INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

CICLO REPRODUCTIVO DEL MARLIN RAYADO (*Kajikia audax*) EN CABO SAN LUCAS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

HERIBERTO SEVILLA RODRÍGUEZ

LA PAZ, B.C.S., MAYO DE 2013

SIP-14 BIS

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 **10** del mes de **Abril** del **2012** 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:

"CICLO REPRODUCTIVO DEL MARLIN RAYADO (*Kajikia audax*) EN CABO SAN LUCAS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

SEVILLA	**RODRÍGUEZ**	**HERIBERTO**
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

A	1	1	0	4	5	9

Aspirante de:

MAESTRÍA 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

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA
Directora de Tesis

DRA. MARCELA SELENE ZÚÑIGA FLORES
2º. Directora de Tesis

DR. RUBÉN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

DR. GERMÁN PONCE DÍAZ

DRA. CARMEN RODRÍGUEZ JARAMILLO

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ

PODER EJECUTIVO FEDERAL
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 **22** del mes **Abril** del año **2013**
el (la) que suscribe **BIÓL. HERIBERTO SEVILLA RODRÍGUEZ** alumno(a) del
Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**
con número de registro **A110459** adscrito al **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA Y DRA. MARCELA SELENE ZÚÑIGA FLORES
y cede los derechos del trabajo titulado:

"CICLO REPRODUCTIVO DEL MARLIN RAYADO (*Kajikia audax*)
EN CABO SAN LUCAS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: silenthers@hotmail.com - sortega@ipn.mx - mselene@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. HERIBERTO SEVILLA RODRÍGUEZ
nombre y firma

ÍNDICE

Lista de figuras III
Lista de tablas V
Glosario VI
Resumen IX
Abstract X
1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 5
3. JUSTIFICACIÓN 9
4. OBJETIVOS 10
5. MATERIALES Y MÉTODOS 11
5.1 Origen de la información 11
5.2 Estructura y composición de las capturas 12
5.2.2 Proporción sexual (PS) 12
5.3 Indicadores de reproducción 13
5.3.1 Índice gonadosomático 13
5.3.2 Factor de condición 13
5.4 Tratamiento histológico 14
5.5 Establecimiento de las categorías gametogénicas y los estadios de desarrollo gonadal 15
5.6 Ciclo reproductivo 18
5.7 Fecundidad parcial 18
5.8 Talla de primera madurez individual y poblacional 19
5.9 Temperatura superficial del mar 20
6. RESULTADOS 21
6.1 Estructura de la población 21
6. 2 Indicadores de reproducción 23
6.2.1 Proporción sexual 23

6.2.2 Índice gonadosomático 28
6.2.3 Factor de condición 30
6.3 Ciclo reproductivo 32
6.4 Fecundidad parcial 34
6.5 Talla de primera madurez individual y poblacional 35
7. DISCUSIÓN 36
7.1 Muestreo 36
7.2 Indicadores de reproducción 37
7.2.1 Proporción sexual 37
7.2.2 Índice gonadosomático 38
7.2.3 Factor de condición 39
7.3 Ciclo reproductivo y su relación con la temperatura superficial del mar 40
7.4 Fecundidad parcial 41
7.5 Talla de primera madurez individual y poblacional 42
8. CONCLUSIONES 44
9. RECOMENDACIONES 46
10. BIBLIOGRAFÍA 47
ANEXO 1 53
Procedimiento de tinción Hematoxilina-Eosina 53

Lista de figuras

Figura 1. Marlin Rayado (*Kajikia audax*).....1
Figura 2. Representación esquemática de la Zona Económica Exclusiva de México, del área de 50 millas náuticas a lo largo de la costa del Pacífico mexicano reservada a la pesca deportiva (línea roja) (D.O.F., 09/05/1995), y de los dos polígonos de exclusión (líneas diagonales) para la protección de los picudos, uno en Baja California Sur y el otro en el Golfo de Tehuantepec. (D.O.F. 04/03/1994). 3
Figura 3. Mapa de Baja California Sur. El área sombreada representa aproximadamente las 30 millas náuticas de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas.....11
Figura 4. Secuencia del tratamiento histológico de las gónadas para la identificación y determinación del ciclo gonádico del marlin rayado.....14
Figura 5. Histograma de tallas para hembras y machos de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante los años 2009 (A) y 2010 (B) en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....21
Figura 6. Variación mensual de la mediana de la longitud maxilo-furcal por año tipo para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....22
Figura 7. Relación peso – longitud maxilo-furcal para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax)* capturado durante 2009-2010 en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....23
Figura 8. Número de muestras colectadas durante los dos años del muestreo 2009 (A) y 2010 (B) en marlín rayado (*Kajikia audax*) capturados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....24
Figura 9. Proporción sexual mensual en porcentaje de hembras y machos de marlín rayado (*Kajikia audax*) durante el año 2009 (A) y 2010 (B) y temperatura superficial del mar en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....26

Figura 10. Proporción sexual en porcentaje de machos y hembras por intervalo de talla de marlín rayado (*Kajikia audax*) durante el año 2009 (A) y 2010 (B) en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....28
Figura 11. Variación mensual de la mediana en un año tipo del índice gonadosomático (IGS) para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....29
Figura 12. Promedio mensual del Índice gonadosomatico (IGS) obtenido para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante 2009 y 2010 en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur. En los dos paneles se incluye la variación mensual de la temperatura superficial del mar en el área de estudio.....30
Figura 13. Variación mensual de la mediana en un año tipo del factor de condición (FC) para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....31
Figura 14. Promedio mensual del factor de condición (FC) obtenido para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante 2009 y 2010 en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur. En los dos paneles se incluye la variación mensual del índice gonadosomático.....32
Figura 15. Ciclo reproductivo basado en el análisis histológico de gónadas del marlín rayado (*Kajikia audax*) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante un año tipo representativo de los años 2009 y 2010. Donde (A) son machos y (B) hembras, desembarcados por la flota deportiva en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....34
Figura 16. Tallas de primera madurez sexual de machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.....35

Lista de tablas

Tabla 1. Etapas del desarrollo de los ovarios y subetapas de los oocitos de marlin rayado propuesto por Rodríguez-Jaramillo *et al*. (2007).....16

Tabla 2. Descripción de las estadios del desarrollo testicular de marlin rayado propuesto por Rodríguez-Jaramillo *et al*. (2007).....17

Tabla 3. Proporción sexual por mes de un año tipo y valor de ji cuadrada (** estadísticamente significativos).....25

Tabla 4. Proporción sexual por intervalo talla (mm) y valor de ji cuadrada (** estadísticamente significativos). La información incluye observaciones de los años 2009 y 2010.....27

Tabla 5. Número de gónadas por mes utilizados para establecer el ciclo reproductivo en los años 2009 y 2010…….....33

Tabla 6. Fecundidad parcial obtenida para las muestras que presentaron un grado de madurez mayor, por tamaño de oocitos y total de la muestra (oocitos de 500 y 1000 µm).....35

Glosario

Área núcleo: Zona de alta abundancia y disponibilidad de un recurso en cualquier época del año.

Atresia (reproducción): Proceso de células que están reabsorbiéndose, oocitos que no fueron desovados.

Captura incidental: Acto de atrapar organismos que no son el objetivo de la pesquería.

Ciclo reproductivo: Frecuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico a través del año y que en general es cíclico.

Depredador ápice: Organismos que no tienen depredadores, se encuentran encima de la cadena alimenticia.

Desarrollo asincrónico: Presencia simultánea de oocitos en todos los estadios de desarrollo.

Desove parcial: Se presentan varias puestas de huevos durante un periodo de desove.

Esfuerzo pesquero: Medida de intensidad de las operaciones de pesca. La definición del esfuerzo depende del tipo de pesquería (arte) y con frecuencia del tipo de información disponible.

Estrategia reproductiva: Es un complejo de tácticas reproductivas determinadas por el genotipo, pero además es un patrón general de la reproducción.

Factor de condición: Es una representación del estado nutricional del organismo.

Fases de desarrollo gonádico: Se refiere a la división artificial del proceso de maduración de las gónadas, en hembras y machos.

Fecundidad parcial: Es el número de huevos producidos en cada tanda, así la suma de las fecundidades parciales es la fecundidad real.

Fecundidad: Potencial reproductivo de un organismo o población, medido por el número de gametos.

Gametogénesis: Proceso mediante el cual se forman los gametos en la reproducción sexual. Puede ser difusa, cuando los gametos son producidos en el celoma y son expulsados por un gonóporo o localizada, cuando los

gametos son producidos en un órgano especial (ovario o testículo) y son expulsados por un conducto y un poro genital.

Gónada: Las gónadas (del griego *gone*: semilla), son los órganos reproductores de los animales que producen los gametos, o células sexuales. En los vertebrados también desempeñan una función hormonal, por lo cual también se les llama glándulas sexuales.

Histología: Ciencia que estudia todo lo relacionado con los tejidos orgánicos: su estructura microscópica, su desarrollo y sus funciones.

Índice gonadosomático: Índice que relaciona el peso de la gónada con el peso total del organismo, dado que este índice aumenta durante las épocas reproductivas.

Oocito: Célula germinal femenina que está en proceso de ser liberado por la gónada en cada desove.

Ovogénesis: Proceso de formación de los gametos femeninos.

Ovogonia: Célula germinal femenina que representa el primer estadio evolutivo de las células sexuales femeninas y que da lugar al oocito.

Pesca comercial: Es la actividad pesquera efectuada con fines de beneficio económico.

Reabsorción: Proceso mediante el cual se reabsorbe los gametos no desovados, dando lugar a atresias. En los oocitos, las células foliculares adquieren propiedades fagocitarias, reabsorbiendo el contenido del oocito.

Reclutamiento reproductivo: Número de individuos que ingresa a la población de una cierta categoría, suele ser tamaño o edad.

Tácticas reproductivas: Son aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos y sociales cuya finalidad es la reproducción y que varían dentro de ciertos límites; la talla de primera madurez, la talla de los gametos, el almacenamiento de reservas energéticas destinadas para la maduración del ovario, la temporalidad y la duración de la época de reproducción y la sincronización por señales ambientales, son solo algunas tácticas reproductivas.

Talla de primera madurez sexual: Edad a la cual un individuo se reproduce por primera vez.

Talla de primera madurez sexual poblacional: Talla a la que el 50% de los individuos de una población están maduros.

Tejido conjuntivo o conectivo: Tejido que se encuentra dentro y fuera de los folículos, rodeándolo; provee de soporte, transporte de nutrientes y sustrato para la diferenciación del tejido gonádico.

Vitelogénesis: Formación o producción de vitelo que se da cuando el oocito alcanza el estadio de diploteno, el vitelo es una mezcla de materiales proteicos utilizados para la nutrición embrionaria

Zona epipelágica: zona marina que tiene una profundidad de más de 200 m, es la más alejada de la costa, está constituida por: una zona fótica y una zona afótica que a su vez se divide en batial y abisal.

Resumen

La pesca deportiva de Cabo San Lucas, Baja California Sur (B.C.S.), México, genera un alto índice de divisas, estimadas en alrededor de 633 millones de dólares anuales, donde el marlín rayado es la base de esta pesquería por su abundancia y disponibilidad durante todo el año. En el Pacífico mexicano se conoce poco sobre la dinámica poblacional de esta especie y en particular sobre su biología reproductiva, aun cuando las aguas adyacentes a Cabo San Lucas se han considerado como el área "núcleo" de esta especie por su alta concentración. En el presente estudio se establece el ciclo reproductivo de la especie en esta área, y se estiman de algunos indicadores de reproducción. Los organismos muestreados fueron capturados por la flota deportiva que operó durante el periodo 2009-2010 frente a Cabo San Lucas. Se analizaron 719 machos y 534 hembras, para estimar el índice gonadosomático (IGS), el factor de condición (FC) y la proporción de sexos (PS). Se estableció el ciclo reproductivo mediante la observación microscópica de las gónadas de ambos sexos y se relacionó con la temperatura superficial del mar. También fueron estimadas la talla de primera madurez sexual poblacional para ambos sexos y la fecundidad parcial en las hembras que presentaron signos de desove. Se encontró que durante los meses de julio a octubre la presencia de hembras fue significativamente mayor. El IGS mostró valores altos de mayo a septiembre en los dos años de estudio, coincidiendo con el incremento de la TSM. El factor de condición tuvo valores altos durante los primeros meses del año, principalmente marzo, observando una relación inversa con el IGS en ambos sexos. La talla de primera de madurez poblacional estimada fue de 1890 mm de longitud maxilo-furcal (LMF) para machos y 1980 mm LMF para hembras. La fecundidad parcial promedio estimada fue de 1, 044,732 oocitos. Los indicadores de reproducción, así como el análisis histológico coinciden en que la época reproductiva más importante de esta especie en la región, se lleva a cabo durante verano y otoño.

Abstract

Sport fishing off Cabo San Lucas, Baja California Sur (B.C.S.) Mexico, generates a high rate of foreign exchange, estimated about 633 million dollars a year. The striped marlin is the basis of this fishery because of its abundance and availability throughout the year. In the Mexican Pacific the population dynamics of this species is poorly understood and in particular their reproductive biology. This is so even though the waters adjacent to Cabo San Lucas are considered the core area of this species because of the high concentration of the species. Our study establishes the reproductive cycle of the species in this area and estimates some indicators of its reproduction. The organisms sampled were captured by the sport fleet that operated during 2009-2010 off Cabo San Lucas. Males (719) and females (534) were analyzed to estimate the gonadosomatic index (GSI), condition factor (CF), and the sex ratio. The reproductive cycle was established by microscopic examination of the gonads of both sexes, which was related to the sea surface temperature (SST). We estimated the size at sexual maturity for both sexes and fecundity in females that showed signs of spawning. We found that the sex ratio changed significantly in the months of July to October to a greater number of females. The GSI showed high values from May to September in the two years of this study, coinciding with the increase of the SST. The condition factor had high values during the first months of the year, especially in March, observing and an inverse relationship during this period with the GSI in both sexes. The size at first maturity estimated was 1890 mm lower jaw - fork length (LJFL) for males and 1980 mm for the female. We obtained an average partial fecundity of 1, 044,732 oocytes. The reproduction indicators and histological analysis agree that the most important breeding season for this species in the region is during summer and autumn.

1. INTRODUCCIÓN

El marlin rayado (*Kajikia audax*) (figura 1) es una especie epipelágica, la cual puede llegar a medir hasta 3500 mm de longitud total y alcanzar un peso de 200 kg. La forma del cuerpo es alargada y moderadamente comprimida de manera lateral, es un organismo altamente migratorio y se distribuye en aguas tropicales, subtropicales y templadas de los océanos Pacífico e Índico, particularmente para el Pacífico se ha observado que las isotermas de entre 20 y 25 °C limitan su distribución. En el Océano Pacífico Oriental (OPO) se encuentra desde Chile hasta el sur de California, siendo en las costas mexicanas donde se presenta la mayor abundancia de esta especie (Nakamura, 1985).

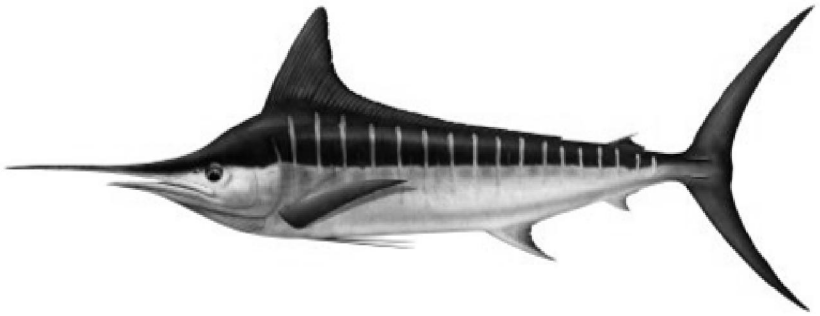

Figura 1. Marlin Rayado (*Kajikia audax*).

La variabilidad de la abundancia de esta especie a nivel mundial, se ha inferido principalmente sobre la base del análisis de la captura incidental llevada a cabo por la flota palangrera Japonesa que ha operado en los océanos Pacífico e Índico en los últimos 50 años (Bromhead *et al*., 2004). En comparación con otras pesquerías, la flota palangrera japonesa tiene el esfuerzo pesquero más consistente, además del mayor registro de capturas de atún y marlin, por lo tanto los datos obtenidos de esta flota son los más confiables para efectos de interpretación de las tendencias en tasas de captura de marlin rayado y otras especies. En el OPO se ha caracterizado la región al sur de Baja California Sur como una zona donde se registran las tasas de captura más altas, por lo que se le ha denominado área “núcleo” de esta especie (Squire, 1987; Bromhead *et al*., 2004). Particularmente el área de Cabo San Lucas,

B.C.S. y en general el noroeste de México se ha determinado que sus tasas de captura son más altas cuando la temperatura superficial del mar, se encuentra entre 22 y 24 °C (Ortega-García *et al*., 2003; Santana-Hernández, 2001). Para la zona de Los Cabos, B.C.S. (San José del Cabo y Cabo San Lucas), esta especie constituye la base de la pesca deportiva, ya que se captura durante todo el año con una tasa de captura promedio de 0.6 organismos/ pescador/día (Squire y Au, 1990; Ortega-García *et al*., 2003). Concretamente para Cabo San Lucas el marlín rayado presenta una estacionalidad marcada, registrando durante el invierno las mayores tasas de captura promedio con 0.85 organismos/viaje y durante el verano los valores más bajos con 0.25 organismos/viaje, siendo durante esta estación cuando se presenta las tallas mayores con una predominio de hembras (Ortega-García *et al*., 2003).

La pesca deportiva en México está regulada por la NOM-017-PESC-1994, la cual establece a las especies de pico como el marlin (azul, negro, rayado), pez vela, pez espada, además de la pesca de otras especies como el dorado, pez gallo y sábalo, como reservadas para uso exclusivo de pesca deportiva dentro de 50 millas náuticas a lo largo de la costa. Además, establece 2 polígonos de exclusión a la pesca comercial de estas especies, uno situado en la boca del Golfo de California y la otra en el Golfo de Tehuantepec (figura 2). En este mismo documento se establece que solo se permite la captura de un picudo por pescador por embarcación por día (D.O.F., 09/05/1995).

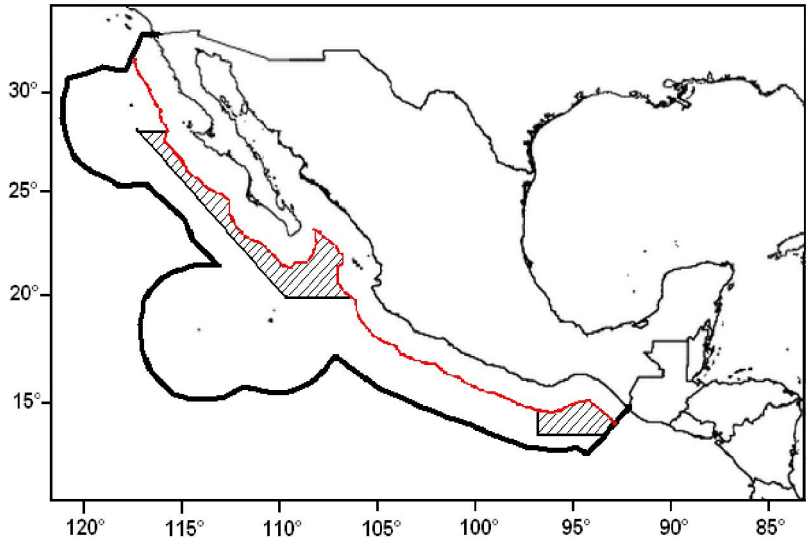

Figura 2. Representación esquemática de la Zona Económica Exclusiva de México, del área de 50 millas náuticas a lo largo de la costa del Pacífico mexicano reservada a la pesca deportiva (línea roja) (D.O.F., 09/05/1995), y de los dos polígonos de exclusión (líneas diagonales) para la protección de los picudos, uno en Baja California Sur y el otro en el Golfo de Tehuantepec. (D.O.F. 04/03/1994).

Para el estado de Baja California Sur la pesca deportiva aporta gran cantidad de divisas, que han sido evaluadas en alrededor de 633 millones de dólares, dividiendo su impacto económico total en tres partes: 1) impactos directos, incluyen los beneficios económicos obtenidos por servicios directos a los pescadores deportivos resultado del alquiler de embarcaciones, hospedaje, y transporte; 2) impactos indirectos, los ingresos recibidos por las empresas que apoyan a las compañías que se benefician directamente de los pescadores deportivos, como proveedores de alimento a los restaurantes, distribuidores de combustible a embarcaciones y paseos secundarios en los hoteles; 3) impactos inducidos, los cuales son generados por los empleados que gastan sus ingresos dentro del mismo ámbito de pesca deportiva, por lo tanto un gran número de personas se beneficia por las divisas importadas de los pescadores visitantes (Soutwick *et al*., 2008).

La alta abundancia de marlín rayado registrada al sur del Golfo de California ha sido asociada con actividades de alimentación y reproducción (Abítia-Cárdenas *et al*.,

1999), también se ha sugerido que probablemente existan áreas de desove importantes debido a la presencia de larvas asociadas a temperaturas mayores a 27°C (Squire y Suzuki, 1990; González-Armas *et al*., 1999). En esta área se ha reportado un aumento en la proporción de hembras maduras a partir de agosto, coincidiendo con las tasas de captura bajas y organismos de talla mayor (González-Armas *et al*., 2006; Ortega-García *et al*., 2003).

La intensidad del esfuerzo pesquero por la flota deportiva que opera en el área de Los Cabos, ha incrementado sustancialmente llegando a mas de 50,000 viajes al año, con una captura mayor a los 60,000 ejemplares (de 1996 a 2008), además de que para las flotas deportivas de Cabo San Lucas, Buenavista y Mazatlán, el marlín rayado representa el 80%, 51% y 12% respectivamente, del total de las especies de marlin capturados, y si bien en los últimos años, las tasas de captura se han incrementado las tallas promedio han presentado una disminución (Carta Nacional Pesquera, 2010).

No obstante la importancia del marlin rayado en la pesca deportiva en Cabo San Lucas, existen pocos trabajos que aborden aspectos biológicos de la especie en la región y no existen estudios publicados que describan aspectos reproductivos básicos, que son indispensables como herramientas para el planteamiento de estrategias de manejo de esta especie.

2. ANTECEDENTES

Los picudos son peces muy apreciados como producto alimenticio por la excelente calidad de su carne así como por la cantidad utilizable con respecto a su peso total (Sosa-Nishizaki, 1998). El interés por la captura de este grupo de peces se incrementó a partir de la década de los 40's, con la pesca comercial palangrera, extendiéndose después a los torneos de pesca deportiva (Strasburg, 1970).

Las zonas de reproducción del marlin rayado en el océano Pacífico han sido definidas principalmente con base en áreas de alta densidad de larvas (Ueyanagi & Wares, 1975). En el hemisferio norte la época de reproducción se realiza en los meses de mayo a octubre (primavera-verano) y en el hemisferio sur en los meses de septiembre a diciembre (primavera-verano) (Kume & Joseph, 1969). Por su parte, Squire & Suzuki (1990) suponen que los organismos jóvenes (larvas y juveniles) son arrastrados hacia el oeste por la corriente norecuatorial y conforme van creciendo se incorporan a las existencias del Pacífico noroccidental y central meridional.

Bromhead *et al*. (2004), analizaron los registros de captura incidental de la flota palangrera japonesa en el OPO para el periodo 1970-2000, reportando las mayores tasas de captura durante el segundo y tercer trimestre del año en la costa oeste de México, principalmente frente a Baja California Sur, mencionando que durante estos periodos algunos adultos sexualmente maduros permanecen en el área del Golfo de California donde llevan a cabo el desove.

Existen a la fecha dos clasificaciones de los estadios de madurez de forma microscópica para esta especie, la reportada por Rodríguez-Jaramillo *et al.* (2007) para organismos capturados en aguas adyacentes a Cabo San Lucas, la cual consta de 6 estadios ováricos y 4 clases espermáticas, y la más reciente descrita por Kopf (2010), quien establece una clasificación de 5 estadios ováricos y 4 clases espermáticas en organismos capturados en aguas de Australia. Este último autor sugiere que esta especie presenta un desove múltiple que puede extenderse a otras

regiones del Pacífico suroeste, como las Islas Fiji y Nueva Caledonia. También reporta que esta especie presenta una actividad reproductiva importante durante los meses primavera-verano del hemisferio sur, con un pico en noviembre en el mar Coral al noreste de Australia.

En las hembras de marlín rayado se ha descrito un desarrollo asincrónico de los oocitos, característica de un pez con desoves parciales, lo que significa que durante una temporada de reproducción las hembras pueden liberar sus gametos en tandas o parches. Se ha estimado que puede desovar de 4.1 a 28.6 millones de oocitos por desove dependiendo del tamaño de la hembra (Eldridge & Wares, 1974; Kopf, 2010).

A partir de muestras colectadas en Buenavista B.C.S., Mazatlán, Sinaloa y San Diego, California, y mediante el uso del índice gonadosomático y el tamaño de los oocitos, Eldrige & Wares (1974) estimaron la talla de primera madurez sexual en 1550 mm de longitud posorbital (LPO) para machos y 1650 mm LPO para hembras. Para la región de Australia se estableció una talla de primera madurez poblacional (L_{50}) para las hembras de 2026 mm LMF mediante la observación de laminillas histológicas, que corresponde a una edad de 1.9 años y para los machos de 1898 mm LMF con 1.4 años (Kopf, 2010).

En un trabajo realizado en las aguas de Taiwán por Sun *et al*. (2011), observaron los valores mayores del índice gonadosomático (IGS) en los meses de abril a agosto, meses que coinciden con valores altos de la TSM en esa zona, alcanzando un máximo en junio, por lo que sugirieron que la mayor temporada reproductiva de esta especie ocurre en verano. Estos resultados son similares a lo reportado por Kopf (2010), en aguas de Australia, quien encontró un mayor porcentaje de hembras con signos de madurez, en los meses de noviembre y diciembre (finales de primavera e inicios del verano austral) cuando la temperatura varía entre los 24 y 27 °C.

En el OPO se ha reportado que la ocurrencia estacional de hembras maduras coincide con la presencia de larvas (Ueyanagi & Wares, 1975). Esto mismo fue

reportado por Eldridge & Wares (1974), en aguas aledañas a la península de Baja California, y por González-Armas *et al*. (1999), quienes para esta misma región mostraron como evidencia de desove la presencia de larvas colectadas en cruceros oceanográficos de 1990 a 1993 en aguas con temperatura superficial del mar entre 27.8 y 31.5 °C.

Ortega-García *et al*. (2003), a partir de un estudio de organismos capturados en aguas cercanas a Cabo San Lucas durante el periodo 1990-1999 encontró un porcentaje mayor de hembras y de tallas grandes justo en los meses de julio a octubre, además de que su abundancia se relacionó significativamente con la temperatura superficial del mar promedio mensual.

González-Armas *et al*. (2006), en aguas cercanas a Cabo San Lucas encontraron que los valores del IGS en hembras permanecen bajos durante los primeros meses del año incrementándose hasta llegar a un máximo durante el verano y reduciéndose en otoño e invierno, por lo tanto sugirieron que los indicadores de reproducción están en función de la temperatura superficial del mar. Coincidiendo con esto, Kopf (2010) reportó que la reproducción de esta especie en el suroeste del océano Pacífico se llevó a cabo a temperaturas que van desde los 24.8 y 28.0 °C, ya que en este rango se han encontrado hembras maduras y en desove.

Para organismos capturados en aguas de Cabo San Lucas, Klett & Rodríguez (1989) realizaron estudios sobre el ciclo reproductivo del marlín rayado, mostrando que el proceso de maduración se presenta a partir de los meses de abril y mayo, alcanzando niveles máximos en agosto y septiembre. Reforzando lo anterior Rodríguez-Jaramillo *et al.* (2007) encontraron evidencias de reproducción en organismos provenientes de ésta misma zona.

Con base a los estudios realizados en el área de Cabo San Lucas, se plantea la hipótesis de que el evento de la reproducción de la especie en ésta región coincide con el período de abundancia baja, es decir, a fines del verano y principios del otoño.

Debido a la presencia menor de la especie y al número limitado de organismos maduros durante las campañas de muestreo en esta época, no se había realizado un trabajo histológico para describir el ciclo reproductivo, así como estimar la talla de primera madurez sexual utilizando organismos con estadios avanzados de madurez, como la que se presenta en este estudio.

3. JUSTIFICACIÓN

La actividad de la pesca deportiva en México es muy importante por la derrama económica que genera, principalmente en la región de Los Cabos B.C.S., donde el marlin rayado representa la base de esta pesquería por sus altas tasas de captura y permanencia a lo largo del año. Sin embargo, registros de la talla promedio en los últimos años han mostrado una tendencia decreciente (D.O.F. 02/12/2010), lo que pudiera ser un reflejo de una sobreexplotación del recurso porque probablemente estén capturando organismos en aguas cercanas a Cabo San Lucas que no han alcanzado la talla de madurez poblacional.

En la actualidad, la normatividad de la captura de esta especie por la flota deportiva está regida por la NOM-O17-PESC-1994, en la que se establece las artes de pesca permitidas y el número de organismos que pueden capturarse por pescador, sin embargo no se establece una talla mínima de captura ni contiene información relativa a otros parámetros o eventos biológicos que pudieran ser relevantes para la administración del recurso, como lo es la reproducción. Por lo anterior es necesario llevar a cabo estudios como el presente, donde el uso de algunos indicadores de reproducción como el índice gonadosomático, la proporción sexual y el factor de condición, a la par con el análisis histológico de la gónadas, permitirán la observación e interpretación adecuada de la maduración de las gónadas de la especie, con lo que se pretende obtener resultados que vendrán a reforzar significativamente el conocimiento de la reproducción de la especie en la región, información que podrá servir para plantear nuevas medidas de regulación de la especie en la región.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el ciclo reproductivo del marlin rayado (*Kajikia audax)* en la región de Cabo San Lucas, Baja California Sur.

Objetivos específicos

- Estimar los indicadores de reproducción (proporción sexual, índice gonadosomático y factor de condición).

- Relacionar el efecto de la temperatura superficial del mar con el ciclo reproductivo.

- Determinar la talla de primera madurez para machos y hembras.

- Estimar la fecundidad parcial.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Origen de la información

La información que se analizó, se obtuvo a través de las salidas de campo realizadas a través del proyecto “Estudios Biológicos de depredadores ápice y sus movimientos dentro del ecosistema pelágico del Pacífico nororiental mexicano”, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Los muestreos biológicos se realizaron en el muelle de descarga de las embarcaciones de pesca deportiva en Cabo San Lucas B.C.S., con una periodicidad mensual y con una duración de 3 días consecutivos, de enero del 2009 a diciembre del 2010. Las operaciones de pesca de esta flota se realizan aproximadamente dentro de un radio de 30 millas náuticas del puerto durante todo el año (figura 3). Durante el muestreo, de cada organismo desembarcado se registró la longitud maxilo-furcal (LMF mm), el peso total (g), el sexo del pez mediante observación directa de las gónadas, las cuáles fueron disectadas, registrando su peso (g) y se fijaron con solución de Davidson (Howard y Smith, 1983), conservándolas en bolsas de plástico etiquetadas para su posterior análisis en los laboratorios de histología e histoquímica del CIBNOR y del CICIMAR.

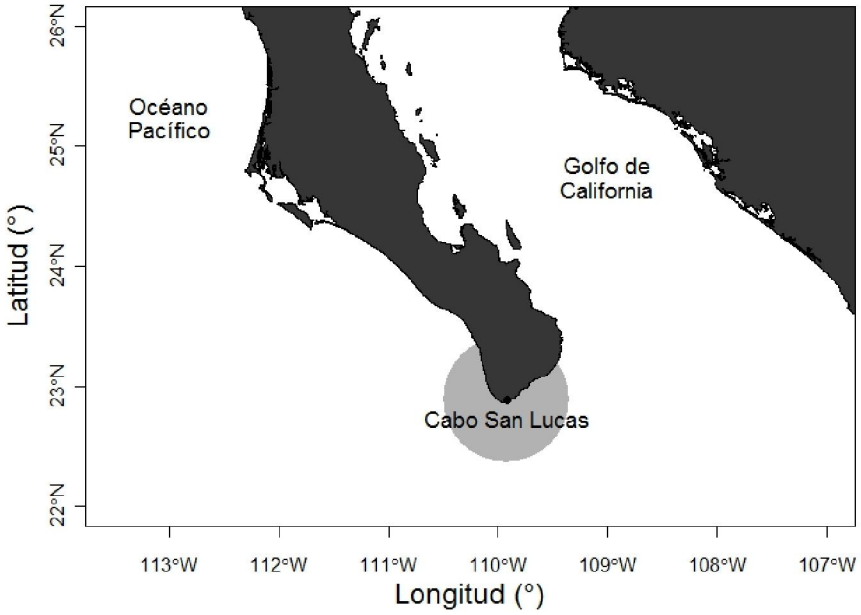

Figura 3. Mapa de Baja California Sur. El área sombreada representa aproximadamente las 30 millas náuticas de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas.

5.2 Estructura y composición de las capturas

5.2.1 Estructura de tallas

Para conocer la estructura de tallas de los organismos muestreados se realizaron histogramas de frecuencia de las LMF para hembras y machos. Para propósitos de comparación se utilizaron marcas de clase en intervalos de 100 mm, entre sexos y años.

5.2.2. Relación peso-longitud

La relación peso total – longitud maxilo-furcal se estimó para cada sexo por separado, utilizando en cada caso el total de los organismos colectados durante el periodo de estudio. Para ello se aplicó el modelo potencial, cuyos coeficientes fueron calculados utilizando el algoritmo "Gauss-Newton" para resolver regresiones no lineales en el lenguaje de programación R.

$$\mathrm{PT} = \mathrm{aLMF}^{\mathrm{b}}$$

Dónde:
LMF = Longitud maxilo-furcal (mm), PT = Peso total (g), a = constante de regresión, b = coeficiente de regresión o de alometría

5.2.2 Proporción sexual (PS)

Para estimar la proporción de sexos en las capturas, total, mensual y por intervalo de talla, en cada caso de dividió el número total de hembras entre el número total de machos y se evaluó la diferencia estadística entre las proporciones usando la prueba de ji cuadrada X^2 (Sokal & Rohlf, 1981) además se realizaron dos gráficos los cuales muestran el total de organismos para cada mes y el total de organismos por tallas para ambos años en porcentaje. El primer grafico además se relacionó con la

variación de la temperatura superficial del mar, esto con la finalidad de observar si existía alguna tendencia en la proporción sexual.

5.3 Indicadores de reproducción

5.3.1 Índice gonadosomático

Para calcular el índice gonadosomático mensual se utilizó el método propuesto por Balbotín & Fischer (1981) el cual expresa en porcentaje el peso de la gónada con respecto al peso del cuerpo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathrm{IGS} = \left(\frac{\mathrm{PG}}{\mathrm{PT} - \mathrm{PG}}\right) * 100$$

Dónde: IGS = Índice gonadosomático, PG = Peso de gónada (g) y PT = Peso total del organismo (g).

5.3.2 Factor de condición

Para detectar en que meses se presentó la mejor condición de los organismos, se calculó el factor de condición propuesto por Bagenal & Tesch (1978), a partir de la siguiente ecuación:

$$\mathrm{FC} = \left(\frac{\mathrm{PT}}{\mathrm{LMF}^{\mathrm{b}}}\right) * 100$$

Dónde: FC = Factor de condición, PT = Peso total del organismo (g), LMF = Longitud maxilo-furcal (mm) y b = coeficiente de alometría obtenido de la relación peso total – longitud maxilo-furcal en este trabajo.

5.4 Tratamiento histológico

Mediante el lavado de las gónadas con agua se eliminó el exceso de solución de Davidson. Posteriormente se tomó una muestra de la parte media de cada una y se colocaron en casetes. En el laboratorio cada uno de estos casetes se sumergió en alcohol etílico al 70% durante 24 horas, para su posterior deshidratación en una serie de alcohol etílico de menor a mayor concentración (80%, 90%, 96%, 100%). Después los tejidos se aclararon en xileno y se incluyeron en Paraplast X-Tra con punto de fusión entre 54 y 56 °C. De cada muestra incluida en parafina se obtuvieron 2 cortes a 4 μm de grosor con un micrótomo de rotación Leica RM 2155. Finalmente en el proceso histológico (figura 4) para la tinción de los cortes se empleó la técnica de hematoxilina- eosina (el procedimiento de tinción se describe en el anexo 1).

Figura 4. Secuencia del tratamiento histológico de las gónadas para la identificación y determinación del ciclo gonádico del marlin rayado.

5.5 Establecimiento de las categorías gametogénicas y los estadios de desarrollo gonadal

Cada laminilla se observó mediante un microscopio conectado a una computadora a 4 y 10x mediante el uso del software Image Pro Plus 4.5. Para asignarle el estadio gonádico, se utilizó la clasificación propuesta por Rodríguez-Jaramillo *et al.* (2007), la cual describe las características morfológicas y gonadales de esta especie para ambos sexos (Tabla 1 y 2). Dicha clasificación describe 6 estadios de madurez gonádica para hembras y 4 clases espermáticas para los machos.

Tabla 1.Etapas del desarrollo de los ovarios y subetapas de los oocitos de marlin propuesto por Rodríguez-Jaramillo *et al*. (2007)

Estadios de desarrollo ovárico	Subestadios y diámetros de los oocitos (µm) (media ± desviación estándar)	Descripción	Índice gonadosomático (media ±desviación estándar)
I. Crecimiento primario (hembras jóvenes con gónadas inmaduras)	Oogonia (9.28±5.01) y cromatina nucleolar (Cn) (21.44±5.46)	Las ovogonias pueden ser observadas formando nidos en los pliegues del estroma ovárico. Los oocitos Cn tienen uno o dos nucléolos.	0.31±0.06
II. Crecimiento primario (pre-vitelogénesis)	Perinucleolos tempranos (Ep) (46.5±15.4) y perinucleolos tardíos (Lp) (63.6±20.4).	(Ep) En esta etapa ocurre el crecimiento del núcleo y el citoplasma. En el núcleo se observan numerosos nucléolos pequeños. Los cuerpos de Balbiani han desaparecido y el citoplasma se ha hecho acidófilo.	0.55±0.39
III. Crecimiento secundario (vitelogénesis)	Alveolos corticales (Ca)(110±26.6) , inclusiones lipídicas (Li) (169.4± 43.7) y glóbulos de vitelo tempranos (Ev) (184.1±39.5).	La alvéolos corticales (glicoproteínas) casi llenan totalmente el citoplasma del oocito. Aparecen inclusiones lipídicas dispersas en el citoplasma. Pequeños glóbulos de vitelo aparecen en la región periférica del citoplasma.	0.89±0.51
IV. Crecimiento terciario (maduración)	Glóbulos de vitelo tardíos (Lv) (288±76.5) y núcleo migratorio (Mo) (341.8±29.76).	Los glóbulos de vitelo aumentan en tamaño y llenan el citoplasma; la zona radiata y capas tecales se observan claramente. La vesícula germinal comienza la migración desde el centro hacia el polo animal.	2.31±1.40
V. Desove	Hidratación y ovulación (HO) (376.6±24.9)	El oocito se llama oocito hidratado por la incorporación de agua a través del folículo. Estos son huevos ovulados listos para ser desovados.	0.43
VI. Postdesove	Atresia	La atresia es el proceso en el que los oocitos que no se ovularon inician un proceso de degeneración. Se rompe el núcleo y se descarga el contenido en el citoplasma. Separación de las capas de las células foliculares. La capa granulosa se hipertrofia. Los folículos postovulatorios (POF); parecen como un saco vacío, estas células se reabsorben y el espacio vacío se reduce hasta que la reabsorción se completa	0.91 ± 0.54

Tabla 2. Descripción de las estadios del desarrollo testicular de marlin rayado propuesto por Rodríguez-Jaramillo *et al.* (2007).

Estadio de madurez	Descripción	GSI (Media ±desviación estándar)
II. Maduración temprana	Los túbulos seminíferos contienen células germinales en desarrollo sincrónico (predominantemente espermatogonias, espermatocitos primarios y secundarios y espermátidas y algunos espermatozoos).	0.07±0.03
III. Maduración tardía	Los acinos llenos de cistos, se organizan en grupos conectados a un conducto principal. Los espermatocitos son de 2,6 a 3,7 micras. Las espermátidas son de forma esférica (1-1,7 micras). Hay una reducción progresiva del núcleo.	0.16±0.06
IV. Regresión	Se observa solo espermatozoos en los cistos, las paredes de estos se han engrosado y no se observan espermatogonias ni espermatocitos primarios o secundarios.	0.21±0.15

5.6 Ciclo reproductivo

Después de observar al microscopio cada laminilla y asignarle el estadio ovárico en hembras o la clase espermática en machos, los datos se agruparon por mes de cada año (2009 y 2010) y se presentan gráficamente como año tipo.

5.7 Fecundidad parcial

Para la estimación de la fecundidad parcial se utilizaron sólo aquellas gónadas que presentaron signos de desove o madurez avanzada, después de eliminarles el exceso de la solución de Davidson, estas se colocaron en frascos con cloro al 10% durante 4 días para poder separar los oocitos de manera manual. Los oocitos se pasaron a través de un set de tamices (1000 y 500 micras (μm)), separando los oocitos maduros (vitelogénicos) de aquellos inmaduros (previtelogénicos). Los oocitos vitelogénicos se pesaron con una balanza analítica Ohaus con precisión de 0.1 mg y de estos se tomaron 3 submuestras de 0.025 mg, dentro de cada submuestra se contabilizaron los oocitos para estimar la fecundidad parcial, donde se empleó la modificación propuesta por Zúñiga-Flores *et al*. (2011) al método gravimétrico convencional (Macgregor, 1957), en donde se sustituye el peso de la gónada por el peso de la masa de vitelogénicos la cual se expresa de la siguiente forma:

$$F = \left(\frac{NO * POH}{PM}\right)$$

Dónde: F= Fecundidad parcial (número de oocitos), NO = Número de oocitos en la muestra, POH = Peso de oocitos de 500 y 1000 μm (g), PM = Peso de la muestra (g).

5.8 Talla de primera madurez individual y poblacional

Para establecer la talla de primera madurez individual se consideró el criterio de utilizar la longitud de la hembra y macho más pequeños que fueron recolectados y que presentaron signos de desove (Villalejo *et al*., 1993). Para el establecimiento de la talla de primera madurez poblacional (L_{50}), se agruparon las hembras y machos que se encontraron en los estadios más avanzados (maduros, desove y postdesove), los cuales fueron clasificados previamente en esas categorías mediante el análisis histológico. Para estimar la probabilidad de encontrar individuos en estadios de madurez avanzada en función de la talla se aplico un modelo logístico. Se realizó para cada sexo por separado utilizando la información de todo el periodo de muestreo Para estimar los coeficientes del modelo se utilizó el método iterativo de Gauss-Newton para resolver regresiones no lineales a través del software R. El modelo logístico se expresa de la forma siguiente:

$$\mathrm{P} = \frac{1}{1 + e^{a+b*LMF}}$$

Dónde: P = Porcentaje de hembras y machos sexualmente maduros, LMF = Longitud maxilo-furcal (mm) y a y b = constantes del modelo.

Para estimar la longitud en la que el 50% de la población esta sexualmente madura (L_{50}) se utilizaron las constantes del modelo a y b previamente estimadas:

$$\mathrm{L_{50}} = \frac{\mathrm{a}}{\mathrm{b}}$$

5.9 Temperatura superficial del mar

La información de la temperatura superficial del mar fue calculada a través de composiciones mensuales de imágenes de satélite del sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) con una resolución de 1.1 km. A partir de estas imágenes se calcularon los promedios mensuales en cuadrantes de 1° x 1°. La TSM mensual en el periodo de estudio fue estimada para el área que comprende entre los 22.5° y 23.5° N y 109.5° y 110.5° O. Estas imágenes fueron procesadas con la ayuda del software comercial Windows Image Manager (Kharu, 2010).

6. RESULTADOS

6.1 Estructura de la población

6.1.1 Tallas

La mayor parte de los organismos muestreados (84.4 %), se encontraron en tallas de 1800 a 2200 mm LMF. En la figura 5 se observa que la captura de tallas menores a los 2200 mm LMF fue alta en el año 2010 relativo al 2009.

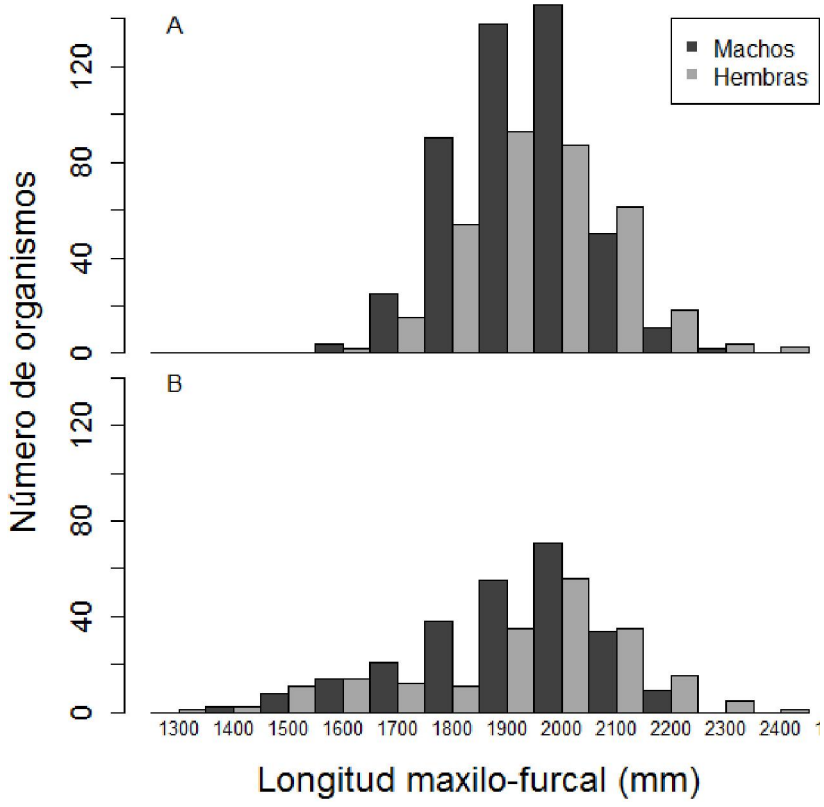

Figura 5. Histograma de tallas para hembras y machos de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante los años 2009 (A) y 2010 (B) en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

Se encontraron diferencias significativas en la LMF entre sexos ($H_{(1,\ 1253)}$ = 16.83, p<0.05) y en cada sexo por año (machos: $H_{(11,719)}$ = 31.12, p<0.05 y hembras: $H_{(11,534)}$ = 24.75, p<0.05) como se observa en la figura 6.

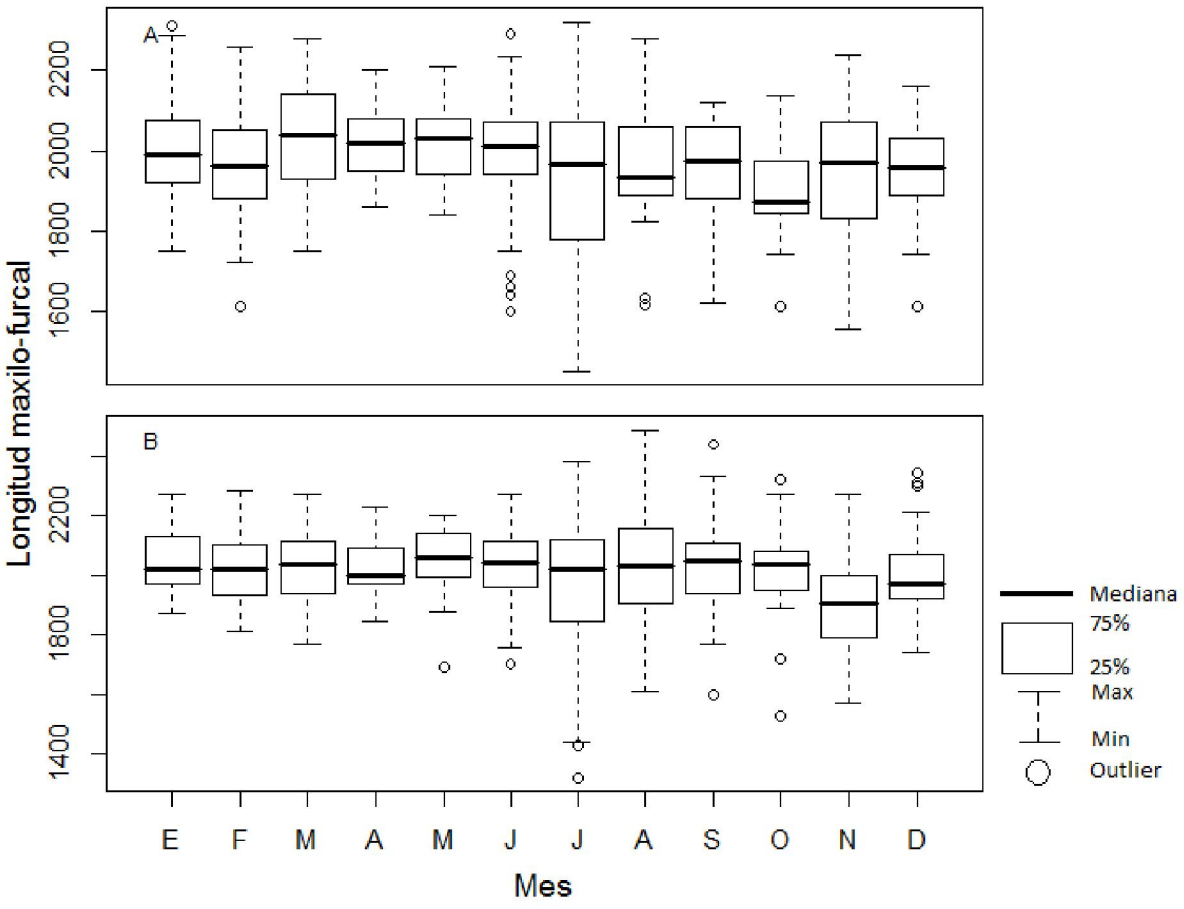

Figura 6. Variación mensual de la mediana de la longitud maxilo-furcal por año tipo para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

6.1.2 Relación peso-longitud

Los diagramas de dispersión y curvas estimadas de la relación peso total – longitud maxilo-furcal para hembras y machos se presenta en la figura 7. En ambos caso se obtuvieron valores menores a 3 (machos = 2.93 y hembras 2.86), lo que significa un crecimiento alométrico negativo.

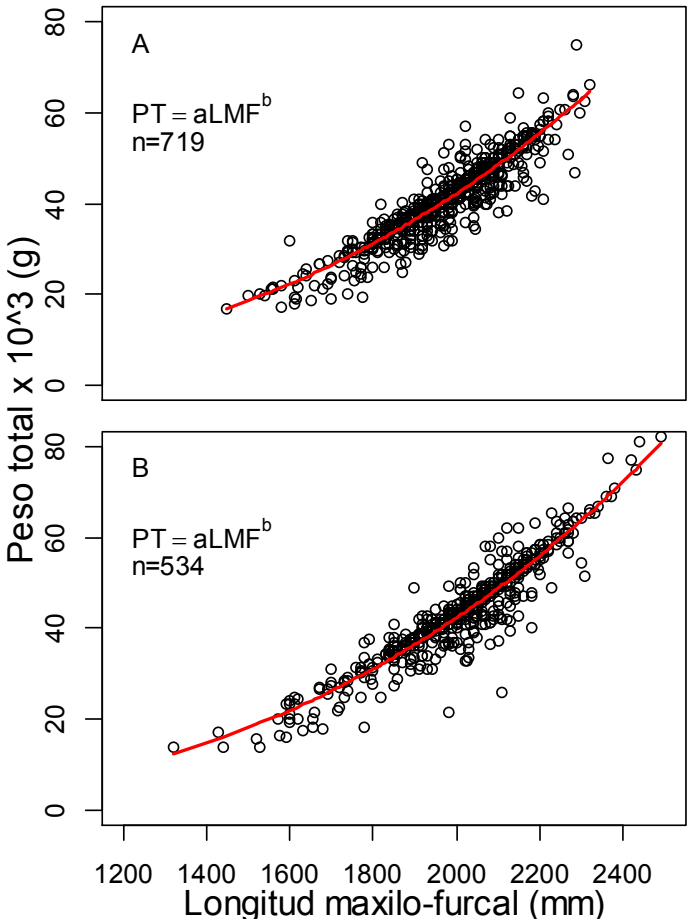

Figura 7. Relación peso – longitud maxilo-furcal para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) capturado durante 2009-2010 en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

6. 2 Indicadores de reproducción

6.2.1 Proporción sexual

El total de organismos muestreados fue de 1,253 (43% hembras y 57% machos), de las cuales 803 fueron colectados durante 2009 (42% hembras y 58% machos) y 450 durante 2010 (44% hembras y 56% machos). En los dos años se observó una estacionalidad marcada en la colecta de muestras, con mayor número de individuos desembarcados en los meses de enero, julio y diciembre para ambos sexos (figura 8).

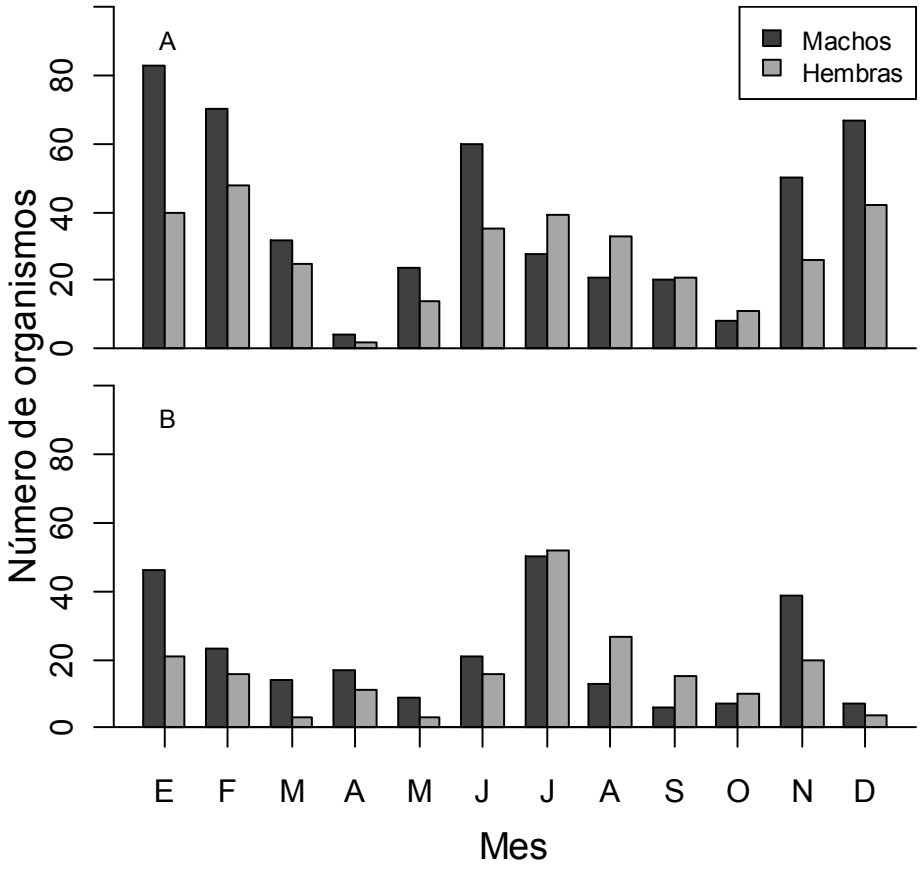

Figura 8. Número de muestras colectadas durante los dos años del muestreo 2009 (A) y 2010 (B) en marlín rayado (*Kajikia audax*) capturados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

La proporción sexual (PS) total estimada es de 1 Macho: 0.75 hembra. En la PS por mes utilizando ambos años o "año tipo" (tabla 3), se registró una proporción mayor de machos durante casi todos los meses a excepción de julio, agosto, septiembre y octubre, donde predominaron las hembras durante los dos años de estudio (figura 9).

Tabla 3. Proporción sexual por mes de un año tipo y valor de ji cuadrada (** estadísticamente significativos).

Mes	Machos	Hembras	PS	Ji cuadrada
Enero	129	61	0.47	24.34 **
Febrero	93	64	0.68	5.36
Marzo	46	28	0.60	4.38
Abril	21	13	0.61	1.88
Mayo	33	17	0.51	5.12
Junio	81	51	0.62	6.82 **
Julio	78	91	1.16	1.00
Agosto	34	60	1.76	7.19 **
Septiembre	26	36	1.38	1.61
Octubre	15	21	1.40	1.00
Noviembre	89	46	0.51	13.70 **
Diciembre	74	46	0.62	6.53 **
TOTAL	719	534	0.74	27.31 **

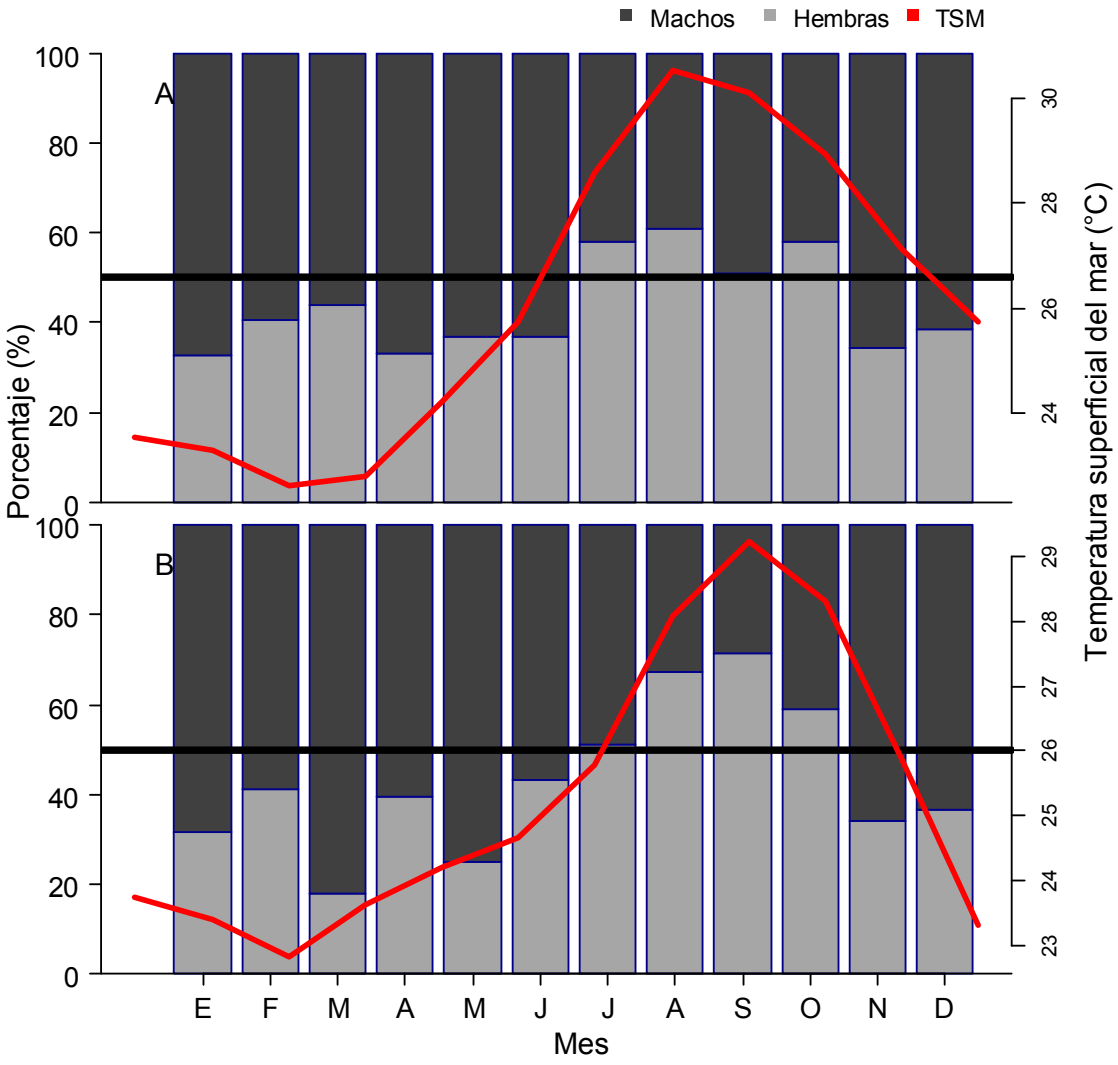

Figura 9. Proporción sexual mensual en porcentaje de hembras y machos de marlín rayado (*Kajikia audax*) durante el año 2009 (A) y 2010 (B) y temperatura superficial del mar en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

La proporción sexual por intervalo de talla se presenta en la tabla 4 y figura 10, en donde se muestra que la proporción sexual solo fue estadísticamente significativa en los intervalos entre 1800 mm y 2100 mm. En el año 2009 no se encontraron organismos menores a los 1600 mm, en ambos años se observa como las hembras predominan a partir de los 2100 mm.

Tabla 4. Proporción sexual por intervalo talla (mm) y valor de ji cuadrada (** estadísticamente significativos). La información incluye observaciones de los años 2009 y 2010.

Talla (mm)	Machos	Hembras	PS	Ji cuadrada
1300-1399	0	1		
1400-1499	2	2	1	0.00
1500-1599	8	11	1.37	0.47
1600-1699	18	16	0.88	0.12
1700-1799	47	26	0.58	6.04
1800-1899	128	65	0.50	20.56 **
1900-1999	193	128	0.66	13.16 **
2000-2099	217	143	0.65	15.21 **
2100-2199	84	96	1.14	0.80
2200-2299	20	33	1.65	3.19
2300-2399	2	9	4.50	4.45
2400-2499	0	4		

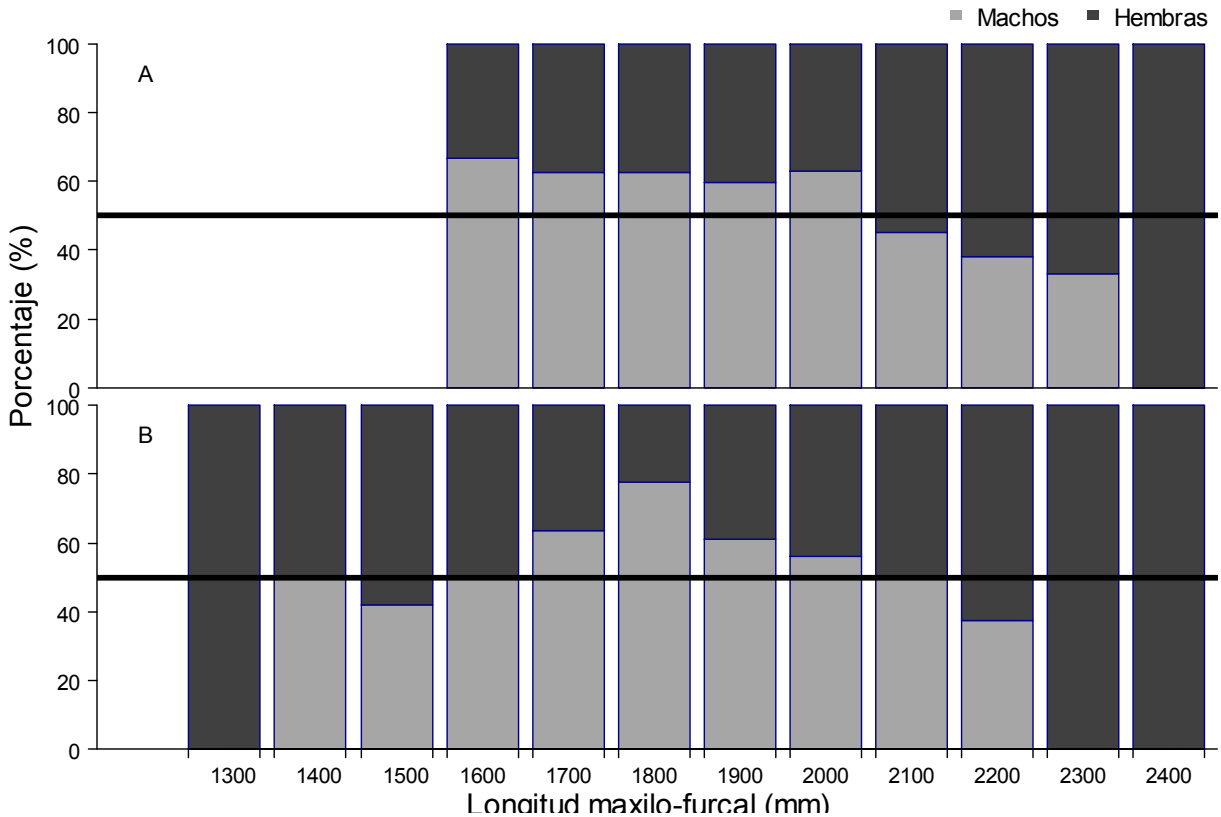

Figura 10. Proporción sexual en porcentaje de machos y hembras por intervalo de talla de marlín rayado (*Kajikia audax*) durante el año 2009 (A) y 2010 (B) en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

6.2.2 Índice gonadosomático

Los valores promedio del IGS, registraron valores desde 0.58 a 1.24 para hembras y de 0.11 a 0.17 para machos. El IGS promedio mensual, tanto de hembras como de machos presentaron diferencias significativas en el periodo de estudio ($H_{(11,403)}$ = 72.76, p<0.05; $H_{(11,601)}$ = 156.32, p<0.05). Los valores más altos del IGS en hembras se registraron en el mes de julio (7.67 para 2009 y 6.27 para 2010). En machos, el valor de IGS más alto durante 2009 se registró en el mes de agosto con un valor de 0.21 en tanto que durante julio de 2010 fue de 0.43 (figura 11). Los valores altos ocurrieron durante los meses de verano-otoño coincidiendo con el incremento en la temperatura superficial del mar (figura 12).

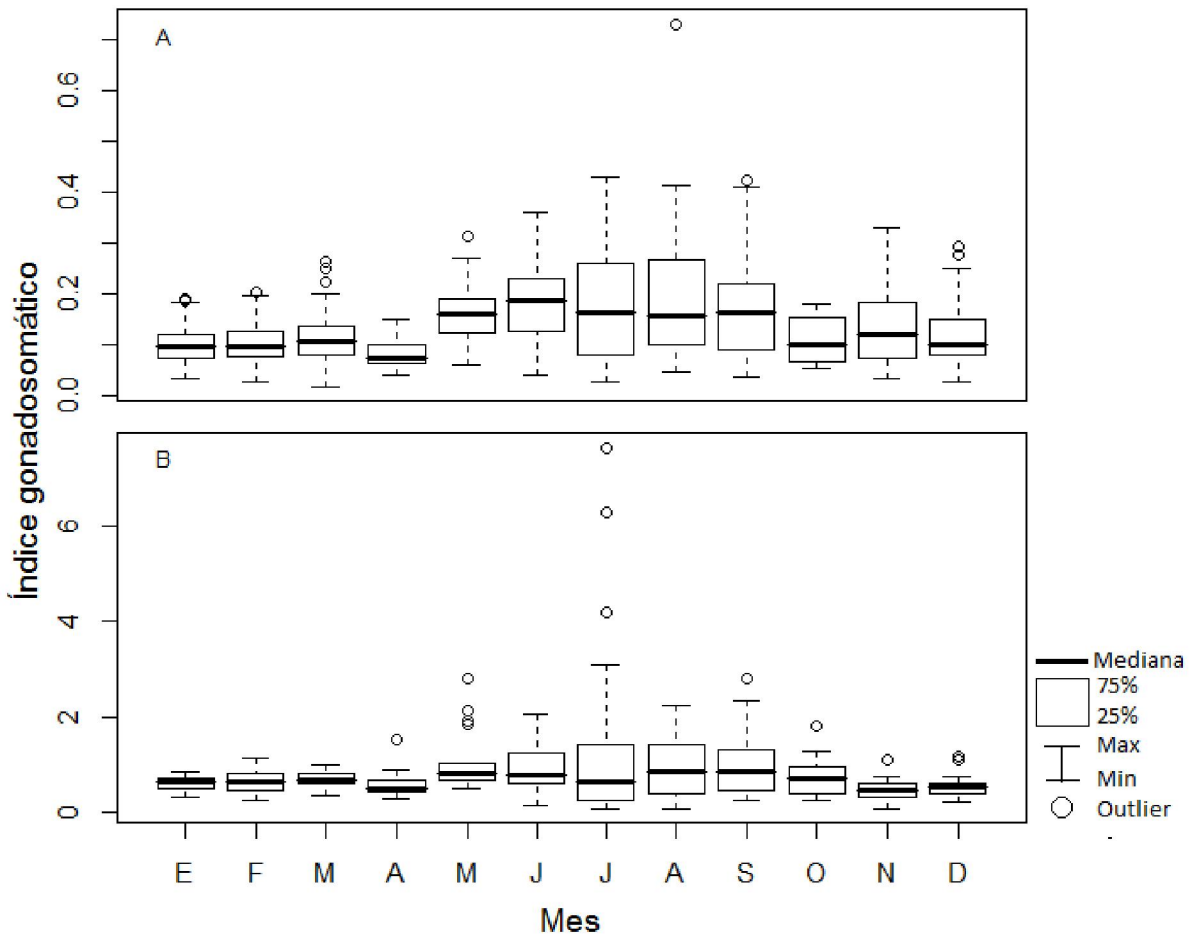

Figura 11. Variación mensual de la mediana en un año tipo del índice gonadosomático (IGS) para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

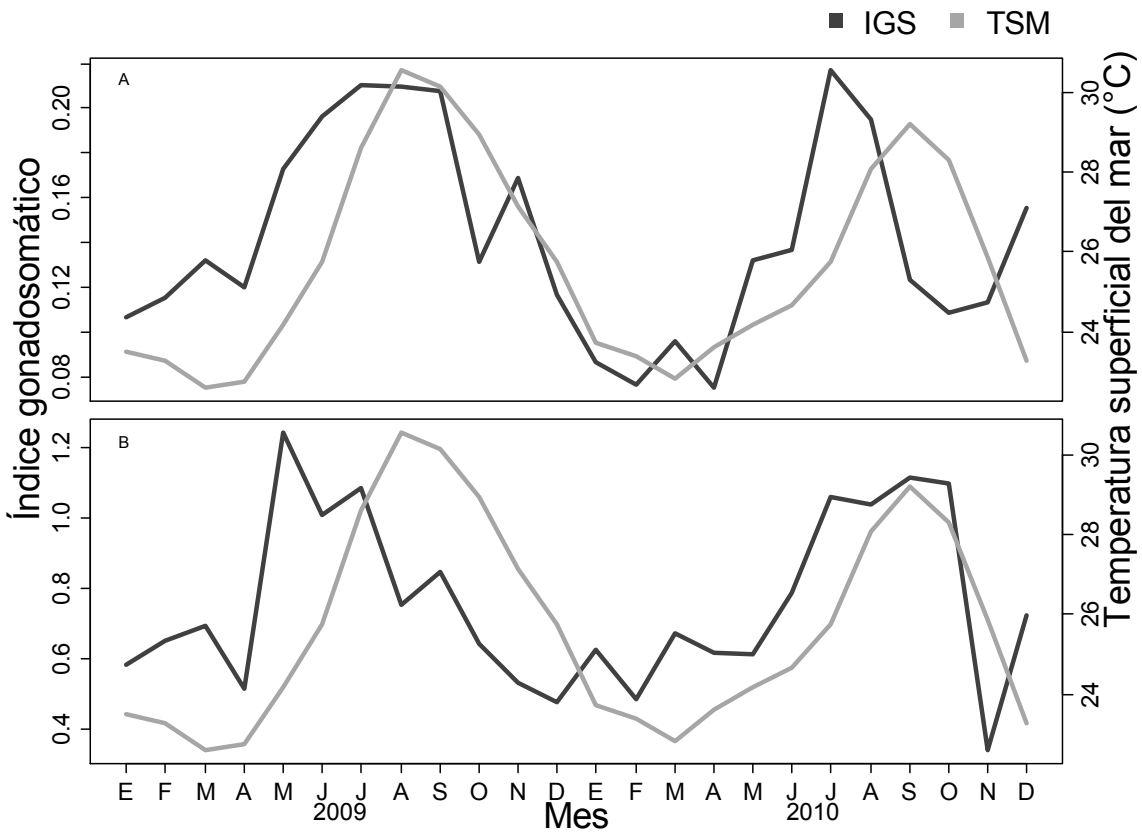

Figura 12. Promedio mensual del Índice gonadosomatico (IGS) obtenido para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante 2009 y 2010 en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur. En los dos paneles se incluye la variación mensual de la temperatura superficial del mar en el área de estudio.

6.2.3 Factor de condición

El FC promedio mensual, tanto de machos como de hembras presentaron diferencias significativas en el periodo de estudio ($H_{(11,718)}$ = 47.71, p<0.05; $H_{(11,533)}$ = 49.60, p<0.05). Los valores más altos del FC en machos se registraron en el mes de abril del 2009 (0.049) y marzo del 2010 (0.048), en hembras estos se registraron en el mes de junio del 2009 (0.29) y marzo del 2010 (0.29) (figura 13). En general durante los meses de primavera y verano tanto el FC como el IGS presentaron tendencias similares, en tanto que durante el invierno aun cuando los valores del IGS disminuyeron los del FC se mantuvieron con valores altos (figura 14).

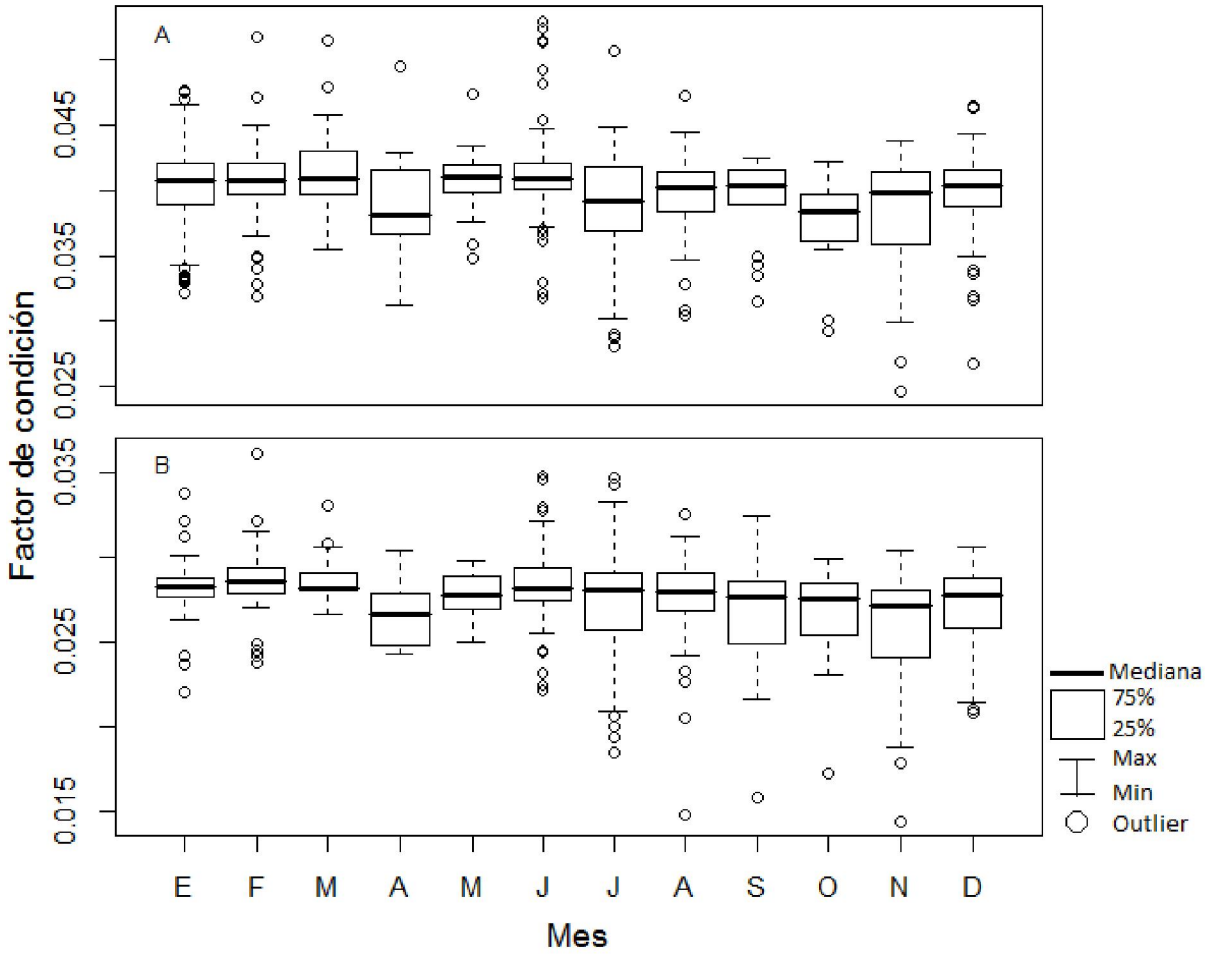

Figura 13. Variación mensual de la mediana en un año tipo del factor de condición (FC) para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) desembarcados por la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

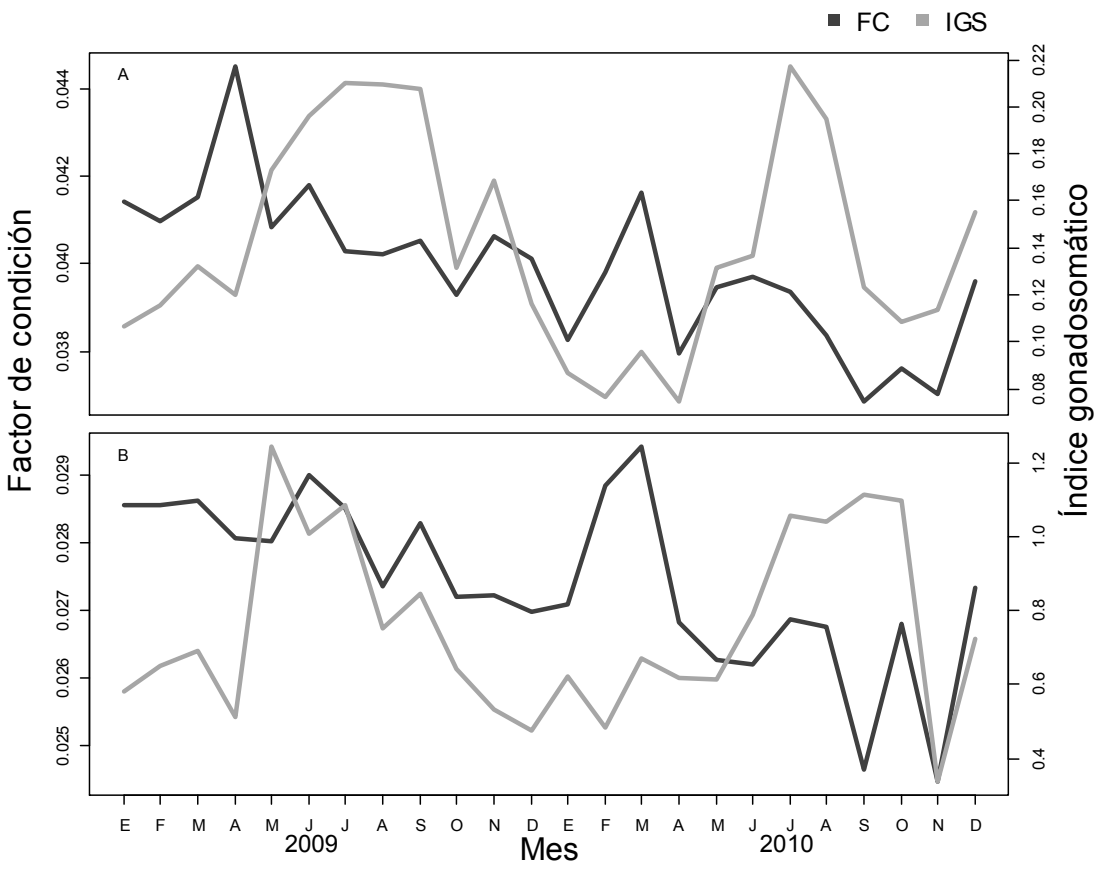

Figura 14. Promedio mensual del factor de condición (FC) obtenido para machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados durante 2009 y 2010 en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur. En los dos paneles se incluye la variación mensual del índice gonadosomático.

6.3 Ciclo reproductivo

El total de gónadas analizadas para el establecimiento del ciclo reproductivo fue de 663 (277 hembras y 386 machos) (tabla 5). En los machos se encontró el estadio I (inmaduro) en el mes de junio, este estadio no había sido reportado en la escala de clasificación utilizada. Los estadios II y III estuvieron presentes durante todos los meses del periodo de estudio. El estadio IV (regresión) se registró en el mes de enero y del mes de junio hasta diciembre con excepción de octubre. En hembras el estadio I (inmaduro) se encontró durante el mes de febrero, el estadio II (crecimiento primario) estuvo presente durante todos los meses, el estadio III (crecimiento

secundario) se registró durante todos los meses a excepción de abril. Los estadios más avanzados (IV: madurez y VI: postdesove), se observaron durante los meses de mayo a octubre, y el estadio V que describe los oocitos a punto de desove se encontró durante el mes de agosto (figura 15).

Tabla 5. Número de gónadas por mes utilizados para establecer el ciclo reproductivo en los años 2009 y 2010.

Mes	Machos	Hembras
Enero	90	40
Febrero	66	44
Marzo	29	21
Abril	16	11
Mayo	17	13
Junio	35	19
Julio	16	26
Agosto	16	34
Septiembre	13	17
Octubre	8	13
Noviembre	42	20
Diciembre	38	19
TOTAL	386	277

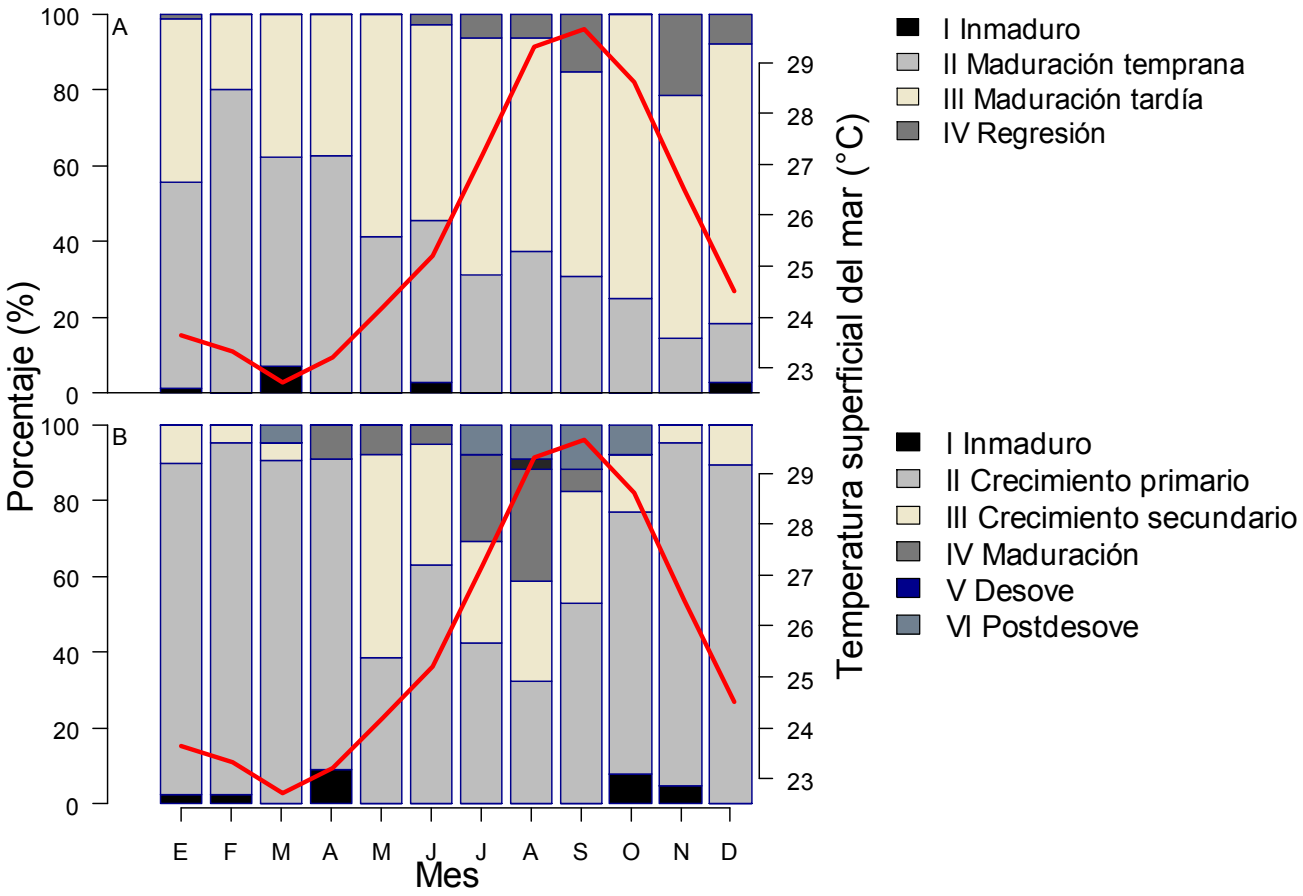

Figura 15. Ciclo reproductivo basado en el análisis histológico de gónadas del marlín rayado (*Kajikia audax*) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante un año tipo representativo de los años 2009 y 2010. Donde (A) son machos y (B) hembras, desembarcados por la flota deportiva en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

6.4 Fecundidad parcial

De las 6 muestras que se seleccionaron para realizar la fecundidad parcial, solo se pudieron utilizar las muestras de dos hembras, las otras cuatro hembras aun no presentaban un grado de madurez avanzado. Con esas dos muestras se estimó la fecundidad parcial. La longitud de las hembras de las que provinieron las muestras tenían 2360 mm LMF y 2150 mm LMF (tabla 6).

Tabla 6. Fecundidad parcial obtenida para las muestras que presentaron un grado de madurez mayor, por tamaño de oocitos y total de la muestra (oocitos de 500 y 1000 µm).

Muestras	Peso gónada (g)	Oocitos 500 µm (P.S., g)	Fecundidad Parcial (No. O.)	Oocitos 1000 µm (P.S., g)	Fecundidad Parcial (No. O.)	Total de oocitos (No. O.)
1	s/d	33	436,480	58	378,933	815,413
2	1875	19	659,426	31	614,626	1,274,052

g:gramos, µm: micras, P.S: Peso seco, No. O: Número de oocitos, s/d: Sin dato

6.5 Talla de primera madurez individual y poblacional

La talla de primera madurez poblacional estimada para machos fue de 1890 mm LMF y para hembras de 1980 mm LMF (figura 16). Los organismos más pequeños encontrados con signo de madurez (tallas de madurez individual) fueron un macho de 1530 mm LMF y una hembra de 1690 mm LMF.

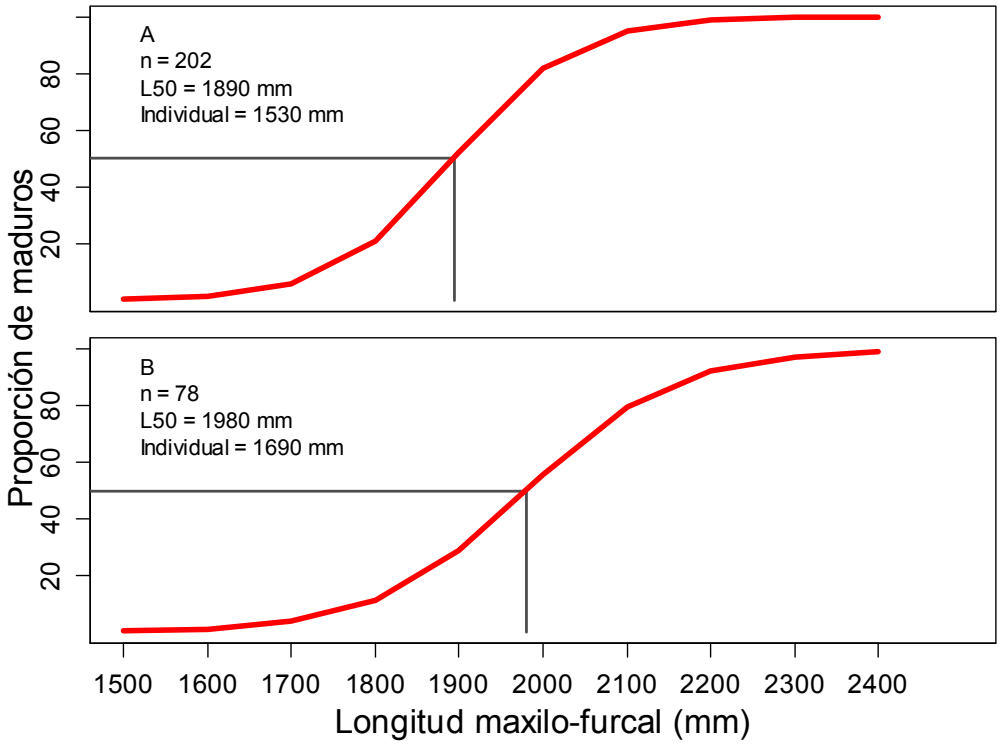

Figura 16. Tallas de primera madurez sexual de machos (A) y hembras (B) de marlín rayado (*Kajikia audax*) muestreados en la flota deportiva que opera en Cabo San Lucas, Baja California Sur.

7. DISCUSIÓN

7.1 Muestreo

Considerando que se muestrearon todos los organismos descargados durante los 3 días consecutivos de cada mes, se puede inferir que el número de organismos es un reflejo de la presencia del recurso en el área de estudio, de tal forma que el marlín rayado, es más abundante de noviembre a febrero en el área de estudio. Esta estacionalidad fue reportada anteriormente por Ortega-García *et al.* (2003), quienes registraron las tasas de captura más altas en los meses de invierno y las más bajas durante el verano, atribuyendo ésta variabilidad al incremento de la temperatura superficial del mar (TSM), durante los meses de verano ya que esta especie mostró una preferencia por aguas entre los 22 y 24°C. Lo que coincide con lo reportado por Eldrige & Wares (1974), quienes mencionaron que esta especie habita preferentemente en aguas templadas.

El intervalo de tallas de los organismos registrados en este estudio estuvo entre 1300 y 2400 mm LMF, sin embargo el 82.3 % de ellos se registró entre 1800 y 2200 mm LMF. La longitud postorbital (LPO) promedio encontrada en este estudio fue de 1658 mm para machos y 1685 mm para hembras, menores a las reportadas por Ortega-García *et al.* (2003), quienes no obstante al analizar un periodo de 10 años encontraron tallas mayores, 1714 mm para machos y 1744 mm para hembras. Lo anterior indica una disminución de las tallas promedio de esta especie en el área de Cabo San Lucas, localidad que de acuerdo a lo reportado en la Carta Nacional Pesquera (2010) ha presentado un ligero incremento en las tasas de captura durante los últimos años, lo que podría sugerir un aumento en los niveles de reclutamiento.

La predominancia de machos a partir del intervalo de talla de 1600 mm LMF, y de hembras a partir de los 2100 mm LMF, es similar a lo reportado para el marlin rayado capturado en aguas de Australia, donde se observó en los intervalos de tallas de 1000 y 1900 mm LMF una proporción sexual predominante de machos de 0.56:1 (♀:♂), invirtiéndose la predominancia de hembras a partir de los 1900 mm LMF

(Kopf, 2010). En las tallas mayores, esta predominancia puede deberse al dimorfismo sexual que se presenta en esta especie, ya que las hembras alcanzan tallas mayores que los machos (Nakamura, 1985).

En la relaciones peso total – longitud maxilo-furcal por sexos se encontraron valores del coeficiente ***b*** menores a 3 indicando un crecimiento alométrico negativo, resultados similares ha sido reportados por Ponce-Díaz *et al.* (1991) y Melo-Barrera *et al.* (2003) con organismos capturados en la misma zona de estudio. En otro estudio, Wares & Sakagawa (1975) reportaron un crecimiento isométrico con muestras colectadas en Buenavista, Baja California Sur y Mazatlán, Sinaloa, mencionan que durante los meses de agosto a octubre obtuvieron pocas muestras lo que pudo crear alguna diferencia en sus resultados.

7.2 Indicadores de reproducción

7.2.1 Proporción sexual

Durante la mayor parte del año la proporción de machos predomino sobre las hembras, cambiando solo en los meses de verano y principio de otoño (de julio a octubre con un promedio de 1:1.43) registrándose un número mayor de hembras en estos meses. Asimismo en la proporción sexual por intervalo de talla se obtuvieron más hembras en los intervalos de 2100 - 2300 mm LMF, siendo en el intervalo de 2400 mm LMF donde solo se registraron hembras. Kopf (2010), no encontró una diferencia significativa en la proporción sexual por mes durante su periodo de estudio (2006 - 2009), sin embargo menciona que el porcentaje de hembras se incrementa por rango de talla desde los 1900 mm hasta los 2600 mm de LMF, al igual que lo observado en este trabajo. Ortega-García *et al.* (2003) encontraron resultados similares en la región de estudio durante los años de 1990 - 1999, registrando una diferencia en la proporción sexual (mayor número de hembras) en los meses de julio a octubre, lo que podría sugerir que a pesar de que esta especie tiene preferencias por aguas más templadas, las hembras de talla mayor permanecen en aguas más cálidas para llevar a cabo su actividad reproductiva.

7.2.2 Índice gonadosomático

El IGS tuvo una tendencia similar con la variación de la TSM, presentó valores altos durante la primavera y verano en ambos sexos, lo que nos sugiere que cuando la TSM empieza a aumentar inicia a la maduración de la gónada de estos organismos.
De julio hasta octubre, los valores promedios mensuales del IGS fueron los más elevados de todo el periodo de estudio, indicando que los organismos se están preparando para el desove. Particularmente en las hembras los promedios mensuales más altos se presentaron durante los meses de mayo del 2009 y agosto del 2010, en machos en septiembre del 2009 y en agosto del 2010, coincidiendo además con la presencia de hembras de tallas superiores a los 1900 mm LMF. Kopf (2010) y Sun *et al*. (2011), mencionan que existe una predominancia de hembras de esta especie durante la temporada de desove, hecho que también ha sido reportado para otras especies de picudos como el pez espada (Young *et al.,* 2003, DeMartini *et al.,* 2007), marlin azul (Shimose *et al.,* 2009), y marlin blanco (Arocha y Barrios, 2009).

En los peces teleósteos se ha descrito que los valores altos de IGS indican la prehidratación de los oocitos, y que particularmente en los que presentan desoves parciales, como es el caso del marlín rayado, este aumento es producido por los cambios continuos de acumulación y descarga de gametos (De Vlaming *et al.,* 1982; Ochoa-Báez, 1998). Para las especies con fecundidad indeterminada se ha mencionado que es necesario establecer la época de reproducción mediante el uso de la histología y no solo contar con el IGS como único indicador debido a que durante un periodo de reproducción pueden llevarse a cabo varios desoves y puede cometerse el error de considerar una gónada desovada como inmadura, por lo que los cambios que se llevan a cabo durante la maduración y puesta, solo pueden ser identificados con técnicas de mayor precisión como la histología (Zúñiga-Flores, 2009). Además, Ochoa-Báez (1998) concluye que el IGS por sí solo no da información suficiente para la identificación de los periodos de desove y que aunque este método es ampliamente utilizado en la biología pesquera, puede ser impreciso

cuando se busca el diagnóstico del estado reproductivo real de los organismos. Este índice puede ser una herramienta útil para la identificación del momento de la puesta o periodo de desove, pero no suele permitir la clasificación en estados de madurez, por lo que tienen que usarse junto con otros métodos (Saborido, 2004).

Interpretando la estacionalidad del IGS podemos deducir que existe un periodo de desove a partir de julio, que es donde los promedios mensuales de IGS descienden. En este estudio la temporada en la cual aumenta el IGS de las hembras coincide con lo reportado para la misma zona del Pacífico por otros estudios, siendo en los meses de verano de cada hemisferio donde se han reportado los valores más elevados (Eldridge & Wares, 1974; Sun *et al*., 2011).

7.2.3 Factor de condición

La comparación gráfica entre el FC y el IGS por mes, muestra que ambos índices presentaron una tendencia similar durante los meses de primavera verano en tanto que durante el invierno los valores del IGS fueron más bajos. En este trabajo, los valores del FC fueron estimados utilizando el peso total de los peces, por lo que el peso de la gónada probablemente este influenciando en el valor del mismo. Wotton, (1990) menciona que en el factor de condición interviene la madurez sexual del organismo y el desarrollo gonadal, en peces iteroparos el costo de la reproducción puede ser considerable y a menudo hay una alternancia entre las reservas del cuerpo y el desarrollo de las gónadas (Jobling, 1995), sin embargo en este estudio se observó que los promedios mensuales del FC se mantuvieron elevados respecto al IGS durante los meses de otoño invierno. Al parecer el hecho de que el marlín rayado tenga una gran capacidad de depredación y un patrón de alimentación generalista (Abítia-Cárdenas *et al.,* 2002) le permite mantenerse en buena condición aun en temporada reproductiva.

Además, considerando que el estado nutricional del organismo también es un componente que influye en el FC, podemos asumir que los promedios mensuales

más altos pueden deberse a la alimentación de marlin rayado durante este tiempo. Ortega-García *et al.* (2012) reportaron que en los meses de invierno y principios de primavera de los años del 2009 y 2010 cuando se registraron los valores altos de FC en nuestro estudio, la dieta del marlín rayado estuvo compuesta principalmente por sardina (*Sardinops caeruleus*), macarela (*Scomber Japonicus*) y calamar gigante (*Dosidicus gigas*). A este respecto, Abítia-Cárdenas *et al.* (2002) en un análisis del contenido energético de las principales presas del marlin rayado determinaron que precisamente estas presas son las que aportan la mayor parte de la energía consumida, sugiriendo que Cabo San Lucas puede señalarse como un área importante de alimentación en donde el marlin rayado se encuentra almacenando energía excedente en forma de lípidos corporales, con el fin de prepararse para el evento reproductivo. Este comportamiento permitiría usar las reservas de energía en verano para llevar a cabo adecuadamente sus actividades reproductivas. Los cambios de disponibilidad de las presas quizás pudieran explicar la tendencia decreciente que se observó en este índice durante el periodo analizado.

7.3 Ciclo reproductivo y su relación con la temperatura superficial del mar

Durante el periodo analizado, en los machos se observaron estadios avanzados de madurez durante todos los meses y en las hembras solo se observaron de abril a septiembre. Esto mismo es reportado en aguas de Taiwán, donde se ha mencionado que la mayor temporada de desove de marlin rayado se da desde abril hasta agosto, coincidiendo además con los valores más altos en la TSM (Sun *et al.,* 2011). Los estadios de madurez más avanzados se encontraron en muestras tomadas cuando la TSM se registró entre 25.7 y 30.5 °C, rango similar al reportado por Kopf (2010). Esto se refuerza con lo reportado por González-Armas *et al.* (1999; 2006), quienes colectaron larvas de marlin rayado en aguas al sur del Golfo de California en TSM > 27 °C durante los meses de verano.

La mayoría de los peces muestran ritmos anuales durante sus épocas de desove, las cuales están sincronizadas con factores ambientales como la temperatura superficial

del mar y el fotoperiodo (De Vlaming, 1974). Además, las larvas deben eclosionar en un entorno en el cual exista abundancia de alimento y condiciones abióticas favorables (Saborido, 2004). Por lo que para que se lleve a cabo el desove se necesitan condiciones ambientales específicas, mismas que garanticen una época de reproducción exitosa (De Vlaming, 1983). Bajo este contexto, las condiciones favorables para la especie en la zona de estudio estarían ocurriendo durante los meses de verano, pero que en este estudio representamos solo por medio de la TSM. Entre las características oceanográficas de esta región durante los meses de verano que pudieran favorecer las condiciones de reproducción, esta la formación de remolinos, los cuales están asociados con un incremento en la concentración de clorofila (Pantoja *et al.,* 2012, Kurczyn *et al*., 2012). Estas estructuras pueden actuar como mecanismos de retención para las larvas de peces y concentrar presas o alimento para éstas, lo cual es importante para los depredadores con altas tasas de crecimiento como peces de pico que necesitan un suministro abundante de alimentos para satisfacer las demandas metabólicas (Hyde *et al.,* 2006). A este respecto Tidwell *et al*. (2008) en un estudio de distribución de larvas de picudos realizado en el Golfo de México encontraron que la densidad mayor de larvas se da entre dos giros, uno ciclónico y otro anticiclónico mencionando que el agua rica en nutrientes de un giro ciclónico impulsa la productividad secundaria en la zona externa de un giro anticiclónico, lo cual genera un zona de alta abundancia de alimento para las larvas de picudos.

7.4 Fecundidad parcial

La fecundidad parcial depende de la longitud del organismo y usualmente se espera obtener una relación exponencial (Cubillos *et al.,* 2011) sin embargo en este estudio no se pudo estimar esta relación, ya que solo se hizo el ejercicio con dos hembras. A pesar de esto, la medición de este parámetro en la literatura es escasa por lo que consideramos importante los resultados al respecto. Son solo dos los reportes de fecundidad disponibles. Uno es el de Eldridge & Wares (1974), quienes reportaron una fecundidad parcial de 11.3 a 28.6 millones de oocitos por desove/hembra en el

Océano Pacífico Oriental, sin embargo no mencionan si hacen un distinción entre el tamaño de los oocitos o su grado de madurez, por lo que posiblemente se haya sobreestimado la fecundidad de la especie. En años recientes Kopf (2010), encontró una fecundidad parcial promedio de 3.1 millones de oocitos por desove/hembra al Suroeste del Océano Pacífico, y al igual que en este trabajo, este autor se basó en el mismo criterio de utilizar solo el total de la masa de oocitos maduros que estaban listos para liberarse. A este respecto se ha descrito que las estimaciones de fecundidad de especies con desove parcial, son difíciles de estimar, ya que presentan múltiples desoves con fecundidad indeterminada, lo que significa que su fecundidad potencial anual no es fija (Saborido, 2004). Por lo anterior para realizar una estimación de la fecundidad total se necesitaría conocer la fecundidad parcial en cada evento de desove durante una temporada de reproducción. Sin embrago, solo podría tenerse un aproximado porque no podemos saber cuántos desoves parciales lleva a cabo durante toda la época reproductiva. Una estimación de la fecundidad total fue realizada por Kopf (2010) en una hembra de marlin rayado de 100 kg evaluando entre 12 y 90 millones de oocitos durante 30 eventos de desove.

7.5 Talla de primera madurez individual y poblacional

En este estudio la L_{50} estimada fue de 1890 mm LMF para machos y 1980 mm LMF para hembras. Las tallas de L_{50} estimadas en este estudio son similares a las reportadas por Kopf (2010), quien reporta una L_{50} de 1890 para machos y de 2020 mm LMF para hembras en el suroeste del océano Pacífico. Este autor menciona además, que la diferencia en la talla de madurez entre sexos puede estar dada por el costo energético que requieren las hembras para desarrollar ovarios los cuales pueden representar el 8% del peso total. En organismos colectados en aguas cercanas a Taiwan Sun *et al.* (2011) estimaron una talla de primera madurez de 1789 mm LPO utilizando solo hembras durante la época de desove. Si consideramos que la diferencia entre la LPO y la LMF en hembras es de aproximadamente de 300 a 320 mm, el valor de L_{50} reportado por estos autores es mayor a la que se obtuvo en este estudio; sin embargo, la hembra madura de menor talla reportada por Sun *et al*.

fue de alrededor de 1820 mm de LMF en comparación a la de este estudio que fue de 1690 mm LMF.

Existen diversas técnicas para conocer la talla de primera madurez sexual en peces, sin embargo por el tiempo que se emplea en utilizar técnicas más precisas como la histología la mayoría de ellas se basan solo en las medidas del organismo y su relación con el peso de la gónada (Eldridge & Wares, 1974). En este estudio la talla de primera madurez se obtuvo después de haber realizado el trabajo histológico y comprobar mediante esta técnica que los organismos utilizados eran organismos que se encontraban en estadios avanzados de madurez.

8. CONCLUSIONES

- Se observó una variación estacional significativa en las capturas de marlin rayado, siendo en los meses de invierno cuando se registró el mayor número de organismos, coincidiendo con la preferencia por aguas templadas reportada.

- Se registraron organismos con tallas entre los 1300 y 2400 mm LMF, con un promedio de 1976 y 2004 mm LMF, para machos y hembras respectivamente, siendo menores a las reportadas en estudios anteriores realizados en la misma zona.

- En este estudio se registró un mayor número de machos, siendo solo en los meses de verano cuando la proporción de hembras fue mayor cuando ocurre la presencia de hembras de mayores a los 2100 mm de LMF.

- Los valores más altos del IGS se observaron durante los meses de primavera y verano en ambos sexos. Los valores promedio mensual más altos para hembras se registraron en mayo y agosto y para machos durante agosto y septiembre. Este índice presentó un comportamiento similar con el aumento de TSM, lo que nos sugiere que esta variable ambiental puede ser un disparador del inicio de la maduración sexual del marlin rayado y desovar entre los meses de agosto, septiembre y octubre, que es cuando los valores de IGS comenzaron a disminuir.

- En la relación del IGS con el FC encontramos una relación inversa durante los meses de invierno cuando al no existir actividad reproductiva los valores de IGS fueron bajos mientras que los valores de FC aumentaron.

- Mediante el análisis histológico encontramos machos con estadios de madurez avanzado durante todos los meses del año. Las hembras con mayor grado de

madurez solo se encontraron entre abril y octubre, con mayor porcentaje durante julio y agosto cuando se registraron valores de TSM superiores a 28 °C.

- La fecundidad obtenida en este estudio fue mucho menor a lo reportado por otros autores para otras regiones. Sin embargo, en esos estudios anteriores no se realizó la distinción de los oocitos maduros de los inmaduros. En este estudio se realizó la separación de los oocitos próximos a desovar.

- El valor de L_{50} fue de 1890 para machos y 1980 mm hembras. Para su determinación se seleccionaron solo aquellos organismos que mediante el análisis histológico mostraron signos de madurez avanzado. Esta metodología, se sugiere como la más adecuada para el tipo de especies que presenta desove parcial.

- De acuerdo a los resultados obtenidos tanto en los indicadores morfometrícos como histológicos, el marlín rayado en las aguas cercanas a Cabo San Lucas presenta actividad reproductiva durante los meses de verano y principios de otoño.

9. RECOMENDACIONES

Dada la importancia económica que genera la pesca deportiva para Baja California Sur, se recomienda mantener el monitoreo de las tallas desembarcadas del marlin rayado (*Kajikia audax*), ya que durante el desarrollo de este estudio se observó un número importante de machos y hembras en estadios inmaduros y menores a la L_{50} estimada en este trabajo..Por la aleatoriedad con que se realiza la pesca, sería recomendable establecer una L50 única que pudiera sugerirse como talla mínima de captura. Sobre la base de los resultados de este estudio sería de 1915 mm de longitud maxilo-furcal.

Dada la problemática que se presentó para la estimación de la fecundidad, se recomienda la colecta intensiva de muestras de hembras durante los meses de verano y principios de otoño, para poder determinar la biomasa desovante y la fecundidad potencial de esta especie en Cabo San Lucas y en áreas adyacentes.

10. BIBLIOGRAFÍA

Abítia-Cárdenas, L.A., F. Galván-Magaña, FJ. Gutiérrez-Sánchez, J. Rodríguez-Romero, B. Aguilar-Palomino & A. Moehl-Hitz. 1999. Diet of blue marlin *Makaira mazara* off the coast of Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. Fisheries. Research., 44: 95-100.

Abitia-Cárdenas, L.A., A. Muhlia-Melo, V. Cruz-Escalona & F. Galvan-Magaña. 2002. Trophic dynamics and seasonal energetics of striped marlin *Tetrapturus audax* in the southern Gulf of California, Mexico. Fisheries. Research., 57: 287-295.

Arocha, F. & Barrios, A. 2009, Sex ratios, spawning seasonality, sexual maturity, fecundity of white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western central Atlantic. Fisheries Research, 95:98-111.

Bagenal, T. B. & F. W. Tesch.1978. Methods for assessment of fish production in freshwater, 3rd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.101-136.

Balbotín, F. & W. Fischer. 1981. Ciclo sexual y fecundidad de la merluza, *Merluccius gayi gayi*, en la costa de Chile. Revista Biología Marina Valparaíso, 17(3): 85-334.

Bromhead, D., Pepperell, J., Wise, B. & Findlay, J. 2004.Striped marlin: biology and ecology. Bureau of Rural Sciences Canberra, Australia.

Cubillos LA, Alarcón C, Castillo–Jordán C, Claramunt G, Oyarzún C, & S. Gacitúa. 2011. Spatial and temporal changes in batch fecundity of common sardine and anchovy off central and southern Chile (2002–2007). Ciencias Marinas. 37: 547–564.

DeMartini E.E., Uchiyama J.H., Humphreys R.L. Jr., Sampaga J.D. & H.A Williams. 2007. Age and growth of swordfish *Xiphias gladius* caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. Fisheries Bulletin 105(3):356-367.

Diario Oficial de la Federación. 2010. Acuerdo por el que se aprueba la actualización a la Carta Nacional Pesquera. 12 de febrero de 2010. 112 p.

Diario Oficial de la Federación. 1995. Fecha de publicación de la NOM-017 PESC-1994. 09 de mayo de 1995.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Fecha de publicación de la NOM-009 PESC-1993. 04 de marzo de 1994.

De Vlaming, V.L. 1974. Environmental and endocrine control of teleost reproduction. In "Control of Sex in Fishes" (C.B. Schreck, ed). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. 13-83.

De Vlaming, V.L., G. Grossman & F. Chapman. 1982. On the use of the gonosomatic index. Comparative Physiology and Biochemistry., 73A: 31-39.

De Vlaming V. 1983. Oocyte developmental patterns and hormonal involvements among teleosts. En: Rankin J.C., T.J. Pitcher & R.T. Duggan (Eds.) Control Processes in Fish Physiology 99-176. Croom Helm, Londres.

Eldridge, M.B. & P.G. Wares. 1974. Some biological observations of billfishes taken in the eastern Pacific Ocean,1967-1970,p.89-101. *In* R.S. Shomura & F. Williams (eds.). Proceeding of the international billfish symposium, Kailua-Kona,Hawaii,9-12 august 1972 U.S.Dep Commer. NOAA Technical Report. NMFS SSRF-675.

González-Armas, R., O. Sosa-Nishizaki, R. Funes-Rodríguez & V. A. Levy-Pérez.1999. Confirmation of the spawning area of the striped marlin *Tetrapturus* audax, in the so called core area of the eastern tropical Pacific off México. Fisheries Oceanography 8(3): 238-242.

González-Armas, R., A. Klett-Traulsen & A. Hernandez-Herrera. 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. Bulletin of Marine Science 79(3): 705-717.

Howard, D. W. & C. S. Smith. 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25.U.S. Department of Commerce. 95 p.

Hyde, J. R., R. Humphreys, M. Mussel, E. Lynn, & R. Vetter. 2006. A central North Pacific spawning ground for striped marlin, *Tetrapturus audax*. Bulletin of Marine Science 79 (3): 683-690.

Jobling, M. 1995. Environmental Biology of Fishes. London: Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 16. 455 p.

Kopf, K. R., J. Pepperell & P.S. Davie, 2009. A preliminary report on age, growth, and reproductive dynamics of striped marlin (*kajikia audax*) in the southwest pacific ocean. 5th Meeting of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, 10-21 August 2009, Port Vila, Vanuatu.

Kopf, K. R. 2010. Age, growth, and reproductive dynamics of striped marlin, *Kajikia* audax in the southwest Pacific Ocean. Charles Sturt University, Australia, 257 p.

Klett-Traulsen, A. & S. Rodríguez-Rodríguez. 1989. Contribución al estudio del desarrollo gonádico del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887). VII Simposio Internacional de Biología Marina, La Paz, B.C.S. 45-53 p.

Kume, S. & Joseph, J. 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean east of 130 EW. Bulletin Far Seas Fisheries Research Laboratory (Shimizu), 2: 115–162.

Kurczyn, J. A., E. Beier, M. F. Lavín, & A. Chaigneau. 2012. Mesoscale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry, Journal of Geophysical Research, 117.

Macgregor, J.S. 1957. Fecundity of the Pacific Sardine (*Sardinops caerulea*). Fishery Bulletin, U.S. 57: 427 - 449.

Melo-Barrera, F. N., Félix-Uraga, R. & Quiñónez-Velázquez, C. 2003. Growth and length-weight relationship of the striped marlin, *Tetrapturus audax* (Pisces: Istiophoridae), in Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. Ciencias marinas. 29: 305–313.

Nakamura, I. 1985. FAO Species Catalogue. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO Fisheries Synopsis, (125) 5: 1-65.

Ochoa-Báez RI. 1998. Estacionalidad reproductiva y producción ovárica de la anchoa europea, *Engraulisen crasicolus* (Clupeidae: Engraulidae) en el mar Catalán. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 287 p.

Ortega-García, S., A. Klett-Traulsen & G. Ponce-Díaz. 2003. Analysis of sportfishing catch rates of striped marlin (Tetrapturus audax) at Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico, and their relation to sea surface temperature. Marine Freshwater Research. 54 (4): 483-488.

Ortega-García, S., D. Arizmendi-Rodríguez & M. Zuñiga-Flores. Striped marlin (*Kajikia audax*) diet variability off Cabo San Lucas, Baja California Sur, México during El NIÑO-LA NIÑA events. 2012. 63rd Annual Tuna Conference Lake Arrowhead, California May 21-24.

Pantoja González, D. A., S. G. L. Marinone Moschetto, A. F. Pares Sierra & F. Gómez Valdivia. (2012) Numerical modeling of seasonal and mesoescale hydrography and circulation in the Mexican Central Pacific. Ciencias Marinas. 38(2): 363-379 p.

Ponce-Díaz, G., Ortega-García., S. & Gonzáles Ramírez, P.G. 1991. Análisis de tallas y relación peso longitud del marlín rayado, *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887) en Baja California Sur, México, Ciencias Marinas, 17(4):69-82.

Rodríguez-Jaramillo, C., Ortega-García, S., Domeier, M., & Zúñiga Flores, .M.S., 2007. Reproducción del marlin rayado *Tetrapturus audax* en Baja California Sur. X Foro Nacional sobre el Atún. INP-PN-14-16 de noviembre Boca del Río Veracruz.

Saborido F. 2004. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso doutoramento do bienio 2002-2004. Universidad de Vigo. Instituto de Investigaciones Marinas, Vigo, España. 71 p.

Santana-Hernández, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico mexicano (1983-1996) y su relación con la temperatura superficial del mar. Tesis Doctoral. Fac. De Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima, México. 122 p.

Shimose, T., M. Fujita, K. Yokawa, H. Saito & K. Tachihara, 2009. Reproductive biology of blue marlin *Makaira nigricans* around Yonaguni Island, Southwestern Japan. Fisheries Science, 75: 109-119.

Sokal, R. R. & J. F. Rohlf. 1981. Biometry. Freeman, San Francisco, California. 976 p.

Southwick, R, R Nelson & Jose Antonio Arean Martinez. 2008. The Economic Contributions of Anglers to the Los Cabos Economy. A report to The Billfish Foundation, Fort Lauderdale, U.S.A.

Sosa-Nishizaki, O. 1998.Historical review of the billfish management in the Mexican Pacific. Ciencias Marinas, 24(1):95-111

Squire, J. L. 1987. Relation of sea surface temperature changes during the 1983 El Niño to the geographical distribution of some important recreational pelagic species and their catch temperature parameters. Marine Fisheries Review, 49 (2): 44-57.

Squire, J.L., & Au, D.W.K. 1990. Management of striped marlin (*Tetrapturus audax*) resources in the northeast Pacific-a case for local depletion and core area management. In “Planning the Future of Billfishes”. Marine Recreational Fisheries 13, 67-81.

Strasburg, D. W. 1970.A reporton the billfishes ofthe central Pacific Ocean. Bulletin of Marine Science. 20, 575-604.

Sun, C.L., S.Y. Chang, Y.J. Chang, S.Z. Yeh, W.C. Chiang, & N.J. Su., W.C. 2011. Reproductive biology of female striped marlin (*Kajikia audax*) in the waters off Taiwan. Working Paper, ISC/11/BILLWG-1/11.19–27.

Tidwell, M.T., S.A. Holt, J.R. Rooker and G.J. Holt. 2008. The distribution and feeding ecology of larval billfish in the northern Gulf of Mexico. Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 60:379-84.

Ueyanagi, S. & P.G. Wares, 1975. Synopsis of biological data on striped marlin, *Tetrapturus audax* (Philippi),1887. NOAA Technical.Report. NMFS, (675) Part 3:132-59.

Villalejo-Fuerte, M., Ochoa–Báez, R. I., 1993, El ciclo reproductivo de la almeja catarina, *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en relación con temperatura y fotoperiodo, en Bahía Concepción, B.C.S., México: Ciencias Marinas, 19, 181–202.

Wares, P.G. & G.T. Sakagawa, 1975. Some morphometrics of billfishes from the eastern Pacific Ocean. p. 107-120. In R.S. Shomura and F. Williams (eds.) Proceedings of the international billfish symposium, Kailu-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972, Part 2. Review and contributed papers. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-675.

Wotton, R.J. 1990. Ecology of Teleost Fishes. 1st Edn. Chapman and Hall, London 404 p.

Young, Jock, Anita Drake, Michael Brickhill, Jessica Farley, & Thor Carter. 2003. Reproductive dynamics of broadbill swordfish,*Xiphias gladius*, in the domestic longline fishery off eastern Australia.Marine Freshwater Research, 54 (4): 315-33

Zúñiga-Flores, M., Ortega-García, S., Santana-Hernández, H. & Rodríguez-Jaramillo, M. C. 2011.First evidence of pompano dolphin (*Coryphaena equiselis*) spawning in the Central Mexican Pacific. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 6(4): 260-263.

Zúñiga-Flores, M. 2009. Dinámica poblacional del dorado (*Coryphaena hippurus*) en Baja California Sur, México, implicaciones para su manejo. Tesis Doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz B.C.S., 227 p.

ANEXO 1

Procedimiento de tinción Hematoxilina-Eosina

La tinción hematoxilina y eosina es uno de los métodos más utilizados en estudios histológicos, este método supone la aplicación de la tinción de hematoxilina, que por ser básica, tiñe estructuras ácidas (basófilas) en tonos azul y púrpura, como por ejemplo los núcleos celulares; y la eosina tiñe componentes básicos (acidófilos) en tonos de color rosa, ya que esta es ácida, como el citoplasma.

Después de que se realizan los cortes histológicos y las muestras son montadas en portaobjetos, se aplica la tinción Hematoxilina-Eosina, la cual consiste en los siguientes pasos:

- Se sumergen los portaobjetos en xilol para eliminar los excesos de parafina.
- Para rehidratar las muestras se pasan por una serie de alcoholes en concentración decreciente (100°, 96°, 80° y 70°).
- Se lava en agua para eliminar exceso de alcohol
- Se sumerge en hematoxilina por 10 minutos, luego se lava en agua para eliminar excesos y se pasa rápidamente por alcohol ácido.
- Se lava nuevamente.
- Se sumerge 30 segundos en eosina.
- Se pasa por otra serie de alcoholes en orden creciente (70°, 80,96° y 100°) para deshidratar la muestra y realizar el montaje.
- Finalmente se deja remojar 10 minutos en xilol, antes de realizar el montaje final, el cual se realizó con a base de resina sintética o ‘’Cytoseal’’.