

**ESTIMACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO EN *Seriola lalandi*
VALENCIENNES 1833 (PISCES: CARANGIDAE) EN EL NORTE DE CHILE, EN
BASE AL PESO DEL OTOLITO**

Tchimanda S. I. Ndjamba ^{1,2}; Marcelo E. Oliva ³; Miguel Araya ⁴; Isaac F. G Bumba²

¹Estudiante del Programa de Magíster en Ecología de Sistemas Acuáticos de la Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos - Universidad de Antofagasta
(tchimandasimeao@hotmail.com)

²Facultad de Ciencias de las Pescas – Universidad del Namibe / Angola
(isaacfgomez@hotmail.com)

³Instituto Ciencias Naturales Alexander von Humboldt; FACIMAR - Universidad de Antofagasta (marcelo.oliva@uantof.cl)

⁴Facultad de Recursos Naturales Renovables - Universidad Arturo Prat
(miguelaray@gmail.com).

Chile, 2019

Resumen

La determinación de la edad y crecimiento de los peces es un paso fundamental en la elucidación de la biología de las especies y para una adecuada ordenación pesquera. Los parámetros determinados a partir de la edad (mortalidad, crecimiento, etc.) son la base de los modelos de dinámica poblacional utilizados en el análisis de las pesquerías. De los estudios de edad, pueden ser determinados otros datos básicos, tales como la estructura de edad de la población, edad de la primera madurez sexual, frecuencia de desove, las respuestas individuales y poblacionales frente a cambios en el hábitat, el éxito de reclutamiento, etc. Además, los datos de edad y crecimiento permiten determinar los cambios en la población causadas por tasas de explotación. El objetivo del presente estudio es estimar, a través del peso del otolito, la edad de ejemplares de *Seriola lalandi* capturados en la zona norte de Chile, usando individuos de edad conocida para calibrar las estimaciones. Las muestras provienen de la pesca artesanal que se realiza en aguas costeras de la Región de Antofagasta (23°40' S, 70°73' O), se muestrearon 71 ejemplares entre los meses de enero y diciembre de 2018, junto a estos, se completó la información con 105 ejemplares de cautiverio del Centro de Cultivo de dorados Universidad de Antofagasta con el fin de obtener la relación del peso otolito – edad. En el laboratorio de Bentos de la Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos, se hizo la toma de las mediciones correspondientes (longitud a la horquilla (LH); Longitud de la cabeza (Lc)) y posterior extracción de los otolitos, registrándose su largo total y ancho en mm y éstos fueron guardados para su análisis posterior. En la Universidad Arturo Prat se hizo el procesamiento de los otolitos, los que fueron pesados en una balanza analítica con una precisión de 0,0001 g. Con el fin de verificar si existen diferencias significativas entre el peso

del otolito izquierdo y derecho, se aplicó el test "t" de muestras pareadas. La relación edad de los ejemplares y peso del otolito se estableció a partir solo de los otolitos izquierdo sin ninguna alteraciones. Los parámetros de crecimiento se estimaron sobre la base de las longitudes retrocalculadas ya que no logramos obtener todas las longitudes de los ejemplares y tenemos datos de ejemplares en cautiverio con edades conocidas. Se ajustaron varios modelos para describir el crecimiento de *S. lalandi*, encontrando que el mejor ajuste se obtiene con el modelo de crecimiento estacional. Se discuten estos resultados a la luz de los antecedentes para esta especie.

Palabras claves: Peso otolito, Edad, *Seriola lalandi*, Norte de Chile

INTRODUCCIÓN

Erradas medidas de administración pesqueras pueden ser consecuencia de estimaciones inexactas de la edad de los peces que repercuten erróneamente en estimaciones de la biomasa desovante, la mortalidad, el crecimiento, el reclutamiento y la edad de madurez (Beamish y McFarlane 1995; Yule et al. 2008). Además, la estimación de la edad es la base para ajustar modelos de crecimiento individual, como los modelos de von Bertalanffy y de Gompertz, entre otros (Nazal, 2004).

Las estimaciones de edad en peces se basan en la interpretación de las discontinuidades presentes en las estructuras duras, ya sea otolitos, espinas, escamas o radios de las aletas (Lepak et al., 2012), suponiendo que estas discontinuidades se pueden identificar y contar (Araya et al., 2001; La Mesa et al., 2010).

A pesar de la variedad de métodos para la estimación de la edad, tales como lecturas de otolito enteros, secciones delgadas, tostado, entre otros, el procedimiento a desarrollar en cada especie depende de la morfología del otolito y de las edades que alcance el pez (Morales-Nin, 1992). Uno de los métodos más usados es la lectura de anillos en otolitos, pese a que la lectura requiere cierto grado de entrenamiento por lo que depende de la experiencia del lector, acuerdos entre diferentes lectores raramente excede el 90% y usualmente es mucho más bajo (Ernst et al., 1995). Además, el método consume tiempo por lo que resulta oneroso para los laboratorios. Por ello, se han intentado desarrollar procedimientos que sean más económicos y objetivos (Fletcher, 1991; Worthington et al., 1995a).

Varios autores han explorado la utilidad del peso del otolito para estimar las edades de los peces (Bermejo, 2014; Hanson y Stafford, 2017; Kanjuh et al., 2018; Khan et al., 2018). Los otolitos son un indicador útil de la edad de los peces porque los peces de crecimiento lento y de larga vida tienden a tener otolitos relativamente más grandes, mientras que los peces de crecimiento rápido y jóvenes tienden a tener otolitos relativamente ligeros (Radtke et al., 1985). Como indican Francis et al. (2005), Ghanbarzadeh et al. (2014), Hanson y Stafford (2017), entre otros, existe una relación directa entre el peso del otolito y la edad del pez. Por lo que esta relación tiene un gran potencial para estimar la edad (Worthington et al., 1995a), siendo un método rápido, económico y sería preferible cuando se requiera estimar las edades de un gran número de individuos (Araya et al., 2001).

No obstante, este método requiere la estimación a priori de la edad en una pequeña fracción de la población, con el fin de establecer una curva de calibración que posteriormente se utiliza para estimar la edad del resto de la muestra (Boehlert, 1985; Worthington et al., 1995b).

Considerando que el dorado (*S. lalandi*) constituye un recurso a escala artesanal y que esta pesquería aún no se encuentra regulada, por esto, el objetivo fue estimar la edad de *Seriola lalandi* capturada en la costa norte de Chile, en función del peso del otolito.

Metodología

Área de muestreo y recolección de los ejemplares

Entre los meses de enero y diciembre de 2018 se muestrearon 71 especímenes provenientes de la pesca artesanal que se desembarca en el terminal pesquero de Antofagasta. Adicionalmente, se completó la información con 105 ejemplares de edad conocida obtenido del Centro de Cultivo de dorado de la Universidad de Antofagasta.

En el laboratorio se midió la longitud a la horquilla (LH) al cm más cercano y se extrajeron los otolitos, los cuales fueron limpiados de tejidos y guardados en sobres debidamente etiquetados. Posteriormente, los otolitos fueron pesados en una balanza analítica con una precisión de 0,0001 g. Los otolitos quebrados no se utilizaron. Para determinar si existían diferencias en el peso del otolito derecho e izquierdo se compararon 145 pares de otolitos, mediante la prueba t-student (Zar, 1999).

Con el fin de estimar la edad a partir del peso del otolito, se utilizó la siguiente expresión:

$$t_i = \frac{WO_i}{WO_{TC}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde t_i es la edad estimada en años para el individuo i , WO_i peso del otolito (mg) del individuo i y WO_{TC} es la tasa de crecimiento promedio en peso del otolito (mg/año) estimada para ambos sexos. No se diferenciaron entre machos y hembras ya que para esta especie varios estudios no encuentran diferencias en el crecimiento entre sexos (Dunn, 2014; McKenzie et al., 2014).

WO_{TC} se estimó a partir de la función de regresión entre la edad conocida de ejemplares y el peso del otolito, usando los peces de cautiverio.

Con la edad estimada se ajustaron varios modelos de crecimiento, siendo éstos:

Función de crecimiento von Bertalanffy (vB)

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad \text{Ecuación 2}$$

L_t : longitud horquilla a la edad t (cm)

L_∞ : longitud horquilla asintótica (cm)

K : coeficiente de crecimiento (1/año)

t_0 : edad teórica cuando la longitud es igual a cero (año).

2.1- Función de crecimiento Gompertz

$$L_t = L_\infty e^{-e^{-g(t-t_0)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

L_t : longitud media al tiempo t (cm)

L_∞ : longitud asintótica (cm)

g : tasa instantánea de crecimiento cuando $t = t_0$ (cm)

t_0 : tiempo al cual la tasa de crecimiento absoluta comienza a decrecer, esto es, el punto de inflexión de la curva.

2.2- Función de crecimiento Logística

$$L_t = \frac{L_\infty}{(1+e^{-g(t-t_0)})} \quad \text{Ecuación 4}$$

L_∞ : longitud asintótica (cm)

g : tasa instantánea de crecimiento cuando L tiende 0, (cm)

t_0 : tiempo al cual la tasa absoluta de incremento en longitud comienza a decrecer.

Función de crecimiento de vB estacional

$$L_t = L_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0) - CK/2\pi[\sin(2\pi(t-t_s)) - \sin(2\pi(t_0-t_s))]} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

L_∞ , K y t_0 corresponden a los mismos parámetros de la ecuación 2

C = amplitud de la oscilación de crecimiento, adimensional;

t_s = fase que representa el momento en que ocurre la más alta tasas de crecimiento (fracción de años).

Selección de la función de crecimiento

Para la selección del modelo que explique mejor el crecimiento se utilizó el método basado en la máxima verosimilitud (Burnham y Anderson, 2002). El objetivo del método es evaluar la fuerza relativa de las evidencias que soportan a un determinado tipo de modelo. Este soporte relativo de los modelos puede ser evaluado usando la teoría de la verosimilitud combinada con el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnham y Anderson, 2002). Un solo valor del AIC no tiene interpretación por sí mismo, pero la comparación entre diferentes valores del AIC permite evaluar el soporte relativo de los datos para dos o más modelos. El AIC penaliza la complejidad del modelo, dado por el número de parámetros, para alcanzar un óptimo entre exactitud y parsimonia del modelo, la expresión utilizada es:

$$AIC = n \ln(\hat{\sigma}^2) + 2p \quad \text{Ecuación 6}$$

donde p es el número de parámetros a estimar; n tamaño de muestra y su varianza esta dada por:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum \hat{\epsilon}_i^2}{n} \quad \text{Ecuación 7}$$

$\hat{\epsilon}_i$ son los residuos estimados para un modelo particular. El modelo con el menor valor de AIC es el modelo más verosímil.

Se validaron los parámetros de crecimiento comparándolo con los obtenidos por otros autores, mediante el índice de crecimiento Phi prima (ϕ') a través de la ecuación de Pauly y Munro (1984):

$$(\phi') = \log_{10} k + 2 * \log_{10} L_\infty \quad \text{Ecuación 8}$$

Resultados

Un total de 146 ejemplares se utilizaron para estimar la edad en base al peso del otolito, 85 peces provenientes de cautiverio con rango de tallas desde 5,5 a 25,7 cm LH y con edades conocidas entre 0,27 y 0,9 años y 61 de los muestreos de la pesca artesanal, cuya LH fluctuaron entre 37,9 y 109 cm.

EL peso de los otolitos en peces de cautiverio vario entre 0,4 a 2,3 mg y en los peces provenientes de la captura comercial, los otolitos registraron pesos de 3,5 a 17,3 mg.

No se registraron diferencias significativas en el peso del otolito derecho e izquierdo ($t=1,968$; g.l.=143; $p=0,972$), por lo que para efectos de análisis se utilizó el otolito de mayor peso.

El ajuste entre la edad conocida de los ejemplares de cautiverio y el peso del otolito arrojó un valor de la tasa de crecimiento del otolito de 3,044 mg/año (Fig. 1).

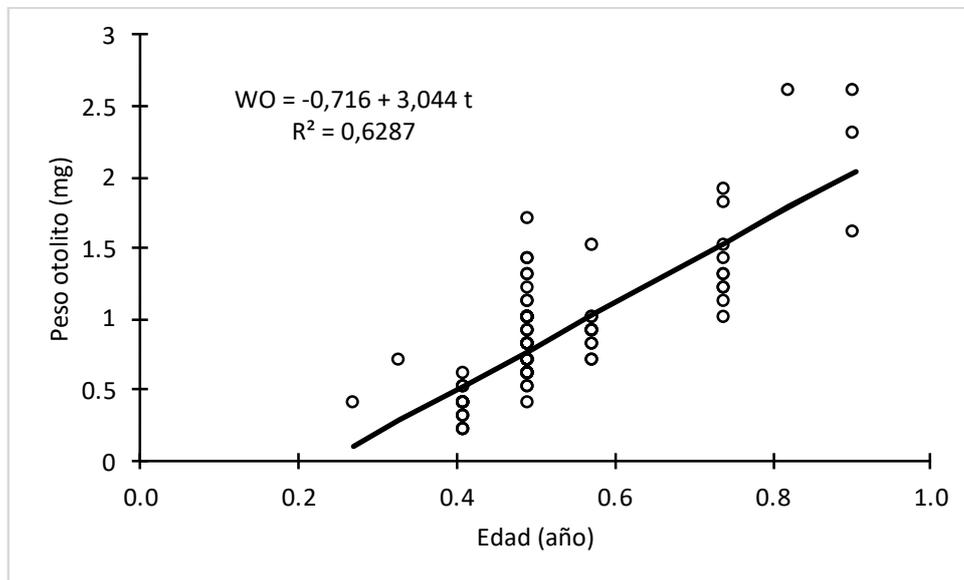


Figura 1. Relación entre la edad conocida de *S. lalandi* mantenidos en cautiverio y el peso del otolito.

Las edades estimadas mediante el peso del otolito para las muestras obtenidas de la pesca artesanal fluctuaron entre 0,8 y 5,7 años, de acuerdo con la tabla abajo.

Tabla 2: Variación global en los parámetros de crecimiento para diferentes especies de *Seriola* y *Seriola lalandi* del norte de Chile *.

Especie	Loo (cm)	Tipo Longitud	K (año ⁻¹)	t0 (años)	Rango edad	Método	Localidad	Fuente
<i>S. dumerili</i>	124,1	FL	0,28	-1,56	1 - 13	Lectura otolito	Atlántico, USA	Harris et al. (2007)
	138,9	FL	0,25	0,79	1 - 15	Lectura otolito	Golfo México	Thompson et al. (1999)
	149,3		0,314	0,042			Northwestern Hawaiian Islands	Humphreys (1986)
	110,9	FL	0,227	-0,719	1 - 15	Lectura otolito	Gulf of Mexico	Manooch and Potts (1997)
<i>S. lalandi</i>	110,8	FL	0,3091	-0,588			Japón	Shiraishi et al. (2010)
	125,2	FL	0,189	-0,735		MULTIFAN	Australia	Gillanders et al (1999)
	140,6	FL	0,096	-1,339		Lectura otolito	New Zealand	McKenzie et al. (2014)
	142	FL	0,13			Marcaje	New Zealand	McKenzie et al. (2014)
	106,4	FL	0,17	-2,75	1 - 8	Lectura otolito	South Africa	Dunn (2014)
	116,4		0,247	-0,708	1 - 29	Lectura otolito	New Zealand	Holdsworth et al. (2016) (male)
	131,1		0,173	-1,257	1 - 29	Lectura otolito	New Zealand	Holdsworth et al. (2016) (female)
	99,2	FL	0,59	0,86	0,27 - 5,7	Peso otolito	Chile	Presente estudio *

La relación entre longitud horquilla y peso otolito (como expresión de la edad) muestra que esta relación se ajusta una curva del tipo von Bertalanffy, es decir, el peso del otolito sigue creciendo, aunque la tasa de crecimiento en longitud disminuya, siendo el valor L_{∞} de 105,2 cm (Fig. 2).

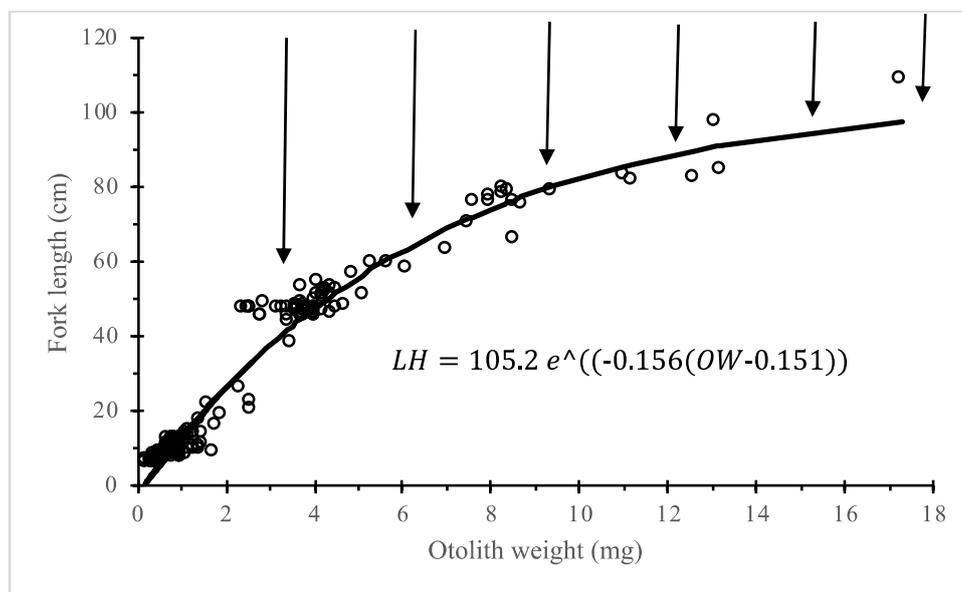


Figura 2. Relación entre el peso del otolito y la longitud horquilla (LH, cms) de *S. Lalandi* del norte de Chile. Las flecha indican el peso del otolito al momento de cumplir año.

De los cuatro modelos de crecimiento ajustados se obtuvo un rango del parámetro L_{∞} que varió entre 94,18 y 99,17, para el parámetro K en los modelos de vB y vB estacional fue de 0,17 y 0,59 respectivamente. El punto de inflexión estimado por la función de crecimiento de Gompertz y Logístico fue de 0,93 y 1,13 respectivamente (Fig. 3; Tabla 1). De acuerdo al criterio de información de Akaike y la información generada en el presente estudio, el mejor modelo que explica el crecimiento de *S. lalandi*, corresponde al vB estacional (Tabla 1).

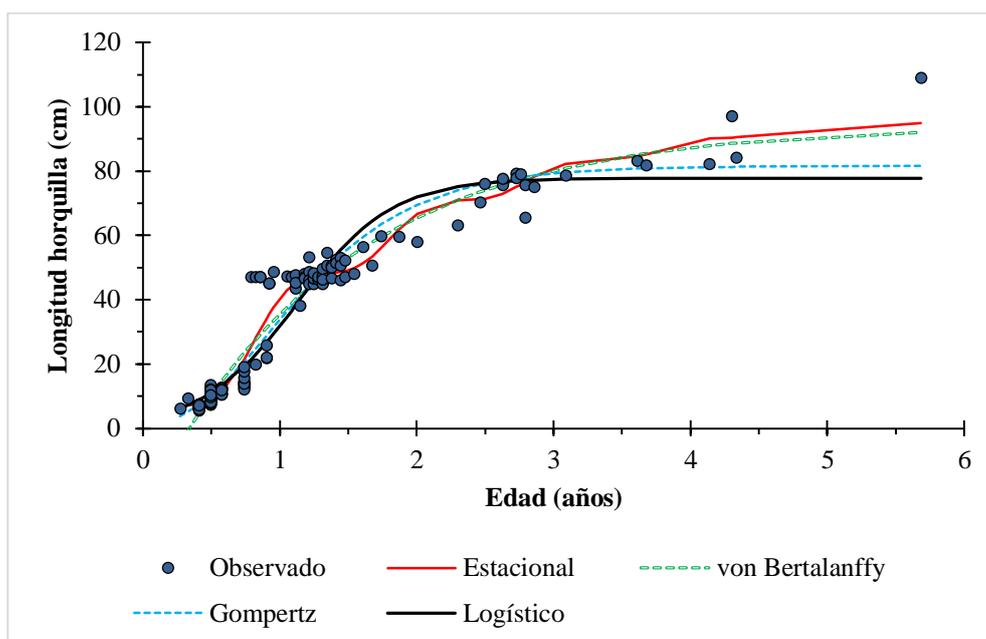


Figura 3. Relación entre la edad y longitud horquilla (LH) estimada para *Seriola lalandi* del norte de Chile, mostrando el ajuste de varios modelos: Estacional, von Bertalanffy, Gompertz y Logístico.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento, error estándar (e.e.), probabilidad y AIC estimados para los diferentes modelos: von Bertalanffy, Gompertz, Estacional y Logístico.

Modelo	Parámetro	Valor	e.e.	Valor-p	AIC
von Bertalanffy	L_{∞}	94,18	2,799	0,0001	602,08
	K	0,71	0,044	0,0001	
	t_0	0,34	0,012	0,0001	
Gompertz	L_{∞}	81,59	1,691	0,0001	630,11
	G	1,71	0,074	0,0001	
	t_0	0,93	0,021	0,0001	
Estacional	L_{∞}	99,17	3,279	0,0001	560,46
	K	0,59	0,042	0,0001	
	t_0	0,86	0,042	0,0481	
	C	0,91	0,146	0,0001	
	t_s	0,86	0,018	0,0001	
Logístico	L_{∞}	77,76	1,589	0,0001	673,42
	G	2,86	0,123	0,0001	
	t_0	1,13	0,023	0,0001	

Se obtuvo un valor del índice de rendimiento (Φ') de 3,80 y se comparó con los resultados obtenidos por otros autores, de otras regiones del mundo. El valor de índice de rendimiento calculado (Tabla 3) y las mediciones de Log L_{∞} y Log K (Figura 4), calzan muy bien con los obtenidos en los distintos estudios de *Seriola lalandi*.

Tabla 3: Variación global en los parámetros de crecimiento y rendimiento (Φ') para diferentes especies de *Seriola*, de otras regiones del mundo y de este estudio*, según el modelo de von Bertalanffy, procedente de Fishbase.

Especie	L_{∞} (cm)	Tipo Longitud	K	Φ'	Región	País
<i>Seriola lalandi</i>	125,2	LF	0,189	3,47	New South Wales	Australia
	184	LF	0,054	3,26	Of New South Wales	Australia
	94,18	LF	0,71	3,80	Norte de Chile*	Chile
<i>Seriola dumerili</i>	148	LT	0,136	3,47	Southern California	EE.UU
	174,6	LT	0,19	3,76	Donji Molunat Bay, Adriatic Sea	Croacia
	164	LF	0,174	3,67	South Florida	EE.UU
<i>Selar boops</i>	29	Ind	1,9	3,20	Davao Gulf	Philipina
<i>Selar crumenophthalmus</i>	28,5	LT	2	3,21	Camotes Sea	Philipina
Trachinotus falcatus	26,9	LT	1,35	2,99	Java Sea	Indonesia
	72,8	LF	0,39	3,32	Florida Keys (1995-97) and Tampa Bay (1990-95)	EE.UU
Trachurus capensis	78,4	LF	0,28	3,24	Florida Keys (1995-97) and Tampa Bay (1990-95)	EE.UU
	55	LT	0,11	2,52	ICSEAF Div. 1.3/1.4 (South-west African waters)	South Africa
Selene brownii	48,8	LT	0,556	3,12	off Orange River to East London	South Africa
	29,5	LT	0,61	2,72	Golfo de Salamanca	Colombia
Carangoides bajad	29,5	LS	0,61	2,72	Gulf of Salamanca	Colombia
	40,4	LF	0,598	2,99	off the coast of Abu Dhabi	United Arab Em
	57,7	SL	0,24	2,90	Shalateen, southern Red Sea	Egypt

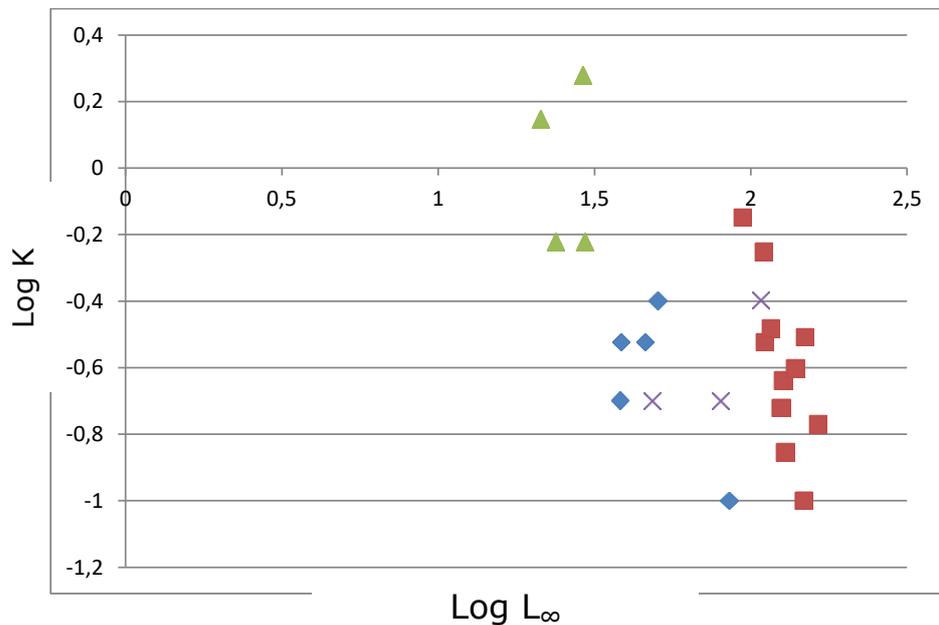


Figura 4. Relación Log L_{∞} y Log K, para algunos miembros de la familia Carangidae. Los colores: Rojo – miembros del género *Seriola*; Azul – miembros del género *Trachurus*; Verde – miembros del género *Selar*; X – miembros del género *Caranx*.

Discusión

El crecimiento de un pez se puede definir en su forma más simple como el cambio en la masa corporal a lo largo del tiempo a través de los resultados de los dos procesos antagónicos del anabolismo y el catabolismo (Pauly, 1984). El crecimiento en los peces varía mucho entre especies dependiendo de las estrategias de historia de vida y diversos factores ambientales como la temperatura, el oxígeno, los niveles de nutrientes, la abundancia de recursos (presas), y la densidad de depredadores (Helfman et al., 2009).

Morat et al. (2008) ha sugerido que el peso del otolito de un pez, estaría directamente relacionado con el tiempo vivido por este, lo que es un buen indicador para estimación de edad. Más aún cuando se ha demostrado que no hay diferencias significativas en la relación longitud pez - peso del otolito para machos y hembras (Thompson et al., 1999; Shiraishi et al., 2010 y Dunn, 2014); y por lo tanto, en este estudio, no se analizó la información separadamente por sexo.

El supuesto que subyace al utilizar el peso del otolito, es que este es un buen predictor del tiempo vivido por el pez. El método se basa en que después de un cierto tamaño alcanzado por el otolito, éste no sigue incrementando en longitud o ancho, sino que continúa incrementándose en espesor, y por ende, en peso con la edad del pez (Boehlert, 1985).

A pesar que el peso del otolito entrega una simple y barata aproximación de la edad en algunas especies, es necesario tener precaución debido a que en clases de edades más viejas de algunas especies, pueden exhibir considerable variabilidad en el peso del otolito con respecto a la edad (Andrews et al., 2011, 2013), situación que habría que evaluar para *S. lalandi* ampliando en el futuro el rango de talla de los peces.

Por otra parte, el poder predictivo se podría mejorar incorporando otros atributos asociados con la morfología del otolito. Por ejemplo, más del 90% de las edades de *Sardinella aurita*

(Pawson, 1990), *Nototheniops mudifrons* (Radtke y Hourigan, 1990) y *Makaira nigricans* (Wilson et al., 1991) han sido correctamente estimadas utilizando una combinación peso y tamaño del otolito. Bermejo (2014) obtiene gran exactitud al clasificar la edad de *Gadus morhua* combinando simultáneamente el peso, longitud y forma del otolito con otras características biológicas del pez como longitud, peso y sexo.

Es de destacar que los valores de L_{∞} obtenidos a partir de la relación longitud horquilla - peso del otolito (105,2 cm) no necesariamente serán similares a los obtenidos a partir de las funciones analizadas, ya que no hay una relación exacta entre peso del otolito y edad. En este estudio, se ajustaron varios modelos para describir el crecimiento de *S. lalandi*, como von Bertalanffy, Gompertz, Logístico y vB Estacional, encontrando que el mejor ajuste se obtiene con el modelo de crecimiento estacional.

La relación entre edad y la talla produce una curva que tiende a la asíntota a medida que los peces envejecen, la forma de esta curva depende en gran medida de las características de crecimiento de la especie (Helfman et al., 2009). Para obtener una representación precisa de la curva de crecimiento de una especie, todas las clases de edad y tamaño deben estar presentes. Clases mal representadas o ausentes darán lugar a que la curva sea ponderada hacia clases de edad y tamaño con datos suficientes (Dunn, 2014). En este estudio, se encontraron parámetros de crecimiento verosímil a los encontrados en estudios anteriores de *Seriola lalandi* (Manooch y Potts, 1997; Gillanders et al., 1999; Harris et al., 2007; Shiriashi et al., 2010; Dunn, 2014 y Holdsworth et al., 2016).

El índice de rendimiento se basa en la relación entre dos parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, K y L_{∞} , y proporciona un índice comparable (Munro y Pauly, 1983). La relación entre estos dos parámetros es antagónica, mientras más grande es L_{∞} menor es el valor de K (Alvarez-Lajonchere e Ibarra-Castro, 2012). K y L_{∞} pueden mostrar grandes niveles de variación entre las poblaciones, mientras que el índice de rendimiento varía menos entre las poblaciones y puede servir como una herramienta más significativa en las comparaciones de crecimiento (Munro y Pauly, 1983). La Tabla 3 muestra el índice de rendimiento y los parámetros de crecimiento K y L_{∞} encontrado en los diferentes estudios de la familia Carangidae y el valor del índice es relativamente consistente a esta especie considerada de crecimiento rápida. A respecto, Pauly (1979) señala que el rendimiento de crecimiento promedio de todas las especies documentadas fue 2 y cualquier valor por encima, se considera un crecimiento rápido.

Finalmente, cabe señalar que este estudio de estimación de la edad y crecimiento en *Seriola lalandi* usando el peso del otolito representa el único que hay sobre esta especie en el mundo. Los resultados de este estudio, proporcionarán información acerca de las variables de la historia de vida de esta población y una base biológica para establecer medidas de manejo de este importante recurso en el Norte de Chile.

Conclusiones

El peso promedio de los otolitos de *Seriola lalandi* aumentó con la edad, en todo el rango de edad muestreado en este estudio, indicando el potencial del peso como método alternativo para la estimación de edad y crecimiento en los peces, además de proporcionar un método rápido y económico como ha sido señalado.

El modelo de ajuste que mejor describe el crecimiento de *S. lalandi*, en este estudio fue el modelo de crecimiento con fluctuación estacional.

La tasa de crecimiento del peso de otolito sigue siendo lineal con relación a longitud del pez aun cuando este tiende a la asíntota.

El índice de rendimiento Φ , estimado en este estudio para *Seriola lalandi* concuerda con lo esperado para una especie de crecimiento rápido.

Referencias bibliográficas

- Alvarez-Lajonchere, L., Ibarra-Castro, L. 2012. Relationships of maximum length, length and first sexual maturity and growth performance index in nature with absolute growth rates of intensive cultivation of some tropical marine fish. *Journal of the World Aquaculture Society*. 43, 607-620.
- Andrews, A.H., Kalish, J.M., Newman, S.J., Johnston, J.M. 2011. Bomb radiocarbon dating of three important reef-fish species using Indo-Pacific 14C chronologies. *Marine and Freshwater Research*. 62, 1259–1269.
- Andrews, A.H., Leaf, R.T., Rogers-Bennett, L., Newman, M., Hawk, H., Cailliet, G.M. 2013. Bomb radiocarbon dating of the endangered white abalone (*Haliotis sorenseni*): investigations of age, growth and lifespan. *Marine and Freshwater Research*. 64, 1029–1039.
- Araya, M., Cubillos, L.A., Guzmán, M., Peñailillo, J., Sepúlveda, A. 2001. Evidence of a relationship between age and otolith weight in the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols). *Fisheries Research*. 51, 17-26.
- Baxter, J.L. 1960. A study of the yellowtail *Seriola dorsalis* (GILL). State of California Department of Fish and Game. *Fisheries Bulletin*. 110-96.
- Beamish, R.J, McFarlane, G.A. 1995. A discussion of the importance of aging errors, and an application to Walleye Pollock: the world's largest fishery. Pages 545–565 in D. H. Secor, J. M. Dean, and S. E. Campana, editors. *Recent developments in fish otolith research*. University of South Carolina Press, Columbia.
- Beamish, R.J. 1979. Differences in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otoliths and sections of otoliths. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 36, 141-151.
- Bermejo, S. 2014. The benefits of using otolith weight in statistical fish age classification: a case study of Atlantic cod species. *Comput Electron Agric*. 107, 1–7.
- Bilton, H. 1974. Effects of starvation and feeding on circulus formation on scales of young sockeye salmon of four racial origins, and of one race of young kokanee, coho and chinook salmon. In T. B. Bagenal (ed.), *The ageing of fish*. Unwin Brothers Ltd., Surrey, England. pp. 40–70.
- Blacker, R.W. 1974. Recent advances in otolith studies. In F. R. Harden Jones (editor). *Sea fisheries research*. Pages 67-90. John Wiley and Sons, N.Y.
- Boehlert, G.W. 1985. Using objective criteria and multiple regression models for age determination in fishes. *Fisheries Bulletin*. 83(2), 103–117.
- Brander, K. 1974. The effects of age-reading errors on the statistical reliability of marine fishery modelling. Pages 181–191 in T. B. Bagenal, editor. *The ageing of fish*. Unwin Brothers, Surrey, UK.
- Brothers, E.B. 1981. What can otolith microstructure tell us about daily and subdaily events in the early life history of fish? *Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*. 178, 393-394.

- Burnham, K.P., Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach. New York: Springer-Verlag.
- Campana, S.E., Neilson, J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 42, 1014–1032.
- Casselman, J.M. 1987. Determination of age and growth. In: Weatherley AH, Gdl HS (eds) *The biology of fish growth*, Chap 7. Academic Press, New York, p 209-242.
- Cruz-Agüero de la, J. 1997. Catálogo de los peces marinos de Baja California Sur. IPN. CICIMAR. CONABIO.
- Dunkelberger, D.G., Dean, J.M., Watabe, N., 1980. The ultrastructure of the otolithic membrane and otolith in the juvenile mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *J. Morph.* 163, 367–377.
- Dunn, K. 2014. The diet, reproductive biology, age and growth of yellowtail, *Seriola lalandi*, in South Africa. University of Cape Town – South Africa.
- Dyer, B.S., Westneat, M.W. 2010. Taxonomy and biogeography of the coastal fishes of Juan Fernández Archipelago and Desventuradas Islands, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45 (S1), 589-617.
- Eschmeyer, W.N., Herald, E.S., Hammann, H. 1983. A field guide to Pacific coast fishes of North America. Houghton Mifflin, Boston.
- Ernst, P., Larsson, P.O., Rainer O., Schultz, N., 1995. Preliminary results of a comparative cod otolith age reading experiment carried out by scientist from Sweden and Germany in 1994.
- Fletcher, W.J. 1991. A test of the relationship between otolith weight and age for the pilchard *Sardinops neopilchardus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 48, 35-38.
- Fowler, A.J., Doherty, P.J. 1992. Validation of annual growth increments in the otoliths of two species of Damselfish from the southern Great Barrier Reef. *Aus. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 43, 1057–1068.
- Francis, R.I.C.C., Campana, S.E. 2004. Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61 (7), 1269–1284.
- Froese, R., Pauly, D. 2000. Editors. FishBase 2000: concepts, design and data sources. ICLARM, Los Baños, Laguna, Philippines. pp 344.
- Gillanders, B.M., Ferrell, D.J., Andrew, N.L. 1999. Ageing methods for yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*, and results from age and size based growth models. *Fisheries Bulletin*. 97, 812-827.
- Ghanbarzadeh, M., Soofiani, N.M., Keivany, Y., Taghavi-Motlagh, S.A. 2014. Use of otolith length and weight in age estimations of the kingsoldier bream, *Argyrops spinifer*, in the Persian Gulf. *Iran. J. Ichthyol.* 1 (1), 1–6.
- Hanson, S.D, Stafford, C.P. 2017. Modeling Otolith Weight using Fish Age and Length: Applications to Age Determination, *Transactions of the American Fisheries Society*. 146 (4), 778-790.
- Harris, J.P., Wyanski, D., White, D., Mikell, P., Eyo, B.P. 2007. Age, Growth, and Reproduction of Greater Amberjack off the Southeastern U.S. Atlantic Coast. *Transactions of the American Fisheries Society*. 136, 1534-1545.
- Helfman, S.G., Collette, B.B., Facey, D.E., Bowen, B.W. 2009. Early life history. In: *The diversity of fishes, biology, evolution and ecology*. Wiley-Blackwell, Oxford.

- Herrera, P. G.A. 2013. Expresión de catepsinas durante el desarrollo embrionario temprano en el pez dorado (*Seriola lalandi*, Valenciennes 1833). Proyecto Fondecyt Postdoctorado 3120211 y Pdach Área Genética Santiago, Chile.
- Holdsworth, J.C., McKenzie, J.R., Walsh, R.B.C .C., Maolagáin, Ó. 2016. Catch-at-age of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) caught by New Zealand recreational fishers 2014–15 New Zealand Fisheries Assessment Report 2016/45.
- Humphreys, R. L. 1986. Carangidae—greater amberjack. In R. N. Uchida and J. H. Uchiyama (eds.). Fishery atlas of the north western Hawaiian Islands. p. 100–101. U.S. Dep. Commer., NOAA Technical Report, NMFS 38.
- Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., Mcglade, J.M., Payne, N.R. 1981. Stock identification: materials and methods. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 38, 1838 – 1855.
- Kanjuh, T., Mrdak, D., Piria, M., Tomljanovic, T., Joksimovic, A., Talevski, T., Milosevic, D. 2018. Relationships of Otolith Dimension with Body Length of European Eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) from Adriatic catchment of Montenegro. ACTA ADRIATICA. 59 (1), 91 – 96.
- Khan, M.A., Nazir, A., Banday, U.Z. 2018. Utility of otolith weight to estimate age of Labeo bata (Actinopterygii: Cypriniformes: Cyprinidae) inhabiting the Ganga River. Acta Ichthyol. Piscat. 48 (3), 257–260.
- La Mesa, M., Scarcella, G., Grati, F., Fabi, G. 2010. Age and growth of the black scorpionfish, *Scorpaena porcus* (Pisces: Scorpaenidae) from artificial structures and natural reefs in the Adriatic Sea. Scientia Marina. 74, 677-685.
- Lepak, M.J., Cathcart, N.C., Hooten, B.M. 2012. Otolith Weight as a Predictor of Age in *Kokanee Salmon* from Four Colorado Reservoirs. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.
- Limidoro, R.J. 2013. Expresión de enzimas involucradas en la adquisición de la flotabilidad de huevos y embriones de *Seriola lalandi*. Proyecto Fondecyt 11140639 Santiago, Chile.
- Manooch, C.S., Potts, J.C. 1997. Age, growth, and mortality of greater amberjack, *Seriola dumerili*, from the U.S. Gulf of Mexico Headboat Fishery. Bulletin of Marine Science. 61(3), 671–683.
- Marshall, S.L., Parker, S.S. 1982. Pattern identification in the microstructure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 39, 542-547.
- Masuda, H., Allen, G.R. 1993. Meeresfische der Welt – Groß-Indopazifische Region. Tetra Verlag, Herrenteich, Melle, 528 pp.
- Matus, E.M. 2016. Diversidad genética y éxito reproductivo del Jurel de Castilla *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833) en cautiverio. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- McKenzie, J.S., Watson, M., Francis, T., Malcolm, Ó.M., Poortenaar, C. C., Holdsworth, J. 2014. Age, growth, maturity and natural mortality of New Zealand kingfish (*Seriola lalandi*). New Zealand Fisheries Assessment Report 2014/03. 36 p.
- Mitani, F., Sato, T. 1959. Studies on the growth and age of the yellowtail, *Seriola quinqueradiata* T. & S., found in Japan and the adjacent region—11. Estimation of age and growth from the opercula bone. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 8, 1371–1374.

- Morales-Nin, B. 1986. Microestructura de los otolitos de *Calamus brachysomus* Lockington, 1880 (Pisces: Sparidae) al microscopio electrónico de barrido. *Investigacion Pesquera*. 50, 479–487.
- Morales-Nin, B. 1992. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. *FAO: Documento técnico sobre la pesca*; 322. 58 p.
- Mosegaard, H., Svedang, H., and Taberman, K. 1988. Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 45, 1514-1524.
- Morat, F., Banaru, D., Mérigot, B., Batjakas, I. E., Betoulle, S., Vignon M., Lecomont-Finiger, R., Letourneur, Y. 2008. Relationships between fish length and otolith length for nine teleost fish species from the Mediterranean basin, Kerguelen Islands, and Pacific Ocean. *Cybiurn*. 32 (3), 265-269
- Mugiya, Y., Wataba, N., Yamada, J., Dean, J.M., Dumkelberger, D.G., Sjimazu, M. 1981. Diurnal rhythm in otolith formation in the goldfish (*Carassius auratus*). *Comparative Biochemistry and physiology*. 68^a, 659-662.
- Munro, J.L., Pauly, D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*. 1, 5-6.
- Nakada, M. 2008. Capture-based aquaculture of yellowtail. *Capture-based aquaculture. Global overview. FAO Fisheries Technical Paper*. 508, 199–215.
- Nazal, G.T. 2004. Periodicidad en la formación de los anillos en otolito y estimación de los parámetros de crecimiento de *Helicolenus legerichi* (Norman, 1937) en la X region, Chile. *Facultad de Ciencias Escuela de Biología Marina - Universidad Austral de Chile*.
- Neilson, J.D., Geen, G.H. 1982. Otoliths of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): daily growth increments and factors influencing their production. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 39, 1340–1347.
- Nishioka, J., Inoue, H., Kawagishi, M., Iizuka, S., Sinoda, M. 1985. On results of measurement of vertebral centrum by means of replica method. *Bulletin for the Kyoto Institute of Oceanographic. Fisheries Science. Kyoto Kaiyo Senta Kenpo*. 9, 5–10.
- Blacio, E., Noboa, A. 2002. Diversificación: Propuesta de Selección de Peces y Moluscos con potencial de cultivo. *Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas “Edgar Arellano M.”*
- Ottolenghi, F., Silvestri, C., Giordano, P., Lovatelli, A., New M. B. 2004. Capture-based aquaculture. The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails. *FAO, Rome, Italy*.
- Pannella, G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science, New York*. 173, 1124-1127.
- Pannella, G. 1974. Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In T.B. Bagenal (ed). *The ageing of fish*. Unwin Brothers Ltd. England. 28-39.
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. *Berichte des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel* 63.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. *ICLARM Studies & Reviews*. 8, 1–325.
- Pauly, D. y L. Munro. 1984. Once more on growth comparison in fish and vertebrates. *Fishbyte*, 2, 1-21.

- Pawson, M.G. 1990. Using otolith weight to age fish. *Journal Fisheries of the Biol.* 36, 521-531.
- Poortenaar, C.W., Hooker, S.H., Sharp, N. 2001. Assessment of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) reproductive physiology, as a basis for aquaculture development. *Aquaculture*. 201, 271– 286.
- Proctor, C.H., Thresher, R.E., Gunn, J.S., Mills, D.J., Harrowfield, I.R., Sie, S.H. 1995. Stock structure of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*: an investigation based on probe microanalysis of otolith composition. *Marine Biology*. 122, 511–526.
- Radtke, R.L. Dean, J.M. 1982. Increment formation in the otolith of embryos, larvae and juveniles of the mummichong, *Eundulus heteroclitus*. *Fisheries. Bulletin. U.S.* 80, 201-215.
- Radtke, R.L., Fine, M.L., Bell, J. 1985. Somatic and otolith growth in the oyster toadfish (*Opsanus tau* L.) *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*. 90 (3), 259–275.
- Radtke, R.L., Hourigan, T.F. 1990. Age and growth of the Antarctic fish *Nototheniops mudifrons*. *Fish. Bull. US.* 88, 557-571.
- Sepulveda, F.A., Gonzalez, M.T. 2017. Spatio-temporal patterns of genetic variations in populations of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* from the south-eastern Pacific Ocean and potential implications for its fishery management. *Journal of Fish Biology*. 90, 249-64.
- Sernapesca. 2012. Anuario estadístico de pesca. En línea.
- Sernapesca. 2015. Anuario estadístico de pesca. En línea.
- Shiraishi, T., Ohshimo, S., Yukami, R. 2010. Age, growth and reproductive characteristics of gold striped amberjack *Seriola lalandi* in the waters off western Kyushu, Japan. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 44, 117-127.
- Simkiss, K. 1974. Calcium metabolism of fish in relation to ageing. In T.B. Bagelal (ed). *Ageing of fish*, unwin Brothers Ltd. Surrey, England. 1-12.
- Smith, A.K. 1987. Genetic variation in marine teleosts: a review of the literature and genetic variation and dispersal of the yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*, from New South Wales waters. Unpublished BSc Hon thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Smith-Vaniz, W.F., Quéro, J.C., Desoutter, M., 1990. Carangidae. In: Quéro, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L., 1990. Check list of the eastern tropical Atlantic. Paris, Unesco. Vol. 2
- Stewart, J., Ferrell, D. J., van der Walt, B., Johnson D., Lowry, M. 2001. Assessment of length and age composition of commercial kingfish landings. NSW Fisheries Final Report Series.
- Stewart, J., Ferrell, D., van der Walt, B. 2004. Sizes and ages in commercial landings with estimates of growth, mortality and yield per recruit of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) from New South Wales, Australia. *Marine and Freshwater Research*: 55, 489-497.
- Stuart, K., Drawbridge, M. 2013. Spawning and larval rearing of California yellowtail (*Seriola lalandi*) in Southern California. *Aquaculture Research*. 44, 10-1111.
- Swart, B.L. 2014. The evolutionary history of the genus *Seriola* and the phylogeography and genetic diversity of *S. lalandi* (yellowtail) across its distribution range. Stellenbosch University - South Africa.

- Thompson, B., Beasley, M., Wilson, C. 1999. Age distribution and growth of greater amberjack, *Seriola dumerili* from the north-central Gulf of Mexico. *Fisheries Bulletin*. 97, 362–371.
- Yule, D.L., Stockwell, J.D., Black, J.A., Cullis, K.I., Cholwek, G.A., Myers, J. T. 2008. How systematic age underestimation can impede understanding of fish population dynamics: lessons learned from a Lake Superior Cisco stock. *Transactions of the American Fisheries Society*. 137, 481–495.
- Watabe, N., Tanaka, K., Yamada, J., Dean, J.M. 1982. Scanning electron microscope observation of the organic matrix in the otolith of the teleost fish *Fundulus heteroclitus* and *Tilapia nilotica*. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*. 58, 127-139
- Williams, T., Bedford, B.C. 1974. Ageing of Fish. The use of otoliths for age determination T. B. Bagenal Unwin Brothers Ltd. Surey. 114-123.
- Wilson, C.A., Dean, J.M., Prince, E.D., Lee, D.W. 1991. An examination of sexual dimorphism in Atlantic and Pacific blue marlin using body weight, sagittae weight, and age estimates. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*. 151, 209-225
- Worthington, D.G., Doherty, P.J., Fowler, A.J. 1995a. Variation in the relationship between otolith weight and age: implications for the estimation of age of two tropical damselfish (*Pomacentrus moluccensis* and *P. wardi*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52, 233-242.
- Worthington, D.G., Fowler, A.J., Doherty, P.J. 1995b. Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52, 2320-2326.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.