

Edad y crecimiento del pez *Fundulus lima* (Cyprinodontiformes: Fundulidae) en el río La Purísima, Baja California Sur, México

Gorgonio Ruiz-Campos^{1*}, Violeta Belinda Arista Palacios² & Asunción Andreu-Soler²

1. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Tijuana-Ensenada N.º 3917, 22860, Ensenada, Baja California, México; gruiz@uabc.edu.mx
2. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Tijuana-Ensenada N.º 3917, 22860, Ensenada, Baja California, México; aristavioleta@gmail.com, asun@um.es

* Correspondencia

Recibido 10-IV-2019. Corregido 24-VI-2019. Aceptado 30-IX-2019.

ABSTRACT. Age and growth of the fish *Fundulus lima* (Cyprinodontiformes: Fundulidae) in La Purísima River, Baja California Sur, Mexico. **Introduction:** The study of age and growth in fishes is a basic prerequisite to generate information on longevity, growth rates, population structure, among other attributes, all of them for the application of policies focused on the population management and conservation. We evaluated these attributes in the endangered Baja California killifish (*Fundulus lima*) that inhabits the oases of Baja California Sur, Mexico, with the perspective of generating base information for the conservation of this endemic fish. **Objective:** To determine the age, somatic growth and population structure of *F. lima* in one of the most important hydrological basins of its distribution range. **Methods:** From October 2002 to July 2004 we sampled for *F. lima* in 3 sites of La Purísima river by using passive and active collection methods. Individuals were measured and weighed in the field, where subsamples were selected for analysis of age based on scales. All of the individuals were released alive to its original sites of capture. We assessed the age, length-weight and length-length relationships and population structure on the basis of 802 individuals examined by non-invasive techniques. **Results:** The somatic growth of *F. lima* was of positive allometric type ($b > 3.0$) in all the populations studied, with values of “b” ranging from 3.126 (Ojo de Agua) to 3.420 (El Pílon). Three age class (0, 1 and 2 years old) were recognized, of which the age 1 year was the most frequent (49 %). The polymodal method based on length-frequency data also identified three age classes. Back-calculated total lengths at previous ages based on increments of growth in scales were 38.61 and 68.81 mm for individuals of 1 and 2 years, respectively. **Conclusions:** Three age classes (0, 1 and 2 years old) were determined for the populations of *F. lima* in La Purísima river, based on the interpretation of annual growth rings in scales and in the modal distribution of observed length frequencies. All the populations examined showed a positive allometric growth ($b > 3.0$).

Key words: age, growth, Baja California killifish, Baja California Sur, oases.

Ruiz-Campos, G., Arista Palacios, V. B., & Andreu-Soler, A. (2019). Edad y crecimiento del pez *Fundulus lima* (Cyprinodontiformes: Fundulidae) en el río La Purísima, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1461-1472.

La sardinilla peninsular (*Fundulus lima*) es una de las tres especies de peces dulceacuícolas endémicas de la península de Baja California, México, con distribución en los oasis sudcalifornianos de la vertiente del Pacífico, desde el río San Ignacio hasta el río las Pocitas (Ruiz

Campos et al., 2014a). En las últimas décadas, las poblaciones de *F. lima* han disminuido drásticamente en gran parte de su ámbito de distribución geográfica. Esta disminución es una consecuencia de la competencia con especies icticas exóticas que habitan dentro de la misma

región, y ha contribuido a su clasificación actual como especie en peligro de extinción en México (Ruiz-Campos et al., 2006a, 2014a; SEMARNAT, 2010).

Actualmente, la información de edad es una parte integral y necesaria en los estudios poblacionales de peces, debido a que son utilizados regularmente para la evaluación de la dinámica poblacional (crecimiento, mortalidad y reclutamiento) y la estructura de la población explotable, entre otros; resultando esenciales para el desarrollo de modelos analíticos de evaluación de poblaciones (Maceina et al., 2007; Quist, Pegg, & DeVries, 2012; Paukert & Spurgeon, 2017). Uno de los métodos más utilizados para la determinación de edad de los peces óseos son las escamas cicloideas (Quist et al., 2012; McInerny, 2017); las cuales son fáciles de extraer y procesar, especialmente en individuos de longevidad reducida como los Cyprinodontiformes (Jearld, 1983). Diversos autores han observado que se obtiene una mayor precisión en la determinación de la edad de peces al utilizar otolitos en lugar de escamas, sin embargo, este método requiere que los peces sean sacrificados; por lo que el uso de técnicas no letales es considerado como la primera opción en muchos estudios referentes a especies con problemas de conservación (Morehouse, Donabauer, & Grier, 2013; McInerny, 2017).

A pesar de que ya se conocen diversos aspectos sobre la historia de vida de *F. lima* (Ruiz-Campos, 2012; Castro-Aguirre, Ruiz-Campos, & Varela-Romero, 2016), aparentemente todavía no existe información que describa aspectos relativos a la estructura por edad y longevidad de dicha especie. El conocimiento acerca de la edad, crecimiento y estructura poblacional de la sardinilla peninsular, junto con la información previamente generada sobre su historia de vida y hábitat, son de suma importancia como apoyo a programas de conservación de la especie.

En el presente estudio, se determinó la longevidad y la estructura poblacional por edad de este pez endémico en una de las cuencas hidrológicas más importantes de su ámbito de

distribución (río La Purísima), además de algunos aspectos de su crecimiento somático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El río La Purísima se origina en la parte occidental de la cadena montañosa de la Sierra La Giganta. Se le considera una corriente de tipo perenne, siendo ésta la más grande del estado sudcaliforniano. Tiene una longitud aproximada de 32 km y fluye a través de las localidades de La Mochila, La Pintada, Huerta Vieja, Carambucho, San Isidro, La Purísima, El Sauzalito, Los Corrales y San Gregorio, para finalmente llegar al estuario San Gregorio (Ruiz-Campos, 2012).

En el río La Purísima, la salinidad incrementa de río arriba (Ojo de Agua) a río abajo (La Purísima), con un intervalo de variación entre 0.1 y 1.0 ‰ (Ruiz-Campos et al., 2006a). El clima en esta cuenca se caracteriza por ser extremo, muy seco, semicálido y con lluvias en invierno, que de acuerdo con la clasificación climática utilizada por Coria (1997), corresponde al tipo BW (h³): muy seco, muy cálido; y BWh: muy seco, semicálido. La temperatura media anual oscila entre los 18 y 24 °C y la precipitación total anual no supera los 100 mm (Arriaga-Cabrera, Aguilar-Sierra, & Alcocer-Durand, 2000).

La vegetación ribereña está conformada por carrizo (*Phragmites australis*), mezquite amargo (*Prosopis articulata*), junco (*Scirpus californicus*), palma de abanico (*Washingtonia robusta*) y junco espinoso (*Juncus acutus*) (Ruiz-Campos et al., 2014b).

Medida de parámetros biológicos: Los muestreos para *F. lima* fueron realizados en tres localidades del río La Purísima entre octubre 2002 y julio 2004 (Fig. 1), incluyendo meses lluviosos (31 enero 2004) y secos (26 octubre 2002, 8 febrero 2003 y 2 julio 2004). En cada localidad y fecha de muestreo, los peces fueron capturados de modo estandarizado con equipos de captura pasiva (trampas tipo “minnow” y una red agallera experimental con tramos de paño de 4.5 m longitud x 1.80 m altura y luz

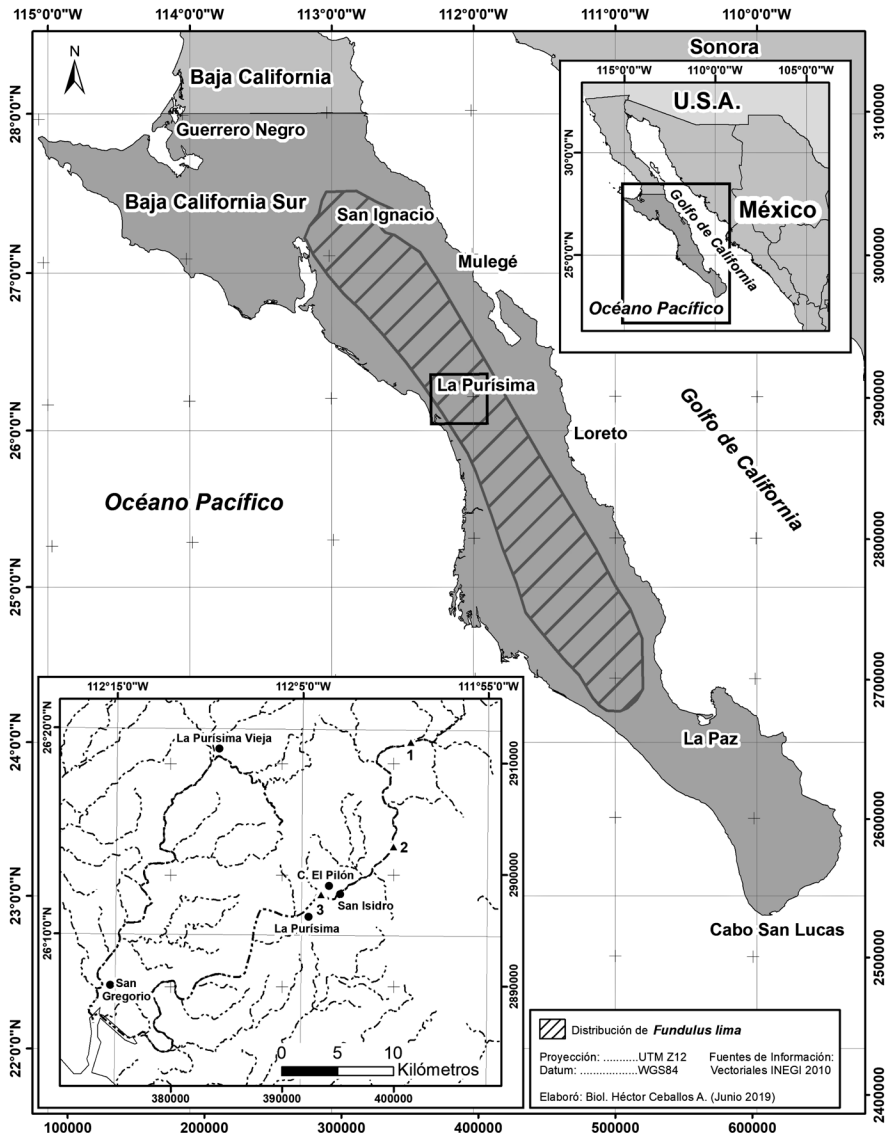


Fig. 1. Localidades de muestreos ictiológicos en el río La Purisima, Baja California Sur, México. Localidades: 1-Ojo de Agua, 2-Presa Carambuche, y 3-El Pílon.

Fig. 1. Localities of fish sampling in La Purisima river, Baja California Sur, Mexico. Localities: 1-Ojo de Agua, 2-Presa Carambuche, and 3-El Pílon.

de malla internodal de 0.5, 1.5, 3 y 4 pulgadas), y de captura activa (atarraya 4 m de diámetro y 1 pulgada de luz de malla, y chinchorro 7.8 m longitud x 1.9 m altura x 3.5 mm luz de malla). Para las trampas se utilizaron trozos de tortilla de maíz y malvaviscos como carnada.

Los ejemplares capturados fueron mantenidos vivos en contenedores de 20 litros para ser contados, medidos en longitud patrón (LP) y longitud total (LT) en milímetros, con un vernier digital (precisión 0.01 mm), y pesados con una balanza portátil (precisión 0.01 g). Todos

los peces fueron regresados vivos a los sitios de captura después de ser analizados.

De las muestras de peces antes referidas se seleccionaron ejemplares representativos de las diferentes tallas, a los cuales se les extrajeron de cinco a seis escamas de la región axilar, por ser ésta la región donde existe una menor posibilidad de encontrar escamas regeneradas (Jearld, 1983). Las escamas fueron colocadas en una solución de hidróxido de potasio al 5 % durante 5 minutos con el fin de remover cualquier porción de tejido. Posteriormente las muestras fueron lavadas con agua destilada y las escamas regeneradas (foco difuso) fueron descartadas. Finalmente, las escamas fueron colocadas en una laminilla o portaobjetos con una base de resina sintética y, sobre ellas, un cubreobjetos. Cada laminilla se rotuló con los datos de identidad del ejemplar en cuestión.

Las muestras de escamas fueron examinadas en un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi 2000-C, con una cámara AxioCam ICc5 integrada y conectado a una computadora; haciendo uso del programa computacional ZEN 2012 Blue Edition para capturar imágenes de las muestras de escamas que serían utilizadas en la interpretación de anillos de crecimiento, así como en la determinación de la relación entre el tamaño del organismo y la escama. Con el paquete de herramientas del programa Fiji (Schindelin et al., 2012) se tomaron medidas a las imágenes de escamas, considerándose las distancias del foco a cada marca de crecimiento y el radio total de la escama.

La determinación de la edad y retrocálculo de tallas fueron basados en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas, ya que este método ha sido debidamente validado y comúnmente utilizado para la determinación de la edad en peces de regiones con variación climática estacional (Maceina et al., 2007; McInerny, 2017). Utilizando los promedios de las mediciones realizadas a cada escama, se ajustó una relación lineal entre el radio de la escama y la longitud total del pez por el método de regresión lineal (Ricker, 1973): $LT = a + b \cdot RT$; siendo LT la longitud total del pez, RT el radio total de la escama, y “a” y “b” son constantes

estimadas a partir del modelo de regresión. La significancia de la relación entre el radio total de la escama y la longitud total del pez fue determinada por el coeficiente de correlación de Pearson (r , Sokal & Rohlf, 1981).

Las longitudes a edades pasadas fueron estimadas mediante el modelo de retrocálculo definido como $L_n = (S_n/S) \cdot L$; donde L_n es la longitud del pez cuando el anillo “n” fue formado, L es la longitud del pez cuando la muestra de escama fue obtenida, S_n el radio del anillo “n”, y S el radio total de la escama (Quist et al., 2012; Shoup & Michaletz, 2017).

En la determinación de la edad se tomó en cuenta el criterio internacional que consiste en estandarizar la fecha de nacimiento para los peces del hemisferio norte como el día 01 de enero (Jearld, 1983). Esto quiere decir que la marca de crecimiento de invierno que se está formando al margen de la escama es catalogada como anillo de crecimiento a partir del 01 de enero. Por otra parte, los juveniles de edad cero son aquéllos que se encuentran en su primer año de vida y su primer anillo aún no ha sido formado.

Con el propósito de determinar la estructura poblacional de *F. lima* a nivel de clases de talla, se analizaron los datos biométricos provenientes de los muestreos ictiológicos antes aludidos. La composición poblacional por localidad fue representada mediante histogramas de frecuencia de talla con una amplitud de clase de 2.5 mm. Para atribuir edades específicas a cada una de las modas se aplicó el método Bhattacharya (1967) mediante el programa FiSAT (Fish Stock Assessments Tools) (Gayanilo, Sparre, & Pauly, 1996). Este método distingue entre las diferentes modas que conforman la distribución polimodal y permite estimar los valores medios de cada una.

La relación entre el peso (W) y la longitud patrón (LP) de *F. lima* se calculó utilizando la ecuación de potencia $W = aLP^b$; donde W = peso calculado (g), LP = longitud patrón del espécimen (mm), a y b son los parámetros estimados por el análisis de regresión. Para expresar el peso del pez como una función de su longitud se estimó de manera análoga la

relación peso-longitud mediante la regresión lineal $W = a + bLP$ (Ricker, 1975).

La relación longitud patrón (LP) y longitud total (LT) de los individuos de *F. lima* fue estimada mediante una regresión lineal, $LT = a + bLP$, donde la variable a predecir fue la longitud total (LT). Todas las ecuaciones previamente referidas fueron computarizadas con el programa XLSTAT 2018.5, siguiendo los procedimientos descritos por Ruiz-Campos, Ramírez-Valdez, González-Guzmán, González-Acosta, & Acosta-Zamorano (2010). Una prueba “t de Student” fue aplicada para determinar si el crecimiento somático en cada población es alométrico ($b \neq 3.0$) o isométrico ($b = 3.0$) (Sokal & Rohlf, 1981).

RESULTADOS

Se registraron datos biométricos (longitud total, longitud patrón y peso) de un total de 802 ejemplares de *F. lima*. El número de individuos capturados varió entre localidades y fechas de muestreo, lo cual indica la variabilidad estacional en la abundancia de la especie (Tabla 1).

La interpretación de la edad en escamas y el análisis del radio de la escama-longitud patrón de los ejemplares se realizó únicamente

en muestras selectas de organismos recolectados en las localidades de El Pílon ($n = 25$), Ojo de Agua ($n = 29$) y Presa Carambuche ($n = 27$). La relación entre el radio total de la escama (RT) y la longitud total (LT) mostró una relación proporcional directa tal como lo expresa la ecuación $LT = 23.265 + 27.459*RT$, con un coeficiente de correlación significativo (Pearson, $r = 0.832$, $P < 0.001$). Lo anterior permite el uso de las escamas para estimar la talla de este pez en edades pretéritas. Los valores promedio y su desviación estándar (SD) obtenidos para las longitudes totales observadas y retrocalculadas fueron, de modo respectivo, de 53.81 mm (SD= 7.42) y 38.61 mm (SD= 9.18) para individuos de 1 año de edad ($n = 34$), y de 62.84 mm (SD= 7.26) y 68.81 mm (SD= 8.6) para individuos de 2 años de edad ($n = 16$).

La interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas mostró que la población de *F. lima* que habita en el río La Purísima está compuesta por, al menos, tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años) (Fig. 2); donde los individuos de edad 0+ mostraron círculos (*circuli*) de crecimiento bastante espaciados (Fig. 2A), mientras que aquéllos de edad 1+ y 2+ exhiben sus respectivos anillos de crecimiento anual (Fig. 2B, Fig. 2C). Del total de muestras

TABLA 1
Número de individuos de *Fundulus lima* capturados en cada fecha y localidad de muestreo en el río La Purísima, Baja California Sur, México

TABLE 1
Number of individuals of *Fundulus lima* captured by collection date and locality in La Purísima river, Baja California Sur, Mexico

Localidad	Fechas de muestreo (d/m/a)	Número de ejemplares capturados por fecha	Total de ejemplares por localidad
El Pílon	07/02/2003	59	155
	29/01/2004	7	
	02/07/2004	89	
Ojo de Agua	27/10/2002	7	315
	08/02/2003	32	
	30/01/2004	8	
	01/07/2004	268	
Presa Carambuche	28/10/2002	56	332
	08/02/2003	112	
	30/01/2004	36	
	01/07/2004	128	

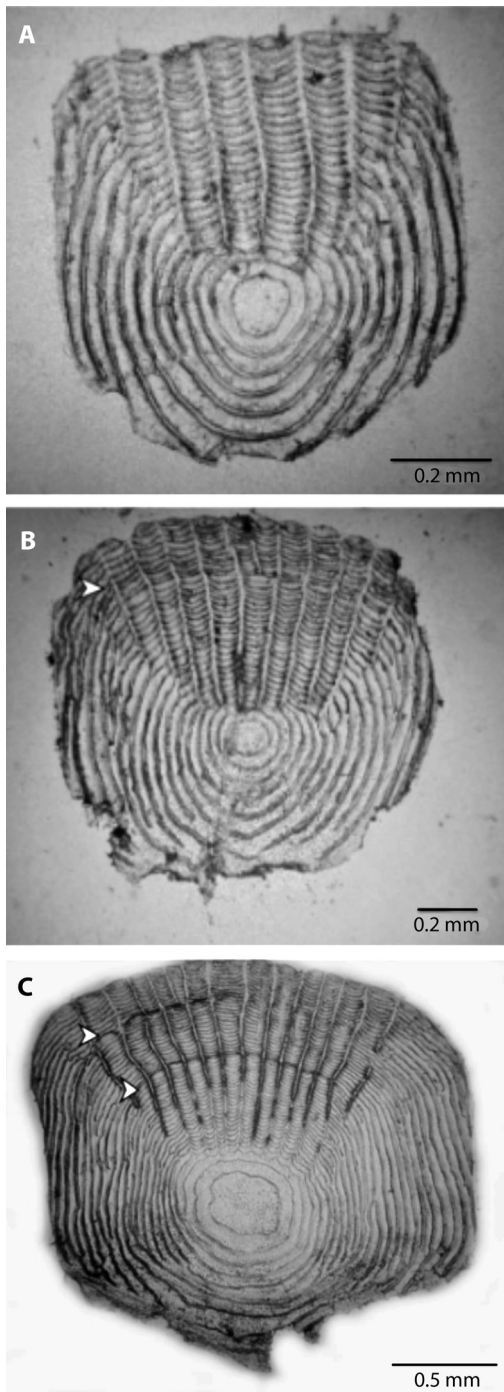


Fig. 2. Escamas de ejemplares de diferentes edades de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima* del río La Purísima, Baja California Sur, México. (A) 0 años, (B) 1 año, y (C) 2 años. El símbolo indica el anillo de crecimiento anual.

Fig. 2. Scales of specimens for different ages of Baja California killifish, *Fundulus lima* from La Purísima river, Baja California Sur, Mexico. (A) Age 0-year-old, (B) 1 year old, and (C) 2-year-old. The symbol indicates an annulus of annual growth.

de escamas analizadas ($n = 81$), únicamente fue posible determinar la edad en 71 de éstas, correspondiendo el 28.2 % a la clase de edad 0 +, 49.3 % a la clase de edad 1 +, y 22.5 % a la clase de edad 2 +.

El peso promedio observado por clases de edad en el río La Purísima fue 1.206 g (SD= 0.892) para edad 0 +, 2.398 g (SD= 1.002) para edad 1 +, y 9.381 g (SD= 3.272) para edad 2 +. De igual manera, la longitud total promedio por clases de edad fue 42.47 mm (SD= 9.34) para edad 0 +, 53.72 mm (SD= 7.52) para edad 1 +, y 82.01 mm (SD= 7.26) para 2 +.

La relación longitud patrón-peso estuvo determinada por la ecuación no lineal, $W = 0.00000768 * LP^{3.386}$ (Fig. 3); demostrándose un crecimiento de tipo alométrico positivo ($b > 3$; $t = 20.75$, $P < 0.01$). A nivel de población, los parámetros obtenidos a partir de los análisis de este tipo de regresión se presentan en la Tabla 2, donde todas las poblaciones mostraron un crecimiento de tipo alométrico positivo ($P < 0.01$) con valores de “b” entre 3.126 (Ojo de Agua) y 3.420 (El Pílon). Los valores de “b” fueron diferentes entre las poblaciones El Pílon y Ojo de Agua (t Student, 5.89, $P < 0.01$), así como entre la población El Pílon y Presa Carambuche (t Student, 5.130, $P < 0.01$); sin embargo, los valores de “b” entre las poblaciones Ojo de Agua y Presa Carambuche fueron similares (t Student, -1.67, $P > 0.05$).

Finalmente, los valores necesarios para realizar la conversión de longitud patrón (LP) a longitud total (LT) en cada una de las poblaciones, obtenidos mediante una regresión lineal simple, se ofrecen en la Tabla 3.

Los resultados del análisis polimodal de la distribución de frecuencias de tallas (longitud patrón [LP] en milímetros [mm]) en la totalidad de ejemplares procesados para todo el río y cada una de las tres localidades muestreadas se presentan en la Tabla 4. Tres clases de edad

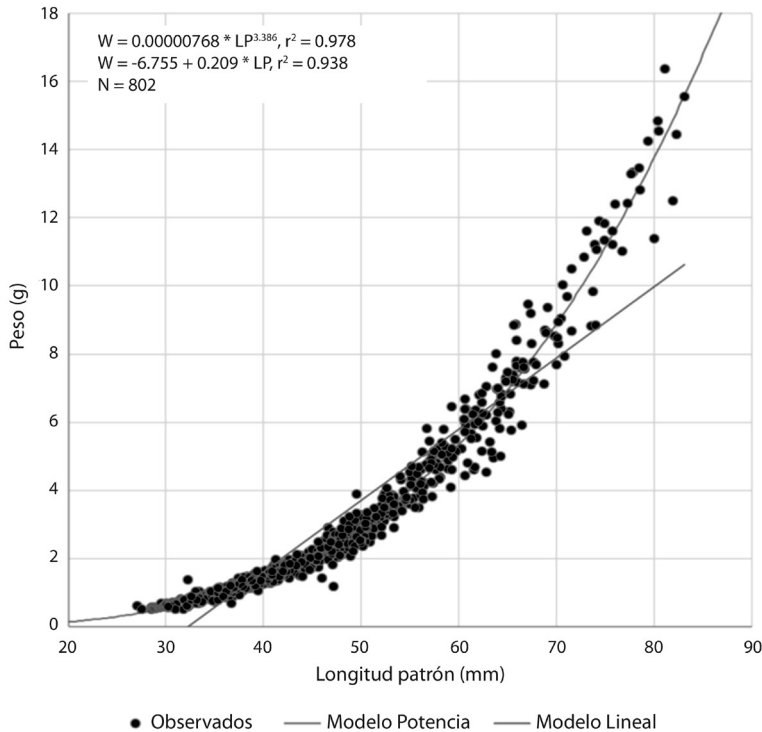


Fig. 3. Relación longitud-peso basada en las ecuaciones no lineal (potencial) y lineal para la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en el río La Purísima, Baja California Sur, México.

Fig. 3. Length-weight relationship based on the no linear (potential) and linear equations for Baja California killifish, *Fundulus lima*, in La Purisima river, Baja California Sur, Mexico.

TABLA 2

Parámetros de la relación longitud-peso de *Fundulus lima* del río La Purísima, Baja California Sur, México, basado en la regresión no lineal y regresión lineal

TABLE 2

Parameters of the length-weight relationship for *Fundulus lima* from La Purisima river, Baja California Sur, Mexico, based on no linear regression and linear regression

Ecuación no lineal							
Localidad	N	a	b	r ²	eab	t	α
El Pílon	155	0.00000438	3.420	0.978	0.0499	8.417	<0.01
Ojo de Agua	315	0.00001410	3.126	0.982	0.0227	5.55	<0.01
Presa Carambucho	332	0.00001263	3.164	0.964	0.0337	4.87	<0.01
Total	802	0.00000768	3.386	0.978	0.0186	20.75	<0.01
Ecuación lineal							
Localidad	N	a	b	r ²	Intervalo de confianza 95 % (b)		
					límite inferior	límite superior	
El Pílon	155	-10.760	0.283	0.954	0.268	0.297	
Ojo de Agua	315	-3.876	0.140	0.945	0.134	0.145	
Presa Carambucho	332	-6.847	0.207	0.950	0.200	0.215	
Total	802	-6.755	0.209	0.938	0.204	0.215	

r²= coeficiente de determinación, eab= error asintótico del parámetro b.

TABLA 3
Parámetros de la regresión para convertir la longitud patrón (LP) a longitud total (LT) de *Fundulus lima*, en tres localidades del río La Purísima, Baja California Sur, México

Localidad	N	a	b	r ²
El Pilón	155	1.151	0.134	0.993
Ojo de Agua	315	1.150	1.035	0.992
Presa Carambuche	332	1.155	-0.053	0.986
Total	802	1.138	1.089	0.992

TABLA 4
Grupos de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, identificados a partir de frecuencias de tallas mediante el método de Bhattacharya, en cada localidad de muestreo en el río La Purísima, Baja California Sur, México

Localidad	Grupo modal (clase de edad)	Media Longitud Patrón (mm)	Desv. Típ.	N	Índice de Separación
El Pilón	1 (clase 1+)	43.92	6.35	73	-
	2 (clase 2+)	65.06	8.67	88	2.81
Ojo de Agua	1 (clase 0+)	30.44	2.07	138	-
	2 (clase 1+)	43.47	6.17	169	3.16
Presa Carambuche	1 (clase 1+)	38.02	5.226	207	-
	2 (clase 2+)	51.62	6.07	154	2.41
Total	1 (clase 0+)	33.88	312	311	-
	2 (clase 1+)	45.84	5.46	351	2.79
	3 (clase 2+)	63.74	7.58	157	2.75

(0 +, 1 +, 2 +) fueron representadas a nivel de todo el río (las tres poblaciones combinadas), pero a nivel de localidad dos clases de edad estuvieron representadas en El Pilón (1 +, 2 +), Carambuche (1 +, 2 +) y Ojo de Agua (0 +, 1 +) (Fig. 4).

DISCUSIÓN

La interpretación de edad basada en anillos de crecimiento anual en escamas ha sido utilizada anteriormente en especies del género *Fundulus* (Carlander, 1969; Fritz, 1975; Samaritan & Schmidt, 1982; Welsh et al., 2013), donde los anillos formados representan condiciones de lento o nulo crecimiento por efecto de la

estación climática invernal. Así mismo, la relación lineal encontrada entre el radio total de la escama (RT) y la longitud total (LT) de *F. lima*, permite la utilización de la escama como una estructura confiable para la determinación de su edad (Shoup & Michaletz, 2017).

El modelo de retrocálculo de tallas a edades pretéritas mostró que las tallas promedio retrocalculadas son menores a las tallas observadas para los individuos de uno y dos años de edad. En este sentido, las longitudes promedio observadas son mayores debido a que éstas fueron basadas en las longitudes de individuos con “n” anillos completamente formados más los círculos (*circuli*) de crecimiento que se han adicionado después del último anillo anual.

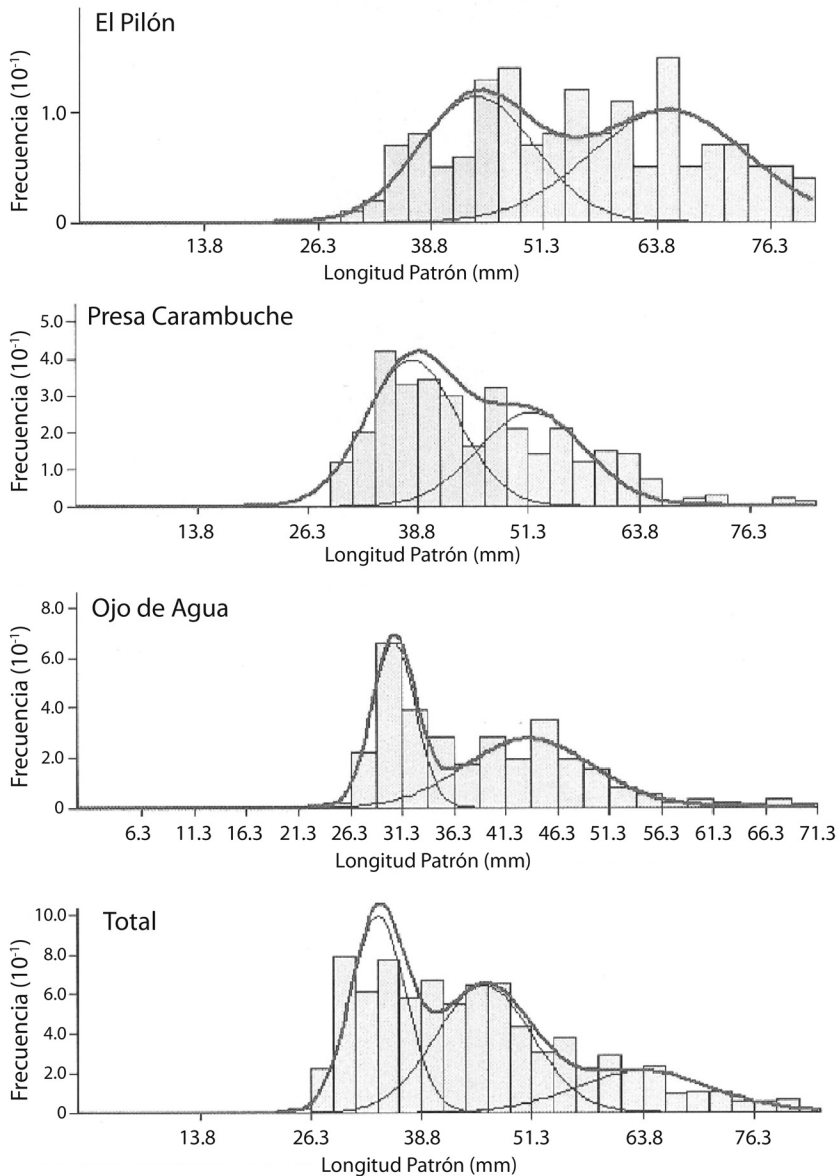


Fig 4. Análisis multimodal de la distribución de frecuencias de tallas de *Fundulus lima* capturados en el río La Purísima, Baja California Sur, México, a nivel de localidad y todas las localidades combinadas.

Fig. 4. Polimodal analysis of the length-frequency distribution of *Fundulus lima* captured in La Purísima river, Baja California Sur, Mexico, a level of locality and all the localities combined.

Por su parte, las longitudes retrocalculadas fueron basadas en las longitudes promedio de los individuos con “n” anillos anuales completamente formados. Esta situación forma parte de lo que se conoce como el fenómeno de Lee (Quist et al., 2012; Shoup & Michaletz, 2017)

junto con otras causas que están asociadas a errores de retrocálculo, muestreo sesgado, mortalidad diferencial o una combinación de éstas (Tarkan, Gaygusuz, Acipinar, & Gursoy, 2006).

El bajo número de clases de edad (0 +, 1 + y 2 + años), identificado a partir

de la interpretación de anillos en escamas, indica que *F. lima* del río La Purísima es una especie de longevidad corta con individuos que no alcanzan los tres años de vida. Casos de baja longevidad también han sido reportados en otras especies del género *Fundulus* como *F. parvipinnis* en las lagunas costeras y marismas del sur de California, U.S.A., donde los individuos llegan a vivir no más de 3 años (Fritz, 1975). La longevidad corta de la especie *F. lima* es una estrategia adaptativa concurrente entre los miembros de la familia Fundulidae que habitan en ambientes de zonas áridas con una dinámica estacional contrastante (Hrbek & Larson, 1999; Furness, 2016), tal como ocurre durante los períodos de lluvia y de secas en los oasis de la península de Baja California, México (Ruiz-Campos et al., 2006a).

De acuerdo con los resultados obtenidos, en promedio, un individuo de un año de edad mide 53.718 mm LT (SD= 7.518 mm) y pesa 2.398 g (SD= 1.002 g); y a los dos años de edad, un ejemplar de *F. lima* mide y pesa en promedio 82.010 mm LT (7.261 mm) y 9.381 g (SD= 3.272 g), respectivamente. Las tallas registradas en este trabajo son similares a las de otras especies del mismo género, tal es el caso de *F. heteroclitus*, especie con individuos de un año que miden entre los 18 y 67 mm LT e individuos de dos años que se encuentran entre los 40 y 77 mm LT (Samaritan & Schmidt, 1982); o bien *F. notatus* con individuos de un año con longitudes entre los 28 y 64 mm TL (Trautman, 1957).

La relación longitud patrón-peso de *F. lima* en el río La Purísima fue de tipo alométrico positivo ($b > 3$) en las tres poblaciones, oscilando entre 3.126 (Ojo de Agua) y 3.420 (El Pílon). La talla promedio de *F. lima* en la cuenca del río La Purísima es de 45.97 mm LP (SD= 12.07 mm); valor muy similar al promedio de 45.03 mm LP (SD= 12.31 mm) reportado para la cuenca del río San Ignacio (Ruiz-Campos, Camarena-Rosales, Reyes-Valdez, Torres-Balcázar, & Valles-Ríos, 2006b).

Las edades determinadas en los ejemplares con base en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas fueron congruentes

con aquellas derivadas del análisis polimodal de la distribución de frecuencia de tallas (método de Bhattacharya), siendo dominada en ambos casos por individuos de 1 año. En este contexto, los grupos modales identificados en el análisis polimodal son correspondientes a las diferentes clases anuales de la población, condición que funciona bien con especies de rápido crecimiento y de longevidad corta (Quist et al., 2012). Utilizando ambos métodos, Fritz (1975) registró una edad máxima de dos años para *F. parvipinnis*, especie hermana de *F. lima* en la provincia marina costera San Dieguina, con un máximo de tres clases de edad (0 +, 1 + y 2 +), siendo dominada por los individuos de un año.

En el contexto del manejo y conservación de esta especie endémica sudcaliforniana, la determinación de su estructura poblacional por edad y talla permitirá dar un seguimiento de la representación de la misma en un plano espacial (sitios de muestreo) y temporal (años o estaciones climáticas), específicamente para evaluar cambios en la intensidad y proporción de los grupos representados, su dinámica de reclutamiento, así como su capacidad de resiliencia a efectos de competencia por especies exóticas (Ruiz-Campos et al., 2006a) y factores ambientales tanto de orden natural como antrópico.

En suma, tres clases de edad (0, 1 y 2 años) fueron determinadas para las poblaciones de *F. lima* del río La Purísima, Baja California Sur, con base en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas y en la distribución modal de frecuencias de tallas observadas. Los individuos de 1 año conforman la clase de edad más abundante. Todas las poblaciones demuestran un crecimiento de tipo alométrico positivo ($b > 3.0$).

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección

de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a F. Camarena, C.A. Reyes, J. Echánove, R. Guzmán, A. Jullian, G. De León, I. Peraza, y R. Druck por su valioso apoyo durante los muestreos de campo, así como a M.L. Valles, C. Avena, K. Tinoco, A. Ramos, y D. Acosta por su apoyo en la obtención de datos biométricos de los peces examinados. Este estudio fue financiado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (proyecto SEMARNAT 173/A-1) y la Universidad Autónoma de Baja California (proyecto DGIP 1275). Los permisos de recolecta fueron otorgados por la Dirección General de Vida Silvestre (SGPA/DGVS-6559 y SGP/DGVS-05711).

RESUMEN

Introducción: El estudio de la edad y crecimiento en peces es un prerrequisito básico para generar información sobre la longevidad, tasas de crecimiento y estructura poblacional, entre otros atributos, todos ellos para la aplicación de políticas enfocadas en el manejo y conservación poblacional. Evaluamos estos atributos en la sardinilla peninsular en peligro de extinción (*Fundulus lima*) que habita los oasis de Baja California Sur, con la perspectiva de generar información base de este pez endémico. **Objetivo:** Determinar la edad, crecimiento somático y estructura de las poblaciones de *F. lima* en una de las cuencas hidrológicas más importantes de su ámbito de distribución. **Métodos:** De octubre 2002 a julio 2004 se muestreó *F. lima* en 3 sitios del río La Purísima por métodos de captura pasiva y activa. Los individuos fueron medidos y pesados en el campo, donde submuestras fueron seleccionadas para el análisis de la edad en escamas. Todos los individuos fueron liberados vivos a sus sitios originales de captura. Estimamos edad, relaciones longitud-peso y longitud-longitud, y estructura poblacional, basados en 802 individuos examinados por técnicas no invasivas. **Resultados:** El crecimiento somático de *F. lima* fue alométrico positivo ($b > 3.0$) en todas las poblaciones estudiadas, con valores de "b" variando de 3.126 (Ojo de Agua) a 3.420 (El Pilón). Tres clases de edad (0, 1 y 2 años) fueron reconocidas, de las cuales la edad 1 fue la más frecuente (49 %). El método polimodal basado en datos de frecuencia de tallas identificó tres clases de edad. Longitudes totales retrocalculadas

en edades previas basadas en incrementos de crecimiento en escamas fue entre 38.61 y 68.81 mm para individuos de 1 y 2 años, respectivamente. **Conclusiones:** Tres clases de edad (0, 1 y 2 años) fueron determinadas para las poblaciones de *F. lima* en el río La Purísima, basadas en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas y en la distribución modal de frecuencia de tallas observadas. Todas las poblaciones examinadas demostraron un crecimiento alométrico positivo ($b > 3.0$).

Palabras clave: edad, crecimiento, sardinilla peninsular, Baja California Sur, oasis.

REFERENCIAS

- Arriaga-Cabrera, L., Aguilar-Sierra, V., & Alcocer-Durand, J. (2000). *Agua continental y diversidad biológica de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Bhattacharya, C. G. (1967). A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. *Biometrics*, 23, 115-135.
- Carlander, K. D. (1969). *Handbook of freshwater fishery biology* (Vol. 1). Ames (Iowa): The Iowa State University Press.
- Castro-Aguirre, J., Ruiz-Campos, G., & Varela-Romero, A. (2016). *Fundulus lima* Vaillant, 1894, Sardinilla peninsular, Baja Killifish. En G. Ceballos, E. Díaz-Pardo, L. M. Estévez, & H. Espinosa-Pérez (Eds.), *Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción* (pp. 371-374). Ciudad De México: Fondo de Cultura Económica.
- Coria, S. (1997). Climatología. En L. Arriaga & R. Rodríguez-Estrella (Eds.), *Los oasis de la Península de Baja California* (pp. 27-34). La Paz, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Fritz, E. S. (1975). Life history of the California killifish *Fundulus parvipinnis* Girard, in Anaheim Bay, California. In E. D. Lane, & C. W. Hill (Eds.), *The marine resources of Anaheim Bay* (Fish Bulletin 65, pp. 91-106). California: California Department of Fish and Game.
- Furness, A. I. (2016). The evolution of an annual life cycle in killifish: adaptation to ephemeral aquatic environments through embryonic diapause. *Biological Reviews*, 91, 796-812.
- Gayanilo, F. C., Sparre, P., & Pauly, D. (1996). *The fao iclarm stock assessment tools (fisat). User's guide*. Rome: Fao Computerized Information Series (fisheries).
- Hrbek, T., & Larson, A. (1999). The evolution of diapause in the killifish family Rivulidae (Atherinomorpha, Cyprinodontiformes): a molecular phylogenetic and biogeographic perspective. *Evolution*, 53, 1200-1216.

- Jearld, A. (1983). Age determination. In L. A. Nielsen, & D. L. Johnson (Eds.), *Fisheries techniques* (pp. 301-324). Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Maceina, M. J., Boxrucker, J., Buckmeier, D. L., Gangl, R. S., Lucchesi, D. O., Isermann, D. A., Jackson, J. R., & Martínez, P. J. (2007). Current status and review of freshwater fish aging procedures used by state and provincial fisheries agencies with recommendations for future direction. *Fisheries*, 32(7), 329-340.
- McInerney, M. C. (2017). Scales. In M. C. Quist & D. A. Isermann (Eds.), *Age and growth of fishes: Principles and techniques* (pp. 127-158). Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Morehouse, R. L., Donabauer, S. B., & Grier, A. C. (2013). Estimating largemouth bass age: Precision and comparisons among scales, pectoral fin rays, and dorsal fin spines as nonlethal methods. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 12, 2-7.
- Paukert, C. P., & Spurgeon, J. J. (2017). Age structure. In M.C. Quist & D.A. Isermann (Eds.), *Age and growth of fishes: Principles and techniques* (pp. 221-232). Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Quist, M. C., Pegg, M. A., & DeVries, D. R. (2012). Age and growth. In A. Zale, D. Parrish, & T. Sutton (Eds.), *Fisheries techniques* (3rd Ed, pp. 677-731). Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Ricker, W. E. (1973). Linear regression in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30, 409-434.
- Ricker, W. E. (1975). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Ottawa, Ontario: Fisheries Research Board of Canada.
- Ruiz-Campos, G., Camarena-Rosales, F., Contreras-Balderas, S., Reyes-Valdez, C. A., De la Cruz-Agüero, J., & Torres-Balcázar, E. (2006a). Distribution and abundance of the endangered killifish, *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae), and its interaction with exotic fishes in oases of central Baja California peninsula, Mexico. *Southwestern Naturalist*, 51, 502-509.
- Ruiz-Campos, G., Camarena-Rosales, F., Reyes-Valdez, C. A., Torres-Balcázar, E., & Valles-Ríos, M. E. (2006b). Length-weight relationship, condition factor and level of parasitism of the Baja California killifish, *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae). In M. L. Lozano-Vilano, & A. J. Contreras-Balderas (Eds.), *Studies of North American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, conservationist* (pp. 62-71). Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ruiz-Campos, G., Ramírez-Valdez, A., González-Guzmán, S., González-Acosta, A. F., & Acosta-Zamorano, D. (2010). Length-weight and length-length relationships for nine rocky tidal pool fishes along the Pacific coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 26, 118-119.
- Ruiz-Campos, G. (2012). *Catálogo de peces dulceacuicolas de Baja California Sur*. Distrito Federal, México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ruiz-Campos, G., Camarena-Rosales, F., González-Acosta, A. F., Maeda-Martínez, A. M., García de León, F. J., Varela-Romero, A., & Andreu-Soler, A. (2014a). Estatus actual de conservación de seis especies de peces dulceacuicolas de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1235-1248.
- Ruiz-Campos, G., Andreu-Soler, A., Vidal-Abarca, M. R., Delgadillo-Rodríguez, J., Suárez-Alonso, M. L., González-Abraham, C., & Luja, V. H. (2014b). *Catálogo de humedales dulceacuicolas de Baja California Sur, México*. Distrito Federal, México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Samaritan, J. M., & Schmidt, R. E. (1982). Aspects of the life history of a freshwater population of the mummichog, *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae), in the Bronx River, New York, USA. *Hydrobiologia*, 94, 149-154.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., ... Cardona, A. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9, 676-682.
- Shoup, D. E., & Michaletz, P. H. (2017). Growth estimation: Summarization. In M. C. Quist, & D. A. Isermann (Eds.), *Age and growth of fishes: Principles and techniques* (pp. 233-264). Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México: Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1981). *Biometry* (2nd Ed). New York: Freeman, W.H. & company.
- Tarkan, A. S., Gaygusuz, O., Acipinar, H., & Gursoy, C. (2006). Validation of different backcalculation methods by using scales, opercula and cleithra of three coexisting cyprinid species. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1, 54-63.
- Trautman, M. B. (1957). *The fishes of Ohio*. Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Welsh, D. P., Zhou, M., Musmann, S. M., Fields, L. G., Thomas, C. L., Pearish, S. P., ... Fuller, R. C. (2013). The effects of age, sex, and habitat on body size and shape of the blackstripe topminnow, *Fundulus notatus* (Cyprinodontiformes: Fundulidae) (Rafinesque 1820). *Biological Journal of the Linnean Society*, 108, 784-789.