



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA
MARIPOSA, *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864)
EN LA PORCIÓN SUR DE LA COSTA
OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR,
MÉXICO.

TESIS

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

PRESENTA

JESÚS BERNARDO SÁNCHEZ COTA

LA PAZ, B. C. S., ENERO DE 2016.



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 19 del mes de Enero del 2016 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:

"EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA MARIPOSA, *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864)
EN LA PORCIÓN SUR DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

SÁNCHEZ

Apellido paterno

COTA

materno

JESÚS BERNARDO

nombre(s)

Con registro: A 1 4 0 5 7 1

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

MC. FELIPE NERI MELÓ BARRERA
Director de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
2º. Director de Tesis

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

DR. JAVIER TOVAR ÁVILA

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 22 del mes de Enero del año 2016

El (la) que suscribe BM. JESÚS BERNARDO SÁNCHEZ COTA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A140571 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

MC. FELIPE NERI MELC BARRERA y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA MARIPOSA, *Cymatusa marmorata* (Cooper, 1864)

EN LA PORCIÓN SUR DE LA COSTA OCCIDENTAL DE 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: .jvsanchez009@gmail.com- fmelo@ipn.mx- galvan.felipe@gmail.mx

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

J.B. SÁNCHEZ

BM. JESUS BERNARDO SÁNCHEZ COTA

Alumno y Autor del Trabajo

INDICE

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABLAS	IV
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	4
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS PARTICULARES	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
COLECTA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	8
<i>Colecta</i>	8
<i>Estructura de tallas</i>	10
<i>Limpieza</i>	10
<i>Corte</i>	11
<i>Digitalización de los cortes de las vértebras</i>	11
ESTIMACIÓN DE LA EDAD	12
<i>Relación entre el tamaño corporal y el tamaño de la vértebra (AD-RV)</i>	12
<i>AD = a + bRV</i>	12
<i>Lectura</i>	13
<i>Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento</i>	14
<i>Validación de la periodicidad de las bandas de crecimiento (métodos indirectos)</i>	15
<i>Estructura de Edades</i>	16
MODELOS DE CRECIMIENTO	17
<i>Crecimiento individual</i>	17

<i>Selección del “mejor” modelo</i>	18
RESULTADOS	20
COLECTA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	20
<i>Colecta</i>	20
<i>Estructura de tallas</i>	21
ESTIMACIÓN DE EDAD	22
<i>Relación radio de la vértebra vs ancho de disco</i>	22
<i>Lecturas</i>	23
<i>Validación del tiempo de formación de las bandas de crecimiento</i>	24
<i>Estructura de edades</i>	26
MODELOS DE CRECIMIENTO	27
<i>Crecimiento individual, selección del “mejor” modelo</i>	27
DISCUSIÓN	32
COLECTA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	32
<i>Estructura de tallas</i>	34
ESTIMACIÓN DE EDAD	35
<i>Relación entre el tamaño corporal y el tamaño de la vértebra</i>	35
<i>Lecturas</i>	36
<i>Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento</i>	37
<i>Validación del tiempo de formación de las bandas de crecimiento</i>	37
<i>Estructura de edades</i>	39
MODELOS DE CRECIMIENTO	40
<i>Crecimiento individual, selección del “mejor” modelo</i>	40
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	47

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.- localización geográfica del campo pesquero de Punta Lobos (23° 24' 52" N, 110 13' 49" O) en el poblado de Todos Santos, B. C. S. Línea punteada: (- -) área aproximada de pesca. Tomado de DOF: 13/11/2009. 8
- Figura 2.- Esquema de las medidas biométricas y de la zona donde se colectaron las vértebras a los especímenes muestreados. 10
- Figura 3.- Esquema del corte longitudinal de una vértebra (Goldman, 2004). 11
- Figura 4.-Esquema de un corte de vértebra. F: foco de la vértebra, CC: *corpus calcareum*, MN: marca de nacimiento, BO: banda opaca, BT: banda translúcida, R: radio de la vértebra. 12
- Figura 5- Tratamiento de los cortes: 1) observación directa en el microscopio estereoscopio, 2) imágenes digitales y 3) imágenes digitales mejoradas 13
- Figura 6.- Esquema del corte de una vértebra, M , ancho del margen= $R - R_n$; P , ancho de la última banda completa= $R_n - R_{n-1}$; V , radio de la vértebra; línea roja, mediciones tomadas sobre el perfil de la vértebra (imagen tomada de Okamura et al. 2013). 16
- Figura 7.- Distribución mensual de la muestras de *G. marmorata* de Punta Lobos, B. C. S. (n=167). 20
- Figura 8.- Muestra la estructura de tallas de la muestras colectadas de *G. marmorata* (n=120). 21
- Figura 9.- Relación ancho de disco-radio de la vértebra para machos y hembras de *G. marmorata*. Hembras, puntos negros (línea continua); machos, puntos grises (línea punteada). 22
- Figura 10.- Distintas formas de vertebras, encontradas en las muestras de *G. marmorata*. 23
- Figura 11.- Comparación del sesgo de las lecturas entre los lectores 1 y 2. 24
25
- Figura 12.- Análisis de tipo de borde para las vértebras de *G. marmorata*. 25
- Figura 13.- Análisis de incremento marginal para las vértebras de *G. marmorata*. 26
- Figura 14.- Estructura de edades estimada para los datos de *G. marmorata*. 27

Figura 15.- Histogramas de frecuencia para las diferentes clases de edad de <i>G. marmorata</i> (sexos agrupados).	28
Figura 16.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad pertenecientes a las hembras de <i>G. marmorata</i> .	30
Figura 17.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad pertenecientes a los machos de <i>G. marmorata</i> .	30
Figura 18.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad de <i>G. marmorata</i> (sexos agrupados).	31

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Valores de la relación AD-RV para machos y hembras de <i>G. marmorata</i>	22
Tabla II.-Prueba de Okamura <i>et al.</i> (2013) para validar la periodicidad de formación de la marca de crecimiento de <i>G. marmorata</i> .	25
Tabla III.- Parámetros de crecimiento por modelo ajustado y valores de AIC para los datos de talla a la edad de <i>G. marmorata</i> .	29

GLOSARIO

Banda de crecimiento.- banda concéntrica presente en la vértebra que delimita un año de crecimiento (por lo menos en esta especie), dicha marca está conformada por dos bandas una opaca y una hialina y es utilizada para asignar grupos de edad a los organismos.

Banda de nacimiento.- Primer banda que se forma en la vértebra, la más próxima al foco, se puede observar un cambio en el eje de crecimiento de la vértebra.

Banda opaca.- Zona de la vértebra que por su composición densa (mayor concentración de carbonatos) impide el paso de la luz y se asocia a periodos de crecimiento rápido y se tiende a depositar en verano o meses cálidos (puede ser banda, zona o región opaca) (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet y Goldman, 2004).

Banda traslúcida.- Zona de la vértebra que permite el paso de luz y se asocia a periodos de crecimiento lento y tiende a depositarse en invierno o meses fríos (puede ser zona, banda o región translúcida) (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet y Goldman, 2004).

Clase anual.- Año en el que nacieron los organismos (*e.g.* 1986).

Corpus calcareum.- Parte más calcificada en las vértebras de los elasmobranquios y en un corte longitudinal de la vértebra, la parte externa (Ashley y Chiasson, 1988).

Corte.- Porción que se toma de la estructura para poder estimar la edad, en este caso, corte longitudinal.

Crecimiento.- Incremento en el tamaño de un organismo, ya sea de longitud, peso o talla. (*e.g.* altura de un humano, largo de las uñas, grosor de masa corporal).

Edad.- Tiempo que ha vivido un organismo, desde el nacimiento hasta el momento en el que se determina su edad (pueden ser años, meses, semanas o días).

Foco.- Parte central de la vértebra, que va a ser analizada (Wilson *et al.*, 1983).

Grupo de edad.- Grupo de organismos de una edad determinada (e.g. Grupo de edad 1: Todos los organismos que tienen solo una marca sin contar la de nacimiento; edad que tenemos en años).

Incremento marginal.- Método que se encarga de evaluar la temporalidad en la formación de las marcas de crecimiento en estructuras duras como vértebras, escamas, espinas u otolitos, etc.

Intermedialia.- Parte menos calcificada en una vértebra de tiburón y en un corte longitudinal es la parte interna de la vértebra (Ashley y Chiasson, 1988).

Precisión.- Es la repetición en las mediciones de una misma estructura, por ejemplo, en cinco estimaciones de una estructura, en las cinco se haya estimado el mismo número (Panfiliet *al.*, 2002).

Tasa de crecimiento.- Medida del cambio en el tamaño del organismo dependiente del tiempo.

Validación.- Método que permite confirmar la unidad temporal del crecimiento en la estructura. Se utilizan para determinar la exactitud en las estimaciones de edad con respecto a la edad verdadera. (e.g. marcado y recaptura, marcado con OTC y recaptura, análisis de incremento marginal). (Campana, 2001; Cailliet y Goldman, 2004).

RESUMEN

Se estimó la edad y el crecimiento de la raya mariposa *Gymnura marmorata* en la porción sur de Baja California Sur, México a partir de la lectura de bandas de crecimiento en vértebras. Se validó la formación anual de las bandas de crecimiento de manera indirecta mediante la evaluación del análisis de incremento marginal, estimando edades máximas de cinco años para machos (780 mm AD) y 13 años para hembras (1330 mm AD). Se ajustaron cinco curvas de crecimiento a los datos de talla a la edad. El desempeño de los modelos fue evaluado usando el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el enfoque de la inferencia multi-modelo. Se determinó que el modelo de crecimiento de von Bertalanffy de tres parámetros fue el más adecuado para describir el crecimiento ($AD_{\infty}=758$ mm, $k=0.54$ año⁻¹, $t_0=-1.55$ año) en los machos; mientras que para las hembras el mejor modelo de crecimiento fue el de Gompertz de tres parámetros ($AD_{\infty}=1269$ mm, $k=0.25$ año⁻¹, $t_0=-0.19$ año). Este es uno de los primeros trabajos de edad y crecimiento en especies del género *Gymnura* y los resultados indican que *G. marmorata* es una especie de vida relativamente corta, con un rápido crecimiento, lo cual contrasta con lo reportado para otras especies de elasmobranquios.

Palabras clave: edad y crecimiento, vértebras, *G. marmorata*, validación indirecta, selección de modelo, inferencia multi-modelo.

ABSTRACT

We estimate the age and growth of butterfly ray *Gymnura marmorata* in the southern portion of Baja California Sur, Mexico by reading of the growth bands in vertebrae. We validated indirectly the annual formation of the growth bands by evaluating the Marginal Increment Analysis, estimating maximum ages was five years for males (780 mm AD) and 13 years for females (AD 1330 mm). Five growth curve were fitted to data length-at-age. Model performance was evaluated using the Akaike Information Criterion (AIC) and the multi-model inference approach. The von Bertalanffy growth model with three parameters was determined as the most adequate to describe the growth ($AD^\infty = 758$ mm, $k = 0.54$ years⁻¹, $t_0 = -1.55$ years) in males; whereas that, Gompertz growth model with three parameters was the best growth model for females ($AD^\infty = 1269$ mm, $k = 0.25$ yr⁻¹, $t_0 = -0.19$ years). This is one of the first age and growth studies in species of the genus *Gymnura* and the results indicate that *G. marmorata* is a relatively short-lived species, with rapid growth in contrast those reported for other elasmobranchs species.

Key words: age and growth, vertebrae, *G. marmorata*, indirect validation, model selection, multimodel inference.

INTRODUCCION

Las pesquerías mexicanas de elasmobranquios son de las principales en el mundo; sin embargo, como en la mayoría de las pesquerías a nivel mundial, se carece de un registro oficial con información detallada sobre el esfuerzo pesquero, la composición específica de las capturas y el ciclo de vida de los elasmobranquios sujetos a explotación (Smith *et al.* 2009). Actualmente los desembarques de elasmobranquios a nivel nacional se clasifican en tres grandes grupos: 1) “tiburón”, a todas las especies de tiburones de más de 1.5 metros de longitud total; 2) “cazón”, a todas las especies de tiburones por debajo de dicha talla; y 3) “rayas y especies afines”, a todas las especies de batoideos desembarcadas (Castillo-Géniz *et al.* 1998).

En 2013 la producción de “rayas y especies afines” en Baja California Sur (B. C. S.) llegó a 1,146 toneladas, representado aproximadamente el 15% de la producción nacional, posicionando a B. C. S., en el segundo lugar de producción de batoideos a nivel nacional, superado solo por el estado de Sonora con 1,597 toneladas (SAGARPA, 2013).

La raya mariposa, *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864), es una especie demersal que pertenece al grupo de los Myliobatiformes (Chondrichthyes: Batoidea); presenta una coloración café verdoso en vista dorsal y un color blanco en su parte ventral, su cuerpo es más ancho que largo, semejando un disco romboidal, presenta una espina pequeña en la región caudal (Dávila-Ortiz, 2002; Compagno, 2005; Smith *et al.* 2009). Se encuentra frecuentemente en aguas cercanas a la costa desde la zona inter-mareal y hasta 100 metros de profundidad, con una distribución que comprende desde Punta Concepción al sur de California, E. U. A., hasta al sur de Punta Lobos de Afuera, Perú (Amezcuca-Linares, 1996).

En México, *G. marmorata* es capturada por la pesca artesanal con redes agalleras y chinchorros de fondo durante todo el año, mostrando un aumento en las capturas durante el verano (Villavicencio-Garayzar, 1994; Bizarro, 2005; Bizarro *et al.* 2007; Bizarro *et al.* 2012), así mismo se captura incidentalmente en palangres y

redes de cerco (Ramírez-Amaro, 2011). Además de ser reportada como parte importante de la fauna de acompañamiento de los arrastres de camarón (Márquez-Farías, 2002).

La información disponible para *G. marmorata* es escasa, tanto a nivel nacional, como internacional. Presenta dimorfismo sexual, con hembras que alcanzan tallas mayores que los machos (Fisher *et al.* 1995). Alcanzan la madurez sexual alrededor de 460 mm y 740 mm de ancho de disco (AD) para machos y hembras respectivamente, es una especie vivípara aplacentada con trofonemata o leche uterina, con un periodo de gestación de alrededor de 9 a 12 meses con 4 a 16 crías por camada que nacen durante los meses de primavera-verano (Burgos-Vázquez, 2013).

Presenta una talla de nacimiento de entre los 210 mm y 265 mm de AD (Dávila-Ortiz, 2002; Bizarro y Smith, 2012;). Hasta el momento no existe información referente a la estimación de los parámetros de crecimiento para esta especie en la costa occidental de B. C. S., así como tampoco para la mayoría de las especies pertenecientes al género *Gymnura* a nivel mundial.

Los estudios sobre estimación de la edad y la descripción del crecimiento de especies susceptibles de aprovechamiento han sido catalogados como uno de los componentes esenciales y de mayor influencia entre las variables biológicas utilizadas para el manejo de los recursos marinos, debido a que aportan información base para cálculos y análisis de demográfico como son: tasa de crecimiento poblacional, tasa de mortalidad, productividad biológica, análisis de población virtual, entre otros (Goldman, 2004; Caillet *et al.* 2006; Carlson y Goldman, 2006; Campana, 2013).

Los estudios de estimación de edad se basan en la observación de bandas concéntricas de crecimiento presentes en estructuras duras como otolitos, escamas, espinas de las aletas, vértebras y otras estructuras duras (Campana, 2001). Dichas bandas se clasifican en opacas y translucidas con base en sus características ópticas relacionadas con su densidad, por lo que el patrón de crecimiento de dichas

bandas aporta información útil para estimar la edad de los organismos (Goldman, 2004).

El desarrollo de este patrón de bandas ha sido relacionado con cambios en el metabolismo, inducidos por factores como la temperatura, el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento, entre otros (Goldman, 2004). Sin embargo, no se puede dejar de considerar al crecimiento como uno de los fenómenos más complejos de los organismos, ya que representa el resultado de una serie de procesos e interacciones fisiológicas (metabolismo) y de comportamiento (relación con el ambiente), que inician con la ingesta de alimento y terminan en la creación de sustancia animal, es decir con el aumento de volumen y tamaño (Brett, 1979).

La descripción del proceso de crecimiento consiste en ajustar una función matemática (modelo) a datos de “talla a la edad” o “peso a la edad”, con la finalidad de predecir y comparar los patrones de crecimiento que presentan las especies y sus poblaciones (Cruz-Jiménez y Cerdaneres-Ladrón De Guevara, 2014).

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (1934, 1938, 1960) es la función de crecimiento más ampliamente utilizada para la descripción del crecimiento tanto en peces como elasmobranquios (Cailliet y Goldman, 2004; Cailliet *et al.* 2006). Sin embargo, se han desarrollado una gran variedad de modelos de crecimiento; por lo que para hacer una adecuada descripción del crecimiento; se recomienda utilizar un conjunto de modelos candidatos, seleccionados principalmente: 1) por haber sido utilizados en otras especies de elasmobranquios, 2) su interpretación biológica y 3) conveniencia (Cailliet *et al.* 2006; Mejía-Falla *et al.* 2014).

Por lo que el objetivo del presente trabajo es estimar la edad y describir el crecimiento de *G. marmorata*, mediante la comparación de un conjunto de modelos de crecimiento y seleccionar el modelo más adecuado para describir el comportamiento de los datos a partir del principio de parsimonia, es decir; del balance entre el ajuste del modelo a los datos observados y su complejidad (Burnham y Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006).

ANTECEDENTES

Existe una amplia literatura respecto a los temas de estimación de edad y descripción del crecimiento en elasmobranquios. Sin embargo, para *G. marmorata* e incluso para el género *Gymnura*, en el Océano Pacífico sólo se cuenta con el estudio elaborado por Santa-Rodríguez (2007) desarrollado con muestras del alto Golfo de California, México. En dicho trabajo se estimaron edades máximas de 16 años (AD promedio= 714.3 mm) para hembras y de 6 años (AD promedio= 535 mm) para machos. Sin embargo, no pudieron estimar la época o periodicidad de formación de las marcas de crecimiento, por lo que asumen que cada marca de crecimiento corresponde a un año. Los parámetros de crecimiento para sexos separados los obtuvieron a partir del ajuste del modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VBGM) de tres parámetros a los datos (hembras: AD_{∞} = 1299.9 mm, $k=0.110$ mm año⁻¹, $t_0= -2.26$ año; machos: AD_{∞} = 771.3mm, $k=0.113$ mm año⁻¹, $t_0= -4.47$ año).

Henningsen (1996) quien a partir de VBGM estimó la tasa de crecimiento (k) en cautiverio, para dos especímenes de *Gymnura altavela*, macho y hembra, en el Acuario Nacional en Baltimore, Estados Unidos de América. Obteniendo valores promedio de 0.063 mm día⁻¹ y 0.303 mm día⁻¹ respectivamente.

Martin y Cailliet (1988) estimaron los parámetros del VBGM para *Myliobatis californica* en California, E. U. A., reportando valores para las hembras de: AD_{∞} = 1587 mm, $k=0.099$ mm año⁻¹, $t_0=-2.059$ año; machos: AD_{∞} = 1004 mm, $k= 0.229$ mm año⁻¹, $t_0= -1.580$ año).

Cowley (1997), estimó el crecimiento de *Dasyatis chrysonota chrysonota* en la costa sur-este de Cabo, Sudáfrica, encontrando que las hembras alcanzan tallas mayores pero crecen más lento que los machos. Los parámetros del VBGM reportados para sexo separados son hembras: AD_{∞} = 913 mm, $k= 0.070$ mm año⁻¹, $t_0= -3.65$ año. Mientras que para los machos los valores fueron: AD_{∞} = 532 mm, $k=0.175$ mm año⁻¹, $t_0= -4.48$ año).

Cowley (1997) estableció, que de manera general, los valores del coeficiente de crecimiento (K) del VBGM en batoideos reportados en la literatura (hasta ese momento) se estiman entre 0.07 mm año^{-1} a 0.45 mm año^{-1} .

Cailliet y Goldman (2004) realizaron una revisión bibliográfica de los estudios de edad y crecimiento, comparando los valores de k obtenidos a partir de VBGM, mencionando que de manera general para peces guitarra, raya torpedo y rayas los valores de k estimados oscilan entre 0.2-0.5.

JUSTIFICACIÓN

En la mayoría de las pesquerías Mexicanas se carece de información detallada sobre la composición específica de las capturas y el ciclo de vida de los elasmobranquios sujetos a explotación (Márquez-Farías y Castillo-Géniz, 1998; Smith *et al.* 2009).

Lo anterior toma relevancia debido a que de manera general los elasmobranquios (tiburones y rayas) son considerados como susceptibles a la presión por pesca, debido a que en comparación con los teleósteos, presentan un crecimiento lento, una madurez sexual tardía y una baja fecundidad. Lo cual en condiciones de sobrexplotación podría llegar a ocasionar diversos problemas de índole biológica y ecológica (disminución de la población, alteraciones en la trama trófica, etc.), así como también problemas socio-económicos, debido a que la pesca de tiburones y rayas, generan empleos, ingresos y sustento para diversos sectores de la sociedad mexicana (Arreguín-Sánchez *et al.* 2004; Ramírez-Amaro *et al.* 2013).

Gymnura marmorata, se localiza en aguas costeras o relativamente cercanas a la costa a lo largo del Pacífico Mexicano y es una de las principales especies capturada en la pesca artesanal de elasmobranquios batoideos en la costa occidental de B. C. S., además de ser parte de la fauna de acompañamiento en la pesca de arrastre de camarón, sin embargo se desconocen aspectos sobre los parámetros de crecimiento para la zona sur de B. C. S.

De tal manera que el presente trabajo tiene como principal objetivo estimar la edad y describir el crecimiento de *G. marmorata*, para iniciar con una línea base de información que ayude a comprender la dinámica poblacional de la especie en la zona y generar herramientas que puedan ser útiles para el manejo sustentable de los recursos marinos.

OBJETIVO GENERAL

Estimar la edad y describir el crecimiento individual de *Gymnura marmorata* en la porción sur de la costa occidental de Baja California Sur, a partir de la lectura de bandas de crecimiento en vértebras y la comparación entre modelos de crecimiento.

Objetivos Particulares

- I. Estimar la estructura de tallas de *G. marmorata* capturados por la pesquería artesanal en la porción sur de la costa occidental de B. C. S.
- II. Establecer la relación entre el tamaño de la vértebra y el tamaño corporal de *G. marmorata*.
- III. Estimar el número de bandas de crecimiento en las vértebras de *G. marmorata* capturada en la porción sur de la costa occidental de B. C. S.
- IV. Estimar y validar (de manera indirecta) la periodicidad de las bandas de crecimiento en las vértebras de *G. marmorata*.
- V. Estimar la estructura de edades de la muestra de *G. marmorata*
- VI. Estimar el crecimiento individual de *G. marmorata* en la porción sur de la costa occidental de B. C. S. mediante diversos modelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y preparación de las muestras

Colecta

Las muestras fueron colectadas mensualmente durante enero del 2013 a diciembre de 2014 a partir de la captura de la pesca artesanal en la porción sur de la costa occidental de Baja California Sur, aproximadamente 40 millas náuticas del campo pesquero de Punta Lobos en el poblado de Todos Santos, B. C. S. (Fig. 1), localizado a aproximadamente 83 km al sur de la ciudad de La Paz, predomina un clima semidesértico con temperatura anual de 18 ° C a 28 ° C, con lluvias en verano (SAGARPA, 2011).

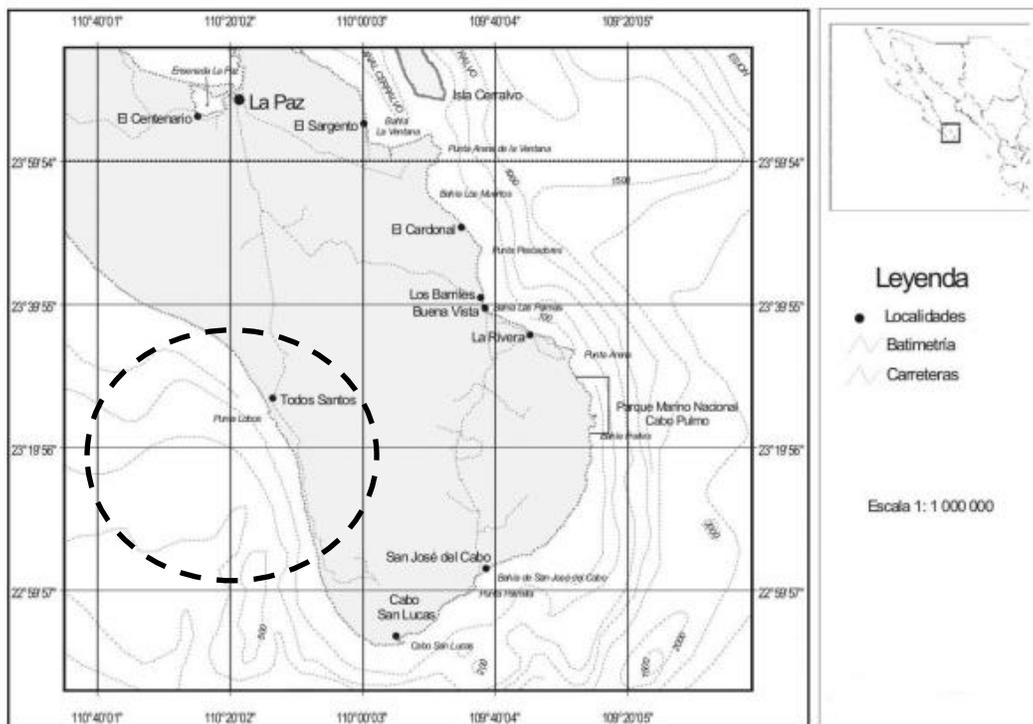


Figura 1.- localización geográfica del campo pesquero de Punta Lobos (23° 24' 52" N, 110 13' 49" O) en el poblado de Todos Santos, B. C. S. Línea punteada: (- -) área aproximada de pesca. Tomado de DOF: 13/11/2009.

La morfología de la plataforma continental de la porción sur de la costa occidental de B. C. S., es estrecha y muy similar a la observada hacia el norte de la península, seguida de un talud continental que desciende abruptamente a profundidades de entre 600 y 1000 metros (Lira-Beltrán, 2009).

La región recibe la influencia de varias corrientes y surgencias estacionales (primavera y verano) en distintos periodos del año. En términos oceanográficos está dominada por la corriente de California, que fluye de norte a sur, transportando aguas relativamente frías y ricas en nutrientes. Las corrientes cercanas a la costa reciben también la influencia de la contracorriente del sur de California, que es más cálida y fluye en forma estacional (invierno principalmente) en dirección norte (Wilkinson *et al.* 2009).

Las salidas de campo fueron realizadas dentro del proyecto “Biología de las especies de rayas (Chondrichthyes: Batoidea) de importancia comercial en la costa occidental de Baja California Sur” (SIP 1500).

De cada organismo capturado se registró el largo y ancho de disco (LD y AD, respectivamente ± 1 cm; Fig. 2). Se identificó el sexo, a partir de la presencia de órganos copuladores en machos y la ausencia de estos en hembras. Se extrajo una sección de entre 10 y 15 vértebras de la región abdominal de cada organismo, ya que en esta zona es donde se encuentran las vértebras de mayor tamaño en los batoideos (Officer *et al.* 1996; Goldman, 2004).

Cada sección de vértebras fue colocada en bolsas plásticas individuales, especificando mediante una etiqueta, el nombre de la especie, la longitud del ancho de disco, tipo de muestra, localidad y fecha. Dichas muestras se congelaron y se trasladaron al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), para su almacenaje en el Laboratorio de Ecología de Peces.

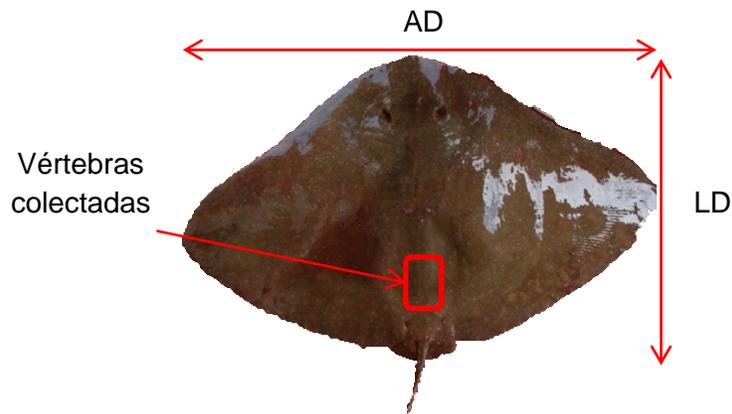


Figura 2 .- Esquema de las medidas biométricas y de la zona donde se colectaron las vértebras a los especímenes muestreados.

Estructura de tallas

Para establecer la estructura de tallas, se realizó un histograma de frecuencias de las tallas de los organismos muestreados. Con la finalidad de evaluar la diferencia en la estructura de tallas debida al sexo (machos y hembras), se utilizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de confianza del 95% (Sokal y Rohlf, 1981).

Limpieza

Para retirar del *centrum* vertebral los arcos hemales y neurales, así como el restos de tejido conjuntivo y músculo, se utilizó un cuchillo común o bien un bisturí (cuando las vértebras eran muy pequeñas). Para facilitar la remoción de los tejidos, las vértebras se colocaron en agua caliente (<100°C) alrededor de 5 minutos.

Una vez limpias, las vértebras se colocaron en viales plásticos con alcohol etílico al 70% durante 12 horas, después se procedió a enjuagar con agua corriente y se dejaron secar a temperatura ambiente por un periodo no menor a 24 horas, posteriormente se almacenaron en viales de plástico.

Corte

Para realizar la lectura de las bandas de crecimiento en las vértebras de *G. marmorata*, es necesario evidenciar el patrón de marcas de crecimiento, para lo cual se realizaron cortes longitudinales de las vértebras (Fig. 3), utilizando una cortadora de baja velocidad con cuchilla con borde de diamante (Isomet Buehler), variando el grosor del corte cada 0.1 mm, obteniendo cortes desde 0.3 mm hasta 0.6 mm, para determinar el grosor adecuado para realizar la lectura de las marcas de crecimiento (Campana, 2014). En todos los casos, la sección obtenida contenía el foco de la vértebra.

Digitalización de los cortes de las vértebras

Los cortes de las vértebras fueron observados en un microscopio estereoscopio, Zeiss® Modelo SteREO Discovery V12 y digitalizados con la ayuda de una cámara Zeiss® Axiocam ICc1® de 1.4 megapíxeles de resolución. Las imágenes fueron digitalizadas con el programa ZEN 2012® de Zeiss®. De acuerdo con lo sugerido por Campana (2014) todas las imágenes fueron observadas con luz transmitida y con un aumento de 12x; en los casos en el que las vértebras fueron pequeñas, se tomaron imágenes adicionales con aumentos mayores (13x, 14x, 16x, 18x).

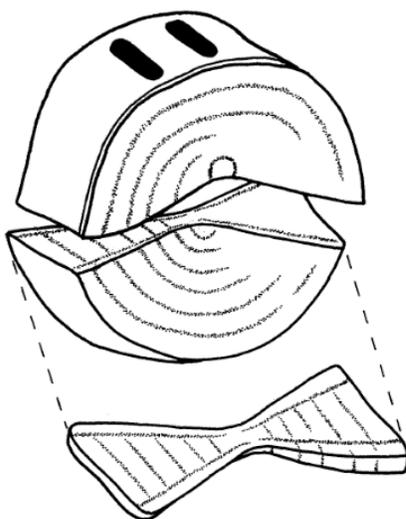


Figura 3.- Esquema del corte longitudinal de una vértebra (Goldman, 2004).

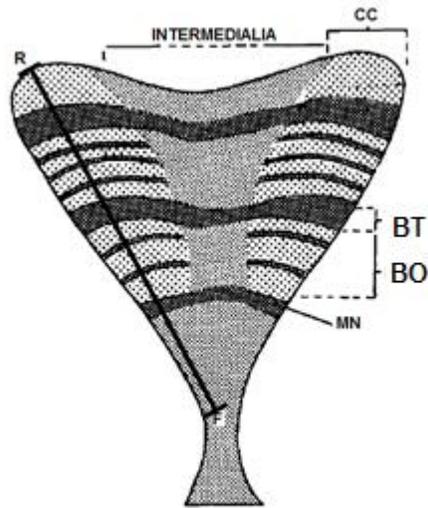


Figura 4.-Esquema de un corte de vértebra. F: foco de la vértebra, CC: *corpus calcareum*, MN: marca de nacimiento, BO: banda opaca, BT: banda translúcida, R: radio de la vértebra.

Estimación de la edad

Relación entre el tamaño corporal y el tamaño de la vértebra (AD-RV)

La relación entre el radio de la vértebra (RV) y el tamaño del organismo (AD), se estableció a través de un análisis de regresión lineal. De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$AD = a + bRV$$

Donde, *AD*, es el ancho de disco de los especímenes; *RV*, es el radio de la vértebra; *b*, es la pendiente de la recta; y *a*, es la ordenada al origen.

Para determinar si existen diferencias en la relación del RV y AD entre hembras y machos, se utilizó una prueba para pendientes y elevaciones (análisis de covarianza ANCOVA) contenido en el programa SPSS Statistics.

Lectura de vertebras

De manera preliminar se tomó una sub-muestra de 30 cortes de las vértebras, para realizar un ensayo de lecturas y observar el patrón de bandas de crecimiento de *G. marmorata* para comparar entre tres tratamientos de los cortes: 1) observación directa en el microscopio estereoscopio, 2) imágenes digitales y 3) imágenes digitales mejoradas (Fig. 5). Se determinó que el tratamiento con mayor precisión fueron las imágenes digitales mejoradas, por lo cual el conteo de todas las vértebras se realizó sobre estas imágenes.

El conteo de las bandas de crecimiento se realizó a partir de las imágenes digitalizadas de los cortes de las vértebras, dichas imágenes fueron mejoradas digitalmente con ayuda del programa ImagePro® Plus 6.0 de Media Cybernetics®.

Para la asignación del grupo de edad, se consideró que el conjunto de una banda opaca y una banda translúcida forman una marca de crecimiento, así el grupo de edad quedo definido como el número de bandas translúcidas en la vértebra.

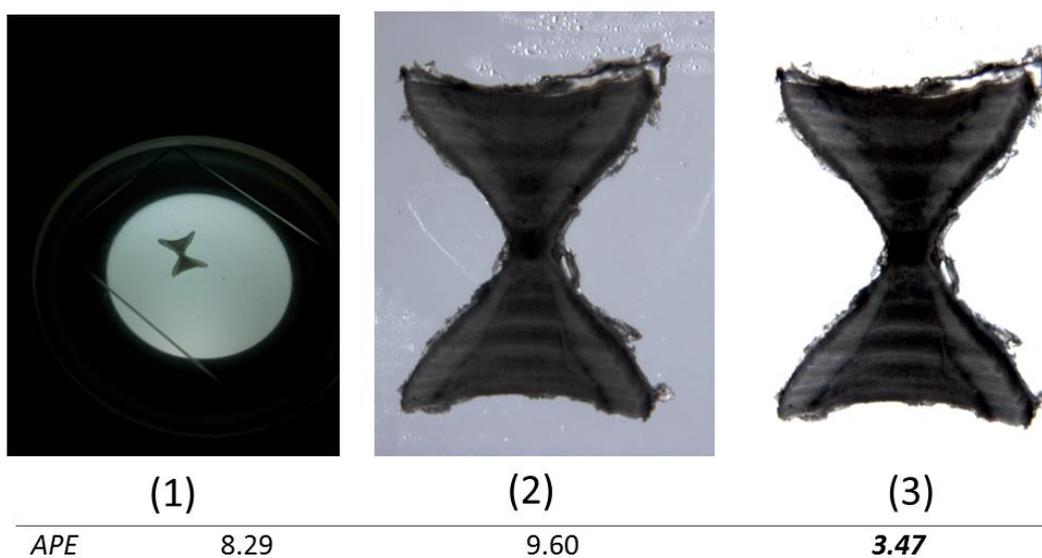


Figura 5- Tratamiento de los cortes: 1) observación directa en el microscopio estereoscopio, 2) imágenes digitales y 3) imágenes digitales mejoradas

El conteo de las bandas se realizó sobre el *corpus calcareum*, ya que es la zona más calcificada del *centrum* y es donde se apreciaron mejor dichas marcas (Fig. 4). Dicha lectura de las bandas de crecimiento se realizó por parte de dos lectores, los cuales hicieron dos lecturas independientes, espaciadas en tiempo y sin tener conocimiento de la talla del organismo, ni de la fecha de captura.

Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento

Para establecer la precisión en el conteo de las lecturas de las marcas de crecimiento entre lectores y entre lecturas, se calculó el porcentaje de error promedio (APE) (Beamish y Fournier, 1981) y el coeficiente de variación (CV) propuesto por Chang (1982):

$$APE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j} \right] \times 100$$

$$CV = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^r \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{r-1}}}{X_j} \right\} \times 100$$

Dónde: N, es el número total de organismos a los cuales se les estimó la edad; r, es el número de veces que se leyó la estructura (número de lectores); X_{ij} es la edad i para el organismo j ; X_j , Promedio de la edad para el organismo j .

Validación de la periodicidad de las bandas de crecimiento (métodos indirectos)

Para estimar el tiempo de formación de las marcas de crecimiento, se utilizaron dos técnicas; la primera denominada “análisis de tipo de borde” es *cuantitativa* y se obtuvo a partir del porcentaje mensual de las vértebras con borde opaco durante los meses muestreados (Ishiyama, 1978; Tanaka y Mizue, 1979). La otra es *cuantitativa* y se denomina “análisis de incremento marginal” o MIA por sus siglas en inglés (Marginal Increment Analysis) propuesto por Hayashi (1976) y es estimado con la siguiente función:

$$MIA = \frac{(RV - R_n)}{(R_n - R_{n-1})}$$

Dónde: RV: Radio de la vértebra; R_n : distancia del foco de la vértebra hasta la última banda de crecimiento completa. R_{n-1} : distancia del foco de la vértebra hasta la penúltima marca de crecimiento totalmente formada.

La distancia del radio de la vértebra, así como la distancia del foco a cada una de las banda de crecimiento se obtuvo con la ayuda del programa Image-Pro Plus® 6.0 de Media Cybernetics®.

De manera tradicional para medir el radio de la vértebra, se dibuja una línea recta sobre el *corpus calcareum* del foco al borde (línea negra); sin embargo, en el presente trabajo debido a la gran variedad de formas que presentaron las vértebras (Ffig. 10), se realizó un perfilado del borde del *corpus calcareum* (línea roja) el cual en estos casos representa de mejor manera la distancia del radio de la vértebra y sus incrementos (Fig. 6).

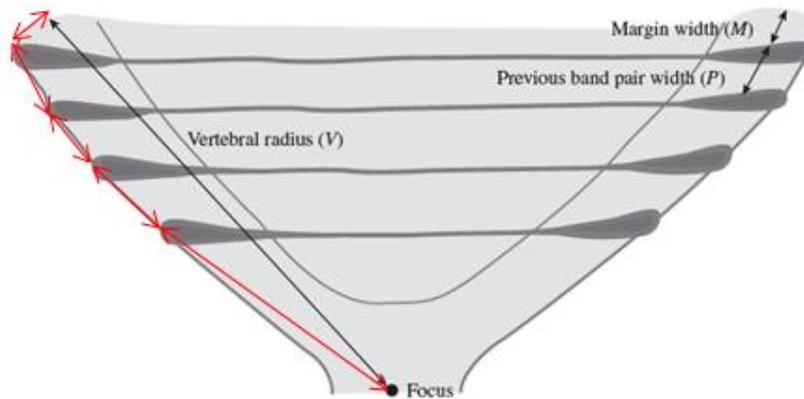


Figura 6.- Esquema del corte de una vértebra, M , ancho del margen= $R - R_n$; P , ancho de la última banda completa= $R_n - R_{n-1}$; V , radio de la vértebra; línea roja, mediciones tomadas sobre el perfil de la vértebra (imagen tomada de Okamura *et al.* 2013).

Se realizó la prueba estadística propuesta por Okamura *et al.* (2013) para verificar la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento. Este método compara el ajuste de tres modelos lineales-circulares a los datos obtenidos del MIA. En el modelo tipo N los datos no representan un ciclo. En el modelo tipo A, los datos se ajustan a un ciclo anual. En el caso del modelo tipo B, los datos representan un ciclo bianual. Dicha comparación se llevó a cabo con el software libre R, mediante una rutina desarrollada por los autores del método. Los especímenes con estimación de edad 0 fueron excluidos de este análisis debido a que no presentan una par de bandas completamente formado.

Estructura de Edades

Para la estructura de edad, se elaboraron histogramas de frecuencias del número de bandas de crecimiento presentes en las vértebras tanto de hembras como de machos. Se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rohlf, 1981) para verificar si existen diferencias significativas entre sexos.

Se estimó la edad a la captura a partir del mes de nacimiento (edad 0), considerando este como los meses de abril, mayo y junio (Burgos-Vázquez, 2013) y dividiendo el año en cuatro trimestres.

Modelos de crecimiento

Crecimiento individual

Para estimar el crecimiento individual, se ajustaron cinco modelos de crecimiento a los datos de talla a la edad de *G. marmorata*.

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (1938) de tres parámetros, el cual es el más utilizado en peces.

$$AD_t = AD_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Dónde: AD_t .- Ancho de disco a la edad t . AD_∞ .- Ancho de disco asintótico promedio. K .- tasa de crecimiento relativo. t : edad en años. t_0 : edad teórica cuando la longitud es igual a cero

También se utilizó la modificación de la fórmula original de von Bertalanffy (dos parámetros) propuesta por Fabens (1965), la cual incorpora el factor AD_0 . Debido a las dificultades teórico-prácticas de utilizar el valor t_0 , así como también a que en especies de desarrollo directo de los elasmobranquios es evidente que la longitud al momento del nacimiento es biológicamente adecuada, por lo que utilizan

$$AD_t = AD_\infty (AD_\infty - AD_0) e^{-kt}$$

Dónde: AD_0 , es la longitud al momento del nacimiento.

Se ha observado que en diferentes especies de elasmobranquios existe un decremento en la tasa de crecimiento al llegar a una edad determinada (algunos autores lo asocian con la edad de primera madurez). Algunos modelos, como el de von Bertalanffy, no consideran este patrón de comportamiento, por lo cual se puede

estimar erróneamente el crecimiento de los organismos en estudio. Debido a esto se utilizó el modelo de Gompertz (Ricker, 1979) y el logístico (Ricker, 1979).

Gompertz (3 parámetros):

$$AD_t = AD_\infty \times e^{(-e(-k_2(t-t_2)))}$$

Gompertz (2 parámetros):

$$AD_t = AD_0 \times \left(e^{\left(LN\left(\frac{AD_\infty}{AD_0}\right) \times (1 - e^{-k_2 t}) \right)} \right)$$

Donde k_2 - es la tasa de disminución exponencial de la tasa de crecimiento relativo.

Logístico (3 parámetros):

$$AD_t = \frac{AD_\infty}{1 + e^{(-k(t-t_0))}}$$

Selección del mejor modelo

Para determinar cuál es el modelo de crecimiento más apropiado para los datos de *G. marmorata*, se realizó un análisis de criterio de información de Akaike (Akaike, 1973). Que se basa en la fórmula siguiente:

$$AIC = n * \ln(SCR/n) + 2k$$

Donde n , es el número de organismos de la muestra; \ln , logaritmo natural; SCR , suma de cuadrados residuales del modelo con respecto a los datos; k , es el número de parámetros del modelo.

Se consideró el modelo con el menor valor del AIC como el más adecuado para describir los datos de longitud a la edad. Además se calcularon las diferencias entre el menor AIC y los demás valores a partir de la fórmula $\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$. Diferencias menores a 2 unidades se consideran como modelos con soporte empírico sustancial; diferencias de 4-7 se consideran con poco soporte empírico, mientras que diferencias mayores a 10 se considera sin soporte empírico (Burnham y Anderson, 2002).

La probabilidad de escoger el modelo más adecuado entre los cinco modelos candidatos fue evaluada mediante el peso de AIC (w), calculado a partir de Δ_i .

$$w_i = \frac{(e^{-0.5\Delta_i})}{\sum_{k=1}^5 e^{-0.5\Delta_k}}$$

Donde k , es el número de modelos candidatos y Δ_i , es la diferencia de AIC de cada modelo candidato

Todo lo anterior se realizó tanto para machos y hembras, como para sexos agrupados y se compararon.

RESULTADOS

Colecta y preparación de las muestras

Colecta

Se colectaron datos de 167 organismos de *G. marmorata*, 55 machos y 112 hembras (proporción 2H: 1M), de la pesca artesanal de Punta Lobos, B. C. S. durante el periodo 2013-2014 (Fig.7). Los meses de marzo y abril fueron los que presentaron una mayor abundancia de organismos colectados, a diferencia de los meses de septiembre, octubre y noviembre donde no se obtuvieron muestras.

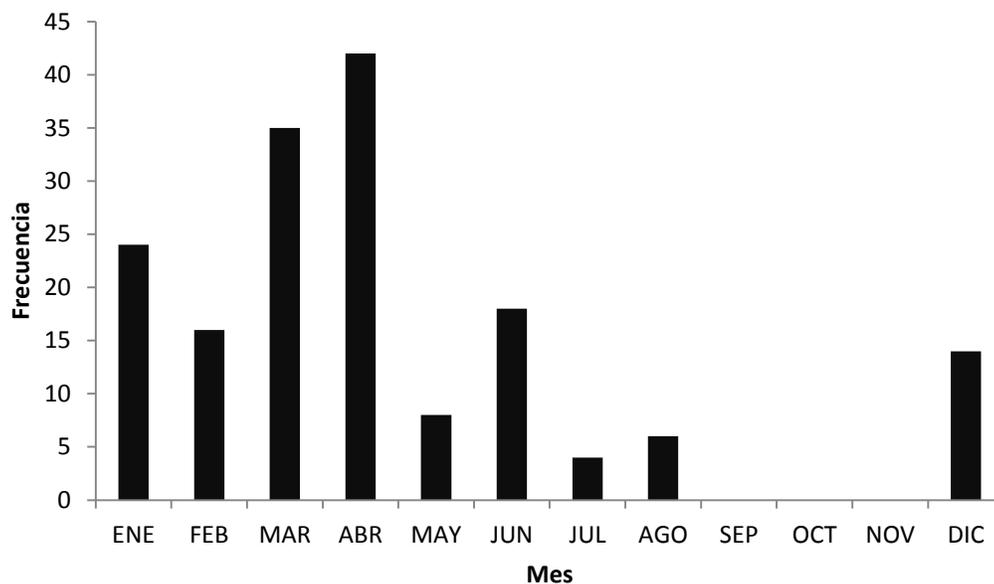


Figura 7.- Distribución mensual de la muestras de *G. marmorata* de Punta Lobos, B. C. S. (n=167).

Para representar el año tipo, se incluyeron muestras de 2011 y 2012 en los meses de mayo, junio y julio; debido a que desde el año 2012 se implementa la veda permanente de tiburones y rayas a lo largo del Océano Pacífico Mexicano del 1 de mayo hasta el 31 de julio, lo cual imposibilita por ley la obtención de muestras durante dicho periodo.

Estructura de tallas

De los 167 organismos colectados de *G. marmorata*, 47 vértebras fueron descartadas por que al momento de realizar los corte se destruían o dañaban, o bien pertenecían a la zona cercana al sinsarco cervico-toracico presente en peces batoideos, donde las vértebras se encuentran fusionadas y carentes de *centrum*, por lo que no pueden ser utilizadas en este tipo de estudios (Compagno 1999; Cuevas-Zimbrón *et al.* 2012).

Por lo que solo 120 vértebras fueron utilizadas de las cuales 41 fueron de machos y 79 de hembras con un intervalo de talla de 340-1330 mm AD. Los machos fueron más pequeños que las hembras, ya que tienen tallas de 340 a 786 mm AD (599 mm AD promedio), mientras que las hembras van de 360 mm AD a 1330 mm AD (815 mm AD promedio). De acuerdo con la pruebas Kolmogorov-Smirnov al 95% de confianza existen diferencias significativas entre sexos ($P < 0.01$). La estructura de tallas para machos, hembras y sexos combinados se muestra en la (Fig. 8).

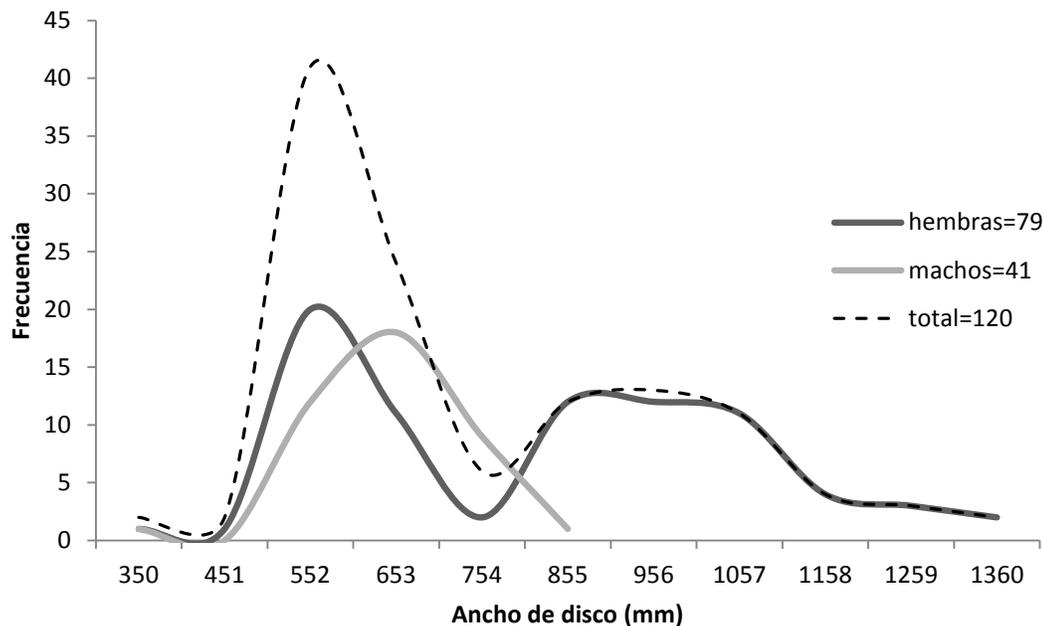


Figura 8.- Estructura de tallas de la muestras colectadas de *G. marmorata* (n=120).

Estimación de edad

Relación radio de la vértebra vs ancho de disco

La relación RV-AD se ajustó a una línea recta, es decir, el tamaño de las vértebras aumenta conforme aumenta el AD de los organismos., en una relación lineal, sugiriendo que dichas estructuras son confiables para la estimación de la edad (machos, $P<0.01$; hembras, $P<0.01$). En el caso de las hembras se obtuvo un mejor ajuste que para los machos. Es evidente que existen diferencias significativas en esta relación debidas al sexo (ANCOVA, $P=0.02$), ya que las hembras son más grandes con vértebras mayores que los machos (Fig. 9, Tabla I).

Tabla I. Valores de la relación AD-RV para machos y hembras de *G. marmorata*

sexo	a	B	R ²	n
hembras	22.05	24.16	0.8821	79
machos	22.36	20.98	0.4705	41

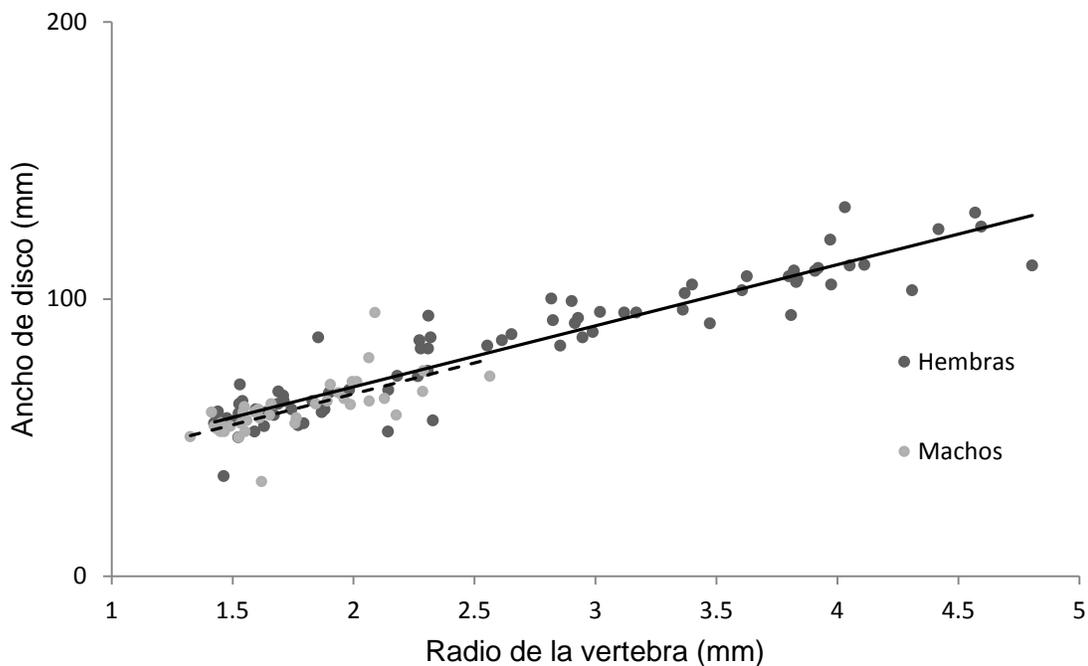


Figura 9.- Relación ancho de disco-radio de la vértebra para machos y hembras de *G. marmorata*. Hembras, puntos negros (línea continua); machos, puntos grises (línea punteada).

Lecturas

Se estableció que en el grosor de 0.4 mm las marcas de crecimiento se aprecian de mejor manera, por lo que todas las vértebras se seccionaron con este grosor.

En general el patrón de bandas de crecimiento en *G. marmorata* se observan claramente con un aumento de 12x con luz transmitida. La marca de nacimiento es relativamente fácil de identificar con la ayuda del cambio de ángulo en el *corpus calcareum* (Goldman y Musick, 2006). Sin embargo, su lectura es complicada debido a la presencia de marcas falsas o sub-bandas en el patrón de bandas de crecimiento (Fig. 10 d) y así como a una alta variabilidad de formas de las vértebras de *G. marmorata* (Fig. 10 a, b, c, d).

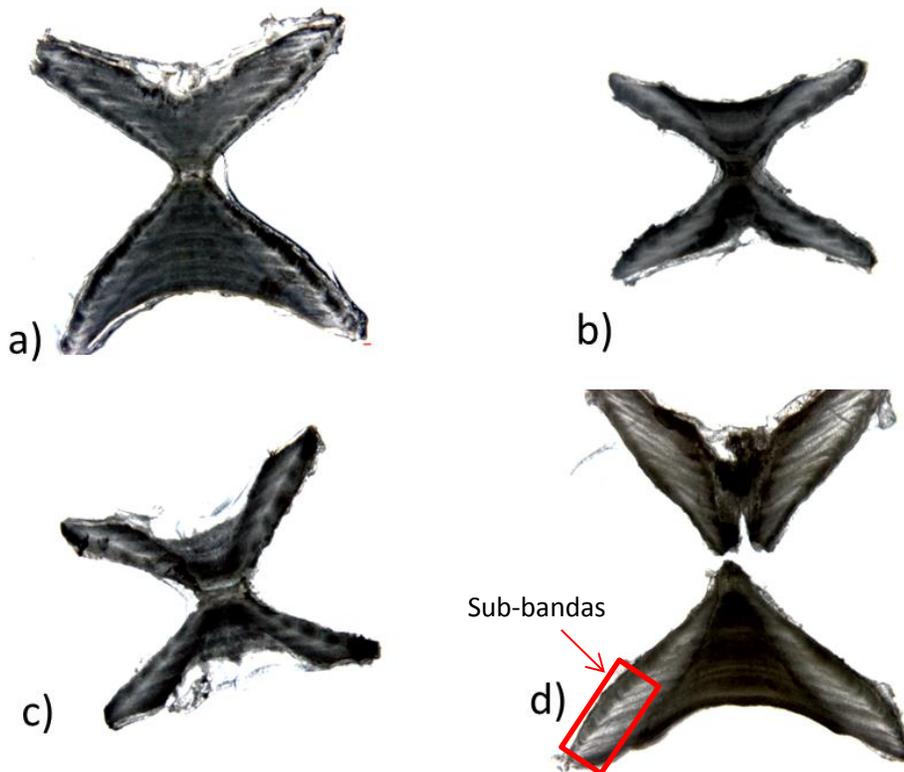


Figura 10.- Distintas formas de vertebras, encontradas en las muestras de *G. marmorata*.

El APE entre la segunda lectura de los dos lectores fue del 3.22 %, y con un CV del 4.64 %, los cuales son porcentajes aceptables para los estudios de edad y crecimiento en elasmobranchios (Beamish y Fournier, 1981; Campana, 2013).

Al comparar gráficamente las lecturas, no se observó sesgo entre los lectores y un alto nivel de acuerdo. Con discrepancias entre los grupos de edad intermedios, seis y siete (Fig. 11).

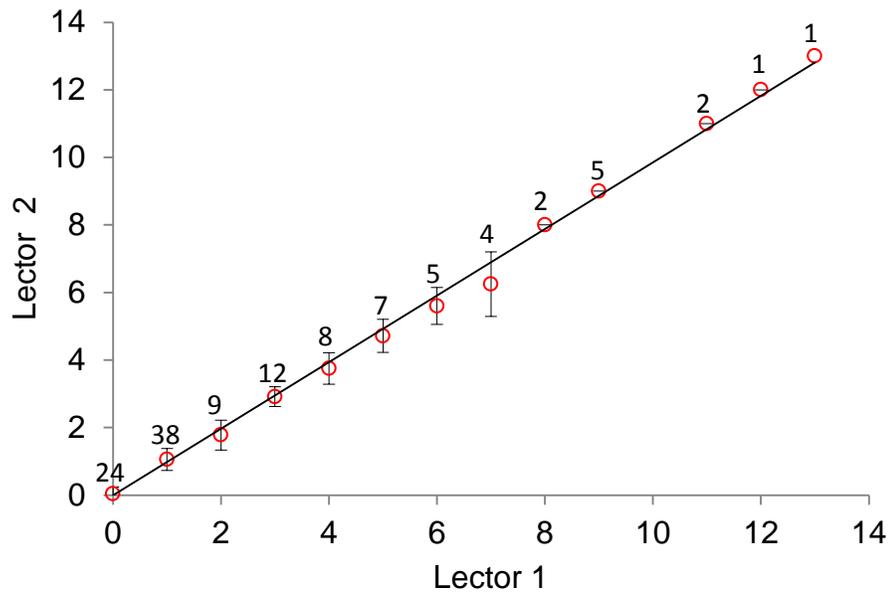


Figura 11.- Comparación del sesgo de las lecturas entre los lectores 1 y 2.

Validación del tiempo de formación de las bandas de crecimiento

El tiempo de formación de un par de bandas de crecimiento (marca de crecimiento) se asumió aproximadamente de un año. Dicha hipótesis se validó a partir de métodos indirectos (Campana, 2014) o se verificó (Cailliet, 2001).

El análisis de tipo de borde no mostró ningún patrón entre la proporción de bandas translucidas y bandas opacas durante los meses que aporta evidencia a la suposición inicial (Fig. 12). Sin embargo, el análisis de incremento marginal (MIA)

mostro un aparente patrón sinusoidal de crecimiento de la última marca de crecimiento en relación con la penúltima a través de los meses en la año (Fig. 13).

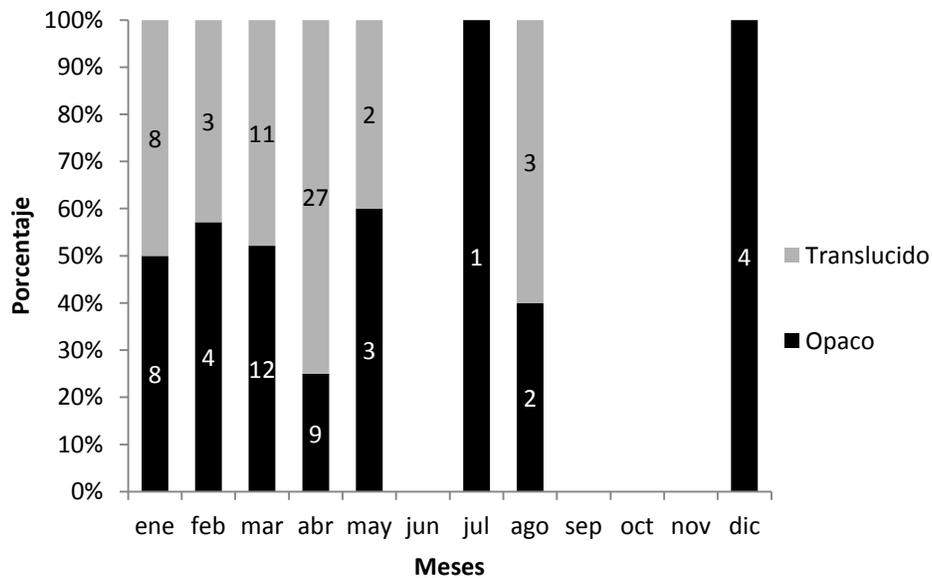


Figura 12.- Análisis de tipo de borde para las vértebras de *G. marmorata*.

Al aplicar la prueba desarrollada por Okamura *et al.* (2013) para establecer si el MIA se asocia a un patrón anual, a un bianual o no se ajusta a un patrón, se encontró que el mejor ajuste lo obtuvo el modelo tipo 1 (ciclo anual; AIC: -143). (Tabla II), con base en este resultado se puede asumir que el periodo de formación de las marcas de crecimiento en las vértebras de *G. marmorata* que se captura en la porción sur de la costa occidental de Baja California Sur es de un año.

Tabla II.-Prueba de Okamura *et al.* (2013) para validar la periodicidad de formación de la marca de crecimiento de *G. marmorata*.

MODELO	No ciclo	Anual (1 ciclo)	bianual (2 ciclos)
AIC	1.25	-143.48	-37.13
ΔAIC	144.74	0	106.35

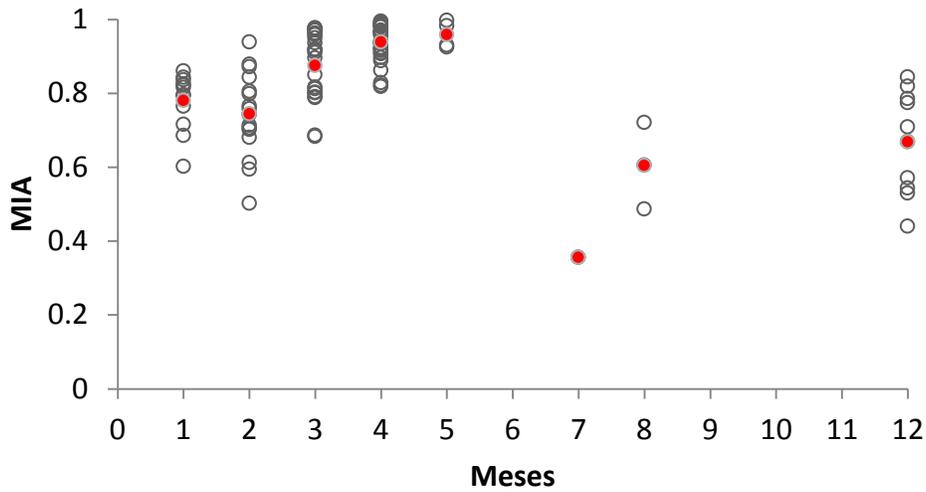


Figura 13.- Análisis de incremento marginal para las vértebras de *G. marmorata*.

Estructura de edades

En el presente estudio se estimaron edades que van desde los 0 a los 13 años de edad para hembras y de los 0 a los 5 años para los machos (Fig. 12). Donde la mayoría de los organismos para ambos sexos se encontraron entre las 0 y 3 bandas de crecimiento. De acuerdo con la pruebas Kolmogorov-Smirnov al 95% de confianza existen diferencias significativas entre sexos ($P < 0.01$)

Tomando en cuenta la estructura de tallas de los diferentes grupos de edad en cada cuarto del año empezando por el periodo de abril-junio (periodo reportado por Burgos-Vázquez (2013) como de alumbramiento para *G. marmorata*), se puede observar que existe un traslapeo entre las clases de edad (Fig. 14).

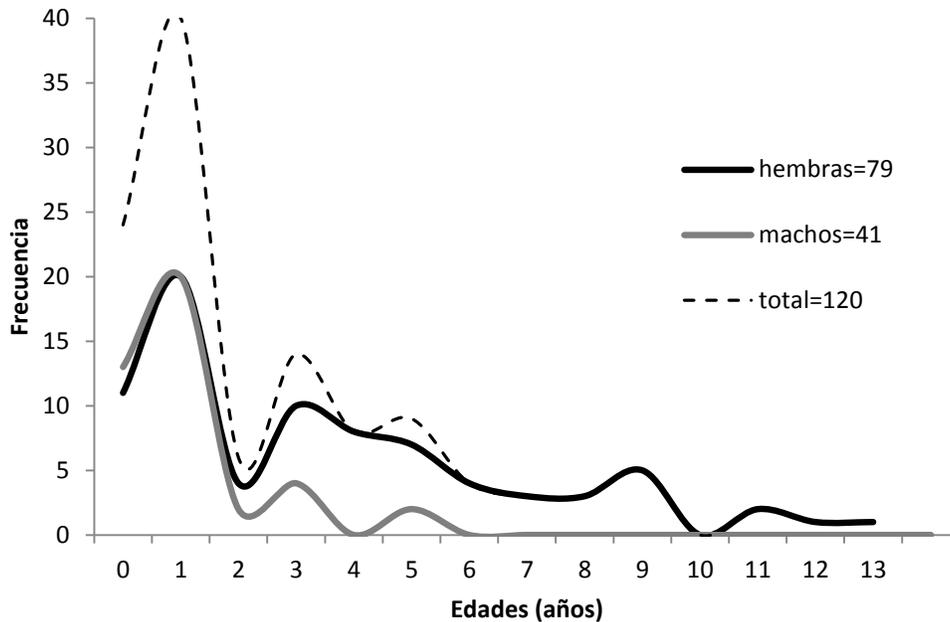


Figura 14.- Estructura de edades estimada para los datos de *G. marmorata*.

Por ejemplo, la clase de edad 0+ se observa separada de las demás en los meses de abril a junio (Fig.15 A), pero conforme avanza en año, esta clase de edad presenta organismos de mayor tamaño y se traslapa en talla con la clase de edad 1+ a finales del año (Fig.15 D), cuando la clase de edad 0+ estaría completando su primer año de edad.

Modelos de crecimiento

Crecimiento individual, selección del mejor modelo

De acuerdo con los valores de AIC; de los 5 modelos ajustados los modelos de VBGM-2 y GGM-2 parámetros, no presentan soporte empírico suficiente ($\Delta_i > 10$) para los datos de hembras de *G. marmorata* (Tabla III). El modelo de crecimiento que mejor describió el crecimiento de las hembras de *G. marmorata* fue el GGM-3 parámetros ($AD_{\infty}=1269$ mm, $k=0.25$ año⁻¹, AIC=902.05). Sin embargo, los modelos

de LGM-3) y VBGM-3 parámetros muestran soporte empírico sustancial ($\Delta_i < 2$), así como estimaciones razonables de los parámetros AD_∞ , k y t_0 (Fig. 16).

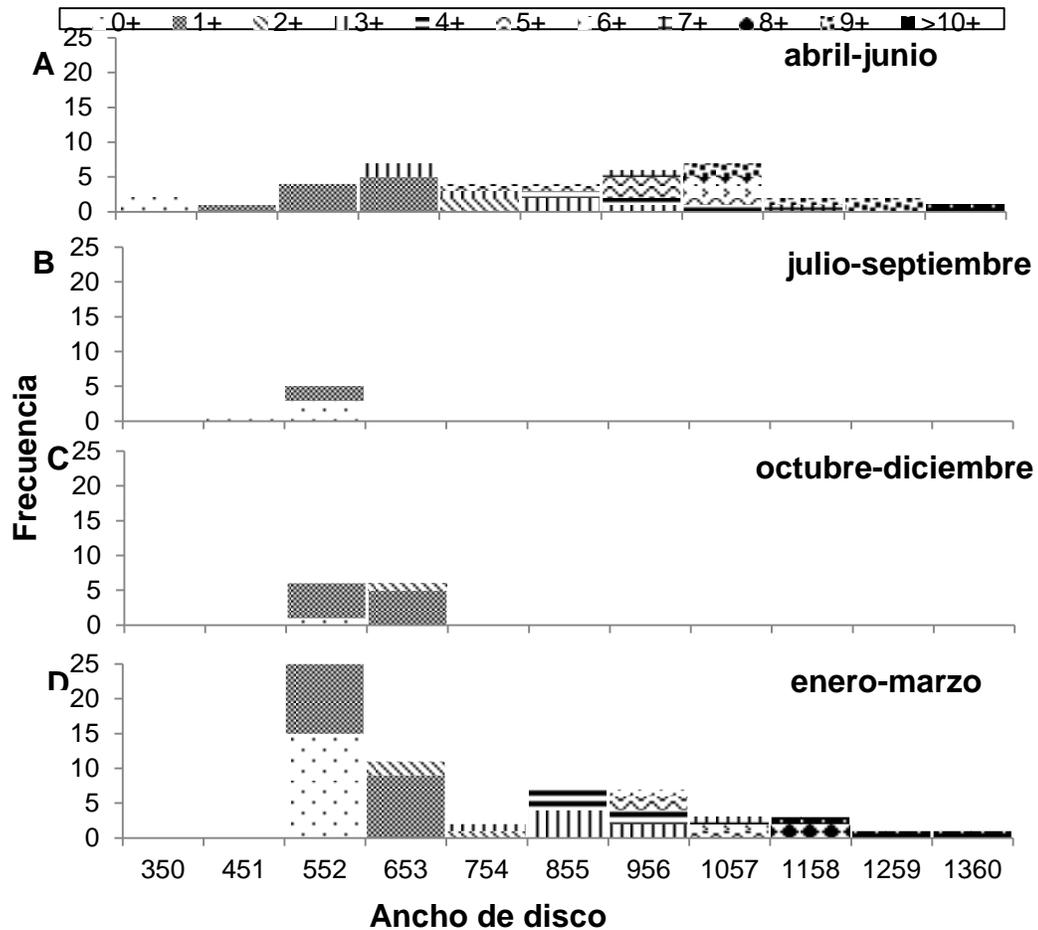


Figura 15.- Histogramas de frecuencia para las diferentes clases de edad de *G. marmorata* (sexos agrupados).

Para los datos de machos el modelo que mejor describió su crecimiento fue el VBGM-3 ($AD_\infty=758$ mm, $k=0.54$ año⁻¹, $AIC=443.07$); de manera similar que en las hembras los modelos de GGM-3, GGM-2 y LGM-3 presentaron soporte empírico sustancial y estimaciones de AD_∞ y k muy similares (Tabla III; Fig. 17). El VBGM-2 no presentó soporte empírico sustancial para los datos de los machos.

Para sexos agrupados el modelo que mejor describe el crecimiento fue el GGM-3 parámetros ($AD_{\infty}=1327$ mm, $k=0.26$ año⁻¹, $AIC=1369.42$), y al igual que para los datos de las hembras, los modelos de LGM-3 y VBGM-3 parámetros con soporte empírico sustancial; mientras que los modelos VBGM-2 y GGM-2 parámetros no presentaron soporte empírico (Tabla III; Fig. 18).

Tabla III.- Parámetros de crecimiento por modelo ajustado y valores de AIC para los datos de talla a la edad de *G. marmorata*.

modelo	sexo	AD_{∞}	k	t_0	AD_0	n	AIC	Δ_i	w_i
VBGM-3	Hembras	1354	0.16	-2.27	-	79	903.27	1.22	0.23
	Machos	758	0.54	-1.55	-	41	443.07	0	0.30
	Agrupados	1442	0.13	-2.76	-	120	1370.88	1.46	0.20
VBGM-2	Hembras	1188	0.29	-	26	79	933.52	31.47	0.00
	Machos	686	1.41	-	26	41	458.55	15.48	0.00
	Agrupados	1151	0.31	-	26	120	1436.79	67.39	0.00
GGM-3	Hembras	1269	0.25	0.19	-	79	902.05	0	0.43
	Machos	751	0.65	-0.96	-	41	443.43	0.36	0.25
	Agrupados	1317	0.21	0.26	-	120	1369.42	0	0.41
GGM-2	Hembras	984	0.20	-	26	79	1002.02	99.97	0.00
	Machos	707	-0.59	-	26	41	443.56	0.49	0.24
	Agrupados	937	0.07	-	26	120	1516.53	147.11	0.00
LGM-3	Hembras	1226	0.35	1.45	-	79	902.49	0.44	0.34
	Machos	746	0.76	-0.53	-	41	443.76	0.69	0.21
	Agrupados	1258	0.31	1.66	-	120	1369.53	0.11	0.39

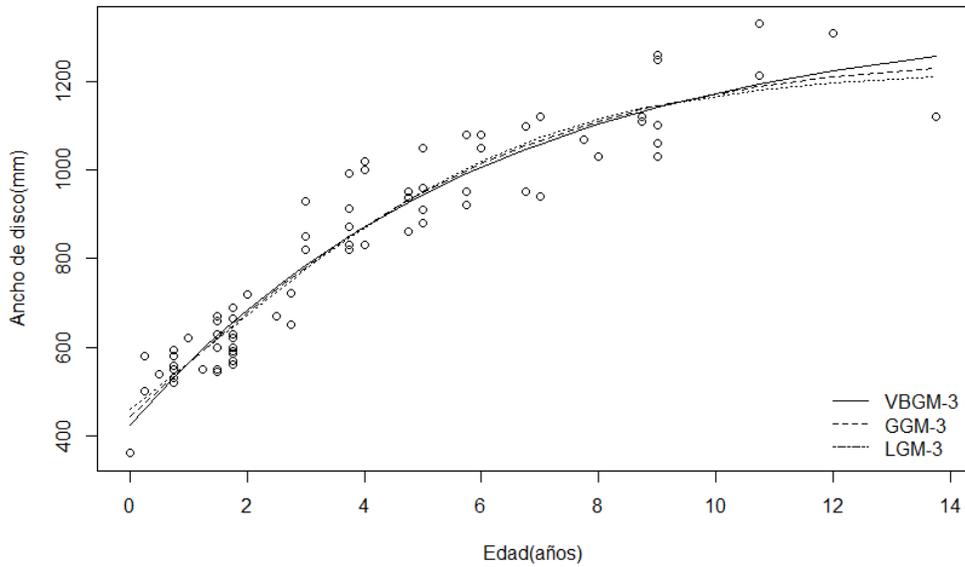


Figura 16.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad pertenecientes a las hembras de *G. marmorata*.

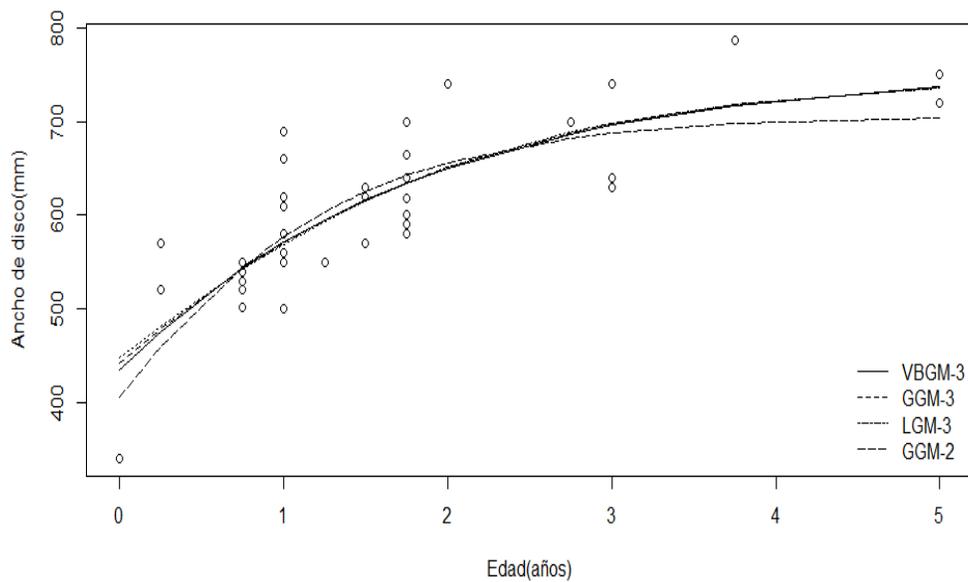


Figura 17.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad pertenecientes a los machos de *G. marmorata*.

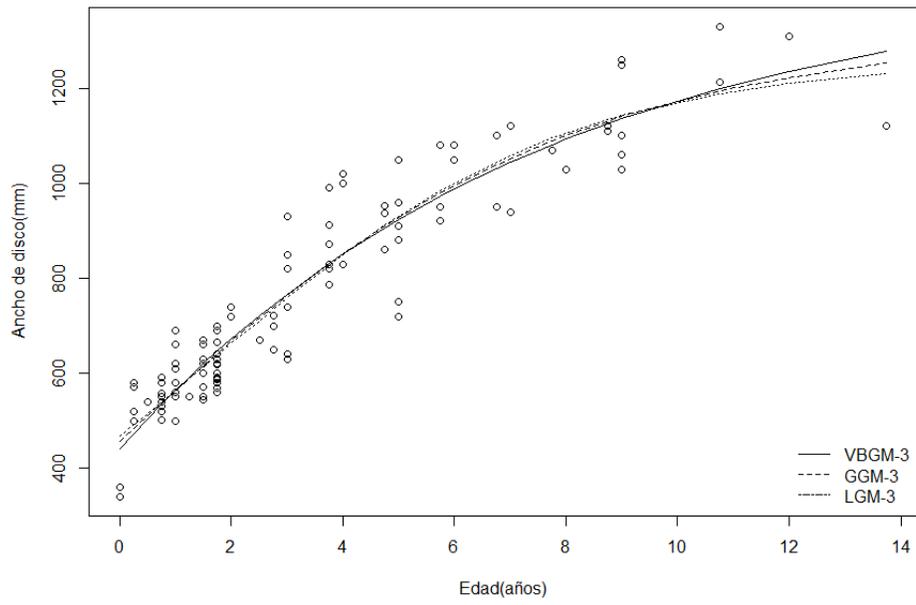


Figura 18.- Modelos de crecimiento ajustados a los datos de talla a la edad de *G. marmorata* (sexos agrupados).

DISCUSIÓN

La mayoría de los estudios de edad y crecimiento en batoideos se han enfocado principalmente en Rajiformes y en menor medida en especies del orden Myliobatiformes (Cailliet y Goldman, 2004); de manera particular para la familia Gymnuridae este tipo de información es casi nula a nivel mundial. El presente trabajo representa la primera aproximación para la estimación de la edad y la descripción del crecimiento de *G. marmorata* en la porción sur de la península de Baja California Sur y una de las primeras a nivel nacional e internacional.

Colecta y preparación de las muestras

Thorson y Simpfendorfer (2009) mencionan que existen dos factores que pueden llegar a influenciar la estimación de los parámetros de crecimiento en elasmobranquios: 1) el tamaño de muestra y 2) la selectividad del arte o artes de pesca utilizados en la colecta de los especímenes. Para lo cual recomiendan un número mínimo muestra de alrededor de 200 especímenes, como muestra suficiente para minimizar dicha influencia.

Sin embargo, se ha visto que dichos requerimientos pueden llegar a ser poco realistas para algunas especies con abundancias naturalmente bajas; caso común en la mayoría de los elasmobranquios. Aunado a esto, generalmente los estudios realizados en especies marinas sujetas a explotación son realizados con apoyo del sector pesquero, principalmente del tipo denominado de pequeña escala o ribereño, lo cual limita la capacidad de coleccionar muestras, dependiendo de la composición de las capturas comerciales (Smart *et al.* 2013).

Si bien en el presente estudio el número de muestras es menor al recomendado en la literatura, dichas muestras pertenecen a un amplio intervalo de longitudes, incluyendo casi la totalidad de las tallas reportadas para la especie, que va de 210 mm AD a 1500 mm AD (Castro-Aguirre, 1965; Davila-Ortiz, 2002), lo cual también es ampliamente recomendado para los estudios de edad y crecimiento

(Calliet y Goldman, 2004; Thorson y Simpfendorfer, 2009; Campana 2014; Mondragon-Sánchez, 2015), lo que minimiza el efecto de la selectividad en la estimación de los parámetros. Por otro lado, en el área de estudio, *G. marmorata* es capturada solo con redes agalleras con una luz de malla de 8-10 pulgadas (20.32-25.4 cm), las cuales son catalogadas como artes de pesca poco selectivas.

De manera general, *G. marmorata* presento una mayor abundancia en los meses de marzo y abril; a este respecto Villavicencio-Garayzar (1993) reporta que para Bahía Almejas, B. C. S. la mayor abundancia de esta especie es a partir del mes de abril, y Dávila-Ortiz (2002) menciona para la misma zona una variación anual cíclica, con una mayor abundancia de mayo a agosto con una disminución en los meses de invierno.

Dávila-Ortiz (2002) menciona que los cambios en las abundancias de *G. marmorata* pueden estar reguladas por la temperatura de agua al igual que otras especies encontradas en la zona de Bahía Almeja. Por otra parte Villavicencio-Garayzar (2000), menciona que el movimiento de esta especie y de otras especies dentro y fuera de Bahía Almejas se encuentra relacionado con sus ciclos reproductivos, sobre todo por la presencia de hembras en estadios avanzados de gestación.

Para la zona de Punta Lobos, la mayor abundancia de *G. marmorata* coincide con las menores temperaturas superficiales del mar (TSM) de 18 a 21° C, así como con la presencia de corrientes frías, ricas en nutrientes y surgencias estacionales (Wilkinson *et al.* 2009; Zaitsev *et al.* 20014). Burgos-Vázquez (2013), reporto la presencia de hembras grávidas en la zona de Punta Lobos de marzo a junio, sin establecer una época reproductiva con precisión.

De tal manera que se podría suponer que las variaciones en abundancia de *G. marmorata* durante el año en la zona pesca de Punta Lobos, están relacionados tanto con la presencia de condiciones físicas favorables, como por factores reproductivos, sin descartar otros factores como la disponibilidad de alimento.

Estructura de tallas

Se registraron longitudes de ancho de disco de *G. marmorata* desde los 340 mm AD a 1330 mm AD. Lo cual es similar a lo reportado por Rodríguez-Lorenzo (2007) quien encuentra un intervalo de tallas desde los 310 mm AD a los 1117 mm AD: Mientras que Dávila-Ortiz (2002) reporta tallas para el complejo lagunar Bahía Almejas de 210-1220 mm AD. Sin embargo en el presente estudio se reportan tallas mayores.

Las tallas promedio reportadas para machos y hembras de esta especie presentan una amplia variación. Rodríguez-Lorenzo (2007) reporta una talla promedio de machos de 432.8 mm AD en el alto Golfo de California, mientras que yDávila-Ortiz (2002) la reportó de 510.3 mm AD, ambas medidas son menores a la reportada en el presente estudio, que fue de 599 mm AD. Por otra parte estos mismos autores, encontraron una talla promedio de hembras 714.3 mm AD (Rodríguez-Lorenzo, 2007) y 684.2 mm AD (Dávila-Ortiz, 2002) ambas menores a las de la zona de Punta Lobos, B.C.S. la cual fue de 815 mm AD.

Aunque las diferencias en las tallas podrían ser debido a diferentes factores como la distribución de la especie o al tipo de arte de pesca utilizado y a su selectividad; no se debe descartar las características de la zona de estudio y las características de la operación pesquera.

A diferencia de los trabajos de Dávila-Ortiz (2002), y Rodríguez-Lorenzo (2007), realizados en zonas protegidas y más someras. La zona donde se captura a *G. marmorata* en Punta Lobos es de mayor profundidad, así como también condiciones oceanográficas diferentes (Fig. 1), entre estos la confluencia de corrientes de aguas relativamente frías y ricas en nutrientes, con corrientes más cálidas que fluye en forma estacional (Wilkinson *et al.* 2009). Lo cual podría explicar la presencia de mayores tallas para ambos sexos en el presente trabajo. Por otra parte Amezcua-Linares (1996), menciona que *G. marmorata* se distribuye verticalmente desde la región inter-mareal hasta los 94 metros de profundidad. Sin

embargo, la flota ribereña de Punta Lobos la captura desde las cuatro a las 30 millas náuticas de la costa a profundidades entre 36 y 144 metros (Vázquez-Garcés, 2013).

Cabe resaltar que el presente estudio coinciden los resultados con los trabajos de Dávila-Ortiz (2002) y Rodríguez-Lorenzo (2007), tanto en una proporción sexual dominada por una mayor cantidad de hembras, como en la presencia de hembras de mayor talla que los machos. A este respecto Villavicencio-Garayzar (1993) menciona una proporción sexual de 3.67:1 hembras por cada macho durante los meses de junio y julio dentro de Bahía Almejas, lo cual lo relaciona con el periodo reproductivo de la especie.

Estimación de edad

Relación entre el tamaño corporal y el tamaño de la vértebra

Para que una estructura dura como las vértebras, sea un buen indicador del crecimiento de un organismo debe de existir una relación entre el crecimiento de dicha estructura y el incremento en longitud del organismo (Martin y Cailliet, 1988; Cailliet, 1990).

De tal modo que en el presente estudio se estableció que las vértebras de *G. marmorata* presentan una relación lineal positiva entre el RV vs AD ($R^2=0.47$ machos; $R^2=0.88$ hembras). Lo cual sugiere que la formación de las bandas de crecimiento en las vértebras de dicha especie son confiables para determinar la edad de la especie (Fig. 9). Rodríguez-Lorenzo (2007) encontró una relación similar en la vertebras de organismos pertenecientes a *G. marmorata* en el alto Golfo de California ($R^2=0.46$ machos; $R^2=0.88$ hembras).

Estas diferencias en el coeficiente de determinación (R^2) entre sexos ya había sido observada en otras especies como *Urotrygon rogersi* (0.74 para machos y 0.81 para hembras) en la costa del Pacífico Colombiano (Mejía-Falla *et al.* 2014) y en *Dasyatis chrysonota* (0.89 para machos y 0.92 para hembras) en Cabo del Este, Sudáfrica (Cowley, 1997). Sin embargo, la diferencia entre sexos en el presente

trabajo mayor; lo cual pudiera estar relacionado con el dimorfismo sexual de la especie.

Lecturas

Considerando el tamaño y variedad de formas (Fig. 10) de las vértebras, estas resultaron ser buenas estructuras para la estimación de edad y descripción del crecimiento de *G. marmorata* debido a que el patrón de bandas de crecimiento se observaban de manera clara, sin necesidad de ningún tratamiento (e.g. tinción) (Fig. 4). De acuerdo con lo mencionado por Campana (2014), actualmente los avances en el manejo digital de imágenes puede evidenciar el patrón de bandas de crecimiento de igual manera o mejor que cualquiera de las técnicas de tinción conocidas y de manera más simple y rápida; por lo que en el presente trabajo se utilizó dicha metodología.

En los cortes de las vértebras de *G. marmorata* se observó la presencia de bandas opacas, que al observarlas con luz transmitida, se aprecian oscuras y bastante nítidas; mientras que las bandas translucidas, fueron claras (por que permiten el paso de luz). Además en ocasiones presentaron una veta opaca en su interior, denominada “banda falsa” o sub-banda. Este tipo de patrones es común de encontrar en estudios tanto de peces óseos como en elasmobranquios (Cowley, 1997).

De hecho en elasmobranquios el patrón de bandas de crecimiento es característico de la especie, por lo cual las estimaciones de edad dependen en gran medida del conocimiento y la interpretación de las bandas presentes en la vertebras de los organismos (Campana, 2014).

Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento

Debido a que la interpretación del patrón de bandas depende de la experiencia del lector y el conocimiento del patrón de bandas que presente la especie, la asignación o estimación de edad puede llegar a ser subjetivo y añadir incertidumbre al estudio (Beamish y Fournier, 1981; Chang, 1982). Por lo cual se han desarrollado diferentes métodos que evalúan la precisión entre las lecturas de dos o más lectores (Goldman *et al.* 2002; Campana, 2014).

Los métodos más utilizados a la fecha son el porcentaje de error promedio o APE por sus siglas en inglés (Average Percent Error) propuesto por Beamish y Fournier (1981) y el Coeficiente de Variación (CV) propuesto por William y Chang (1982), los cuales usan el promedio de la desviación absoluta de la media aritmética para cada espécimen. En el presente estudio se obtuvieron valores de los análisis de precisión consistentes (APE entre lectores= 3.22%, CV=4.6%), debido a que en los valores obtenidos estuvieron por debajo de los recomendados en la literatura (<10%) (Campana, 2002); y no se observó que alguna de las lecturas realizadas por los dos lectores presentara un sesgo sistemático en la asignación de edad (Fig. 11).

Validación del tiempo de formación de las bandas de crecimiento

Los métodos de validación indirecta utilizados en este estudio trabajan bajo la premisa de que si el tiempo de formación de la banda de crecimiento es un año, el ancho o la densidad de la banda externa presentará un ciclo anual sinusoidal cuando se grafica contra los meses del año (Cailliet *et al.*, 2001; Goldman, 2005; Okamura y Semba, 2009; Campana, 2014).

Los resultados son contrastados mediante una simple apreciación visual o bien a partir de análisis estadísticos como ANOVA o Kruskal-Wallis no paramétrico (Cailliet *et al.* 2006).

El análisis de tipo de borde no reflejó un patrón sinusoidal claro, así como tampoco diferencias significativas entre las temporadas cálida y la fría, debido

principalmente al número de muestra y la ausencia de muestras en los meses de septiembre, octubre y noviembre (Fig. 12). Rodríguez-Lorenzo (2007), sugiere que la periodicidad de formación de un ciclo anual de acuerdo con la proporciones de los tipos de borde a los largo del año tipo, sin embargo sus números de muestra en algunos meses también fueron bajos.

Considerando la variación en las formas de las vértebras de *G. marmorata* (Fig. 10), la medición del radio de vertebral se realizó perfilando el borde exterior del *corpus calcareum* (Fig. 6), debido a que de esta manera se observa el grosor real tanto de las bandas de crecimiento totalmente formadas como del borde, para obtener los datos para el MIA.

El MIA mostro un aparente patrón sinusoidal a los largo del año tipo (Fig. 13), presentando valores cercanos a uno durante mayo lo cual indicaría la terminación de la banda de crecimiento, seguido del dato más cercano a cero en el mes de julio, indicando el inicio de formación de la banda. Rodríguez-Lorenzo (2007), reportó diferencias significativas entre los meses para MIA (Kruskal-Wallis, chi-cuadrada= 29.87, g.l.=8, $P=0.00$) presentando el valor más cercano a cero en el mes de noviembre.

Sin embargo, Okamura y Semba (2009) mencionan que estas pruebas estadísticas convencionales no son las más adecuadas para contrastar los resultados de un MIA, debido a que ignoran la naturaleza circular de la formación del borde vertebral y la presencia de datos anómalos lo cual reduce el poder estadístico para discriminar el tiempo de formación de la marca de crecimiento.

En el presente estudio se aplicó el método propuesto por Okamura *et al.* (2013) para probar estadísticamente la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento de los datos obtenidos a partir del MIA (Fig. 13).

Dicho método se basa en la comparación y simulación de tres modelos lineales-circulares, diseñados para apoyar tres diferentes hipótesis: 1) no hay un ciclo en la formación de las marcas de crecimiento, 2) el periodo de formación de las

marcas de crecimiento es de un año (1 ciclo) y 3) el periodo de formación de las bandas de crecimiento es de 6 meses (2 ciclos).

Posteriormente se comparó cual fue el que mejor se ajustó a los datos a partir de su valor de AIC (criterio de información de Akaike). Observándose que el modelo de un ciclo anual es el que mejor describió el comportamiento de los datos obtenidos en el MIA (Tabla I ciclo anual: -143.48).

Este resultado permitió sumar incluir una objetiva para asumir como válida la hipótesis de que el periodo de formación de una marca de crecimiento en *G. marmorata* es aproximadamente de un año.

Estructura de edades

Se estimaron edades de 0 a 5 años para machos y de 0 a 13 años para hembras; a diferencia del trabajo de Rodríguez-Lorenzo (2007) que estimo edades de 0 a 6 años para machos y de 0 a 16 años para hembras, aun cuando las tallas máximas tanto para machos como para hembras fueron menores. Dichas diferencias pueden ser explicadas debido a que en el presente trabajo se reporta la presencia de sub-bandas en las vértebras de *G. marmorata*, particularidad no reportada por Rodríguez-Lorenzo (2007) lo cual traería en consecuencia inconsistencias entre los dos trabajos.

Con respecto a las diferencias en edades entre los sexos, han sido reportados para otros miembros del orden Myliobatiformes. Para *Myliobatis californica* se determinaron 23 años para hembras y 6 años para machos (Martin y Cailliet, 1988); para *Dasyatis chrysonota chrysonota* se estimaron edades de 14 años para las hembras y 9 para machos (Cowley, 1997).

Está amplia diferencia en edades y tallas está relacionada con una adaptación evolutiva propia de especies de batoideos con reproducción vivípara, en donde las hembras son más longevas y presenta tallas mayores (Wourms, 1977; Yokota, 2012).

Los resultados de edad obtenidos en *G. marmorata* permiten garantizar el éxito reproductivo de la especie a un menor tiempo, debido a que se ha reportado que esta especie presenta un mayor número de crías conforme aumenta su talla (Villavicencio-Garayzar, 1993, Burgos-Vázquez, 2013).

Modelos de crecimiento

Crecimiento individual, selección del “mejor” modelo

Se ha reportado que para especies vivíparas, como *G. marmorata*, el AD está asociado con aspectos reproductivos, que incluyen la fecundidad y el tamaño máximo embrionario (Goodwin *et al.* 2002). Por lo cual tiene un sentido biológico con respecto a la longitud total y se recomienda utilizar el AD para los estudios de edad y crecimiento en batoideos myliobatiformes como: Dasyatidae, Urotrygonidae, Urolophidae, Gymnuridae, Myliobatidae y Potamotrygonidae (Mejía-Falla *et al.* 2014).

En el presente trabajo, se ajustaron los cinco modelos de crecimiento a los datos de talla a la edad (AD) de *G. marmorata*, dichos modelos fueron seleccionados por sus atributos y por ser los más utilizados en estudios de edad y crecimiento de elasmobranquios.

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VBGM-3 y VBGM-2 parámetros) es el modelo con más uso en pesquerías, lo que permite un intervalo de comparación entre poblaciones. Además diversos autores mencionan que es de los modelos con mayores fundamentos biológicos, debido que se basa en la premisa de que la talla de un organismo en cualquier momento depende de la interacción entre el catabolismo y el anabolismo (Mejía-Falla *et al.* 2014).

Por el otro el modelo de crecimiento de Gompertz (GGM-3 y GGM-2 parámetros) además del modelo LGM-3; son modelos con una función en forma de S, que contemplan una aceleración y una desaceleración en el coeficiente de crecimiento.

Dichos modelos han sido utilizados en batoideos tanto ovíparos como vivíparos, así como en algunos tiburones; mencionado que es la mejor opción para organismos pertenecientes a la familia Myliobatidae, debido a que estos aumentan más de volumen que en talla con respecto a la edad (Cailliet y Goldman, 2004).

De los modelos de crecimiento candidatos se puede observar que de acuerdo a los valores de AIC, el modelo VBGM-2 fue el que menor sustento empírico presentó tanto para machos como para hembras, y sexos en conjunto. De manera similar el modelo de GGM-2 tampoco presentó un buen ajuste a los datos de talla a la edad (AD) para hembra y sexos agrupados, pero sí para machos. Dichos modelos presentaron subestimaciones de AD_{∞} en relación con los datos observados y sobreestimando k , resultando en la estimación de parámetros poco coherentes con la biología de la especie. Esto concuerda con Mejía-Falla (2014), en donde los modelos de crecimiento de dos parámetros no fueron adecuados para describir el crecimiento de *U. rogersi* en el Pacífico Colombiano, haciendo estas estimaciones biológicamente inadecuadas.

Por otra parte Thorson y Simpfendorfer (2009) usando simulaciones a partir de datos reales, explican que los modelos de dos parámetros funcionan mejor con muestras pequeñas (<100); a diferencia de los de tres y cuatro parámetros, los cuales presentan mejores ajuste conforme aumenta el número de muestras (>200).

En contraste con esta información, en el presente trabajo los modelos candidatos de tres parámetros (VBGM-3, GGM-3 y LGM-3) fueron los que mejor describieron el crecimiento de *G. marmorata*, aun cuando el número de muestra fue pequeño tanto para machos (n=41) como para hembras (n= 79).

De acuerdo con la comparación de los valores de AIC obtenidos en el análisis; los modelos de crecimiento que mejor se ajustaron a los datos de talla a la edad para *G. marmorata* en la porción sur de B. C. S., fueron VBGM-3 para machos y GGM-3 para hembras. Bajo el mismo contexto y de acuerdo con Burnham y Anderson (2002), aquellas diferencias entre los valores de AIC (Δ_i) menores a 2 presentan soporte empírico sustancial, es decir, dichos modelos son robustos y pueden ser considerados para la descripción del crecimiento.

De tal modo que los modelos de GGM-3, GGM-2 y LGM-3 para machos y LGM-3, VBGM-3 para hembras, también presentaron soporte empírico sustancial ($\Delta_i < 2$), por lo cual podrían ser considerados para describir el crecimiento de los datos de *G. marmorata*.

Según Katsanevakis y Maravelias (2008) y Mejia-Falla *et al.* (2104), la elección del “mejor” modelo de crecimiento y la interpretación de los parámetros estimados se deben enfocar tanto en el punto de vista analítico como en el biológico y en muchos casos en la experiencia del investigador.

En este estudio se tomó la decisión de considerar como “mejor” modelo a VBGM-3 para las hembras, con fines comparativos debido a que el modelo es el más usado y ubicua ecuación en pesquerías (Katsanevakis, 2007), Además de que para *G. marmorata* presenta un valor de AD_{∞} mayor y más cercano al AD máximo observado en las muestras.

Rodríguez-Lorenzo (2007) estimó el crecimiento de *G. marmorata* en el Alto Golfo de California a partir del VBGM-3 ($AD_{\infty}=771.3$ mm, $k=0.113$ año⁻¹, $t_0=-4.47$ año para machos; $AD_{\infty}=1299$ mm, $k=0.110$ año⁻¹, $t_0=-2.26$ año para hembras). Al comparar estos valores con los obtenidos en el presente trabajo ($AD_{\infty}=758$ mm, $k=0.54$ año⁻¹, $t_0=-1.55$ para machos; $AD_{\infty}=1354$ mm, $k=0.16$ año⁻¹, $t_0=-2.27$ año para hembras), se puede observar diferencias en los parámetros estimados.

Para los machos las estimaciones de k son muy diferentes entre los dos trabajos, encontrándose un coeficiente de crecimiento (k) mayor en el presente estudio. Caso contrario en las estimaciones de AD_{∞} los cuales son muy parecidos en ambos trabajos. Esto indicaría que los machos de *G. marmorata* alcanzan prácticamente el mismo AD_{∞} ambas localidades pero a velocidades muy diferentes.

Esto puede ser explicado por las estimaciones t_0 ; Rodríguez-Lorenzo (2007) tuvo una estimación de t_0 más negativa que el estimado para el presente trabajo. En el VBGM-3 el parámetro t_0 es un ajuste matemático de la curva y se describe como la edad teórica a la que la talla es =0, la cual se considera que no tiene interpretación biológica.

Para las hembras, las estimaciones de los parámetros AD_{∞} , k y t_0 presentaron pocas diferencias con respecto al trabajo de Rodríguez-Lorenzo (2007), indicando que las hembras de *G. marmorata* presentan un patrón de crecimiento similar entre ambas regiones. Dichas variaciones pueden estar influenciadas por la presencia de hembras de mayor talla en la zona de Punta Lobos, B. C. S.

De acuerdo con Cailliet y Goldman (2004) los valores de k oscilan entre 0.2 y 0.5 para peces guitarra, raya torpedo y mantarrayas. Los valores de k obtenidos en el presente estudio están justo en los márgenes de esta categoría. White *et al.* (2001) a partir del VBGM estimaron una k de 0.51 año^{-1} , para los machos y de 0.36 año^{-1} , para las hembras de *Urolophus lobatus*. Mejía-Falla *et al.* (2014), estima a partir de un modelos promedio una k de 0.63 año^{-1} , para machos y de 0.22 año^{-1} , para hembras de *U. rogersi*.

La estimación e interpretación del coeficiente de crecimiento “ k ” para una especie está influenciada por el número de muestras, el intervalo de las tallas, metodología de estimación de edad, validación de la periodicidad de las bandas de crecimiento y los criterios de ajuste.

Este estudio es uno de los primeros trabajos de edad y crecimiento en especies del genero *Gymnura* y los parámetros encontrados en este estudio indican que *G. marmorata* es una especie de vida relativamente corta, con un rápido crecimiento en donde los machos y las hembras alcanzan cerca del 70% y 50% de la talla máxima (AD) durante su primer año de vida. Además de presentar aspectos reproductivos como un periodo de gestación de 9 a 12 meses, con un ciclo reproductivo aparentemente anual y estacional, con un número relativamente alto de crías por camada (Burgos-Vazquez, 2013). Lo cual indica que esta especie podría ser más resiliente a la explotación por pesca que otros elasmobranquios.

Cabe resaltar que se necesitan de otro tipo de estudios de índole demográfico y de vulnerabilidad a la presión pesquera de esta especie y otras especies afines para demostrar o refutar dicha resistencia a la pesca.

CONCLUSIONES

- Las vértebras son estructuras adecuadas para estimar la edad y el crecimiento y pueden ser utilizadas para realizar el cálculo de tallas pretéritas.
- Las bandas de crecimiento en los cortes de las vértebras (0.4mm) fueron de fácil observación, por lo que no requieren ningún tratamiento adicional (e.g. tinción).
- Las bandas de crecimiento de *G. marmorata* capturada en el sur de la costa occidental de Baja California Sur tienen una periodicidad anual.
- Las hembras de *G. marmorata* alcanzan tallas y edades mucho mayores que las de los machos, debido al dimorfismo sexual de la especie.
- Los machos de *G. marmorata* presentan una tasa de crecimiento mayor (k) que las hembras, y en concordancia una talla asintótica promedio menor (AD_{∞}).
- El crecimiento individual de las hembras de *G. marmorata* (para sexos agrupados) fue descrito adecuadamente por el modelo de Gompertz (3 parámetros), mientras que para machos el modelo más acorde estadísticamente, fue el modelo de von Bertalanffy (3 parámetros).
- Los modelos de crecimiento de von Bertalanffy (3 parámetros) y logístico (3 parámetros) para hembras, y los modelos de crecimiento de Gompertz (3 parámetros) y logístico (3 parámetros) para machos, también presentan soporte empírico sustancial ($\Delta_i < 2$) para ser considerados como modelos adecuados para describir el crecimiento de *G. marmorata*.
- El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (3 parámetros) fue utilizado con fines comparativos como el modelo más adecuado para las hembras de *G. marmorata*.

- Los parámetros encontrados en este estudio indican que *G. marmorata* podría ser una especie más resistente a la explotación por pesca que otros elasmobranquios

BIBLIOGRAFIA

- Amezcu-Linares F. 1996. *Peces demersales de la plataforma continental del Pacífico central de México*. UNAM, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Instituto de ciencias del mar y limnología, México.
- Beamish R. J. y D. A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38. 982 – 983.
- Bizzarro J. J. 2005. Fishery biology and feeding ecology of rays in Bahía Almejas, Mexico. *Moss Landing Marine Laboratories*, California State University.
- Bizzarro J.J., W. D Smith, R. E. Hueter, J. Tyminski, J. F. Márquez–Farías, J. L. Castillo–Géniz, Cailliet G. M., y C. J. Villavicencio-Garayzar. 2007. *The status of shark and ray fisheries resources in the Gulf of California: applied research to improve management and conservation*. Tech. Rep. to the David and Lucile Packard Foundation.
- Bizzarro J. J. y W. D. Smith. 2012. *Gymnura marmorata*. In: IUCN 2013. *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2013.1. <www.iucnredlist.org>.
- Bonfil R. R. Mena y D. de Anda. 1993. *Biological Parameters of Commercially Exploited Silky Sharks, Carcharhinus falciformis, from the Campeche Bank, Mexico*. NOAA Tech. Rep. NMFS. 115: 73-86.
- Burnham K. P. y D. R. Anderson. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A practical information-theoretic approach*. Editorial Springer. Segunda edición. 488.
- Burgos-Vázquez M. I. 2013. *Biología Reproductiva de La Raya Mariposa Gymnura Marmorata (Cooper, 1864) En La Costa Occidental de Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 74.

- Campana S E. 2001. Accuracy, Precision and Quality Control in Age Determination, Including a Review of the Use and Abuse of Age Validation Methods. *Journal of Fish Biology* 59: 197–242.
- Campana, Steven E. 2013. *Age Determination of Elasmobranchs, with Special Reference to Mediterranean Species: A Technical Manual*. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome 94: 37.
- Cailliet G. M., H. F. Mollet, G. G. Pittenger, D. Bedford, y L. J. Natanson. 1992. Growth and demography of the pacific angel shark (*Squatina californica*), based upon tag returns off California. *Aust J Mar Freshw* 43:1313–1330.
- Cailliet, G. M., W. D. Smith, H. F. Mollet, y K. J. Goldman. 2006. Age and Growth Studies of Chondrichthyan Fishes: The Need for Consistency in Terminology, Verification, Validation, and Growth Function Fitting. *Environmental Biology of Fishes* 77: 211–28.
- Carlson, J. K, y K J Goldman. 2006. Special Issue: Age and Growth of Chondrichthyan Fishes: New Methods, Techniques and Analysis. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 77.
- Castro-Aguirre J. L. y H. E. Pérez. 1996. *Listados Faunísticos de México. VII. Catalogo sistemático de las rayas y especies afines de México*. Inst. de Biología, Univ. Nacional Autónoma de México.
- Compagno L. J. V. 2005. Checklist of Living Chondrichthyes. en: W. C. Hamlett (ed.), Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids and Chimaeras. *Science Publishers Inc. Enfield*.
- Compagno L. J. V. 1990. *Shark exploitation and conservation*. En: Pratt Jr. H. L., S. H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). p.p. 391-415. *Elasmmobranch as living resources: Advances in Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries*, NOAA Technical Report NMFS 90.

- Cowley P. D. 1997. Age and growth of the blue stingray *Dasyatis chrysonota chrysonota* from the South-Eastern Cape coast of South Africa. *South African Journal of Marine Science*. 18:1. 31-38.
- Cuevas-Zimbrón E. 2007. *Estudio preliminar de edad y crecimiento de la manta de espina, Mobula japanica (Müller y Henle, 1841)*. Tesis Licenciatura. UABC. 68.
- Clement J. G. 1992. Re-Examination of the Fine Structure of Endoskeletal Mineralization in Chondrichthyans: Implications for Growth, Ageing and Calcium Homeostasis. *Marine and Freshwater Research* 43:1 157.
- Cruz-jiménez C. S., y G. Cerdanés-ladrón De Guevara. 2014. Descripción del crecimiento del tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis*, capturado en Oaxaca : inferencia a partir de modelos múltiples. *Ciencias Marinas* 22: 47–59.
- Davila-Ortiz J. 2002. *Biología reproductiva de la raya mariposa Gymnura marmorata (Cooper 1863), en Bahía Almejas, B.C.S., México*. Tesis de Licenciatura. UABCS. 38.
- Goldman K. J. 2004. Age and Growth of Elasmobranch Fishes. *Elasmobranch Fisheries Management Techniques*. 97–132.
- Goldman K. J. y J. A. Musick. 2006. Growth and Maturity of Salmon Sharks (*Lamna Ditropis*) in the Eastern and Western North Pacific, and Comments on Back-Calculation Methods. *Fishery Bulletin* 104: 278–92.
- Goodwin N. B., N. K. Dulvy y J. D. Reynolds 2002. Life-history correlates of the evolution of live-bearing in fishes. *Philos Trans R Soc Lond B* 357: 259–267.
- Hayashi Y. 1976. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea. A foundational consideration for age determination from otoliths. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 42:11 1237-1242.
- Ishiyama R. 1978. Reexamination of the age and growth of *Raja*. *Monthly Marine Science (Japan)*, 10:3 188-194.

- IUCN 2013. IUCN *Red List of Threatened Species. Version 2013. 2.* <www.iucnredlist.org>.
- Katsanevakis S. 2006. Modelling Fish Growth: Model Selection, Multi-Model Inference and Model Selection Uncertainty. *Fisheries Research* 81: 229–35.
- Katsanevakis S y C. D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to *a Priori* using von Bertalanffy equation. *Fis and Fisheries*.178–87.
- Lina-Beltrán R. M. 2009. *Evolución Holócenica de los ambientes sedimentarios costeros entre Punta Márquez y Punta Lobos, B. C. S., México.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 142.
- Márquez-Farias J. F., y J. L. Castillo-Géniz. 1998. Demography of the Bonnethead Shark, *Sphyrna Tiburo* (Linnaeus, 1758), in the Southeastern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 24 (1): 13–34.
- Marquez-Farias J. F. 2002. The artisanal ray fishery in the Gulf of California: development, fisheries research, and management issues. *Shark News* 4. 1-5.
- Martin K. y G. M. Cailliet. 1988. Age and growth determination of the bat ray *Myliobatis californica* Gill, in Central California. *Copeia* 3: 762-773.
- Mejía-Falla P. A., E. Cortés, A. F. Navia y F. A. Zapata, 2014 Age and Growth of the Round Stingray *Urotrygon rogersi*, a Particularly Fast-Growing and Short-Lived Elasmobranch. *PLoS ONE* 9(4).
- Mollet H. F., J. M. Ezcurra y O. Sullivan 2002. Captive Biology of the pelagic stringray *Dasyatis Violacea* (Bonaparte, 1832). *Mar. Fresh Water Res.* 53:531-541.
- Natanson L. J., J. J. Mello, y S. E. Campana. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark *Lamna nasus* in the western North Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin.* 100. 266-278.

- Officer R. A., A. S. Gason, T. I. Walker y J. G. Clement. 1996. Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: Implications for age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53 1765-1777.
- Okamura H. y Y. Semba. 2009. A novel statistical method for validating the periodicity of vertebral growth band formation in elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66. 771–780.
- Okamura H., A. E. Punt, Y. Semba, y M. Ichinokawa. 2013. Marginal increment analysis: a new statistical approach of testing for temporal periodicity in fish age verification. *Journal of Fish Biology* 82: 1239–49.
- Ramírez-Amaro S. R. 2011. *Caracterización de la pesquería artesanal de elasmobranchios en la costa Occidental de Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 97.
- Rodriguez-Lorenzo S. 2007. *Edad y crecimiento de la raya mariposa *Gymnura marmorata* del alto Golfo de Baja California, Mexico*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. 58.
- Smart J. J., A. V. Harry, A. J. Tobin, y C. A. Simpfendorfer. 2013. Overcoming the constraints of low sample sizes to produce age and growth data for rare or threatened sharks. *aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* 23: 124–34.
- Smith W. D., J. A. Miller y S. S. Heppell. 2013. Elemental markers in Elasmobranchs: Effects of Environmental History and Growth on Vertebral Chemistry. *PLoS ONE* 8 (10): 1–19.
- Smith W. D., J. J. Bizzarro, V. P. Richards, J. Nielsen, J. F. Márquez-Farías y M. S. Shivji. 2009. Divergence and dimorphism: the taxonomic status of *Gymnura crebripunctata* (Peters 1869) and *G. marmorata* (Cooper 1864) in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Fish Biology* 75: 761–783.

- Thorson J. T. y C. A. Simpfendorfer. 2009. Gear Selectivity and Sample Size Effects on Growth Curve Selection in Shark Age and Growth Studies. *Fisheries Research* 98: 75–84.
- Villavicencio-Garayzar C. J. 1993. *Notas sobre Gymnura marmorata (Cooper) (Pisces: Dasyatidae) en Bahía Almejas, B.C.S., México*. Revista de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. 5(2): 63–67.
- Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 200.
- Wourms J. P. 1977. Reproduction and Development in Chondrichthyan. *Amer. Zool.*, 17:379-410.
- Yokota L., R. Goitein, M. D. Gianeti y R. T. Lessa. 2012. Reproductive biology of the smooth butterfly ray *Gymnura micrura*. *J. Fish Biol.* 81:1315–1326.
- Zaitsev O., A. Trasviña-Castro, J. Linero-Cueto, G. Gaxiola-Castro y J. Cepeda-Morales. 2014. Condiciones oceanográficas en la plataforma continental frente a bahía Magdalena (México) en 2001-2011. *Ciencias Marinas* 40 (2): 89-112.