



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**DINÁMICA POBLACIONAL DE CURVINA GOLFINA**  
*Cynoscion othonopterus* (JORDAN Y GILBERT 1881) EN EL  
**ALTO GOLFO DE CALIFORNIA.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

(Orientación en Biología Marina )

P r e s e n t a

**Jaime Edzael Mendivil Mendoza**

La Paz, Baja California Sur, enero de 2020.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10 horas del día 20 del Mes de diciembre del 2019, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**“DINÁMICA POBLACIONAL DE CURVINA GOLFINA *Cynoscion othonopterus* (JORDAN Y GILBERT 1881) EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA”**

Presentada por el alumno:

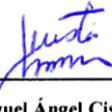
**Jaime Edzael Mendivil Mendoza**

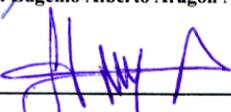
Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biología Marina.**

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

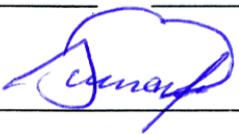
### LA COMISIÓN REVISORA

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
Director de tesis

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
Co-Tutor

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata  
Centro Regional de Investigación Pesquera, Unidad Guaymas  
Co-Tutor

Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez  
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa  
Co-Tutor

Dr. Sergio Castillo VargasMachuca  
Universidad Autónoma de Nayarit  
Co-Tutor

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega  
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata  
Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez  
Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca

### **Jurado de Examen**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega  
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga  
Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata  
Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez  
Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca

### **Suplentes**

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba  
Dr. Enrique Morales Bojórquez

## Resumen

El Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado es un área que se encuentra inmersa en un conflicto ecológico, económico, político y social debido a la pesca ilegal de totoaba *Totoaba macdonaldi* y la posible extinción de vaquita marina *Phocoena sinus*. Esto último ha provocado el cierre de todas las pesquerías en la región salvo la de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* la cual es la única especie con permiso de explotación. Por lo tanto, el objetivo principal fue caracterizar la dinámica poblacional de curvina golfina *C. othonopterus* para poder evaluar el estado de salud de la pesquería mediante los indicadores de sustentabilidad de Froese, en el Alto Golfo de California, durante las temporadas de pesca 2008, 2013, 2014 y 2015. Los resultados mostraron que la producción anual de curvina golfina presenta fluctuaciones, resaltando el periodo 2012-2016, donde las capturas totales con excepción de 2014, sobrepasaron la cuota de captura establecida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. La longitud media de madurez sexual ( $L_{50}$ ) se encontró por debajo de las registradas en estudios previos y esta diferencia es debido a la metodología empleada para estimarla. En cuanto al crecimiento, se encontró que curvina golfina presenta un crecimiento con varianza depensatoria en los primeros años de su vida, pero después se torna del tipo compensatorio. Sin embargo, la mejor forma para estimar los parámetros de crecimiento de la especie es bajo un enfoque de crecimiento compensatorio. Se presenta evidencia estadística para utilizar el modelo de crecimiento individual de Schnute como sustituto de modelos especializados. Con base en los indicadores de sustentabilidad, se demuestra que la pesquería de curvina golfina está dirigida hacia los organismos de mayor longitud (mega-reproductores). Se concluye que actualmente la curvina golfina manifiesta problemas de sobreexplotación y por ende su aprovechamiento no es sustentable. Esto sugiere la necesidad realizar ajustes y actualizaciones a las medidas de manejo.

Palabras clave: Alto Golfo de California *Cynoscion othonopterus*, crecimiento, indicadores de sustentabilidad, mega-reproductores.

Vo. Bo. Director de tesis



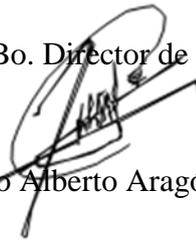
Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

## Summary

The Upper Gulf of California and Colorado River Delta is a zone that is immersed in an ecological, economic, political and social conflict. That is because of the totoaba *Totoaba macdonaldi* illegal fishing and the vaquita *Phocoena sinus* potential extinction. This issue has driven to ban all the region's fisheries with the exception of the Gulf corvina *Cynoscion othonopterus* that is the only of the finfish species with operating licenses. Therefore, the main objective was determine the population dynamics of Gulf corvina *C. othonopterus* to evaluate the fishery's health condition through the Froese sustainability indicators in Upper Gulf of California during 2008, 2013, 2014 and 2015 fishing seasons. The results showed that the Gulf corvina annual production showed fluctuations, highlighting in the 2012-2016 period, when the whole fishing catches with the exception of 2014, surpassed the quota established by the National Institute of Fisheries and Aquaculture (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura). Size-at-first maturity ( $L_{50}$ ) was found to be lower than the value reported in previous studies; the differences were mainly due the methods used to compute it. Regarding individual growth Gulf corvina exhibit depensatory growth during early years of life but turned to compensatory. The best way to estimate growth was the compensatory process. Schnute's individual growth model was tested with statistical evidence to be better than specialized models. Based on the sustainability indicators, it is demonstrated that the Gulf corvina fishery is directed towards the organisms of greater length (mega-spawners). It is concluded that Gulf corvina currently shows problems of overexploitation and therefore its exploitation is not sustainable. This suggests the need to adjust and update the current management measures.

**Key Words:** *Cynoscion othonopterus*, growth, mega-spawners, sustainability indicators, upper gulf of California.

Vo. Bo. Director de tesis



Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

**Dedicatoria**

A todas aquellas personas que, gracias a sus buenos deseos, amistad, confianza, consejos y apoyo incondicional en todos los sentidos, hicieron posible la culminación de este trabajo.

A:

Dios,

Familia

y

Amigos.

Agradecido por siempre: el creyente, nieto, hijo, hermano, esposo, padre y amigo.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca de manutención para la realización del Doctorado. Número de beca 421316.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por haberme brindado la oportunidad de estudiar en el programa de Doctorado en Ciencias en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales.

Al Banco Santander por otorgarme la beca de movilidad, con la cual se cubrió un objetivo de la investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Guatemala (CONCYT Guatemala) por invitarme a impartir el curso de seminario de investigación y participar en el I congreso de ciencia y tecnología Izabal 2016, en especial al Doctor Milton Sandoval.

A mi Director de Tesis Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, a los miembros de mi comité de tesis (Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez, Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata, Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga y Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca).

Al M. en C. Edgar Alcántara Razo, por el apoyo técnico realizado en la ejecución del proyecto 178727 para la realización de la presente investigación, sin su ayuda esta tesis no hubiera sido posible.

Al Dr. Gilberto Genaro Ortega Lizárraga por los cursos y asesorías en análisis pesquero.

Al personal del CIBNOR (Xicohtencatl Galicia, Tania Verónica Nuñez Valdéz, Horacio Sandoval Gómez)

A la universidad de Brest Francia por permitirme hacer una estancia. En especial a la Doctora Pecquerie y al Doctor Edouard Kraffe De Laubarade (CIBNOR-Francia)

A las instituciones que de alguna forma contribuyeron para este proyecto. Al IAES (datos de curvina), la Universidad Autónoma de Nayarit (estancia), la Universidad Autónoma de Sinaloa (estancia). A la fundación TELMEX.

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	i
<b>Summary</b>	ii
<b>Dedicatoria</b>	iii
<b>Agradecimientos</b>	iv
<b>Contenido</b>	v
<b>Lista de figuras</b>	vii
<b>Lista de tablas</b>	ix
<b>Abreviaturas</b>	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. ANTECEDENTES</b>	3
2.1. Aspectos generales	3
2.2. Importancia de la pesquería	5
2.3. Antecedentes de captura	6
2.4. Reproducción	6
2.5. Talla de madurez sexual	7
2.6. Relación talla-peso	8
2.7. Edad y crecimiento	8
2.8. Alimentación	9
2.9. Proporción sexual	9
2.10. Mortalidad natural	10
2.11. Abundancia poblacional	10
2.12. Distribución y migración	11
2.13. Modelación del crecimiento individual	11
2.14. Análisis de la variabilidad de los datos longitud-edad.	13
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	13
<b>4. HIPÓTESIS</b>	14
<b>5. OBJETIVOS</b>	15
4.1. Objetivo general	15
4.2. objetivos específicos	15
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	15
6.1 Descripción del área de estudio	15
6.2 Desarrollo de los muestreos y fuente de información	16
6.2.1 Bases de datos para crecimiento	16
6.3 Selección de muestras para biometrías	18
6.4 Determinación de la edad	19
6.4.1 Procesamiento de otolitos	19
6.5 Relaciones biométricas	21
6.6 Determinación de la estructura de peso y talla	22
6.7 Capturas anuales	22
6.8 Modelación del crecimiento	22
6.8.1 Modelo especializado de von Bertalanffy	23
6.8.2 Modelo generalizado de von Bertalanffy	24
6.8.3 Modelo de Gompertz	25
6.8.4 Modelo Logístico	26
6.8.5 Modelo de Richards	27
6.8.6 Modelo de Johnson (1935)	28

6.9 Ajuste de los modelos	29
6.10 Selección de los modelos	29
6.11 Modelo de Schnute	30
6.11.1. Descripción de las curvas generadas por el modelo de Schnute	32
6.11.2. Descripción de los casos del modelo de Schnute	34
6.11.3. Inferencia multimodelo para un modelo promedio a través de los casos de Schnute	36
6.12. Análisis de la variabilidad de los datos longitud-edad	36
6.12.1 Estimación de la varianza $\sigma_i^2$ para hipótesis depensatorio	37
6.12.2 Ajuste de los modelos con enfoque de hipótesis depensatoria	37
6.12.3 Estimación de la varianza $\sigma_i^2$ para hipótesis compensatorio	38
6.13. Mortalidad natural	39
6.13.1 Modelo de Pauly	39
6.13.2 Modelo de Jensen	39
6.14 Talla de madurez	39
6.14.1 Intervalos de confianza	40
6.15 Indicadores de sustentabilidad	41
<b>7. RESULTADOS</b>	42
7.1 Variabilidad de la longitud a la edad	42
7.1.1 Hipótesis estable	42
7.1.2 Hipótesis depensatorio	42
7.1.3 Hipótesis compensatorio	44
7.2 Estimación del crecimiento utilizando los casos del modelo de Schnute	46
7.3 estructura de tallas	56
7.4 Variabilidad de las capturas	57
7.5 Talla de primera madurez	58
7.6 Estimación de los mega-reproductores	59
7.7 Relaciones biométricas	61
7.8 Mortalidad	62
<b>8. DISCUSIÓN</b>	62
8.1 Parámetros de crecimiento	62
8.2 Variabilidad en los datos	66
8.3 Aplicación de resultados de tallas al manejo pesquero	67
8.4 Indicadores de sustentabilidad	70
<b>9. CONCLUSIONES</b>	74
<b>10. LITERATURA CITADA</b>	75
<b>11. ANEXOS</b>	87

## Lista de figuras

	Página
<b>Figura 1.</b> Producción de curvina golfina <i>Cynoscion othonopterus</i> en el Alto Golfo de California del periodo de 1991 a 2016.	7
<b>Figura 2.</b> Área de distribución de curvina golfina en el Alto Golfo de California (tomada de Román-Rodríguez y Barrera-Guevara, 2006).	11
<b>Figura 3.</b> Área de estudio.	18
<b>Figura 4.</b> Medidas biométricas de los organismos.	19
<b>Figura 5.</b> Extracción de otolitos.	20
<b>Figura 6.</b> Marcado, corte y pulido de otolitos.	20
<b>Figura 7.</b> Curva del modelo especializado de von Bertalanffy cuando los parámetros son: $k= 1/\text{año}$ , $L_{\infty} = 52$ cm y $t_0= 0$ años.	23
<b>Figura 8.</b> Trayectoria de la curva de crecimiento del modelo generalizado de von Bertalanffy	24
<b>Figura 9.</b> Ejemplo de la curva del modelo de Gompertz cuando los parámetros son: $k= 1$ , $L_{\infty}= 60$ y $t^*= 4.1$ .	25
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de la curva de crecimiento del modelo Logístico cuando sus parámetros son: $k= 1$ , $L_{\infty}= 52$ y $t^*= 6.5$ .	26
<b>Figura 11.</b> Curvas generadas por el modelo de Richards dependiendo de los valores de $D$ . Valores de $D$ de izquierda a derecha: $D: 0.5, 1, 3, 6$ , $k= 0.5$ , $L_{\infty}= 0.95$ y $t_0= 0$ para todas las curvas. La curva en negrita es equivalente al especializado de von Bertalanffy cuando $D= 1$ .	27
<b>Figura 12.</b> Ejemplo de la curva del modelo de Johnson cuando $k= 0.7$ , $L_{\infty}= 60$ y $t_0=0$ .	28
<b>Figura 13.</b> Conjunto de curvas generadas según los valores de los parámetros de crecimiento ( $a$ y $b$ ) del modelo de Schnute.	31
<b>Figura 14.</b> Datos crudos de <i>Cynoscion othonopterus</i> que demuestran dos tipos de crecimiento: hipótesis de crecimiento depensatorio e hipótesis de crecimiento compensatorio.	45
<b>Figura 15.</b> Curvas de crecimiento de <i>Cynoscion othonopterus</i> (base de datos Román-Rodríguez) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	52

<b>Figura 16.</b> Curvas de crecimiento de <i>Cynoscion othonopterus</i> (base de datos CONABIO) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	53
<b>Figura 17.</b> Curvas de crecimiento de <i>Cynoscion othonopterus</i> (base de datos CRIP) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	53
<b>Figura 18.</b> Curvas de crecimiento de <i>Cynoscion othonopterus</i> (base de datos CIBNOR) para los casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	54
<b>Figura 19.</b> Patrón de crecimiento que mejor se ajustó a <i>Cynoscion othonopterus</i> para las diversas bases de datos.	55
<b>Figura 20.</b> Variaciones de la composición de la longitud promedio de la pesquería de curvina golfina <i>Cynoscion othonopterus</i> para las temporadas 1997-2016.	56
<b>Figura 21.</b> Producción de curvina golfina <i>Cynoscion othonopterus</i> en el Alto Golfo de California para los años 1997-2016.	57
<b>Figura 22.</b> Curvas de la longitud de madurez para hembras de curvina golfina <i>Cynoscion othonopterus</i> capturadas en el Alto Golfo de California. Los círculos son datos observados mientras que la línea es la curva ajustada.	58
<b>Figura 23.</b> Intervalos de confianza mediante perfiles de verosimilitud para la longitud de madurez en hembras de <i>Cynoscion othonopterus</i> .	59
<b>Figura 24.</b> Indicadores de sustentabilidad de Froese (2004) para la distribución de longitud de hembras de curvina golfina <i>Cynoscion othonopterus</i> en el Alto Golfo de California durante la temporada de pesca A) 2008, B) 2013 C) 2014 y D) 2015. $L_{50}$ : longitud de madurez, $L_{opt}$ : intervalo de longitud óptima donde se obtiene el máximo rendimiento, $L_{max}$ : longitud máxima registrada en la temporada.	60
<b>Figura 25.</b> Relación longitud total- peso para curvina golfina en 2008.	61

## Lista de tablas

	Página
<b>Tabla I.</b> Función matemática de la varianza $\sigma_i^2$ para cada edad $i$ de acuerdo a los datos de longitud a la edad considerando hipótesis depensatorio.	37
<b>Tabla II.</b> Función matemática de la varianza $\sigma_i^2$ para cada edad $i$ de acuerdo a los datos de longitud a la edad considerando hipótesis compensatorio.	38
<b>Tabla III.</b> Estimación de los parámetros de crecimiento de cada modelo considerando las tres hipótesis de crecimiento (depensatorio, compensatorio y estable).	43
<b>Tabla IV.</b> Casos del modelo de Schnute considerando una hipótesis de crecimiento con varianza constante. Cantidad de parámetros ( $k$ ), criterio para seleccionar el mejor modelo ( $AIC_c$ ), Diferencias de $AIC_c$ ( $\Delta_i$ ) y porcentaje de ponderación ( $w_i$ ). Especial 1 (modelo de Von Bertalanffy especializado), especial 2 (modelo Logístico).	44
<b>Tabla V.</b> Jerarquización de los modelos de crecimiento basados en $AIC_c$ , $\Delta_i$ , $w_i$ utilizando hipótesis de crecimiento depensatorio.	44
<b>Tabla VI.</b> Criterios utilizados para la selección del modelo que mejor describe el patrón de crecimiento de curvina golfina considerando que la varianza disminuye con el tiempo.	45
<b>Tabla VII.</b> Criterios utilizados para la selección del modelo que mejor describe el patrón de crecimiento de curvina golfina considerando que la varianza disminuye con el tiempo.	46
<b>TABLA VIII.</b> Parámetros de crecimiento para <i>Cynoscion othonopterus</i> $k$ , $t_0$ y $L_\infty$ (base de datos CONABIO) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	47
<b>TABLA IX.</b> Parámetros de crecimiento para <i>Cynoscion othonopterus</i> $k$ , $t_0$ y $L_\infty$ (base de datos CRIP) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	48
<b>Tabla X.</b> Parámetros de crecimiento para <i>Cynoscion othonopterus</i> $k$ , $t_0$ y $L_\infty$ (base de datos CIBNOR) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.	49
<b>Tabla XI.</b> Parámetros de los casos del modelo de Schnute ( $y_1$ , $y_2$ , $a$ y $b$ ): ( $k$ ) número de parámetros, ( $AIC_c$ ) criterio de información de Akaike, ( $\delta_i$ ) diferencias de Akaike, ( $w_i$ ) ponderación de $AIC_c$ .	50

**Abreviaturas**

MSY	Máximo rendimiento sostenible
AIC	Criterio de información de Akaike
mm	Milímetros
g	Gramos
cm	Centímetros
kg	Kilogramo
t	Toneladas
Lopt	Longitud óptima

## 1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de California (GC) es uno de los ecosistemas costero-marinos más productivos y complejos del planeta. Alberga aproximadamente 4,500 especies de invertebrados marinos, más de 890 especies de peces de las cuales unas 90 son endémicas de la región (Brusca *et al.*, 2005). El Alto Golfo de California (AGC) y delta del Río Colorado (DRC) presentan atributos muy especiales por sus características hidrológicas, alta diversidad y alto grado de endemismo (22 de las 37 especies endémicas de peces están confinadas en el Alto Golfo de California) (Thomson *et al.*, 2000). Es una zona de crianza y desarrollo de muchas especies de importancia comercial y ecológica como el camarón *Penaeus* spp., la curvina golfina *Cynoscion othonopterus*, la vaquita marina *Phocoena sinus*, y la totoaba *Totoaba macdonaldi* (Brusca *et al.*, 2017; Cisneros Mata *et al.*, 1995). Actualmente la problemática ambiental del AGC se relaciona con los procesos históricos, políticos, económicos y culturales de la región. En primera instancia destaca la alteración de hábitats costeros y humedales; la intervención del hombre y la construcción de la presa Hoover, una de las más grandes del mundo, ha provocado cambios en la dinámica, suministro de sedimentos y disminución del flujo de agua dulce, que provenían de la cuenca del Río Colorado (Carriquiry y Sánchez, 1999). Esto implica no sólo en una disminución de ~ 60% del flujo, sino también en su calidad ya que arrastra agroquímicos y residuos urbanos e industriales hacia la región del DRC y AGC (Barrera y Campoy, 1992). La información histórica señala que a principios del siglo pasado los flujos de agua del Río Colorado durante la primavera inducían un incremento significativo de la producción y crianza de la biota marina. Sin embargo, debido a la disminución del afluente de agua dulce del río, periodos espaciados del mismo, baja precipitación y altas tasas de evaporización dieron por consiguiente a la región condiciones anti-estuarinas (Álvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974; Lavín *et al.*, 1998) factores que pueden haber afectado adversamente el desarrollo de huevos y larvas de las especies que habitan en la región (Álvarez-Borrego, 1983; Aragón-Noriega y Calderon-Aguilera, 2000; Silber, 1990). Sin embargo, los efectos específicos de esos factores sobre la población de curvina golfina todavía no han sido demostrados.

La dinámica de poblaciones sujetas a explotación pasa por varias etapas: desarrollo, totalmente explotadas, sobreexplotadas, colapso y recuperación, esta última depende de la resiliencia de la población a los factores causales del colapso (Hilborn y Walters, 1992). La etapa menos deseada es el colapso, definido como un periodo sostenido de capturas muy bajas después de un periodo de capturas altas (Cook, 1984). Conocer la dinámica de población en peces permite comprender el comportamiento, tamaño de la población y la forma e intensidad con la que esta se cambia y se renueva (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 1995). Esto ayuda a preservar la sustentabilidad de los recursos pesqueros, aunado a la elaboración o actualización de los planes de manejo en las pesquerías.

La actividad pesquera en el AGC ha sido particularmente problemática por tener una amplia dispersión espacial y una marcada disparidad social (Doode y Wong, 2001). Uno de los recursos de escama marina de mayor importancia para las comunidades del AGC, ha sido la curvina golfina *C. othonopterus*. Por esa razón el presente estudio está dirigido a esta especie, para determinar aspectos de su dinámica poblacional como: longitud de madurez, crecimiento individual, longitud óptima de captura y la presencia de mega-reproductores, máximo rendimiento sostenible y biomasa. Se presentan los indicadores de sustentabilidad de la pesquería de la especie para contribuir a establecer bases de medidas normativas adecuadas para su explotación.

El estudio aborda desde el análisis de crecimiento hasta indicadores de sustentabilidad. En cuanto al análisis de crecimiento fue abordado desde la perspectiva de múltiples modelos considerando los enfoques de varianza constante, varianza con tendencia a disminuir conforme el organismo crece, o con tendencia a aumentar a mayor edad. Este enfoque es novedoso y su aplicación apenas comienza a usarse de forma masiva. También se hace énfasis en la aplicación del modelo de Schnute como un modelo generalizado que puede remplazar al resto de modelos especializados como el Von Bertalanffy (por citar un ejemplo), pero con la ventaja de que sus parámetros tienen el mismo significado independientemente de la forma de la curva que se genere con los datos talla-edad utilizados (Schnute, 1981).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Aspectos generales

La curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Jordan y Gilbert en 1882) es un pez que pertenece a la familia Sciaenidae comúnmente llamados curvinas o roncadors (Chao, 1995). Los sciánidos generalmente son bentónicos, carnívoros que se alimentan de una variedad de peces pequeños y de invertebrados bentónicos. Chao (1995) lo describió como un pez diádromo con preferencias a fondos marinos arenosos y suaves del AGC. Esto implicaría que habita una parte en aguas dulces y otra en aguas saladas, pero esas condiciones del AGC hace muchos años que no se presentan y por tanto esta clasificación hoy está en duda. y la reproducción es en aguas oligohalinas. Su reproducción se lleva a cabo en los canales del Delta del Río Colorado donde se encuentran las aguas salobres y oligohalinos (Álvarez de Williams, 1974). La especie es iterópara (se reproduce varias veces anual y estacionalmente), gonocórica (sexos separados) y ovípara (el desarrollo de los huevos se lleva a cabo fuera del cuerpo del animal) (Aragón-Noriega, 2014).

La especie fue descrita por Jordan y Gilbert en 1882 y de acuerdo con el Sistema Integral de Información Taxonómica (ITIS, por sus siglas en inglés, <http://www.itis.gov>) la curvina golfina pertenece a:

<b>Reino:</b>	Animal
<b>Subreino:</b>	Bilateria
<b>Infrareino:</b>	Deuterostomia
<b>Filo:</b>	Cordado
<b>Subfilo:</b>	Vertebrado
<b>Infrafilo:</b>	Gnatostómato
<b>Superclase:</b>	Actinopterigio
<b>Clase:</b>	Teleósteos
<b>Superorden:</b>	Acantopterigio
<b>Orden:</b>	Perciformes
<b>Suborden:</b>	Percoidei
<b>Familia:</b>	Esciánidos
<b>Género:</b>	<i>Cynoscion</i> (Gill, 1881)
<b>Especie:</b>	<i>Cynoscion othonopterus</i>

Las características distintivas de la especie son: cuerpo alargado, relativamente esbelto, perfil de nuca recto, boca grande y oblicua, la mandíbula inferior prominente, mentón sin poros ni barbilla, dientes aguzados, dispuestos en una o dos series, un par de dientes caniniformes en el extremo de la mandíbula superior; aleta dorsal con X u XI (IX-XI+I) espinas y de 23 a 27 radios blandos; aleta anal con II espinas y 10 u 11 radios blandos; aletas pectorales con 16 o 17 radios, alcanzando los extremos de las pélvicas; aleta caudal truncada a levemente marginada. Escamas ctenoides en el cuerpo, cicloides en la cabeza y aletas; 54 a 56 escamas con poro en la línea lateral. La vejiga gaseosa tiene un par de apéndices anteriores en forma de cuernos. Presenta coloración con dorso azul metálico, vientre plateado, mitad superior del cuerpo con estrías oscuras, axilas pectorales grisáceas, parte distal de las aletas oscuras, aletas pélvicas y anal amarillas (Chao, 1995).

La pesquería de la curvina se efectuaba principalmente en las aguas someras de la parte norte del AGC y canales de la desembocadura del Delta del Río Colorado (Acosta-Valenzuela, 2008) área localizada al noroeste de la costa de Sonora y noreste de la costa de Baja California, en lo que se conoce como Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (RBAGCyDRC). En la pesca de este organismo participan alrededor de 1,600 a 2,500 pescadores los cuales utilizan embarcaciones menores (pangas) de aproximadamente 25 pies de eslora equipadas con motores fuera de borda entre 90 a 200 HP. La duración de los viajes depende mucho de la abundancia de curvina y de la captura durante el viaje de pesca, variando entre 2-12 h de trabajo con capturas de 2 a 4 toneladas. Es por ello que el beneficio económico durante este corto periodo es muy significativo (DOF, 2012). La flota tiene su base en tres comunidades principales: 400 embarcaciones se ubican en el Golfo de Santa Clara, Sonora; 300 embarcaciones en San Felipe, Baja California y 100 embarcaciones en El Zanjón, Baja California (Solana-Sansores *et al.*, 2012; DOF, 2012).

Las faenas de pesca se llevan a cabo preferentemente durante las mareas vivas, después del primer y tercer cuarto lunar en lapsos de tres a cuatro días durante los meses de febrero a mayo, siendo marzo y abril los periodos de mayor abundancia debido a la migración reproductiva anual a los campos de desove y crianza, en el extremo norte del Golfo de

California y Delta del Río Colorado (Román-Rodríguez y Barrera-Guevara, 2006; Paredes *et al.*, 2010) vulnerabilidad que aprovechan los pescadores para su captura.

La curvina golfina es una especie de un alto valor pesquero por el volumen que representa y debido a que se pesca durante el periodo de mayor demanda de pescado en México (cuaresma); temporada en la cual aumenta considerablemente el consumo de pescados y mariscos en todo el país, sin embargo, una porción de las capturas es exportada. Se comercializa principalmente como producto fresco eviscerado (destripado) y la mayor parte de la producción se envía a la Ciudad de México y Guadalajara, y en menor cantidad en los Estados de Sinaloa y Sonora (Paredes *et al.*, 2010). El precio por kilogramo (kg) de curvina eviscerada varía anualmente entre localidades. En promedio el kg curvina al inicio de temporada es de \$14 pesos, sin embargo, el precio se desploma (\$8 kg) en cuestión de días u horas debido a que las capturas en el corto plazo saturan el mercado. Por ello, desde el año de 1997 se ha tratado de acordar con los productores medidas que aseguren un aprovechamiento ordenado del recurso, lo que ha sido difícil ya que todos los usuarios tratan de capturar el mayor volumen en el menor tiempo posible (Román-Rodríguez y Barrera-Guevara, 2006). Otros subproductos que se aprovechan de la curvina es la vejiga natatoria (buche) así como las gónadas, órganos los cuales llegan a superar los \$500 y \$8 pesos por kilogramo, respectivamente.

## 2.2 Importancia que representa la pesquería

La captura de curvina representa una de las pesquerías más importante en el Alto Golfo de California (AGC), ya que es una de las dos especies con permiso de explotación dentro AGCDRC por decreto del Gobierno de México (DOF, 2015). En dicho acuerdo se suspende temporalmente la pesca comercial para todas las especies mediante el uso de redes de enmalle, cimbras y/o palangres operadas con embarcaciones menores, con excepción de curvina golfina. Otro aspecto importante son las abundantes capturas que se presentan anualmente las cuales impactan de forma significativa el desarrollo socioeconómico en la región. Esto último se ve claramente reflejado en la generación de empleos y una gran derrama económica principalmente en pueblos que intervienen directamente en su

aprovechamiento como son: La comunidad de El Golfo de Santa Clara, el pueblo indígena Cucapá, San Felipe y el bajo Río Colorado (Solana-Sansores *et al.*, 2009).

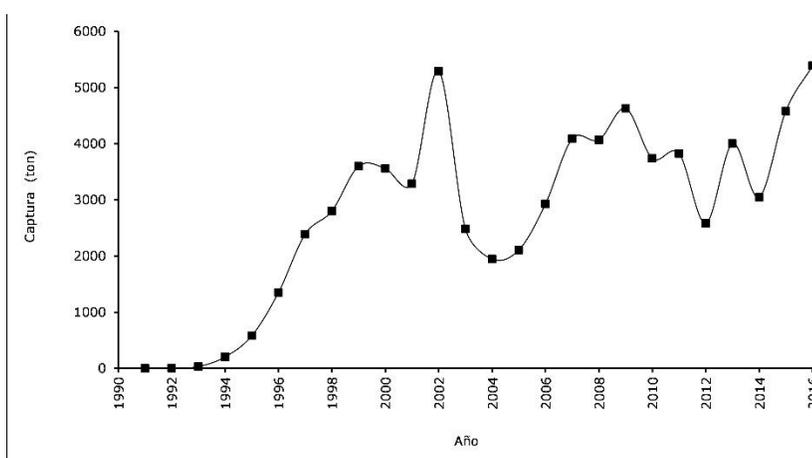
### 2.3 Antecedentes de captura

Una de las primeras observaciones sobre la especie y su pesquería fue presentada por Fitch (1949) quien señaló que la curvina golfina se pescaba incidentalmente junto con la totoaba *Totoaba macdonaldi* y también se consideraba un recurso con valor significativo para la pesca deportiva ya que ambos organismos se exportaban en presentación de filete al Estado de California, Estados Unidos. Paulatinamente, por factores desconocidos, esta especie dejó de migrar al Alto Golfo en la década de 1960 llegándose a considerar extinta (Román-Rodríguez, 2000). No obstante, la captura de esta especie volvió a dar inicio en 1992, convirtiéndose en el segundo recurso pesquero de mayor importancia social y económica (después del camarón, hasta 2017) por el valor de la producción en la región (Román-Rodríguez, 2000; Martínez y Flores 2009). En el año de su reaparición se obtuvo una captura de 3.9 toneladas (t); en 1994 se capturaron 219.5 t y la producción continuó aumentando de tal manera que durante el periodo de 1998 a 2001 la producción osciló entre las 2,889 y 3,748 t. La máxima producción histórica reportada fue en el 2002, con 5,952 t; a partir de entonces empezó a disminuir hasta 2,200 t en el año 2005. En los años subsecuentes volvió a aumentar la producción, cerrando en el 2016 con una captura mayor a 5000 t (Fig. 1) (Botello *et al.*, 2010; Manjarrez-Bringas, 2018).

### 2.4 Reproducción

Román-Rodríguez (2000), en su análisis histológico de gónadas reportó que las hembras y los machos presentan una mayor actividad de reproducción durante los meses de febrero y marzo para ambos sexos disminuyendo en abril hasta llegar a agosto cuando ambas se encuentran en estado de inmadurez gonádica. Durante los meses de mayor actividad reproductiva (que también coincide con la de mayor actividad de pesca) las hembras de 600 a 720 mm de longitud patrón liberan entre 250 y 800 mil huevecillos en una sola puesta. Sin embargo, Acosta-Valenzuela (2010) encontró que es un organismo con actividad reproductiva corta de marzo a mayo y que presenta fecundidad alta pero variable por ser un

desovador parcial teniendo un número de huevos por puesta que osciló entre 19,680 y 4,237,804. Estos desoves se presentan cuando la temperatura superficial del mar (TSM) se encuentra en el mínimo de su del ciclo anual (16 a 23 °C). Por otro lado, Gherard *et al.* (2013) de acuerdo con el tamaño y distribución de los ovocitos, infieren que la curvina golfina es un desovador parcial o múltiple. Asimismo, encontraron que la fecundidad total varió entre 240,394 y 1'219,342 huevos, con un promedio de 684,293 huevos por desove por individuo (similar al obtenido por Román-Rodríguez, 2000).



**Figura 1.** Producción de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California del periodo de 1991 a 2016.

### 2.5 Talla de madurez sexual

Con respecto a la talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) Román-Rodríguez (2000) encontró una talla de 700 mm, y que la edad del primer desove se presenta a los dos años. Acosta-Valenzuela (2008), determinó una  $L_{50}$  de 702 mm, muy similar al resultado de Román-Rodríguez (2000). Posteriormente Acosta-Valenzuela (2010) encontró que también su talla de primera madurez se ha reducido 685 mm en hembras y 674 mm para machos. Contrario a estos resultados, Gherard *et al.* (2013) estimaron una  $L_{50}$  de 294.7 mm para hembras, que se alcanzan a una edad de 2.3 años y de 267.5 mm para machos alcanzada a una edad de dos años. Es importante

tomar en cuenta estos resultados dada la discrepancia entre ellos; para un análisis a fondo se deben buscar las fuentes que los originaron.

## 2.6 Relación talla-peso

En cuanto a la relación longitud-peso, Román-Rodríguez (2000) utilizó datos de longitud total (LT) y peso eviscerado (PE) encontrando un crecimiento alométrico para machos (2.796), alométrico para hembras (2.961) y alométrico en sexos combinados (2.879).

Encinas-Rivera (2008), mediante la relación longitud total (LT)-peso total (PT) demuestra que la especie presenta un crecimiento isométrico (3.2). Sin embargo, los resultados de Acosta-Valenzuela (2010) difieren a los reportados por Encinas-Rivera (2008) ya que al utilizar los datos de LT-PT reporta que curvina presenta un crecimiento alométrico negativo para machos, hembras y sexos combinados ( $b= 2.660, 2.430$  y  $2.650$ , respectivamente). Enciso-Enciso (2014), utilizando datos de LT-PT determinó que el crecimiento es alométrico negativo en machos ( $b= 2.758$ ) e isométrico en hembras (3.002).

## 2.7 Edad y crecimiento

La curvina es considerada como una especie medianamente longeva en comparación con otras especies de la familia Sciaenidae como la totoaba *Totoaba macdonaldi*, que llega a vivir 27 años (de Anda-Montañez *et al.*, 2013). En cuanto a edad y crecimiento de curvina, el registro más longevo que se tiene es de nueve años con longitudes totales (LT) entre 145 mm y 920 mm (cita). Mediante ajuste del modelo de von Bertalanffy para proyectar el crecimiento se estimaron valores de  $L_{\infty}= 815.9$  mm,  $k= 0.51$  años<sup>-1</sup> y  $t_0= -0.38$  años (Román-Rodríguez, 2000). Por otro lado, Gherard *et al.* (2013), también mediante la lectura de otolitos, encontraron que en curvina golfina no existen diferencias significativas en el crecimiento entre sexos. De la misma manera, utilizando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy para un intervalo de tallas entre 145 y 1,013 mm de LT estimaron los valores:  $L_{\infty}= 1,006$  mm,  $k= 0.255$  años<sup>-1</sup> y  $t_0= 0.616$  años. Aragón-Noriega (2014) analizó el crecimiento individual de curvina golfina mediante un enfoque de inferencia multimodelo, poniendo a prueba cinco modelos: von Bertalanffy, Logístico, Gompertz, Schnute y Schnute-Richards. Aunado a lo anterior demostró que el crecimiento de *C. othonopterus* exhibe un patrón de crecimiento

bifásico el cual es mejor descrito por un modelo con mayor cantidad de parámetros, como el de Schnute–Richards.

## 2.8 Alimentación

El conocimiento de los hábitos alimenticios en los peces es uno de los elementos biológicos y ecológicos más importantes ya que permite evaluar la dieta y conocer el papel de las especies en las redes tróficas (Cortés, 1997). Asimismo, ayuda a analizar el nivel de importancia de las especies que consumen (García-Cagidae *et al.*, 1994) y a comprender el flujo de energía entre las poblaciones de la comunidad (Rivera-Arriaga, 1990). Se ha demostrado que los depredadores ejercen una fuerte presión sobre las poblaciones de nivel trófico inferior en las comunidades que se desarrollan en fondos blandos (Jensen y Jensen, 1985). La curvina golfina presenta hábitos carnívoros. Durante su temporada reproductiva se alimenta vorazmente de crustáceos bentónicos como camarones y jaibas, moluscos como pulpos y calamares, y peces pelágicos formadores de cardúmenes como sardinas y anchovetas (Román-Rodríguez, 2000). Mediante un análisis del contenido estomacal Encinas-Rivera (2008), determinó que la dieta de curvina está compuesta principalmente de sardina bocona *Cetengraulis mysticetus* (90%), camarón *Penaeus* spp. (3%) y jaiba *Callinectes* spp. (1%).

Bajeca-Serrano (2016) comparó diversos índices para analizar la composición trófica. Los resultados muestran un patrón similar en relación de la preferencia de las presas. En resumen, para todos los índices la sardina representó la mayor proporción, frecuencia de ocurrencia, importancia relativa y número de organismos con un promedio mayor al 90% seguido de camarón y jaiba.

## 2.9 Proporción sexual

Respecto a la proporción sexual, Román-Rodríguez (2000) reportó una razón de 1:1. Sin embargo, Acosta-Valenzuela (2008) encontró una proporción de 2M:1H. Acosta-Valenzuela (2008) propone que esta desproporción sexual puede estar influenciada por mecanismos genéticos y de regulación ambiental (Margalef, 1974), o bien puede ser atribuida a sesgos en

el muestreo durante el periodo de estudio o simplemente a que las hembras buscan áreas de protección durante la reproducción, haciendo su captura más difícil.

#### 2.10 Mortalidad natural

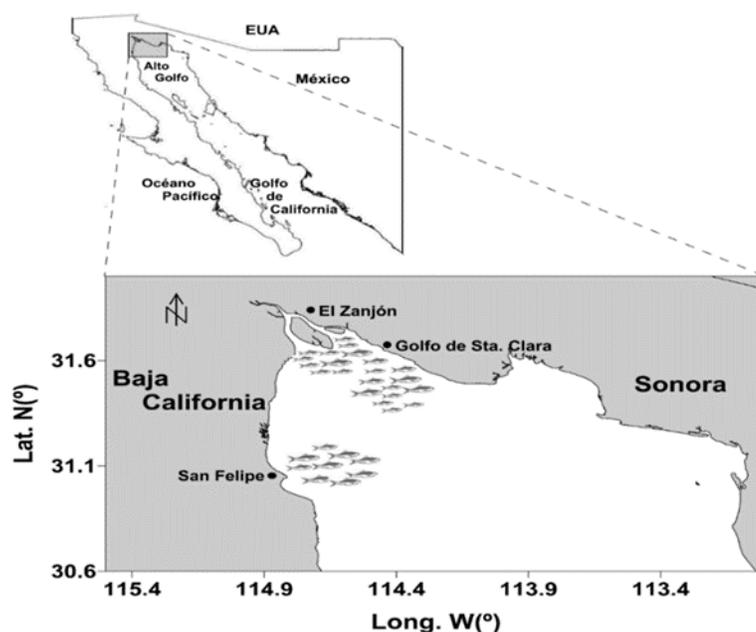
La tasa instantánea de mortalidad natural ( $M$ ) de curvina golfina fue estimada por Román-Rodríguez (2000) quien utilizó la ecuación empírica de Pauly (1980), obteniendo valores relativamente altos de  $M$ , entre 0.3298 y 0.4122 año<sup>-1</sup>. Posteriormente Enciso-Enciso (2014), estimó la  $M$  utilizando los métodos de Jensen (1996) y Pauly (1980), encontrando valores de 0.402 y 0.521 año<sup>-1</sup>, respectivamente, coincidiendo con lo reportado por Román-Rodríguez (2000).

#### 2.11 Abundancia poblacional

Para conocer el estado del stock de la curvina golfina, Ruelas-Peña *et al.* (2013) desarrollaron y compararon dos modelos de biomasa dinámica (Schaefer 1954 y Pella y Tomlinson, 1969), utilizando series históricas de los índices de abundancia (captura por unidad de esfuerzo, CPUE) de la pesquería derivados de la captura ( $t$ ) y el esfuerzo de la pesca comercial (número de pangas utilizadas) (1993-2010). De acuerdo con el Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés, cita) el modelo de Schaefer presentó el mejor ajuste y se concluyó que el rendimiento máximo sostenible (RMS) fue de 3,100 t. Además, estimaron una biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible ( $B_{RMS}$ ) de 8,200 t mediante un esfuerzo para el rendimiento máximo sostenible ( $F_{RMS}$ ) de 457 embarcaciones, concluyendo que el estado de la pesquería durante el periodo de estudio no ha sido saludable. Sin embargo, Castro-González *et al.* (2013) y Enciso-Enciso (2014) encontraron que los niveles de biomasa de curvina, estimados para el periodo de 1995 a 2013, tuvieron una ligera oscilación a partir del año 2007, pero sin tener un decaimiento importante. En todos los casos, la biomasa estimada en cada año analizado se encuentra por encima del valor límite de la  $B_{RMS}$ . Ellos utilizaron el método Captura-MRS (Martell y Froese, 2012) y el modelo bioeconómico de Schaefer-Gordon.

## 2.12 Distribución y migración

La zona de distribución de la curvina golfina (Fig. 2) abarca desde la bahía de La Paz, Baja California Sur, hasta el Delta del Río Colorado, en Sonora. Sin embargo, la mayor concentración de esta especie se presenta durante los meses de febrero a abril cuando realiza migraciones anuales en la zona del Alto Golfo de California, específicamente en la región que incluye la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (Barrera y Campoy, 1992; 1998). La distribución y abundancia de los juveniles durante el primer año de vida presentan una distribución hacia al sur respecto a la zona de crianza ya que es posible encontrar juveniles en zonas aledañas a San Felipe y Puertecitos, B.C.N. Esto indica que los juveniles que se ubican del lado de Baja California probablemente están buscando áreas de protección en zonas rocosas (Román-Rodríguez, 2000).



**Figura 2.** Área de distribución de curvina golfina en el Alto Golfo de California (tomada de Román-Rodríguez y Barrera-Guevara, 2006).

## 2.13 Modelación del crecimiento individual

Durante los últimos dos siglos después de que Malthus (1798) descubriera la naturaleza exponencial del crecimiento, se han desarrollado numerosos modelos de crecimiento.

Ejemplos de estos modelos son: Gompertz (1825); Verhulst (1838); Winsor (1932); Johnson (1935); von Bertalanffy (1938); Brody (1945); Weibull (1951); Richards (1959); Preece y Baines (1978); Schnute (1981); Tanaka (1982); Jolicoeur (1985). Sin embargo, actualmente elegir algún modelo sigue siendo a menudo arbitrario. Modelar el crecimiento puede ser considerado como una caja negra. En ese sentido se tienen modelos de crecimiento poblacional que son aplicados para el crecimiento individual. Como claro ejemplo se tiene el modelo Logístico (Verhulst, 1838) y el de Gompertz. Los modelos económicos también se han utilizado en la modelación del crecimiento individual (v.g., Johnson). Aunque los modelos anteriores no fueron creados para el efecto del crecimiento individual se han utilizado debido a que se ha demostrado que el crecimiento de algunas especies marinas se ajusta a esas trayectorias (Alp *et al.*, 2011; Baer *et al.*, 2011; Cruz-Vazquez *et al.*, 2012; Aragón-Noriega, 2014; Aragón-Noriega, *et al.*, 2015). Un modelo especialmente diseñado para estimar el crecimiento individual es el de von Bertalanffy; sin embargo, no toma en cuenta los primeros estadios de vida. En pesquerías se han utilizado estos modelos tratando de explicar las trayectorias de crecimiento de las especies y buscando los parámetros más adecuados. Sin embargo, determinar el “verdadero” ritmo de crecimiento y en especial en el área de las pesquerías aún sigue siendo una tarea difícil. Para estimar apropiadamente las curvas de crecimiento además de los parámetros que toman en consideración los modelos más utilizados en esta área se necesitaría tomar en cuenta algunas variables más complejas como los procesos bioquímicos y fisiológicos (alimentación, digestión, asimilación, respiración, excreción, etc.). Pero como se mencionó anteriormente, determinar todas estas variables en el medio natural es sumamente complicado. Por otro lado, el patrón de crecimiento puede ser diferente para cada estadio de desarrollo y entre especies, por lo que resulta difícil asumir *a priori* el modelo apropiado de crecimiento. Otra alternativa para determinar un patrón y parámetros de crecimiento más apegados a la realidad es analizar la variabilidad de los datos considerando hipótesis de crecimiento ya sea de tipo depensatorio (Restrepo *et al.*, 2010; Luquín-Covarruvas *et al.*, 2016), hipótesis de crecimiento con varianza estable, depensatorio (varianza de la talla creciente con la edad) o bien hipótesis de crecimiento compensatorio (varianza de la talla decreciente con la edad). En este sentido parte de la presente investigación se basó en analizar las posibles hipótesis de crecimiento

asociadas a la biología de *Cynoscion othonopterus*. Dado que el manejo pesquero se basa en estimaciones de mortalidad, y estas requieren de los parámetros de tasa de crecimiento o longitud asintótica la correcta estimación del crecimiento tendrá implicación en el adecuado manejo del recurso.

#### 2.14. Análisis de la variabilidad de los datos longitud-edad.

La determinación de los parámetros y trayectoria de crecimiento en las especies en sus inicios se limitaba en utilizar un solo modelo que ayudara a estimar la principalmente la velocidad y longitud máxima del crecimiento (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008; Cruz-Vásques et al., 2012; Aragón-Noriega, 2014). Sin embargo, al paso del tiempo se empezó a hacer uso de múltiples modelos que han ayudado a tener un mayor número de opciones en aras de una mayor seguridad al momento de que el investigador tome una decisión crecimiento (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008; Cruz-Vásques et al., 2012; Aragón-Noriega, 2014). Específicamente para curvina golfina existen diversas investigaciones sobre crecimiento en las cuales se han empleado estos dos enfoques metodológicos. Sin embargo, actualmente se ha dado un paso muy importante en la estimación del crecimiento individual y esto es gracias al análisis de la variabilidad de los datos. Los estudios que existen sobre el crecimiento individual de curvina golfina nunca han contemplado analizar la variabilidad de los datos; es por ello que en este trabajo de investigación se consideró probar las hipótesis crecimiento dependiente y compensatorio. A medida que incrementa la talla ocurren procesos ecológicos (cambios en la temperatura del agua, disponibilidad de alimento) o biológicos (características genéticas individuales) que pueden generar estos tipos de variabilidad en la talla. De manera general se sabe que las tasas de crecimiento son altamente variables a lo largo del desarrollo ontogénico y por tanto la estructura de longitud en una población es caracterizada por una fuerte variabilidad.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las pesquerías a nivel mundial constituyen una importante fuente de alimentos, empleo y generación de ingresos que impacta positivamente en el sustento familiar. Debido a lo

anterior y gracias al desarrollo de los conocimientos y evolución de la dinámica de las pesquerías tenemos conciencia que los recursos pesqueros no son ilimitados, más bien son renovables y limitados. Una forma de evaluar los recursos pesqueros es mediante el seguimiento estricto de la pesquería (Barbarino *et al.*, 1998). La información así obtenida contribuye a mejorar el conocimiento de la biodiversidad y dinámica de los ecosistemas acuáticos, y al establecimiento de líneas base para la evaluación y manejo de pesquerías (Pauly 1983). Por ello, es importante tener puntos de referencia como objetivos (el más conocido es el máximo rendimiento sostenible) o como límites (biomasa de desove, tasas de mortalidad) que ayude a mejorar el manejo de los recursos explotados y preservar la sustentabilidad de los organismos acuáticos (FAO 2000, Garcia *et al.* 2000). Sobre esto, Rice y Rochet (2005) mencionan que, para lograr la sustentabilidad de las pesquerías, es necesario utilizar indicadores que proporcionen un mejor entendimiento del estado del “stock”. En particular, la actividad pesquera en el Alto Golfo de California (AGC) ha sido singularmente (Doode y Wong, 2001). Rodríguez-Quiroz *et al.* (2010) mencionan que uno de los principales recursos de escama para las comunidades del AGC ha sido la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert y Jordan 1882). Actualmente representa la pesquería más importante de la región debido a que a partir de 2015 es la única especie para la cual se han expedido permisos de explotación pesquera por parte del Gobierno de México (DOF 2015). Por lo que se requiere de caracterizar la dinámica poblacional de la especie con información actualizada. Las preguntas centrales que se pretenden responder en el presente estudio son: ¿cuál es el mejor modelo que describe el crecimiento individual de la curvina golfina? ¿Cuál es el estatus de la población de curvina golfina en el AGC?

#### **4. HIPÓTESIS**

La pesquería de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* se realiza sobre la parte de la población conocida como mega-reproductores debido a la sobre-estimación de la longitud de primera madurez. Asimismo, el otorgamiento de altas cuotas de captura ha ocasionado que la captura de la población se encuentre por encima del máximo rendimiento sostenible pudiendo presentar indicios de colapso y haciéndola una pesca no sustentable.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Caracterizar el estatus poblacional de curvina golfina *Cynoscion othonopterus*, (Jordan y Gilbert 1881) en el Alto Golfo de California

### **5.2 Objetivos específicos**

1. Estimar los parámetros y patrón de crecimiento contemplando tres escenarios de varianza en los datos de talla a la edad: la varianza de la longitud aumenta con la edad (hipótesis depensatoria), la varianza disminuye con la edad (hipótesis compensatoria) y varianza constante (hipótesis de balance).
2. Contrastar los parámetros y trayectorias de crecimiento de los casos especiales de Schnute 1, 2 y 3 con los modelos von Bertalanffy, Gompertz y Logístico respectivamente.
3. Determinar la estructura de peso y talla, relaciones biométricas, tasa de mortalidad natural y talla de primera madurez.
4. Determinar indicadores de sustentabilidad

## **6. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **6.1 Descripción del área de estudio**

El área de estudio se localiza en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Rio Colorado (RBAGCyDRC) decretada en 1993, que tiene una superficie de 934,756 ha. Comprende una zona núcleo de 164,779 ha y una zona de amortiguamiento de

769,976 ha (DOF, 1993). El lecho oceánico del Alto Golfo de California se caracteriza por angostas barras mareales de hasta 50 km de largo, con depresiones intercaladas orientadas NW-SE, cruzando la plataforma somera hasta el borde de la Cuenca Wagner (Álvarez *et al*, 2009). Debido al fenómeno de resonancia hidráulica que se genera en la entrada del Golfo de California, la onda de marea viaja a gran velocidad provocando amplitudes de más de 6 metros en tan solo seis horas en el extremo norte del Golfo de California (Hiriart Le Bert, 2009). Dicha condición propicia que domine la marea semi-diurna, con dos pleamares y dos bajamares al día (Álvarez-Borrogo y Galindo-Bect, 1974) (Fig. 3).

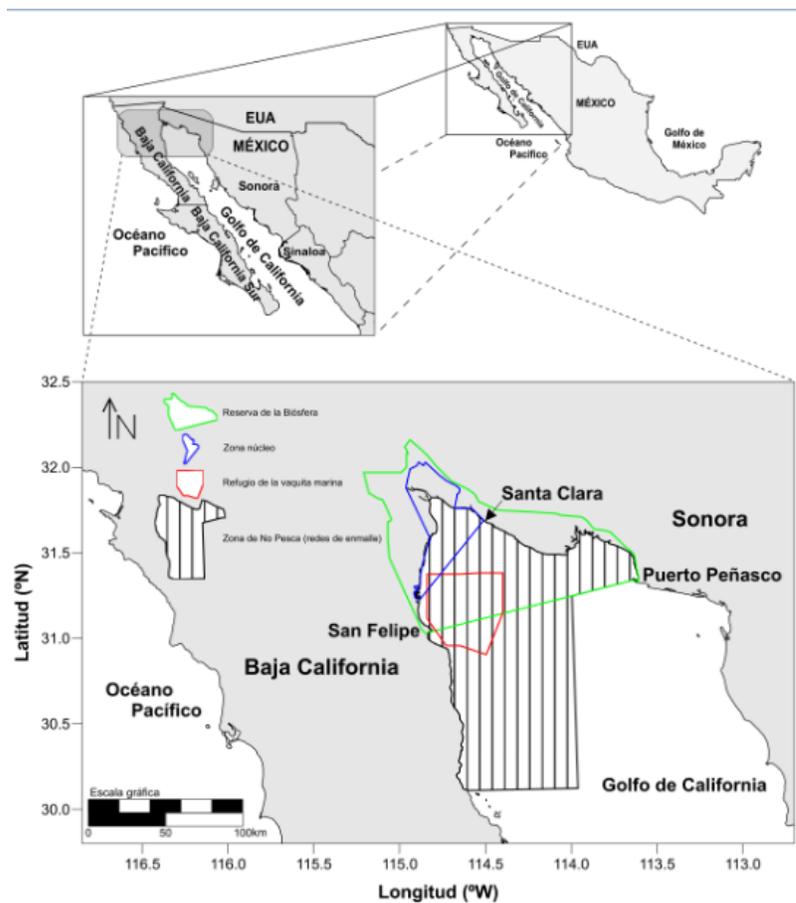
## 6.2 Desarrollo de los muestreos y fuente de información

Para analizar algunos aspectos de la dinámica poblacional de curvina golfina se tomaron en cuenta todas las bases de datos disponibles en instituciones como Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Centro Reproductor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES), Román-Rodríguez (2000), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), informe técnico de Environmental Defense Fund (EDF), Sistema de Información de Pesca y Acuicultura (SIPESCA) de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), monitoreo administrativo de curvina golfina; <https://sites.google.com/site/monitoreocurvinabc/>). Asimismo, se realizaron dos salidas de campo durante los años 2015 y 2018 en los meses de febrero a abril. En cada año, el muestreo se programó tres días antes de las mareas vivas, realizándose así dos campañas mensuales. Los organismos se capturaron mediante redes agalleras con una abertura de malla de 14.6 cm con una longitud de 200 m por 2 m de caída. Los especímenes se recolectaron al azar a los cuales se les registró: longitud total, peso total, se diferenciaron sexualmente, se determinó el estadio de madurez y se extrajeron otolitos.

### 6.2.1 Bases de datos para crecimiento

Los datos de la relación talla-edad provienen de la base de datos de CONABIO (SNIB-CONABIO; <http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi->

[bin/datos.cgi?Letras=L&Numero=298](#)) específicamente de la hoja de cálculo de datos ecológicos 4 (Román-Rodríguez 2000). Para información más detallada sobre el período de muestreo, cantidad de peces muestreados por mes, años y sexo, se recomienda visitar la hoja de cálculo en línea mencionada líneas arriba. En resumen, los datos son la longitud-edad de corvina golfina del AGC. La edad se calculó contando las bandas de crecimiento anual observadas en la sección transversal de los otolitos (para más detalles también se puede consultar Gherard *et al.* 2013). Se midieron un total 473 ejemplares (243 machos, 211 hembras y 19 juveniles indiferenciados). Para obtener los parámetros de crecimiento se utilizó la longitud total de cada organismo a la edad determinada, tanto del total de los datos obtenidos, como del promedio de longitud-edad. Los datos utilizados son los datos combinados de la pesquería dirigida y de las capturas incidentales de otras pesquerías como camarón y chano. La pesca dirigida captura organismos más grandes, incluyendo organismos que puede ser más grande que el tamaño promedio de longitud-edad. La pesca incidental captura peces de menor tamaño y posiblemente más pequeños que el tamaño promedio de longitud-edad (Gherard *et al.* 2013). También se usaron datos promedio de longitud-edad publicados por CRIP (2005) y los datos de Román-Rodríguez (2000) presentados como retrocalculados (tabla 1) y que provienen de la misma base de datos entregados a CONABIO. De aquí en adelante, los datos analizados se denominan base de datos 1 (CRIP 2005), base de datos 2 (Román-Rodríguez 2000), base de datos 3 (datos promedio de CONABIO) y base de datos 4 (datos totales de CONABIO). Para validar las determinaciones de edad, Román-Rodríguez (2000) utilizó las relaciones entre edad y peso de otolitos, edad y radio de los otolitos, así como como longitud y radio de los otolitos (para más detalles véase también Gherard *et al.* 2013).



**Figura 3.** Área de estudio.

### 6.3 Selección de muestras para biometrías

Los organismos capturados fueron medidos con un ictiómetro graduado de 1,000 mm de longitud y siguiendo una dirección paralela al eje céfalo-caudal del cuerpo; se les registró la longitud total ( $LT$ , mm) y longitud patrón ( $LP$ , g). El peso total, peso eviscerado y peso de la gónada se realizó mediante una balanza electrónica (UVD 500) con precisión de 0.1g (Fig.4).



**Figura 4.** Medidas biométricas de los organismos.

Cuando se obtuvieron todas las medidas biométricas, a cada organismo se les realizó un corte en la parte ventral y se extrajo la gónada mediante la cual se determinó el sexo. Se registraron las características macroscópicas y se clasificaron de acuerdo con la escala de madurez de Nikolsky (1963) modificado por Acosta-Valenzuela (2010).

#### 6.4 Determinación de la edad

La determinación exacta de la edad de los peces es uno de los elementos más importantes para el estudio de la dinámica de sus poblaciones. Es la base para hacer los cálculos que permiten conocer el crecimiento, mortalidad, reclutamiento y otros parámetros fundamentales de su población. La mayoría de las estructuras esqueléticas se han empleado para la determinación de la edad de los peces. De estas, los otolitos y las escamas son las que más se usan porque se obtienen y almacenan fácilmente (FAO, 1995).

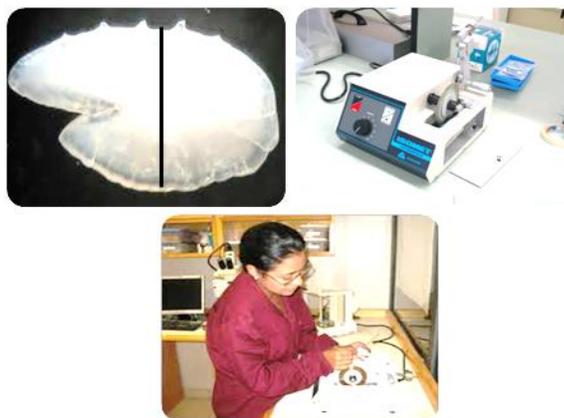
##### 6.4.1. Procesamiento de otolitos

Las edades de las curvinas se obtuvieron mediante el procesamiento de los otolitos, técnica que ha sido ampliamente usada y se puede determinar mediante el crecimiento de los anillos los cuales están marcados en los otolitos. El procedimiento consiste en tomar los datos biométricos del pez; inmediatamente después de la muerte del organismo se corta el neurocráneo delante de los ojos con una inclinación de aproximadamente  $45^\circ$ . Posteriormente se toma la boca y se presiona hacia abajo de modo de producir el quiebre de la zona seccionada y exponer los otolitos con el fin de extraerlos con una pinza de punta (Fig. 5).



**Figura 5.** Extracción de otolitos.

Posteriormente se almacenan en viales fijándolos en etanol al 85% renovado periódicamente para su preservación. Una vez hecho esto los otolitos son pesados y medidos mediante la técnica de análisis de imagen que permite la adquisición de las dimensiones del otolito de forma objetiva permitiendo calcular la longitud y diámetro del otolito con el fin de determinar la relación entre las medidas del otolito y la talla del pez (Lombarte, 1990). Para proceder al corte se aplica una pequeña cantidad de resina; una vez seco se eliminan las irregularidades y a continuación se determina la posición del nucléolo y se marca con un rotulador de punta fina para comenzar el corte de forma transversal. Por último, se lleva a cabo el pulido de los cortes realizándolo cuidadosamente bajo una lupa con el fin de erosionar los bordes (Fig. 6).



**Figura 6.** Marcado, corte y pulido de otolitos.

Las muestras fueron observadas en el microscopio con un aumento de 10X y evaluadas para su lectura. Una vez procesada la muestra, se obtuvo una fotografía digital, se contaron las

líneas de crecimiento representando cada una de ellas un año de vida basándonos en lo propuesto para la especie por (Román-Rodríguez y Hammann, 1997).

### 6.5 Relaciones biométricas

Para describir la relación peso-longitud se utilizó la ecuación potencial (Sparre y Venema, 1992):

$$PT = a (LT)^b \quad (1)$$

Donde:  $PT$ = peso total,  $LT$ = longitud total.

La ecuación se ajustó a los datos combinados para obtener los valores de los coeficientes  $a$  y  $b$ . Datos de  $PT$  y  $LT$  se transformaron logarítmicamente para ajustar de manera lineal la ecuación y resolverla a través de mínimos cuadrados con un intervalo del 95% de confianza. Para determinar el tipo de crecimiento se realizó una prueba  $t$  de Student para la pendiente de la relación  $PT-LT$  bajo la hipótesis nula de que  $b = 3$  (crecimiento isométrico). El valor de  $t$  se obtuvo a partir de la formula descrita por Walpole (1982) (Zar, 1996).

$$t = (\beta_1 - \beta_2)/Sb \quad (2)$$

Donde:  $t$  = estadístico  $t$  de Student;  $\beta_1$  = valor de  $b$  obtenido en la relación longitud-peso;  $\beta_2 = 3$  (crecimiento isométrico);  $Sb$  = Error típico o estándar del estimado (según como se ha descrito en Zar, 1996).

Con el propósito de evaluar la proporcionalidad del peso total y el peso eviscerado, se calculó la relación  $PT-PE$ . A los datos se les ajustaron el siguiente modelo lineal:

$$PT = a + b (PE) \quad (3)$$

Donde:

$PT$ = Peso total

$PE$ = Peso eviscerado del organismo

$a$ = intercepto

$b$ = pendiente de la curva

## 6.6 Determinación de la estructura de peso y talla

La talla y peso se agruparon por intervalos determinados a partir de la regla de Sturges para posteriormente determinar su frecuencia por intervalo (Zar, 1996):

$$\text{Número de clases de talla o peso} = 1 + 3.322 \log N \quad (4)$$

Donde:  $N$  es número total de observaciones.

## 6.7 Capturas anuales

Los datos de captura anual en toneladas de peso eviscerado para los Estados de Sonora y Baja California durante los años 1994-2015 se obtuvieron de la página de monitoreo administrativo de curvina golfina; <https://sites.google.com/site/monitoreocurvinabc/>. Para información más detallada de las capturas (mensuales, por marea o por Estado, localidad, etc.) se recomienda consultar la página de internet antes mencionada. La fuente de información para la captura de 2016 para el Estado de Sonora se obtuvo del informe técnico de Environmental Defense Fund. Para la captura de Baja California se consultó el boletín estadístico de reporte de producción pesquera y acuícola de Baja California sistema SIPESCA/CONAPESCA.

[http://www.sepescabc.gob.mx/x/estadisticas/docs/PRODUCCION\\_PESQUERA\\_Y ACUICOLA\\_DE\\_BC\\_2016-\(PRELIMINAR\\_31JUL2016\).pdf](http://www.sepescabc.gob.mx/x/estadisticas/docs/PRODUCCION_PESQUERA_Y_ACUICOLA_DE_BC_2016-(PRELIMINAR_31JUL2016).pdf)

## 6.8 Modelación del crecimiento

Para determinar el patrón y parámetros de crecimiento de *Cynoscion othonopterus*

Se utilizaron múltiples modelos. Los modelos utilizados se describen a continuación:

### 6.8.1 Modelo de von Bertalanffy

Es el primer modelo especialmente diseñado para describir el crecimiento en individuos. Está basado en el resultado de dos procesos fisiológicos: anabolismo y catabolismo que como tal generan el crecimiento. La curva del modelo incrementa aceleradamente en su primera fase la cual disminuye con el tiempo hasta alcanzar su asíntota y no tiene punto de inflexión (Fig. 7):

$$L(t) = L_{\infty} \left( 1 - e^{-k(t-t_0)} \right) \quad (5)$$

Donde:

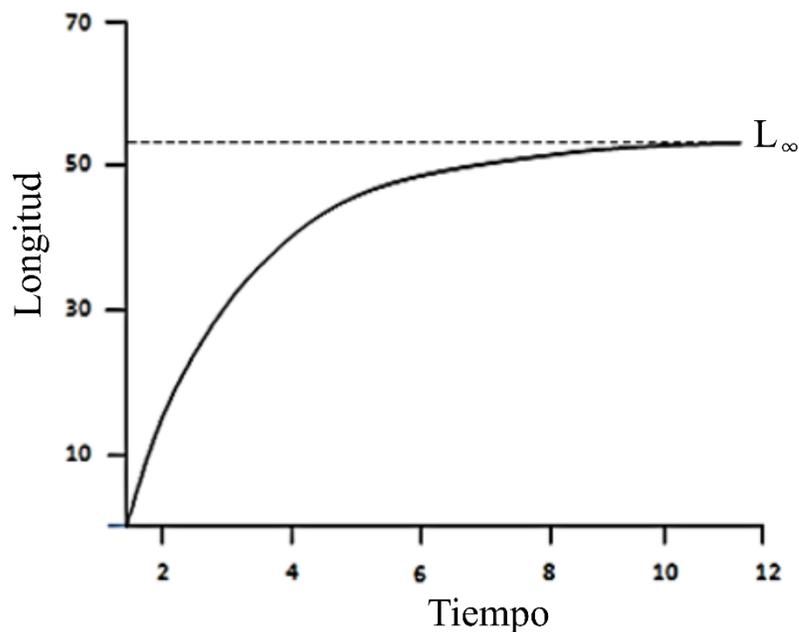
$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asíntótica)

$t$  es la edad a la longitud  $L(t)$

$t_0$  edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero.

$k$  determina la rapidez para alcanzar  $L_{\infty}$  (parámetro de curvatura)



**Figura 7.** Curva del modelo de von Bertalanffy cuando los parámetros son:  $k = 1/\text{año}$ ,  $L_{\infty} = 52$  cm y  $t_0 = 0$  años.

### 6.8.2 Modelo generalizado de von Bertalanffy

La interpretación biológica de los parámetros es similar a von Bertalanffy solo que en este caso se añade otro parámetro ( $D$ ) el cual agrega mayor flexibilidad a la curva de crecimiento. El modelo presenta una curva sigmoidea asimétrica (Fig. 8) similar al modelo de Gompertz (Grosgean, 2001):

$$L_t = L_{\infty} \left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)^D \quad (6)$$

Donde:

$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

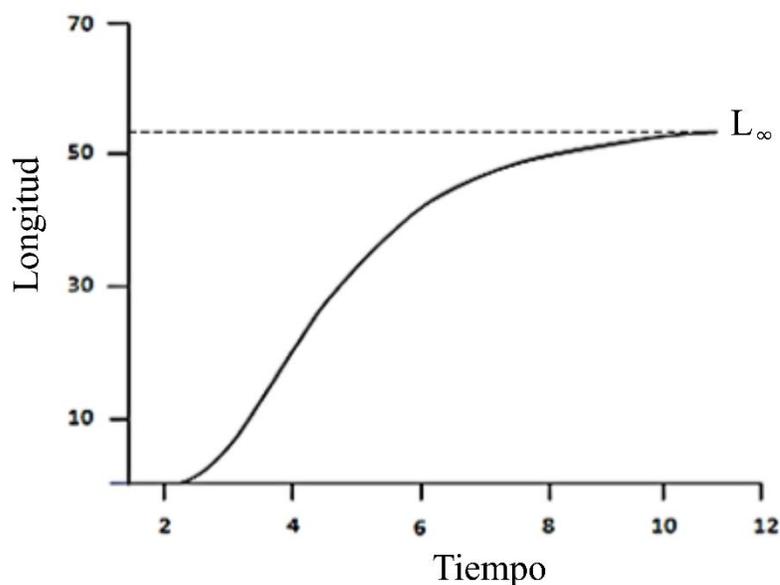
$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asintótica)

$t$  es la edad a la longitud  $L(t)$

$t_0$  edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero.

$D$  parámetro adimensional (proporciona flexibilidad a la curva).

$k$  determina la rapidez para alcanzar  $L_{\infty}$  (parámetro de curvatura)



**Figura 8.** Trayectoria de la curva de crecimiento del modelo generalizado de von Bertalanffy.

### 6.8.3 Modelo de Gompertz

Este modelo fue creado originalmente para determinar el crecimiento poblacional. Gompertz (1825). En crecimiento individual se puede interpretar como que la tasa de crecimiento decrece con la edad. Presenta una curva sigmoidea asimétrica con punto de inflexión aproximado al 30% (Fig. 9).

$$L(t) = L_{\infty} e^{-e^{-k_3(t-t^*)}} \quad (7)$$

Donde:

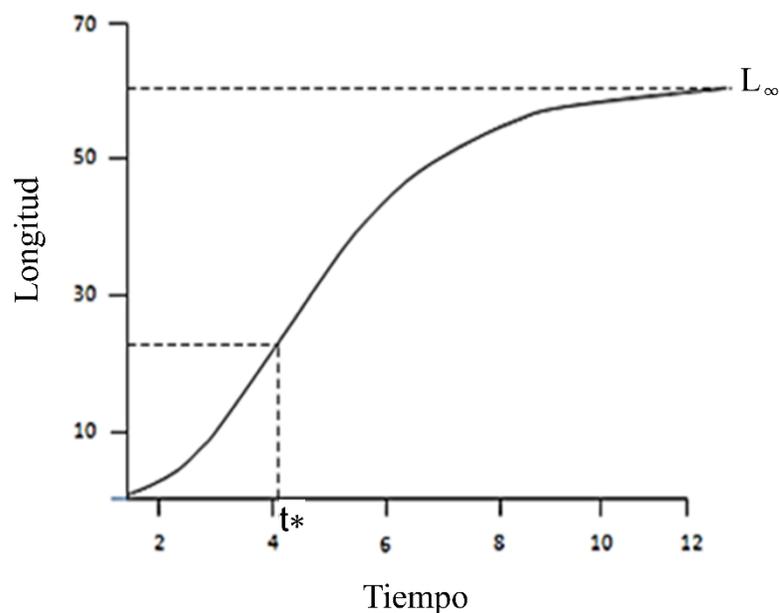
$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asintótica)

$t$  es la edad a la longitud  $L(t)$

$t^*$  punto de inflexión de la curva sigmoidea.

$k_3$  es la tasa de decaimiento exponencial de la tasa de crecimiento relativa (unidades de año<sup>-1</sup>).



**Figura 9.** Ejemplo de la curva del modelo de Gompertz cuando los parámetros son:  $k= 1$ ,  $L_{\infty}= 60$  y  $t^*= 4.1$ .

#### 6.8.4 Modelo Logístico

Verhulst (1838) trabajó con el crecimiento poblacional proponiendo el modelo logístico el cual se auto limita, es decir el crecimiento se ve limitado conforme  $\zeta$ disminuye? la disponibilidad de los recursos. La curva es de tipo es sigmoidea, simétrica, con asíntotas en sus extremos  $L(t) = 0$  y  $L(t) = L_{\infty}$  con punto de inflexión al 50% de la curva (Fig. 10).

$$L(t) = L_{\infty} \left( 1 + e^{-k_2(t-t_*)} \right)^{-1} \quad (8)$$

Donde:

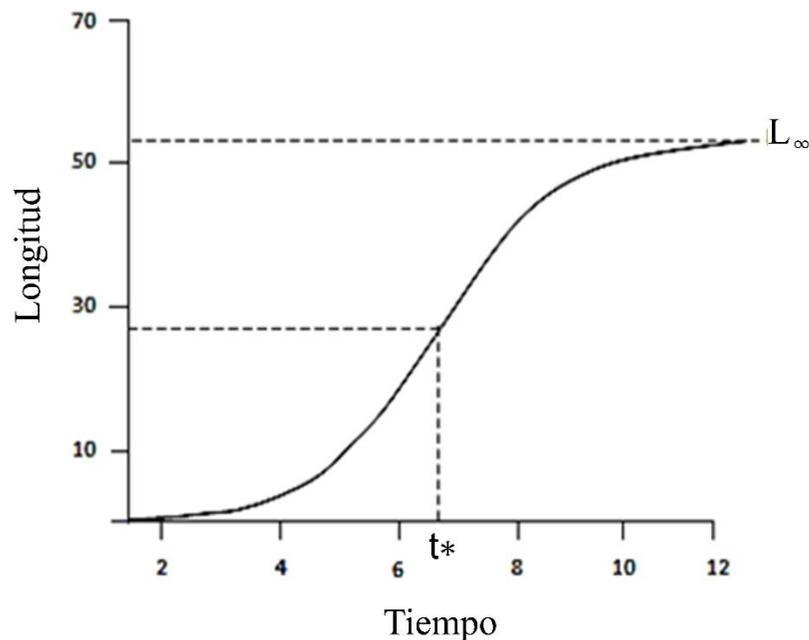
$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (longitud asíntótica)

$t$  es la edad

$t^*$  punto de inflexión de la curva sigmoidea.

$k_2$  tasa relativa de crecimiento.



**Figura 10.** Ejemplo de la curva de crecimiento del modelo Logístico cuando sus parámetros son:  $k= 1$ ,  $L_{\infty}= 52$  y  $t^*= 6.5$ .

### 6.8.5 Modelo de Richards

Es un modelo flexible el cual puede incluir patrones de crecimientos de otros modelos dependiendo del valor de  $D$ . Si este parámetro es  $=1$  y también  $\alpha = 1$  se reduce al modelo de von Bertalanffy; si  $D= 3$  genera al von Bertalanffy generalizado y si  $D= -1$  es equivalente al modelo de Gompertz (Fig. 11).

$$L(t) = L_{\infty} \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} e^{-k(t-t_0)} \right]^{-D} \quad (9)$$

Donde:

$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asintótica)

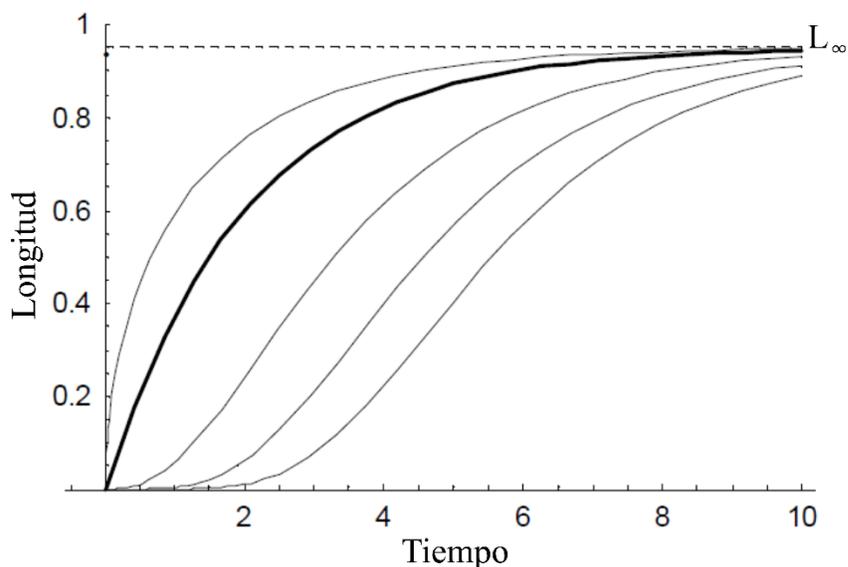
$t$  es la edad a la longitud  $L(t)$

$t_0$  edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero

$k$  velocidad para alcanzar  $L_{\infty}$

$D$  parámetro adimensional (proporciona flexibilidad a la curva)

$\alpha$  parámetro adimensional (proporciona flexibilidad a la curva).



**Figura 11.** Curvas generadas por el modelo de Richards dependiendo de los valores de  $D$ . Valores de  $D$  de izquierda a derecha:  $D$ : 0.5, 1, 3, 6,  $k=0.5$ ,  $L_{\infty}=0.95$  y  $t_0=0$  para todas las curvas. La curva en negrita es equivalente al especializado de von Bertalanffy cuando  $D=1$ .

### 6.8.6 Modelo de Johnson (1935)

Este modelo fue diseñado para la reserva federal del banco de Nueva York, EE. UU. con el fin de analizar el comportamiento del capital. Sin embargo, biológicamente se ajusta a organismos con crecimiento acelerado posterior a una fase corta de retraso (Grosjean, 2001). Su trayectoria es sigmoidea fuertemente asimétrica y su punto de inflexión se localiza casi al inicio (Fig. 12).

$$L(t) = L_{\infty} e^{\left(\frac{-1}{k(t-t_0)}\right)} \quad (10)$$

Donde:

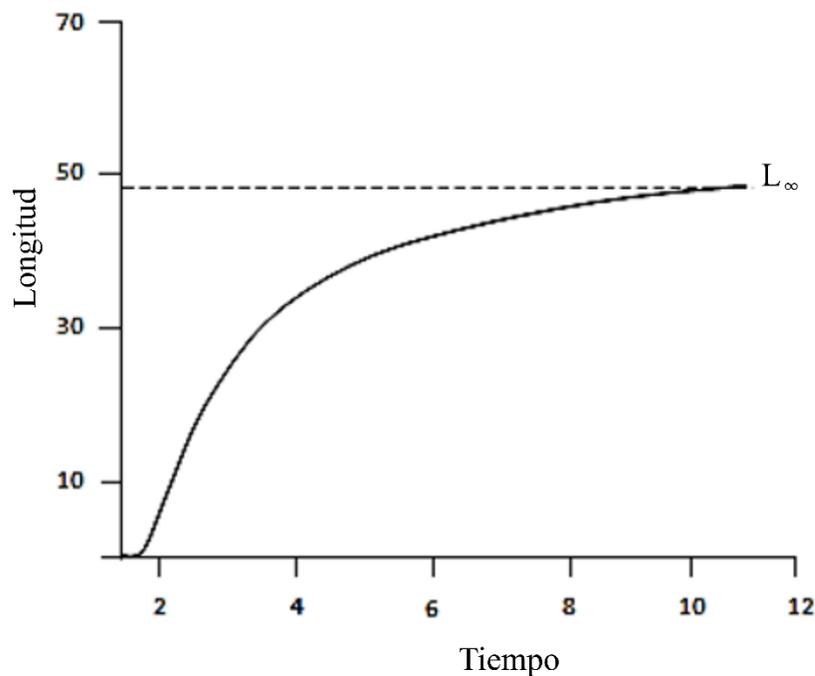
$L(t)$  es la longitud a la edad  $t$

$L_{\infty}$  longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asintótica)

$t$  es la edad

$t_0$  punto de inflexión de la curva

$k$  es la rapidez con que se alcanza  $L_{\infty}$



**Figura 12.** Ejemplo de la curva del modelo de Johnson cuando  $k= 0.7$ ,  $L_{\infty}= 60$  y  $t_0=0$ .

### 6.9 Ajuste de los modelos

Los modelos fueron ajustados utilizando el criterio de máxima verosimilitud logarítmica considerando una estructura de error multiplicativo porque se partió del supuesto de variabilidad de los datos conforme el aumento de talla. La técnica es estocástica y genera un grupo de probabilidades. En la parte más alta de la curva generada se representa la máxima probabilidad de ocurrencia del parámetro. Por esa razón es llamado estimador de máxima verosimilitud (Cervantes-Hernández *et al.*, 2005). La ecuación se representa como:

$$LL(\Phi|datos) = -\left(\frac{n}{2}\right) (\ln(2\pi) + 2 * \ln(\hat{\sigma}) + 1) \quad (11)$$

Donde:  $LL$  es máxima verosimilitud logarítmica;  $\Phi$  representa los parámetros del modelo y  $\hat{\sigma}$  representa la desviación estándar estimada a partir de los datos y fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{(\ln L_{obs} - \ln \hat{L})^2}{n}} \quad (12)$$

Donde:

$L_{obs}$  es la longitud observada, y

$\hat{L}$  es la longitud estimada.

### 6.10 Selección de los modelos

La selección del mejor modelo se llevó a cabo a través de la forma corregida de Akaike ( $AIC_c$ ) (Shono, 2000; Burnham y Anderson, 2002). Se asume que las desviaciones están normalmente distribuidas considerando tres enfoques de varianza (varianza constante, varianza con incremento a la edad y varianza que decrece con el tiempo). El modelo con el menor valor de  $AIC_c$  ( $AIC_{c, \min}$ ) bajo estos tres supuestos de varianza fue seleccionado como el que mejor se ajustó a los datos.  $AIC_c$  se obtuvo como:

$$AIC_c = AIC + 2K(k + 1)/(n - k - 1) \quad (13)$$

Donde:

$$AIC = -2LL + 2k \quad (14)$$

Donde:

- $n$  es el número de observaciones
- $k$  es el número de parámetros +1
- $LL$  es la máxima verosimilitud logarítmica

Para todos los modelos se calcularon los valores de  $\Delta_i$  así como las diferencias entre los  $AIC_c$  de cada caso ( $AIC_i$ ) y el  $AIC_c$  con el menor valor ( $AIC_{min}$ ), según la siguiente ecuación:

$$\Delta_i = AIC_{c,i} - AIC_{c,min} \quad (15)$$

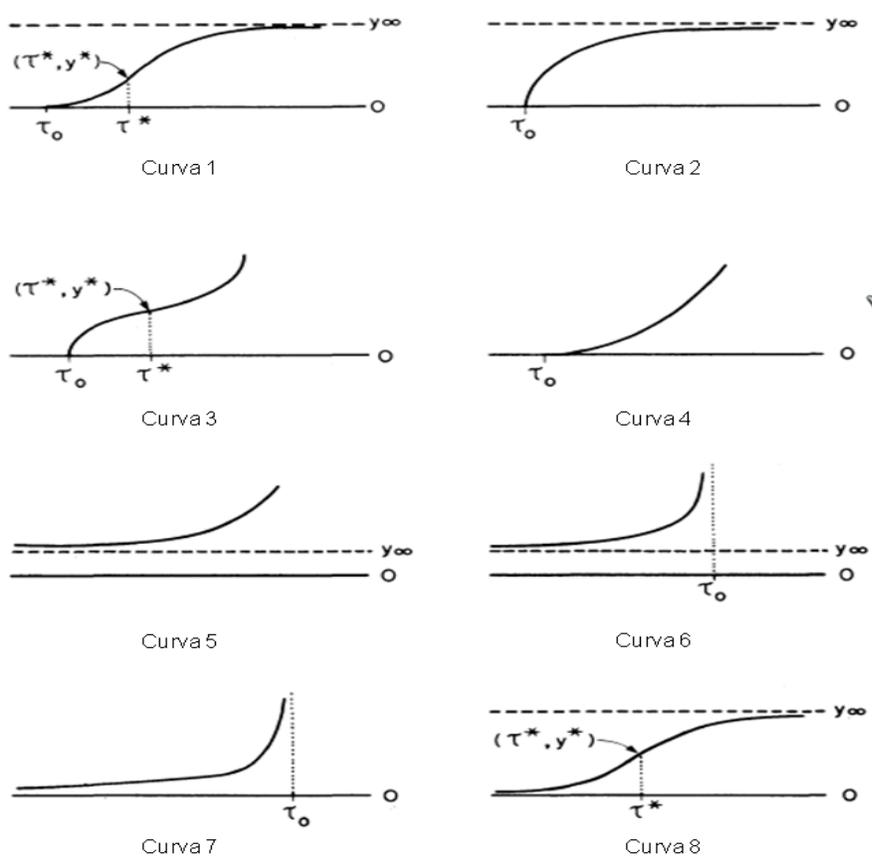
Para cada modelo se calculó la plausibilidad (el peso de la evidencia a favor del modelo  $i$ ) a través de la “ponderación del criterio de información Akaike” ( $W_i$ ) como se describe a continuación:

$$W_i = \frac{e(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^6 e(-0.5\Delta_k)} \quad (16)$$

### 6.11 Modelo de Schnute

El modelo de crecimiento individual de Schnute (1981) es en general un modelo de cuatro parámetros que matemáticamente se puede despejar cuatro formas distintas (cuatro casos) dependiendo de los valores de  $a$  y  $b$ . Dicho en otras palabras, hay solo modelo que de pretender calcularse usando el llamado caso 1 cuando un parámetro ( $a$  ó  $b$ ) es igual a cero, el

modelo “colapsa”. Por tanto, Schnute (1981) al presentar su modelo también presenta los otros tres casos cuando uno o ambos parámetros ( $a$  ó  $b$ ) tienen un valor igual a cero. Este modelo tiene la característica de ser muy versátil y generar diversas curvas que expresan tanto el crecimiento asintótico como no asintótico (Fig. 13). Cuando se presenta un caso asintótico, el mismo puede ser sigmoideo (von Bertalanffy generalizado, Gompertz o Logístico) o exponencial invertida (von Bertalanffy). También puede representar diversos modelos y estos son conocidos como casos especiales. Las ecuaciones de este modelo se presentarán más adelante en este mismo apartado.



**Figura 13.** Conjunto de curvas generadas según los valores de los parámetros de crecimiento ( $a$  y  $b$ ) del modelo de Schnute.

### 6.11.1. Descripción de las curvas generadas por el modelo de Schnute

$$\text{Curva 1: } 0 < a, 0 < b < 1 \quad (17)$$

Este caso representa la situación clásica en la que se definen todos los parámetros de los casos de Schnute. La curva es asintótica en forma de “S” teniendo como punto de inflexión ( $T^*$ ,  $y^*$ ), se cruza en el eje  $t$  y parte de  $t_0$ .

$$\text{Curva 2: } 0 < a, 1 \leq b \quad (18)$$

En este caso la curva es asintótica se cruza en el eje “ $t$ ” y parte de  $t_0$  pero no tiene ningún punto de inflexión. Esta curva se genera cuando se fija  $b = 1$  y parte de tres parámetros generando la curva típica de Von Bertalanffy especializado.

$$\text{Curva 3: } -\frac{b \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{(\tau_2 - \tau_1)} < a \leq 0, 1 < b \quad (19)$$

Esta curva de crecimiento es “no asintótica” se cruza en el eje “ $t$ ” y parte de  $t_0$  edad a la cual el organismo disminuye su velocidad de crecimiento durante un cierto periodo. Posteriormente la curva entra en un punto de inflexión en el cual el crecimiento se acelera y se vuelve indefinido. Esta curva de crecimiento no es muy común, pero hay casos en los cuales es ideal para describir el crecimiento de algunos organismos. Por ejemplo, cuando existen cambios en las variables ambientales y esto conlleva a una disminución de alimentos los peces jóvenes crecen muy lento hasta un punto crítico. Sin embargo, cuando las condiciones mejoran y se normaliza la disponibilidad de alimento el patrón de crecimiento del organismo podría presentar una curva de este tipo.

$$\text{Curva 4: } -\frac{b \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{\tau_2 - \tau_1} < a \leq 0, 0 \leq b \leq 1 \quad (20)$$

Aquí la curva parte del eje “t” y continúa creciendo de manera acelerada sin límites. Este tipo de curva podría representar el crecimiento en el desarrollo larval de los peces.

$$\text{Curva 5: } a \leq -b \frac{\log\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{(\tau_2 - \tau_1)}, 0 \leq b \quad (21)$$

Como en el caso anterior esta curva también representa un crecimiento acelerado sin límites. Sin embargo, la diferencia es que la curva en este caso no parte de la edad hipotética a la cual la talla del organismo es cero. En lugar de ello parte de una hipotética mínima longitud asintótica la cual ahora representa al eje “t”. Este tipo de curva podría describir el crecimiento del pez cuando su la etapa de desarrollo es rápida pero que comienza con una lenta longitud asintótica.

$$\text{Curva 6: } a < 0, b < 0 \quad (22)$$

Este caso es similar al anterior, pero con una característica bastante dramática ya que ahora el crecimiento del pez es tan acelerado que teóricamente alcanza su longitud infinita en  $t_0$ .

$$\text{Curva 7: } 0 \leq a \leq -\frac{b \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{\tau_2 - \tau_1}, b < 0 \quad (23)$$

Este caso es similar al anterior excepto que la mínima longitud asíntota es ahora el eje “t”.

$$\text{Curva 8: } -\frac{b \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{\tau_2 - \tau_1} < a, b \leq 0 \quad (24)$$

Aquí la curva toma forma de “S” una vez más, a diferencia de la clásica del caso uno, la curva no parte del eje “t”. Una curva de este tipo es apropiada si el crecimiento temprano de los peces es extremadamente gradual.

### 6.11.2. Descripción de los casos del modelo de Schnute

A continuación, se describen los cuatro casos del modelo de Schnute y tres casos especiales propios de los modelos utilizados en el presente estudio.

Schnute Caso 1 cuando  $a \neq 0$ ,  $b \neq 0$  de la siguiente manera:

$$L_t = \left\{ y_1^b + (y_2^b - y_1^b) \left[ \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right] \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (25)$$

Schnute Caso 2 cuando  $a \neq 0$ ,  $b = 0$  de la siguiente manera:

$$L_t = y_1 \exp \left[ \ln \left( \frac{y_2}{y_1} \right) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right] \quad (26)$$

Schnute Caso 3 cuando  $a = 0$ ,  $b \neq 0$  de la siguiente manera:

$$L_t = \left\{ y_1^b + (y_2^b - y_1^b) \left[ \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right] \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (27)$$

Schnute Caso 4 cuando  $a = 0$ ,  $b = 0$  de la siguiente manera:

$$L_t = y_1 \exp \left[ \ln \left( \frac{y_2}{y_1} \right) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right] \quad (28)$$

El Caso especial 1 es la misma ecuación que en el Schnute Caso 1 pero cuando  $a > 0$  y  $b = 1$ ; el Caso especial 2 es la misma ecuación que en el Schnute Caso 1 pero cuando  $a > 0$  y  $b = -1$ . En estos dos Casos especiales el parámetro  $b$  se encuentra fijo por lo que estos dos casos especiales se convierten en un modelo de tres parámetros. El Caso especial 3 es el Caso 2 cuando  $a > 0$  y  $b = 0$ .

A continuación, se describen los parámetros que se utilizan en los casos del modelo de Schnute.

$t$  es la edad a la longitud.

$\tau_1$  es la edad mínima del conjunto de datos.

$\tau_2$  es la edad máxima del conjunto de datos.

$a$  es la tasa de crecimiento relativa inicial teórica a la edad cero (unidades de año<sup>-1</sup>).

$b$  es un incremento relativo de la tasa de crecimiento (incremento constante en el tiempo)

$y_1$  es la longitud a la edad  $\tau_1$ .

$y_2$  es la longitud a la edad  $\tau_2$ .

Para calcular  $L_\infty$  en los casos del modelo de Schnute y casos especiales cuando esto sea posible, (en los casos 3 y 4 no es posible calcular este parámetro).

A continuación, se describen las ecuaciones utilizadas:

Cuando:  $a \neq 0, b \neq 0$

$$L_\infty = \left[ \frac{e^{a\tau_2} y_2^b - e^{a\tau_1} y_1^b}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (29)$$

Cuando:  $a \neq 0, b = 0$

$$L_\infty = \exp \left[ \frac{e^{a\tau_2} \ln y_2 - e^{a\tau_1} \ln y_1}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right] \quad (30)$$

Para calcular  $t_0$  cuando  $a \neq 0, b \neq 0$

$$t_0 = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \ln \left[ \frac{e^{a\tau_2} y_2^b - e^{a\tau_1} y_1^b}{y_2^b - y_1^b} \right] \quad (31)$$

Para calcular  $t^*$  cuando  $a \neq 0, b \neq 0$

$$\tau^* = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \ln \left[ \frac{b(e^{a\tau_2} y_2^b - e^{a\tau_1} y_1^b)}{y_2^b - y_1^b} \right] \quad (32)$$

Cuando  $a \neq 0$ ,  $b = 0$

$$\tau^* = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \ln \left[ \frac{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}}{\ln\left(\frac{y_2}{y_1}\right)} \right] \quad (33)$$

Los casos del modelo de Schnute se ajustaron utilizando la metodología descrita en el apartado 6.10 ecuaciones 11 y 12.

### 6.11.3. Inferencia multi-modelo para un modelo promedio a través de los casos de Schnute

Para poder obtener un modelo promedio a través de los casos del modelo de Schnute se utilizó el procedimiento que se denomina inferencia del multi-modelo (IMM) (Katsanevakis, 2006), que tiene varias ventajas teóricas prácticas y es un enfoque basado en la teoría de la información. Para este caso en particular se aplicó IMM a los datos de longitud y edad de la especie objeto de estudio. La selección del caso basado en la teoría de la información es un paradigma relativamente nuevo en ciencias biológicas y es muy diferente de los métodos tradicionales que se fundamentan en probar una hipótesis nula. Siguiendo un enfoque de inferencia multi-modelo, se determinaron los parámetros “promedio” de  $y_1, y_2, a$  y  $b$  según las siguientes ecuaciones:

$$\bar{y}_1 = \sum_{i=1}^6 w_i \hat{y}_{1,i} \quad (34)$$

$$\bar{y}_2 = \sum_{i=1}^6 w_i \hat{y}_{2,i} \quad (35)$$

$$\bar{a} = \sum_{i=1}^6 w_i \hat{a}_i \quad (36)$$

$$\bar{b} = \sum_{i=1}^6 w_i \hat{b}_i \quad (37)$$

### 6.12. Análisis de la variabilidad de los datos longitud-edad.

Se evaluaron seis modelos de crecimiento para hipótesis de depensación y compensación, tres de ellos son curvas asintóticas y sigmoideas (Gompertz, Logístico y Johnson), otro describe una curva exponencial inversa (von Bertalanffy) y los últimos (Richards y

Generalizado de von Bertalanffy) son modelos versátiles que utilizan un parámetro para modificar la forma de la curva.

### 6.12.1 Estimación de la varianza $\sigma_i^2$ para hipótesis depensatorio

Las estimaciones de  $\sigma_i^2$  para cada modelo de crecimiento se calcularon de acuerdo con los criterios estadísticos descritos en la (Tabla I).

**Tabla I.** Función matemática de la varianza  $\sigma_i^2$  para cada edad  $i$  de acuerdo a los datos de longitud a la edad considerando hipótesis depensatorio.

Modelo	Ecuación
von Bertalanffy	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [1 - e^{-k(t-t_0)}]^2$
Generalizado de von Bertalanffy	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[ (1 - e^{-k(t-t_0)})^D \right]^2$
Logístico	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 + e^{-k_2(t-t_0)})^{-1}]^2$
Gompertz	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[ e^{-e(-k(t-t_0))} \right]^2$
Johnson	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 e^{\left( \frac{-1}{k(t-t_0)} \right)^2}$
Richards	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[ \left( 1 + \frac{1}{\alpha} e^{-k(t-t_0)} \right)^{-D} \right]^2$

### 6.12.2 Ajuste de los modelos con enfoque de hipótesis depensatoria

La función objetivo para cada modelo se ajustó utilizando el logaritmo negativo de máxima verosimilitud descrito por Luquín-Covarrubias *et al.* (2016) mediante la siguiente ecuación:

$$-LL(\Phi_i | data) = \sum_i \left[ \frac{\ln(2\pi\sigma_i^2)}{2} + \frac{(l_i - \hat{l}_i^2)^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad (39)$$

Donde la longitud predicha es dada por la estimación de cada modelo de crecimiento seleccionado, y  $\sigma_i^2$  es la varianza para cada edad observada. Los parámetros de cada modelo se obtuvieron minimizando el logaritmo negativo de máxima verosimilitud de la ecuación anterior con ajuste no lineal usando el algoritmo Newtoniano (Neter *et al.*, 1996).

### 6.12.3 Estimación de la varianza $\sigma_i^2$ para hipótesis compensatorio

Se determinaron los parámetros de crecimiento considerando que la varianza de los datos de cada edad disminuye conforme los organismos se vuelven longevos. La función objetivo de para cada modelo se determinó mediante la formula propuesta por Luquín-Covarruvias *et al.* (2016) anteriormente descrita. Con el fin de que la trayectoria de la curva de la varianza decreciera con la edad en el presente trabajo se invirtieron las ecuaciones de la (Tabla II) para  $\sigma_i^2$  propuestas por Luquín-Covarruvias *et al.* (2016) como se describen a continuación:

**Tabla II.** Función matemática de la varianza  $\sigma_i^2$  para cada edad  $i$  de acuerdo a los datos de longitud a la edad considerando hipótesis de error compensatorio.

Modelo	Ecuación
von Bertalanffy	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})]^{-2}$
Generalizado de von Bertalanffy	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})^D]^{-2}$
Logístico	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [1 + e^{-k_2(t-t_1)}]^{-2}$
Gompertz	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [e^{-e^{(-k_3(t-t_*)})}]^{-2}$
Johnson	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 e^{\left(\frac{-1}{k(t-t_0)}\right)^{-2}}$
Richards	$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[ \left(1 + \frac{1}{\alpha} e^{-k(t-t_0)}\right)^{-D} \right]^{-2}$

### 6.13. Mortalidad natural

Basados en las recomendaciones de Kenchington (2014) se utilizaron dos estimadores para calcular la tasa intrínseca de mortalidad natural de curvina golfina. Por lo tanto, se utilizaron dos modelos empíricos como son: Pauly (1980) que considera los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$  y  $k$  en función al modelo de Schnute caso especial uno. Además, este modelo incluye la temperatura como factor que influye en la mortalidad natural ( $M$ ). Mientras que el modelo de Jensen (1996), incluye al coeficiente de crecimiento  $k$  (año-1) multiplicado por el factor 1.5.

#### 6.13.1 Modelo de Pauly

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln k + 0.463 \ln T^{\circ} \quad (44)$$

#### 6.13.2 Modelo de Jensen

$$M = 1.5 * k \quad (45)$$

Donde:

$M$  mortalidad natural

$L_{\infty}$  y  $k$  se refieren a longitud asintótica y el coeficiente de crecimiento  $k$  en modelo y se expresa en una base anual.

$T^{\circ}$  es la temperatura anual promedio de las aguas en la cuales vive el stock.

### 6.14 Talla de primera madurez

Mediante el criterio macroscópico basado en la escala morfocromática para peces de (Nikolsky, 1963), rediseñada por Acosta-Valenzuela (2010) para *C. othonopterus* se determinaron los organismos maduros e inmaduros. La talla de madurez, longitud a la cual el 50% de los individuos alcanzan la madurez sexual ( $L_{50}$ ) (Chavence *et al.*, 1978) se realizó

utilizando datos de las temporadas 2008, 2013, 2014 y 2015. El cálculo de la talla de madurez ( $L_{50}$ ), se realizó obteniendo el porcentaje de individuos maduros por clase de tallas cada 50 mm, y posteriormente, ajustando estos valores a un modelo logístico (King, 1995) a través de la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(l_i - L_{50})/a}} \quad (46)$$

Donde:

- $P_i$  porcentaje de madurez a la talla  $i$
- $L_i$  intervalo de talla
- $L_{50}$  talla del 50% de madurez poblacional
- $a$  constante de ajuste

Mediante iteraciones, los parámetros del modelo fueron ajustados maximizando el logaritmo de máxima verosimilitud de la función binomial de Brouwer y Griffiths (2005).

$$LL(\Phi|\text{datos}) = \sum_{i=1}^n \left[ m * \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) + n_i * \ln(1 - p_i) + \ln\left(\frac{n_i}{m_i}\right) \right] \quad (47)$$

Donde:

- $n$  número de total de organismos de la clase  $i$
- $m$  número de organismos maduros en la clase  $i$

#### 6.14.1 Intervalos de confianza

Se calcularon los intervalos de confianza para longitud de madurez al 95% con base en los perfiles de máxima verosimilitud y Chi-cuadrado (Venzon & Moolgavkar 1988). El intervalo de confianza fue definido como todos los valores de  $\theta$  que satisfacen la siguiente desigualdad:

$$2(LL(Y|\theta) - L(Y|\theta_{best})) < \chi^2_{1,1 - \alpha} \quad (48)$$

Donde:

$L[Y|\theta_{best}]$  = es la máxima verosimilitud del valor más probable de  $\theta$

$\chi^2_{1,1-\alpha}$  = es el valor de Chi-cuadrado con un grado de libertad al nivel de confianza  $1-\alpha$ .

Así, el intervalo de confianza al 95% de  $\theta$  abarca todos los valores de  $\theta$  que son dos veces la diferencia entre la máxima verosimilitud de un  $\theta$  dado y la máxima verosimilitud de la mejor estimación de que sea menor que 3.84 (Haddon 2001).

#### 6.16 Indicadores de sustentabilidad

Para determinar la sustentabilidad de la pesquería de curvina golfina se utilizó el estimador propuesto por Froese (2004) el cual contempla tres indicadores pesqueros los cuales son: organismos maduros, longitud óptima de captura y mega-reproductores los cuales se describen con más detalle a continuación:

**Indicador 1 ( $L_{50}$ ):** dejar que los organismos desoven, el objetivo sería que el 100% de las curvinas golfinas capturadas hayan desovado por lo menos una vez con el fin para mantener el stock y reclutamiento.

**Indicador 2 ( $L_{opt}$ ):** dejar que los organismos crezcan, el objetivo es que el 100% de la captura de curvina golfina esté dentro del  $\pm 10\%$  de la longitud óptima ( $L_{opt}$ )

**Indicador 3:** dejar que los mega-reproductores vivan, y se mide como el porcentaje de organismos más longevos y de grandes longitudes en las capturas. Estos peces están por encima del 10% de la longitud óptima. El objetivo es poner en práctica una estrategia de pesca para evitar capturar mega-reproductores (0%). Si en su caso no existiera tal estrategia se permite capturar entre un 30-40% de mega-reproductores de la captura total. Si las capturas reflejan un 20% de mega-reproductores sería motivo de preocupación.

Para determinar la longitud óptima de captura en curvina golfina se empleó la formula empírica propuesta por Froese y Binohlan (2000).

$$\log_{10}L_{opt} = 1.053 * \log_{10}(L_{50}) - 0.0565 \quad (49)$$

Donde:

$L_{50}$ = Longitud de madurez

$L_{opt}$ = Longitud correspondiente a la edad media cuando el 100% de los peces han desovado por lo menos una vez.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Variabilidad de la longitud a la edad

La información de CONABIO se analizó considerando tres hipótesis de crecimiento: La varianza aumenta conforme la edad (hipótesis depensatoria), la varianza disminuye con el tiempo (hipótesis compensatoria) y la varianza se mantiene constante (hipótesis de balance).

#### 7.1.1 Hipótesis estable

Los datos promedio se analizaron mediante los casos del modelo de Schnute considerando que la variabilidad de los datos es constante. Para los casos especiales 1 y 2 de Schnute se fijó el parámetro  $b=1$  (modelo de Von Bertalanffy) y  $b=-1$  (modelo Logístico) respectivamente. Los parámetros del caso especial 2 de Schnute fueron:  $L_{\infty} = 838.879$   $k = 0.534$  y  $t_0 = 2.946$  (Tabla III). Asimismo, fue el caso que mejor se ajustó bajo este enfoque ya que obtuvo el menor  $AIC_c$  110.462 (Tabla IV).

#### 7.1.2 Hipótesis depensatorio

Los datos de talla a la edad se analizaron considerando que la varianza a la edad aumenta conforme los organismos se vuelven longevos, para ello se usaron seis modelos de crecimiento a los cuales se les determinó los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$   $k$   $t_0$   $\sigma_{\infty}^2$   $D$  y  $\alpha$  (Tabla III). Los modelos de crecimiento presentaron valores de  $t_0$  entre -16.228 y 5.210 siendo Von Bertalanffy generalizado y Richards los que representan los valores extremos. Aunado a lo anterior, dichos modelos no están respaldados por los datos ya que su  $w_i$  es 0, Logístico y Gompertz son los que presentan mayor plausibilidad  $w_i=63\%$  y Gompertz  $w_i=17\%$  respectivamente (Tabla V).

**Tabla III.** Estimación de los parámetros de crecimiento de cada modelo considerando las tres hipótesis de crecimiento (deponsatorio, compensatorio y estable). Las unidades de longitud están expresada en mm y la tasa de crecimiento en años.

Modelo	Parámetro Hipótesis deponsatorio		Parámetro Hipótesis compensatorio		Modelo	Parámetro Hipótesis estable	
von Bertalanffy	$L_{\infty}$	972.550	$L_{\infty}$	827.699	Schnute caso 1	$L_{\infty}$	746.654
	$k$	0.189	$k$	0.347		$k$	7.666
	$t_0$	-0.409	$t_0$	0.434		$t_0$	5.035
	$\sigma_{\infty}^2$	29057.472	$\sigma_{\infty}^2$	3743.162		$\sigma^2$	42.743
von Bertalanffy generalizado	$L_{\infty}$	845.613	$L_{\infty}$	767.841	Schnute caso 2	$L_{\infty}$	930.903
	$k$	0.383	$k$	0.868		$k$	0.507
	$t_0$	-16.228	$t_0$	0		$t_*$	2.169
	$D$	978.211	$D$	7.220		$\sigma^2$	69.051
Gompertz	$L_{\infty}$	845.293	$L_{\infty}$	770.008	Schnute caso 3	$y_1$	213.349
	$k$	0.384	$k$	0.815		$y_2$	827.111
	$t_0$	1.741	$t_0$	2.219		$a$	0
	$\sigma_{\infty}^2$	19343.927	$\sigma_{\infty}^2$	1518.704		$b$	2.166
Logístico	$L_{\infty}$	787.026	$L_{\infty}$	743.193	Schnute caso 4	$\sigma^2$	87.040
	$k$	0.670	$k$	2.830		$y_1$	361.865
	$t_0$	1.505	$t_0$	3.108		$y_2$	867.794
	$\sigma_{\infty}^2$	97.002	$\sigma_{\infty}^2$	65.667		$a$	0
Johnson	$L_{\infty}$	1394.863	$L_{\infty}$	1048.323	Schnute especial 1	$b$	0
	$k$	0.170	$k$	0.383		$\sigma^2$	119.184
	$t_0$	- 2.243	$t_0$	- 0.466		$L_{\infty}$	878.563
	$\sigma_{\infty}^2$	244.623	$\sigma_{\infty}^2$	43.317		$k$	0.268
Richards	$L_{\infty}$	731.664	$L_{\infty}$	770.049	Schnute especial 2	$t_0$	0.120
	$k$	8.873	$k$	0.814		$\sigma^2$	77.421
	$t_0$	5.210	$t_0$	0.054		$L_{\infty}$	778.254
	$D$	0.037	$D$	1005.442		$k$	0.790
	$\alpha$	164.526	$\alpha$	173.003		$t_0$	2.627
	$\sigma_{\infty}^2$	89.414	$\sigma_{\infty}^2$	38.995		$\sigma^2$	61.427

**Tabla IV.** Casos del modelo de Schnute considerando una hipótesis de crecimiento con varianza constante. Cantidad de parámetros ( $k$ ), criterio para seleccionar el mejor modelo ( $AICc$ ), Diferencias de  $AICc$  ( $\Delta_i$ ) y porcentaje de ponderación ( $w_i$ ). Especial 1 (modelo de Von Bertalanffy especializado), especial 2 (modelo Logístico).

Schnute Model	$k$	$AICc$	$\Delta_i$	$w_i$ (%)
Caso 1	4	111.135	0.672	31.620
Caso 2	3	112.568	2.106	15.440
Caso3	3	116.736	6.273	1.922
Caso 4	2	117.593.	7.131	1.252
Especial 1	3	114.628	4.165	5.514
Especial 2	3	110.462	0	44.251

**Tabla V.** Jerarquización de los modelos de crecimiento basados en  $AICc$ ,  $\Delta_i$ ,  $w_i$  utilizando hipótesis de crecimiento depensatorio.

Modelo	$k$	$AICc$	$\Delta_i$	$w_i$ (%)
Von Bertalanffy	4	125.480	3.768	10
Von Bertalanffy generalizado	5	136.299	14.587	0
Gompertz	4	124.298	2.585	17
Logístico	4	121.712	0	63
Johnson	4	125.475	3.762	10
Richards	6	154.832	33.119	0

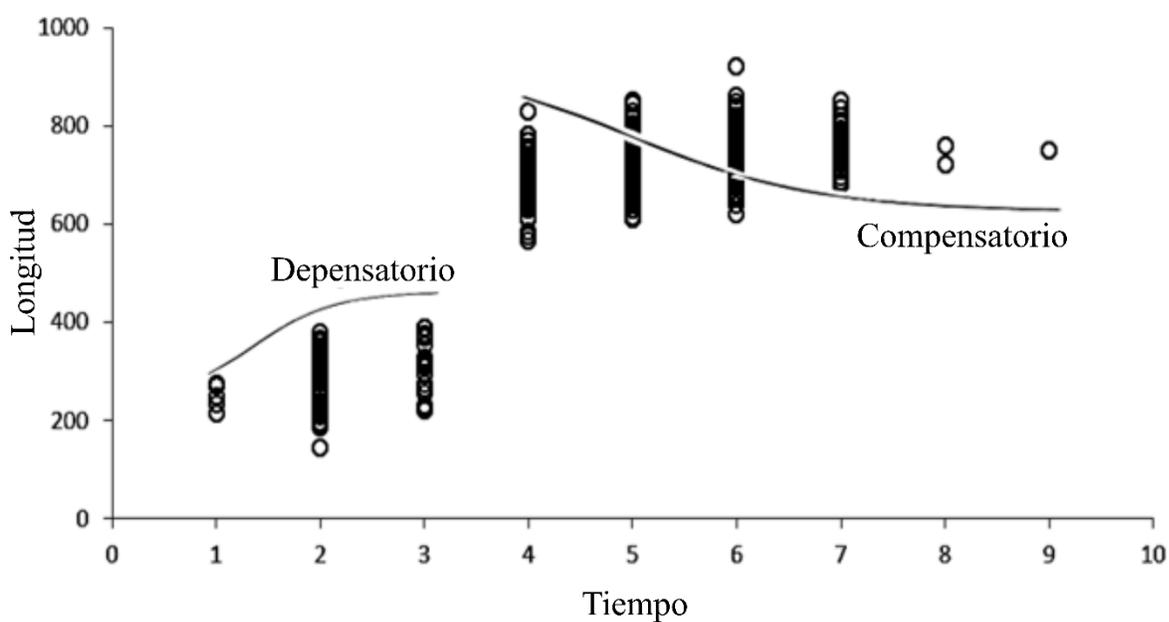
### 7.1.3 Hipótesis compensatorio

Considerando una varianza decreciente en el tiempo el modelo de Johnson presentó la mayor  $L_\infty = 1048.323$  y menor  $t_0 = -0.466$ . Los parámetros de crecimiento  $L_\infty = 743.193$ ,  $k = 2.830$  y  $t_0 = 3.108$  (Tabla III) del modelo Logístico fueron los que mejor describen la trayectoria de crecimiento ya que el modelo está suficientemente respaldado por los datos  $w_i = 100\%$  (Tabla VI).

En general los datos observados de curvina golfinas muestran que presenta dos tipos de crecimiento: crecimiento de tipo depensatorio en los primeros años de vida mientras que después del punto de inflexión se torna compensatorio (Fig. 14).

**Tabla VI.** Criterios utilizados para la selección del modelo que mejor describe el patrón de crecimiento de curvina golfina considerando que la varianza disminuye con el tiempo.

Modelo	$k$	$AICc$	$\Delta_i$	$w_i$ (%)
Von Bertalanffy especializado	4	121.984	20.610	0
Von Bertalanffy generalizado	5	130.206	28.833	0
Gompertz	4	119.150	17.777	0
Logístico	4	101.373	0	100
Johnson	4	123.372	21.998	0
Richards	6	18332.531	18231.158	0



**Figura 14.** Datos crudos de *Cynoscion othonopterus* que muestran dos tipos de crecimiento: hipótesis de crecimiento depensatorio e hipótesis de crecimiento compensatorio.

## 7.2 Estimación del crecimiento utilizando los casos del modelo de Schnute

Para las bases de datos, Román-Rodríguez, CONABIO, CRIP y CIBNOR se calcularon los valores de los parámetros  $y_1, y_2, a, b, L_\infty, t_0$  o  $t^*$  de los casos especiales de Schnute. Asimismo, se calcularon los parámetros  $L_\infty, k$  y  $t_0$  para los modelos específicos de MCVB, Logístico y Gompertz. Posteriormente se contrastaron los valores de los parámetros de crecimiento de las asociaciones (MCVB - Caso especial 1), (Logístico - Caso especial 2) y (Gompertz - Caso especial 3) y se demostró que son exactamente los mismos para cada par de asociaciones. Aunado a lo anterior, los valores de  $\sigma, LL$  y  $AICc$  para cada par de asociaciones mencionadas arriba son idénticos, por lo que los modelos específicos y los casos especiales del modelo de Schnute son estadísticamente equivalentes (tablas VII, VIII, IX y X).

**TABLA VII.** Parámetros de crecimiento para *Cynoscion othonopterus*  $k, t_0$  y  $L_\infty$  (base de datos Román-Rodríguez) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

Parámetro	Especial 1	MCVB	Especial 2	Logístico	Especial 3	Gompertz
$y_1$	311.13		320.37		315.43	
$y_2$	885.66		868.08		876.13	
$a$	0.163		0.449		0.305	
$b$	1		-1		0	
$n$	9	9	9	9	9	9
$L_\infty$	1099.01	1099.01	912.11	912.11	965.55	965.55
$k$		0.163		0.449		0.305
$t_0$	-1.038	-1.038		2.37		1.367
$t^*$			2.37		1.367	
$\sigma$	0.0260	0.0260	0.0389	0.0389	0.0322	0.0322
$\Phi$	3	3	3	3	3	3
$LL$	20.078	20.078	16.442	16.442	18.147	18.147
$AICc$	-29.356	-29.356	-22.084	-22.084	-25.493	-25.493

**TABLA VIII.** Parámetros de crecimiento para *Cynoscion othonopterus*  $k$ ,  $t_0$  y  $L_\infty$  (base de datos CONABIO) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

Parámetro	Especial 1	MCVB	Especial 2	Logístico	Especial 3	Gompertz
$y_1$	225.68		219.19		221.60	
$y_2$	842.75		807.08		824.70	
$a$	0.106		0.534		0.309	
$b$	1		-1		0	
$n$	9	9	9	9	9	9
$L_\infty$	1306.04	1306.04	838.88	838.88	930.90	930.90
$k$		0.106		0.534		0.309
$t_0$	-0.792	-0.792		2.95		2.169
$t^*$			2.95		2.169	
$\sigma$	0.1702	0.1702	0.1480	0.1480	0.1590	0.1590
$\Phi$	3	3	3	3	3	3
$LL$	3.164	3.164	4.425	4.425	3.780	3.780
$AICc$	4.471	4.471	1.950	1.950	3.240	3.240

Finalmente se realizó la inferencia multimodelo para los Casos de Schnute a cada una de las bases de datos (Tabla XI). Para las bases de datos de Román-Rodríguez y CRIAP los casos ganadores obtuvieron un valor de ponderación ( $w_i$ ) entre 80 y 85% respectivamente. Para la base de datos CONABIO el caso que mejor se ajustó presentó una ponderación cercana al 40% y por último en la base de datos del CIBNOR el caso ganador presentó un valor aproximado a 30%. Los valores de  $\Delta_i < 7$  para la base de datos Román-Rodríguez fueron obtenidos en 3 casos incluyendo al ganador ( $\Delta_i = 0$ ). Sólo dos casos presentaron  $\Delta_i < 7$  para la base de datos CRIAP, para CONABIO todos los casos presentaron valores de  $\Delta_i < 7$ , y por último, en la base de datos del CIBNOR se presentaron casos 5 casos  $< 7$  casos. Debido a que en la ponderación ( $w_i$ ) varios casos aportan información sustancial exhibiendo que ningún caso ganó contundentemente aunado a que en cada base de datos existen varios casos que

presentaron valores de  $\Delta_i < 7$ . Por lo tanto, debido a lo anterior se realizó la inferencia multimodelo para todas las bases de datos obteniéndose un “modelo promedio” a partir del promedio de los de parámetros de  $y_1, y_2, a$  y  $b$ . Ver tabla XI.

**TABLA IX.** Parámetros de crecimiento para *Cynoscion othonopterus*  $k, t_0$  y  $L_\infty$  (base de datos CRIAP) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

Parámetro	Especial 1	MCVB	Especial 2	Logístico	Especial 3	Gompertz
$y_1$	160.42		167.11		163.20	
$y_2$	683.22		652.29		666.57	
$a$	0.222		0.734		0.468	
$b$	1		-1		0	
$n$	8	8	8	8	8	8
$L_\infty$	823.74	823.74	663.67	663.67	704.48	704.48
$k$		0.222		0.734		0.468
$t_0$	0.023	0.023		2.48		1.812
$t^*$			2.48		1.812	
$\sigma$	0.0057	0.0057	0.0432	0.0432	0.0252	0.0252
$\Phi$	3	3	3	3	3	3
$LL$	30.043	30.043	13.787	13.787	18.106	18.106
$AICc$	-48.087	-48.087	-15.573	-15.573	-24.211	-24.211

**Tabla X.** Parámetros de crecimiento para *Cynoscion othonopterus*  $k$ ,  $t_0$  y  $L_\infty$  (base de datos CIBNOR) generados por los casos especiales del modelo de Schnute y los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

Parámetro	Especial 1	MCVB	Especial 2	Logístico	Especial 3	Gompertz
$y_1$	300.12		299.67		299.81	
$y_2$	823.56		784.61		804.06	
$a$	0.451		0.901		0.656	
$b$	1		-1		0	
$n$	37	37	37	37	37	37
$L_\infty$	838.16	838.160	785.56	785.56	808.27	808.27
$k$		0.451		0.901		0.656
$t_0$	0.017	0.017		1.54		0.987
$t^*$			1.54		0.987	
$\sigma$	0.1010	0.1010	0.1018	0.1018	0.1012	0.1012
$\Phi$	3	3	3	3	3	3
$LL$	32.318	32.318	32.033	32.033	32.261	32.261
$AICc$	-57.910	-57.910	-57.339	-57.339	-57.794	-57.794

**Tabla XI.** Parámetros de los casos del modelo de Schnute ( $y_1$ ,  $y_2$ ,  $a$  y  $b$ ): ( $k$ ) número de parámetros, ( $AIC_c$ ) criterio de información de Akaike, ( $\Delta_i$ ) diferencias de Akaike, ( $w_i$ ) ponderación de  $AIC_c$ .

Casos del Modelo de Schnute	$k$	$AIC_c$	$\Delta_i$	$w_i(\%)$	$y_1$	$y_2$	$a$	$b$
<b>Base de datos Román-Rodríguez</b>								
Caso 1	4	-25.842	6.9	2.56	306.92	902.39	-0.062	2.643
*Caso 2								
Caso 3	3	-32.727	0	80.05	307.48	896.83	0	2.198
Caso 4	2	-9.076	23.7	0	382.44	1006.93	0	0
Especial 1	3	-29.356	3.4	14.84	311.13	885.66		
Especial 2	3	-22.084	10.6	0.39	320.37	868.08		
Especial 3	3	-25.493	7.2	2.15	315.43	876.13		
Modelo promedio	4	-25.131			306.92	902.39	-0.062	2.643
<b>Base de datos CONABIO</b>								
Caso 1	4	4.490	2.5	10.86	222.74	746.65	6.675	-22.265
*Caso 2								
Caso 3	3	4.986	3.0	8.48	230.72	872.84	0	1.371
Caso 4	2	4.520	2.6	10.70	288.99	973.07	0	0
Especial 1	3	4.471	2.5	10.97				
Especial 2	3	1.950	0	38.68				
Especial 3	3	3.240	1.3	20.30				
Modelo promedio	4	10.086			229.23	831.35	1.006	-2.580

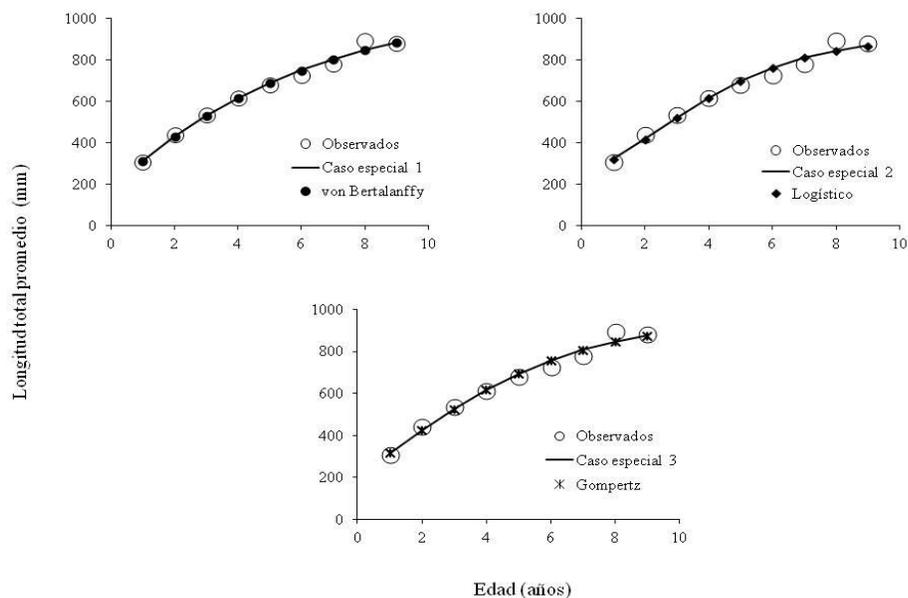
**Tabla XI.** Continuación...

<i>Base de datos</i>								
<i>CRIP</i>								
<i>Caso 1</i>	4	-51.487	0	84.54	159.99	687.50	0.162	1.257
*Caso 2								
Caso 3	3	-33.936	17.6	0.01	159.53	701.72	0	1.971
Caso 4	2	1.787	53.3	0	228.84	834.28	0	0
Especial 3	3	-24.211	27.3	0				
Modelo promedio	4	-50.783			160.06	686.84	0.172	1.217
<i>Base de datos</i>								
<i>CIBNOR</i>								
Caso 1	4	-55.399	2.5	8.52	299.98	819.18	0.495	0.767
*Caso 2								
Caso 3	3	-55.899	2.0	10.93	306.03	876.74	0	3.949
Caso 4	2	-31.835	26.1	0	527.70	970.15	0	0
<i>Especial 1</i>	3	-57.910	0	29.88				
Especial 2	3	-57.339	0.6	22.46				
Especial 3	3	-57.794	0.1	28.20				
Modelo promedio	4	-54.916			300.57	814.75	0.564	0.571

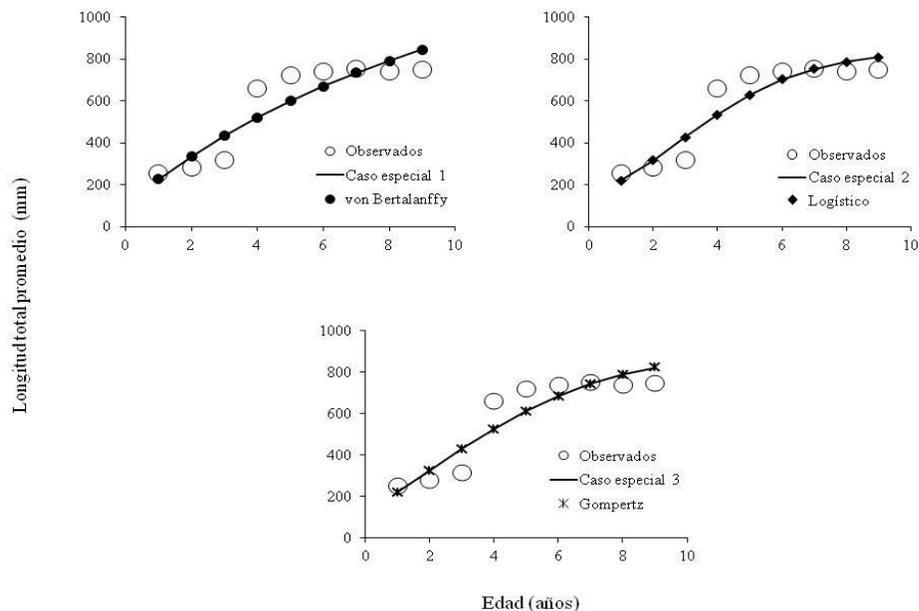
---

\*El Caso 2 se consideró el especial 3. Esto es cuando se resuelve libremente y  $a > 0$

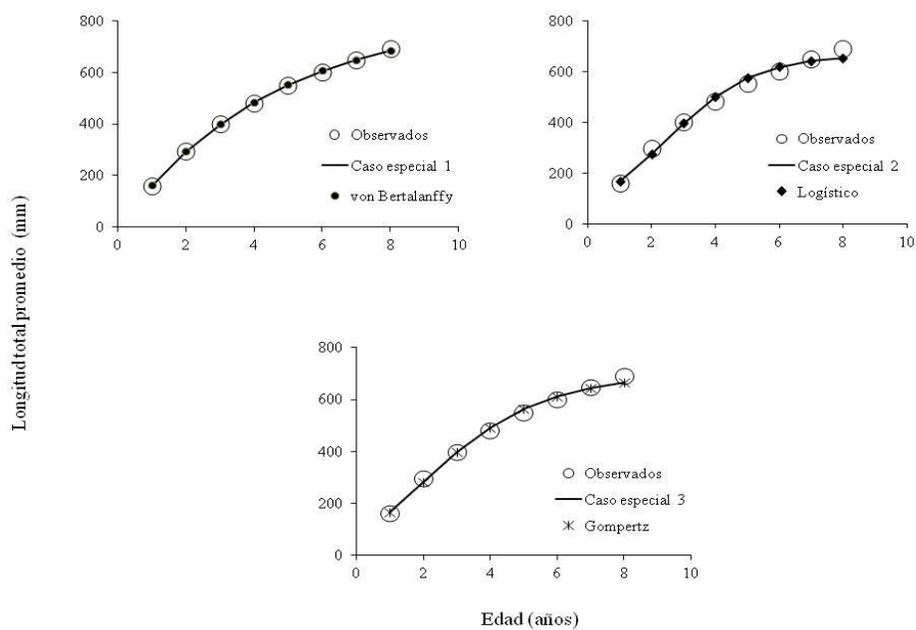
Para cada base de datos se analizó y contrastó la trayectoria de las curvas de crecimiento del Caso especial 1-modelo de Von Bertalanffy, Caso especial 2-Logístico y Caso especial 3-Gompertz. Los resultados demuestran que la trayectoria de crecimiento para cada par de asociaciones es idéntica para las cuatro bases de datos analizadas (figuras 15, 16, 17 y 18).



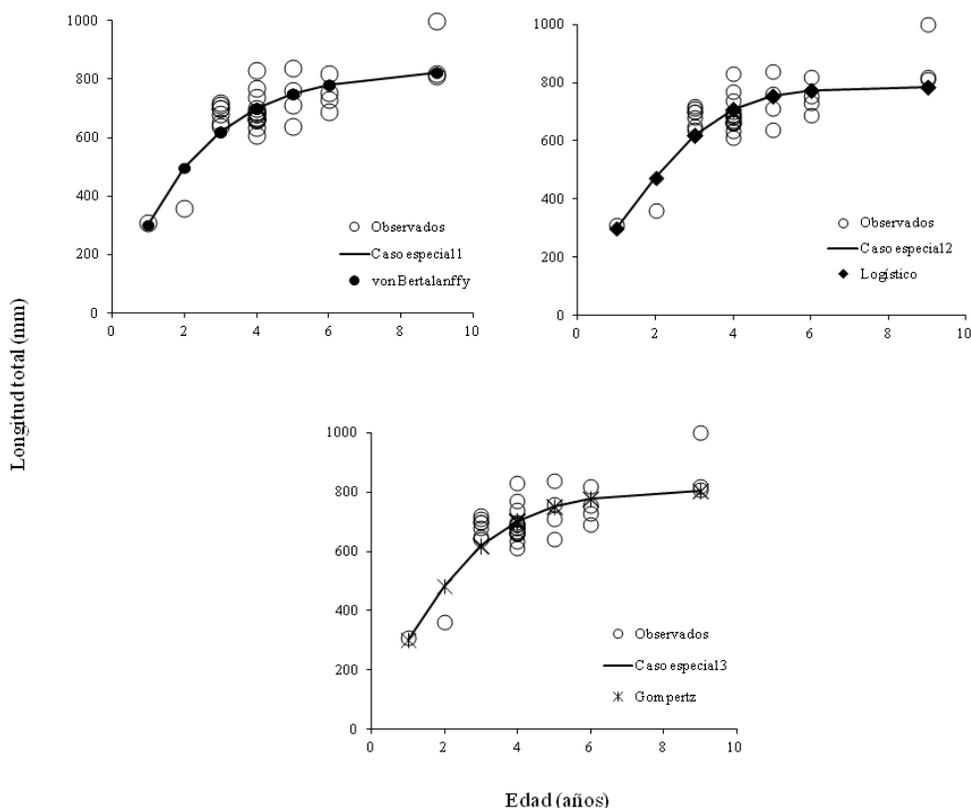
**Figura 15.** Curvas de crecimiento de *Cynoscion othonopterus* (base de datos Román-Rodríguez) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.



**Figura 16.** Curvas de crecimiento de *Cynoscion othonopterus* (base de datos CONABIO) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.



**Figura 17.** Curvas de crecimiento de *Cynoscion othonopterus* (base de datos CRIP) para los Casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

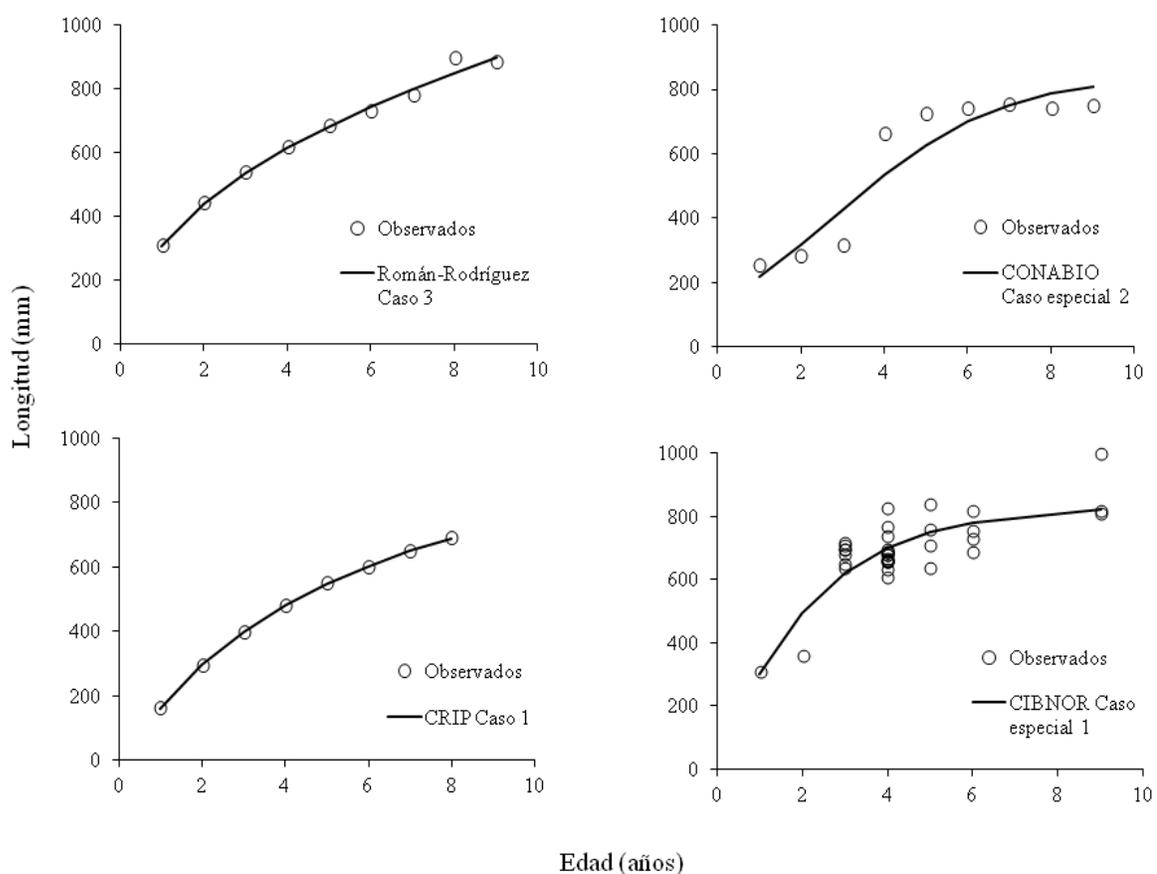


**Figura 18.** Curvas de crecimiento de *Cynoscion othonopterus* (base de datos CIBNOR) para los casos especiales del modelo de Schnute comparadas con sus pares de modelos específicos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.

A continuación, se presentan las curvas de crecimiento de los casos del modelo de Schnute que debido a su menor  $AICc$  fueron los que mejor se ajustaron a cada base de datos de edad-longitud de curvina golfina. Para la base de datos Román-Rodríguez la cual son datos promedios “retrocalculados” el Caso 3 de Schnute fue el que mejor se ajustó con un valor de ( $AICc = -32.727$ ), representado por un patrón de crecimiento no asintótico (curva 3, de la figura 13).

Para la base de datos promedio de CONABIO el crecimiento fue mejor descrito por el Caso especial 2 de Schnute ( $AICc = 1.950$ ) que representa una curva asintótica sigmoide (curva 8, ver en la figura 7) esta curva es idéntica a la generada por el modelo Logístico. La información de la base de datos promedio del CRIP muestra al Caso 1 de Schnute como el

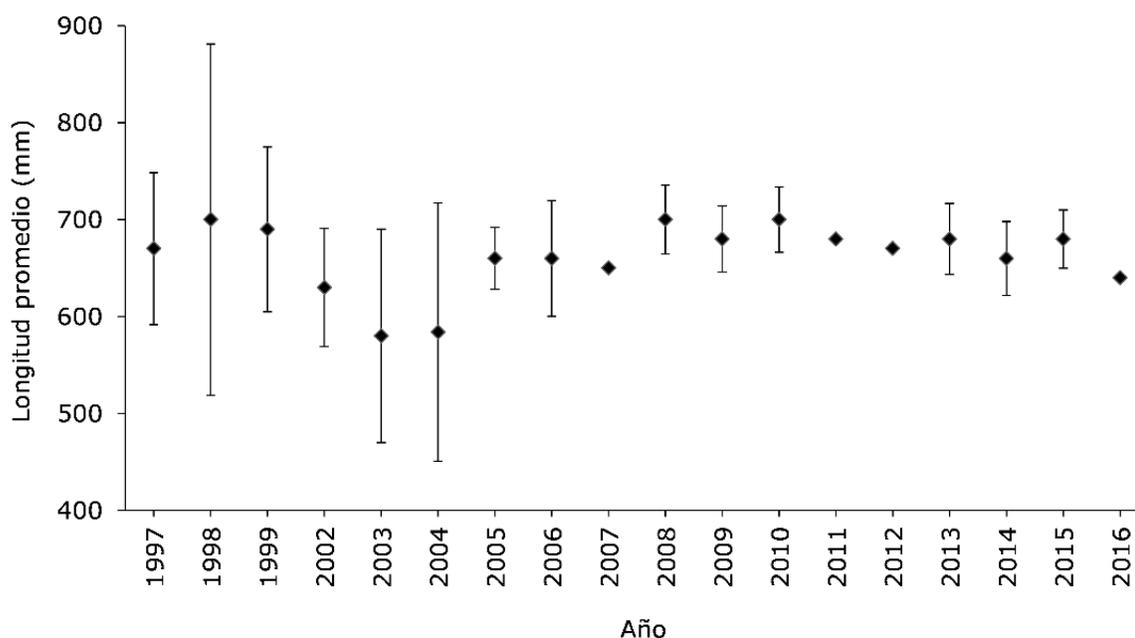
que mejor se ajusta a los datos ( $AICc = -51.487$ ) generando un patrón de crecimiento asintótico no sigmoide (curva 2, ver en la figura 7) esta curva es típica a la generada por el modelo de Von Bertalanffy. Por último, el Caso especial 1-Von Bertalanffy (curva 2) que representa un patrón de crecimiento asintótico no sigmoide con un  $AICc = -57.910$  fue el que mejor se ajustó a la base de datos del CIBNOR la cual son datos crudos. Estos resultados reflejan que los casos que mejor se ajustaron para las cuatro bases de datos generaron tres diferentes curvas de crecimiento con una interpretación biológica completamente distinta (Fig. 13).



**Figura 19.** Patrón de crecimiento que mejor se ajustó a *Cynoscion othonopterus* para las diversas bases de datos.

### 7.3 Estructura de tallas

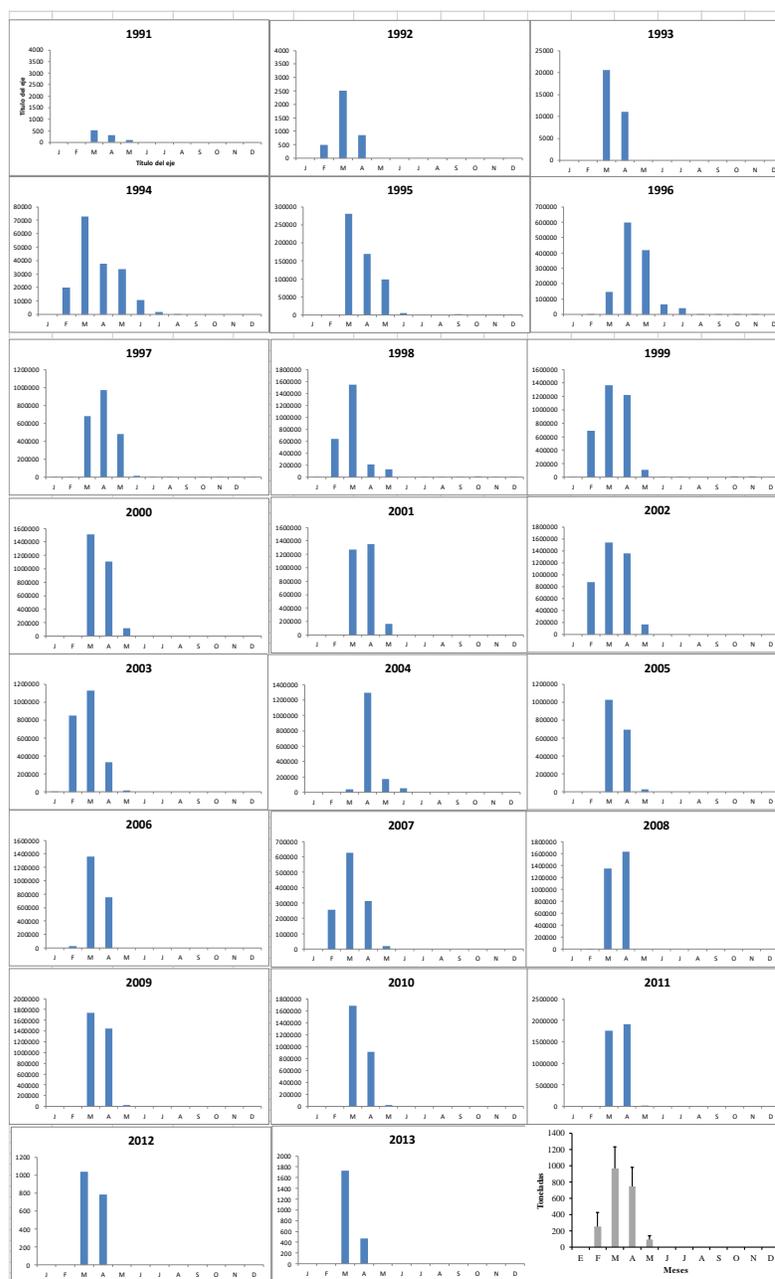
Se presenta la longitud promedio anual para los años 1997 hasta el 2016 obteniéndose una longitud mínima de 627 mm para 2003 y una longitud máxima de 703 mm para 1998. Durante el periodo 2008 a 2016 se presenta una tendencia negativa respecto a la longitud, asimismo, se observa una estandarización con respecto al error de los datos (Fig. 20). Cabe mencionar que los datos que no presentan desviación estándar fueron datos que se tomaron de la literatura. Las capturas anuales de peso eviscerado para los Estados de Sonora y Baja California muestran una captura máxima de 5.389 t en el 2016 y una mínima de 204 t en 1994. Las capturas presentaron un incremento exponencial de 1994 a 2002 para posteriormente disminuir drásticamente en 2003 y 2004. A partir de 2005 se vuelve a presentar una segunda tendencia positiva hasta el 2009.



**Figura 20.** Variaciones de la composición de la longitud promedio de la pesquería de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* para las temporadas 1997-2016.

#### 7.4 Variabilidad de las capturas

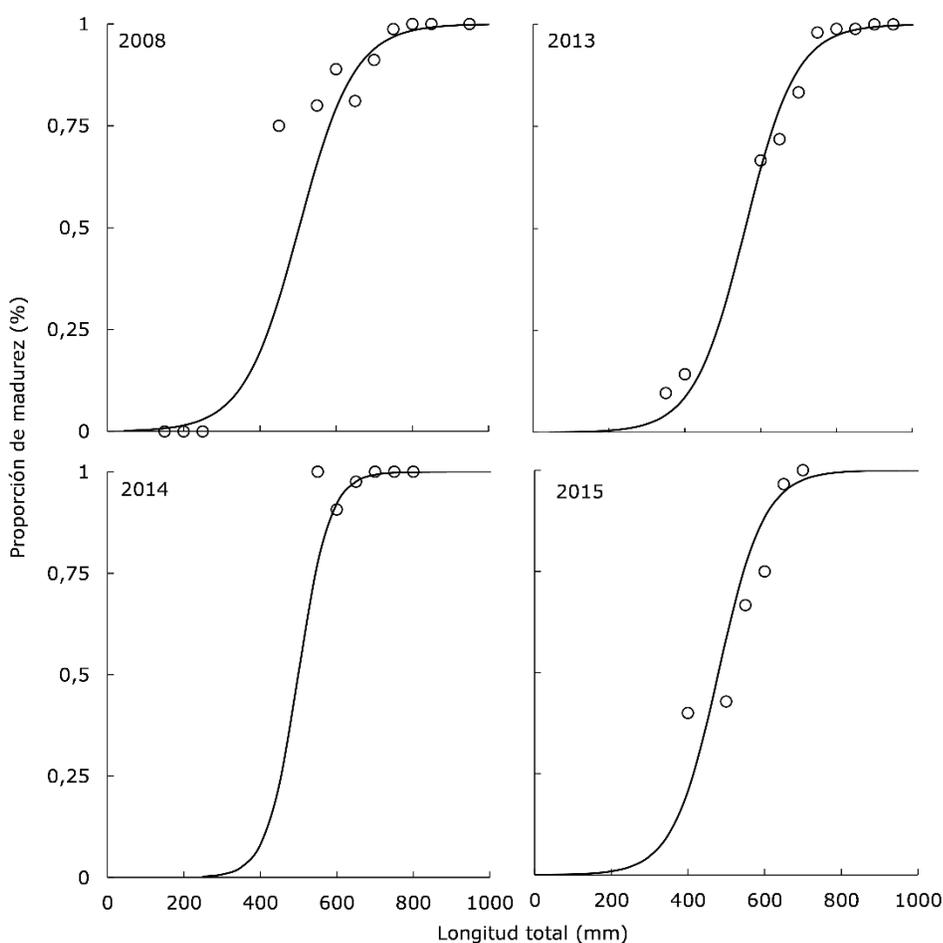
En general las capturas de curvina golfinia son altamente variables ya que a través de los años han presentado tendencias oscilatorias. La estacionalidad de las capturas para el periodo 1993 a 2013 también presentaron cambio. Las capturas eran desde febrero a junio, pero en los últimos años se han restringido a los meses de marzo y abril (Fig. 21).



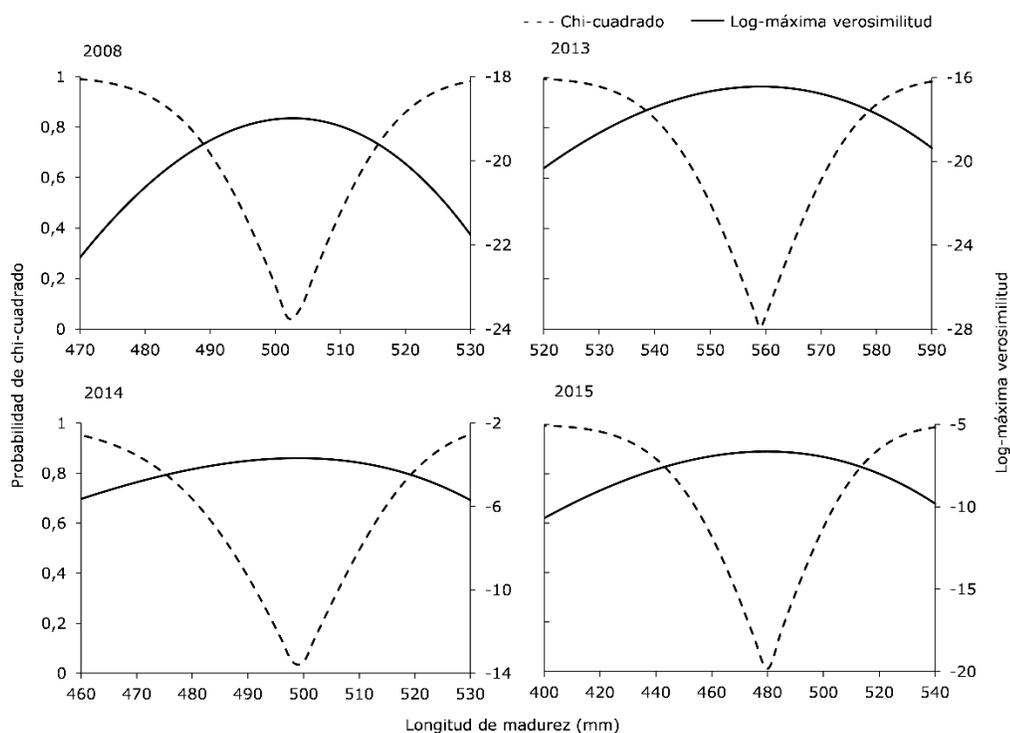
**Figura 21.** Producción de curvina golfinia *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California para los años 1997-2016

### 7.5 Talla de primera madurez

Para estimar la longitud de madurez se analizaron un total de 1314 hembras de las cuales 1023 se encontraban maduras. La longitud mínima registrada de madurez fue 350 y la máxima de 950 mm. La distribución de longitud osciló entre 150 a 950 mm, estando más representado por organismos de 600 a 850 mm. La longitud de madurez ( $L_{50}$ ) para los años de estudio y respectivo intervalo de confianza mediante los perfiles de máxima verosimilitud fue: 2008=  $L_{50}$ : 502 mm (IC= 490-514 mm), 2013=  $L_{50}$ : 559 mm (IC= 544-576 mm;), 2014=  $L_{50}$ : 499 mm (IC= 476-518 mm), y 2015=  $L_{50}$ : 480 mm (IC= 445-510 mm) (Figs. 22 y 23).



**Figura 22.** Curvas de la longitud de madurez para hembras de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* capturadas en el Alto Golfo de California. Los círculos son datos observados mientras que la línea es la curva ajustada.

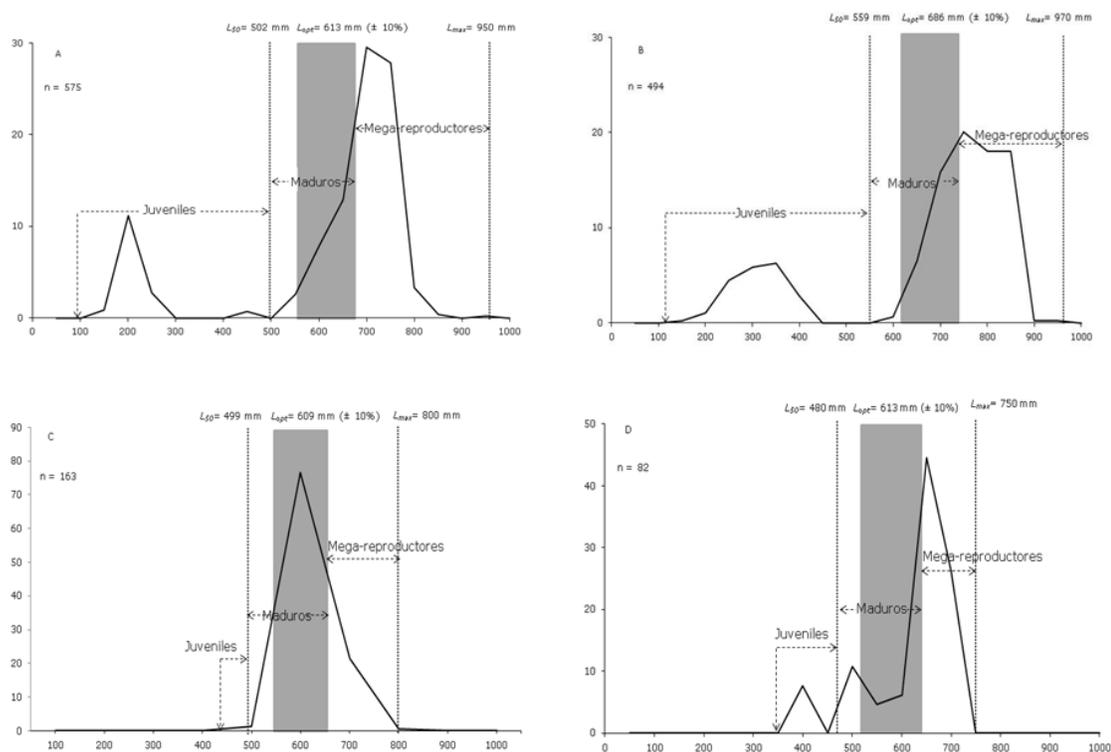


**Figura 23.** Intervalos de confianza mediante perfiles de verosimilitud para la longitud de madurez en hembras de *Cynoscion othonopterus*.

### 7.6 Estimación de los mega-reproductores

Teniendo en cuenta los valores de  $L_{50}$  se estimó la longitud óptima ( $L_{opt}$ ) mediante la fórmula empírica de y Froese Binohlan (2000). Quedando representado para cada año de estudio una  $L_{opt}$  de  $613 \pm 10\%$  para 2008,  $686 \pm 10\%$  en 2013,  $609 \pm 10\%$  en 2014 y  $585 \text{ mm} \pm 10\%$  en 2015. Una vez que se obtuvieron los resultados de  $L_{50}$  y  $L_{opt}$  se procedió a evaluar los indicadores de Froese (2004). Para el 2008 se analizaron 575 organismos y los indicadores muestran que el 16% fueron individuos inmaduros, 23% se encontraban dentro de la longitud óptima y el 61% fueron mega-reproductores. Durante la temporada de pesca 2013 se analizaron 494 organismos de los cuales el 56% fueron mega-reproductores, el 21% estuvieron por debajo de la longitud de madurez y el 23% estuvieron dentro de la longitud óptima. En la temporada 2014 se examinaron 163 organismos de los cuales el 22% fueron mega-reproductores, el 78% de los organismos se consideran estuvieron dentro de la longitud

óptima y no se encontraron capturas de organismos por debajo de la longitud de madurez. Por último, en la campaña de pesca 2015 se analizaron 82 curvinas golfinas que estuvieron representadas por el 70% por mega-reproductores, el 8% fueron juveniles y el 22% estuvieron dentro de la longitud óptima (Fig. 24).

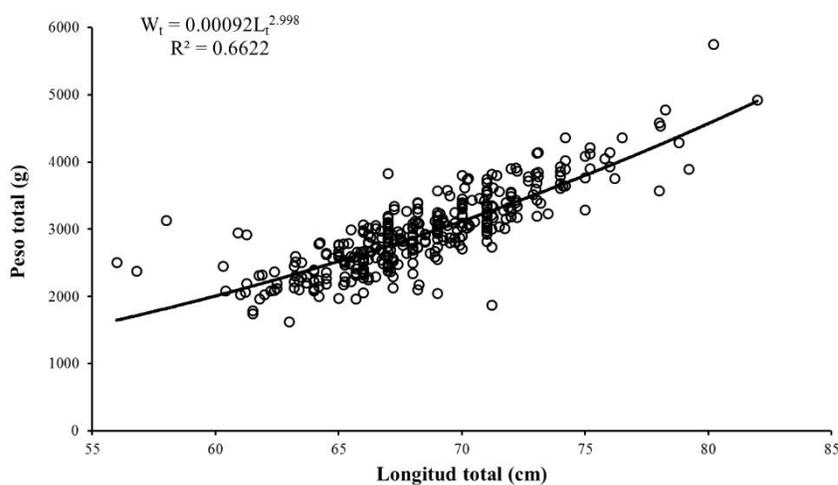


**Figura 24.** Indicadores de sustentabilidad de Froese (2004) para la distribución de longitud de hembras de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California durante la temporada de pesca A) 2008, B) 2013 C) 2014 y D) 2015.  $L_{50}$ : longitud de madurez,  $L_{opt}$ : intervalo de longitud óptima donde se obtiene el máximo rendimiento,  $L_{max}$ : longitud máxima registrada en la temporada

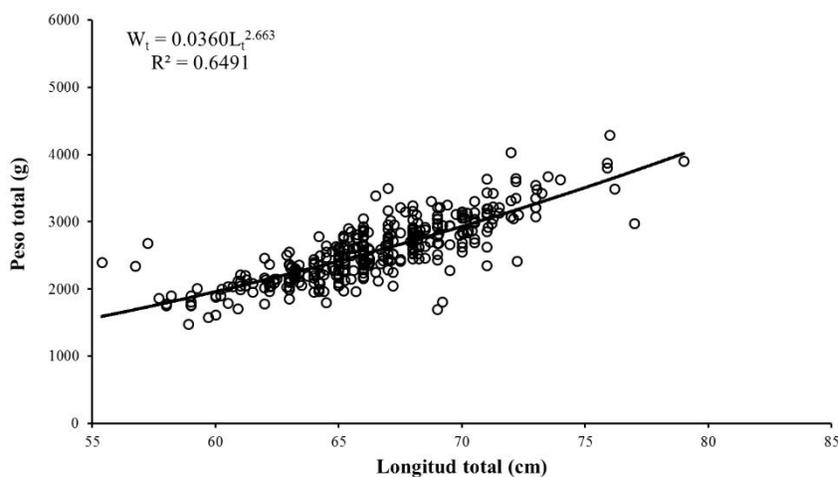
## 7.7 Relaciones biométricas

El resultado obtenido del análisis entre la relación de longitud total y Peso de curvina golfina durante los muestreos del año 2008 y utilizando la ecuación potencial nos arrojó que tanto las hembras como los machos inmaduros presentaron un crecimiento relativo de tipo isométrico. Sin embargo, los organismos maduros tanto hembras como machos resultaron alométrico negativo (Fig. 19).

### Hembras



### Machos



**Figura 25.** Relación longitud total- peso para curvina golfina en 2008.

## 7.8 Mortalidad

Al estimar la mortalidad se obtuvieron diversos resultados, estos debido a la fuente de variación utilizada, la fuente de datos o la ecuación empleada. La ecuación de Pauly incluye el valor promedio de temperatura por lo que se utilizó el valor de 23°C según lo reportado en Camacho-Pacheco (2015). Para la ecuación de Pauly el valor de mortalidad fue de 0.1818 usando los datos de Román-Rodríguez (Tabla VII) y hasta 0.5899 con los datos de CONABIO (Tabla VIII). Al utilizar los datos de la Tabla III el valor de mortalidad fue de 0.2044 con la hipótesis depensatoria hasta 0.5574 con la hipótesis de varianza estable. Para la ecuación de Jensen, el valor de mortalidad siguió el mismo patrón siendo el más bajo con los datos de Roman (Tabla VII) con un valor de 0.2445 y obteniéndose el más alto con los datos de CONABIO (Tabla VIII) con 1.5900. Lo mismo al utilizar los datos de la Tabla III el valor de mortalidad fue de 0.2775 con la hipótesis de varianza decreciente (depensatorio) hasta 1.1490 con la hipótesis de varianza estable.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Parámetros de crecimiento

Los parámetros de crecimiento de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* han sido mayormente evaluados mediante el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy (MCVB) (Román-Rodríguez, 2000; Erisman *et al.*, 2009; Erisman, 2012; Gherard *et al.*, 2013; Erisman *et al.*, 2014) bajo el supuesto de ser el más común en pesquerías históricamente hablando (Katsanevakis y Maravelias, 2008). La característica principal de MCVB es que genera una curva de crecimiento asintótico, que lo convierte en una de sus desventajas debido a que puede ser utilizado erróneamente para describir el crecimiento de especies que presentan un crecimiento no asintótico además su funcionamiento depende en gran medida de la calidad de datos y el tamaño de la muestra (Cailliet *et al.*, 2006). Por ello es necesario poner a prueba más de un modelo de crecimiento para evidenciar el que mejor describa los datos que se tienen a la mano (Burnham y Anderson, 2002), sobre todo si se quiere expresar las

características del crecimiento de la especie en términos cuantitativos, ya que sería imprudente y podría resultar contraproducente basar esta descripción en un solo modelo (Cailliet *et al.*, 2006). Bajo este contexto, el crecimiento de curvina golfina mediante el enfoque multimodelo solo ha sido analizado por (Aragón-Noriega, 2014; Arzola-Sotelo, 2014). Algunos de los modelos en común que analizaron dichos autores corresponden a los más utilizados para la determinación del crecimiento en pesquerías (von Bertalanffy, Gompertz y logístico) además de incorporar el modelo de crecimiento versátil de Schnute Caso 1. En investigaciones previas (Montgomery *et al.*, 2010; Rodríguez-Domínguez *et al.*, 2014; Ortega-Lizárraga *et al.*, 2016) describieron las trayectorias de las curvas y parámetros de crecimiento en dos crustáceos *Metapenaeus macleayi* y *Callinectes arcuatus* respectivamente empleando los 4 Casos del Modelo de Schnute, y un Caso especial de Schnute equivalente al Modelo de von Bertalanffy. Sin embargo, ninguno de los autores antes mencionados comprueba estadísticamente que el caso especial de Schnute que emplean arroja los mismos valores de los parámetros de crecimiento del Modelo de von Bertalanffy ya que solo parten del supuesto de Schnute (1981) donde menciona que existen ciertos modelos de crecimiento que son equivalente a sus Casos especiales. Por lo tanto, en la presente investigación se demuestra estadísticamente, que los parámetros de  $k$ ,  $t_0$ - $t^*$ ,  $L_\infty$  y las trayectorias de las curvas de crecimiento de los Casos especiales 1, 2 y 3 de Schnute son exactamente iguales a los modelos de Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz respectivamente.

Al demostrar este hecho, proponemos utilizar el Modelo de Schnute con sus respectivos casos especiales para poder determinar los parámetros y curvas de crecimiento de las especies, especialmente cuando se pretende utilizar los modelos de crecimiento en otros análisis pesqueros. Por ser un modelo que presenta varias curvas teóricas, es capaz de representar un crecimiento tanto asintótico como no asintótico. Por otro lado, permite hacer estimaciones de parámetros en ausencia de individuos muy jóvenes o longevos (Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.*, 2011; Anislado-Tolentino, *et al.*, 2014). Schnute al ser solo un modelo que proponemos utilizar, podría haber confusión para quienes han trabajado con la inferencia multimodelo ya que podrán pensar que estaríamos en contra de lo propuesto por Katsanevakis y Maravelias (2008) quienes demuestran que la mejor alternativa es la inferencia

multimodelo. Sin embargo, cabe mencionar que aun utilizando un solo modelo se puede hacer inferencia multimodelo, debido a que el modelo de Schnute genera varios casos dependiendo de los valores de los parámetros de  $a$  y  $b$  que representan o son equivalentes a otros modelos específicos. Utilizar el modelo de Schnute también tiene otra ventaja con respecto de utilizar diferentes modelos al momento de emplear la inferencia multimodelo, ya que los parámetros de los modelos puestos a prueba tendrían significado distinto, por lo tanto, solo se puede obtener el parámetro promedio de interés que por lo general es  $L_{\infty}$ . Los parámetros de Schnute tienen el mismo significado en todos sus casos, debido a lo anterior te permite obtener un modelo promedio con los parámetros de  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $a$  y  $b$ . Si se desea continuar con análisis de modelos de manejo pesquero a partir de estos cuatro parámetros se pueden obtener los necesarios como  $L_{\infty}$  y  $k$ .

El patrón de crecimiento de curvina golfinia se determinó para tres bases de datos (Román-Rodríguez, CONABIO y CRIAP), y la elección del modelo que describió mejor la curva de crecimiento se llevó a cabo mediante la teoría de la información. Este enfoque ha sido recomendado como una alternativa más sólida en comparación con los enfoques tradicionales (Katsanevakis, 2006). El criterio de información de Akaike ( $AIC$  por sus siglas en inglés) es el más común entre los enfoques de teoría de información (Katsanevakis, 2006; Cruz-Vásquez *et al.*, 2012). En las tres bases de datos se utilizó el  $AIC$  en su versión corregida ( $AICc$ ) (Shono, 2000) puesto que el número de datos fue menor a 40 debido a que se utilizaron valores de longitud promedio. Aunado a lo anterior, se determinó el Caso de Schnute que mejor describe el patrón de crecimiento de curvina golfinia, esto tomando en cuenta el menor valor de  $AICc$  de todos los casos que se pusieron a prueba para cada base de datos.

Para la base de datos Román-Rodríguez la cual son datos promedios “retrocalculados” el Caso 3 de Schnute fue el que mejor se ajustó a los datos con un valor de ( $AICc = -32.727$ ), representado por un patrón de crecimiento no asintótico. La explicación para este patrón de crecimiento radica en que el retrocálculo no contempla la variabilidad individual de la longitud a la edad presentando un incremento constante de la talla conforme el organismo se vuelve longevo. Por lo anterior, se debe de tener cuidado al momento de utilizar datos retrocalculados para la toma de decisiones, ya que el crecimiento de los peces varía en las distintas etapas de vida debido a la falta de alimento, cambios ambientales o de hábitat

(Ricker, 1975). Específicamente para curvina golfina el crecimiento presenta un retraso debido a la redistribución de energía después de los dos años debido a la maduración y procesos reproductivos (Ohnishi *et al.*, 2012; Gherard *et al.*, 2013; Hadj-Taieb *et al.*, 2013). El patrón de crecimiento que mejor describe esta característica biológica se ve reflejado en una curva bifásica (Aragón-Noriega, 2014).

Para la base de datos promedio de CONABIO el crecimiento fue mejor descrito por el Caso especial 2 de Schnute - Logístico ( $AICc = 1.950$ ) que representa una curva asintótica sigmoide. Esto último coincide con lo descrito por Arzola-Sotelo (2014) quien mediante datos de longitud total a la edad de CONABIO y utilizando los modelos de Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz y Schnute Caso 1, y empleando el enfoque multimodelo determinó que el Modelo Logístico fue el que mejor estuvo respaldado por los datos debido a que presentó el menor valor de  $AICc$  en relación con los demás modelos candidatos. Coincidiendo con lo anterior Aragón-Noriega (2014), demostró mediante la inferencia multimodelo que curvina golfina presenta un crecimiento bifásico de tipo sigmoide evidenciando que la especie tiene un crecimiento lento en las primeras etapas de vida.

Por último, con la información de la base de datos del CRIAP el Caso 1 de Schnute fue el que mejor se ajustó a los datos ( $AICc = -51.487$ ) generando un patrón de crecimiento asintótico no sigmoide típica a la curva generada por el Modelo especializado de Von Bertalanffy (Figura 7). Lo anterior coincide con lo reportado por (Román-Rodríguez, 2000; Erisman *et al.*, 2009; Erisman *et al.*, 2012; Gherard, 2013), sin embargo, debemos de tener en cuenta que el modelo de Von Bertalanffy tiende a describir de forma inadecuada las etapas tempranas de las especies (Gamito, 1998). Por lo tanto, antes de tomar cualquier decisión al momento de establecer un patrón definitivo de crecimiento de alguna especie, debemos de analizarla desde el punto de vista biológico. Estos resultados reflejan que los modelos que mejor se ajustaron para las tres bases de datos generaron tres diferentes curvas de crecimiento con una interpretación biológica completamente distinta, y esta explicación se debe a la cantidad de datos dentro de una clase de tallas y la naturaleza de estos. Por lo anterior, se deben de tener suficientes datos de la pesquería comercial de todas las clases de tallas posibles (aunque es mejor tener datos independientes de la pesquería, además de los derivados del muestreo de las capturas comerciales) y utilizar un enfoque multimodelo

basado en el modelo de crecimiento de Schnute para poder definir con mayor robustez el crecimiento de curvina golfina.

Uno de los problemas cuando se utilizan varios modelos de crecimiento es que no todos son comparables por mencionar algunos factores: muchos de ellos carecen de sentido biológico, tienen diferentes números de parámetros y biológicamente tienen significados distintos, por lo que resulta difícil obtener un parámetro promedio (Grosjean, 2001). Muchos colegas al utilizar inferencia multimodelo ignoran lo anterior y nombran un “modelo promedio” cuando solo obtienen el promedio de un parámetro en común. Ahora bien, si se desea obtener un verdadero modelo promedio, se debe tener en cuenta que se deben manejar los mismos parámetros en cada modelo puesto a prueba y esta característica solo se obtiene utilizando el Modelo de crecimiento de Schnute.

## 8.2 Variabilidad en los datos

Asumiendo que el enfoque multi-modelo permite el análisis de muchas hipótesis alternativas sobre patrones de crecimiento. Esta herramienta metodológica proporciona un fuerte apoyo estadístico para decidir la trayectoria de crecimiento más adecuada para la especie en cuestión.

Un nuevo reto en la selección de modelos es considerar la variabilidad de la talla a la edad. Schnute y Fournier (1980) propusieron que la variabilidad a la edad podría disminuir, aumentar o mantenerse constante en el ciclo de vida de las especies. La mayoría de los estudios de crecimiento en pesquerías sólo utilizan una variabilidad constante a la edad sin cuestionar si hay evidencia de que la variación pueda aumentar con la edad (crecimiento dependiente) o que disminuya con la edad (crecimiento compensatorio). Un estudio reciente en el análisis de crecimiento de moluscos (Luquín-Covarrubias *et al.*, 2016) probó que la variación de la talla aumenta con la edad. Este estudio es muy importante debido a que propusieron las ecuaciones para calcular la varianza para cada edad. Debido a que los datos de curvina golfina muestran un crecimiento dependiente en los primeros años de vida y un cambio a crecimiento compensatorio se decidió utilizar en primera instancia la metodología propuesta Luquín-Covarrubias *et al.* (2016). Sin embargo, para poder estimar el crecimiento con enfoque compensatorio se invirtió la ecuación de dichos autores.

La variabilidad individual de la talla a la misma edad puede estar influenciada por diferencias genéticas en el potencial de tasa de crecimiento o accesibilidad al alimento. El acceso a los alimentos puede ser determinado por individuos dominantes, que afectan a los subordinados, resultando en mejores tasas de crecimiento de los dominantes. Pero esta variabilidad tiende a aumentar o disminuir con la edad. Schnute y Fournier (1980) explicaron de esta manera: “Muchos factores pueden contribuir a la variación de la talla en los peces a una cierta edad. Si estos factores se acumulan los peces de menor longitud se verán desplazados por los de una mayor talla siendo estos últimos lo que crecerán más rápidamente iniciando un crecimiento compensatorio. Por otra parte, se puede presentar que los peces más jóvenes experimenten una considerable variabilidad en las tasas de crecimiento, mientras que en los peces adultos tienden a alcanzar su asíntota. En consecuencia, un crecimiento compensatorio ocurre cuando los organismos de mayor talla se estrechan con la edad. Un crecimiento con varianza estable puede ocurrir cuando las tendencias de cada extremo se equilibran”. En el presente estudio se modelaron y compararon los tres enfoques de crecimiento (compensatorio, compensatorio y estable).

En conclusión; 1) Se demuestra que la variabilidad de la talla de curvina golfina disminuye conforme a la edad (hipótesis compensatorio), esta metodología permite estimar de forma más confiable los parámetros de crecimiento de la especie. 2) el mejor modelo para describir el patrón de crecimiento de *C. Othonopterus* es un modelo simétrico sigmoide con punto de inflexión al 50%.

### 8.3 Aplicación de resultados de tallas al manejo pesquero

Conocer la longitud a la cual se capturan los organismos es de vital importancia para la conservación de las especies debido a que permite determinar si las capturas están respetando la longitud mínima de madurez y la luz de malla establecida para la explotación de los recursos. En la presente investigación se logró determinar que durante el periodo de pesca de 1997 al 2006 el promedio de longitud presentó una tendencia negativa, así como un sesgo muy amplio de la desviación estándar coincidiendo con lo reportado por Erisman *et al.* (2014). Esto se debió a que los pescadores utilizaban diferentes aberturas de mallas de 12,5 y 15,24 mm (Román-Rodríguez 2000). Para contrarrestar este problema se implementa en

2008 la estandarización de la luz de malla para la captura de curvina. Observándose que a partir de ese año las longitudes promedio, así como sus desviaciones estándar se homogeneizaron. Por lo tanto, esta implementación de la regulación de artes tuvo un efecto positivo en la pesquería coincidiendo con Gherard *et al.* (2013). La única información que existe sobre la evaluación de la luz de malla es de Solana-Sansores *et al.* (2012) quienes demuestran que solamente el uso de redes de enmalle con 14.6 cm de luz de malla mantiene la pesca incidental de individuos menores a 65 cm por debajo del 35% y es la única que cumple con la normatividad mexicana. Ahora bien, en un contexto general, los esfuerzos para implementar, evaluar y aplicar estas dos medidas de manejo han sido hasta cierto punto efectivos en el contexto de que se tomaron las precauciones para la preservación de la especie. Sin embargo, estas dos medidas están determinadas por la actual longitud de madurez, y como se discutió anteriormente esta medida está sobreestimada debido a los métodos utilizados y requiere de una actualización. Por lo tanto, al estar ligada la longitud de madurez con luz de malla, es necesario que se realice una modificación a la abertura de malla de la red agallera.

Para llevar a cabo una regulación de las pesquerías y permitir que estas continúen siendo explotadas de manera sustentable se ha establecido en México a partir de los años noventa el sistema cuotas de captura total en sus esquemas de manejo (INAPESCA, 2006). Actualmente la pesquería de curvina golfina se lleva a cabo mediante el esquema de cuotas de capturas, la Norma Oficial Mexicana para la pesca responsable de curvina golfina establece que anualmente el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) recomendará la cuota de captura para la pesquería de curvina. Los registros que se tienen en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de los años en los que se han establecido las cuotas de captura son para las temporadas de pesca 2012-2016 (DOF 2012, 2013, 2014, 2015, 2016) con una captura total de 2,300 t en peso total, 2700 t en peso eviscerado (*PE*), 3538.6 *PE*, 3790 *PE* y 3,602 t en *PE*, respectivamente. Cabe resaltar que a excepción de la temporada 2014 las cuotas no se respetaron ya que se extrajo más producto de la cuota establecida. Ahora bien, otro aspecto importante es la creciente pesca ilegal no reportada y no regulada. Se estima que esta actividad ilícita en México representa casi la mitad de las capturas reportadas oficialmente (Cisneros-Montemayor *et al.* 2013). Por otro lado, Ruelas-Peña *et al.* (2013) y Enciso-Enciso

(2014) considerando un enfoque precautorio y el mínimo de riesgo, propusieron no superar las 3,100 t y 3,215 t, respectivamente, para que la pesquería no entre en colapso. Es por ello por lo que uno de los puntos para establecer la sustentabilidad en la pesquería de curvina es respetar los acuerdos que se encuentran vigentes en la norma y plan de manejo ya que estos acuerdos están basados en la preservación de la especie, el aprovechamiento equitativo del recurso y recomendaciones sustentables por parte de la comunidad científica.

La longitud de madurez sexual es uno de los aspectos más importantes del ciclo biológico de las especies, como también lo es para el manejo de las pesquerías. La longitud de madurez promedio o esperada es generalmente estimada ajustando un modelo logístico a la proporción de hembras por intervalo de longitud. Se puede asumir que el modelo logístico representa una función de densidad de probabilidad y la longitud de madurez corresponde a la longitud donde el 50% de los individuos de la población están maduros. Hasta la fecha existe escasa información de la longitud de madurez para *Cynoscion othonopterus* y la información disponible se encuentra en tesis de grado e informes técnicos (lo que comúnmente se conoce como literatura gris). Román-Rodríguez (2000) en su informe técnico reporta una  $L_{50}$  de 700 mm calculada mediante observaciones macroscópicas. Acosta-Valenzuela (2008) en su tesis de licenciatura, mediante el criterio macroscópico de (Nikolsky 1963), diferenció los organismos maduros e inmaduros y determinó una  $L_{50}$  para hembras maduras de 702 mm a través de mínimos cuadrados mediante la fórmula de King (1995) para datos acumulados. Acosta-Valenzuela (2010) en su tesis de maestría empleó técnicas histológicas y macroscópicas para determinar el estadio de madurez y estimó una  $L_{50}$  para machos de 674 y 685 mm para hembras. Por último, Gherard *et al.* (2013) mediante análisis histológicos determinó una longitud media de madurez sexual con respecto a la edad con la que el pez alcanza su madurez sexual obteniendo una  $L_{m50}$  para machos de 267.5 mm para organismos con dos años y 294.7 mm para hembras con 2.3 años. En el presente estudio se encontró que las longitudes de madurez en los periodos analizados no coinciden con los reportados en investigaciones previas. Asimismo, se destaca que todas las  $L_{50}$  estimadas en esta investigación están por debajo de la longitud mínima legal establecida en el plan de manejo pesquero de *C. othonopterus* que es de 650 mm de  $LT$ . Las diferencias de la longitud de madurez que se reportan para curvina golfina radican en la metodología empleada para

estimar esta variable. Román-Rodríguez (2000) y Acosta-Valenzuela (2010) estiman la  $L_{50}$  con la frecuencia acumulada. Este método solo considera organismos maduros de una cierta talla, divididos entre el número total de organismos maduros. Esto descarta la porción inmaduros/maduros de cada talla y crea una sobreestimación de la  $L_{50}$ . Aunado a lo anterior, Román-Rodríguez (2000) y Acosta-Valenzuela (2010) ajustaron el modelo con mínimos cuadrados, que si bien este método fue muy utilizado en sus inicios poco a poco fue siendo sustituido por métodos de ajuste más robustos como la máxima verosimilitud. La desventaja de ajustar con mínimos cuadrados es que minimiza el valor del parámetro, no estima la probabilidad del parámetro, no considera una distribución de probabilidad del error y no utiliza desviación estándar del error. En cambio, la máxima verosimilitud sí toma en cuenta lo antes mencionado ya que considera una distribución normal de los datos generando una curva simétrica, es decir a partir del valor medio de  $L_{50}$  por lo que la tasa de cambio se acerca monotónicamente hacia ambas asíntotas, la mayor y menor, además de maximizar el valor del parámetro utilizando los mínimos cuadrados y la verosimilitud para estimar la probabilidad del parámetro (Cervantes-Hernández *et al.* 2005). Por otro lado, el modelo binomial propuesto por Brouwer y Griffiths (2005) se ha puesto a competir con otros modelos de madurez y de acuerdo con el criterio de información de Akaike es uno de los mejores métodos determinar de la longitud de madurez específicamente en hembras (Hernández-Covarrubias *et al.*, 2013, Oviedo-Pérez *et al.*, 2014). Ahora bien, la longitud mínima de captura vigente para curvina golfina está determinada con información del método de frecuencia acumulada con ajuste de mínimos cuadrados lo que en su momento fue efectivo debido la necesidad de establecer medidas para el aprovechamiento de la especie aunado a la escasa información sobre métodos robustos que permitieran determinar con más solidez la  $L_{50}$ . Teniendo en cuenta lo anterior, la actual longitud de madurez es inadecuada para el manejo de curvina golfina por lo que es necesario actualizarla con métodos más robustos y confiables.

#### 8.4 Indicadores de sustentabilidad

Los indicadores de Froese (2004) están fundamentados en el análisis de los cambios en la frecuencia de longitudes. Estos indicadores son un instrumento útil para el monitoreo de las especies y la recuperación del stock. Asimismo, Froese (2004) demostró la importancia que

tienen los peces longevos (mega-reproductores) en la supervivencia de las futuras generaciones de una especie ya que las hembras al ser más grandes y longevas están mejor adaptadas al medio y pueden soportar cambios drásticos del ambiente proporcionando mejores genes a las futuras generaciones. Aunado a lo anterior, son más fecundas y el número de huevos por lo general se incrementa con el aumento de la longitud, por lo que las larvas tienen más probabilidades de sobrevivir. Coincidiendo con ello, Trippel (1998) menciona que los mega-reproductores, pueden ser vistos como una reserva de la población para resistir eventos estocásticos. Específicamente para curvina golfina, Acosta-Valenzuela (2010) mediante la estimación de la fecundidad parcial, señala que cuanto más grande sea la hembra se incrementa la viabilidad y el número de huevos. Los indicadores de Froese han sido utilizado para evaluar diversas especies de peces (Froese y Binohlan, 2000; Froese, 2004; Mair *et al.*, 2012; Pérez-Lozano y Aniello, 2013) quienes coinciden en que dichos indicadores son efectivos para determinar el grado de explotación de la pesquería, y punto de partida para tomar medidas en aras de la sustentabilidad del recurso y propuesta para el manejo de las especies. Por lo anterior se establecieron los criterios de sustentabilidad de Froese (2004) para la pesquería de curvina golfina durante las temporadas de pesca 2008, 2013, 2014 y 2015. Se demuestra que a excepción de la temporada de pesca 2014 existe sobreexplotación del recurso con mega-reproductores y juveniles ya que Froese (2004) propone que si una pesquería no tiene una longitud máxima de captura como lo es curvina golfina es tolerable que se tengan en las capturas entre un 30-40% de mega-reproductores, por otro lado, estable que en las capturas no deben de existir presencia de juveniles ya que también indica sobreexplotación. En general se exhibe que la pesquería de curvina está dirigida hacia los organismos de mayor longitud (mega-reproductores), por lo tanto, la pesquería muestra indicios de insostenibilidad y riesgos de colapso. Sin embargo, esta investigación difiere por completo por lo reportado por Erisman *et al.* (2014), quienes utilizaron el promedio del parámetro de crecimiento ( $L_{\infty}=1006$ , periodo de estudio 2009-2011) de Gherard *et al.* (2013) para establecer solamente una longitud óptima para el periodo de estudio (1997-2012) y determinar los indicadores de Froese (2004), estableciendo que la pesquería se encontraba saludable. Sin embargo, establecer solo una longitud óptima para 15 años de datos de longitud promedio es incongruente, Por lo que se debería de determinar los

indicadores anualmente y compararlo con su  $L_{\infty}$  o  $L_{50}$  del mismo año tal como se realizó en el presente estudio. En el presente estudio se calculó para cada año la  $L_{50}$  mediante métodos confiables y de robustez así como  $L_{opt}$  y estructura de tallas para estimar los indicadores de sustentabilidad. Los resultados arrojan un patrón repetitivo donde se calcula a los mega-reproductores por encima del 40% de la captura así como presencia de juveniles por lo que se llegó a la conclusión que la pesquería de curvina golfina presenta indicios de insostenibilidad. Si bien Erisman *et al.* (2014), aplicaron los criterios de sustentabilidad, como dice Froese (2004), no los realizaron debidamente ya que no calcularon una  $L_{50}$ . Si utilizamos como referencia la  $L_{opt}$  que reporta Erisman *et al.* (2014), de 715 mm con su respectivo intervalo  $\pm 10\%$  (644-787) y lo comparamos con los datos de longitud total y talla de madurez que ellos mismos reportan para 1997 y 2012 un promedio de  $L_{50}$  de 295 mm comprobaríamos que no se cumple con los indicadores de sustentabilidad descritos por Froese (2004). Todo ello conlleva según los indicadores aquí utilizados a una pesquería no sostenible. Winemiller *et al.* (1996) mencionan que la alteración del ecosistema acuático y la presión por pesca pueden afectar la biomasa del stock de una forma más severa de lo que se tenía contemplado especialmente si estos se combinan con factores los cuales el ser humano no puede controlar como el cambio climático. Welcomme (1992) menciona que las estrategias de conservación espacial y temporal en un plan de manejo son herramientas importantes para ayudar a mantener saludable al stock en ese sentido las estrategias para mantener saludable a la pesquería de curvina golfina como periodo de veda y cuota de captura a la fecha han sido de gran importancia, aunque insuficientes. Por lo tanto, debido a la presión por pesca y los nuevos retos que actualmente enfrentan los pescadores y las autoridades gubernamentales, es necesario incorporar en la Norma Oficial Mexicana NOM-063-PESC-2005 y plan de manejo pesquero nuevas estrategias que ayude a complementar las medidas de conservación y sustentabilidad actualmente vigentes. Por lo anterior se debería de considerar estrategias de manejo basadas en:

- a) Establecer una longitud máxima de captura para lograr que el 100% de las capturas estén conformadas por organismos que estén dentro del intervalo de la longitud óptima con el objetivo de evitar capturar mega-reproductores. De no establecerse este criterio con el tiempo se reduciría el tiempo de resiliencia del stock (Froese 2004).

- b) Reconsiderar la longitud mínima legal de captura para curvina golfina con el objetivo de disminuir la luz de malla y que las capturas estén más dirigidas a la longitud óptima.

Actualmente la pesquería de curvina golfina muestra indicios de una pesquería no sustentable, sin embargo, existen mecanismos y alternativas para darle seguimiento y establecer prontas acciones que ayuden a una mejor administración del recurso. En caso contrario y de seguir esta tendencia el único recurso con permiso de explotación para las localidades del Alto Golfo de California y San Felipe puede llegar a colapsar en un futuro no lejano.

## 9. CONCLUSIONES

- Se demostró estadística y gráficamente que el Modelo de Schnute representa a la perfección los parámetros de crecimiento individual ( $L_{\infty}$ ,  $k$  y  $t_0$  o  $t^*$ ) de los modelos de crecimiento comúnmente más utilizados en pesquerías como son el Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz.
- Existe evidencia que curvina golfina presenta un crecimiento del tipo dependiente en los primeros años de su vida mientras que después del punto de inflexión se torna compensatorio. Sin embargo, debido a que presentó un menor valor de  $AICc$  la mejor forma para estimar los parámetros de crecimiento de la especie es bajo un enfoque de crecimiento compensatorio.
- Se comprobó que el patrón de crecimiento de curvina golfina es de tipo sigmoide, simétrico, con punto de inflexión al 50% de la curva (modelo Logístico).
- Se propone una nueva metodología para estimar el crecimiento con enfoque de hipótesis compensatorio.
- La talla mínima legal que se encuentra vigente para la captura de curvina golfina está basada en las estimaciones de  $L_{50}$  la cual se determinó mediante frecuencia acumulada y ajuste de mínimos cuadrados. En la presente investigación se determinó que dicha metodología sobrestima el valor de  $L_{50}$  y se establece una talla menor a la reportada.
- Se demuestra mediante los indicadores de sustentabilidad de Froese que la pesquería de curvina golfina está dirigida hacia los organismos de mayor longitud (mega-reproductores), por lo tanto, se concluye que la pesquería presenta indicios de sobreexplotación considerada una pesquería no sustentable requiriendo ajustes y actualizaciones a las actuales medidas de manejo

## 10. LITERATURA CITADA

- Acosta-Valenzuela, Y. 2008. Aspectos de la biología reproductiva de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California. Tesis (Licenciatura en Biología). Bacúm, Sonora. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. 65p.
- Acosta-Valenzuela, Y. 2010. Ecología y potencial reproductivo de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Jordan y Gilber, 1882) en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Tesis (Maestría en Manejo Costero). Guaymas, Sonora Instituto Tecnológico de Guaymas. 122p.
- Alp, A., C. Kara, F. Ückardes, J. Carol, E. García-Berthou. 2011. Age and growth of the European catfish (*Silurus glanis*) in a Turkish reservoir and comparison with introduced populations. *Rev. Fish Biol. Fish.* 21:283-294.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: Ketchum, B.H. (ed.) *Ecosystem of the world, estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company. Nueva York. pp. 427-449.
- Álvarez-Borrego, S., L.A. Galindo-Bect. 1974. Hidrología del alto Golfo de California I. Condiciones durante otoño. *Cienc. Mar.* 1(1):46-64.
- Álvarez de Williams, A. 1974. Los cucapá del Delta del Río Colorado. *Calafia.* 2(5):40-47.
- Álvarez, L.G., F. Suárez-Vidal, R. Mendoza-Borunda, M. González-Escobar. 2009. Bathymetry and active geological structures in the Upper Gulf of California. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 61(1):129-141.
- Anislado-Tolentino, V., G. González-Medina, S. Ramos-Carrillo, G. Cerdaneres-Ladón de Guevara, T. Ortiz-Pérez, E. Ramírez-Antonio. 2014. Inferencia de multimodelos para la selección del mejor descriptor de la edad y el crecimiento de *Occidentarius platypogon* (Ictaluriformes:Ariidae) en Oaxaca, México. *Cienc. Pesq.* 22(1):69-78.
- Aragón-Noriega, E.A. 2014. Modelando el crecimiento individual de la corvina golfina, *Cynoscion othonopterus* (Pisces: Sciaenidae), con el enfoque multimodelo. *Cien. Mar.* 40(2):149-161.
- Aragón-Noriega, E.A., E. Alcántara-Razo, W. Valenzuela-Quiñones, G. Rodríguez-Quiroz. 2015. Multi-model inference for growth parameter estimation of the Bigeye Croaker *Micropogonias megalops* in the upper Gulf of California. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 50(1):25-38.
- Aragón-Noriega, E.A., L.E. Calderón Aguilera. 2000. Does damming of the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California? *Rev. Biol. Trop.* 48(4):867-871

- Arzola-Sotelo, E.A. 2014. Aplicación del enfoque multimodelo para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. *Cienc. Pesq.* 22(1):79-88.
- Baer, A, C. Schulz, I. Traulsen, J. Krieter. 2011. Analysing the growth of turbot (*Psetta maxima*) in a commercial recirculation sytem with the use of three different growth models. *Aquacult. Int.* 19:497-511.
- Bajeca-Serrano, E.S. 2016. Análisis de la dieta de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Jordan y Gilbert, 1882) en el Alto Golfo de California. Tesis (Maestría en Uso, manejo y preservación de los recursos naturales). Guaymas, Sonora Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 50p.
- Barbarino, A., D. Taphorn, K.O. Winemiller. 1998. Ecology of coporo *Prochilodus mariae* (Characiformes: Prochilodontidae) and status of annual migrations in western Venezuela. *Environ. Biol. Fishes.* 53:33-46.
- Barrera, J.C., J. Campoy. 1992. Ecología y conservación del Alto Golfo de California. En Moreno, J. L. (comp.) "Ecología, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora". El Colegio de Sonora. Hermosillo, México. 404p.
- Barrera, G.J.C. y J.R. Campoy. 1998. Recomendaciones para el manejo sustentable de la pesquería y protección de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus*, Jordan y Gilbert, 1881), en la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Documento inédito. 4p.
- Botello, R.M., T.R. Villaseñor, M.F. Rodríguez. 2010. Ordenamiento de pesquerías por Recursos Estratégicos de México, Tomo 1. México Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 300p.
- Brouwer, S.L., M. H. Griffiths. 2005. Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. *Fish. Bull.* 103(2):258-269.
- Brusca, R.C., S. Álvarez-Borrego, P.A. Hastings, L.T. Findley. 2017. Colorado River flow and biological productivity in the Northern Gulf of California, Mexico. *Earth Sci Rev* 164:1-30
- Brusca R.C., L.T. Findley, P.A. Hastings, M.E. Hendrickx, J. Torre Cosío y A.M. van der Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. En: Cartron, J.L.E., G. Ceballos, R.S. Felger (eds.). *Biodiversity, ecosystems and conservation in northern Mexico*. Oxford University Press. Oxford. pp 179-202

- Burnham, K.P., Anderson D.R. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach. Springer. Nueva York, EEUU. 488p.
- Cailliet, G.M., W.D. Smith, H.F. Mollet, K.J. Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Env. Biol. Fish.* 77(3):211-228.
- Camacho-Pacheco, A.V. 2015. Evaluación de la respuesta de las poblaciones sujetas a pesca ante las condiciones ambientales en el Alto Golfo de California. Tesis (Maestría en Uso, manejo y preservación de los recursos naturales). Guaymas, Sonora Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 92p.
- Carriquiry, J.D., A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Mar. Geol.* 158:125-145.
- Castro-González J.J., G. Galindo-Cortes, F.J. De la Cruz-G., C. Enciso-Enciso. 2013. Dictamen Técnico para la Recomendación de la Cuota de Captura de Curvina Golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California, Temporada de pesca 2013-2014. Doc. Interno CRIP-Eda, INAPESCA, SAGARPA. Ensenada, México 8p.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., E. Morales- Bojórquez, R. Rodríguez-Sánchez 2011. Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Mar. Biol. Res.* 7(5):488-499.
- Cervantes-Hernández, P., A. Flores-Gómez, B. Sánchez-Meraz. 2005. Mínimos cuadrados versus verosimilitud. *Ciencia y Mar*, 27:41-45.
- Chao, N.L. 1995. Sciaenidae. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sammer, K.E. Carpenter, V.H. Niem. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico centro-oriental. Volumen III, Vertebrados, Parte 2. FAO. Roma, Italia. pp 1427-1518.
- Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor-Lopez, M.J. Román-Rodríguez. 1995. Life history and conservation of *Totoaba macdonaldi*. *Conserv. Biol.* 9:806-814.
- Cisneros-Montemayor, A.M., M.A. Cisneros-Mata, S. Harper, D. Pauly. 2013. Extent and implications of IUU catch in Mexico's marine fisheries. *Mar Policy* 39:283-288.
- CRIP. 2005. Compilación biológico-pesquera de corvina golfina, *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. Reporte técnico. SAGARPA. México. 12p.
- Cruz-Vásquez, R., G. Rodríguez-Domínguez, E. Alcántara-Razo, E.A. Aragón-Noriega. 2012. Estimation of individual growth parameters of the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the central Gulf of California using a multimodel approach. *J. Shellfish Res.* 31:725-732.

- Cook, J.G. 1984. Glossary of technical terms. En: May, R.M. (ed.). Exploitation of Marine Communities. Springer-Verlag. Nueva York. 348p.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54:726-738
- Diario Oficial de la Federación DOF. 2005. Acuerdo por el que se establece la veda temporal para la captura de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en las aguas marinas y estuarinas de jurisdicción federal de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, durante el periodo del 1 de mayo al 31 de agosto de cada año. México. Diario Oficial de la Federación. <http://sagarpa.gob.mx/normateca/NormatividadHistorica/14%20ACUERDO%20por%20el%20que%20se%20establece%20veda%20temporal%20para%20la%20captura%20de%20curvina%20golfina%20250805.pdf> (Cons. 11/07/2016). 1ra. Sección pp 87-88.
- Diario Oficial de la Federación DOF. 2012. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Curvina Golfina (*Cynoscion othonopterus*) del norte del Golfo de California. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5276662](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5276662) (consulta, noviembre 2015).
- Diario Oficial de la Federación DOF. 2013. Acuerdo por el que se establece la cuota de captura para el aprovechamiento de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado para la temporada de pesca 2012-2013. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5285586&fecha=24/01/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285586&fecha=24/01/2013)
- Diario Oficial de la Federación DOF. 2014. Acuerdo por el que se establece la cuota de captura para el aprovechamiento de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado para la temporada 2013-2014. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5333652&fecha=24/02/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5333652&fecha=24/02/2014)
- Diario Oficial de la Federación DOF. 2015. Acuerdo por el que se suspende temporalmente la pesca comercial mediante el uso de redes de enmalle, cimbras y/o palangres operadas con embarcaciones menores, en el norte del Golfo de California. México. Diario Oficial de la Federación. [https://conbio.org/images/content\\_groups/Marine/Acuerdo\\_Prohibicion\\_Redres\\_y\\_Cimbras\\_140115\\_\(2\)-FINAL.pdf](https://conbio.org/images/content_groups/Marine/Acuerdo_Prohibicion_Redres_y_Cimbras_140115_(2)-FINAL.pdf) (Consultado el 13/08/2016).

- Diario Oficial de la Federación DOF. 2016. Acuerdo por el que se establece la cuota de captura para el aprovechamiento de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado para la temporada de pesca 2016. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5425994&fecha=17/02/2016](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5425994&fecha=17/02/2016)
- De Anda Montañez, J., F. García de León, T. Zenteno Savín, E.F. Balart, L.C. Méndez Rodríguez, N. Bocanegra Castillo, S. Martínez Aguilar, L. Campos Dávila, M. Román-Rodríguez, F. Valenzuela-Quinonez, M.C. Rodríguez Jaramillo, J.J. Ramírez Rosas, J.I. Saldaña Hernández, N.O. Olguín Monroy, M.E. Martínez Delgado. 2013. Estado de salud y estatus de conservación de la(s) poblacion(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción. Primera etapa convenio: FB1508/HK050/10. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. La Paz B.C.S. 111p.
- Doode, S., P. Wong. 2001. El Golfo de California: surgimiento de nuevos actores sociales, ambientalismo y región. *Estud. Soc.* 11: 25-56.
- Encinas-Rivera, Y.M. 2008. Análisis de contenido estomacal de *Cynoscion othonopterus* (Jordan y Gilbert) en el Alto Golfo de California. Tesis (Licenciatura en Biología). Bacúm, Sonora. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. 48p.
- Enciso-Enciso, C. 2014. Evaluación de la pesquería de curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert y Jordan, 1882) en el Alto Golfo de California. Tesis (Maestría en Recursos Acuáticos). Mazatlán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. 65p.
- Erisman, B.E. 2012. Evaluation of available data, preliminary data poor assessment and recommendations for the Gulf corvina fishery in the Gulf of California. Technical Report. Environmental Defense Found. EEUU. 39p.
- Erisman, B., O. Aburto-Oropeza, C. González-Abraham, I. Mascareñas-Osorio, M. Moreno-Baez, P.A. Hastings. 2012. Spatio-temporal dynamics of a fish spawning aggregation and its fishery in the Gulf of California. *Sci. Rep.* 2(284):1-11.
- Erisman, B, A.M. Apel, A.D. MacCall, M.J. Román, R. Fujita. 2014. The influence of gear selectivity and spawning aggregation fishery. *Fish. Res.* 159:75-87.
- Erisman, B.E., G. Paredes, I. Mascareñas-Osorio, O. Aburto Oropeza. 2009. Preliminary report on the Gulf corvina, *Cynoscion othonopterus*. Technical Report. Noroeste Sustentable. EE. UU. 77p.

- FAO. 1995. Código de conducta para la pesca responsable, 46, pp. FAO, Roma.  
<http://www.fao.org/docrep/005/V9878S/V9878S00.htm>
- FAO. 2000. Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 8: 1-68, FAO, Roma.  
<<http://www.fao.org/3/a-x3307s.html>>
- Fitch, J.E. 1949. Mexican corbina and totuava: The commercial fish match of California. For the year 1947 with an historical review 1916-1947. Cal. Fish Game. 74:83-84.
- Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. Fish Fish. 5:86-91.
- Froese, R., C. Binohlan. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. J. Fish Biol. 56:758-773.
- Gamito, S. 1998. Growth models and their use in ecological modeling: an application to a fish population. Ecol. Model. 113:83-94.
- García-Cagidae, A., R. Claro, B.V. Koshelev. 1994. Reproducción. en: Claro, R. (ed.). Ecología de los peces marinos en Cuba. Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigación de Quintana Roo (CIQRO), México pp 187-262.
- Garcia S, D. Staples, J. Chesson. 2000. The FAO guidelines for the development and use of indicators for sustainable development of marine capture fisheries and an Australian example of their application. Ocean Coast. Manage. 43(7):537-556.
- Gherard, K.E., B.E. Erisman,; O. Aburto-Oropeza, K. Rowell, L.G. Allen. 2013. Fishery-dependent estimates of growth, development, and reproduction in Gulf corvina (*Cynoscion othonopterus*). Bull. South. Calif. Acad. Sci. 112(1):1-18.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Phil. Trans. R. Soc. B. 115:513-583.
- Grosjean, P. 2001. Growth model of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Ph.D.Thesis. Bruselas, Bélgica. Universite Libre de Bruxelles. 271p.
- Haddon, M. 2001. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton. 406p.

- Hadj-Taieb, A., M. Ghorbel, N.B. Hadj-Hamida, O. Jarboui (2013) Sex ratio, reproduction, and growth of the gilthead sea bream, *Sparus aurata* (Pisces: Sparidae), in the Gulf of Gabes, Tunisia. *Cienc. Mar.* 39:101-112.
- Hernández-Covarrubias, V., J.L. Patiño-Valencia, H. Aguirre-Villaseñor. 2013. Inferencia multimodelo: cálculo de la talla media de madurez del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Nayarit, México. *Cienc. Pesq.* 22(1):11-18.
- Hilborn, R., C.J. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman and Hall. Nueva York. 570p.
- Hiriart Le Bert, G. 2009. Potencial energético del Alto Golfo de California. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 61(1):143-146.
- INAPESCA. 2006. Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo, 544 pp. Instituto Nacional de Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. <[http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/pelagicos/libro\\_Rojo.pdf](http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/pelagicos/libro_Rojo.pdf)>
- Jensen, K.T., J.N. Jensen. 1985. The importance of some epibenthic predators on the density of juveniles benthic macrofauna in the Danish Wadden Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 89:97-107.
- Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian J Fish. Aquat. Sci.* 53:820-822.
- Johnson, N.O. 1935. A trend line for growth series. *J. Am. Stat. Assoc.* 30:717.
- Jolicoeur, P., 1985. A flexible 3-parameter curve for limited or unlimited somatic growth. *Growth.* 49(2):271-281.
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.* 81:229-235.
- Katsanevakis, S., D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: Multimodel inference as a better alternative to a priori using the von Bertalanffy equation. *Fish Fish.* 9:178-187.
- King, M. 1995. Fisheries Biology, Assessment and Management. Fishing News Books, Australia. 338 p.

- Kenchington, T., 2014. Natural mortality estimators for information-limited fisheries. *Fish Fish.* 15:533-562.
- Lavín, M.F., V.M. Godínez, L. Álvarez. 1998. Inverse-Estuarine features of the upper Gulf of California. *Est Coast Shelf Sci* 47:769-795.
- Lombarte, A. 1990. Efectos ambientales y filogenéticos en la morfología del laberinto auditivo de los peces teleósteos. Tesis (Doctorado en Ciencias) Universidad Autónoma de Barcelona. 335p.
- Luquín-Covarruvias, M.A., E. Morales-Bojórquez, S.S. González-Peláez, J.A. Hidalgo-De-La-Toba, D. Bernardo Lluch-Cota. 2016. Modeling of growth depensation of Geoduck clam *Panopea globosa* based on a multimodel inference approach. *J. Shelfish Res.* 35(2):379-387
- Mair, J.M., R. Cipriani, H.M. Guzman, D. Usan. 2012. Fishery of the Green Jack *Caranx caballus* (Osteichytes: Carangidae) in Las Perlas Archipelago, Pacific Panama. *Rev. Biol. Trop.* 60(30):1271-1288.
- Malthus, T.R. 1798. An essay on the principal of population. Reedition (1970), Penguin Books, New York. 270p.
- Margalef, R. 1974. Ecología. Editorial Omega. Barcelona 1487p.
- Manjarrez-Bringas, N. 2018. Instrumentos de Política Ambiental en una Reserva de la Biosfera: Análisis y recomendaciones para el desarrollo sustentable. Tesis (Doctorado en Uso, manejo y preservación de los recursos naturales). Guaymas, Sonora Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 98p.
- Martell, S., R. Froese. 2012. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. *Fish Fish.* 14: 504-514.
- Martínez, M.J., L.B. Flores. 2009. CONANP: Boletín informativo Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. 4p.
- Montgomery, S.S., C.T. Walsh, M. Haddon, C.L. Kesby, D.D. Johnson. 2010. Using length data in the Schnute model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. *Mar. Freshwater Res.* 61: 1435-1445.

- NOM-063-PESC-2005. 2007. Pesca responsable de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en aguas de jurisdicción federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Especificaciones para su aprovechamiento. 7p.
- Nikolsky, G.V. 1963. The Ecology of fishes. Academic Press, Londres 352p.
- Ortega-Lizárraga, G., G. Rodríguez-Domínguez, R. Pérez-González, N. Castañeda-Lomas, E.A. Aragón-Noriega. 2016. Estimation of growth parameters of male blue crabs *Callinectes arcuatus* (Brachyura: Portunidae) from the Gulf of California using the Schnute model. Lat. Am. J. Aquat. Res. 44(2):371-379.
- Ohnishi, S., T. Yamakawa, H. Okamura, T. Akamine. 2012. A note on the von Bertalanffy growth function concerning the allocation of surplus energy to reproduction. Fish. Bull. 110:223-229.
- Oviedo-Pérez, J.L., H. Zea-De la Cruz, D.H. Aguirre-Villaseño, C. Meiners-Mandujano, L. Jiménez-Badillo, L. González-Ocaranza. 2014. Talla de madurez sexual del tiburón *Rhizoprionodon terraenovae* en Veracruz, México. Cienc. Pesq. 22(1): 37-45.
- Paredes, G.A., B. Erisman, I. Mascareñas-Osorio, J. Cota-Nieto, J. Gherard, O. Aburto-Oropeza. 2010. La curvina golfina: biología, pesquería y su gente. CONABIO. Biodiversitas. 91:1-5.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. CIEM, 39(3):175-192.
- Pauly D. 1983. Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO Doc. Tec. Pesca. 234:1-49.
- Pella, J., P. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. Bul. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 13:419-496.
- Pérez-Lozano, A., B. Aniello. 2013. Parámetros poblacionales de los principales recursos pesqueros de la cuenca del río Apure, Venezuela (2000-2003). Latin American Journal of Aquatic Research 4(3):447-458.
- Preece, M.A., M.J. Baines. 1978. A new family of mathematical models describing the human growth curve. Ann. Hum. Biol. 5:1-24.

- Restrepo, V.R., G.A. Diaz, J.F. Walter, J.D. Neilson, S.E. Campana, D. Secor, R.L. Wingate, 2010. Updated estimate of the growth curve of Western Atlantic bluefin tuna. *Aquat. Living Resour.* 23:335-342.
- Rice, J.C., M.J. Rochet. 2005. A framework for selecting a suite of indicator for fisheries management. *J. Mar. Sci.* 62:516-527.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10(29):290-300.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fish. Res. Board Can. Bull.* 191:1-382.
- Rivera-Arriaga, E. 1990. Ecología trófica de dos poblaciones de peces tropicales costeros (*Polydactylus octonemus* y *Lutjanus synagris*) del sur del Golfo de México. Tesis (Licenciatura en Biología) México D.F., Facultad de Ciencias, UNAM. 59p.
- Rodríguez-Domínguez, G., S.G. Castillo-Vargasmachuca, J.S. Ramírez-Pérez, R. Pérez-González, E.A. Aragón-Noriega. 2014. Modelos múltiples para determinar el crecimiento de organismos juveniles de jaiba azul *Callinectes arcuatus* en cautiverio. *Cienc. Pesq.* 22(1):29-35.
- Rodríguez-Quiroz, G., E.A. Aragón-Noriega, W. Valenzuela-Quíñonez, H.M. Esparza-Leal. 2010. Artisanal fisheries in the conservation zones of the upper Gulf of California. *Rev Biol Mar Oceanogr.* 45:89-98.
- Román-Rodríguez, M.J. 2000. Estudio poblacional del chano norteño, *Micropogonias megalops* y la curvina Golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae), especies endémicas del Alto Golfo de California, México. IMADES. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. L298. México D. F. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfL298.pdf> (Cons. 21/05/2015). 143p.
- Román-Rodríguez, M.J., J.C. Barrera Guevara. 2006. Diagnóstico y elaboración del plan de manejo de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*, Gilbert y Jordan, 1882) en el Alto Golfo de California, México. Informe final de la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). 137p.
- Román-Rodríguez, M.J., G.M. Hamman. 1997. Age and growth of totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Sciaenidae) in the upper Gulf of California. *Fish. Bull.* 95:620-628.

- Ruelas-Peña, J.H., C. Valdez-Muñoz, E.A. Aragon-Noriega. 2013. La pesquería de la curvina golfina y las acciones de manejo en el Alto Golfo de California, Mexico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 41(3):498-505.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1128-1140.
- Schnute, J., D. Fournier, 1980. A new approach to length-frequency analysis: growth structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:1337-1351.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 1(2):27-56.
- Shono, H. 2000. Efficiency of the finite correction of Akaike's information criteria. *Fish. Sci.* 66:608-610.
- Silber, G.K. 1990. Occurrence and distribution of the Vaquita *Phocoena sinus* in the Northern Gulf of California. *Fish. Bull.* 88(2):339-346.
- Solana-Sansores, L.R., I. Dicante, L. Luna, R. Villaseñor Talavera. 2012. Selectividad de redes para capturar curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California, México. *Hidrobiología* 22(2):132-141.
- Sparre, P. y S.C. Venema. 1992. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Manual FAO Documento técnico de pesca. Roma, Italia 376p.
- Tanaka, M. 1982. A new growth curve which expresses infinitive increase. *Amakusa Marine Biological Laboratory.* 6:167-177.
- Thomson, D.A., L.T. Findley, A.N. Kerstitch. 2000. Reef Fisher of the Sea of Cortez. The Rocky-Shore Fishes of the Gulf of California. The University of Texas Press. EEUU. 353p.
- Venzon, D. J., S. H. Moolgavkar. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Applied Statistics.* 37(1):87-94.
- Verhulst, P. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondances Mathématiques et Physiques.* 10:113-121.

Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.* 10(2):181-213

Walpole, R.E. 1982. *Introduction to statistic*. Macmillan. Nueva York. 521p.

Weibull, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *J. Appl. Mech.* 18:293-296.

Winsor, C.P., 1932. The Gompertz curve as a growth curve. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 18:1-8.

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall Internacional. Nueva York. 662p.