa \(2011\)](#);

$$\text{Edad} = \frac{t_0 - 1}{k * \ln \left(\frac{1-LT}{L_\infty} \right)}$$

Dónde; t_0 es la talla hipotética a la edad cero (t_0 machos = -0.23, t_0 hembras = -0.44); k es tasa de crecimiento ($k_{\text{machos}} = 1.42$, $k_{\text{hembras}} = 0.86$); L_∞ es la longitud infinita (L_∞ machos = 103.64, L_∞ hembras = 116.52); LT es la longitud total, la cual fue sustituida por los valores de LT de cada individuo en el presente estudio.

6.2.7. Temporada de nacimiento

Para conocer la temporada de nacimiento de los tiburones bironche en la BLP, a cada uno de los individuos considerados como neonatos se le restó su respectiva edad a la fecha de captura, para realizar los cálculos, se utilizaron días julianos.

6.2.8. Relaciones entre características morfológicas

Se realizaron correlaciones de Spearman y regresiones lineales entre la LP como variable independiente y la LT, LF y DA como variables dependientes, con el fin de obtener la pendiente y el intercepto.

Para el peso se realizó una regresión con los logaritmos naturales, debido a que no es comparable una medida lineal (e.g. LT, LP, LF, DA) con una variable volumétrica (Peso) (Martínez-Rincón comentario personal).

6.2.9. Comparaciones entre los porcentajes en diferentes áreas

Se realizó una comparación de los porcentajes de las capturas del tiburón bironche para seis zonas tanto del GC como del Pacífico mexicano. La información fue obtenida de los resultados de los trabajos previos y del presente trabajo.

Se elaboró una tabla de contingencia con los datos de captura junto con su porcentaje de cada trabajo, los cuales fueron ordenados por estadios de desarrollo. Se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA por sus siglas en inglés) con el fin de conocer las proximidades existentes entre el porcentaje de aparición de los diferentes estadios de desarrollo en las diferentes zonas de captura.

6.3. Factores ambientales

Se realizaron correlaciones cruzadas. Debido a que la respuesta de las poblaciones de una especie no sucede inmediatamente después de un cambio en las variables. Esto quiere decir, que cuando se presenta cambio o intervención de cualquier tipo en los ecosistemas, el efecto que este produce y la respuesta que genere en las poblaciones de dichos ecosistemas, se va a ver reflejada hasta cierto tiempo después del cambio inicial (Rodríguez Arana-Favela, 2015). Se eligió el valor de la correlación más alta para determinar el tiempo de desfase que tiene la temporada con relación a la TSM y a la clorofila.

Los valores de las TSM y clorofila fueron obtenidos mensualmente de las bases de datos de la NOAA (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). La TSM fue obtenida de Aqua MODIS (NPP, 0.0125°, West US, Day time 11 microns, 2002-present Monthly Composite, Lon+/-180) y la clorofila también de Aqua MODIS (NPP, 0.025° degrees, Pacific Ocean, 2006-present, Experimental Monthly Composite, Lon+/-180).

6.4. Hábitat trófico

6.4.1. Obtención de muestras y procesamiento para el análisis isotópico

Para el análisis de isótopos estables se eligió el tejido sanguíneo, el cual tiene una tasa de recambio rápida (e.g. plasma 39 días y glóbulos rojos 135 días; [Caut et al., 2013](#)) y su forma de extracción es menos invasiva. No hubo separación entre plasma ni glóbulos rojos en el tejido sanguíneo debido a la poca muestra obtenida. Con el fin de obtener al valor de la tasa de recambio del tejido sanguíneo completo, se calcularon las medias del plasma y de los glóbulos rojos, estos valores fueron obtenidos del trabajo de [Caut et al. \(2013\)](#) ([Méndez-Da Silveira, 2015](#)). El valor de tasa de recambio para sangre utilizado en el presente estudio fue de 87 días.

Se extrajo ~3 ml de sangre de la vena caudal, entre la cloaca y la aleta anal, utilizando de una jeringa de 3 ml. Una vez extraída la muestra se colocó en un tubo de heparina K2 EDTA (BD Vacutainer). Se ha demostrado que este tipo de tubo no introduce error en los valores isotópicos y pueden ser comparados con confianza con muestras que no fueron almacenadas con aditamentos ([Kim & Koch, 2012](#)). Una vez colocada la muestra en el tubo, era almacenada en una hielera hasta llegar al laboratorio de Ecología de peces en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). En el laboratorio, las muestras se mantuvieron en el congelador a -20°C hasta su procesamiento, el cual consistió en:

- 1) Las muestras fueron deshidratadas en una liofilizadora *FreeZone 2.5* (LABCONCO Ltd.), a una temperatura promedio de -50° C en vacío por 72 h.
- 2) Una vez secas, se pulverizaron en un mortero de Ágata VWR (General Laboratory). El mortero fue limpiado entre muestra y muestra con éter petróleo para evitar su contaminación.
- 3) Se pesó cada muestra de 0.05 a 0.08 mg, y después se depositó cada muestra en una cápsula de estaño de 4 x 6 mm.
- 4) Las cápsulas se metieron al espectrómetro de masas isotópicas *Delta V Plus de Thermo Scientific* de flujo continuo acoplado a un analizador elemental (Elemental Combustion System Costech Instruments) ubicado en el Laboratorio

de Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (LESMA) en el CICIMAR-IPN.

- 5) Las tasas de isótopos pesados a ligeros fueron expresadas en δ utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta X = \left[\left(\frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} \right) - 1 \right] * 1000$$

Dónde: X es el isótopo pesado; $R_{muestra}$ es la relación del isótopo pesado-ligero en la muestra; $R_{estandar}$ es la relación del isótopo pesado-ligero en la referencia estándar. La referencia estándar para ^{13}C fue *Vienna Pee Dee Belemnite* (PDB) y para ^{15}N fue nitrógeno atmosférico (N_2).

No se realizó la extracción de urea, aunque esta pueda influir en el empobrecimiento de los valores isotópicos, por falta de un método exitoso para el tejido sanguíneo. Tampoco se realizó extracción de lípidos, ya que la relación C:N se encontró entre 2.5 y 3.5, eso muestra un equilibrio de los lípidos y las proteínas.

Se realizó una reclasificación de los tiburones, ya que para el análisis de los isótopos estables se tiene que tomar en cuenta la tasa de recambio del tejido a estudiar, debido a que cada tejido tiene un umbral de tiempo diferente hacia el pasado ([Tieszen et al., 1983](#); [MacNeil et al., 2005](#)). Por lo tanto, se restó la tasa de recambio del tejido sanguíneo de 87 días (~3 meses) a la edad de los tiburones (para estadios de desarrollo) y a la fecha de captura (para la época del año). La clasificación quedó por estadios de desarrollo:

Adultas preñadas: la señal isotópica de los tiburones con la marca umbilical abierta se consideró como hembras adultas preñadas, ya que los neonatos reflejan las variaciones de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la madre debido a que son abastecidos por reservas maternas ([Matich et al., 2010b](#); [Olin et al., 2011](#)).

Neonato: se consideró la señal isotópica de los tiburones de 1 mes a 4 meses de edad como neonatos.

Juvenil < 1 año: los tiburones mayores a 4 meses y menores a un 1.3 años.

O por épocas del año:

Fría: tiburones con la fecha modificada de diciembre a mayo.

Cálida: tiburones con la fecha modificada de junio a noviembre.

6.4.2. Diferencias isotópicas entre categorías

Debido a que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ no fueron normales ($p < 0.05$) se realizaron pruebas no paramétricas para encontrar diferencias de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre sexos (U de Mann-Whitney), estadios de desarrollo (Kruskal-Wallis) y épocas del año (U de Mann-Whitney). Se realizó una prueba *post hoc* de Dunn para encontrar cuales estadios son diferentes entre sí en $\delta^{15}\text{N}$ y en $\delta^{13}\text{C}$. También se realizaron las pruebas para la señal isotópica del zooplancton entre las diferentes temporadas con el fin de encontrar si los tiburones cambian sus hábitos alimenticios por temporadas o si es debido a la modificación de la señal isotópica desde la base trófica (Hobson *et al.*, 1995). La técnica de muestreo de zooplancton se menciona en el apartado de posición trófica.

6.4.3. Traslado trófico

Con el fin de determinar la amplitud de la dieta y el traslapo de nicho isotópico entre sexos, estadios de desarrollo y épocas del año, se utilizó el método *SIBER* (*Stable Isotope Bayesian Ellipses in R*) del paquete *SIAR*, disponible en el programa (R Development Core Team, 2016), propuesto por Jackson *et al.* (2011).

La elipse de una serie de datos bivariados se calcula mediante una matriz de covarianza que define la forma y su área; mientras que la media de los datos determina su ubicación (Jackson *et al.*, 2011).

Para saber el porcentaje de traslapo, se utilizó el área de la elipse corregida de cada categoría junto con el valor de traslapo.

6.4.4. Posición trófica

La estimación de la posición trófica de cada categoría se calculó con el método de [Post \(2002\)](#):

$$PT_{Elasmobranquio} = (\delta^{15}N_{Elasmobranquio} - \delta^{15}N_{OrganismoBase})(\Delta^{15}N_{Elasmobranquio})^{-1} + PT_{OrganismoBase}$$

Dónde: $\delta^{15}N_{Elasmobranquio}$ y $\delta^{15}N_{OrganismoBase}$ son los valores de $\delta^{15}N$; $PT_{OrganismoBase}$ es el valor calculado del nivel trófico de los organismos base en el ecosistema; $\Delta^{15}N_{Elasmobranquio}$ es el factor de discriminación del tejido del elasmobranquio ([Post, 2002](#)).

Se recolectó zooplancton porque es el mejor indicador de $\delta^{15}N_{Base}$ y $\delta^{13}C_{Base}$ ([Post, 2002](#)). [Cabana & Rasmussen \(1996\)](#) y [Vander-Zanden & Rasmussen \(2001\)](#) han sugerido utilizar los consumidores primarios para cuantificar los valores de $\delta^{15}N_{base}$ y $\delta^{13}C_{base}$ en las cadenas tróficas acuáticas, eso es debido a que en sistemas acuáticos la mayoría de los productores primarios y el detritus tienen variaciones temporales altas, complicando su uso directo como indicadores de $\delta^{15}N_{base}$ y $\delta^{13}C_{base}$.

El zooplancton fue colectado utilizando una red de plancton de 500 μm de luz de malla, con una longitud de 1.5 m y una abertura de boca de 60 cm, durante 10 min en los mismos sitios y meses donde se capturaron los tiburones bironche. Se siguió la misma metodología de preparación, antes mencionada, para su análisis de isótopos estables. Cabe mencionar que se analizó toda la muestra de zooplancton sin ser separada por grupos taxonómicos. La posición trófica ($PT_{OrganismoBase}$) utilizada del zooplancton fue de 2 ([Post et al., 2000](#)).

Para calcular el factor de discriminación del tejido sanguíneo, se utilizaron los valores promedio del factor de discriminación ($\Delta^{15}N$ & $\Delta^{13}C$) en plasma y glóbulos rojos reportados por [Kim et al. \(2012a\)](#) ([Méndez-Da Silveira, 2015](#)), los cuales fueron de $\Delta^{15}N 2.2 \pm 0.7 \text{‰}$ y $\Delta^{13}C 2.8 \pm 0.6 \text{‰}$ para plasma y $\Delta^{15}N 2.4 \pm 0.5 \text{‰}$ y $\Delta^{13}C 2.3 \pm 0.5 \text{‰}$ para glóbulos rojos (media \pm D.E). El valor de Δ usado en el presente estudio fue $\Delta^{15}N 2.3 \pm 0.6 \text{‰}$ y $\Delta^{13}C 2.55 \pm 0.55 \text{‰}$.

6.4.5. Modelos de mezcla

Se realizaron modelos de mezcla con el método del *MCMC* (desarrollado por Andrew Parnell) del paquete *SIAR* en el programa estadístico de *RStudio*.

Los modelos de mezcla isotópicos están basados en las diferentes aportaciones isotópicas originarias de diferentes fuentes (e.g. presas) para una mezcla isotópica (depredador). Para poder realizar los modelos de mezcla se requiere de tejido específico de las especies y del factor de discriminación. En el presente estudio el factor de discriminación del tejido sanguíneo utilizado fue de $\Delta^{15}\text{N}$ 2.3 y $\Delta^{13}\text{C}$ 2.55.

Se revisaron los Índices de Importancia Relativa (IIR) de estudios previos sobre alimentación del tiburón bironche. Se eligieron las especies presa potenciales que se encontraban en la BLP, las cuales fueron colectadas con red tipo atarraya (e.g. *Mugil* sp., *Opisthonema* sp. y *Eucinostomus* sp.) o línea de mano (e.g. *Paralabrax maculatofasciatus*). Las especies presas que no se pudieron capturar, se utilizaron los valores isotópicos de los trabajos de [Ochoa-Díaz \(2009\)](#) para *Scomber japonicus* y *Dosidicus gigas*, [Méndez Da-Silveira \(2015\)](#) para *Argonauta* sp. y [Polo-Silva et al \(2012\)](#) para *Pleuroncodes planipes*. Se tomó una muestra de músculo a las presas potenciales capturadas en la BLP. La preparación para el análisis de isótopos estables fue la misma a la antes mencionada (Tabla 1).

6.4.6. Amplitud trófica

La amplitud del nicho isotópico se realizó mediante la varianza (σ^2) de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en sangre ([Bearhop et al., 2004](#); [Newsome et al., 2007](#)). Se consideró que valores inferiores a 1 corresponden a poblaciones de hábitos especialistas, mientras que los superiores a 1 identifican poblaciones de hábitos generalistas ([Jaeger et al., 2009](#)).

Tabla 1. Índice de Importancia Relativa (IIR) de las presas del tiburón bironche. Los valores están representados en porcentajes.

Presas	Alatorre-Ramírez et al., 2013 Sur de Sinaloa	Márquez-Farías et al., 2005 Sur de Sinaloa	Osuna-Peralta et al., 2014 Sureste Golfo de California	Conde-Moreno, 2009 Golfo de Tehuantepec	Conde-Moreno, 2009 Sureste Golfo de California	Alderete-Macal, 2007 Golfo de Tehuantepec
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	1.39 ¹	-	0.00	-	-	-
<i>Mugil</i> sp.	2.28	-	0.05	-	-	-
<i>Eucinostomus</i> sp.	-	0.20 ⁵	0.01 ⁵	-	-	-
<i>Opisthonema</i> sp.	-	0.40 ⁶	0.22 ⁶	2.91	-	-
<i>Scomber japonicus</i>	9.67	-	-	1.48 ⁷	-	1.70
<i>Dosidicus gigas</i>	0.06	0.10 ²	-	-	-	-
<i>Argonauta</i> sp.	2.66	0.10 ³	92.93	-	5.73	-
<i>Pleuroncodes planipes</i>	0.41	0.70 ⁴	0.01	-	0.02	-
<i>Arenaeus mexicanus</i>	-	0.70 ⁴	-	0.10	-	-

En algunos trabajos el IIR estaba registrado hasta nivel familia.

¹ Serranidae, ² Decapoda, ³ Octopoda, ⁴ Crustacea, ⁵ Gerreidae, ⁶ Clupeidae, ⁷ Scombridae

6.5. Patrones de movimiento

6.5.1. Marcaje interno

Para la telemetría acústica activa se utilizó una marca acústica continua V9TP-2x (Vemco Ltd. Nueva Escocia, Canadá). Tiene un tiempo de vida de 7 a 11 días y cuentan con lector de temperatura (°C) y profundidad (m). Estas marcas envían una señal cada 2000 ms a una frecuencia de 63 KHz.

Se colocó una marca tipo V9TP-2x (con sensores de profundidad y temperatura) en un individuo con la mejor condición. Esta marca fue insertada en la cavidad intraperitoneal, mediante una incisión quirúrgica, en la parte ventral superior, cerca de la cicatriz umbilical, ya que este es una zona donde la capa muscular es muy delgada (Hoyos-Padilla, comentario personal). Normalmente, la incisión no era mayor a 16 mm para que la marca acústica de un diámetro máximo de 16 mm se insertara fácilmente. Se tuvo cuidado en cortar solo piel y la capa muscular del tiburón, sin dañar ningún órgano interno. Finalmente, con el dedo se rompió la membrana del peritoneo, para que la marca quedara dentro de la misma. Al terminar se cerró la incisión con sutura absorbible.

Este procedimiento está basado en el protocolo de marcaje y manipulación de tiburones de la Universidad de California, Davis, verificado por el Comité de Uso y Cuidado Animal (IACUC, por sus siglas en inglés) de la misma universidad (Protocolo #16022). Este protocolo es utilizado por personal de Pelagios Kakunjá, A.C. durante todos sus procedimientos de marcaje y manipulación de tiburones.

6.5.2. Movimientos a escala fina (horas)

Se realizó un seguimiento continuo. Se utilizó la marca V9TP-2x y se siguió a bordo de una lancha de pesca deportiva tipo Robalo R220 con motor fuera de borda (255 HP) durante 72 h durante el 13 de junio al 16 de junio del 2016. La telemetría activa consiste en que la marca envía una pulsación cada 2000 ms, la cual es detectada por un hidrófono direccional VH110 (Vemco Ltd. Nueva Escocia, Canadá) y un

receptor portátil VR100 (Vemco Ltd. Nueva Escocia, Canadá), abordó de la embarcación. El receptor registra la fuerza de la señal (dB) del transmisor acústico, la profundidad y la temperatura del agua (en marcas con sensores), la hora y la posición geográfica de la embarcación.

Se formaron equipos de tres personas: 2 personas registraban los datos y un capitán. Cada equipo realizó el seguimiento durante 12 h continuas. Para realizar los cambios de turno, el equipo de remplazo llegó en otra embarcación hasta el punto donde se encontraba la embarcación realizando el seguimiento. El cambio de personas fue lo más rápido posible, sin perder la transmisión acústica del tiburón.

6.5.2.1. Tratamiento de los datos de la telemetría activa

Los datos registrados y guardados por el receptor VR100 fueron descargados completamente para su posterior análisis. A estos datos se les aplicó la metodología de [Ketchum et al. \(2014a\)](#) para eliminar la auto correlación temporal y los datos falsos, para así obtener intervalos de series de tiempo. Dicha metodología consistió de varios pasos que se detallan a continuación: 1) eliminación de datos erróneos de latitud y longitud (datos en blanco o que las coordenadas no correspondían a las del área de estudio).

El objetivo del seguimiento es imitar el movimiento del animal, el. El GPS localizado en el receptor VR100 registra la posición de la embarcación, por lo que debajo de los 50db también fueron eliminados; 2) selección de dos secciones del seguimiento; una direccional y la otra no direccional; 3) filtrado en intervalos de 1-16 min, esto debido a la complicación de imitar los movimientos exactos del animal (e.g. por el oleaje, viento, marea, corrientes etc.); 4) cálculo de los ángulos y las distancias entre un punto y otro, mediante la paquetería “*argofilter*” con el programa estadístico *RStudio* ([R Development Core Team, 2016](#)); 5) cálculo del coeficiente de Rayleigh o la longitud media del vector (r) para cada intervalo de tiempo.

La idea básica del coeficiente es, si la población muestreada difiere estadísticamente de un desplazamiento aleatorio en otras palabras, si existe una

evidencia estadística de direccionalidad; 6) Se graficaron los coeficientes de Rayleigh (r) tanto para los movimientos direccionales como los no direccionales, esto con el fin de encontrar el intervalo óptimo con el cual hacer los análisis. Se eligió el intervalo que llegó a una asíntota; 7) Con el intervalo óptimo se elaboró el mapa para los movimientos horizontales en el programa *Surfer* versión 10.1.561 (Golden Software, Inc., 2011), con ese intervalo óptimo también se realizaron los análisis estadísticos; 8) Para los movimientos verticales se eligió el intervalo de un minuto para no perder información, a este intervalo se le eliminaron los datos erróneos (e.g. datos en blanco, en negativo o profundidades que no concuerdan con los del área de estudio; 9) Para determinar si el ciclo circadiano influye sobre los movimientos tanto horizontales (distancia, velocidad y aleatoriedad-direccionalidad) como verticales (profundidad), se utilizó la prueba U de Mann Whitney.

Para dividir el día de la noche se utilizó la siguiente página web http://salidaypuestadelsol.com/Mexico/La_Paz_14438.html, la cual indica la hora que amanece y cuando anochece. El horario elegido para el intervalo diurno fue de 6 a 19 h y por consiguiente el resto fue considerado noche.

No se utilizó la variable temperatura ya que la marca tenía un intervalo de registro de la temperatura de -5 a 20 °C, fuera del intervalo de temperatura del área de estudio.

6.5.3. Movimientos a mediana escala (días-meses)

Para conocer los movimientos a mediana escala se utilizó la información obtenida del marcaje-recaptura. Todas las recapturas fueron realizadas por parte de los pescadores, los cuales llamaron para reportar la marca y dar la información relativa al sitio de recaptura, fecha y entregándonos la marca encontrada en el tiburón. Cabe aclarar que los organismos recapturados no fueron regresados al agua.

Los desplazamientos en línea recta realizados por los tiburones se calcularon en el programa *MapSource* versión 6.15.11.0 (GARMIN Ltd., 2006), mediante el cálculo

de la distancia en km entre el punto de marcaje-liberación y la recaptura. Asimismo, se calculó el tiempo que duró el tiburón en libertad antes de su recaptura. Esto fue realizado restando la fecha de liberación a la fecha de recaptura (para realizar los cálculos se usaron días julianos). Por otro lado, para calcular la edad máxima que llegó a vivir el tiburón, se le sumaron los días de libertad a la edad que tenía el tiburón cuando fue liberado.

7. Resultados

7.1. Caracterización de la población

Se capturaron 237 tiburones entre marzo de 2015 a marzo de 2016, de los cuales 123 fueron hembras y 114 fueron machos. Se encontraron principalmente al sur de la BLP, entre los 0 a 30 m de profundidad (Figura 5).

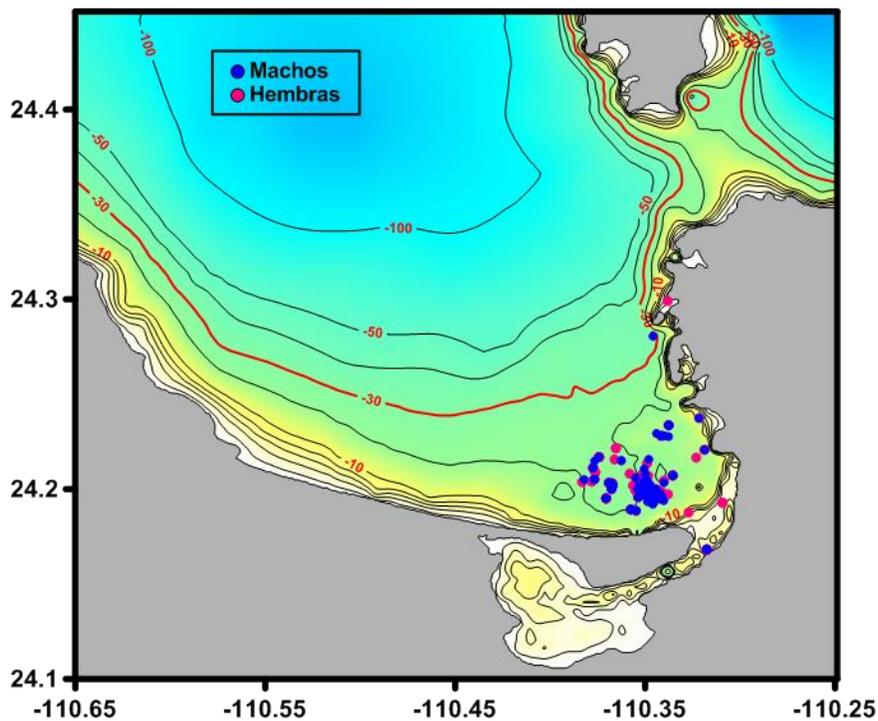


Figura 5. Mapa de distribución por sexos. Captura de los tiburones bironche entre la temporada del marzo 2015 al marzo 2016. La batimetría está mostrada en metros.

Se comparó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) entre épocas. Se encontró una mayor abundancia en la temporada cálida ($t= 2.3352$, $p= 0.04777$) (Figura 6).

El intervalo de tallas de los tiburones capturados fue de 35 a 86 cm LT, donde el intervalo de tallas para hembras fue de 38 a 86 cm LT, mientras que para machos fue de 35.5 a 84 cm LT. No se encontró diferencia significativa en la talla entre sexos ($W= 6771.5$, $p= 0.6503$). La proporción sexual fue de 1:1 M:H ($X^2= 0.34177$, $p= 0.5588$) (Figura 7).

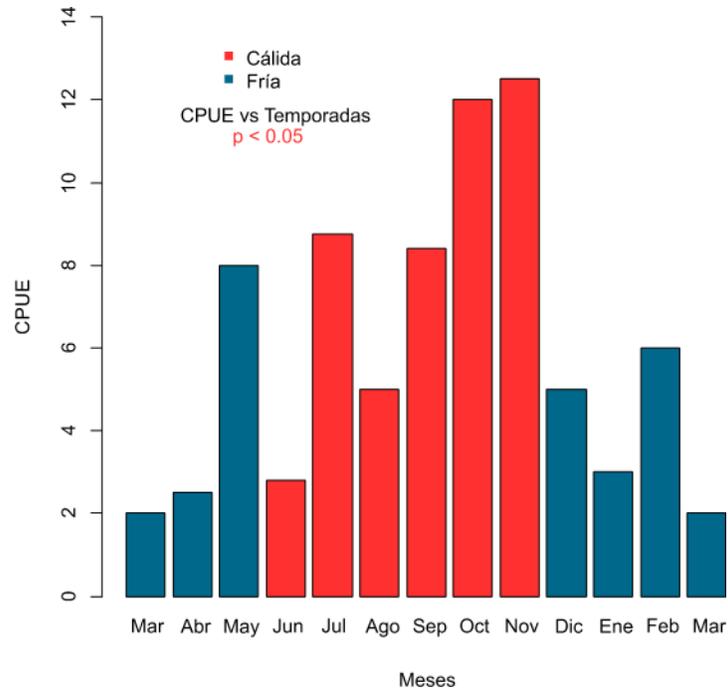


Figura 6. Abundancia por época. CPUE (No. de individuos/días de muestreo por mes). Comparación de la abundancia de tiburón bironche en la Bahía de La Paz entre época cálida (junio-noviembre) y fría (diciembre-mayo) ($p = 0.04777$).

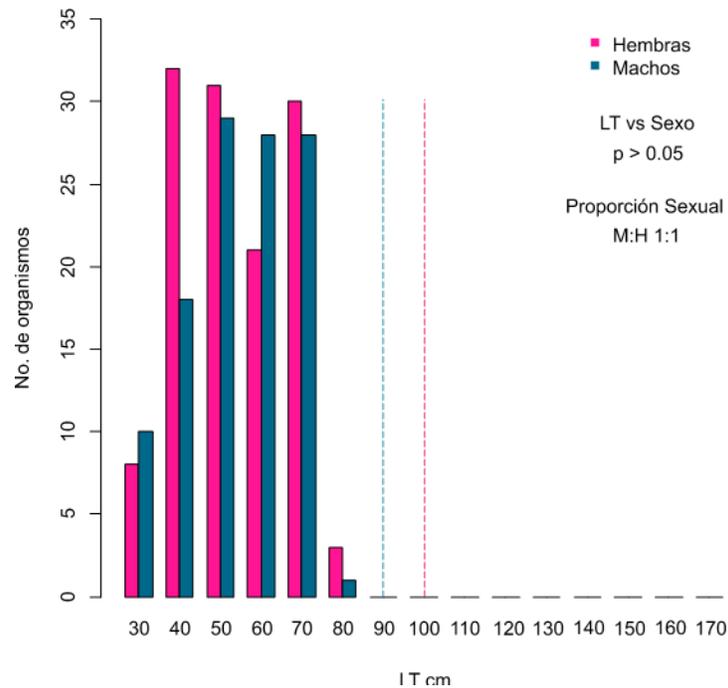


Figura 7. Intervalo de tallas. Tallas de nacimiento a la máxima reportada en México 170 cm LT. En la línea punteada azul la talla de madurez sexual 92.5 cm LT para machos y en la rosa 100.5 cm LT para hembras. Comparación de las tallas entre sexos ($p > 0.05$).

Las edades obtenidas, mediante la ecuación inversa de von Bertalanffy, indican que el 98% de tiburones tenían menos de un año (Tabla 2). La mayoría (66%) de los tiburones neonatos fueron capturados cerca de la costa; mientras que todos los juveniles y subadultos fueron capturados entre las isobatas de los 10 y los 30 m (Figura 8).

Tabla 2. Estimación de edad. Número de organismos capturados en los diferentes estadios de desarrollo junto con su porcentaje.

Estadio de desarrollo	Edad	Número de organismos	Porcentaje
Neonatos	7 días a 1.5 meses	24	10 %
Juveniles	> 1.5 meses a < 1 año	209	88 %
Subadultos	> 1 a < 1.2 años	4	2 %

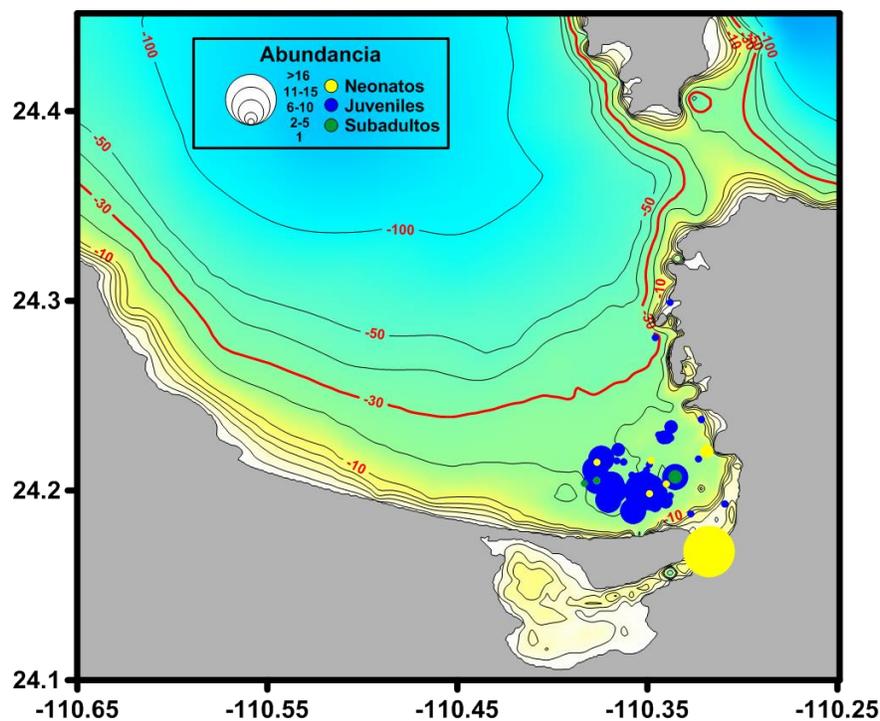


Figura 8. Mapa de distribución de la abundancia por estadio de desarrollo.

La temporada de nacimiento en la BLP es durante los meses de mayo a agosto con un pico máximo en el mes de junio (Figura 9).

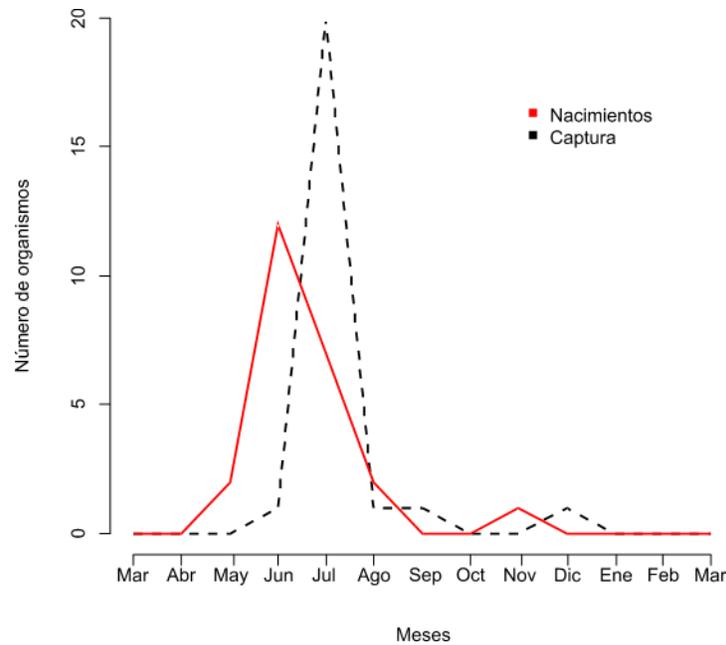


Figura 9. Temporada de nacimiento. La línea punteada negra representa los meses en los que se capturaron los neonatos. La línea roja representa los meses en que nacieron, esto es el resultado de la resta de la edad de cada organismo a la fecha de captura.

Debido a que las medidas morfométricas no fueron normales (Tabla 3), se hicieron correlaciones no paramétricas con el método de correlación de Spearman. Todas las medidas tuvieron una correlación muy alta con la LP (> 0.88). Para el caso de las regresiones lineales (LP-LT, LP-LF y LP- DA) y exponencial (LP-Peso) estas fueron positivas, esto quiere decir que cuando aumenta la variable independiente, las variables independientes también aumentan (Tabla 4 & Figura 10).

Tabla 3 Normalidad de las medidas. LT, longitud total; LF, longitud furcal; LP, longitud precaudal; DA, diámetro del ancho. W, valor de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk junto con el valor de p.

Medida	W	p-valor
LT	0.96741	2.98e-05
LF	0.97354	0.0002145
LP	0.9732	0.0001854
DA	0.97342	0.0002468
Peso	0.95744	4.84e-06

Tabla 4. Correlación de Spearman y regresiones. LT, longitud total; LF, longitud furcal; LP, longitud precaudal; DA, diámetro del ancho. S, valor de la prueba de correlación de Spearman junto con el valor de p y de rho.

Relación	S	rho	p-valor	Intercepto	Pendiente
LP – LT	25817	0.97	< 2.2e-16	0.26	0.74
LP – LF	27295	0.97	< 2.2e-16	3.41	1.26
LP – DA	56792	0.93	< 2.2e-16	-1.00	0.41
LP – Peso*	72108	0.88	< 2.2e-16	-3.29	2.65

* Regresión exponencial

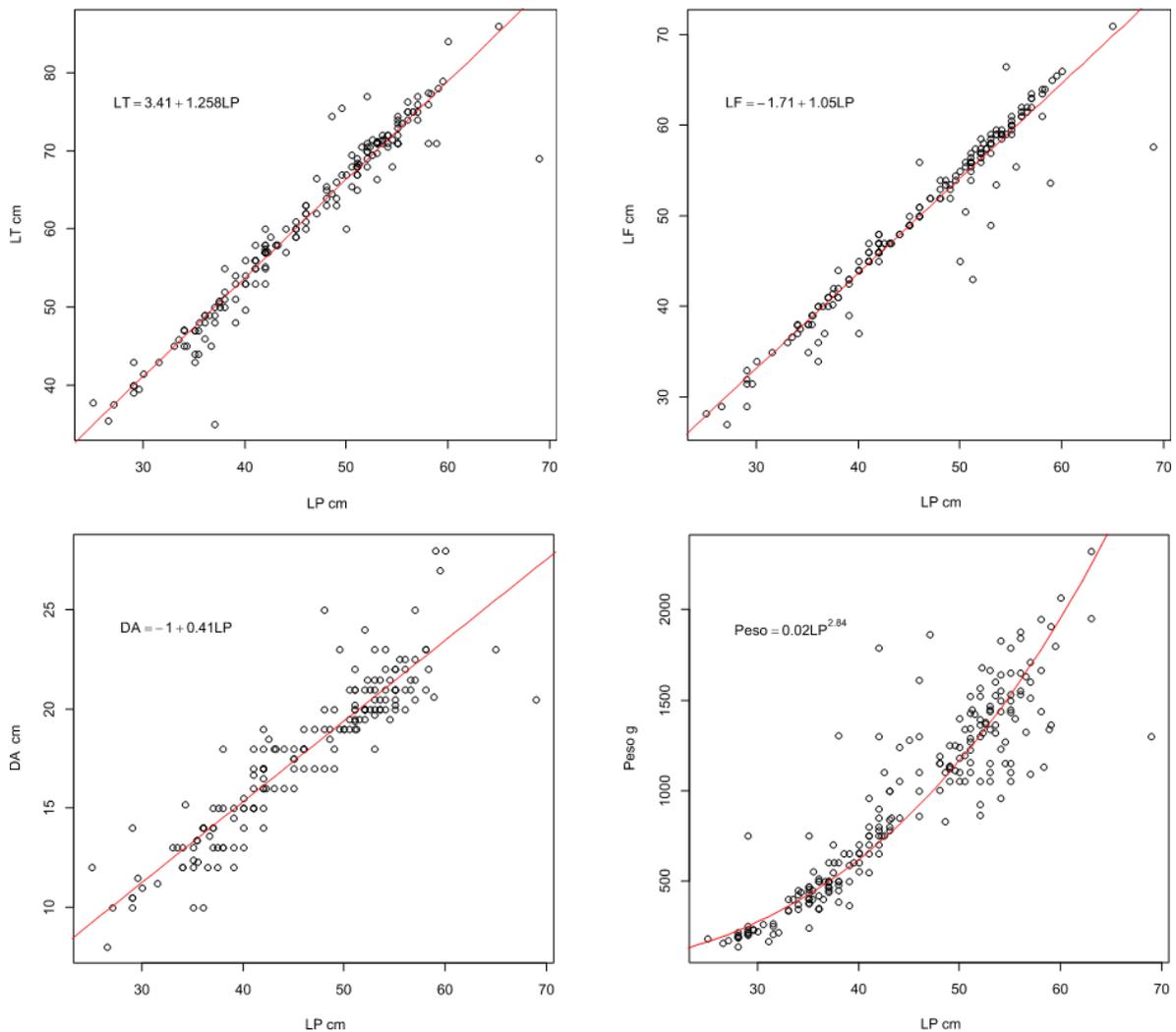


Figura 10. Regresiones lineales y exponencial entre la LP como variable independiente y LT, LF, DA y peso como variables independientes. La fórmula para la regresión lineal es $Y=a+bX$ y para la regresión exponencial es $Y=a \cdot X^b$.

Todas las variables dependientes (LT, LF, DA y Peso) tuvieron una correlación positiva con la variable independiente (LP).

Se obtuvieron los datos de las capturas del tiburón bironche clasificados por estadios de desarrollo de trabajos anteriores (Tabla 5), de los cuales se obtuvo el promedio de captura por área.

El análisis de Correspondencia Canónica (CCA por sus siglas en inglés) indica que la independencia entre las dos variables es $X^2= 444.39$, $p < 0.05$, cuya varianza explicada en los dos primeros ejes fue del 98.68% (Figura 11). El CCA indica que la BLP (Mejía-Salazar, 2007; Corro-Espinosa, 2011 y el presente estudio) es la zona en donde se encuentra una mayor proporción de juveniles y neonatos. En las localidades de El Choyudo-Santa Bárbara (Corro-Espinosa, 2011) junto con Mazatlán (Márquez-Farías *et al.*, 2005; López-García, 2006; Mejía-Salazar, 2007 Conde-Moreno, 2009; Corro-Espinosa, 2011; Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013; Osuna-Peralta *et al.*, 2014) son zonas con una mayor proporción de adultos. Mientras que Nayarit (Pérez-Jiménez *et al.*, 2005; López-García, 2006; Furlong-Estrada *et al.*, 2015) es una zona donde la proporción de subadultos es mayor. Por otro lado, el Golfo de Tehuantepec (Alderete-Macal, 2007; Mejía-Salazar, 2007; Conde-Moreno, 2009) y La Reforma-Yameto (Corro-Espinosa, 2011) son zonas donde es muy probable encontrar todos los estadios de desarrollo dentro de esas áreas (Figura 12).

Tabla 5. Porcentaje de captura del tiburón bironche. Los valores de captura (%) por los diferentes estadios de desarrollo se obtuvieron de trabajos anteriores.

Área	Neonatos	Juveniles	Subadultos	Adultos	Total	Fuente
Bahía de La Paz	24	209	4	0	237	Presente estudio
	5	0	0	0	5	Corro-Espinosa, 2011
	5	52	0	24	81	Mejía-Salazar, 2007
Total	44 (13.21%)	261 (78.33%)	4 (1.20%)	24 (7.21%)	333	
Choyudo – Santa Bárbara	0	0	1	62	63	Corro-Espinosa, 2011
Total	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1(1.59%)	62 (98.41%)	63	
La Reforma – Yameto	0	16	152	357	525	Corro-Espinosa, 2011
Total	0 (0.00%)	16 (3.05%)	152 (28.95%)	357 (68.00%)	525	
Mazatlán	0	125	0	125	250	Osuna-Peralta <i>et al.</i> , 2014
	0	38	0	60	98	Alatorre-Ramírez <i>et al.</i> , 2013
	15	65	61	251	392	Corro-Espinosa, 2011
	2	46	0	38	86	Conde-Moreno, 2009
	0	0	0	46	46	Mejía-Salazar, 2007
	0	48	0	28	76	López-García, 2006
	0	639	0	2953	3646	Márquez-Farías <i>et al.</i> , 2005
Total	17 (0.30%)	1015 (17.85%)	61 (1.07%)	4594 (80.78%)	5687	
Nayarit	0	154	19	141	314	Furlong-Estrada <i>et al.</i> , 2015
	0	43	0	44	87	López -García, 2006
	0	425	1275	632	2018	Pérez-Jiménez, 2005
Total	0 (0.00%)	622 (25.71%)	1294 (53.49%)	817 (33.77%)	2419	
Golfo de Tehuantepec	3	110	0	169	282	Conde-Moreno, 2009
	0	41	0	76	117	Alderete-Macal, 2007
	0	54	103	101	258	Mejía-Salazar, 2007
Total	3 (0.46%)	205 (31.20%)	103 (15.68%)	346 (52.66%)	657	

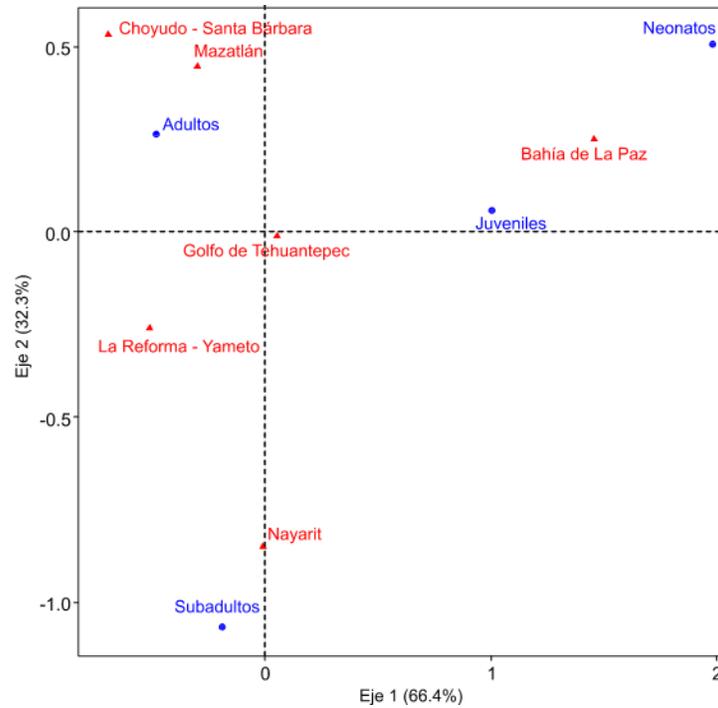


Figura 11. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). En rojo son las áreas de captura del tiburón bironche y en azul los diferentes estadios de desarrollo. Varianza acumulada explicada de 98.6.

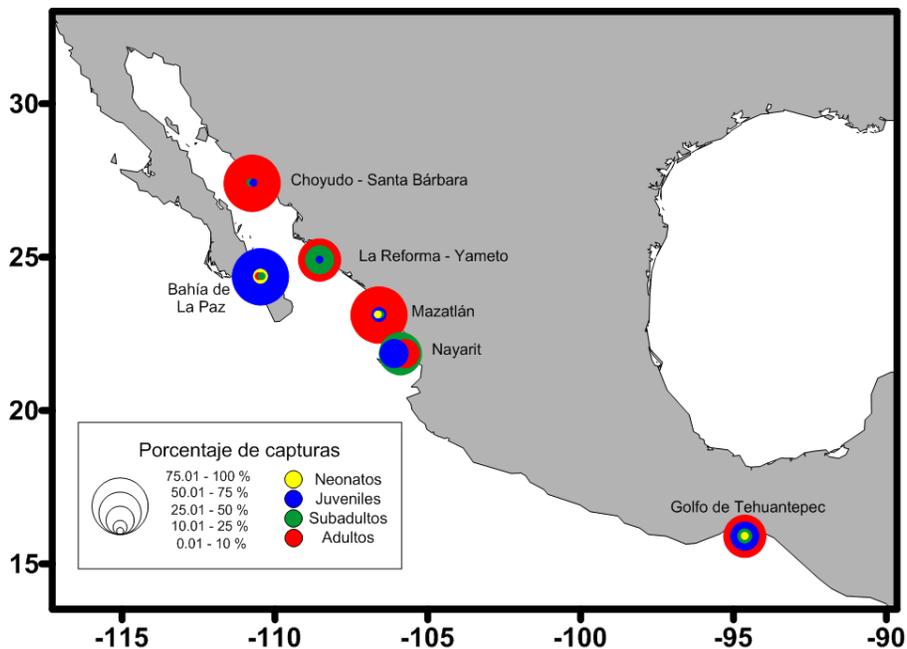


Figura 12. Mapa de distribución de los porcentajes de captura por estadio de desarrollo. Basado en las abundancias por categoría en el presente estudio y en trabajos anteriores

7.2. Factores ambientales

La temporada de nacimientos en la BLP se lleva a cabo durante los meses de mayo a agosto con el pico máximo en junio (Figura 13), mientras que, para la TSM, los meses más cálidos fueron de julio a octubre, agosto fue el mes con la TSM media más alta (31.5 °C) (Figura 15).

Por otro lado, en el área de captura la clorofila es muy fluctuante durante todo el año (Figura 16). El resultado de las correlaciones cruzadas indica que la temporada nacimientos tiene de uno a dos meses de desfase con el pico máximo de la TSM, en la cual es una correlación positiva. Por otro lado, no existe una correlación clara de la temporada de nacimientos con la clorofila (Tabla 6 & Figura 14).

Tabla 6. Correlaciones cruzadas. La temporada de nacimientos como variable de respuesta; la TSM y la clorofila como variables explicativas.

Meses	Correlación	
	TSM	Clorofila
-6	-0.372	-0.116
-5	-0.366	0.185
-4	-0.023	-0.185
-3	0.33	-0.315
-2	0.574*	-0.146
-1	0.659*	0.495
0	0.276	0.136
1	-0.076	-0.079
2	-0.437	0.27
3	-0.297	0.128
4	-0.18	0.034
5	-0.109	-0.09
6	-0.051	-0.106

* Meses desfasados con mayor correlación.

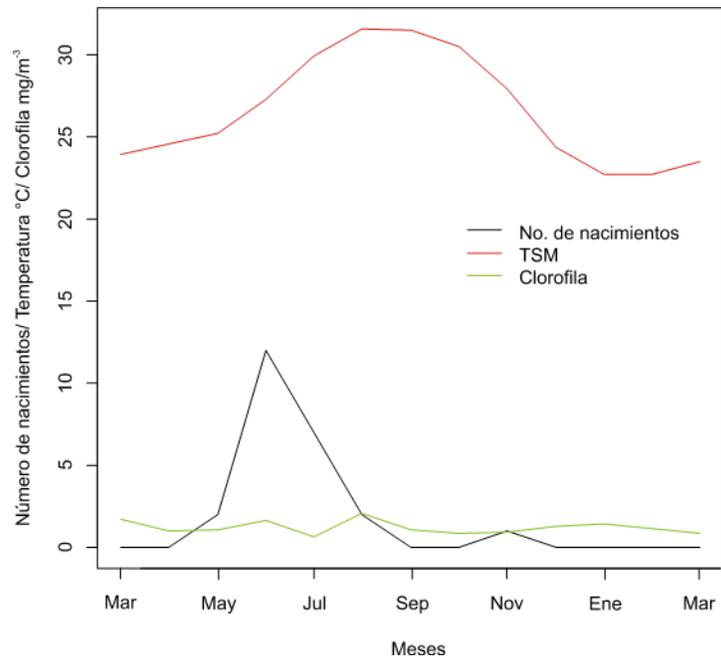


Figura 13. Temporada de nacimientos de tiburón bironche, junto con la TSM y la clorofila mensual en la temporada de marzo 2015 a marzo 2016 en la Bahía de La Paz.

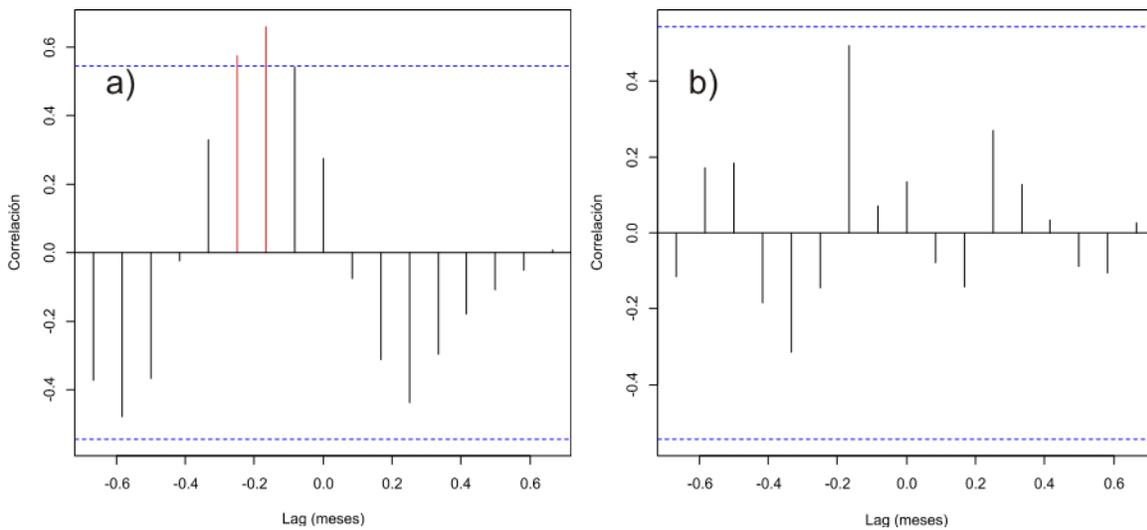


Figura 14. Correlaciones cruzadas. a) Correlación de la temporada de nacimientos con la TSM; b) Correlación de la temporada de nacimientos con la clorofila. Líneas en rojo indican los meses con mayor correlación.

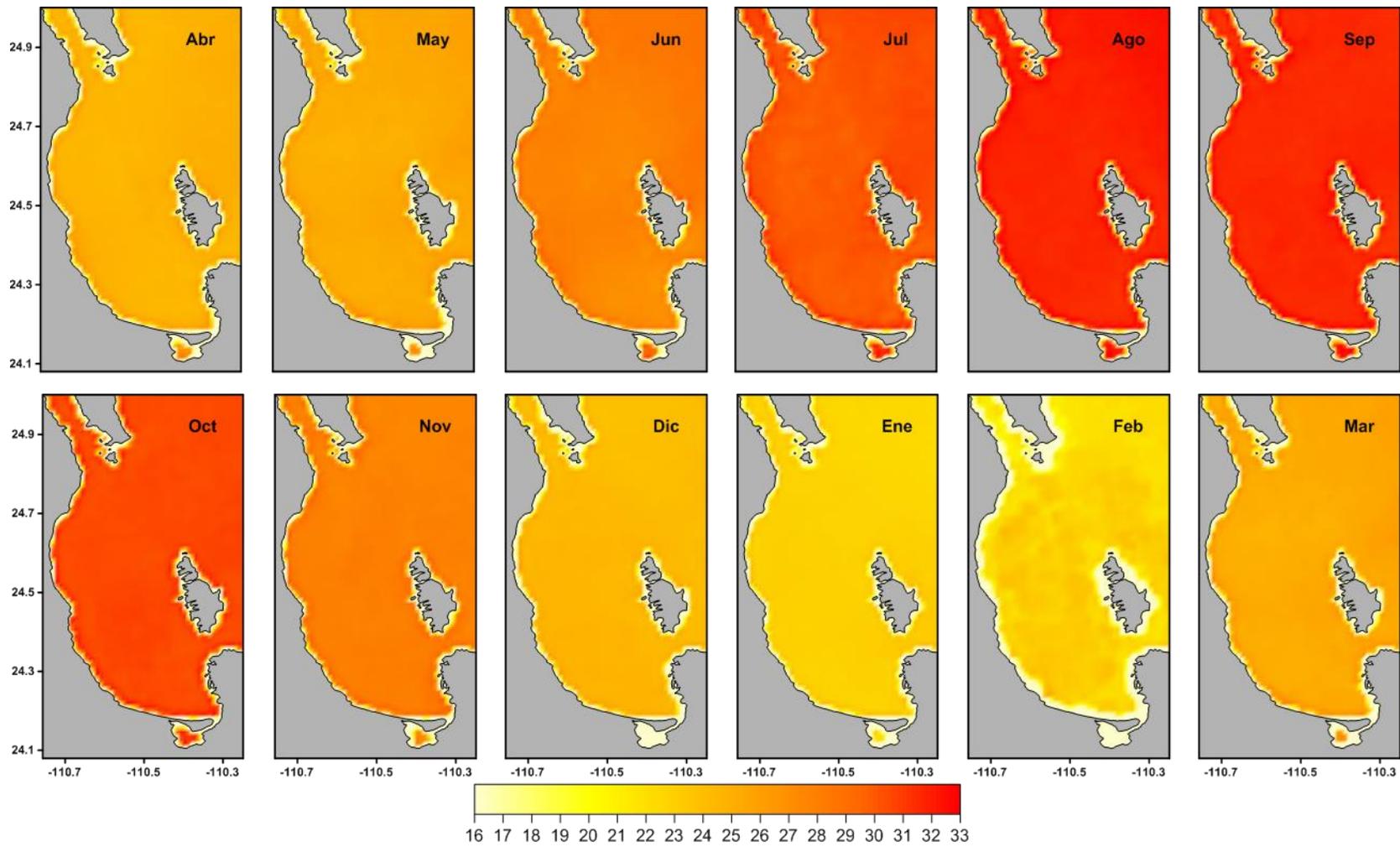


Figura 15. Temperatura superficial del mar (TSM) mensual en °C de abril 2015 a marzo 2016 (mapas elaborados por el autor con datos de la NOAA).

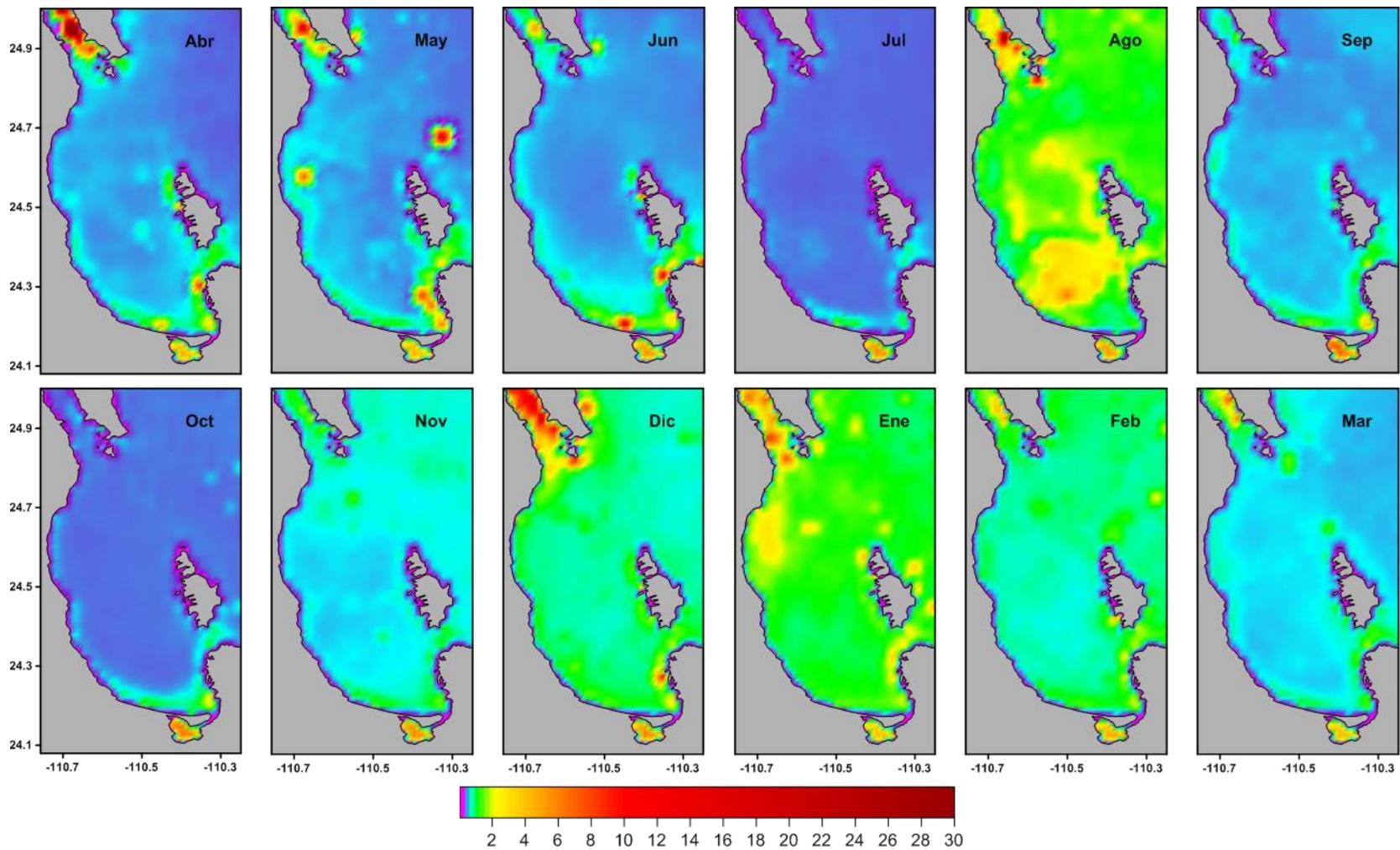


Figura 16. Clorofila mensual en mg/m-3 de abril 2015 a marzo 2016 (mapas elaborados por el autor con datos de la NOAA).

7.3. Hábitat trófico

De los 237 tiburones capturados en la BLP, se obtuvieron 173 muestras de tejido sanguíneo debido a diversos factores (e.g. condición de los organismos, obtención de poca o nula muestra, etc.). En la Tabla 7 se muestra la clasificación de los tiburones teniendo en cuenta la tasa de recambio del tejido sanguíneo de 87 días (Caut *et al.*, 2013) y no la longitud total.

Tabla 7. Número de muestras de tejido sanguíneo por categorías tomando en cuenta la tasa de recambio de 87 días (~3 meses).

Sexo	Estadio de desarrollo	Cálida	Fría	Total
Hembras	Neonatos	31	2	92
	Juveniles < 1 año	14	36	
	Adultos	2	7	
Machos	Neonatos	24	7	81
	Juveniles < 1 año	7	43	
	Adultos	0	0	
Total		78	95	173

Se obtuvieron los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del tejido sanguíneo en las diferentes categorías (Tabla 8). Una vez obtenidos los valores correspondientes, se analizó si existían diferencias significativas entre sexo, estadios de desarrollo y época del año con pruebas no paramétricas debido a que los datos no fueron normales (Tabla 9).

Tabla 8. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del tiburón bironche en tejido sanguíneo para las diferentes categorías. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).

Categoría		$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$
Sexo	Hembras	18.62 (\pm 1.00)	-14.63 (\pm 1.42)
	Machos	18.85 (\pm 1.07)	-14.90 (\pm 1.42)
Estadio	Neonatos	17.76 (\pm 0.95)	-13.98 (\pm 1.61)
	Juveniles < 1 año	18.98 (\pm 0.62)	-14.90 (\pm 0.72)
	Adultas preñadas	18.96 (\pm 1.95)	-16.42 (\pm 2.88)
Época	Cálida	17.83 (\pm 0.89)	-13.76 (\pm 1.47)
	Fría	19.01 (\pm 0.79)	-15.03 (\pm 1.10)
General		18.77 (\pm 1.04)	-14.78 (\pm 1.42)

Tabla 9. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre sexo, estadio de desarrollo y época del año.

Categoría	δ	p-valor
Sexo	$\delta^{15}\text{N}$	0.10
	$\delta^{13}\text{C}$	0.30
Estadio	$\delta^{15}\text{N}$	6.59e-13*
	$\delta^{13}\text{C}$	5.06e-06*
Época	$\delta^{15}\text{N}$	< 2.2e-16*
	$\delta^{13}\text{C}$	1.24e-13*

* Valores significativamente diferentes.

No se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos tanto para $\delta^{15}\text{N}$ como para $\delta^{13}\text{C}$ entre machos y hembras (Tabla 9 & Figura 17).

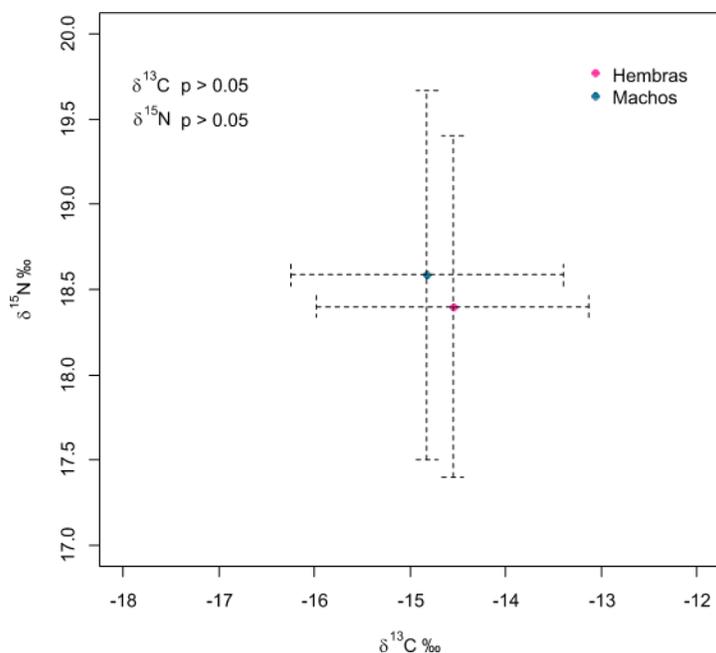


Figura 17. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por sexo. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.

Al realizar la comparación entre estadios de desarrollo se encontraron diferencias significativas tanto en $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (Tabla 9 & Figura 18).

La prueba de Dunn en $\delta^{15}\text{N}$ indica que la señal isotópica de los neonatos es diferente tanto con las adultas preñadas como con los juveniles < 1 año. Al comparar los juveniles < 1 año con los otros estadios, se observó que la señal isotópica en $\delta^{15}\text{N}$ es diferente a la de los neonatos, pero no se encontraron diferencias con las adultas preñadas (Tabla 10 & Figura 18).

Tabla 10. Comparación de los valores isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre estadios de desarrollo. Prueba *post hoc* de Dunn.

$\delta^{15}\text{N}$	Adultas preñadas	Juveniles < 1 año
Juveniles < 1 año	0.09	
Neonatos	0.01*	0.00*

*Valores significativamente diferentes.

Por otro lado, para el $\delta^{13}\text{C}$ se encontró que la señal isotópica de todos los estadios es diferente significativamente entre sí (Tabla 11).

Tabla 11. Comparación de los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ de tejido sanguíneo del tiburón bironche entre estadio de desarrollo. Prueba *post hoc* de Dunn.

$\delta^{13}\text{C}$	Adultas preñadas	Juveniles < 1 año
Juveniles < 1 año	0.03*	
Neonatos	0.00*	0.00*

* Valores significativamente diferentes.

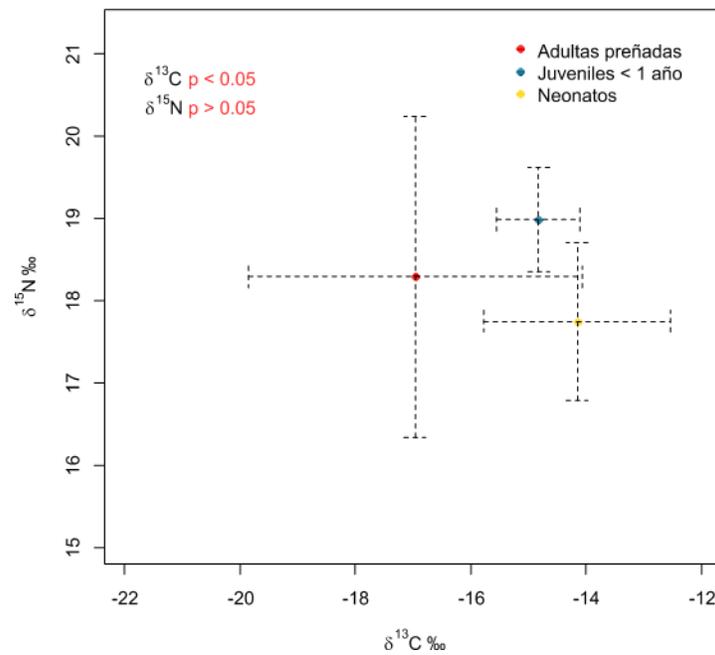


Figura 18. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por estadio de desarrollo. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.

Se encontraron diferencias significativas en las señales isotópicas tanto de $\delta^{15}\text{N}$ como de $\delta^{13}\text{C}$ entre época cálida y fría (Tabla 9 & Figura 19).

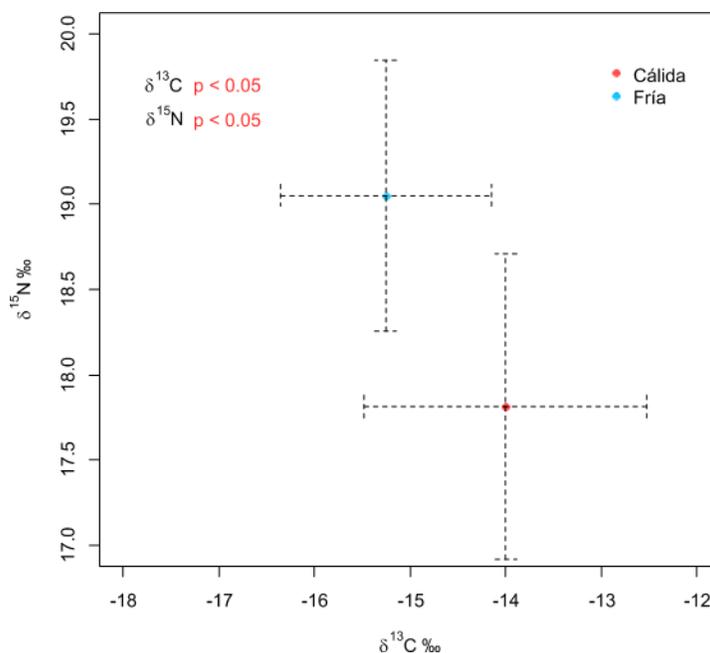


Figura 19. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche por época del año. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.

Para complementar la información obtenida en la comparación entre las categorías, se prosiguió a realizar pruebas de traslapeo trófico para conocer el grado de superposición de las dietas entre sexos, estadios de desarrollo y épocas del año.

El traslapeo trófico entre hembras y machos resultó ser muy alto, del 86% y 79% respectivamente (Tabla 12 & Figura 20).

Tabla 12. Traslapeo trófico entre sexos. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslapeo; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.

Sexo	SEA	SEAc	TA	Traslapeo	Porcentaje de traslapeo
Hembras	4.41	4.46	22.55	3.87	86.77 %
Machos	4.81	4.87	31.98		79.46 %

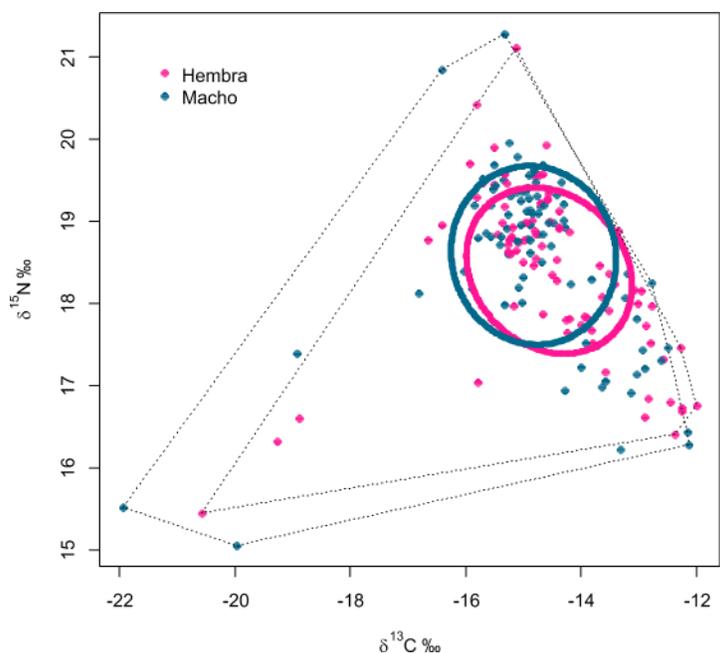


Figura 20. Traslado trófico entre sexos. La línea sólida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.

Los resultados del traslado trófico entre estadios fueron cambiando dependiendo con que se comparaban (Tabla 13 & Figura 21). En la Figura 21 se observa que cada estadio tiene el área de la elipse diferente, por lo que el porcentaje del traslado trófico será diferente dependiendo de la categoría analizada. Para el caso de neonatos contra juveniles < 1 año el traslado en ambos casos fue bajo con 5% y 20% respectivamente, mientras que para los juveniles contra las adultas preñadas el traslado fue mayor 84% y 7% respectivamente. Por último, cuando se compararon las adultas preñadas contra los neonatos se encontró el menor de los traslados con 4% y 12% respectivamente.

Tabla 13. Traslado trófico entre estadios de desarrollo. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslado; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.

Comparación	SEA	SEAc	TA	Traslado	Porcentaje de traslado
Neonatos / Juveniles < 1 año	4.80	4.88	19.22	0.26	5.43 %
Juveniles < 1 año / Adultas preñadas	1.27	1.28	9.21	1.09	84.88 %
Adultas preñadas / Neonatos	12.25	14.00	19.85	0.63	4.51 %
Adultas preñadas / Neonatos	12.25	14.00	19.85	0.63	12.93 %

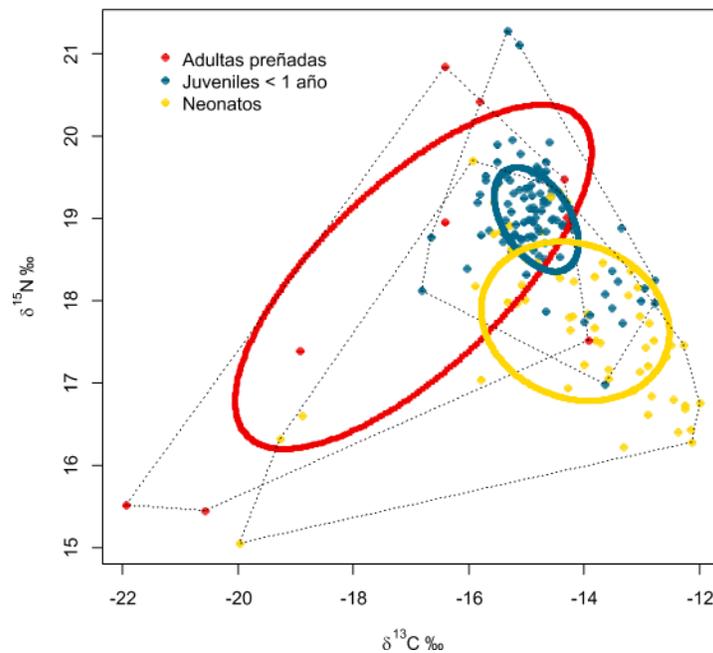


Figura 21. Traslado trófico entre estadios de desarrollo. La línea sólida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.

El traslado trófico resultó ser prácticamente nulo entre la época cálida y fría 0.22% y 0.00% respectivamente (Tabla 14 & Figura 22).

Tabla 14. Traslado trófico entre épocas del año. SEA; tamaño de la elipse sin el ajuste. SEAc; tamaño de la elipse ajustada. TA; área del polígono. Traslado; valor de superposición de las elipses entre categorías, en neto y en porcentaje.

Época	SEA	SEAc	TA	Traslado	Porcentaje de traslato
Cálida	4.51	4.21	20.55	0.00	0.22 %
Fría	2.31	2.34	19.82		0.00 %

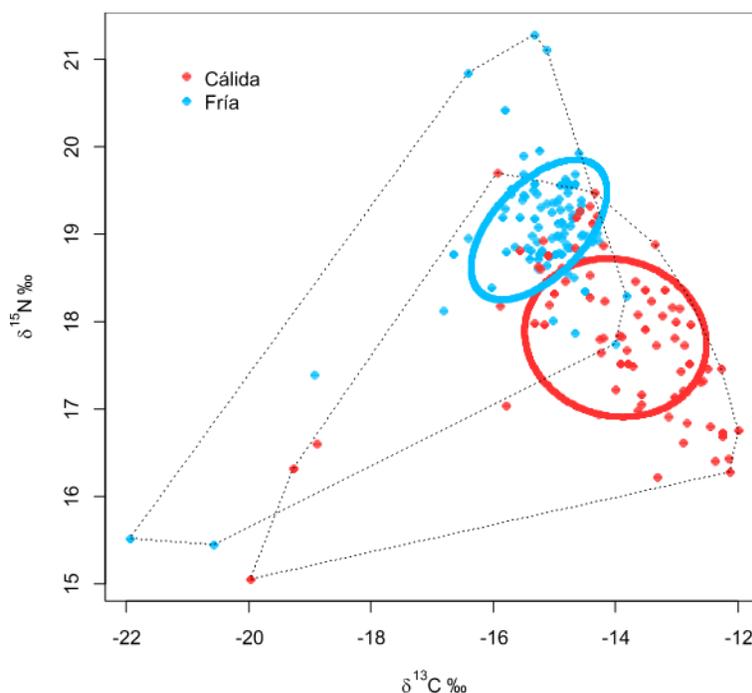


Figura 22. Traslado trófico entre épocas del año. La línea sólida corresponde a la elipse calculada mediante estadística bayesiana. La línea punteada es un polígono creado con los datos.

Se obtuvieron los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de 21 arrastres de zooplancton que se realizaron durante todo el año (Tabla 15). No se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ ni de $\delta^{13}\text{C}$ entre la temporada cálida y fría (Tabla 16 & Figura 23).

Tabla 15. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en la Bahía de La Paz. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).

Época	$\delta^{15}\text{N} \text{‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$
Cálida	12.88 (\pm 2.21)	-18.45 (\pm 1.36)
Fría	13.27 (\pm 1.15)	-19.64 (\pm 0.60)
General	12.98 (\pm 1.98)	-18.75 (\pm 1.31)

Tabla 16. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de zooplancton entre la época cálida y fría en la Bahía de La Paz.

Categoría	δ	p-valor
Época	$\delta^{15}\text{N}$	0.9304
	$\delta^{13}\text{C}$	0.0983

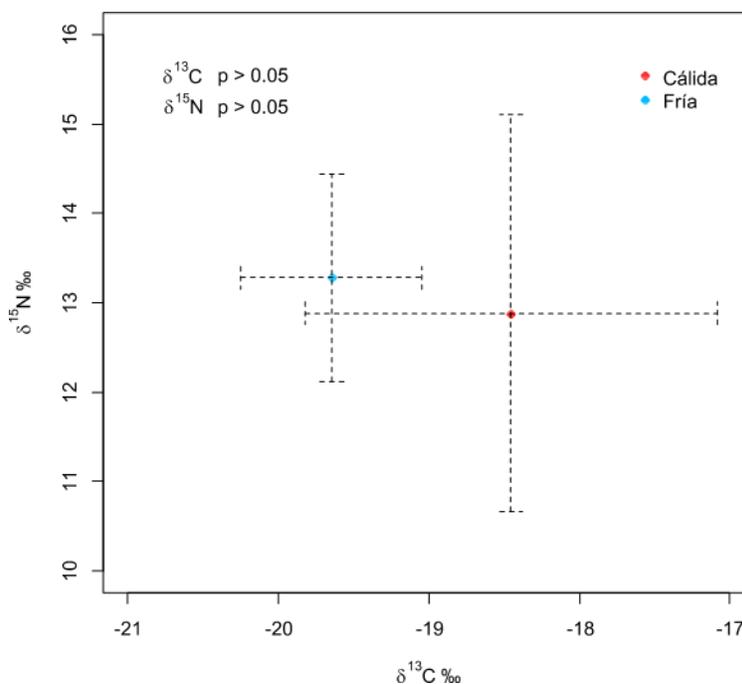


Figura 23. Gráfica de dispersión de valores isotópicos de zooplancton en la Bahía de La Paz. El punto es el valor isotópico medio. La línea punteada corresponde a la desviación estándar.

Se obtuvo la posición trófica entre las diferentes categorías (Tabla 17) usando el valor medio del zooplancton $\delta^{15}\text{N}$ 12.98 ‰ ya que no se encontraron diferencias significativas entre la época cálida y fría.

Tabla 17. Posición trófica en las diferentes categorías. PT; valores medios de la posición trófica (\pm desviación estándar).

Categoría		PT
Sexo	Hembras	4.35 (\pm 0.46)
	Machos	4.44 (\pm 0.44)
	Neonatos	4.30 (\pm 0.42)
Estadio	Juveniles < 1 año	4.61 (\pm 0.27)
	Hembras preñadas	4.71 (\pm 0.85)
Época	Cálida	4.10 (\pm 0.39)
	Fría	4.64 (\pm 0.35)
General		4.40 (\pm 0.45)

Se realizaron pruebas no paramétricas para determinar si existen diferencias en las posiciones tróficas entre sexos, estadios de desarrollo y época del año. No se encontraron diferencias significativas de las posiciones tróficas entre sexos, pero sí entre estadios de desarrollo y épocas del año (Tabla 18). Se realizó una prueba *post hoc* de Dunn para conocer cuales estadios de desarrollo diferían entre sí. Se encontró que la posición trófica entre juveniles < 1 año y las adultas preñadas no son diferentes estadísticamente. Por otro lado, la posición trófica de los neonatos fue diferentes estadísticamente con respecto a las adultas preñadas y a los juveniles <1 año (Tabla 19).

Tabla 18. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche entre sexo, estadio de desarrollo y época del año.

Categoría	p-valor
Sexo	0.1065
Estadio	6.59e-13*
Época	< 2.2e-16*

* Valores significativamente diferentes.

Tabla 19. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche entre estadios de desarrollo. Prueba *post hoc* de Dunn.

Categoría	Adultas preñadas	Juveniles < 1año
Juveniles < 1 año	0.09	
Neonatos	0.01*	0.00*

* Valores significativamente diferentes.

Se realizaron modelos de mezcla con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las presas potenciales (Tabla 20) para cada categoría.

Tabla 20. Valores isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las presas del tiburón bironche. Los valores están representados en medias (\pm desviación estándar).

Presas	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Fuente
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	15.85 (\pm 2.35)	-13.93 (\pm 1.36)	Presente estudio
<i>Mugil</i> sp.	16.00 (\pm 0.40)	-16.10 (\pm 0.20)	Presente estudio
<i>Eucinostomus</i> sp.	14.12 (\pm 2.42)	-13.65 (\pm 1.79)	Presente estudio
<i>Opisthonema</i> sp.	14.88 (\pm 0.39)	-17.06 (\pm 0.31)	Presente estudio
<i>Scomber japonicus</i>	17.30 (\pm 0.40)	-16.90 (\pm 0.60)	Ochoa-Díaz, 2009
<i>Dosidicus gigas</i>	13.50 (\pm 0.80)	-16.70 (\pm 1.00)	Ochoa-Díaz, 2009
<i>Argonauta</i> sp.	9.00 (\pm 0.80)	-18.50 (\pm 0.20)	Méndez-DaSilveira, 2015
<i>Pleuroncodes planipes</i>	14.80 (\pm 1.30)	-17.40 (\pm 0.80)	Polo-Silva <i>et al.</i> , 2012
<i>Arenaetus mexicanus</i>	10.40 (\pm 0.17)	-13.11 (\pm 0.37)	Presente estudio

Se realizaron los modelos de mezcla para cada categoría con el objetivo de conocer las proporciones de los valores isotópicos en el tiburón bironche provenientes de cada especie presa potencial. Las proporciones de las principales presas en la dieta general del tiburón bironche fueron; *S. japonicus* (0.61), *P. planipes* (0.17) y *Opisthonema* sp. (0.09) (Tabla 21 & Figura 24). En los demás modelos las proporciones variaron entre algunas categorías.

Entre hembras y machos las principales especies presa fueron las mismas con proporciones similares (Tabla 21); *S. japonicus* (0.55, 0.61), *P. planipes* (0.15, 0.15) y *Opisthonema* sp. (0.10, 0.09) respectivamente (Figura 25 & Figura 26). En la comparación entre estadios de desarrollo variaron poco el lugar de importancia de cada especie presa, pero si variaron sus proporciones (Tabla 21). En el caso de los neonatos, las presas fueron *S. japonicus* (0.31), *P. planipes* y *Mugil* sp. con la misma proporción (0.15) (Figura 27). Para los juveniles < 1 año, las presas fueron *S. japonicus* (0.78), *P. planipes* (0.10) y *Opisthonema* sp. (0.05) (Figura 28). En el caso de las adultas preñadas las proporciones fueron más equitativas: *S. japonicus* (0.16), *P. planipes*, *Mugil* sp. y *Opisthonema* sp. con la misma proporción (0.13) (Figura 29). También se realizaron los modelos de mezcla para las dos estaciones

del año, lo cual mostró que las proporciones de las especies presa difirieron (Tabla 21). En la época cálida las proporciones fueron *S. japonicus* (0.33), *Mugil* sp. (0.13) y *P. planipes* (0.14) (Figura 30), y para la época fría fueron *S. japonicus* (0.78), *P. planipes* (0.08) y *Opisthonema* sp. (0.05) (Figura 31).

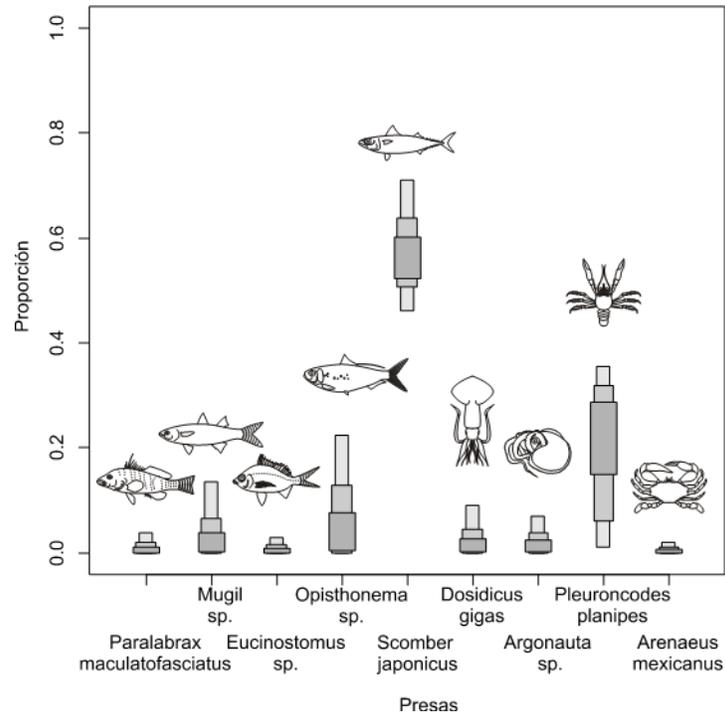


Figura 24. Modelo de mezcla de las presas potenciales del tiburón bironche.

Tabla 21. Proporciones de las especies presa en los modelos de mezcla en las diferentes categorías. Los valores están representados en media.

Presas	General	Sexo		Neonatos	Estadio		Época	
		Hembras	Machos		Juveniles < 1 año	Adultas preñadas	Cálida	Fría
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.11	0.07	0.01
<i>Mugil sp.</i>	0.04	0.08	0.05	0.15*	0.02	0.13*	0.16*	0.03
<i>Eucinostomus sp.</i>	0.01	0.02	0.01	0.04	0.00	0.09	0.05	0.01
<i>Opisthonema sp.</i>	0.09*	0.10*	0.09*	0.14	0.05*	0.13*	0.13	0.05*
<i>Scomber japonicus</i>	0.61*	0.55*	0.61*	0.31*	0.78*	0.16*	0.33*	0.78*
<i>Dosidicus gigas</i>	0.03	0.04	0.03	0.08	0.01	0.11	0.07	0.02
<i>Argonauta sp.</i>	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.08	0.03	0.02
<i>Pleuroncodes planipes</i>	0.17*	0.15*	0.15*	0.15*	0.10*	0.13*	0.14*	0.08*
<i>Arenaeus mexicanus</i>	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00

* Tres principales presas con mayor proporción en la dieta de cada categoría.

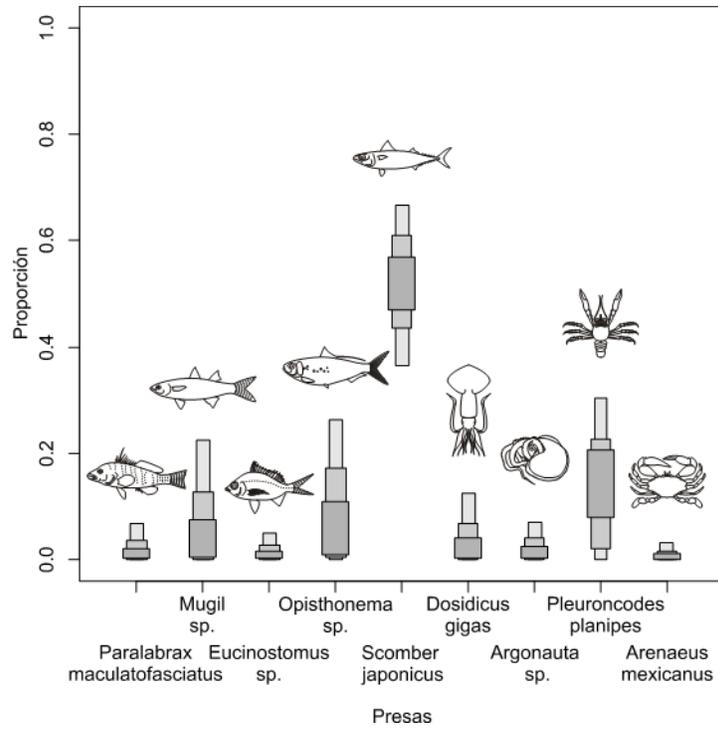


Figura 25. Modelo de mezcla de hembras.

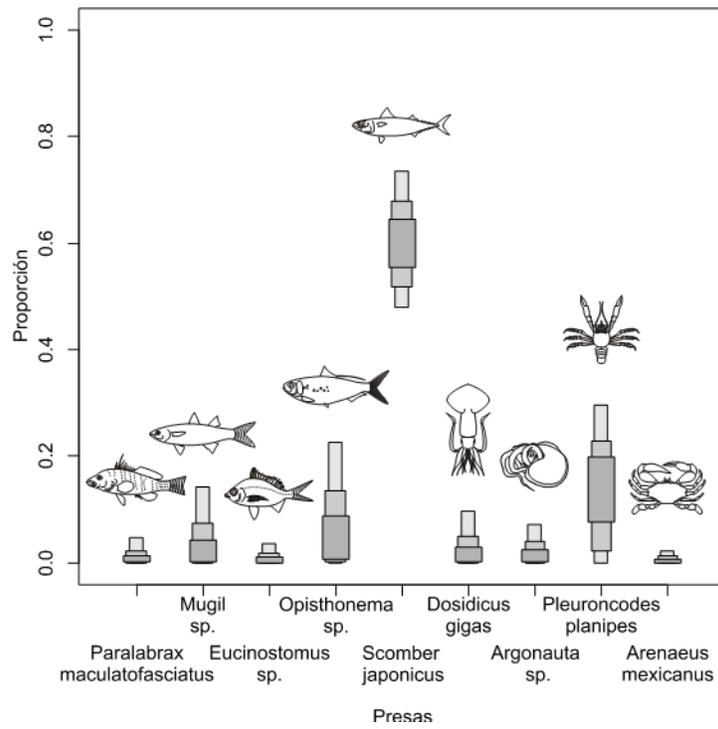


Figura 26. Modelo de mezcla de machos.

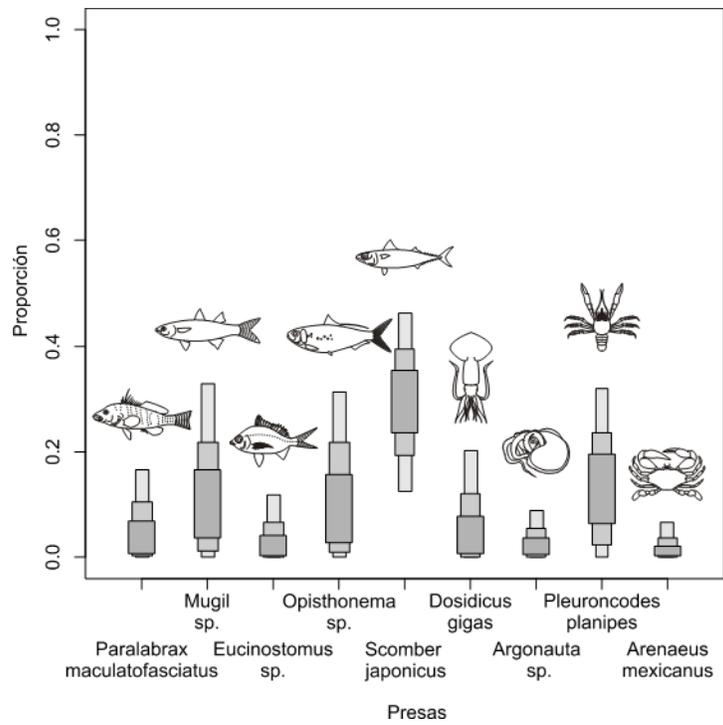


Figura 27. Modelo de mezcla de los neonatos.

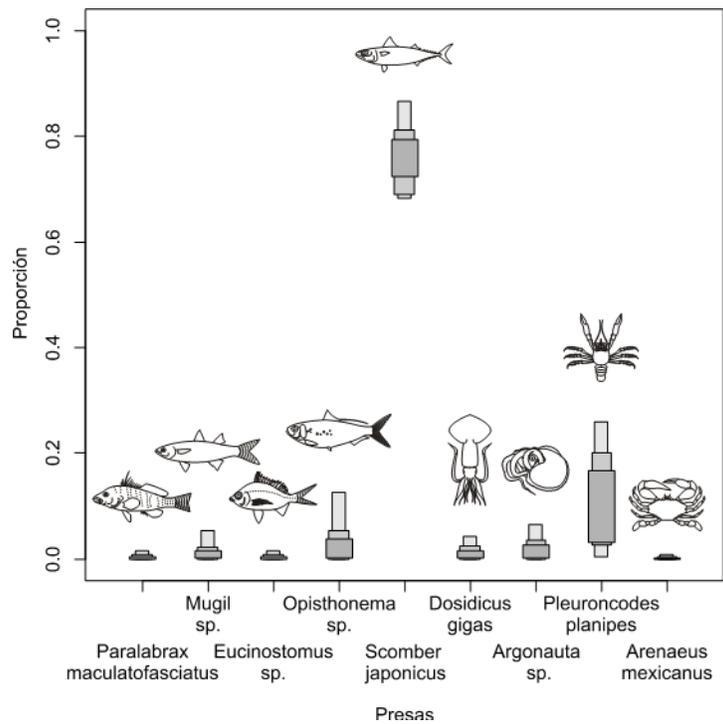


Figura 28. Modelo de mezcla de los juveniles < 1 año.

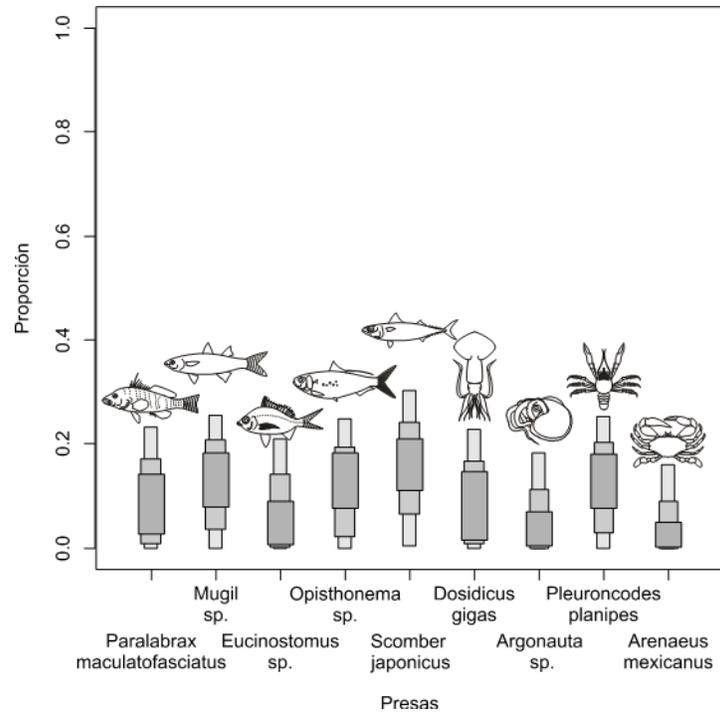


Figura 29. Modelo de mezcla de las adultas preñadas.

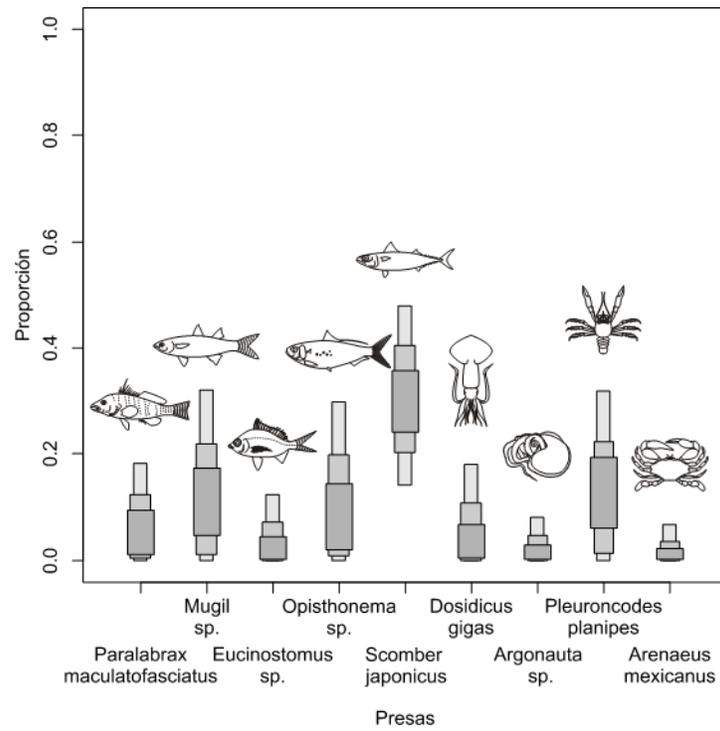


Figura 30. Modelo de mezcla de época cálida.

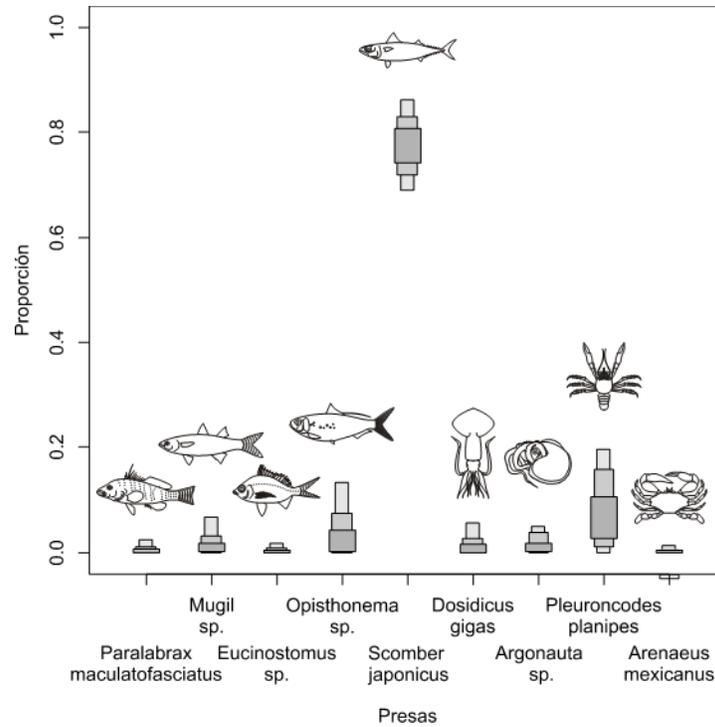


Figura 31. Modelo de mezcla de época fría.

Al final se obtuvieron las varianzas de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ para las diferentes categorías, las cuales mostraron que valores superiores a 1 fueron de hábitos generalistas y valores inferiores a 1 fueron de hábitos especialistas (Jaeger *et al.*, 2009) (Tabla 22).

Tabla 22. Amplitud trófica. Varianza de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en tejido sanguíneo del tiburón bironche. Valores < 1 son de hábitos especialistas, valores > 1 son de hábitos generalistas.

	Categoría	Varianza $\delta^{15}\text{N}$
Sexo	Hembras	1.14
	Machos	1.03
	Neonato	0.92
Estadio	Juveniles < 1 año	0.39
	Adultas preñadas	3.82
Época	Cálida	0.81
	Fría	0.63
	General	1.09

7.4. Patrones de movimiento

Se realizó un seguimiento activo el 14 de junio del 2016 durante 72 horas a una hembra de 76 cm LT con una edad estimada de ~10 meses (296 días). Para reducir la autocorrelación temporal y espacial de las posiciones producto del seguimiento activo, donde el GPS está en la embarcación y no en el animal, se eligió un intervalo óptimo de 9 min entre una posición y otra. Para la determinación del intervalo se graficó la orientación angular contra diferentes intervalos en tiempo para un segmento del seguimiento no-direccional y otro direccional (ver [Klimley et al., 2005](#)). En el gráfico del segmento direccional se pudo observar una asíntota a los 9 minutos. Por lo tanto, se utilizó este intervalo óptimo de para el seguimiento completo (Figura 32).

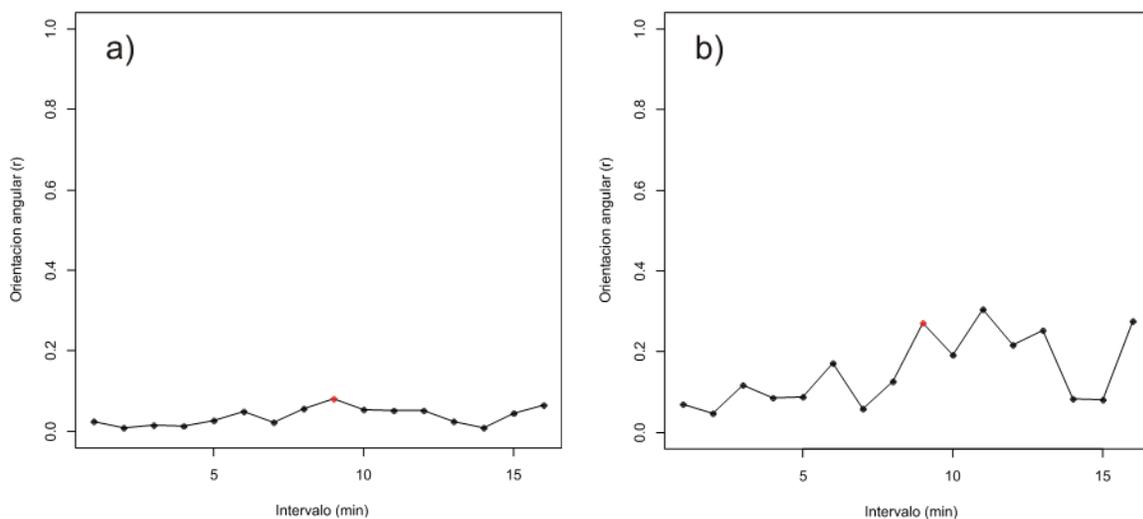


Figura 32. Grafica de dispersión del coeficiente de Rayleigh (r) muestra. a) Coeficiente de Rayleigh para todo el trayecto. b) Coeficiente de Rayleigh para el trayecto visualmente más direccional. El punto de rojo cae en el intervalo de 9 min que fue elegido como el intervalo óptimo.

El coeficiente de *Rayleigh* o la longitud media del vector (r) muestra que este ejemplar tuvo un movimiento no direccional o aleatorio ($r = 0.0819$, p valor = 0.061) (Figura 33).

La distancia total que realizó este tiburón durante las 72 h fueron 98.24 km desplazándose entre la isobata de los 10 a los 30 m (Figura 34). La prueba de U de Mann Whitney indica que durante el día se desplaza a mayores distancias que durante la noche ($W = 16826$, p valor = 0.02345), teniendo una velocidad constante de 0.41 m/s durante todo el día ($W = 19878$, p valor = 0.6915). Por otro lado, presentó el mismo patrón de movimiento aleatorio durante día y la noche ($W = 8$, p valor = 0.6286) (Tabla 23).

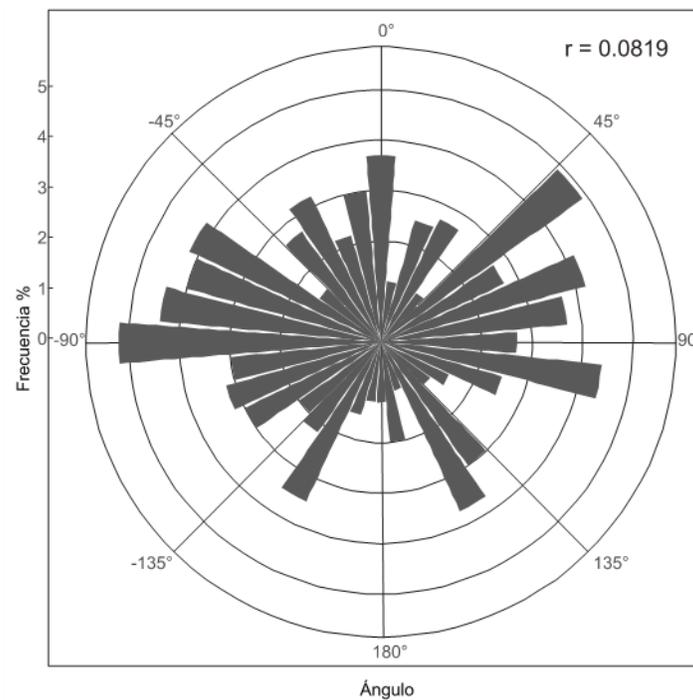


Figura 33. Coeficiente de Rayleigh (r) por 72 horas de una hembra.

Tabla 23. Valores por trayectoria de una hembra. Coeficiente de Rayleigh (r), velocidad, y distancia por cada ciclo circadiano.

r	Ciclo circadiano	p-valor	Distancia km	Velocidad m/s
0.2619	Día	0.09	7.96	0.42
0.0693	Noche	0.7497	16.51	0.43
0.1902	Día	0.0514	19.56	0.42
0.1017	Noche	0.6239	10.94	0.39
0.0538	Día	0.7932	15.80	0.34
0.0423	Noche	0.9203	15.18	0.55
0.0428	Día	0.9123	11.09	0.41

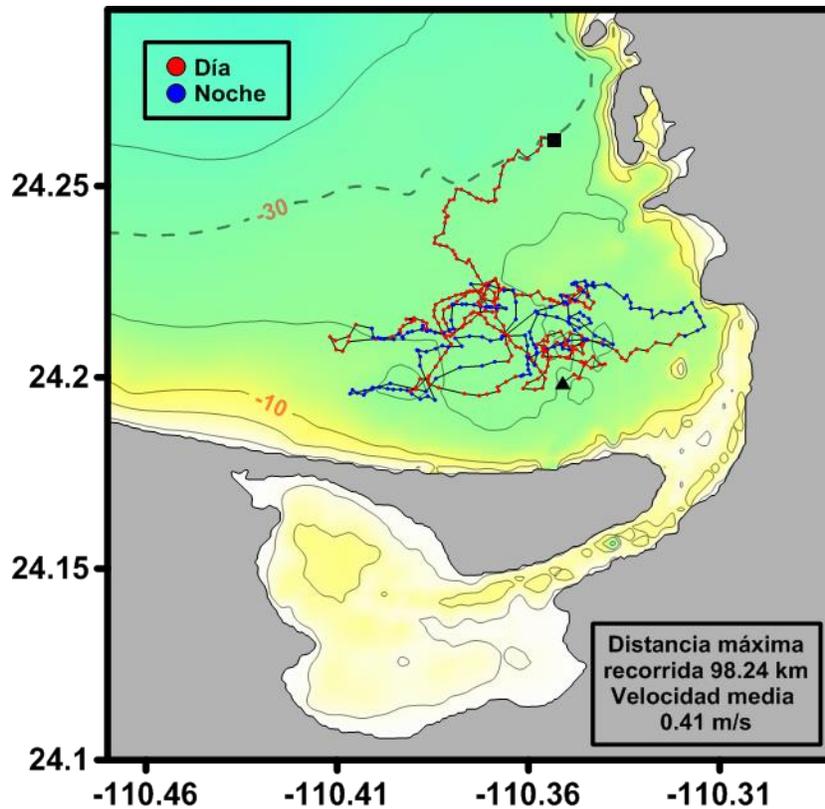


Figura 34. Seguimiento por 72 horas de una hembra de tiburón bironche. En rojo está la trayectoria que realizó durante el día y en azul la trayectoria durante la noche. El triángulo indica el inicio del seguimiento, mientras que el cuadrado indica el fin.

Los movimientos verticales se graficaron utilizando intervalos a cada minuto mostrando que el tiburón realizó desplazamientos hasta los 25 m, pero permaneció la mayor parte del tiempo a una profundidad media de 4.65 m de profundidad.

Mediante la prueba de U de Mann Whitney se observó que durante el día el tiburón se encontraba más profundo que durante la noche ($W = 769910$, p valor $< 2.2e-16$) (Figura 35).

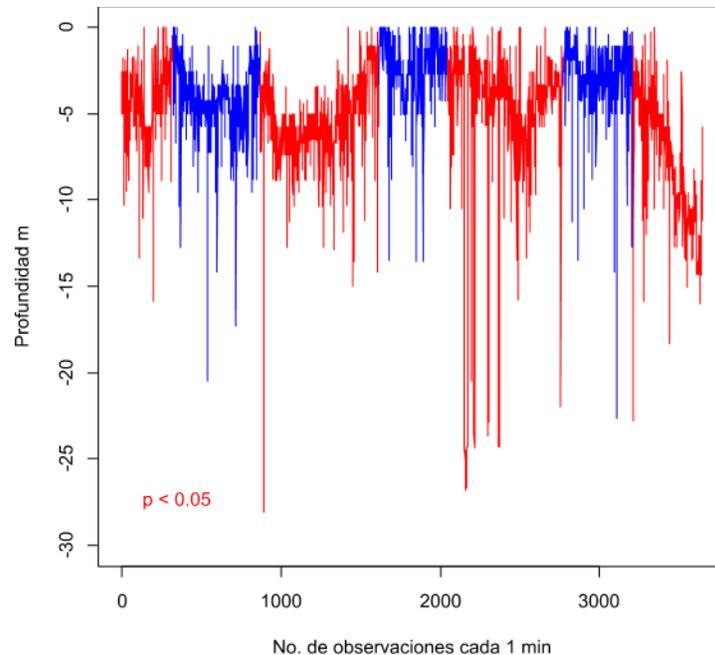


Figura 35. Perfil vertical de una hembra de tiburón bironche. En línea roja se muestran las profundidades durante el día. En línea azul se muestran las profundidades durante la noche.

Los movimientos a mediana escala espacial y temporal se determinaron mediante captura-recaptura. De los 230 tiburones que se les colocaron las marcas plásticas conocidas como “*espagueti*” se recapturaron 8 teniendo un éxito de recaptura del 3.47 % (Tabla 24). Todas las recapturas fueron dentro de la BLP, esto se logró gracias a la ayuda de los pescadores de la zona, quienes reportaron las recapturas (el 100% de estas fueron realizadas por ellos).

El individuo con el código 009, fue un macho con una LT de 56 cm y con una edad de 119 días (~4 meses), el cual fue el más pequeño de todos los tiburones recapturados. La recaptura se realizó cerca de Pemex a 6.7 km de distancia del lugar de su liberación, duró 80 días (~2.5 meses) en libertad (Figura 36).

El individuo con el código 017, fue un macho con una LT de 63 cm y con una edad de 161 días (~5 meses). Este tiburón fue el único que se pudo medir y pesar, ya que

el pescador nos entregó la información y el cuerpo del tiburón. Este creció de 63-65 cm LT y aumentó de 960 a 1,049 g durante 80 días (~2.5 meses) antes de su recaptura. Fue capturado cerca de la playa La Concha a 4.4 km de distancia del lugar de su liberación (Figura 36).

El individuo con el código 022, fue un macho con una LT de 60 cm y con una edad de 142 días (~4.5 meses). La recaptura se realizó en la parte sur del El Mogote en frente al campo pesquero El Manglito a 5.8 km de distancia del lugar de su liberación, duró 132 días (~4 meses) en libertad (Figura 36).

El individuo con el código 049, fue un macho con una LT de 70 cm y con una edad de 211 días (~7 meses). La recaptura se realizó en la parte sur de El Mogote, en frente al campo pesquero El Manglito, a 3.6 km de distancia del lugar de su liberación. Este tiburón fue el que se desplazó menos, con un tiempo en libertad de 53 días (~2 meses) (Figura 36).

El individuo con el código 050, fue un macho con una LT de 69 cm y con una edad de 203 días (~6.5 meses). La recaptura se realizó al este de la isla Espíritu Santo, a una profundidad de 90 m. Se desplazó 31.8 km del lugar de su liberación, este tiburón fue el que duró más tiempo en libertad con 565 días (~1.5 años) (Figura 37).

El individuo con el código 078, fue una hembra con una LT de 68 cm y con una edad de 217 días (~7 meses). La recaptura se realizó en la parte sur de El Mogote, en frente al campo pesquero El Manglito a 5.4 km de distancia del lugar de su liberación, duró 61 días (~2 meses) en libertad (Figura 37).

El individuo con el código 096, fue una hembra con una LT de 79 cm y con una edad de 329 días (~10.5 meses). La recaptura se realizó en la parte sur de El Mogote, en frente al campo pesquero El Manglito a 4.3 km de distancia del lugar de su liberación, duró 59 días (~2 meses) en libertad (Figura 37).

El individuo con el código 357, fue una hembra con una LT de 76 cm y con una edad de 296 días (~9.5 meses). La recaptura se realizó hacia el Bajo del Charro, aproximadamente a 4 km de la Isla La Partida a 44.4 km de distancia del lugar de su liberación, a una profundidad de 90 m, duró 193 días (~6 meses) en libertad. Este

tiburón fue el que se movió más lejos y también cabe aclarar que fue tiburón al que se le realizó el seguimiento por 72 horas (Figura 37).

Tabla 24. Captura-recaptura. El código corresponde a la marca de espagueti colocada en el tiburón. Los días en libertad fueron calculados mediante la diferencia de días entre la fecha de captura-liberación y la recaptura. La edad de la recaptura fue calculada mediante la suma de días de libertad a la edad de la captura.

Código	Situación	Fecha	Latitud	Longitud	Sexo	LT cm	Peso g	Edad (días)	Días en libertad	Distancia km	Figura 36 & 37
009	Captura	31-mar-15	24.2039	-110.3781	Macho	56	840	119	80	6.7	a
	Recaptura	19-jun-15	24.2429	-110.3286		-	-	199			
017	Captura	01-abr-15	24.2281	-110.3399	Macho	63	960	161	80	4.4	b
	Recaptura	20-jun-15	24.2090	-110.3019		65.5	1049	241			
022	Captura	10-abr-15	24.2030	-110.3674	Macho	60	780	142	132	5.8	c
	Recaptura	20-ago-15	24.1645	-110.3283		-	-	274			
049	Captura	28-jun-15	24.1922	-110.3460	Macho	70	1050	211	53	3.6	d
	Recaptura	20-ago-15	24.1645	-110.3283		-	-	264			
050	Captura	28-jun-15	24.1922	-110.3460	Macho	69	1300	203	565	31.8	e
	Recaptura	13-ene-17	24.5511	-110.3332		-	-	768			
078	Captura	13-jul-15	24.2051	-110.3495	Hembra	68	1226	217	61	5.4	f
	Recaptura	12-sep-15	24.1575	-110.3392		-	-	278			
096	Captura	15-jul-15	24.1954	-110.3487	Hembra	79	1800	329	59	4.3	g
	Recaptura	12-sep-15	24.1575	-110.3392		-	-	388			
357	Captura	14-jun-16	24.1986	-110.3511	Hembra	76	-	296	193	44.4	h
	Recaptura	24-dic-16	24.59695	-110.3643		-	-	489			

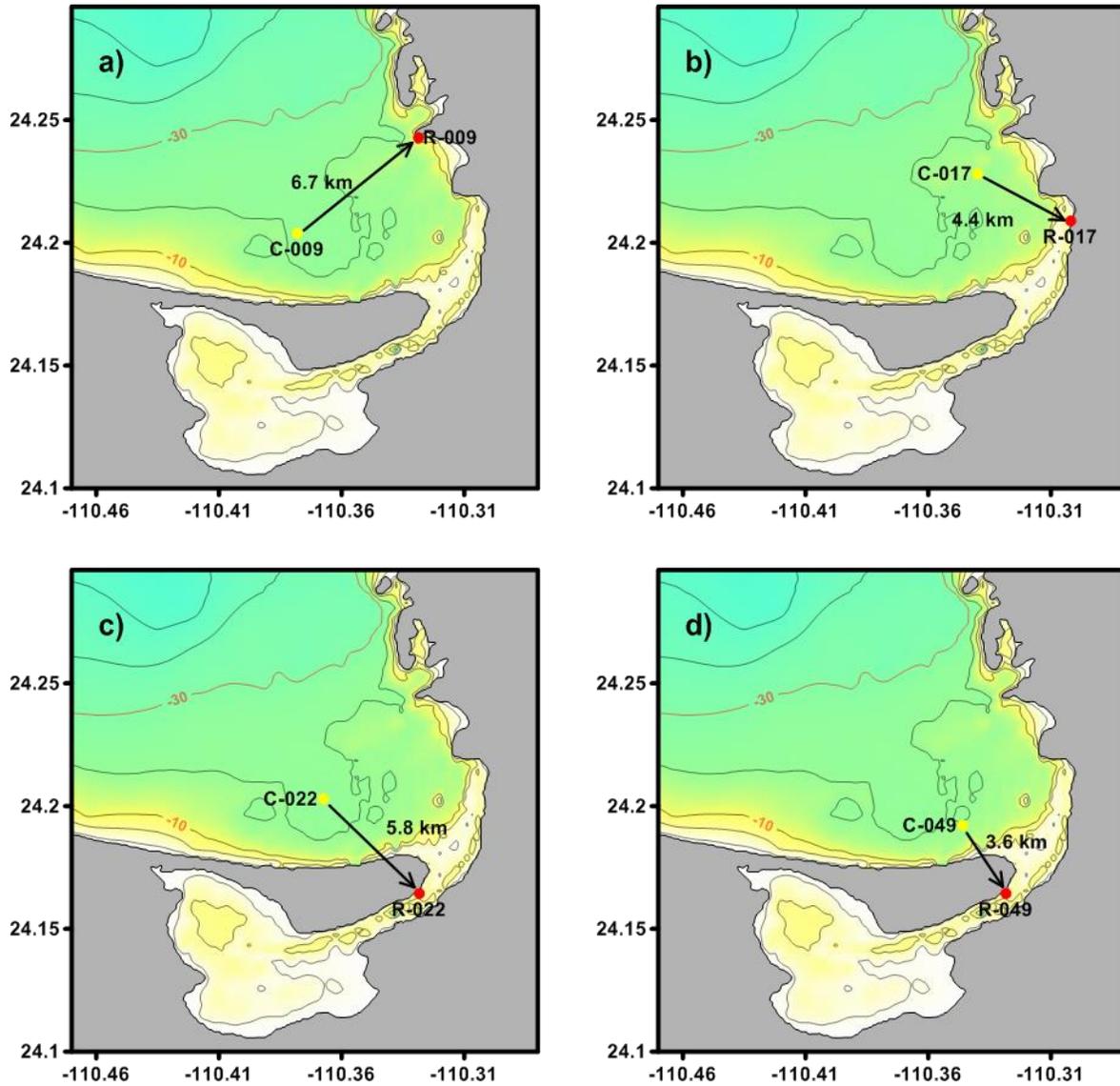


Figura 36. Mapa de las capturas-recapturas. Los kilómetros son los que realizó el tiburón del punto de su liberación (amarillo) hasta el lugar de la recaptura (rojo). La batimetría está representada en metros. a) Macho con el código 009; b) Macho con el código 017; c) Macho con el código 022; d) Macho con el código 049.

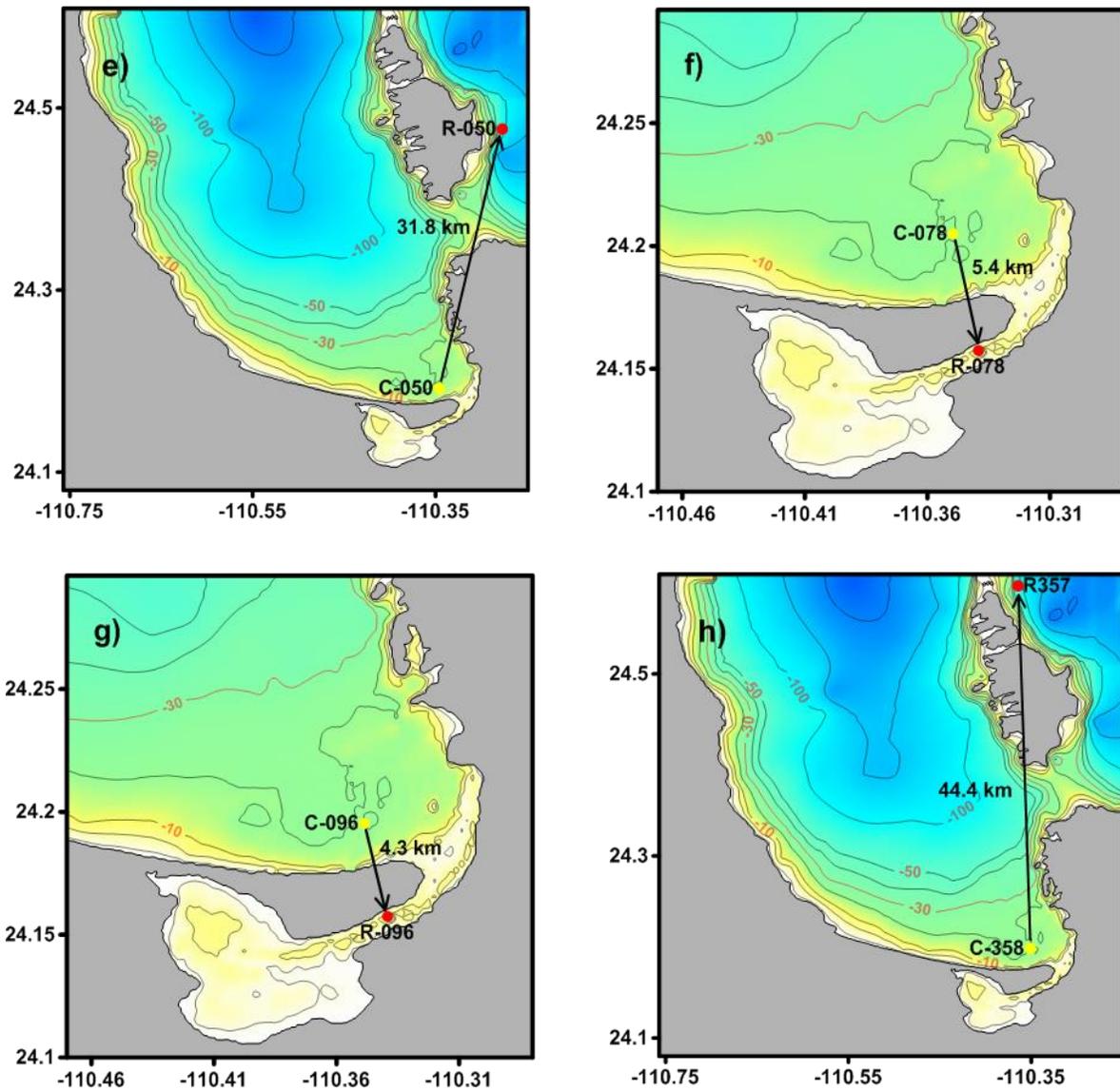


Figura 37. Mapa de las capturas-recapturas. Los kilómetros son los que realizó el tiburón desde el punto de su liberación (amarillo) hasta el lugar de la recaptura (rojo). La batimetría está representada en metros. e) Macho con el código 050; f) Hembra con el código 078; g) Hembra con el código 096; h) Hembra con el código 357.

8. Discusión

8.1. Caracterización de la población

Los 237 tiburones fueron capturados desde la zona intermareal hasta los 30 m de profundidad concordando con la distribución que menciona [Compagno \(1990\)](#), la cual es desde la zona intermareal hasta los 27 m. No obstante, [Corro-Espinosa \(2011\)](#) encontró ejemplares adultos hasta los 54 m y [Alderete-Macal \(2007\)](#) menciona que los tiburones podrían hacer migraciones verticales de hasta los 100 m de profundidad con el fin de alimentarse. Probablemente en el presente estudio no se encontraron organismos a profundidades mayores por el hecho que todos los ejemplares fueron inmaduros y estos son más costeros que los adultos.

Se encontraron tiburones durante todo el año; sin embargo, al comparar las abundancias por temporadas, en la época cálida hubo mayor CPUE, concordando con lo reportado por [Villavicencio-Garayzar et al. \(1997\)](#), donde menciona que en la Bahía de La Paz (BLP) esta especie se captura durante los meses de marzo, abril, agosto, octubre y noviembre, lo anterior podría deberse a un incremento de entrada de individuos adultos a la bahía con el fin de parir, debido a que sus migraciones reproductivas suceden a manera de “*corridas*” ([Mejía-Salazar, 2007](#)). Adicionalmente, los resultados del presente trabajo muestran que, la temporada de nacimientos de tiburón bironche en la BLP se lleva a cabo durante los meses de mayo a agosto.

La clasificación por estadio de desarrollo se basó en el estudio de [Márquez-Farías et al. \(2005\)](#), donde observaron que la calcificación de los gonopterigios es a 96 cm LT, considerados en el presente estudio como adultos. Los especímenes machos de 80-95 cm LT se encontraron en estado de transición entre inmadurez y madurez ([Márquez-Farías et al., 2005](#)), los cuales se clasificaron como subadultos. Para el caso de las hembras entre 80-100 cm LT estaban en un estado de transición de madurez ([Márquez-Farías et al., 2005](#)) y se consideraron como subadultas; mientras que a partir de los 100.5 cm LT las hembras ya son maduras o preñadas ([Márquez-Farías et al., 2005](#)) se clasificaron como adultas. Por otro lado, los individuos de 43-

80 cm LT se consideraron juveniles menores de un año y aquellos de 35 a 42 cm LT se clasificaron como neonatos, ya que a partir de los 42 cm la cicatriz umbilical se encuentra totalmente cerrada.

La estimación de la temporada de nacimiento de mayo a septiembre con un pico máximo en junio, concuerda con los estudios de biología reproductiva en el sur del GC de [Mejía-Salazar \(2007\)](#) y [Corro-Espinosa \(2011\)](#). Esto demuestra que el método de restar las edades en días de los neonatos a la fecha de captura puede ser confiable para estimar la temporada de nacimiento.

El 98% de la captura en el presente estudio fueron individuos menores a un año, y la BLP es la zona en donde hubo un mayor porcentaje de neonatos y juveniles, lo anterior demuestra que la BLP está siendo utilizada como un área de crianza para este tiburón. Por lo tanto, es probable que los adultos de esta especie se encuentren fuera del área de muestreo y que las hembras solamente entren a la bahía en temporada de nacimiento, ya que los tiburones adultos típicamente migran a las zonas de alumbramiento y posiblemente de reproducción ([Anislado & Robinson, 2001](#); [Bush & Holland, 2002](#)) pero no permanecen ahí por largos periodos de tiempo ([Branstetter, 1990](#)).

Las adultas preñadas podrían venir de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, ya que [Mejía-Salazar \(2007\)](#) y [Corro-Espinosa \(2011\)](#) mencionan que los adultos desaparecen de las capturas en las artes de pesca de esos estados a comienzos de abril, un mes antes de que comience la temporada de nacimiento en la BLP, y se vuelven a observar a finales de otoño ([Mejía-Salazar, 2007](#); [Corro-Espinosa, 2011](#)), cuando la temporada de nacimiento en la BLP ha terminado.

Existe el registro de la captura incidental de una hembra preñada en el mes de mayo del 2016 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (Barrios-Martínez comentario personal). Este registro es un indicio de que las hembras preñadas vienen a expulsar a sus crías en la bahía. La ausencia de hembras preñadas en el estudio realizado podría ser debido al arte de pesca, ya que los tiburones fueron capturados mediante línea y anzuelo con carnada, y como reportó [Springer \(1967\)](#), las adultas preñadas pudieron evadir los anzuelos, debido a que

presentan el hábito de no alimentarse mientras permanecen en áreas de crianza. Por otro lado, no se encontró ningún espécimen de macho adulto en el área de estudio, por lo que no se sabe si los adultos machos también ingresan a la bahía en la época de nacimiento, debido probablemente a una segregación sexual (Springer, 1967). Por lo tanto, la BLP podría ser utilizada solamente como un área de crianza y no como una zona de reproducción.

La proporción sexual para el área de estudio del presente trabajo fue de 1H:1M, la misma proporción que encontró Corro-Espinosa (2011) tanto en embriones como en neonatos. No obstante, Mejía-Salazar (2007) encontró diferentes proporciones sexuales en las siguientes localidades; para el GT 0.74H:1M, para Sinaloa la proporción de sexos fue de 3.18H:1M y por último para la BLP, la proporción sexual fue de 0.63H:1M y para los embriones fue una proporción de 1.53H:1M, siendo en la última localidad similar a la proporción encontrada en el presente estudio. Por otro lado, las variaciones en las proporciones sexuales en los trabajos anteriores probablemente dependan de los estadios de desarrollo en los que se encuentran los organismos, ya que nacen con una proporción de 1H:1M (Márquez-Farías *et al.*, 2005; Corro-Espinosa, 2011) y ésta se puede modificar debido a las segregaciones que presentan los tiburones por sexo y talla (Springer, 1967; Wearmouth & Sims, 2008; Ketchum *et al.*, 2013). Los tiburones juveniles que se encuentran en la BLP mantienen la misma proporción sexual que al nacer demostrando que no se segregan en los primeros estadios de desarrollo.

La estructura de tallas para la BLP fue de 35 a 85 cm LT, estos resultados están por debajo de lo reportado por Villavicencio-Garayzar *et al.* (1997), donde el intervalo de tallas que encontraron fue entre 52 a 116 cm LT, siendo el intervalo de talla más frecuente de los 90 a los 100 cm LT. Esto puede deberse a que las capturas en el trabajo de Villavicencio-Garayzar *et al.* (1997) fueron hechas por pescadores de la zona y ellos pescan más alejados de la costa, donde se encuentran organismos de mayores tallas.

Se realizaron las correlaciones y las regresiones con un fin descriptivo, para que exista una base de datos del intercepto y la pendiente para las diferentes biometrías.

Lo anterior, es debido a que los estudios basados en pesquerías no obtienen el peso del tiburón y esta base (Tabla 4) podría ayudar a estimar el peso, la LT, LF y DA, basándose solamente en la LP.

8.2. Factores ambientales

La temperatura superficial del mar (TSM) fue la variable que podría relacionar la temporada de nacimientos con los meses de mayo a agosto. Existe un adelanto de uno a dos meses de la temporada de nacimientos con relación a las temperaturas superficiales del mar más altas (agosto-septiembre), el cual puede ser beneficioso para los neonatos, ya que se ha observado que, en tiburones blancos, las temperaturas cálidas y mareas altas benefician aspectos fisiológicos para el desarrollo y crecimiento óptimo de los embriones y posteriormente de las crías y de la disponibilidad de presas (Robbins, 2007; Tavares, 2010; Towner *et al.*, 2013). Por otro lado, esta especie no presenta un mecanismo para mantener el calor, como es el caso de los representantes de la familia Lamnidae (Becerril-García, 2015), por lo que una preferencia a aguas someras es una estrategia para evitar cambios bruscos de temperatura y así disminuir el gasto de energía al permanecer en condiciones isotérmicas arriba de la termoclina (e.g. dorados *Coryphaena hippurus*, Furukawa *et al.*, 2011 & 2014). Por lo tanto, nacer uno o dos meses antes de que la parte sur de la bahía alcance las TSM más altas podrían favorecer su crecimiento y maduración sexual (Dewar *et al.*, 2004; Tavares, 2010).

El área en donde se encuentran los neonatos y juveniles de tiburón bironche es la misma en donde Ketchum *et al.* (2013) encontraron la mayor abundancia de juveniles de tiburón ballena, *Rhincodon typus*. En su estudio mencionan una correlación positiva entre la abundancia de los juveniles de tiburón ballena con los picos en la biomasa de zooplancton durante los meses de mayo y junio, meses en los cuales inicia la temporada de nacimiento del tiburón bironche en la BLP.

Una razón por la cual no se encontró una relación con la clorofila en el presente estudio, puede deberse a que la temporada de nacimientos podría tener una mayor

relación con la productividad secundaria, la cual interviene directamente con la abundancia de sus presas (Ketchum *et al.*, 2013), y, por lo tanto, en los requerimientos energéticos que los tiburones necesitan en sus primeras etapas del desarrollo.

La TSM no sería la única variable que podía explicar la temporada de nacimientos, ya que otros factores ambientales han resultado ser significativos en la temporalidad de los tiburones en una zona costera (Knip *et al.*, 2010; Speed *et al.*, 2010; Legare *et al.*, 2015). Variables como la salinidad, el O₂ disuelto, la marea y la luz han sido mencionados como posibles causantes de la presencia-ausencia de tiburones en un área determinada (Ackerman *et al.*, 2000; Sims, 2005; White & Potter, 2004; Froeschke *et al.*, 2010; Speed *et al.*, 2010).

Además de los factores ambientales, las necesidades biológicas como el forrajeo, la reproducción (cortejo, cópula y alumbramiento) son factores que tienen un efecto en la temporalidad de las especies en determinadas zonas (Heupel & Simpfendorfer, 2005; Speed *et al.*, 2011; Whitney *et al.*, 2012; Heupel & Simpfendorfer, 2014).

8.3. Hábitos alimenticios

Para el análisis de isótopos estables se eligió el tejido sanguíneo debido a que los tejidos con alta tasa de incorporación han sido exitosamente usados para perfiles de dietas en muchas especies de tiburones (Fisk *et al.*, 2002; MacNeil *et al.*, 2005; McMeans *et al.*, 2009; Matich *et al.*, 2010a; Kinney *et al.*, 2011; Olin *et al.*, 2011), además que la toma de muestra es menos invasiva y no mortal (Kim *et al.*, 2012a).

Para el análisis de isótopos estables en muestras de sangre, no se realizó extracción de urea y lípidos a pesar de que los tiburones almacenan urea CO(NH₂)₂ para mantener su balance osmótico. La urea es un metabolito de desecho por lo que contiene ¹⁴N, siendo isotópicamente ligero, presentando un tejido artificialmente bajo en δ¹⁵N si no se remueve (Fisk *et al.*, 2002). Las altas concentraciones de urea y TMAO (N-óxido de Trimetilamina) que contiene el plasma de los elasmobranquios

(Wood *et al.*, 2005) podrían influir en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en este tejido (Hussey *et al.*, 2012c). Así que la extracción de la urea podría disminuir los valores de $\delta^{13}\text{C}$ e incrementar los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de tiburones (Kim & Koch, 2012). Sin embargo, no se realizó la extracción de urea debido a que no existen métodos precisos para eliminarla de la sangre a pesar de que hay una correlación negativa entre la concentración de urea y los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en plasma (Kim & Koch, 2012). Kim & Koch (2012) recomiendan utilizar ureasa para eliminar la urea de la sangre, pero su efectividad todavía no ha sido comprobada.

Los tiburones también almacenan lípidos en su hígado para mantener la flotabilidad (Ballantyne, 1997) y, a su vez, los lípidos están empobrecidos de ^{13}C a diferencia de otros tejidos, pudiendo afectar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Pinnegar & Polunin, 1999; Post *et al.*, 2007). Se conoce que los glóbulos rojos generalmente tienen bajo contenido lipídico. Por otra parte, una de las funciones del plasma es el transporte de lípidos entre tejidos en elasmobranquios (Ballantyne, 1997). Kim & Koch (2012) reportaron que la extracción con éter petróleo para los componentes de sangre no alteró los valores de $\delta^{13}\text{C}$ ni para plasma ni para glóbulos rojos, sugiriendo que la extracción no es necesaria, por lo que en el presente trabajo se optó por no extraer los lípidos. Aunado a lo anterior, Post (2002) y Logan & Lutcavage (2010) dicen que no es necesaria la extracción de lípidos si los valores en la relación C:N son menores a 3.5 y mayores a 2.5 ya que presentan un equilibrio de los lípidos y las proteínas. En el presente trabajo la media de los valores en la relación C:N fue de 2.48 (± 0.18) (Figura 38) la cual es cercana a los límites inferiores mencionados por Post (2002) y Logan & Lutcavage (2010), corroborando que no es necesaria la extracción de lípidos.

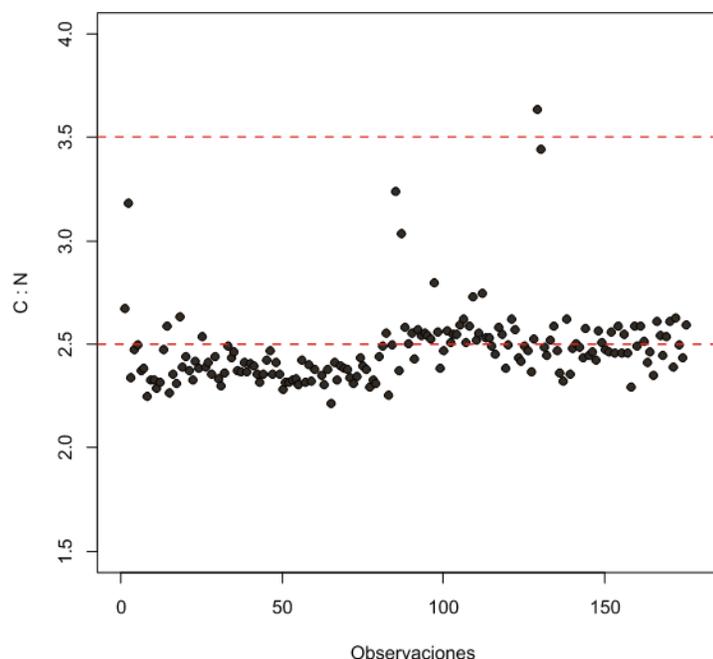


Figura 38. Distribución de los valores de la relación C:N. Los puntos representan los valores de la relación C:N de cada muestra de tejido sanguíneo del tiburón bironche. Las líneas punteadas representan el valor superior e inferior en el equilibrio de los lípidos y las proteínas.

Los valores isotópicos se analizaron por categorías; sexo, estadios de desarrollo y época del año. No se realizaron los análisis mezclando las categorías (e.g. hembras juveniles en época fría) debido a que en algunas de las categorías fue muy bajo el número de muestras y el resultado sería poco confiable.

Los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de tejido sanguíneo obtenidos en el presente trabajo son similares a los valores isotópicos en músculo de ambos elementos, al igual que para $\delta^{15}\text{N}$ en hígado encontrado en el trabajo de [Conde-Moreno \(2009\)](#) (Tabla 25).

Los valores isotópicos del tiburón bironche corresponden a la señal de especies que se alimentan en las zonas costeras. [Estrada et al. \(2003\)](#) encontraron que la variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ refleja la forma de forrajeo de los tiburones mako (*Isurus oxyrinchus*), los cuales forrajean más en zonas costeras y 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 aguas oceánicas presentaron valores menos enriquecidos ($\delta^{15}\text{N} = 12.2 \text{ ‰}$ y $\delta^{13}\text{C} = -17.1 \text{ ‰}$).

Tabla 25. Comparación de las posiciones tróficas del tiburón bironche en el Pacífico mexicano. La posición trófica (PT). Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).

PT Contenido estomacal	PT $\delta^{15}\text{N}$	Localidad	Fuente
-	4.40	BLP	Presente estudio
4.50	-	SGC	Alatorre-Ramírez <i>et al.</i> , 2013
4.20	4.10	SGC	Conde-Moreno, 2009
4.00	4.10	GT	

Tanto en el presente estudio como en los trabajos de [Conde-Moreno \(2009\)](#) y [Alatorre-Ramírez *et al.* \(2013\)](#), los valores de la posición trófica del tiburón bironche (PT > 4) corresponden a un consumidor terciario o carnívoro de alto nivel. Esto concuerda con lo propuesto por [Cortés \(1999\)](#), el cual concluye que la mayoría de los tiburones son depredadores tope y que ocupan posiciones tróficas terciarias.

[Lowe *et al.* \(1996\)](#) mencionan que las variaciones encontradas en las proporciones de las especies presas en los modelos de mezcla están sujetas a varios factores: 1) Cambio de presas más grandes por requerimientos energéticos mayores, 2) Acceso a diferentes hábitats, 3) Segregación por sexo y tamaño y 4) Variaciones temporales y espaciales ([MacAvoy *et al.*, 2001](#); [Bergamino *et al.*, 2011](#)), particularmente en especies de niveles tróficos más bajos ([Syväranta & Rautio, 2010](#)), como resultado de cambios en las fuentes de carbono y nitrógeno de un sistema o entre sistemas ([Hussey *et al.*, 2011a](#)). Por ende, los valores de isótopos estables de la mayoría de los organismos son dinámicos y están en un constante estado de cambio ([Hussey *et al.*, 2012a](#)).

Las presas que obtuvieron una mayor proporción isotópica en los modelos de mezcla en el presente estudio fueron *Scomber japonicus*, *Pleuroncodes planipes* y *Opisthonema* sp., todos estas especies son planctófagas ([Whitehead, 1985](#); [Aurioles-Gamboa *et al.*, 2004](#); [Nelson, 2006](#)). En el estudio de [Márquez-Farías *et al.* \(2005\)](#) observaron que el grupo más importante en la dieta de los organismos estudiados de *R. longurio* fueron los peces teleósteos del género *Diplectrum*,

seguido por los crustáceos y en tercer lugar los cefalópodos. [Alatorre-Ramírez et al. \(2013\)](#) reportaron que el tiburón bironche se alimenta principalmente de peces demersales (e.g. *Echiophis brunneus*) y de especies migratorias (e.g. *Opisthopterus dovii*, *Scomber japonicus*, etc.). En el trabajo de [Alderete-Macal \(2007\)](#) los peces también obtuvieron el mayor índice de importancia relativa (IIR) (e.g. *Rhynchoconger nitens* y *Auxis* spp.) seguido de los crustáceos (e.g. *Portunus xantusii* y *Euphyllax dovii*). Por otro lado, [Conde-Moreno \(2009\)](#) realizó un estudio de la ecología trófica de este tiburón en dos áreas donde encontró, que para el GT la presa principal es el pez bentónico *Rhynchoconger nitens* mientras que para el Sur del Golfo de California (SGC) las especies principales fueron peces tanto epipelágicos como bentónicos (e.g. *Opisthopterus dovii*, la familia Ophichthidae y Bothidae), seguido por los cefalópodos (e.g. *Argonauta* spp. y *Loliolopsis diomedea*). Para finalizar, en el trabajo de [Osuna-Peralta et al. \(2014\)](#) las especies presas con mayor IIR fueron el cefalópodo *Argonauta* spp., seguido de los peces *Oligoplites refulgens* y *Oligoplites* spp. Aunque los valores del IIR de las especies presa varían en los trabajos anteriormente citados, los grupos principales fueron muy similares; peces teleósteos, crustáceos y cefalópodos.

Basado en el hábitat de las presas, se considera que el cazón bironche se alimenta tanto de especies demersales como de especies pelágicas costeras en fondos arenosos y lodosos. Es muy posible que la diferencia entre los hábitats de las presas (demersales y pelágicas) sea por la realización de migraciones verticales en la columna de agua dentro de los primeros 100 metros de profundidad ([Alderete-Macal, 2007](#); [Muratalla-Torres, 2008](#); [Conde-Moreno, 2009](#); [Alatorre-Ramírez et al., 2013](#); [Osuna-Peralta, 2014](#)). De acuerdo con el comportamiento de sus presas principales, [Alderete-Macal \(2007\)](#) propone que esta especie se alimenta durante la noche.

El tiburón bironche es un depredador generalista basado en los resultados de la varianza (σ^2) del presente trabajo (Tabla 26). Si los valores de la σ^2 son inferiores a 1 pertenecen a poblaciones de hábitos especialistas y si son superiores a 1 tienen hábitos generalistas ([Jaeger et al., 2009](#)).

Tabla 26. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en diferentes tejidos del tiburón bironche. Valores isotópicos presentados en medias (\pm desviación estándar).

Tejido	$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$	Localidad	Fuente
Sangre	18.77 (\pm 1.04)	-14.78 (\pm 1.4)	Bahía de La Paz	Presente estudio
Músculo	20.60 (\pm 0.8)	-14.70 (\pm 0.5)	Sur del Golfo de California	Conde-Moreno, 2009
	17.10 (\pm 0.5)	-14.80 (\pm 0.2)	Golfo de Tehuantepec	
Hígado	19.90 (\pm 0.7)	-18.50 *	Sur del Golfo de California	Conde-Moreno, 2009
	16.20 (\pm 0.5)	-18.60 *	Golfo de Tehuantepec	

* Trabajos donde no se mencionan las desviaciones estándar.

Para obtener las posiciones tróficas, se calculó el $\delta^{15}\text{N}$ del zooplancton como señal isotópica base. Se eligió el zooplancton ya que de acuerdo con [Post \(2002\)](#) una buena señal isotópica base tiene que: 1) Integrar los cambios isotópicos en una escala de tiempo cerca a la del consumidor secundario de interés, 2) Cubrir el mismo periodo de tiempo al del consumidor secundario (colectar el mismo año), 3) Capturar la variabilidad espacial que contribuye a la firma isotópica del consumidor secundario de interés.

Las presas zooplanctónicas representan la línea base, debido a que los cambios en la señal isotópica son mucho más rápidos que en los animales grandes, por lo tanto, dan una mejor estimación de la señal isotópica de la base de la cadena trófica ([MacNeil et al., 2005](#)). [Cabana & Rasmussen \(1996\)](#) y [Vander-Zanden & Rasmussen \(2001\)](#) también sugirieron utilizar los consumidores primarios para cuantificar los valores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$ en las cadenas tróficas acuáticas. Eso es debido a que en sistemas acuáticos la mayoría de los productores primarios y el detritus tienen variaciones temporales altas, complicando su uso directo como indicadores de $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$.

El cálculo de la posición trófica de los elasmobranchios o especies con altos niveles tróficos puede complicarse ya que el factor de discriminación puede variar en cada paso de la red trófica debido a la relación entre $\Delta^{15}\text{N}$ y el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de la dieta ([Robbins et al., 2005](#); [Caut et al., 2013](#); [Dennis et al., 2010](#); [Robbins et al., 2010](#)). [Conde-Moreno \(2009\)](#) no encontró diferencias significativas en los resultados de la

posición trófica obtenida mediante análisis de contenido estomacal ni de isótopos estables, concluyendo que ambas técnicas son útiles para calcularla.

Las posiciones tróficas en el presente trabajo fueron muy similares a los resultados obtenidos tanto en estudios con contenidos estomacales (Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013) como con isótopos estables (Conde-Moreno, 2009) (Tabla 27).

Tabla 27. Comparación del índice de Levin y la varianza. Índice de Levin (Bi) obtenido mediante contenido estomacal (Bi > 0.6 generalista, <0.6 especialista). Varianza (σ^2) del $\delta^{15}\text{N}$ (Varianza > 1 generalista, < 1 especialista). Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).

Bi	σ^2	Localidad	Fuente
-	1.09	BLP	Presente estudio
0.10	0.20	SGC	Conde-Moreno, 2009
0.00	0.10	GT	
0.25	-	GT	Alderete-Macal, 2007
0.07	-	SGC	Osuna-Peralta <i>et al.</i> , 2014
0.69	-	SGC	Alatorre-Ramírez <i>et al.</i> , 2013

Los autores: Castillo-Géniz (1990), Alderete-Macal (2007), Muratalla-Torres (2008), Conde-Moreno (2009), Alatorre-Ramírez *et al.* (2013) y Osuna-Peralta *et al.* (2014) consideran al tiburón bironche como una especie oportunista más que especialista (aunque en sus respectivos trabajos el índice de Levin salió como depredador especialista), ya que consume las especies que se encuentran en mayor abundancia, tanto en el sitio como en la temporada.

Este tipo de comportamiento oportunista puede ser una ventaja para la especie, ya que los organismos con una dieta demasiado selectiva tienden a ser más susceptibles a cambios en la disponibilidad de las presas en el ecosistema (Trowbridge, 1991). Al ser un depredador oportunista de peces que habitan sobre el fondo de la plataforma continental, este tiburón podría ser uno de los principales reguladores de las poblaciones de peces demersales de la zona (Castillo-Géniz, 1990).

La alta explotación de esta especie por parte de las pesquerías artesanales podría resultar en un desbalance del ecosistema debido a la preferencia del tiburón

bironche a utilizar las zonas costeras como áreas de crianza y alimentación. El declive de esta especie podría inducir el incremento de mesodepredadores, modificando la interacción de las especies y las cascadas tróficas (Pace *et al.*, 1999; Worm & Myers, 2003; Frank *et al.*, 2005; Myers *et al.*, 2007), debido a que los depredadores con altas posiciones tróficas, como el tiburón bironche, pueden jugar un papel importante en la estructura de las comunidades ya que controlan las poblaciones de las presas y previenen la dominancia ecológica (Paine, 1984; Heithaus *et al.*, 2008).

8.3.1. Hábitos alimenticios por sexo

En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas tanto en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ como de $\delta^{13}\text{C}$ entre sexos, concordando con los trabajos de Alderete-Macal (2007) en el GT, Muratalla-Torres (2008), Alatorre-Ramírez *et al.* (2013) en el SGC y Conde-Moreno (2009) tanto en el GT como en el sur del SGC. De estos resultados se concluye que esta especie presenta el mismo patrón selectivo al momento de alimentarse, tanto en machos como en hembras.

Para la BLP el traslapo trófico entre sexos fue de 0.86 para hembras y 0.79 en machos. Estos valores muestran un traslapo muy alto según la escala propuesta por Langton (1982), en la cual define que los valores de 0-0.29 indican que existe traslapo, de 0.30-0.59 el traslapo es medio y los valores mayores a 0.60 indican un traslapo alto. Alderete-Macal (2007) y Conde-Moreno (2009) también encontraron que existe un traslapo alto entre hembras y machos.

En algunas ocasiones se ha observado diferencias en la composición de la dieta entre sexos, las cuales son atribuidas principalmente a una segregación sexual (Springer, 1967; Simpfendorfer *et al.*, 2001; McElroy *et al.*, 2006; Polo-Silva *et al.*, 2007; Hernández-Aguilar, 2008). A pesar de que ha sido reportado la existencia de una segregación sexual del tiburón bironche en la zona del SGC por Castillo-Géniz (1990) y Alatorre-Ramírez *et al.* (2013), no se encontraron diferencias en la alimentación entre sexos. Cabe aclarar que la mayoría de los organismos

capturados en este estudio fueron inmaduros, sugiriendo que en etapas de desarrollo tempranas no existe segregación por sexos y tanto hembras como machos 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 observando 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 (Conde-Moreno, 2009).

Las posiciones tróficas entre hembras y machos (4.35 y 4.44 respectivamente), no fueron significativamente diferentes, siendo muy similares a los trabajos de Conde-Moreno (2009) y Alatorre-Ramírez *et al.* (2013) en los cuales tampoco hubo diferencias significativas entre sexos (Tabla 28). A pesar de variar los valores de la posición trófica entre los estudios, tanto hembras como machos tienen una PT > 4, siendo consumidores terciarios (Cortés, 1999).

Las proporciones de las especies presas en los modelos de mezcla entre sexos fueron muy similares tanto para hembras como para machos. La especie presa más importante fue el pez *Scomber japonicus*, seguido de la langostilla *Pleuroncodes planipes*, y en tercera posición se encontró *Opisthonema* sp. Las proporciones de las presas en el presente estudio no concuerdan del todo con trabajos anteriores, pero existen similitudes en los grupos principales, los cuales fueron teleósteos, seguidos por crustáceos y al final los moluscos (Alderete-Macal, 2007; Conde-Moreno, 2009).

Probablemente, las variaciones encontradas en las proporciones de las especies presa entre los diferentes estudios se deban a que tanto hembras como machos son de hábitos generalistas, debido a que la varianza fue mayor a 1 (Jaeger *et al.*, 2009).

Tabla 28. Comparación de las posiciones tróficas por sexos. Posición trófica (PT), Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).

Sexo	PT Contenido estomacal	PT $\delta^{15}\text{N}$	Localidad	Cita
Hembras	-	4.35	BLP	Presente estudio
Machos	-	4.44		
Hembras	4.65	-	SGC	Alatorre-Ramírez <i>et al.</i> , 2013
Machos	4.35	-		
Hembras	4.20	4.15	SGC	Conde-Moreno, 2009
Machos	4.20	4.15		
Hembras	4.10	4.10	GT	
Machos	4.00	4.10		

8.3.2. Hábitos de alimentación por estadios de desarrollo

Para el presente estudio, se encontraron diferencias en los valores isotópicos entre los diferentes estadios de desarrollo, tanto en $\delta^{15}\text{N}$ como $\delta^{13}\text{C}$. Para $\delta^{15}\text{N}$ los valores de los juveniles <1 año y las adultas preñadas no fueron estadísticamente diferentes, en cambio al comparar los neonatos con las adultas preñadas y con los juveniles <1 año, si hubo diferencias significativas. Posiblemente, se debe a que cuando son neonatos se alimentan de presas diferentes con valores isotópicos menores y ya que pasan los primeros meses de vida, su dieta cambia y se mantiene así hasta ser adultos. Se ha observado en estudios anteriores, 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 en sus requerimientos energéticos (Calow & Tyler, 1985; Gerking, 1994).

Por otro lado, al comparar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre los diferentes estadios de desarrollo, se obtuvieron diferencias significativas entre sí. Los neonatos fueron el grupo que tuvieron el valor más costero, seguido por los juveniles <1 año, y finalmente fueron las adultas preñadas, las que mostraron una señal menos costera. Las señales químicas concuerdan con las áreas de captura de los tiburones en la

BLP (Figura 8), donde los neonatos fueron capturados principalmente en las zonas más costeras.

No se observó un traslapo trófico entre neonatos (0.05) y juveniles < 1 año (0.20) según la escala de traslapo propuesta por [Langton \(1982\)](#). Tampoco existe un traslapo entre neonatos (0.12) y adultas preñadas (0.04) pero si existe un traslapo alto por parte de los juveniles <1 año (0.84) con las hembras preñadas (0.07). Que exista un traslapo alto entre los juveniles <1 año con las adultas preñadas, pero no entre las adultas preñadas con los juveniles <1 año se debe probablemente a que las adultas preñadas tienen un nicho trófico mayor y se pueden alimentar en zonas tanto cercanas como lejanas a la línea de costa y los juveniles presentan un nicho trófico más reducido. Esto concuerda con lo mencionado por [Osuna-Peralta et al. \(2014\)](#), quienes encontraron que los juveniles presentan una menor diversidad de presas en la dieta que los adultos.

[Alderete-Macal \(2007\)](#) también observó un traslapo alto entre juveniles y adultos. [Alatorre-Ramírez et al. \(2013\)](#) no encontraron diferencias significativas en la composición de la dieta entre juveniles y adultos. Por otro lado, [Conde-Moreno \(2009\)](#) encontró un traslapo alto en la dieta entre los diferentes estadios de desarrollo. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los juveniles son más bajos debido a que probablemente están consumiendo presas con niveles tróficos ligeramente menores que los adultos o simplemente con valores de $\delta^{15}\text{N}$ un poco menores. Para el caso de $\delta^{13}\text{C}$, puede ser que los adultos se alimenten de presas con menores de $\delta^{13}\text{C}$ o tal vez se deba al hecho que se alimentan de especies más pelágicas ([Conde-Moreno, 2009](#)) en zonas más alejadas de la costa.

[Conde-Moreno \(2009\)](#) encontró que las diferencias significativas entre adultos y juveniles podrían deberse al factor de migración, aunque la naturaleza de esta aún no se conoce muy bien para el tiburón bironche. Por su parte [Castillo-Géniz \(1990\)](#) propone una migración reproductiva en la población del GC, que inicia desde el sur de la Isla Tiburón, en el centro del GC, y llega a la región sur del estado de Nayarit, durante invierno-primavera a través de la costa oriental del GC. Su retorno se realiza

en el periodo otoño-verano, en dirección opuesta, alcanzando su lugar de origen, incluyendo también el alto GC (Cudney-Bueno & Turk-Boyer, 1998).

A pesar de que los neonatos obtuvieron una posición trófica significativamente menor a los juveniles <1 año y a las adultas preñadas, todos resultaron tener una $PT > 4$. Esto indica que son consumidores terciarios o carnívoros altos y concuerda con los trabajos de Conde-Moreno (2009) y Alatorre-Ramírez *et al.* (2013) (Tabla 29).

Las proporciones de las presas en los modelos de mezcla variaron en cada estadio de desarrollo. Para los neonatos la presa principal fue *Scomber japonicus* (0.31), seguida por la langostilla *Pleuroncodes planipes* (0.15) y la lisa *Mugil* sp. (0.15). Esta última presa fue capturada en una zona muy cercana a la orilla, lo cual puede indicar que los neonatos se alimentan muy cerca de la costa, concordando también con sus valores enriquecidos de $\delta^{13}C$. Los valores de la varianza muestran que los neonatos son de hábitos especialistas, debido probablemente a que necesitan una presa con valor energético específico, o que sus habilidades y rango de forrajeo se encuentre limitado al hábitat de ciertas presas.

Para el caso de los juveniles <1 año, las proporciones fueron muy desiguales. La presa con mayor proporción fue el pez *Scomber japonicus* (0.78), seguido de la langostilla *Pleuroncodes planipes* (0.10) y de la sardina *Opisthonema* sp. (0.05). Según la varianza los juveniles son depredadores con hábitos especialistas, esto puede explicar las diferencias en las proporciones de las presas.

Finalmente, las adultas preñadas tuvieron las proporciones de las presas más equitativas. La principal presa fue *Scomber japonicus* (0.16), seguido de *Mugil* sp., *Opisthonema* sp. y *Pleuroncodes planipes*, todas con la misma proporción (0.13). La varianza para las adultas preñadas indica que estas son de hábitos generalistas, probablemente esa es la razón por la cual, en los modelos de mezcla, las proporciones de las presas son similares.

Tabla 29. Comparación de las posiciones tróficas por estadios de desarrollo. Posición trófica (PT), Bahía de La Paz (BLP), Sur del Golfo de California (SGC) y Golfo de Tehuantepec (GT).

Estadios de desarrollo	PT		Localidad	Cita
	Contenido Estomacal	PT $\delta^{15}\text{N}$		
Neonatos	-	4.07		
Juveniles < 1 año	-	4.61	BLP	Presente estudio
Adultas preñadas	-	4.30		
Juveniles	4.47	-	SGC	Alatorre-Ramírez <i>et al.</i> , 2013
Adultos	4.53	-		
Juveniles	4.20	4.10	SGC	
Adultos	4.20	4.20		
Juveniles	4.05	4.10	GT	Conde-Moreno, 2009
Adultos	4.05	4.10		

Se puede inferir que los tiburones bironche durante los primeros estadios de desarrollo son especialistas con un espectro trófico menor y se distribuyen en áreas de alimentación más específicas. A medida que van creciendo, el espectro trófico va aumentando y sus zonas de alimentación van haciéndose más grandes, por ende, se alimentan de una mayor variedad de presas. Esto concuerda con lo mencionado por [Alatorre-Ramírez *et al.* \(2013\)](#), quienes reportaron que la importancia relativa de las presas (% IIR) varió en la dieta, sexo y talla. Por otro lado, [Castillo-Géniz \(1990\)](#) reportó que el tiburón bironche se segrega por sexo y edad, esto podría dar como resultado una dieta con diferentes presas dependiendo del sexo y la edad.

Los cambios en la dieta durante el crecimiento de los organismos pueden variar debido a que: 1) Los tiburones más grandes pueden alimentarse de presas más grandes o de niveles tróficos más altos, porque pueden tener acceso a diferentes hábitats ([Lowe *et al.*, 1996](#); [Papastamatiou *et al.*, 2010](#); [Hussey *et al.*, 2011a](#)), 2) Los tiburones en diferentes estadios de desarrollo ocupan diferentes áreas y están segregados por sexo y tamaño y 3) Como el tamaño del tiburón incrementa, la eficiencia de la captura de las presas también incrementa, sus sentidos están más desarrollados y por lo tanto son capaces de capturar presas más grandes y más rápidas ([Lowe *et al.*, 1996](#)). Por otro lado, las diferencias encontradas en la

importancia relativa de las especies presas entre sexos y estadios de desarrollo podrían deberse a las variaciones en la dinámica poblacional de las presas (Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013). La abundancia relativa de las presas es determinada por la competencia, depredación, reproducción y variables ambientales (Krebs, 1985; Abrams, 2000).

8.3.3. Hábitos alimenticios por época del año

Los valores isotópicos del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre épocas del año fueron diferentes significativamente. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron más bajos en la época cálida que en la fría; mientras que para el $\delta^{13}\text{C}$ los valores fueron mayores en la época cálida que en la fría. Por otro lado, se obtuvieron los valores del zooplancton como señal isotópica base de la BLP. Estos no fueron diferentes estadísticamente en $\delta^{15}\text{N}$ ni en $\delta^{13}\text{C}$, pero siguieron la misma tendencia anteriormente mencionada, en la temporada cálida los valores fueron más enriquecidos en $\delta^{13}\text{C}$ y en $\delta^{15}\text{N}$ más empobrecidos.

En el trabajo de Conde-Moreno (2009) se observa la misma tendencia, en los meses de temporada fría (diciembre-mayo) los valores de $\delta^{15}\text{N}$ están más enriquecidos que en los meses de temporada cálida (junio-noviembre) y, el caso contrario sucede con los valores de $\delta^{13}\text{C}$, más empobrecidos en los meses fríos que en los meses cálidos. Por lo tanto, los cambios en las señales isotópicas del tiburón bironche entre épocas del año podrían deberse más por cuestiones ambientales, que cambian la señal isotópica desde la base, debido a cambios de presas o de zonas de alimentación. Esto concuerda con lo que Hobson *et al.* (1995) mencionan; los isótopos estables de carbono y nitrógeno en la base de la cadena alimentaria pueden variar espacialmente y temporalmente, por ende, se refleja en la variación de los valores isotópicos de las cadenas alimentarias de los diferentes ecosistemas.

Estos cambios en la señal isotópica base se pueden explicar debido a que el GC, y por ende la BLP, usualmente experimentan cambios estacionales en la dirección del viento (Thunell, 1997). Los vientos del sur y sureste ocurren al final de la

primavera y persisten en verano y hasta inicio del otoño, son llamados localmente “*Coromuel*” y pueden alcanzar magnitudes de $\sim 4 \text{ m/s}^{-1}$, que generalmente ocurren combinados con calmas frecuentes (Jiménez *et al.*, 2005). Estos crean una surgencia débil durante mayo a noviembre en la costa oeste del Golfo, permitiendo así la entrada de agua caliente del Pacífico al Golfo (Lavín & Marinone, 2003). Por otro lado, los vientos del norte y noroeste, dominantes a finales del otoño y en el invierno, son fuertes y persistentes y alcanzan magnitudes de 12 m/s^{-1} (Jiménez *et al.*, 2005). Esto causa fuertes surgencias de aguas ricas en nutrientes y alta productividad primaria de diciembre a abril (Thunell, 1997; Lavín & Marinone, 2003).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ aumentan conforme incrementa la temperatura. Las aguas de surgencia están empobrecidas en ^{13}C (Laube-Lenfant & Pierre, 1996) por lo que en época fría los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son más empobrecidos.

Para el caso del $\delta^{15}\text{N}$, Altabet *et al.* (1999) establecieron que el GC presenta un enriquecimiento isotópico como resultado de la desnitrificación en aguas subóxicas subsuperficiales (oxígeno por debajo de $10 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$), mediante el análisis del $\delta^{15}\text{N}$ en sedimentos de fondo y de nitratos (NO_3^-) en la zona sub-eufótica. Álvarez-Borrego (1983) señala que, en general, el GC se caracteriza por presentar un enriquecimiento en la cantidad de nutrientes de la capa superficial, la mayor parte de los cuales provienen del reciclamiento de la materia orgánica particulada (MOP). Estos son transportados por surgencias generadas por vientos o por corriente de marea, por lo que en época fría donde hay surgencias más fuertes la bahía presenta un enriquecimiento en $\delta^{15}\text{N}$.

A pesar de que las posiciones tróficas del tiburón bironche fueron diferentes significativamente entre épocas del año (en la época fría se observó una posición trófica más alta), la posición trófica en ambas épocas fue de un depredador terciario o un carnívoro alto ($\text{PT} > 4$) (Conde-Moreno, 2009; Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013).

No existe un traslapo trófico entre épocas (0.00) según la escala de Langton (1982). Las proporciones de las especies presa variaron entre épocas del año. Para la temporada cálida la presa con mayor aporte fue el pez *Scomber japonicus*, (0.33),

seguido de la lisa *Mugil* sp. (0.16) y la langostilla *Pleuroncodes planipes* (0.14). Para el caso de la temporada fría, la presa con mayor aporte también fue *Scomber japonicus* (0.78) seguido por *Pleuroncodes planipes* (0.08) y la sardina *Opisthonema* sp. (0.05).

Los cambios en las proporciones de las presas pueden deberse a que el tiburón bironche es de hábitos especialistas para ambas épocas según la varianza ($\sigma^2 < 1$). Son diversos los autores que consideran al tiburón bironche oportunista más que especialista, ya que consume las especies que se encuentran en mayor abundancia en los sitios y en las épocas que se encuentra este tiburón (Alderete-Macal, 2007; Muratalla-Torres, 2008; Conde-Moreno, 2009; Alatorre-Ramírez *et al.*, 2008; Osuna-Peralta *et al.*, 2014). Sin embargo, es difícil de concluir esto debido a que no se conoce la abundancia de las especies presa en el área de estudio.

8.4. Patrones de movimiento

El tiburón marcado se mantuvo siempre en la zona de captura, demostrando que tiene una alta fidelidad al sitio, tanto en el día como en la noche. Durante todo el seguimiento, el tiburón realizó movimientos erráticos o de merodeo, los cuales podrían indicar un comportamiento de exploración. Este comportamiento se asemeja a lo encontrado por Holland *et al.* (1993) y Lowe (2002), quienes mencionan que los juveniles de tiburón martillo común *S. lewini* se mueven en áreas relativamente pequeñas y no muestran un patrón de direccionalidad. El-Saleh (2016), en su estudio con telemetría acústica pasiva, concluyó que los tiburones toro, *C. leucas* y puntas negras, *C. limbatus* visitaron un mayor número de veces los sitios dentro del Parque Nacional Cabo Pulmo durante la noche y disminuyeron durante el amanecer. En el caso del tiburón bironche, este se desplazó por las mismas áreas durante las 72 horas, por lo que no mostró una preferencia a zonas específicas durante ciertas horas del día.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en la direccionalidad durante el día y la noche, los valores del vector r fueron un poco más bajos durante

la noche que durante el día. Este resultado podría deberse a que el comportamiento errático o de merodeo está relacionado con la búsqueda de alimentación (Klimley *et al.*, 2005) y este fue un poco mayor durante la noche. Esto concuerda con estudios previos que mencionan que debido a los estados de digestión de las presas (Alatorre-Ramírez *et al.*, 2013), a las horas de colocación de las cimbras y su recuperación (Castillo-Géniz, 1990), y al comportamiento nocturno de sus presas principales (Alderete-Macal, 2007), el cazón bironche tiene una actividad mayor de alimentación durante la noche.

Los análisis mostraron que el tiburón se encuentra a profundidades menores durante la noche. Esto también podría deberse al factor de alimentación, ya que este tiburón se alimenta de peces como la macarela *Scomber japonicus*, la cual es una especie pelágica (Magnuson, 1979). Esto concuerda con el mismo patrón de comportamiento observado en el pez espada (Carey & Robison, 1981), tiburones azul y mako (Carey & Scharold, 1990), marlín azul (Holland *et al.*, 1990a) y atunes aleta amarilla y patudo (Holland *et al.*, 1990b). Klimley *et al.* (1993), encontró cambios en la profundidad de buceo del tiburón martillo común *S. lewini*, lo cual les permite alimentarse de especies mesopelágica que se encuentran en aguas profundas durante el día y más superficiales durante la noche.

Todos los tiburones inmaduros fueron recapturados a una profundidad menor a los 30 m. Por otra parte, los movimientos verticales (Figura 35) del tiburón juvenil muestran que nunca pasó de los 30 m de profundidad. La permanencia en aguas poco profundas o superficiales en otras especies de peces (e.g. dorado, *Coryphaena hippurus*) puede deberse a la distribución del alimento en la columna de agua (Furukawa *et al.*, 2011; Merten *et al.*, 2014). Adicionalmente, se ha sugerido que el estrato más importante para las interacciones tróficas entre las larvas de peces y el zooplancton está en los primeros 30 m de profundidad, independientemente de donde se encuentre la termoclina (Gray & Kingsford, 2003), ya que el plancton suele acumularse en la base de la capa de mezcla (Lande & Wood, 1987). Por lo que este tiburón, podría encontrar una mayor abundancia de presas a esas profundidades (Ketchum *et al.*, 2014a). Además, la estratificación

térmica en el mar genera una barrera física que es capaz de agregar verticalmente el alimento, incrementando la posibilidad de encontrar presas ([Hernández-Tlapale et al., 2015](#)).

Los dos tiburones bironche que alcanzaron la madurez sexual fueron recapturados cerca del Archipiélago Espíritu Santo a una profundidad de 90 m. Lo anterior concuerda con lo mencionado en diversos estudios, donde tiburones adultos entran a zonas someras para el nacimiento de las crías que pasen sus primeros años de vida y, eventualmente, los adultos abandonan la zona hacia aguas más profundas ([Knip et al., 2010](#), [Muntaner-López, 2016](#)). Esto se debe a que los tiburones neonatos y juveniles de algunas especies frecuentan las zonas someras o lagunas costeras, ya que estas zonas proveen refugio, altas densidades de especies presas y poca presencia de depredadores. Por otra parte, los adultos están en aguas más profundas con un pequeño traslape entre los dos grupos de edad ([Ferrari & Ferrari, 2002](#)).

La variación de los movimientos y la residencia de los tiburones dependen del estado reproductivo debido a las diferencias en los requerimientos energéticos. Los tiburones más grandes generalmente requieren mayor energía que los más pequeños ([Carlson et al., 2004](#)) y, en consecuencia, el espacio en el que habitan tiende a incrementarse cuando crecen ([Papastamatiou et al., 2009](#)). [Hoyos-Padilla et al. \(2014\)](#) observó que una hembra juvenil de tiburón martillo común *S. lewini* cambió de un área de crianza costera a una migración fuera de la costa en estado subadulto, lo cual constituye una migración ontogénica de esta especie en el Golfo de California, donde migró entre zonas para alimentarse posiblemente de presas con mayor valor energético

De acuerdo con [Hearn et al. \(2010\)](#), las áreas de forrajeo y de reproducción de los adultos de *S. lewini* presentan alta densidad de presas, exposición a la corriente, aguas profundas y una alta productividad (asociado a la surgencia). Por lo que el área del Archipiélago Espíritu Santo podría constituir un escenario adecuado para el tiburón bironche para encontrar parejas potenciales y recursos suficientes para cubrir los requerimientos energéticos durante la preñez. Lo mismo ocurre para los

tiburones puntas plateadas (*C. albimarginatus*) en el Archipiélago de Revillagigedo, en el cual los juveniles y los neonatos pasan sus primeros meses de vida cerca de la isla San Benedicto, que es una zona más protegida, y los adultos se encuentran en Roca Partida que es un pequeño islote de paredes verticales sin ningún tipo de protección (Muntaner-López, 2016). Otro caso es el del tiburón martillo *S. lewini* en la Isla Malpelo e Islas Galápagos, donde se ha observado que las hembras dejan las islas oceánicas en ciertos meses del año para migrar hacia zonas costeras del continente que las utilizan como áreas de crianza (Bessudo *et al.*, 2011; Ketchum *et al.*, 2014b).

8.5. Evidencias de la BLP como un área de crianza del tiburón bironche

La parte sur de la BLP es un área de crianza del tiburón bironche, ya que cumple con los tres criterios primordiales propuestos por Heupel *et al.* (2007):

- 1) Los tiburones fueron encontrados principalmente en el sur de la BLP, y la densidad en la bahía fue mayor que en Choyudo-Santa Bárbara en Sonora, La Reforma-Yameto, Sinaloa; Mazatlán, Sinaloa, Nayarit y el Golfo de Tehuantepec donde se ha capturado a esta especie en el Pacífico mexicano.
- 2) Los tiburones se encuentran por periodos largos de tiempo en la bahía (~1.5 para hembras y ~2.5 años en machos), alcanzando la madurez sexual en la zona.
- 3) El área o hábitat es repetidamente usado a través de los años. Existe el registro de tiburones juveniles y neonatos capturados en la bahía en los años 2007 (Mejía-Salazar, 2007), 2011 (Corro-Espinosa, 2011), 2015 y 2016 (en el presente estudio) y 2017 (comunicación personal, Rodríguez Arana-Favela).

Todo lo anterior demuestra que los tiburones bironche han utilizado a la BLP como zona de nacimiento, refugio, alimentación y madurez sexual durante varios años. Entonces, de acuerdo a la clasificación de Bass (1978), se puede concluir que la parte sur de la bahía funciona como un área de crianza primaria, ya que se

capturaron individuos recién nacidos (< 1.5 meses) y secundaria, debido a que los juveniles se distribuyen en esta zona hasta alcanzar la madurez sexual. Lo anterior concuerda con lo que mencionan [Snelson et al. \(1984\)](#) y [Heupel et al. \(2007\)](#) que las áreas de crianza primarias y secundarias ocurren en la misma zona, en algunas especies.

Por otra parte, el sur de la BLP probablemente también podría ser un área protegida de depredadores para esta especie, debido a que no se capturaron adultos de ninguna otra especie de tiburón, de acuerdo a [Springer \(1967\)](#) y [Branstetter \(1990\)](#). No obstante, para definirla como protegida o no, se debe llevar a cabo más esfuerzo de muestreo, al igual que utilizar una variedad más amplia de artes de pesca.

9. Conclusiones

-  El tiburón bironche se encuentra durante todo el año en la Bahía de La Paz, con mayor abundancia en la temporada cálida (junio–noviembre).
-  Existe una proporción sexual 1H:1M en la BLP, lo cual señala que no hay segregación sexual en los primeros estadios de desarrollo.
-  La temporada de nacimientos del tiburón bironche en la BLP es de mayo a septiembre con un pico máximo en junio. La variable TSM explica mejor que la temporada de nacimientos se lleve a cabo en esos meses.
-  Los hábitos alimenticios no cambian entre sexos, mientras que entre estadios de desarrollo sí. Los neonatos tienen la posición trófica ligeramente más baja alimentándose en las zonas más costeras y de presas con un menor nivel trófico. La estrategia alimentaria en los primeros estadios es especialista y al llegar a la etapa de adultez se hace más generalista-oportunista. Las especies presa probables en la dieta del tiburón bironche en la BLP son macarela (*Scomber japonicus*), sardina (*Opisthonema* sp.), lisa (*Mugil* sp.) y la langostilla (*Pleuroncodes planipes*).
-  Los cambios en las señales isotópicas por época del año del tiburón bironche se deben a factores ambientales que causan pequeñas modificaciones en las señales isotópicas en la base de la cadena trófica.
-  Los movimientos del tiburón bironche en la BLP fueron aleatorios con un tipo de comportamiento de merodeo, lo cual se atribuye a un comportamiento de búsqueda de alimento y exploración. Se movió a una velocidad media de 0.40 m/s y realizó desplazamientos más profundos durante el día.
-  Los tiburones bironche que nacen en la BLP tienen una alta fidelidad a la parte sur de la bahía, desde la zona intermareal hasta los 30 m de

profundidad, zona en la cual se encuentran hasta alcanzar la madurez sexual. Al ser maduros sexualmente, estos se mueven a zonas más profundas y lejanas de la bahía, llegando al Archipiélago Espíritu Santo.



La parte sur de la BLP cumple con los tres criterios para considerarse como un área de crianza primaria y secundaria del tiburón bironche.

10. Literatura citada

- Abrams P. 2000. The evolution of predator–prey interactions: theory and evidence. *Annual Reviews in Ecology and Systematics*. 33: 79–105.
- Ackerman J.T., Kondratieff M.C., Matern S.A., Cech J.J. 2000. Tidal influence on spatial dynamics of leopard sharks, *Triakis semifasciata*, in Tomales Bay, California. *Environ Biol Fish*. 58: 33-43.
- Alatorre-Ramírez V.G., Galván-Magaña F., Torres-Rojas Y.E. 2013. Trophic habitat of the Pacific sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio*, in the Mexican Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 93(08): 2217-2224.
- Alcock A. 1890. Observations on the gestation of some sharks and rays. *J. Asiat. Soc. Bengal*. 59: 51-56.
- Alejo-Plata C., Gómez-Márquez J.L., Ramos S., Herrera E. 2007. Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México. *Revista de biología marina y oceanografía*. 42(3): 403-413.
- Alderete-Macal M.J. 2007. Hábitos alimenticios del tiburón horma, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) en Salina Cruz, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. UABCS. La Paz. 59.
- Alonso-Castelán C. 1999. Capturas comerciales de Elasmobranquios en Baja California Sur, México (1990-1996). Tesis de Licenciatura. UABCS. México 56.
- Altabet M.A., Pilskaln C., Thunell R., Pride C., Sigman D., Chávez F., François R. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 46(4): 655-679.
- Álvarez-Arellano A.D., Rojas-Soriano H., Prieto-Mendoza J.J. 1997. Geología de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes. La Bahía de La Paz. *Investigación y Conservación*. UABCS, CICIMAR, Scripps. La Paz. 13-29.

- Álvarez-Borrego S. 1983. Gulf of California. Ecosystems of the World. Elsevier Scientific Publishing Co. UK. 26: 427-449.
- Álvarez del Villar J. 1978. Los Cordados. Origen, evolución y hábitos de los vertebrados. CECSA. México D.F. 372.
- Anislado T.V. 2000. Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral del estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 115.
- Anislado V. & C. Robinson. 2001. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el Pacífico central de México. Cienc. Mar. 27(4): 501–520.
- Arthur S.M., Manly B.F.J., McDonald L.L., Garner G.W. 1996. Assessing habitat selection when availability changes. Ecology. 77: 215–227.
- Au W. & S.E. Smith. 1997. A demographic method with population density compensation for estimating productivity and yield per recruit of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 415.
- Aurioles-Gamboa D., Castro-González M. I., Romo F.P.G., Barita J.L.S. 2004. Quality differences in feeding areas of the red crab, *Pleuroncodes planipes* Stimpson, as reflected from their lipid, fatty acids, and astaxanthin composition. Crustaceana. 77(2): 163-176.
- Ballantyne J.S. 1997. Jaws: The inside story. The metabolism of elasmobranch fishes. Comp Biochem Physiol, Part B. Biochem Mol Biol. 118: 703–742.
- Bass A.J. 1978. Problems in studies of sharks in the Southern Indian Ocean. Sensory Biology of Sharks, Skates and Rays, Office of Naval Research, Department of the Navy, Arlington. 545-594.
- Bearhop S., Adams C.E., Waldron S., Fuller R.A., Macleod H. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. Journal of Animal Ecology. 73: 1007–1012.
- Becerril-García E.E. 2015. Presencia del tiburón blanco *Carcharodon carcharias* (Linnaeus, 1758) con relación a los factores ambientales en Isla Guadalupe, México. Tesis de Licenciatura. UABCS. La Paz. 77.

- Bergamino L., Lercari D., Defeo O. 2011. Food web structure of sandy beaches: temporal and spatial variation using stable isotope analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 91: 536–543.
- Bessudo S., Soler G., Klimley A.P., Ketchum J.T., Arauz R., Hearn A. 2011. Residency of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) at Malpelo Island and evidence of migration to other islands in the Eastern Tropical Pacific. *Environ Biol Fishes*. 91: 165–176.
- Bizzarro J.J., Smith W.D., Jones E.J., Cailliet G.M. 2000. The artisanal elasmobranch fishery of Baja California Norte (Gulf of California, Mexico). En: American Elasmobranch Society (eds) 80th Annual Meeting of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists & 16th Annual Meeting of the American Elasmobranch Society. University of Florida Museum of Natural History: American Elasmobranch Society. 14–20.
- Bizzarro J.J., Smith W.D., Castillo-Géniz L., Ocampo-Torres A., Márquez-Farías J.F., Hueter R.E. 2009a. The seasonal importance of small coastal sharks and rays in the artisanal elasmobranch fishery of Sinaloa, Mexico. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.* 4: 513–531.
- Bizzarro J.J., Smith W.D., Márquez-Farías J.F., Tyminski J., Hueter R.E. 2009b. Temporal variation in the artisanal elasmobranch fishery of Sonora, Mexico. *Fish. Res.* 97: 103–117.
- Bonfil R. 1997. Status of shark resources in the Southern Gulf of México and Caribbean: Implications for management. *Fisheries Research*. Amsterdam. 29: 101-117.
- Branstetter S. 1990. Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the northwest Atlantic. NOAA. National Marine Fisheries Service Tech Rep. 90: 17–28.
- Brill R.W. & Lutcavage M.E. 2001. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. *Am. Fish. Soc. Symp.* 25: 179–198.

- Bush A. & K. Holland. 2002. Food limitation in a nursery area: Estimates of daily ration in juvenile scalloped hammerheads, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) in Kane'ōhe Bay, O'ahu, Hawaii. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 278: 157–178.
- Cabana G. & Rasmussen J.B. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 93: 10844–10847.
- Calow P. & Tyler P. 1985. Fish energetic, news perspectives. The John Hopkins University Press. UK. 349.
- Camhi M., Fowler S., Musick J., Bräutigam A., Fordham S. 1998. Shark and their relatives: Ecology and Conservation. IUCN Species Survival Commission. UK. 20: 39.
- Carey F.G. & Robinson B.H. 1981. Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. Fishery bulletin-United States. National Marine Fisheries Service.
- Carey F.G. & Scharold J.V. 1990. Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course. Marine Biology 106: 329–342.
- Carlson J.K., Goldman K.J., Lowe C.G. 2004. Metabolism, energetic demand, and endothermy. En: Carrier J.C., Musick J.A., Heithaus M.R. (eds) Biology of Sharks and Their Relatives. CRC Press, Boca Raton. 21-203.
- Cartamil D.P., Vaudo J.J., Lowe C.G., Wetherbee B.M., Holland K.N. 2003. Diel movement patterns of the Hawaiian stingray, *Dasyatis lata*: implications for ecological interactions between sympatric elasmobranch species. Marine Biology. 142(5): 841-847.
- Castillo-Géniz J.L. 1990. Contribución al conocimiento de la biología y pesquería del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio*, (Jordan & Gilbert, 1882) (Elasmobranchii, Carcharhinidae), del sur de Sinaloa, México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Castillo-Géniz J.L., Márquez-Farías J.F., Cid del Prado A., Soriano S.R., Ramírez S.C. 1997. Descripción, evaluación y manejo de la pesquería artesanal de tiburón de Puerto Madero, Chiapas. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca. 34.

- Castillo-Géniz J.L., J.F. Márquez-Farías, M.C. Rodríguez de la Cruz, A. Cid del Prado. 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulation.
- Castro, J.I. 1983. The sharks of North America Waters. Texas A. & M. University Press, College Station. 180.
- Castro J.I. 1987. The position of sharks in marine biological communities. Oregon State University Extension Service, Corvallis. 11-17.
- Castro J.I. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the Southeastern coast of the United States. *Environ Biol Fish.* 38: 37-48.
- Castro J.I. 2011. The sharks of North America. Oxford. New York. *Appl. Ecol.* 46: 443–453.
- Caut S., Jowers M., Lepoint G., Fisk A.T. 2013. Diet and tissue-specific incorporation of isotopes in the shark *Scyliorhinus stellaris*, a North Sea mesopredator. *Marine Ecology. Progress Series.* 492: 185-198.
- Chin A., Kyne P.M., Walker T.I., McAuley R. 2010. An integrated risk assessment for climate change: analyzing the vulnerability of sharks and rays on Australia's Great Barrier Reef. *Global Change Biology.* 16: 1936-1953.
- Clarke T.A. 1971. The ecology of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Hawaii. *Pac. Sci.* 25: 133-144.
- Clarke S.C., McAllister M.K., Milner-Gulland E.J., Kirkwood G.P., Michielsens C.G., Agnew D.J., Shivji M.S. 2006. Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. *Ecology letters.* 9(10): 1115-1126.
- Compagno L.J.V. 1984. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniforms FAO Fisheries Synopsis. Rome. 125(4): 251–655.
- Compagno L.J.V. 1990. Systematics and body form. Baltimore. The Johns Hopkins University Press. 1–42.
- Compagno L.J.V., Krupp F., Schneider W. 1995. Tiburones. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Océano Pacífico Centro-

- Oriental. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 2: 648-743.
- Compagno L.J.V., Dando M., Fowler S. 2005. *Sharks of the World*. Princeton University Press. Princeton and Oxford. USA. 368.
- Conde-Moreno M. 2009. Ecología trófica del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882), en dos áreas del Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. 94.
- Corro-Espinosa D. & Hernández-Carvalho A. 2002. Sharks and rays of Sinaloa state. Culiacán, México. 291-299.
- Corro-Espinosa D. 2011. Dinámica poblacional del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert 1882), en el Golfo de California. Tesis de Doctorado. CIBNOR. La Paz. 152.
- Corro-Espinosa D., Márquez-Farías J.F., Muhlia-Melo, A. 2011. Size at maturity of the Pacific sharpnose shark *Rhizoprionodon longurio* in the Gulf of California, Mexico Talla de madurez del tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* en el Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 37(2): 201-214.
- Cortés E. 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES. J. Mar. Sci.* 56: 707.
- Cox S., Essington T., Kitchell J., Martell S., Walters C., Boggs C., Kaplan I. 2002. Reconstructing ecosystem dynamics in the central Pacific Ocean, 1952-1998. II. A preliminary assessment of the trophic impacts of fishing and effects on tuna dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 59(11): 1736-1747.
- Cudney-Bueno R. & Turk-Boyer P.J. 1998. Pescando entre mareas del Alto Golfo de California. Una guía sobre la pesca artesanal, su gente y sus propuestas de manejo. Puerto Peñasco, Sonora, México: Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos (CEDO) AC.
- Dennis C., MacNeil M.A., Rosati J., Pitcher T., Fisk A.T. 2010. Diet tissue discrimination factors are inversely related to $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of food for fish under controlled conditions. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 24: 3515–3520.

- Dewar H., Domeier M., Nasby-Lucas N. 2004. Insights into young of the year white shark, *Carcharodon carcharias*, behavior in the Southern California Bight. *Environ. Biol. Fishes.* 70: 133–143.
- Doak D.F., Bigger D., Harding E.K., Marvier M.A., O'Malley R.E., Thomson D. 1998. The statistical inevitability of stability–diversity relationships in community ecology. *Am. Nat.* 151: 264–276.
- Drymon J.M., Ajemian M.J., Powers S.P. 2014. Distribution and dynamic habitat use of young bull sharks *Carcharhinus leucas* in a highly stratified northern Gulf of Mexico estuary. *PloS one.* 9(5).
- Economakis A.E. & Lobel P.S. 1998. Aggregation behavior of the grey reef shark, *Carcharhinus amblyrhynchos*, at Johnston Atoll, Central Pacific Ocean. *Environ Biol Fishes.* 51: 129–139.
- El-Saleh S. 2016 The unforeseen recovery of a marine reserve: abundance, residency, and site fidelity of sharks in Cabo Pulmo National Park, Mexico. Tesis de maestría. Universidad de Lisboa. Portugal. 83.
- Escobar-Sánchez O., Galván-Magaña F., Abitia-Cárdenas L.A. 2010. Trophic level and isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of Pacific angel shark, *Squatina californica* (Ayres, 1859), in the southern Gulf of California, Mexico. *Journal of Fisheries and Aquatic Science.* 6: 141–150.
- Espinoza M., Cappel M., Heupel M.R., Tobin A.J., Simpfendorfer C.A. 2014. Quantifying shark distribution patterns and species-habitat associations: implications of marine park zoning. *PloS one.* 9(9).
- Essington T., Schindler D., Olson R., Kitchell J., Boggs C., Hilborn R. 2002. Alternative fisheries and the predation rate of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. *Ecol. Appl.* 12: 724–734.
- Estrada J.A., Rice A.N., Lutcavage M.E., Skomal G.B. 2003. Predicting trophic position of sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom.* 83: 1347–1350.

- Estrada J.A., Rice A.N., Natanson L.J., Skomal G.B. 2006. Use of isotopic analysis of vertebrae in reconstructing ontogenetic feeding ecology in white sharks. *Ecology*. 87: 829–834.
- Ferrari A. & Ferrari A. 2002. *Sharks*. New York: Firefly Books. 158–159.
- Fisk A.T., Tittlemier S.A., Pranschke J.L., Norstrom R.J. 2002. Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of Greenland sharks. *Ecology*. 83: 2162–2172.
- France R.L. 1995. Differentiation between littoral and pelagic food webs in lakes using carbon isotopes. *Limnology and Oceanography*. 40: 1310–1313.
- Frank K.T., Petrie B., Choi J.S., Leggett W.C. 2005. Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science*. 308: 1621–1623.
- Frías-Espéricueta M.G., Cárdenas-Nava N.G., Márquez-Farías J.F., Osuna-López J.I., Muy-Rangel M.D., Rubio-Carrasco W., Voltolina D. 2014. Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in female and embryonic pacific sharpnose shark (*Rhizoprionodon longurio*) tissues. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 93(5): 532-535.
- Frías-Espéricueta M.G., Zamora-Sarabia F.K., Márquez-Farías J.F., Osuna-López J.I., Ruelas-Inzunza J., Voltolina D. 2015. Total mercury in female Pacific sharpnose sharks *Rhizoprionodon longurio* and their embryos, Mercurio total en hembras del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* y en sus embriones. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 43(3): 534.
- Froeschke J., Stunz G.W., Wildhaber M.L. 2010. Environmental influences on the occurrence of coastal sharks in estuarine waters. *Marine Ecology Progress Series*. 407: 279-292.
- Fry B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science & Business Media. New York.
- Furlong-Estrada E., Tovar-Ávila J., Pérez-Jiménez J.C., Ríos-Jara E. 2015. Resiliencia de *Sphyrna lewini*, *Rhizoprionodon longurio* y *Carcharhinus falciformis* en la entrada del golfo de California después de tres décadas de explotación. *Ciencias marinas*. 41(1): 49-63.
- Furukawa S., Kawabe R., Ohshimo S., Fujioka K., Nishihara G.N., Tsuda Y., Aoshima T., Kanehara H., Nakata H. 2011. Vertical movement of dolphinfish

- Coryphaena hippurus* as recorded by acceleration data-loggers in the northern East China Sea. *Environ. Biol. Fish.* 92: 89–99.
- Furukawa S., Tsuda Y., Nishihara G.N., Fujioka K., Ohshimo S., Tomoe S., Nakatsuka N., Kimura H., Aoshima T., Kanehara H., Kitagawa T., Chiang W.C., Nakata H., Kawabe R. 2014. Vertical movements of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) relative to the thermocline in the northern East China Sea. *Fish. Res.* 149: 86–91.
- Gannes L.Z., O'Brien D.M., Martínez del Rio C. 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. *Ecology.* 78: 1271–1276.
- García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Koopen. Instituto de Geofísica. UNAM. México. 246.
- García S.M., Zerbi A., Aliaume C., Do-Chi T., Lasserre G. 2003. Fisheries Management. 2. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. Rome: FAO.
- Gerking S.D. 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press. E.U.A. 416.
- Graham B.S., Koch P., Newsome S., McMahon K.W., Aurioles D. 2010. Using isoscapes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems. *Isoscapes: Understanding movement, pattern and processes on Earth through isotope mapping.* New York, NY: Springer. 299-318.
- Gray C.A., Kingsford M.J. 2003. Variability in thermocline depth and strength, and relationships with vertical distributions of fish larvae and mesozooplankton in dynamic coastal waters. *Marine Ecology Progress Series.* 247: 211-224.
- Grubbs R.D. 2010. Ontogenetic shifts in movements and habitat use. *Sharks and their relatives II: biodiversity, adaptive physiology, and conservation.* CRC Press. Boca Raton. 319–350.
- Gruber S.H., Nelson D.R., Morrissey J.F. 1988. Patterns of activity and space utilization of lemon sharks, *Negaprion brevirostris* in a shallow Bahamian lagoon. *Bull. Mar. Sci.* 43: 61-76.
- Hamilton W.J. & Watt K.E. 1970. Refuging. *Annu Rev Ecol Syst.* 1(1): 263–287.

- Harvey C.J. & Kitchel J.F. 2000. A stable isotope evaluation of structure and spatial heterogeneity of a lake, superior food web. *Can. J. fish and Aqua. Sci.* 57: 1395–1403.
- Hearn A., Ketchum J., Klimley A.P., Espinoza E., Peñaherrera C. 2010. Hotspots within hotspots? Hammerhead shark movements around Wolf Island, Galapagos Marine Reserve. *Marine Biology*. 157(9): 1899-1915.
- Heithaus M.R., Frid A., Wirsing A.J., Worm B. 2008. Predicting ecological consequences of marine top predator declines. *Trends in Ecology & Evolution*. 23(4): 202-210.
- 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. CICIMAR-IPN. La Paz.
- Hernández-Tlapale C., Ketchum J.T., Marín-Enríquez E., Muhlia-Melo A. 2015. Horizontal and vertical movements of the common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in La Paz Bay, Mexico, Movimientos horizontales y verticales del dorado (*Coryphaena hippurus*) en la bahía de La Paz, México. *Ciencias Marinas*. 41(4): 283-295.
- Heupel M. & C. Simpfendorfer. 2002. Estimation of mortality of juvenile blacktip sharks, *Carcharhinus limbatus*, within a nursery area using telemetry data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59(4): 624–632.
- Heupel M.R., Simpfendorfer C.A., Hueter R.E. 2004. Estimation of shark home ranges using passive monitoring techniques. *Environ Biol Fishes*. 71: 135–142.
- Heupel M.R. & Simpfendorfer C.A. 2005. Quantitative analysis of aggregation behavior in juvenile blacktip sharks. *Marine Biology*. 147: 1239-1249.
- Heupel M., Carlson J., Simpfendorfer C. 2007. Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 337: 287–297.
- Heupel M.R. & Simpfendorfer C.A. 2014. Importance of environmental and biological drivers in the presence and space use of a reef-associated shark. *Marine Ecology Progress Series*. 496: 47-57.

- Hobson K.A. & Clark R.G. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes 2. Factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor*. 94: 189–197.
- Hobson K.A., Alisauskas R.T., Clarke R.G. 1993. Stable nitrogen isotope enrichment in avian-tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analyses of diet. *Condor*. 95: 388–394.
- Hobson K.A., Ambrose W.G.Jr. Renaud P.E. 1995. Sources of primary production, benthic–pelagic coupling, and trophic relationships within the Northeast Water Polynya: insights from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 128: 1–10.
- Hobson K.A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecología*. 120: 314–326.
- Hobson K.A., Barnett-Johnson R., Cerling T. 2010. Using isoscapes to track animal migrations. *Isoscapes: Understanding movement, pattern and processes on Earth through isotope mapping*. New York. Springer. 273-298.
- Holland K.N., Brill R.W., Chang R.K.C. 1990a. Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sport fishing gear. *Fish Bull US*. 88: 397-402.
- Holland K.N., Brill R.W., Chang R.K.C. 1990b. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fish Bull US*. 88: 493-507.
- Holland K.N., Wetherbee B.W., Peterson J.D., Lowe C.G. 1993. Movements and distribution of hammerhead pups on their natal grounds. *Copeia*. 1993: 495–502.
- Holzwarth S.R., DeMartini E.E., Schroeder R.E., Zgliczynski B.J., Laughlin J.L. 2006. Sharks and jacks in the Northwestern Hawaiian Islands from towed-diver surveys 2000-2003. *Atoll Research Bulletin*. 543: 257-303.
- Hoyos-Padilla E.M. 2001. Las áreas de crianza de tiburones en Caribe y Golfo de México, con un enfoque especial en la Laguna de Yalahau, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. D.F. 90.

- Hoyos-Padilla E.M., Ketchum J.T., Klimley A.P., Galván-Magaña F. 2014. Ontogenetic migration of a female scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Gulf of California. *Animal Biotelemetry*. 2: 17.
- Hueter R.E. 1994. Bycatch and catch-release mortality of small sharks in the gulf coast nursery grounds of Tampa Bay and Charlotte Harbor. Final report. 183.
- Hueter R.E., Castillo-Géniz J.L., Márquez-Farías J.F., Tyminski J.P. 2007. The use of Laguna Yalahau, Quintana Roo, Mexico as a primary nursery for the blacktip shark. *American Fisheries Society Symposium*. 50: 345.
- Hussey N.E., Brush J., McCarthy I.D., Fisk A.T. 2010. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ diet–tissue discrimination factors for large sharks under semi-controlled conditions. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 155(4): 445-453.
- Hussey N.E., Dudley S.F.J., McCarthy I.D., Cliff G., Fisk A.T. 2011. Stable isotope profiles of large marine predators: viable indicators of trophic position, diet and movement in sharks? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 68: 2029–2045.
- Hussey N.E., MacNeil M.A., Olin J.A., McMeans B.C., Kinney M.J., Chapman D.D., Fisk A.T. 2012a. Stable isotopes and elasmobranchs: tissue types, methods, applications and assumptions. *Journal of Fish Biology*. 80(5): 1449-1484.
- Hussey N.E., McCann H., Cliff G., Dudley S.F.J., Wintner S.P., Fisk A.T. 2012b. Size-based analysis of the diet and trophic position of the white shark (*Carcharodon carcharias*) in South African waters. En: Domeier M.L. (ed) *Global Perspectives on the Biology and Life History of the Great White Shark*. CRC Press. Boca Raton, FL. 27–49.
- Hussey N.E., Olin J.A., Kinney M.J., McMeans B.C., Fisk A.T. 2012c. Lipid extraction effects on stable isotope values ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of elasmobranch muscle tissue. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 434: 7-15.
- INEGI. 1994. Aspectos oceanográficos de Baja California Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Sru. México. 30.
- Instituto Nacional de Pesca. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: evaluación y manejo. Informe. México.

- Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER-Stable isotope Bayesian ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*. 80: 595–602.
- Jaeger A., Blanchart P., Richard P., Cherel Y. 2009. Using carbon and nitrogen isotopic values of body feathers to infer inter and intra-individual variations of seabird feeding ecology during moult. *Mar. Biol.* 156(6): 1233-1240.
- Jiménez-Illescas A.R., Obeso-Nieblas M., Salas-de León D.A. 1997. Oceanografía física de la Bahía de la Paz, BCS. En: Ramírez-Urbán J. & Ramírez-Rodríguez M. (eds). *La Bahía de La Paz, Investigaciones y Conservación*. UABCS. 345.
- Jiménez A, Marinone S.G., Parés-Sierra A. 2005. Efectos de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* 31: 357–368.
- Jones R. 1979. Materials and methods used in marking experiments in fishery research. *FAO. Fish Tech. Pap.* 190: 134.
- Kato S. & Hernández C. 1967. Shark tagging in the Eastern Pacific Ocean, 1962–1965. *Sharks, skates and rays*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore. 93–109.
- Ketchum J.T., Galván-Magaña F., Klimley A.P. 2013. Segregation and foraging ecology of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the southwestern Gulf of California. *Environ Biol Fish.* 96(6): 779-795.
- Ketchum J.T., Hearn A., Klimley A.P., Peñaherrera C., Espinoza E., Bessudo S., Arauz R. 2014a. Inter-island movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) and seasonal connectivity in a marine protected area of the eastern tropical Pacific. *Mar Biol.* 161(4): 939-951.
- Ketchum J.T., Hearn A., Klimley A.P., Espinoza E., Peñaherrera C., Largier J.L. 2014b. Seasonal changes in movements and habitat preferences of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) while refuging near an oceanic island. *Mar. Biol.* 161: 755–767.
- Kim S.L. & Koch P.L. 2012. Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis. *Environ Biol Fish.* 95(1): 53-63.

- Kim S.L., Casper D.R., Galván-Magaña F., Ochoa-Díaz R., Hernández-Aguilar S. B., Koch P.L. 2012a. Carbon and nitrogen discrimination factors for elasmobranch soft tissues based on a long-term controlled feeding study. *Environ Biol Fish.* 95(1): 37-52.
- Kim S.L., Del Rio C.M., Casper D., Koch P.L. 2012b. Isotopic incorporation rates for shark tissues from a long-term captive feeding study. *Journal of Experimental Biology.* 215(14): 2495-2500.
- Kinney M.J., Hussey N.E., Fisk A.T., Tobin A.J. Simpfendorfer C.A. 2011. Communal or competitive: stable isotope analysis provides evidence of resource partitioning within a communal shark nursery. *Marine Ecology Progress Series.* 439: 263–276.
- Kitchell J.F., Essington T.E., Boggs C., Schindler D.E., Walters C. 2002. The role of sharks and longline fisheries in a pelagic ecosystem of the central pacific. *Ecosystems.* 5: 202–216.
- Klimley A.P. & Nelson D.R. 1984. Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: a refuging central position social system. *Behav. Ecol Sociobiol.* 15: 45–54.
- Klimley A.P. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environ Biol Fish.* 18: 27–40.
- Klimley A.P., Butler S.B., Nelson D.R., Stull A.T. 1988. Diel movements of scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini* Griffith & Smith, to and from a seamount in the Gulf of California. *Journal of fish biology.* 33(5): 751-761.
- Klimley A.P., Castillo-Géniz J.L., Cabrera Mancilla I. 1993. Descripción de los movimientos horizontales y verticales del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, del sur del golfo de California, México. *Ciencias marinas.* 19(1).
- Klimley A.P., Kihlsinger R.L., Kelly J.T. 2005. Directional and non-directional movements of bat rays, *Myliobatis californica*, in Tomales Bay, California. *Environ Biol Fish.* 74(1): 79-88.
- Knip D.M., Heupel M.R., Simpfendorfer C.A. 2010. Sharks in nearshore environments: models, importance, and consequences. *Marine Ecology Progress Series.* 402: 1-11.

- Koch P.L. 2007. Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell Publishing. 2: 99–154.
- Krebs C.J. 1985. Ecología: Estudio de la distribución y abundancia. 2ª ed. Harla. México. Pacific Coast, México to Ecuador. Sea Challengers, Monterey. US. 753.
- Kurle C.M. & Worthy G.A.J., 2001. Stable isotope assessment of temporal and geographic differences in feeding ecology of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their prey. *Oecologia*. 126: 254–265.
- Lande R. & Wood A.M. 1987. Suspension times of particles in the upper ocean. *Deep-Sea Res Part I*. 34: 61–72.
- Langton R.W. 1982. Diet overlap between the Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis*, and fifteen other northwest Atlantic finfish. U.S. National Marine Fisheries Service. Fishery Bulletin. 80: 754-759.
- Laube-Lenfant E. & Pierre C. 1996. Variability of ^{13}C of ΣCO_2 in ocean waters of the Equatorial Pacific. *Oceanographic Literature Review*. 2(43): 127.
- Lavín M.F., Marinone S.G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics*. Springer Netherlands. 173-204.
- Legare B., Kneebone J., DeAngelis B., Skomal G. 2015. The spatiotemporal dynamics of habitat use by blacktip (*Carcharhinus limbatus*) and lemon (*Negaprion brevirostris*) sharks in nurseries of St. John, United States Virgin Islands. *Marine Biology*. 162: 699-716.
- Logan J.M. & Lutcavage M.E. 2010. Stable isotope dynamics in elasmobranch fishes. *Hidrobiología*. 644: 231–244.
- López-García L.I. 2006. Edad y crecimiento del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) en Mazatlán, Sinaloa. Tesis profesional. UNAM. México. 53.
- Lowe C.G., Wetherbee B.M., Crow G.L., Tester A.L. 1996. Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in Hawaiian waters. *Environ Biol Fish*. 47: 203–211.

- Lowe C.G. 2002. Bioenergetics of free-ranging juvenile scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in Kane'ohe Bay, O'ahu. *Exp Mar Biol Ecol.* 278: 141–156.
- MacAvoy S.E., Macko S.A., Garman G.C. 2001. Isotopic turnover in aquatic predators: quantifying the exploitation of migratory prey. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 58: 923–932.
- MacNeil M.A., Skomal G.B., Fisk A.T. 2005. Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. *Marine Ecology Progress Series.* 302: 199-206.
- MacNeil M.A., Drouillard K.G., Fisk A.T. 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 63(2): 345-353.
- Magnuson J.J. 1979. 4 Locomotion by Scombrid fishes: hydromechanics, morphology, and behavior. *Fish physiology.* 7: 239-313.
- Márquez-Farías J.F. 2002. The artisanal ray fishery in the Gulf of California: development, fisheries research, and management issues. IUCN Shark Specialist Group. *Shark News.* 14: 1-5.
- Márquez-Farías J.F., Corro-Espinosa D., Castillo-Géniz L. 2005. Observations on Biology of *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) captured in Southern Sinaloa, Mexico. *J. North. Atl. Fish. Sci.* 55(1): 107-114.
- Martínez del Rio C., Wolf N., Carleton S.A., Gannes L.Z. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biol Rev.* 84: 91–111.
- Martínez-López A., Cervantes-Duarte R., Reyes-Salinas A., Valdez-Holguín J.E. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, BCS, México. *Hidrobiológica.* 11(1): 45-52.
- Matich P., Heithaus M.R., Layman C.A. 2010a. Contrasting patterns of individual specialization and trophic coupling in two marine apex predators. *Journal of Animal Ecology.* 80: 294–305.
- Matich P., Heithaus M.R., Layman C.A. 2010b. Size-based variation in intertissue comparisons of stable carbon and nitrogen isotopic signatures of bull sharks

- (*Carcharhinus leucas*) and tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 67: 877–885.
- McElroy W.D., Wetherbee B.M., Mostello C.S., Lowe C.G., Crow G.L., Wass C. 2006. Food habits and ontogenetic changes in the diet of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in Hawaii. Environ Biol Fish. 76: 81–92.
- McMeans B.C., Olin J.A., Benz G.W. 2009. Stable isotope comparisons between embryos and mothers of a placental shark species. Journal of Fish Biology. 4: 1061–1063.
- Meek A. 1916. The migrations of fish. Edward Arnold. Londres. 427.
- Mejía-Salazar L.A. 2007. Biología reproductiva del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert 1882) en el Pacífico mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. 67.
- Méndez-Da Silveira E.D. 2015. Composición isotópica de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en tejidos de tiburones de la Costa Occidental de Baja California Sur.
- Merten W., Appeldoorn R., Rivera R., Hammond D. 2014. Diel vertical movements of adult male dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic as determined by use of pop-up satellite archival transmitters. Mar. Biol. 161: 1823–1834.
- Minagawa M., & Wada E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. Geochemical et Cosmochemical Acta. 48(5): 1135-1140.
- Morrissey J.F. & Gruber S.H. 1993. Habitat selection by juvenile lemon sharks, *Negaprion brevirostris*. Environ Biol Fish. 38(4): 311-319.
- Muntaner-López G. 2016. Movement patterns and habitat use of the silver tip shark ("*Carcharhinus albimarginatus*") at the Revillagigedo Archipelago. Tesis de licenciatura. Gran Canaria. 24.
- Muratalla-Torres. 2008. Hábitos alimenticios del tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1842) en la costa de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de licenciatura. UAM. México. 70.

- Myers R.A., Baum J.K., Shepherd T.D., Powers S.P., Peterson C.H. 2007. Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science*. 315: 1846–1850.
- Nathan R., Getz W.M., Revilla E., Holyoak M., Kadmon R., Saltz D., Smouse P.E. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 105: 19052–19059.
- Nelson D.R. & Johnson R.H. 1980. Behavior of the reef sharks of Rangiroa, French Polynesia. *National Geographic Research Report*. 12: 479–499.
- Nelson J.S. 2006. *Fishes of the World*. 4th ed. Hoboken. New Jersey. John Wiley & Sons. 601.
- Newsome S.D., Martínez del Río C., Bearhop S., Phillips D.L. 2007. A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5: 429–436.
- Newsome S.D., Tinker M.T., Monson D.H., Oftedal O.T., Ralls K., Staedler M.M., Fogel M.L., Estes J.A. 2009. Using stable isotopes to investigate individual diet specialization in California sea otters (*Enhydra lutris nereis*). *Ecology*. 90: 961–974.
- Obeso-Nieblas M. & Jiménez-Illescas- A.R. 1989. Propagación de la constituyente M2 de la marea en la Bahía de La Paz, B.C.S., mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. *Inv. Mar. CICIMAR-IPN*. 4(2): 241-256.
- Obeso-Nieblas M. 2003. Variabilidad espacio-temporal de las condiciones oceanográficas de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis Doctoral. CICIMAR-IPN. La Paz. 94.
- Obeso-Nieblas M., Shirasago-German B., Sánchez-Velasco L., Gaviño-Rodríguez J.H. 2004. Hydrogeographic variability in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico during the 1997-1998 El Niño. *Depp Sea Research II*. 51: 689-170.
- Ochoa-Díaz R. 2009. Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: Aplicación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz.
- Olin J.A., Hussey N.E., Fritts M., Heupel M.R., Simpfendorfer C.A., Poulakis G.R., Fisk A.T. 2011. Maternal meddling in neonatal sharks: implication for

- interpreting stable isotopes in young animals. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 25: 1008–1016.
- Olson R.J., Popp B.N., Graham B.S., López-Ibarra G.A., Galván-Magaña F., Lennert-Cody C.E., Bocanegra-Castillo N., Wallsgrove N.J., Gier E., Alatorre-Ramírez V., Balance L.T., Fry B. 2010. Food-web inferences of stable isotope spatial patterns in copepods and yellowfin tuna in the pelagic eastern Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*. 86: 124–138.
- Osuna-Peralta Y.R., Voltolina D., Morán-Angulo R.E., Márquez-Farías J.F. 2014. Stomach contents of the Pacific sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio* (Carcharhiniformes, Carcharhinidae) in the southeastern Gulf of California, Contenido estomacal del cazón bironche del Pacífico, *Rhizoprionodon longurio* (Carcharhiniformes, Carcharhinidae) en el sector suroriental del Golfo de California. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 42(3): 438.
- Pace M.L., Cole J.J., Carpenter S.R., Kitchell J.F. 1999. Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*. 14: 483–488.
- Paine R.T. 1984. Ecological determinism in the competition for space. *Ecology*. 65: 1339–1348.
- Papastamatiou Y.P., Lowe C.G., Caselle J.E., Friedlander A.M. 2009. Scale-dependent effects of habitat on movements and path structure of reef sharks at a predator dominated atoll. *Ecology*. 90: 996–1008.
- Papastamatiou Y.P., Friedlander A.M., Caselle J.E., Lowe C.G. 2010. Long term movement patterns and trophic ecology of blacktip reef sharks (*Carcharhinus melanopterus*) at Palmyra Atoll. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 386: 94–102.
- Pérez-Jiménez J.C., Sosa-Nishizaki O., Furlong-Estrada E., Corro-Espinosa D., Venegas-Herrera A., Barragán-Cuencas O.V. 2005. Artisanal shark fisheries at “Tres Marías” islands and Isabel Island in the Central Mexican Pacific. *North. Atl. Fish. Sci.* 35: 333-343.
- Pinnegar J.K. & Polunin N.V.C. 1999. Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Funct Ecol*. 13: 225–231.

- Pinnegar J.K., Jennings S., O'Brien C.M., Polunin N.V.C. 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of applied ecology*. 39(3): 377-390.
- Polo-Silva C.J., Baigorri-Santacruz A., Galván-Magaña F., Grijalba-Benedeck M., Sanjuan-Muñoz A. 2007. Hábitos alimentarios del tiburón zorro *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839), en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 42(1): 59–69.
- Polo-Silva C J., Galván-Magaña F., Delgado-Huertas A. 2012. Trophic inferences of blue shark (*Prionace glauca*) in the Mexican Pacific from stable isotope analysis in teeth. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 26(14): 1631-1638.
- Ponsard S. & R. Arditi. 2000. What can stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) tell about the food web of soil macroinvertebrates? *Ecology*. 81: 852–864.
- Post D.M., Pace M.L., Hairston N.G. 2000. Ecosystem size determines food-chain length in lakes. *Nature*. 405(6790): 1047-1049.
- Post D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83(3): 703-718.
- Post D.M., Layman C.A., Arrington D.A., Takimoto G., Quattrochi J., Montana C.G. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*. 152: 179–189.
- Queiroz N, Humphries N.E., Noble L.R., Santos A.M., Sims D.W. 2012. Spatial dynamics and expanded vertical niche of blue sharks in oceanographic fronts reveal habitat targets for conservation. *PloS one*. 7(2).
- R Development Core Team. 2016. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: www.R-project.org.
- Renones O., Polunin N.V.C., Goni R. 2002. Size related dietary shifts of *Epinephelus marginatus* in a western Mediterranean littoral ecosystem: an isotope and stomach content analysis. *J Fish Biol*. 61: 122–137.

- Robbins C.T., Felicetti L.A., Sponheimer M. 2005. The effects of dietary protein quality on nitrogen isotope discrimination in mammals and birds. *Oecologia*. 144: 534–540.
- Robbins R.L. 2007. Environmental variables affecting the sexual segregation of great white sharks *Carcharodon carcharias* at the Neptune Islands, South Australia. *J Fish Biol.* 70: 1350–1364.
- Robbins C.T., Felicetti L.A., Florin S.T. 2010. The impact of protein quality on stable nitrogen isotope ratio discrimination and assimilated diet estimation. *Oecologia*. 16: 571–579.
- Rodríguez Arana-Favela J.P. 2015. Relación empírica entre la abundancia del calamar gigante *Dosidicus gigas*, tiburones y factores ambientales en el Golfo de California. Tesis de licenciatura. UABCS. La Paz. 90.
- Rodríguez-García H. 1986. Contribución al estudio de la pesquería del tiburón en la zona sur del estado de Sinaloa (Mazatlán). UAS. Mazatlán.
- Rubenstein D.R. & Hobson K.A. 2004. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology and Evolution*. 19: 256–263.
- Robertson D.R. & G.R. Allen. 2002. Shore fishes of the tropical Eastern Pacific: an information system. Smithsonian Tropical Research Institute. Balboa, Panamá.
- Salomón-Aguilar C.A., Villavicencio-Garayzar C.J., Reyes-Bonilla H. 2009. Zonas y temporadas de reproducción y crianza de tiburones en el Golfo de California. Estrategia para su conservación y manejo pesquero. *Ciencia Marinas*. 35(4): 369-388.
- Saucedo C.J.B., Colado G., Martínez J.G., Burgos S., Chacón J.G., Espinoza J. 1982. Contribución al estudio de la pesquería del tiburón en la zona del estado de Sinaloa. Memoria de Servicio Social. Escuela de Ciencias del Mar, UAS. México. 60.
- Schaefer K.M., Fuller D.W., Block B.A. 2011. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including unscented Kalman filtering. *Fish. Res.* 112: 22–37.

- SEMARNAP. 2000. Ley General de Vida Silvestre. México. D.F. 3.
- Simpfendorfer C. & Milward N. 1993. Utilization of a tropical bay as a nursery area by sharks of the families Carcharhinidae and Sphyrnidae. *Environ Biol Fish* 37: 337–345.
- Simpfendorfer C.A., Goodreid A.B., McAuley R.B. 2001. Size, sex and geographic variation in the diet of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, from Western Australian waters. *Environ Biol Fish*. 61: 37–46.
- Simpfendorfer C.A., Heupel M.R. 2012. Assessing habitat use and movement. *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press. Boca Raton. 579–601.
- Sims D.W., Nash J.P., Morritt D. 2001. Movements and activity of male and female dogfish in a tidal sea lough: alternative behavioral strategies and apparent sexual segregation. *Mar Biol*. 139: 1165–1175.
- Sims D.W. 2005. Differences in habitat selection and reproductive strategies of male and female sharks. *Sexual segregation in vertebrates: ecology of the two sexes*. Cambridge University Press, Cambridge.UK. 127–147.
- Smith S.E., Au D.W., Show C. 1999. Intrinsic rebound potentials of 26 species of Pacific sharks. *Mar. Fresw. Res*. 49: 663-678.
- Snelson F.F., Mulligan T.J., Williams S.E. 1984. Food habits, occurrence, and population structure of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons. *Bull Mar. Sci*. 34: 71-80.
- Speed C.W., Field I.C., Meekan M.G., Bradshaw C.J.A. 2010. Complexities of coastal shark movements and their implications for management. 408: 275-293.
- Speed C.W., Meekan M.G., Field I.C., McMahon C.R., Stevens J.D., McGregor F., Bradshaw C.J. 2011. Spatial and temporal movement patterns of a multi-species coastal reef shark aggregation. *Marine Ecology Progress Series*. 429: 261-275.
- Springer S. 1960. Natural history of the sandbar shark, *Eulamia milberti*. *U.S. Fish. Bull*. 61: 1-38.
- Springer S. 1967. Social Organization of shark populations. *Sharks, Skates and Ray*, John Hopkins press. Baltimore. 149-174.

- Stevens J.D., Bonfil R., Dulvy N.K., Walker P.A. 2000. The effects of fishing on sharks, rays, and chimeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES J Mar Sci.* 57: 476–494.
- Stone B., Bailey C., McLaughlin A., Mace M., Schulze M. 1998. Federal management of Atlantic shark fisheries. *Fish. Res.* 39: 215–221.
- Syväranta J., & Rautio M. 2010. Zooplankton, lipids and stable isotopes: importance of seasonal, latitudinal, and taxonomic differences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 67(11): 1721-1729.
- Tavares R. 2010. Preliminary results from tag-recapture procedures applied to lemon sharks, *Negaprion brevirostris* (Poey 1868), at Los Roques Archipelago, Venezuela.
- Thunell R., Moore W., Dymond J., Pilskaln C. 1997. Estimation of f-ratios in oceans based on phytoplankton size structure. *Deep-sea res.* 2(43): 1309-1338.
- Tieszen L.L., Boutton T.W., Tesdahl K.G., Slade N.A. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia.* 57: 32–37.
- Towner A.V., Underhill L.G., Jewell O.J.D., Smale M.J. 2013. Environmental Influences on the Abundance and Sexual Composition of White Sharks *Carcharodon carcharias* in Gansbaai, South Africa. *PloS one.* 8(8).
- Trowbridge C.D. 1991. Diet specialization limits herbivorous sea slug's capacity to switch among food species. *Ecology.* 72(5): 1880–1888.
- Vander-Zanden M.J., Cabana G., Rasmussen J.B. 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) and literature dietary data. *Can J Fish Aquat Sci.* 54: 1142–1158.
- Vander-Zanden M.J. & Rasmussen J.B. 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.
- Villavicencio-Garayzar C.J., Mariano-Meléndez E., Downton-Hoffmann C. 1997. Tiburones capturados en La Bahía de La Paz, B. C. S. La Bahía de La Paz. Investigación y conservación. UABCS, CICIMAR, SCRIPPS. México. 201-236.

- Wada E., Mizutani H., Minagawa M. 1991. The use of stable isotopes for food web analysis. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 30: 361–371.
- Walker T. 1992. Fishery simulation model for sharks applied to the gummy shark, *Mustelus antarticus* Gunther, from southern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 43: 195–212.
- Wearmouth V.J. & Sims D.W. 2008. Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: behavior patterns, mechanisms and conservation implications. *Advances in marine biology.* Elsevier, Plymouth. 54: 107-170
- White W.T. & Potter I.C. 2004. Habitat partitioning among four elasmobranch species in nearshore, shallow waters of a subtropical embayment in Western Australia. *Marine Biology.* 145: 1023-1032.
- Whitehead P.J.P. 1985. FAO Species Catalogue. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Fish. Synop. Rome. 125(7/1): 1-303.
- Whitney N.M., Pyle R.L., Holland K.N., Barcz J.T. 2012. Movements, reproductive seasonality, and fisheries interactions in the whitetip reef shark (*Triaenodon obesus*) from community-contributed photographs. *Environ Biol of Fish.* 93: 121-136.
- Wood C.M., Kajimura M., Mommsen T.P., Walsh P.J. 2005. Alkaline tide and nitrogen conservation after feeding in an elasmobranch (*Squalus acanthias*). *J Exp Biol.* 208: 2693–2705.
- Worm B. & Myers R.A. 2003. Meta-analysis of cod–shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. *Ecology.* 84: 162–173.
- Yates P.M., Heupel M.R., Tobin A.J., Simpfendorfer C A. 2015. Spatio-temporal occurrence patterns of young sharks in tropical coastal waters. *Estuaries and Coasts.* 38: 2019-2030.

Anexo 1. Cartel de recompensa de la recaptura

ATENCIÓN PESCADORES ¡RECOMPENSA!

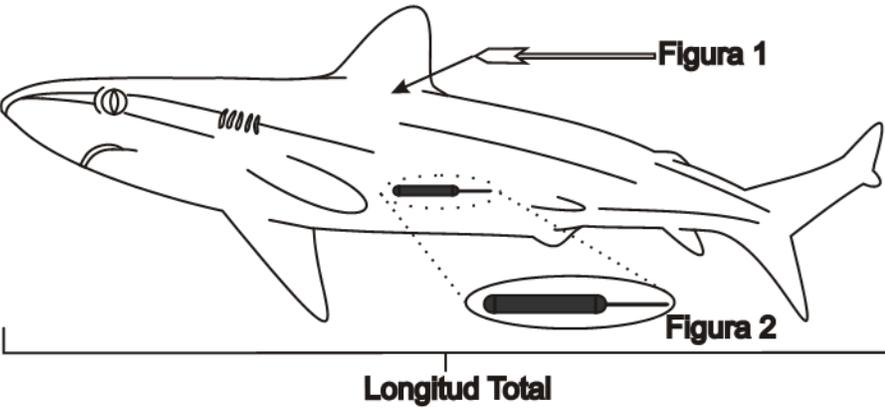


Figura 1

Figura 2

Longitud Total

Se está llevando a cabo marcaje de diferentes especies de tiburones en la Bahía de La Paz, como parte de un proyecto de investigación del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) y Pelagios Kakunjá, A.C.

Si usted captura a un tiburón que tenga adherido un filamento de plástico (Figura 1), guarde el filamento y registre lo siguiente: localidad donde lo capturó, longitud total aproximada del tiburón y la fecha. Si el tiburón se encuentra con vida, no arranque el filamento, solo tome una foto al código que tiene el filamento y puede liberar al tiburón. Llame inmediatamente al 044-612-127-0143 con el Dr. Felipe Galván o al 044-612-148-1805 con el Dr. James Ketchum.

Por cada filamento o fotografía con la información requerida se dará una recompensa de \$100 pesos. En caso de encontrar también una marca con una antena en el tiburón (Figura 2) u otra en su interior, comuníquelo en su llamada.

¡¡Gracias por su colaboración!!

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S.
Pelagios Kakunjá, A.C., Cuauhtémoc 155, Col. El Manglito, La Paz, B.C.S.