



## The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

### POPULATION ECOLOGY OF *GIRARDINICHTHYS MULTIRADIATUS* (MEEK, 1904) (PISCES: GOODEIDAE) ENDEMIC FISH OF MEXICO

### ECOLOGÍA POBLACIONAL DE *GIRARDINICHTHYS MULTIRADIATUS* (MEEK, 1904) (PISCES: GOODEIDAE) PEZ ENDÉMICO DE MÉXICO

Adolfo Cruz-Gómez<sup>\*</sup> & Asela del Carmen Rodríguez-Varela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecología de Peces. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM. Av. de los Barrios Núm. 1 C. P. 54090. Tlalnepantla de Baz, Estado de México, México

<sup>\*</sup>Corresponding author: E-mail: [adolfofcg@unam.mx](mailto:adolfofcg@unam.mx)

## ABSTRACT

*Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Goodeidae) is a small fish, with a maximum size of 55 mm in total length, viviparous, with sexual dimorphism and belongs to a family comprising exclusively Mexican freshwater fishes. This paper discussed the proportion of sexes, length-weight relationship, gonadosomatic and hepatosomatic indexes, growth, mortality, age at first reproduction and fertility of *G. multiradiatus* in the lagoon of Salazar, State of Mexico during the rainy and dry seasons. At two collection points and using a bottom aquatic net we captured a total of 963 fish. The sex ratio males/females estimated during the dry season was 1.11:1 no significant difference between the sexes and 1.42:1 during the rainy season in favor of males. The rate of growth for both sexes was Isometric in the dry season and positive allometric in the rainy season; the gonadosomatic and hepatosomatic indexes and condition factors were higher for both sexes in dry season. The highest growth rate, obtained with the von Bertalanffy model for both sexes, occurred during rainy season (0.81 males and 0.69 females). Mortality for both sexes was also highest in this season. The size of first reproduction was 3.1 cm for females and 2.8 cm for males. Fertility for females was adjusted to the model  $F = 0.013L^{5.125}$ . *G. multiradiatus* is endemic to Mexico and currently faces various threats due to destruction of their habitat, so that the information obtained by this study could help to define strategies for their conservation.

**Keywords:** fecundity – *Girardinichthys multiradiatus* – growth – population ecology

## RESUMEN

*Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Goodeidae) es un pez pequeño con una talla máxima de 55 mm de longitud total, vivíparo, con dimorfismo sexual y pertenece a la familia que agrupa peces dulceacuícolas exclusivamente mexicanos. En el presente trabajo se discuten la proporción de sexos, relación longitud-peso, índices gonadosomático y hepatosomático, crecimiento, mortalidad, edad de primera reproducción y fecundidad de *G. multiradiatus* en la Laguna de Salazar, Estado de México durante las temporadas de secas y lluvias. Los organismos se capturaron en dos puntos de colecta utilizando una red de cuchara, se capturaron en total 963 peces. La proporción sexual machos/hembras estimada durante las secas fue de 1,11:1 sin diferencia significativa entre los sexos y de 1,42:1 durante las lluvias a favor de los machos. El tipo de crecimiento para ambos sexos fue isométrico en secas y alométrico positivo en lluvias. Los índices gonadosomático, hepatosomático y factor de condición fueron más altos para ambos sexos en secas. La tasa de crecimiento más alta obtenida con el modelo de von Bertalanffy para ambos sexos se registró en lluvias (0,81 machos y 0,69 hembras). La mortalidad para ambos sexos también fue la más alta en esta temporada. La talla de primera reproducción fue de 3,1 cm para hembras y 2,8 cm en machos. La fecundidad para las hembras se ajustó al modelo  $F = 0,013L^{5,125}$ . *G. multiradiatus* es endémica de México y actualmente enfrenta diversas amenazas debido a la destrucción de su hábitat, por lo que, la información obtenida por el presente estudio podría ayudar a definir estrategias para su conservación.

**Palabras clave:** ecología poblacional – crecimiento – fecundidad – *Girardinichthys multiradiatus*

## INTRODUCCIÓN

*Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Goodeidae) es un pez pequeño, con una talla máxima de 55 mm de longitud total, es vivíparo, presenta dimorfismo sexual y es conocido como "mexclapique del Lerma" o "pez amarillo"; pertenece a una familia que agrupa peces dulceacuícolas exclusivamente mexicanos. El pez amarillo es endémico y su distribución se limita prácticamente a la parte del altiplano mexicano, llamada Mesa Central. En el Estado de México, se le ha localizado en las tres Cuencas Hidrológicas que drenan este Estado, la Cuenca del Pánuco al norte, la Cuenca del Río Lerma-Santiago al centro y la cuenca del Balsas al sur. (Gutiérrez-Yurrita & Morales-Ortiz, 2004; Miller *et al.*, 2005). La Cuenca del Río Lerma-Santiago se ha caracterizado por una gran explotación de recursos naturales y que en conjunto con los grandes asentamientos urbanos, actividades agrícolas, pecuarias e industriales de importancia económica, han hecho del Río Lerma uno de los más contaminados en México lo que ha provocado la alteración de los hábitats y como consecuencia la desaparición de algunas especies de fauna y flora de sus aguas en algunas de sus porciones (de la Vega-Salazar, 2006).

La Laguna de Salazar, objeto de este estudio, se ubica en esta Cuenca dentro de un parque recreativo donde las actividades de turismo que ahí se desarrollan, pueden afectar a largo plazo la existencia no solo del pez amarillo sino de otras especies nativas que habitan esta laguna.

La mayoría de las investigaciones realizadas para esta especie en la Cuenca del Río Lerma-Santiago se han enfocado en estudios sobre su comportamiento, Macías-García & Perera (2002), Burt & Macías-García (2003), y Macías-García & Saborío (2004); en hábitos alimentarios, Cruz-Gómez *et al.* (2005), Trujillo-Jiménez & Viveros (2006), y Navarrete-Salgado *et al.* (2007b); sobre aspectos reproductivos, Cruz-Gómez *et al.* (2010, 2011, 2013), en parasitismo, Salgado-Maldonado *et al.* (2001), y Sánchez-Nava *et al.* (2004), y en distribución, de la Vega-Salazar (2006), Domínguez-Domínguez *et al.* (2007, 2008) pero pocos sobre la ecología poblacional. La única investigación reportada al respecto sobre esta especie es de la Laguna de San Miguel Arco, Estado de México por Navarrete-Salgado *et al.* (2007a). En este sentido, los estudios que faltan por complementar para conocer más el estado de esta especie, deberán de enfocarse hacia su variación genética entre las cuencas hidrológicas donde se localiza esta especie.

Este hecho, ha incrementado el interés por desarrollar diversas investigaciones sobre la biología y ecología del pez amarillo con el fin de proponer estrategias para su conservación, por lo cual, el objetivo de este estudio fue analizar la ecología poblacional de *G. multiradiatus* en dos temporadas climáticas en la Laguna de Salazar, Estado de México, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna de Salazar se ubica dentro del Parque Nacional “Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla”, mejor conocido como “La Marquesa”, localizado al este de la capital del Estado de México, Toluca, y pertenece a los municipios de Ocoyoacac, Huixquilucan y Lerma de Villada del Estado de México y Cuajimalpa del Distrito Federal. Se localiza geográficamente entre las coordenadas 99°19'40" y 99°23'31" de longitud oeste y entre los paralelos de 19°15'20" y 19°19'20" de latitud norte a una altitud promedio de 3005 msnm (Fig. 1). Su clima se ubica en el grupo templado-subhúmedo C (E)(w)(w), con lluvias en verano, con precipitación media anual mayor a los 800 mm y temperatura media anual que oscila entre 5 y 18°C (INEGI, 2018). En el Estado de México el régimen climático está asociado al patrón de lluvias y se reconocen dos temporadas climáticas, secas de noviembre a mayo y lluvias de junio a octubre (GEM, 2007). La vegetación acuática identificada durante el muestreo está conformada principalmente por *Hydrocotyle* sp., *Egeria densa* (Planch.) y *Ceratophyllum demersum* (L.).

Los muestreos se realizaron bimestralmente de enero a diciembre de 2010 en dos sitios de muestreo donde se registraron: profundidad (cm), transparencia (cm), pH, temperatura (°C), conductividad ( $\mu\text{ms}$ ), Oxígeno ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), dureza ( $\text{mg de CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ) y alcalinidad ( $\text{mg de CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ). Las diferencias observadas en las variables ambientales fueron evaluadas estadísticamente utilizando prueba de U Mann-Whitney ( $\alpha=0,05$ ).

Para la colecta de los peces se utilizó una red de cuchara de 0,45 m de base por 0,20 m de altura con

abertura de malla de 500 micras con la que se realizaron en promedio 30 arrastres de tres metros cada uno en cada punto de muestreo cubriendo una área de 40 m<sup>2</sup>, todos los peces fueron fijados con formalina al 10% y posteriormente preservados en alcohol etílico al 40% para sus posterior análisis. Todos los organismos fueron sexados y medidos en su longitud patrón ( $\pm 0,1$  mm) y pesados en una balanza digital ( $\pm 0,001$  g) de acuerdo a Bagenal (1978).

La proporción sexual fue calculada por periodo climático y el grado de significancia se estableció mediante la prueba de ji-cuadrada ( $X^2$ ;  $\alpha = 0,05$ ) (Zar, 1999). La relación longitud-peso se obtuvo de acuerdo al modelo potencial  $W = a L^b$  (Ricker, 1975) y se evaluó la significancia estadística de la pendiente mediante la prueba de t de Student;  $t = (b-\beta)/\text{Se}$ ;  $\alpha = 0,05$ ) (Wootton, 1992; Zar 1999; Ramírez, 2006). Para la elaboración de los modelos de crecimiento, mortalidad y fecundidad, los organismos se agruparon arbitrariamente en intervalos de 3 mm (Cruz-Gómez *et al.*, 2010) y las clases edad se calcularon de acuerdo a Cassie (1954), utilizándose también el método de Bathacharya (1976). La gónada e hígado fueron extraídos y pesados para la estimación de los valores de los índices gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS) y los valores de longitud y peso para la obtención del factor de condición (FC) siguiendo el criterio de Rodríguez (1992). El modelo de crecimiento tanto en peso como en longitud se estimó con base al modelo de Bertalanffy (1957). La mortalidad y la supervivencia se estimaron con base al modelo de Ricker (1975). La madurez gonádica se obtuvo utilizando el criterio de Díaz-Pardo & Ortiz-Jiménez (1986). El análisis de las gónadas y el modelo de fecundidad mediante el criterio de Schoenherr (1977) ajustando al modelo potencial  $F = a L^b$  (Holden & Raitt 1975; Wootton, 1992). La ecuación logística  $P = 100/(1 + e^{a+bl})$  se utilizó para calcular la talla de primera reproducción (Arancibia *et al.* 1994; Saborido, 2008).

Para el presente trabajo se atendieron los criterios que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010), para especies bajo protección. Así como las recomendaciones de la Comisión de Ética y Bioseguridad (CE) de la Institución.

## RESULTADOS

### Parámetros ambientales:

Los valores de los parámetros ambientales de la zona de estudio son resumidos en la Tabla 1. Durante el periodo de lluvias se nota un leve incremento en los parámetros registrados a excepción de transparencia y profundidad; sin embargo, las diferencias entre las temporadas climáticas no fueron significativas de acuerdo a la prueba de U Mann-Whitney ( $\alpha=0,05$ ;  $p=0,65$ ).

### Parámetros biológicos:

Se capturaron un total de 963 peces, 437 hembras y 526 machos. Las abundancias por temporada y proporción sexual se muestran en la Tabla 2, en general predominaron los machos. ( $X^2$ ,  $\alpha=0,05$ ).

La relación longitud-peso (Tabla 3) para determinar el tipo de crecimiento, muestra valores de la pendiente para ambos sexos ligeramente menor a tres durante la temporada de secas por lo

que presentó un crecimiento de tipo isométrico para ambos sexos ( $\text{♀ } p = 0,81$ ;  $\text{♂ } p = 0,31$ ). En contraste, en la temporada de lluvias el crecimiento fue alométrico positivo para ambos sexos con una pendiente mayor a tres ( $\text{♀ } p = 0,02$ ;  $\text{♂ } p = 0,00002$ ). La prueba de alometría para los valores de la pendiente se evaluaron mediante la Prueba de t de Student con una significancia  $\alpha=0,05$ .

Las clases de tallas obtenidas mediante los métodos de Cassie y Batthacharya se muestran en la tabla 4, donde se nota un mayor número de tallas durante la temporada de secas. Los índices corporales IGS, IHS y FC (Tabla 5) también fueron más altos en esta temporada.

Durante la temporada de lluvias y de acuerdo al modelo de von Bertalanffy, las tasas de crecimiento en ambos sexos fueron más altas (Tablas 6), también la tasa de mortalidad fue mayor en esta temporada (Tabla 7). Finalmente, las tallas de primera maduración, de acuerdo al modelo logístico, tanto para hembras como para machos se muestran en la figura 2 y el modelo de fecundidad se muestra en la figura 3.

**Tabla 1.** Valores de los parámetros ambientales durante las temporadas de secas y lluvias 2010 en la laguna de Salazar, Estado de México. DE = Desviación Estándar.

	SECAS		LLUVIAS	
	Promedio	DE	Promedio	DE
Temperatura ambiental (°C)	13,38	3,72	14,48	0,14
Temperatura agua (°C)	12,44	2,50	14,58	2,40
Profundidad (cm)	109,25	3,54	106,50	3,97
Transparencia (cm)	86,25	26,85	71,83	6,01
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,32	2,03	9,23	2,20
Conductividad ( $\mu\text{oms}$ )	115,29	14,79	109,80	21,33
pH	7,90	1,02	9,32	0,18
Dureza total (ppm de $\text{CaCO}_3$ )	78,20	19,19	116,00	19,08
Alcalinidad total (ppm de $\text{CaCO}_3$ )	53,54	9,15	56,67	8,08

**Tabla 2.** Abundancia total, por temporada y proporción de sexos de *Girardinichthys multiradiatus* en la Laguna de Salazar Estado de México.

Temporada	Total analizados	Total Hembras	Total Machos	Proporción sexual M/H	X <sup>2</sup> calculado	Sexo dominante
SECAS	644	305	339	1,11	1,80	s.d.s.*
LLUVIAS	319	132	187	1,42	9,48	.
TOTAL	963	437	526	1,22	8,23	♂

\* s.d.s = sin diferencias significativas (= 0,05).

**Tabla 3.** Relación peso/longitud de hembras y machos durante las temporadas de secas y lluvias en la Laguna de Salazar en 2010.

	Secas	Lluvias
♀	W = 0,0205 L <sup>2,9896</sup>	W = 0,0189 L <sup>3,1239</sup>
♂	W = 0,0213 L <sup>2,896</sup>	W = 0,0138 L <sup>4,0461</sup>

**Tabla 4.** Clases de edad obtenidas mediante el método Cassie y Batthacharya y promedio de las tallas (cm) por temporadas en la Laguna de Salazar en 2010.

Clases de edad	SECAS		LLUVIAS	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
I	1,6	1,6	1,9	1,9
II	2,5	2,65	3,25	3,1
III	3,1	3,55	3,85	3,7
IV	3,55	4,3		
V		4,9		

**Tabla 5.** Índices corporales por temporadas en la Laguna de Salazar en 2010.

	SECAS		LLUVIAS	
	MACHOS	HEMBRAS	MACHOS	HEMBRAS
IGS =	0,29	3,37	0,21	2,94
IHS =	0,46	0,64	0,44	0,59
FC =	3,47	3,19	2,79	2,54

**Tabla 6.** Modelos de crecimiento en longitud durante las temporadas secas y lluvias en la Laguna de Salazar en 2010.

	Secas	Lluvias
♀	$L_{(t)} = 8,03 (1 - e^{-0,1464 (t-1,785)})$	$L_{(t)} = 4,3 (1 - e^{-0,6931 (t-0,8413)})$
♂	$L_{(t)} = 4,6 (1 - e^{-0,35 (t-1,123)})$	$L_{(t)} = 4,31 (1 - e^{-0,81 (t-0,72)})$

**Tabla 7.** Mortalidad de *Girardinichtys multiradiatus* por temporada en la Laguna de Salazar durante 2010.

	Secas	Lluvias
♀	$Y = 357,13 e^{-1,102X}$	$Y = 74,17 e^{-0,956X}$
♂	$Y = 2029,4 e^{-1,676X}$	$Y = 98,022e^{-0,584X}$



**Figura 1.** Localización del área de estudio y puntos de colecta

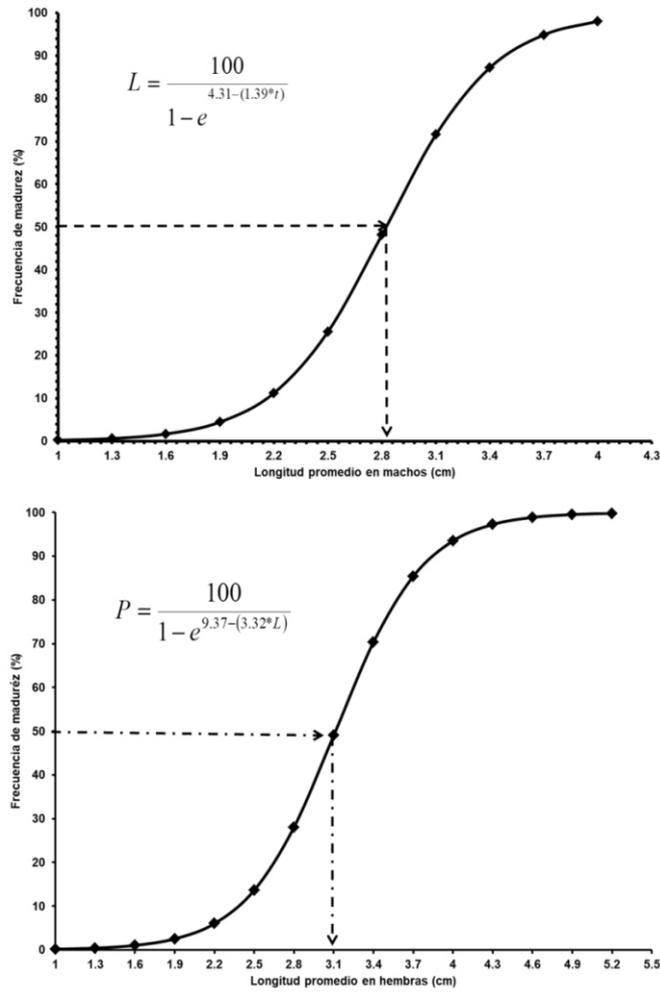


Figura 2. Talla de primera reproducción para machos y hembras en la Laguna de Salazar en 2010.

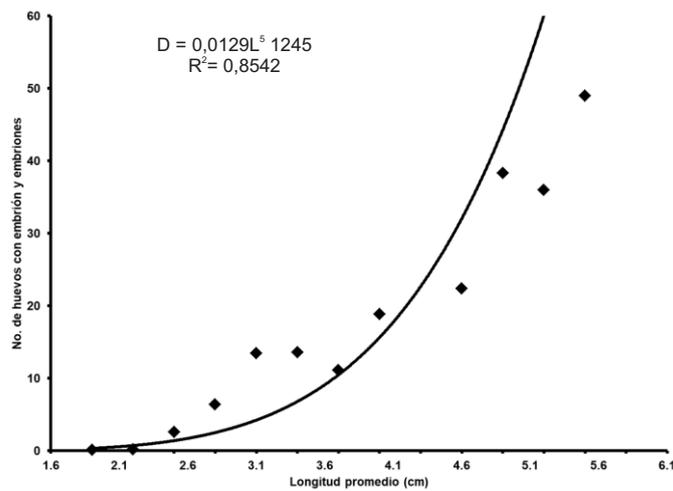


Figura 3. Modelo de fecundidad total para hembras de *G. multiradiatus* en la Laguna de Salazar en 2010.

## DISCUSIÓN

### Parámetros físico-químicos

La Laguna de Salazar se encuentra dentro de los ambientes continentales lenticos naturales, su comportamiento ambiental, si bien se observa una leve variación en los valores producto de la estacionalidad, de acuerdo a la prueba de U Mann-Whitney ( $\alpha = 0,05$ ;  $p = 0,65$ ) no hay diferencias significativas que sean debidas a esta estacionalidad. El agua en general es clara como lo demuestran los valores de transparencia que registró un valor menor durante las lluvias producto del arrastre de sedimento y materia orgánica de las zonas aledañas durante esta temporada. La concentración de oxígeno fue alta debido a la presencia de vegetación sumergida como *Hydrocotyle* sp., *E. densa* y *C. demersum*, estas dos últimas conocidas como elodea y cola de zorro, respectivamente y que son utilizadas en los acuarios para oxigenar el agua, esto hace que la laguna se pueda considerar bien oxigenada. El pH si bien es alto, está dentro de los límites que marcan los criterios para la calidad del agua, que mencionan que un pH entre 6,5 y 9 son adecuados para la vida en el agua (EPA, 2018). En relación a la conductividad y dureza, también fueron ligeramente altos en ambas temporadas sin embargo también se consideran dentro de los límites normales para la vida en el agua y se puede catalogar como moderadamente dura (EPA, 2018). Este comportamiento ha sido reportado en otros cuerpos de agua al norte del Estado de México por Navarrete-Salgado *et al.* (2007ab). Entre las actividades antropogénicas que se han observado alrededor de la laguna y que modifican las características del hábitat, está el crecimiento desordenado en el aspecto turístico y modificaciones en el uso del suelo, lo que ha provocado la creación de más áreas recreativas que erosionan el suelo, además de producir una mayor cantidad de basura y que repercute en el sistema, lo que ponen en peligro, no sólo a *G. multiradiatus*, sino también a varias especies nativas de la laguna.

### Parámetros biológicos

La proporción de sexos reportada en la laguna (Tabla 2), anualmente y durante las lluvias favoreció a los machos, estos datos coinciden por lo reportado por Navarrete-Salgado *et al.* (2007a) en la Laguna de San Miguel Arco; sin embargo,

Macías (1994) y Cruz-Gómez *et al.* (2010, 2011, 2103) reportaron que las hembras predominaron en los sistemas de Acambay, Huapango y Villa Victoria en el Estado de México y San Martín en Querétaro. Snelson (1989) y Gómez-Márquez *et al.* (1999) mencionan, que en poblaciones silvestres la proporción de sexos está sesgada en favor de las hembras, condición que es más frecuente en la mayoría de los sistemas acuáticos en donde se ha reportado a la especie. Durante el periodo de secas no se encontraron diferencias significativas entre ambos sexos, esto podría vincularse a que es en esta época en la cual se lleva a cabo el grueso de la reproducción y es cuando se han capturado peces de tallas por arriba de los 30 mm y maduros sexualmente. Otro aspecto a considerar, son las características de los hábitats, Miller *et al.* (2005) señalaron que esta especie habita sistemas poco profundos menores de un metro y es más abundante en aguas claras. La Laguna de Salazar, en general presenta una transparencia alta (mayor de 60%) en comparación con la mayoría los sistemas acuáticos de la Cuenca del Lerma-Santiago, por otra parte, la captura de machos fue mayor en zonas con aguas claras a 30 cm de profundidad. Al respecto, Ahnesjö *et al.* (2008) observaron que la turbidez alta puede causar problemas en la selección del macho y también en el apareamiento. Lo anterior podría explicar el predominio de machos en la población de Salazar.

El crecimiento alométrico positivo registrado en la temporada de lluvias se debe en parte a que en esta periodo se registró la temperatura más elevada y la mayor cantidad de organismos juveniles, con longitudes de 1,3 a 2,2 cm para ambos sexos, lo que permite sugerir que es en este tiempo cuando los organismos empiezan a crecer y madurar sexualmente preparándose para la periodo de reproducción. Con respecto a la temperatura, autores como Elías-Fernández *et al.* (1998) y Sánchez *et al.* (2006) en 2 estanques del Estado de México reportaron datos similares de crecimiento durante estas temporadas para otras especies como la carpa común (*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)) y el charal (*Chirostoma humboldtinaum* (Valenciennes, 1835)) en sus estadios juveniles. En la temporada de secas, el crecimiento fue isométrico, durante este periodo el crecimiento proporcional entre la longitud y el peso está relacionado con el incremento en el peso y madurez de la gónada. Lo anterior se ve reforzado por los

valores de los índices corporales (Tabla 4), en particular el IGS de hembras que es mayor durante en esta temporada en la cual los peces alcanzaron las tallas máximas e incrementaron su peso debido al desarrollo de la gónada, que se acentúa cada vez más al final de la temporada cuando ya han alcanzado la madurez sexual plena y están próximas a parir.

El crecimiento se ve afectado por la temperatura, Wootton (1992) señala que este parámetro influye en el desarrollo de los peces y se observó en las tasas de crecimiento corporal (k) en el modelo de von Bertalanffy. La tabla 6 muestra que las tasas de crecimiento siguen tendencia estacional, mayores durante la temporada climática de lluvias y menores durante la de secas. Brandt & Mason (1994), mencionan que las tasas biológicas de los peces se ven influidas por el ambiente físico, lo que se explica por las diferencias ambientales que cada sistema posee en particular y que coincide con lo reportado en el presente trabajo. De igual forma, Gómez-Márquez *et al.* (1999) atribuyen que la tasa de crecimiento en el pez *Heterandria bimaculata* (Heckel, 1848) (poecilido, ovovivíparo) es mayor en temperaturas elevadas, lo que evidencia la importancia de la temperatura en el desarrollo del pez.

Por otro lado, las tasas de mortalidad fueron mayores para ambos sexos en la temporada de secas, destacando que las tasas son más altas para los machos en ambos periodos climáticos. Los valores elevados de este parámetro pueden estar relacionados con un incremento de especies migratorias que habitan temporalmente esta laguna además de culebras de agua que son depredadores del pez amarillo, lo que repercute en una menor tasa de sobrevivencia. Lo anterior ha sido bien documentado por Macías *et al.* (1998) para esta especie, quienes también indicaron que la depredación es más evidente en los machos debido a la coloración amarillo-naranja que presentan en las aletas impares, de ahí el nombre de “pez amarillo”.

De acuerdo al modelo de madurez, la talla en la que se inicia la etapa reproductiva, es menor en machos (2,8 cm) que en hembras (3,1 cm) (Figura 2) lo cual, es natural dado el dimorfismo sexual para esta especie, que marca tallas pequeñas para los machos. En el caso de las hembras Cruz-Gómez *et*

*al.* (2010, 2011, 2013) reportaron tallas de primera maduración de 3.1 a 3.3. cm, y que no difieren de las reportadas en este trabajo. Por otro lado, Macías (1994) y Navarrete-Salgado *et al.* (2017), reportaron hembras maduras entre los 3,5 y 4,8 cm. La variación en los datos de madurez están supeditados a las tallas que han sido capturadas, en el presente trabajo la hembra más grande que se capturó fue de 5.4 cm mientras que de acuerdo a Miller *et al.* (2005) las tallas más grandes que se han reportado son de 5,5 cm. Estas diferencias en las tallas, también pueden ser explicadas por los métodos de captura utilizados por los autores mencionados anteriormente.

Finalmente, el modelo de fecundidad para las hembras (Figura 3) mostró un valor alto semejante al reportado por Cruz-Gómez *et al.* (2013) en la presa de Huapango en el Estado de México. Los valores de la tasa de fecundidad reportados para los sistemas acuáticos de este Estado, oscilan de 3,3 hasta 5,6 embriones/cm (Navarrete-Salgado *et al.*, 2007a; Cruz-Gómez *et al.*, 2010, 2011, 2013). De hecho, la Laguna de Huapango y Salazar, son los sistemas acuáticos en los que se han reportado los valores más altos de fecundidad, esto debido quizá, a que en estos sistemas se capturaron los organismos de mayor talla. En Salazar la talla máxima capturada en secas fue 5,2 cm y presentó un total de 36 embriones.

Como es posible observar, tanto los parámetros físico-químicos como los parámetros biológicos del pez amarillo están asociados a las temporadas climáticas que se manifiestan en la laguna de Salazar en el Estado de México. De acuerdo a Miller *et al.* (2005) el periodo de reproducción de *G. multiradiatus* es desde diciembre hasta mayo lo que abarca la temporada de secas en la laguna y es en la temporada de lluvias cuando se inicia el periodo de crecimiento y maduración sexual de esta especie.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-2010), el pez amarillo no está dentro de las especies sujetas a protección, sin embargo la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (2015) la considera como vulnerable, pero, considerando que las características de los ambientes donde se encuentra esta especie en el Estado de México y que la Cuenca del Rio Lerma-Santiago que los abastece de agua se ha

caracterizado por la gran explotación de recursos naturales y actividades agrícolas, han provocado la alteración de los hábitats, es posible que estas acciones y su incremento en el área pueden traer como consecuencia, la desaparición no solo de esta especie, sino de aquellas que de una u otra forma están asociadas a los sistemas acuáticos en el Estado de México, en este caso, de la Laguna de Salazar por lo que este tipo de estudios pueden en un futuro no muy lejano coadyuvar en estrategias que permitan su protección y conservación.

Como en todos los casos, los resultados obtenidos están supeditados a las variaciones en las temporadas climáticas, a la periodicidad en el muestreo y al método de captura empleado. Este estudio es la base para un mejor conocimiento de la biología de esta especie pero se necesitará más trabajo de campo que conlleve a conocer su estado actual y las posibles amenazas que pueda sufrir en su ambiente natural.

La hidrología de la Laguna de Salazar exhibió variaciones en algunos de los parámetros fisicoquímicos en el tiempo de estudio; sin embargo, en general se mantienen definidas las temporadas climáticas de lluvias y secas en la zona y que éstas están relacionadas con la dinámica de los atributos poblacionales de *G. multiradiatus*.

Es importante considerar, que tanto el modelo de fecundidad como la talla de primera reproducción, están supeditados a las tallas capturadas, pero también es un hecho, que son pocos los organismos colectados con tallas cercanas a los 5,5 cm que reportan algunos autores.

Estos datos contribuyen al conocimiento de la biología de *G. multiradiatus* que de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-2010) aún no se considerada como amenazada, pero que podría estarlo en un futuro, por lo que se espera que esta información pueda ser utilizada para implementar estrategias para su conservación en los ambientes acuáticos en el Estado de México, México.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la

Enseñanza (PAPIME) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), clave EN203804 y al Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para Promover Grupos de Investigación (PAPCA) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Un agradecimiento al M. en C. Jonathan Franco López por sus acertados comentarios para el mejoramiento del presente manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahnesjö, I.; Forsgren, E. & Kvarnemo, Ch. 2008. *Variation in sexual selection in fishes*. In: Magnhagen, C.; Braithwaite, V.; Forsgren, E. & Kapoor, B.G. (Eds). *Fish Behaviour*. Science Publishers, New Hampshire, 648 p.
- Arancibia, H.; Cubillos, L.; Remmaggi, J. & Alarcón, R. 1994. Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), del área de Talcahuano, Chile. *Biología Pesquera*, 23:11-17.
- Bagenal, T. 1978. *Methods for assessment of fish production in fresh waters* (IBP handbook no 3). Blackwell, Oxford 365 p.
- Bertalanffy, L.V. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology*, 32:217-231.
- Battacharya, C.D. 1976. A simple method of resolution in to Gaussian components. *Biometrics*, 23: 115-130.
- Brandt, B.S. & Mason, D.M. 1994. *Landscape approaches for assessing spatial patterns in fish foraging and growth*. En: Stouder, J. D.; Fresh, K. L. & Feller, R. J. (eds). *Theory and application in Fish Feeding Ecology*. University of South Carolina Press, USA. 390 p.
- Burt, P.C. & Macias, G.C. 2003. Amarillo fish (*Girardinichthys multiradiatus*) use visual landmarks orient in space. *Ethology Ecology and Evolution*, 109: 341-349.
- Cassie, R.M. 1954. Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distribution. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 5:513-522.
- Cruz-Gómez, A.; Rodríguez-Varela, A.C. &

- García-Martínez, D. 2005. Las larvas de insectos en la dieta de *Girardinichthys multiradiatus* (Pisces: Goodeidae) en el embalse Ignacio Ramírez, Estado de México. *Entomología Mexicana*, 4: 1002-1006.
- Cruz-Gómez, A.; Rodríguez-Varela, A. del C. & Vázquez-López, H. 2010. Madurez sexual y reproducción de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) en un embalse del poblado de San Martín, Querétaro, México. *Biocyt*, 3:94-106.
- Cruz-Gómez, A.; Rodríguez-Varela, A.C. & Vázquez-López, H. 2011. Reproductive aspects of *Girardinichthys multiradiatus*, Meek, 1904 (Pisces: Goodeidae). *Biocyt*, 4:215-228.
- Cruz-Gómez, A.; Rodríguez-Varela, A.C. & Vázquez-López, H. 2013. Reproductive aspects of yellow fish *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) in the Huapango Reservoir, State of Mexico, Mexico. *American Journal of Life Sciences*, 1:189-194.
- De la Vega-Salazar, M.Y. 2006. Estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) en la mesa central de México. *Revista de Biología Tropical*, 54:163-177.
- Díaz-Pardo, E. & Ortiz-Jiménez, D. 1986. Reproducción y ontogenia de *Girardinichthys viviparus* (Pisces: Goodeidae). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (México)*, 30: 45-66.
- Domínguez-Domínguez, O. & Ponce de León, G.P. 2007. Los goodeidos, peces endémicos del centro de México. *CONABIO. Biodiversitas*, 75:12-15.
- Domínguez-Domínguez, O.; Zambrano, L.; Escalera-Vázquez, L.H.; Pérez-Rodríguez, R. & Pérez-Ponce de León, G. 2008. Cambio en la distribución de goodeidos (Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 501- 512.
- Elías-Fernández, G. & Navarrete-Salgado, N.A. 1998. Crecimiento y producción de carpa común (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) durante la época de sequía y lluvias en un bordo del Estado de México, México. *Hidrobiológica*, 8:117-123.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2018. National Recommended Water Quality Criteria from 2004. <https://www.epa.gov/quality/national-recommended-water-quality-criteria-2004> consultada el 27 de octubre del 2018.
- GEM (Gobierno del Estado de México). 2010. Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Lerma. [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/lerma/PMDUlerma.pd](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/lerma/PMDUlerma.pd). consultada el 15 de marzo del 2018.
- Gómez-Márquez, J.L.; Guzmán-Santiago, J.L. & Olvera-Soto, A. 1999. Reproducción y crecimiento de *Heterandria bimaculata* en la laguna “El Rodeo”, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*, 47:581-592.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. & Morales-Ortiz, A. 2004. *Síntesis y perspectivas del estatus ecológico de los peces del Estado de Querétaro (Centro de México)* En: Lozano-Vilano, M.L. & Contreras-Balderas, A.J. (Ed.). Libro Homenaje al Dr. Andrés Reséndez-Medina. Dirección General de Publicaciones. (pp. 217-235). Monterrey, México: Universidad Autónoma. de Nuevo León.
- Holden, M.J. & Raitt, D.F.S. 1975. *Manual de Ciencia Pesquera Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación*. FAO Documento Técnico de Pesca (115) Rev. 1:211 p
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2018. Información Geográfica: Tipos de Clima en [www.inegi.org.mx/temas/climatologia](http://www.inegi.org.mx/temas/climatologia) consultada el 20 de noviembre del 2018.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2015. *Red list of threatened species*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)> Suiza, consultada el 11 de marzo del 2015.
- Macías, G. C. 1994. Social behavior and operational sex ratios in the viviparous fish *Girardinichthys multiradiatus*. *Copeia*, 4: 919-925.
- Macías, G.C.; Saborio, E. & Berea, C. 1998. Does male-bias predation lead to male scarcity in viviparous fish? *Journal of Fish Biology*, 53: 104-117.
- Macías Garcia, C. & Burt de Perera, T. 2002.

- Ultraviolet-based female preferences in a viviparous fish. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52:1-6.
- Macías-García, C. & Saborío, E. 2004. Sperm competition in a viviparous fish. *Environmental Biology of Fishes*, 70:211-217.
- Miller, R.R.; Minckley, W.L. & Norris S.M. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. The University of Chicago Press, USA.
- Navarrete-Salgado, N.A.; Cedillo-Díaz, B.E.; Contreras-Rivero, G. & Elías-Fernández, G. 2007a. Crecimiento, reproducción y supervivencia de *Girardinichthys multiradiatus* (Pisces: Goodeidae) en el embalse San Miguel Arco, Estado de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 3:15-21.
- Navarrete-Salgado, N.A.; Rojas-Bustamante, M.L.; Contreras-Rivero, G. & Elías-Fernández, G. 2007b. Alimentación de *Girardinichthys multiradiatus* (Pisces: Goodeidae) en el embalse La Goleta, Ergo Sum Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414108>> ISSN consultada el 6 de marzo de 2015
- NOM-059- SEMARNAT. NORMA Oficial Mexicana, 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. Diario Oficial de la Federación, 30-diciembre-2010. México. <[http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)> Consultada el 15 de octubre del 2018.
- Ramírez, G.A. 2006. *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial Pontificia, Universidad Javeriana, Bogotá.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Fisheries Research. Board Canada*, Bull 191, 382 p.
- Rodríguez, G.M. 1992. *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. AGT Editor S.A. México.
- Saborido, F. 2008. *Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos*. Universidad de Vigo. España. 71 p. disponible en <<http://hdl.handle.net/10261/7260>>
- Salgado-Maldonado, G.; Cabañas-Carranza, G.; Soto-Galera, E.; Caspeta-Mandujano, J.M.; Moreno-Navarrete, R.G.; Sánchez-Nava, P. & Aguilar-Aguilar, E. 2001. A checklist of helminth parasites of freshwater fishes from the Lerma Santiago river basin, Mexico. *Comparative Parasitology*, 68:204-217.
- Sánchez, M.R.; Díaz, Z.M.; Navarrete, S.N.A.; García, M.M.L.; Ayala, N.F. & Flores, A.M.D. 2006. Crecimiento, mortalidad y supervivencia del charal *Chirostoma humboldtianum* (Atherinopsidae) en el embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12:151-154.
- Sánchez-Nava, P.; Salgado-Maldonado, G.; Soto-Galera, E. & Jaimes-Cruz, B. 2004. Helminth parasites of *Girardinichthys multiradiatus* (Pisces: Goodeidae) in the Upper Lerma River subbasin, Mexico. *Parasitology Research* 93:396-402.
- Schoenherr, A.A. 1977. Density dependent and density independent regulation of reproduction in the gila topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird & Girard). *Ecology*, 58:438-444.
- Snelson, F.F. Jr. 1989. Social and Environmental Control of Life History Traits in Poeciliid, pp. 149-161. En: Meffe, G.K. & F.F. Snelson Jr. (eds). *Ecology & Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Prentice-Hall.
- Trujillo-Jiménez, P. & Viveros, E.E.D. 2006. La ecología alimentaria del pez endémico *Girardinichthys multiradiatus* (Cyprinodontiformes: Goodeidae), en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. *Revista de Biología Tropical*, 54:1247-1255.
- Wootton, R.J. 1992. *Fish ecology*. Chapman & Hall.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis* 4<sup>th</sup> Ed. Prentice Hall.

Received December 21, 2018.

Accepted February 5, 2019.