

## Reproducción de la liseta, *Mugil curema* (Actinopterygii: Mugilidae), en lagunas costeras del Sur del Golfo de México

## Reproduction of white mullet, *Mugil curema* (Actinopterygii: Mugilidae), in coastal systems in Southern Gulf of Mexico

Ana L. Ibáñez<sup>1\*</sup>, Manuel Castellanos-Juárez<sup>1</sup>, Manuel Mendoza-Carranza<sup>2</sup>, Eloísa Pacheco-Almanzar<sup>1</sup>  
y Sergio H. Álvarez-Hernández<sup>1</sup>

Recibido: 02 de mayo de 2024.

Aceptado: 14 de febrero de 2025.

Publicado: agosto de 2025.

### RESUMEN

**Antecedentes.** A lo largo de las costas del Golfo de México (GM), la especie *Mugil curema* o liseta blanca es de interés comercial, sin embargo, a pesar de su importancia, el conocimiento de su ciclo reproductivo al sur del GM es muy escaso y es necesario para planificar su manejo pesquero y explotación racional. **Objetivo.** Describir el ciclo de maduración y la proporción sexual de *M. curema* en dos localidades del sur del GM: Laguna de Alvarado (AL) y Puerto Ceiba (PC) y comparar con estudios previos realizados en la zona norte del GM. **Métodos.** Se obtuvieron 616 especímenes (298 en AL y 318 en PC) en un ciclo anual con recolectas sincrónicas mensuales. **Resultados.** Las hembras y machos de *M. curema* alcanzan la maduración sexual ( $L_{50}$ ) con un tamaño medio de 33.26 y 34.41 y 30.02 y 30.74 cm de longitud total para AL y PC, respectivamente. En PC el desove ocurre prácticamente durante todo el año de septiembre a junio con máximos de enero-junio, en AL ocurre entre diciembre-abril. Los organismos con talla mínima de desove para hembras y machos fueron de 27.8 y 26.3 cm y 27.8 y 25.6 cm de longitud total para AL y PC, respectivamente. El Índice Gonadosomático fue buen indicador, coincidiendo los valores máximos (entre 20 a 25) en meses con mayor desarrollo gonadal. La relación hembras/machos fue de 1:0.6 y 1:0.5 para AL y PC, respectivamente. El pico máximo de desove en las zonas norte y sur del GM son similares, pero en el sur el desove se extiende más tiempo. **Conclusión.** El desove difiere entre las dos localidades en que en PC se presenta todo el año (excepto julio) mientras que en AL el desove se presenta de diciembre a abril. La proporción hembra/macho favoreció a las hembras en ambas localidades.

**Palabras claves:** desove; lagunas costeras; lebrancha; *Mugil*; pesquerías; reproducción.

<sup>1</sup> Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1 A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México

<sup>2</sup> Manejo Sustentable de Cuencas y Zonas Costeras, Ecosur-Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n Ra, Guineo 2da. Sección, Municipio del Centro, Tabasco, C.P. 86280.

#### \*Corresponding author:

Ana L. Ibáñez: e-mail: ana@xanum.uam.mx

#### To quote as:

Ibáñez, A. L., M. Castellanos-Juárez, M. Mendoza-Carranza, E. Pacheco-Almanzar & S. H. Álvarez-Hernández. 2025. Reproducción de la liseta, *Mugil curema* (Actinopterygii: Mugilidae), en lagunas costeras del Sur del Golfo de México. *Hidrobiológica* 35 (2): 155-165.

DOI:10.24275/EZZ2329

### ABSTRACT

**Background.** Along the coasts of the Gulf of Mexico (GM), the species *Mugil curema* or white mullet is of commercial interest, however, despite its importance, knowledge of its reproductive cycle at the south of the Gulf of Mexico is very scarce and is necessary to plan its fisheries management and rational exploitation. **Goals.** Describe the maturation cycle and sexual ratio of *M. curema* in two localities in the southern GM: Laguna de Alvarado (AL) and Puerto Ceiba (PC) and compare them with studies from the north of the GM. **Methods.** A total 616 specimens were obtained (298 in AL and 318 in PC) in an annual cycle with monthly synchronous collections. **Results.** Females and males of *M. curema* reach sexual maturation ( $L_{50}$ ) with an average size of 33.26 and 34.41 and 30.02 and 30.74 cm in total length for AL and PC, respectively. Spawning in PC occurs practically throughout the year from September to June with maximums in January-June, while in AL between December-April. Organisms with minimum spawning size for females and males were 27.8 and 26.3 cm and 27.8 and 25.6 cm in total length for AL and PC, respectively. The Gonadosomatic Index was a good indicator, with the maximum values (between 20 and 25) coinciding in months with greater gonadal development. The female/male ratio was 1:0.6 and 1:0.5 for AL and PC, respectively. The maximum spawning peak in the northern and southern zones of the GM are similar, but in the south spawning extended longer. **Conclusion.** Spawning differs between locations, in PC occurs all year round (except July) while in AL spawning occurs from December to April. The female/male ratio favored females in both locations.

**Key words:** coastal lagoons; fisheries; *Mugil*; reproduction; spawning; white mullet.

## INTRODUCCIÓN

*Mugil curema* Valenciennes 1836, comúnmente conocida como lebrancha, liseta o lisa blanca, es una especie de importancia comercial y ecológica que habita en las regiones costeras del Atlántico americano desde Nueva Escocia, Canadá, hasta el sur de Argentina (González-Castro & Ghasemzadeh, 2016).

Los ambientes estuarinos y las zonas costeras poco profundas son esenciales para la reproducción de *M. curema*. Estas áreas presentan condiciones ideales en términos de salinidad, temperatura y disponibilidad de alimento para las crías. Durante el desove, grandes agregaciones de esta especie se reúnen, y tras la fertilización, los huevos y larvas son transportados por las corrientes hacia zonas con condiciones adecuadas para su desarrollo (CNP, 2023).

En diversas zonas del Golfo de México (GM) la lisa blanca muestra variación en la forma del cuerpo y en la forma de las escamas, se ha planteado la hipótesis de que esta diversificación puede estar influenciada por diferencias en la época reproductiva (Ibáñez-Aguirre & Leonart, 1996; Ibáñez *et al.*, 2006), la cual se ha observado está relacionada con la temperatura del agua (Ibáñez & Gutiérrez-Benítez, 2004). En áreas cercanas al meridiano ecuatorial, *M. curema* presenta reproducción continua durante todo el año con dos picos de desove, mientras que, en zonas más norteñas, alrededor de los 22° N, solamente hay un periodo de desove (Ibáñez & Colín, 2014).

La historia de vida de *M. curema* parece ser más compleja que como se describió inicialmente, por ejemplo, de acuerdo con el análisis micro-químico del núcleo de otolitos, la zona de crianza no corresponde con los sitios de captura de los adultos (Avigliano *et al.*, 2020a). Los patrones migratorios estuarinos son los más comunes y se plantea la posibilidad de que esta especie lleve a cabo el desove en zonas es-

tuarinas y no solamente en la zona marina como se había pensado anteriormente (Avigliano *et al.*, 2020b).

*Mugil curema* es de gran relevancia ecológica y económica tanto en el GM como a lo largo de todo el Caribe (Marin & Dodson, 2000; Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004), por lo que el conocimiento y comprensión de sus características reproductivas es fundamental para diseñar estrategias de conservación y manejo adecuadas. Asimismo, para la preservación de su hábitat y la regulación de las actividades pesqueras relacionadas para asegurar la continuidad y la viabilidad pesquera de esta especie.

Dada la importancia pesquera de la especie se requiere incrementar su conocimiento, así el objetivo de este estudio es analizar, describir y comparar la reproducción y época de desove de *M. curema* en dos sistemas costeros del sur del GM, en la Laguna de Alvarado (AL), Veracruz y en Puerto Ceiba (PC), Tabasco, y contrastar con las temporadas reproductivas entre la zona norte del GM.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las recolecciones de *M. curema* se obtuvieron de capturas comerciales en las riberas de AL (18° 48' - 18° 43' N y 95° 52' - 95° 43' W) y en PC (18° 25' - 18° 21' N y 93° 13' - 93° 07' W) (Figs. 1a y 1b). En ambas localidades los pescadores artesanales emplean redes comerciales, con trasmallos de entre 2 ½ y 2 ¾ de pulgada: (6.3 y 7 cm), en AL los trasmallos son en promedio 500 m de largo por 3 de profundidad, mientras que en PC de 700 m de largo y 6 de profundidad. Las recolecciones fueron mensuales y simultáneas de enero a diciembre del 2018. Los ejemplares fueron identificados siguiendo la clave taxonómica de Harrison (2002). Se obtuvieron los siguientes datos: longitud total (LT) en cm, peso total (PT), peso eviscerado (PE) y peso de las gónadas (PG) en g.

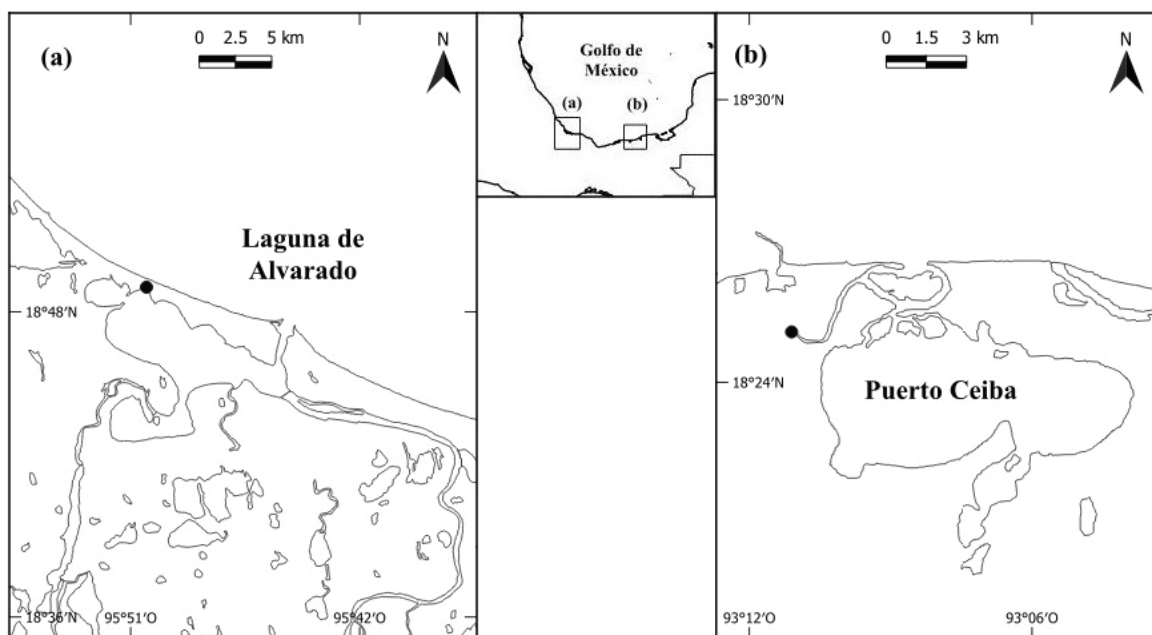


Fig. 1. Zonas de colecta en el Golfo de México. Laguna de Alvarado, Veracruz (a) y Puerto Ceiba, Tabasco (b). Círculos negros son las zonas de desembarco.

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, para realizar un Análisis de Varianza paramétrico, fueron probados con las pruebas de Shapiro-Wilks y Tukey respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995; Zar, 2010). Si los datos de longitud total no presentaron normalidad ni homogeneidad de varianzas, para la comparación de medias entre los factores localidad, estación del año, sexo y estadios gonádicos, se realizó un análisis de varianza por permutaciones ADONIS usando el paquete “vegan” (Oksanen, 2017). Así mismo, las diferencias entre pares fueron realizadas con un análisis post-hoc F por permutaciones utilizando el paquete “RVAideMemoire” del programa R (R Core Team, 2019; Hervé & Hervé, 2020).

El sexo y el estado de madurez sexual se determinaron *in visu* en 616 especímenes (298 para AL y 318 para PC) siguiendo la clave de Díaz-Pardo y Hernández-Vázquez (1980) que se describe como: Estadio I: son peces juveniles en los que el sexo no es posible de identificar macroscópicamente, las gónadas son filamentos alargados menores a 2 mm de diámetro; Estadio II: las gónadas ocupan 1/3 de la cavidad abdominal, los ovarios son rosados y los testículos blancos; Estadio III: las gónadas ocupan entre la 1/2 a 3/4 de la cavidad abdominal, los ovocitos no están individualizados y son amarillos y los testículos son blancos; Estadio IV, estadio pre-desove, las gónadas ocupan entre 3/4 a toda la cavidad abdominal y los ovocitos están individualizados; Estadio V: es el estadio de desove donde las gónadas ocupan toda la cavidad abdominal y los ovocitos y el semen se liberan apretando la zona ventral del cuerpo; Estadio VI: post-desove, las gónadas se presentan laxas. La longitud total de la primera madurez sexual se determinó usando 50% de la frecuencia acumulada ( $L_{50}$ ) para hembras y machos por separado en estadios de madurez IV a VI. Adicionalmente, se estimó “la talla de la primera maduración sexual” como “la mínima longitud de desove”. El valor de  $L_{50}$  talla media de madurez que es la probabilidad de que el 50% de los individuos sean maduros sexualmente, se calculó sobre los datos binomiales de madurez sexual (0 inmaduro, 1 maduro) ajustando una curva logística  $Y = [1 + e^{-(a+bx)}]^{-1}$  de acuerdo a Vazzoler (1996); donde “Y” es la proporción de individuos maduros y “x” es la longitud total en cm. La  $L_{50}$  se calculó a partir del modelo resultante como  $-a/b$ . El modelo se ajustó utilizando regresión no lineal por mínimos cuadrados. Los intervalos de confianza de  $L_{50}$  fueron calculados a través de Bootstrap (Ogle, 2016). Las comparaciones estadísticas entre las curvas logísticas para los diversos pares fueron calculadas a partir de una distribución chi-cuadrada,  $X^2$ , (Ogle, 2016).

También se estimó la proporción de sexos [(Proporción de hembras = número de hembras / total de individuos) \* 100; Proporción de machos = 100 – proporción de hembras]. Se calculó el índice gonadosomático (IGS) para hembras y machos en ambas zonas de recolecta siguiendo a Hun-Han (1978), donde el peso de la gónada (PG) se expresa como función del peso eviscerado total del cuerpo (PE):  $IGS = 100 \times (PG/PE)$ . Si los datos no mostraran normalidad con el test Omnibus, se empleará la Anova de un factor de Kruskal-Wallis (Zar, 2010), proponiendo la hipótesis nula como la ausencia de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores mensuales del IGS. En los casos en los que la hipótesis nula fue rechazada, el análisis múltiple no paramétrico de Dunn's fue empleado.

## RESULTADOS

La longitud total (LT) mostró diferencias significativas entre localidades ( $p = 0.004$ ), sexos ( $p = 0.004$ ) y estadios ( $p = 0.004$ ). Al menos para machos de AL y machos y hembras de PC se observa que las mayores tallas promedio están asociadas a hembras en PC de los estados de madurez gonádica V y VI (Tabla 1).

Las gónadas de *M. curema* se pueden diferenciar visualmente, excepto en individuos jóvenes que nunca han desovado cuyas gónadas son solamente unos filamentos con organismos con tallas de  $28.0 \pm 1.6$  y  $29.8 \pm 4.2$  cm LT para AL y PC, respectivamente (Tabla 1). Los ovarios son cilíndricos y, cuando maduran, los ovocitos son fácilmente reconocibles con un color amarillo intenso. Los testículos son alargados, blancuecinos con peso promedio de  $5.4 \pm 2.5$  g en organismos de estadio de madurez III en AL, y de  $5.5 \pm 3.0$  g y en los especímenes de PC. Las gónadas de hembras pesan  $40.0 \pm 10.3$  g para organismos en estadio V (estadio de desove) para AL, y de  $50.9 \pm 16.5$  g para PC (Tabla 1).

La variación mensual en la frecuencia relativa de los estadios de maduración de las gónadas en AL indica que solo se presentaron ejemplares previtelogénicos y vitelogénicos, correspondientes a las etapas I y II durante agosto, la fase III está presente todo el año y las fases IV (pre-desove), V (desove) y posdesove (VI) se presentan desde diciembre hasta abril (Fig. 2a). La variación mensual de los estadios de madurez sexual para PC indicó estadios pre-vitelogénicos (I y II) durante todo el año con excepción de marzo y noviembre. Los estadios IV y V (pre-desove y desove, respectivamente), se presentaron todo el año exceptuando julio. El periodo de desove se lleva a cabo de septiembre a junio con máximos de enero a junio (Fig. 2b). Por lo que se puede afirmar que *M. curema* en PC desova prácticamente durante todo el año.

Los valores máximos de  $L_{50}$  (34.41 cm LT) se presentaron en AL siendo los machos los que obtuvieron dicho valor. En PC el valor general de  $L_{50}$  fue de 30.74 cm LT (Tabla 2). El valor mínimo de  $L_{50}$  fue para las hembras en PC (30.02 cm LT). Cabe mencionar que el valor de  $L_{50}$  para machos en la AL obtuvo también el intervalo de confianza más amplio con 12.64 cm de variación (Tabla 2). Se observaron diferencias significativas entre los valores de  $L_{50}$  de ambas localidades y entre hembras y machos en cada localidad ( $p < 0.001$ ). No se observaron diferencias significativas entre el  $L_{50}$  machos y hembras en cada localidad ( $p > 0.05$ ).

Para machos y hembras los valores del IGS más bajos en AL se observaron de julio (machos =  $0.31 \pm 0.15$ , hembras =  $2.21 \pm 4.56$ ) a noviembre (machos =  $0.64 \pm 0.24$ , hembras =  $124 \pm 1.14$ ) (Fig. 3a). Los valores más altos tanto para machos como hembras se presentaron desde enero (machos =  $2.83 \pm 1.35$ , hembras =  $5.39 \pm 4.65$ ) a abril (machos =  $2.77 \pm 1.85$ , hembras =  $4.22 \pm 4.19$ ) y diciembre (machos =  $1.42 \pm 1.27$ , hembras =  $3.74 \pm 5.48$ ), y coincide con la presencia de las fases IV y V (Fig. 3a). El IGS mensual de las hembras tuvo diferencias significativas entre enero y febrero ( $p = 0.001$ ), marzo y abril ( $p = 0.001$ ), y entre julio, agosto, septiembre, octubre noviembre y diciembre (Fig. 3a). En el IGS de los machos se observaron diferencias significativas solamente entre agosto y septiembre ( $p = 0.001$ ) y entre noviembre y diciembre ( $p = 0.0001$ ) (Fig. 3a).

Tabla 1. Promedio  $\pm$  desviación estándar de la longitud total (cm), número de individuos (en paréntesis) y peso de la gónada (g) de *Mugil curema* por localidad, estadio y sexo. Las siglas indican diferencias significativas ( $p < 0.001$ ). La descripción de los estadios de madurez sexual se menciona en el apartado de Material y Métodos.

	Longitud total (cm)			Peso de la gónada (g)		
	Indiferenciado	Hembra	Machos	Indiferenciado	Hembra	Machos
Laguna Alvarado	28 $\pm$ 1.6 (28)	31.6 $\pm$ 2.1 (169)	30.0 $\pm$ 2.6 (101)			
I	28 $\pm$ 1.6 (28)			0.3 $\pm$ 0.1		
II		31.8 $\pm$ 1.9 (64) <sup>III</sup>	30.8 $\pm$ 2.4 (49)		2.5 $\pm$ 1.6	1.9 $\pm$ 1.5
III		30.6 $\pm$ 2.4 (30)	28.4 $\pm$ 2.2 (13)		12.3 $\pm$ 7.1	5.4 $\pm$ 2.5
IV		32.3 $\pm$ 1.7 (22)	28.1 $\pm$ 1.7 (12) <sup>III</sup>		32.1 $\pm$ 11	7.9 $\pm$ 4.5
V		32.2 $\pm$ 2.3 (22)	30 $\pm$ 2.1 (2)		40 $\pm$ 10.3	13.5 $\pm$ 6.6
VI		31.3 $\pm$ 2.3 (31)	30.4 $\pm$ 2.8 (25)		2.3 $\pm$ 1.7	1.4 $\pm$ 1.0
Puerto Ceiba	29.8 $\pm$ 4.2 (11)	33.8 $\pm$ 3.1 (211)	32.1 $\pm$ 3.2 (96)			
I	29.8 $\pm$ 4.2 (11)			0.6 $\pm$ 0.6		
II		33.6 $\pm$ 3.1 (24)	30.9 $\pm$ 2.4 (10)		4.1 $\pm$ 2.3	3.6 $\pm$ 1.7
III		32.3 $\pm$ 2.8 (35)	30.6 $\pm$ 2.9 (22)		17.6 $\pm$ 13.5	5.5 $\pm$ 3.0
IV		33.3 $\pm$ 2.9 (37)	31.3 $\pm$ 3.1 (9)		39.7 $\pm$ 13.9	9.1 $\pm$ 7.2
V		34.8 $\pm$ 2.5 (43) <sup>III</sup>	32.9 $\pm$ 0.0 (1) <sup>III</sup>		50.9 $\pm$ 16.5	27.5 $\pm$ 0
VI		34.4 $\pm$ 3.4 (72)	33.1 $\pm$ 3.2 (54)		2.4 $\pm$ 1.5	1.4 $\pm$ 0.7

En PC el comportamiento del IGS fue similar al observado en AL, con valores bajos de junio (machos =  $0.84 \pm 0.85$ , hembras =  $5.13 \pm 6.13$ ) a diciembre (machos =  $0.47 \pm 0.14$ , hembras =  $1.83 \pm 4.12$ ) y valores altos de IGS de enero (machos =  $2.58 \pm 2.09$ , hembras =  $9.05 \pm 5.79$ ) a abril (machos =  $2.26 \pm 1.61$ , hembras =  $13.80 \pm 7.95$ ), coinciden con la presencia de las fases IV y V (Fig. 3b). El IGS mensual de las hembras tuvo diferencias significativas entre febrero y marzo, marzo y abril y entre octubre y noviembre ( $p = 0.001$ ) (Fig. 3b). En el IGS de los machos se observaron diferencias significativas entre febrero y marzo, entre julio y agosto y entre agosto y septiembre ( $p = 0.001$ ) (Fig. 3b).

La relación total hembra: macho fue de 1:0.6 y 1:0.5 en AL y PC respectivamente. En AL la mayoría de los meses la proporción de hembras fue mayor a la de los machos, la máxima proporción de hembras se observó durante enero (80.65%) y la mínima durante octubre (63.16%, Fig. 4). Solamente hubo diferencias significativas ( $p = 0.001$ ) entre las proporciones hembra: macho (1:1) durante enero, marzo y septiembre a favor de las hembras. En PC, igualmente durante casi todo el año la

proporción de sexos favoreció a las hembras, la máxima proporción de hembras fue durante enero (89.28%) y la mínima en agosto (53.33%, Fig. 4). Se observaron diferencias significativas ( $p = 0.001$ ) en la proporción hembra: macho (1:1) durante enero, febrero, marzo, abril y octubre.

## DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que *M. curema* desova durante casi todo el año en PC, Tabasco, mientras que en AL el desove se restringe a la mitad del año. El pico máximo de desove, en ambas localidades, se presentó a lo largo del invierno (diciembre, enero y febrero), coincidiendo con lo reportado por otros autores para AL (Franco-López *et al.*, 2014) y para el GM (García, 1982; Ibáñez-Aguirre y Gallardo-Cabello, 2004; Lorán-Núñez *et al.*, 2008; Ibáñez y Colín, 2014).

Las diferencias en la proporción sexual de hembras/machos pueden ser atribuidas a distintos factores, entre ellas la mortalidad, el crecimiento, la longevidad, la actividad sexual, las tasas de migración, zonas de crianza y desove (Wootton, 1992), o bien a una segregación por grupos de edad o sexo. En el género *Mugil*, generalmente los machos permanecen la mayor parte del tiempo en zonas alejadas de la costa (Ould-Mohamed-Vall, 2004) así que es posible que puedan evadir las capturas pesqueras. Así mismo, los machos de *M. curema* muestran filopatría en el GM (Colín *et al.*, 2024). Las proporciones de sexo sesgadas también pueden indicar la posibilidad de alteraciones ambientales dentro del hábitat de la población de peces. Por ejemplo, un cambio de temperatura puede inducir la diferenciación sexual (Budd *et al.*, 2015), mientras que algunos depredadores prefieren presas hembras sobre machos o viceversa (McKellar & Hendry, 2011; Fryxell *et al.*, 2015). La contaminación ambiental con hormonas también puede inducir cambios que pueden influir en la determinación del sexo (Sánchez *et al.*, 2011). Por otro lado, el esfuerzo pesquero es mayor en las hembras por el alto valor comercial que representan la “hueva” (gónadas) de esta especie lo que hace que las hembras sean el principal objetivo durante la época reproductiva, aunque el

Tabla 2. Valores de  $L_{50}$  en cm y su intervalo de confianza basado en Bootstrap para *Mugil curema* en las localidades muestreadas. Las siglas indican diferencias significativas ( $p < 0.001$ ).

Localidad/sexo	$L_{50}$	Intervalo de confianza	
		2.5%	97.5%
Laguna Alvarado	34.41 <sup>PC</sup>	32.42	35.45
Hembras	33.26 <sup>PCH</sup>	31.92	35.19
Machos	34.41 <sup>PCM</sup>	31.85	44.49
Puerto Ceiba	30.74	29.26	31.4
Hembras	30.02	27.83	31.31
Machos	30.74	28.13	31.88

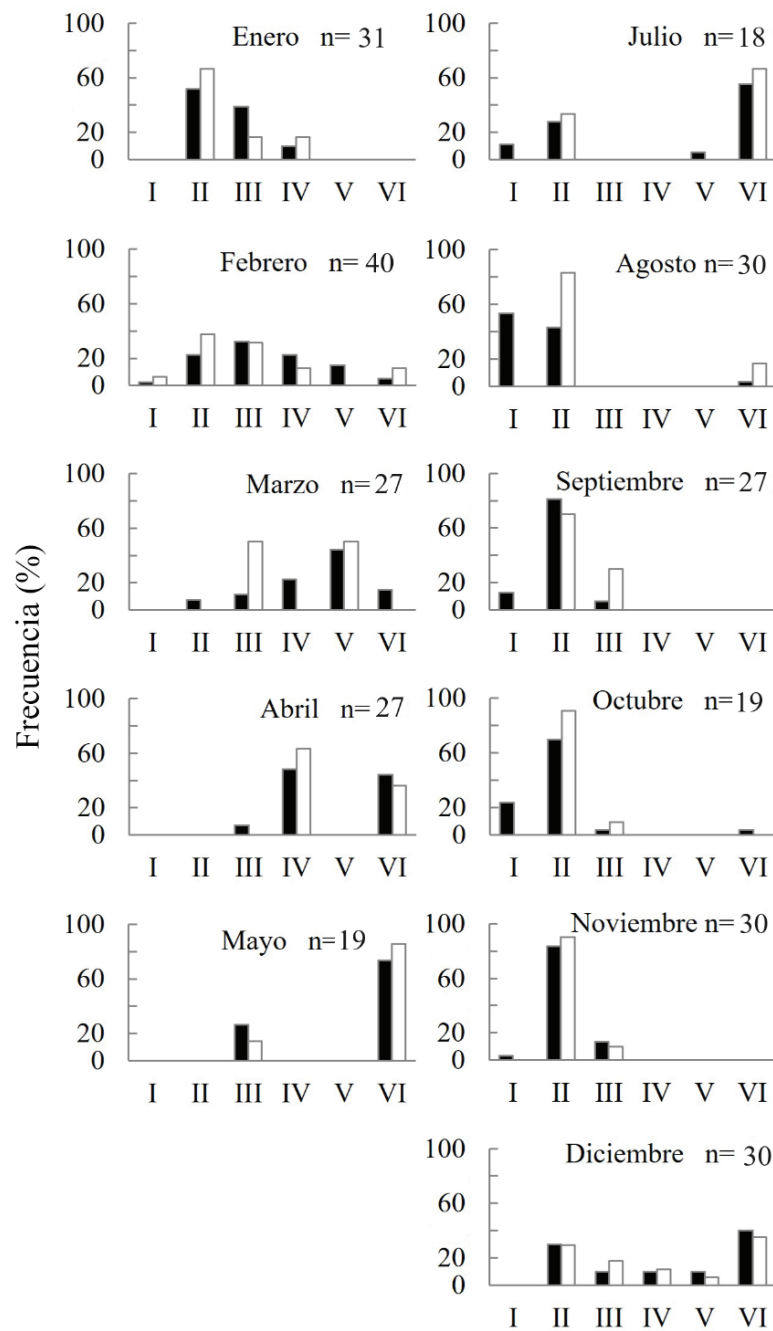


Fig. 2a. Variación mensual de estadios de ovarios y testículos en la Laguna de Alvarado para *Mugil curema*.

resto del año se comercializa la carne. Adicionalmente, los mugilidos forman cardúmenes para realizar migraciones con fines reproductivos entre el mar y las zonas estuarinas (Riaño & Salazar, 1982; Blanco, 1983), en esta etapa los hace más vulnerables a su captura durante el periodo de desove (Ferrer-Montaña, 1988).

Los valores del IGS para ambas localidades mostró ser un buen indicador de la temporada de desove, coinciden los valores más altos con los meses dónde se presentó el desarrollo vitelogénico en las gó-

nadas. En *M. curema* los valores más altos de IGS están presentes en los meses con gónadas en etapas vitelogénicas. Esto concuerda con la relación directa que se ha encontrado entre el IGS con las etapas de madurez sexual. Los estudios reproductivos realizados en la mayoría de las especies de mugilidos muestran comúnmente que sólo se presenta un IGS máximo durante el año, lo cual a su vez puede correlacionarse con un único periodo de desove por año (González-Castro & Minos, 2016). Sin embargo, en el caso de *M. curema* en Brasil (Oliveira *et al.*, 2011) se han reportado dos picos del IGS (correlacionados con estadios



vitelogénicos), igualmente se han reportado para *Liza parsia* en Bangladesh (Rheman *et al.*, 2002) y *M. liza* en Argentina (González-Castro, 2007). En la laguna de Tamiahua, Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello (2004) reportaron que el valor más alto del IGS para *M. curema* fue de 24, mientras que en este estudio los valores son de 22 en AL y en PC de 25. Los valores más bajos del IGS pueden atribuirse a la contaminación que impacta los ecosistemas lo que ha sido demostrado experimentalmente empleando diferentes contaminantes en peces

(Pereira *et al.*, 1993; Kime, 1995; Mills *et al.*, 2001). En las zonas de estudio existen algunos estudios que evidencian tanto contaminantes del petróleo como microbiológicos (Guzmán-Amaya *et al.*, 2005; Wong-Chang & Barrera-Escorcia, 2005; Zamudio *et al.*, 2018). La presión pesquera puede también estar influyendo en la disminución del IGS, cabe resaltar la dificultad en la recolecta de ejemplares de *M. curema* particularmente para PC, Tabasco.

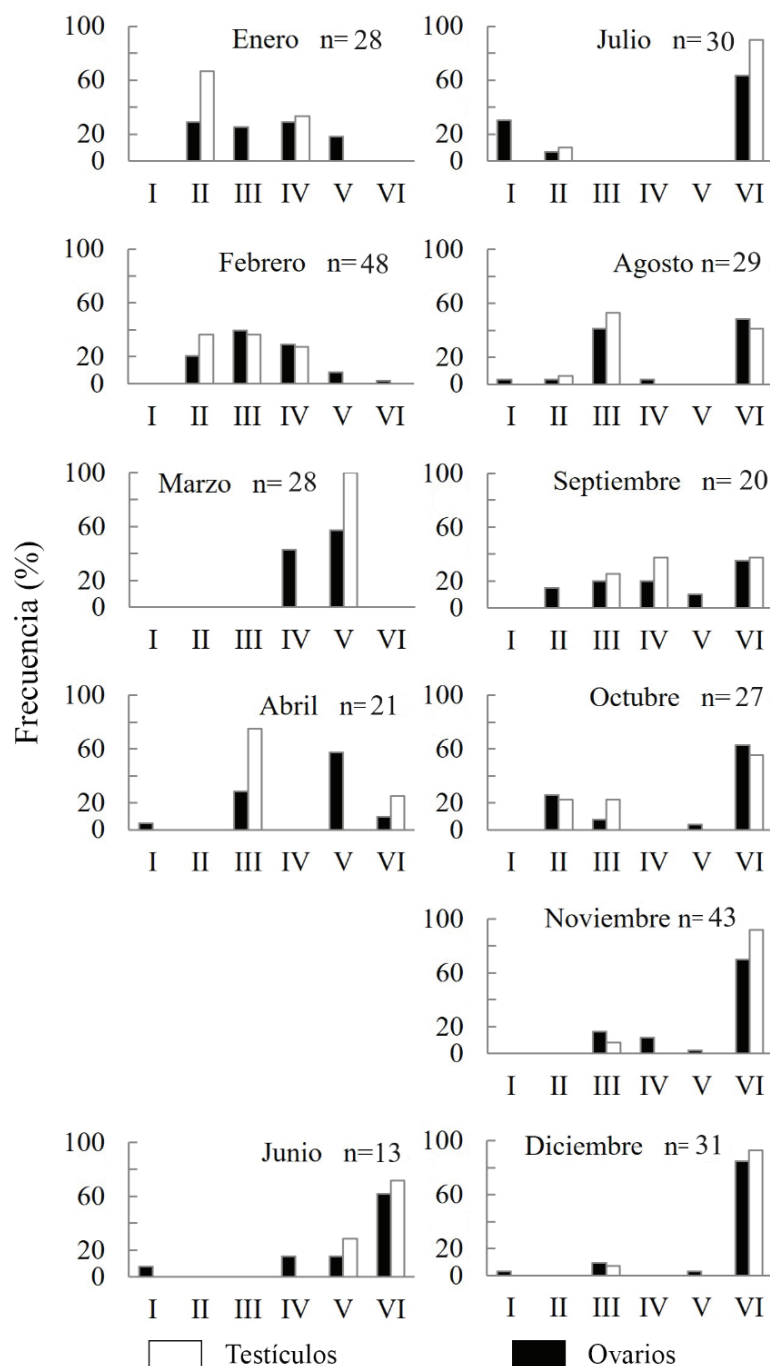


Fig. 2b. Variación mensual de estadios de ovarios y testículos en Puerto Ceiba para *Mugil curema*.

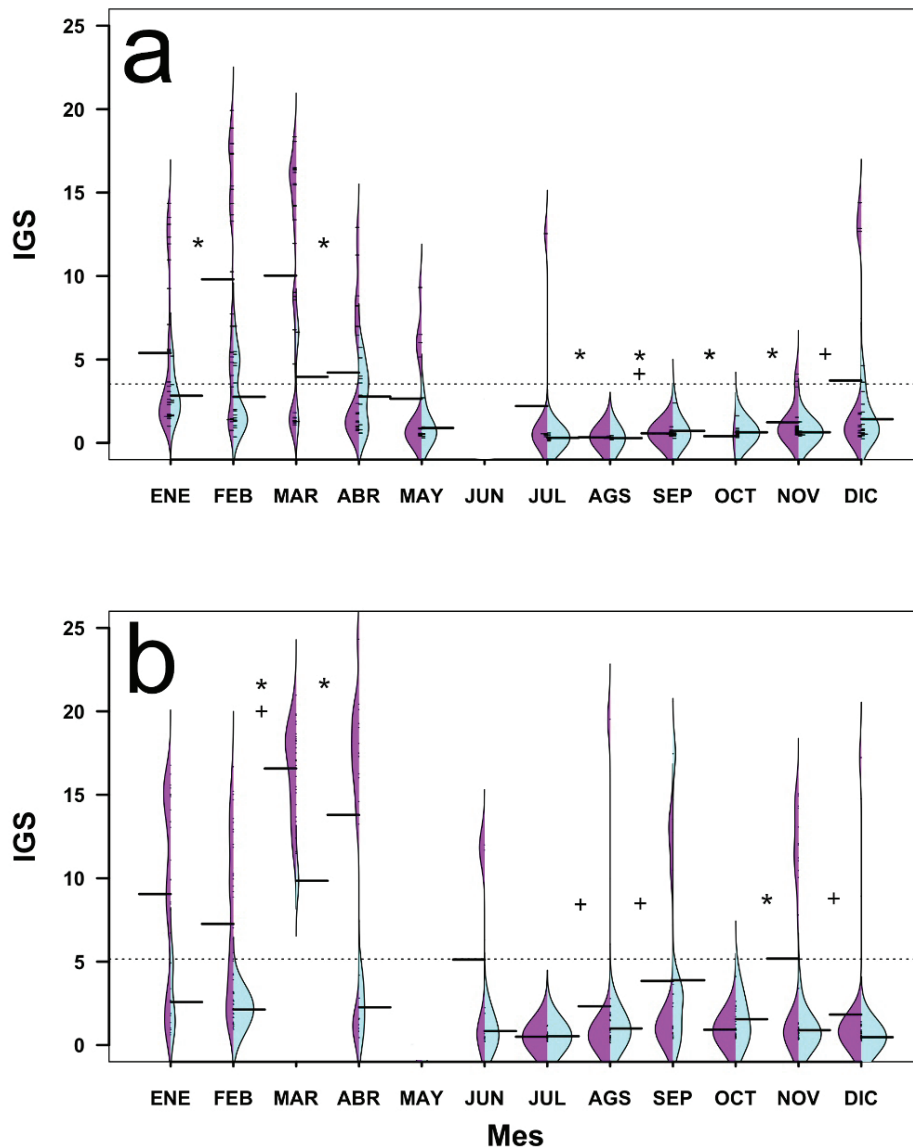


Fig. 3. Variación del Índice Gonadosomático (IGS) para machos (azul) y hembras (violeta) de *Mugil curema* en la Laguna de Alvarado (a) y Puerto Ceiba (b). Líneas negras horizontales es el promedio por mes por cada sexo y la línea punteada horizontal el promedio anualizado. \*indica diferencias significativas mensuales y + diferencias significativas entre machos y hembras del mes indicado.

La  $L_{50}$  determinada para *M. curema* en ambas localidades es mayor a las anteriormente reportado para otras localidades del GM, donde la  $L_{50}$  apenas supera los 27 cm de LT (Orozco-Álvarez, 1986; Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004; Fernández & Díaz 2013). Esta diferencia debe ser tomada con precaución, hay variación en la  $L_{50}$  debido al método de estimación por lo que es especialmente importante observar los intervalos de confianza (Ogle, 2016). Otra causa de estas diferencias podría estar relacionadas con la selectividad de las artes de pesca empleadas (Özbilgin *et al.*, 2010; Hailu, 2014; Makmur *et al.*, 2019).

En ambas localidades se pudo observar que los machos maduraron a una talla menor que las hembras. El hecho de que los machos sean sexualmente maduros a menor talla ha sido reportado para esta y otras especies de mugílidos (Kendall & Gray, 2008). La talla media de captura recomendada en la Norma Oficial Mexicana (NOM-016-PESC-1994) para esta especie es de 26 cm LT y se pudo observar que la talla mínima de maduración sexual en ambas localidades y para ambos sexos es considerablemente menor, lo que nos lleva a pensar que existe sobrepesca, esto ocasiona una disminución en la capacidad de reproducción y recuperación del recurso pesquero, afectando el sustento de las comunidades costeras que dependen de su pesca.

Tabla 3. Temporadas de desove de *Mugil curema* ordenadas latitudinalmente para diversas regiones del Golfo de México y del Atlántico Occidental. En **negro** se señalan las localidades en las que se encontraron meses con estadios reproductivos.

Zona	Latitud Norte	Autor (año)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sur de Texas, USA	27° 51'	Moore (1974)												
Florida del Sur, USA	25° 57'	Anderson (1957)												
Laguna Madre, Tamaulipas	25° 3'	García (1982)												
Lagunas Madre y Tamiahua	25° 3', 21° 38'	Ibáñez & Colín (2014)												
Occidente del Golfo de México	24° 00 '	Caldwell & Anderson (1959)												
Pueblo Viejo, Veracruz	22° 11'	Rivera-Bernal (1981)												
Laguna de Tamiahua, Veracruz	22° 08'	Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello (2004)												
Laguna de Alvarado, Veracruz	18° 46'	Franco-López, <i>et al.</i> (2014)												
Laguna de Alvarado, Veracruz	18° 46'	<i>Presente estudio</i>												
Laguna de Sontecomapan, Veracruz	18° 31'	Loran-Núñez <i>et al.</i> (2008)												
Puerto Ceiba, Paraíso, Tabasco	18° 24'	<i>Presente estudio</i>												

Como se mencionó antes, en la zona norte del GM, el desove sucede en un periodo más estrecho, de enero a abril (Anderson, 1957; Moore, 1974; Ditty & Shaw, 1996; Ibáñez & Colín, 2014). El desove más corto se relaciona con zonas más norteñas del GM (cerca de los 22° N) y a su vez, esta diferenciación en el desove coincide relativamente con la clasificación de ecorregiones marinas propuesta por Spalding *et al.* (2007), diferenciando la zona tropical de la zona templada. Los desoves por encima o cercanos a 23° 26' N se desarrollan en una sola temporada durante el invierno e inicio de la primavera, mientras que por debajo de esa latitud el desove se presenta durante un periodo más prolongado

a lo largo del año (Tabla 3). Ditty y Shaw (1996) recolectaron la mayor abundancia de larvas de *M. curema* de abril a mayo en la región noreste del GM. Sin embargo, encontraron que las larvas ocurrieron sólo hasta septiembre, coincidiendo con los meses de valores de temperatura promedio más altos de esa zona costera (~24.5°C con promedio de 26.3°C). Se ha demostrado experimentalmente que los juveniles de *M. curema* se aclimatan más rápido a las altas que a las bajas temperaturas (Ciurcina & Chung, 1983; Segnini de Bravo *et al.*, 1993), hecho que confirma su preferencia tropical.

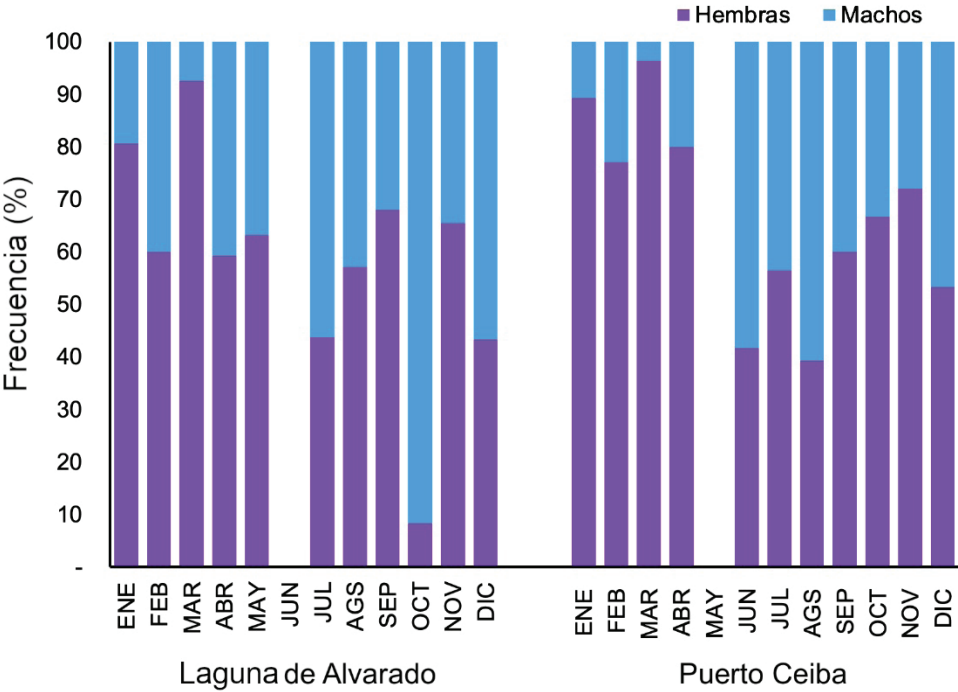


Fig. 4. Proporción mensual macho: hembra en *Mugil curema*, en las localidades muestreadas.



Las épocas de desove en la zona norte y sur del GM muestran valores máximos similares - de diciembre a abril-, sin embargo, en las localidades sureñas y en particular en PC, Tabasco, el desove se presenta durante prácticamente todo el año de septiembre a junio con máximos de enero a junio, mientras que en AL se presentó entre diciembre y abril (Tabla 3).

#### Declaración ética:

No se necesitó ningún permiso especial para recolectar la lisa blanca puesto que todos los especímenes fueron recolectados en pesquerías comerciales en embarcaciones que participan en la pesquería con permiso de captura comercial. La manipulación de los organismos se llevó a cabo con el permiso de los pescadores.

### REFERENCIAS

- ANDERSON, W. W. 1957. Early development, spawning, growth, and occurrence of the silver mullet (*Mugil curema*) along the south Atlantic coast of the United States. *Fishery Bulletin* 57: 397-414.
- AVIGLIANO, E., A. IBAÑEZ, N. FABRÉ, R. CALLICÓ FORTUNATO, A. MÉNDEZ, J. PISONERO & A.V. VOLPEDO. 2020a. Unravelling the complex habitat use of the white mullet, *Mugil curema*, in several coastal environments from Neotropical Pacific and Atlantic waters. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 31: 789-801. DOI: 10.1002/aqc.3486
- AVIGLIANO, E., A. IBAÑEZ, N. FABRÉ, R. CALLICÓ FORTUNATO, A. MÉNDEZ, J. PISONERO & A.V. VOLPEDO. 2020b. White mullet *Mugil curema* population structure from Mexico and Brazil revealed by otolith chemistry. *Journal of Fish Biology* 97: 1187-1200. DOI: 10.1111/jfb.14500
- BLANCO, J. A. 1983. The condition factor of *Mugil incilis* Hancock (Pisces: Mugilidae) and its seasonal changes in the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín* 13: 133-142.
- BUDD, A. M., Q. Q. BANH, J. A. DOMINGOS & D. R. JERRY. 2015. Sex control in fish: approaches, challenges and opportunities for aquaculture. *Journal of Marine Science and Engineering* 3: 329-355. DOI: 10.3390/jmse3020329
- CALDWELL D. K. & W. W. ANDERSON. 1959. Offshore occurrence of larval silver mullet, *Mugil curema*, in the western Gulf of Mexico. *Copeia* 1959: 252-253. DOI: 10.2307/1440402
- GIURCINA P. & K. S. CHUNG. 1983. Efectos de la temperatura ambiental y la temperatura de aclimatación sobre la tolerancia térmica en ejemplares juveniles de la lisa *Mugil curema*. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 22: 35-41.
- CNP. CARTA NACIONAL PESQUERA. 2023. DOF: 21/07/2023 Diario Oficial de la Federación. Consultado el 27 de febrero, 2024. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892410/CNP\\_2023.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892410/CNP_2023.pdf)
- COLÍN A., S. CASTAÑEDA-RICO, L. M. GUEVARA-CHUMACERO, E. PACHECO-ALMANZAR & A.L. IBAÑEZ. 2024. Evidence of philopatry in white mullet *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae). *Fisheries Research* 280: 107175. DOI:10.1016/j.fishres.2024.107175
- DÍAZ-PARDO E. & S. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ. 1980. Crecimiento, reproducción y hábitos alimenticios de la lisa *Mugil cephalus* en la Laguna de San Andrés, Tamps. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México* 23: 109-127.
- DITTY, J. G. & R. F. SHAW. 1996. Spatial and temporal distribution of larval striped mullet (*Mugil cephalus*) and white mullet (*M. curema*, family: Mugilidae) in the northern Gulf of Mexico, with notes on mountain mullet, *Agonostomus monticola*. *Bulletin of Marine Science* 59: 271-288.
- FERNÁNDEZ, W. S. & J. F. DIAS. 2013. Aspects of the reproduction of *Mugil curema* Valenciennes, 1836 in two coastal systems in southeastern Brazil. *Tropical Zoology* 26(1): 1-32. DOI:10.1080/03946975.2013.775052
- FERRER-MONTAÑO, O. J. 1988. Madurez sexual, diámetro de huevos, fecundidad y factores relacionados de la lisa (*Mugil curema* Valenciennes, 1836) del Lago de Maracaibo. *Zootecnia tropical* 6(1): 81-112.
- FRANCO-LÓPEZ, J., L.G. ABARCA-ARENAS, H. BARRERA-ESCORCIA, C. BEDIA-SÁNCHEZ, V. RIVERA-FELIX & T. CORRO-FERREIRA. 2014. Seasonal patterns of abundance, growth, gonad development and feeding behavior of *Mugil curema* V., 1836 and *Mugil cephalus* L., 1758 in the Lagoon of Alvarado, Veracruz, Mexico. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 9(3): 109-124.
- FRYXELL, D. C., H. A. ARNETT, T. M. APGAR, M. T. KINNISON & E. P. PALKOVACS. 2015. Sex ratio variation shapes the ecological effects of a globally introduced freshwater fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1817): 20151970. DOI: 10.1098/rspb.2015.1970
- GARCÍA S. S. 1982. Contribución al conocimiento de la biología de la lebrancha (*Mugil curema* V.) y de la lisa (*Mugil cephalus* L.) del sur de Tamaulipas. *Proyecto escama del Golfo de México, zona NE Centro de Investigaciones Pesqueras de Tampico*. Tamps. INP. 41pp.
- GONZÁLEZ-CASTRO, M. 2007. Los peces representantes de la familia Mugilidae en Argentina. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 182 p.
- GONZÁLEZ-CASTRO, M. & J. GHASEMZADEH. 2016. Morphology and morphometry based taxonomy of Mugilidae. In: Crosetti, D. & S. J. Blaber (Eds.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 1-21. DOI:10.1201/b19927-2
- GONZÁLEZ-CASTRO M. & G. MINOS. 2016. Sexuality and reproduction of Mugilidae. In: Crosetti, D. & S. J. Blaber (Eds.). *Biology, ecology and culture of grey mullets (Mugilidae)*. CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 227-263.
- GUZMÁN-AMAYA, P., S. VILLANUEVA F. & A.V. BOTELLO. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. In: Botello, A. V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, pp. 361-372.
- HAILU, M. 2014. Gillnet selectivity and length at maturity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in a tropical reservoir (Amerti: Ethiopia). *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 4(2A): 135-140.
- HARRISON, I.J. 2002. Mugilidae. In: Carpenter, K.E. (Ed.), *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. FAO Species Identification

- tification Guide for Fishery Purpose, pp. 1071–1085. DOI:10.3853/j.0067-1975.2.1892.1183
- HERVÉ, M. & HERVÉ, M. M. 2020. Package 'RVAideMemoire.' Available online at: <https://cran.r-project.org/web/packages/RVAideMemoire/RVAideMemoire.pdf>
- HUN-HAN, M. 1978. The reproductive biology of the dab *Limanda limanda* (L.) in the North Sea: gonadosomatic index, hepatosomatic index and condition factor. *Journal of Fish Biology* 13(3): 369–378.
- IBÁÑEZ, A. L. & J. LEONART. 1996. Relative growth and comparative morphometrics of *Mugil cephalus* L. and *M. curema* V. in the Gulf of Mexico. *Scientia Marina* 60 (2–3): 361–368.
- IBÁÑEZ, A. L. & O. GUTIÉRREZ-BENÍTEZ. 2004. Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 65(3): 822–831. DOI:10.1111/j.0022-1112.2004.00488.x
- IBÁÑEZ-AGUIRRE, A. L. & M. GALLARDO-CABELLO. 2004. Reproduction of *Mugil cephalus* and *M. curema* (Pisces: Mugilidae) from a coastal lagoon to the northwest of the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 75(1): 37–49.
- IBÁÑEZ-AGUIRRE, A. L., E. CABRAL-SOLÍS, M. GALLARDO-CABELLO & E. ESPINO-BARR. 2006. Comparative morphometrics of two populations of *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) on the Atlantic and Mexican Pacific coasts. *Scientia Marina* 70(1): 139–145. DOI: 10.3989/scimar.2006.70n1139
- IBÁÑEZ, A. L. & A. COLIN. 2014. Reproductive biology of *Mugil curema* and *Mugil cephalus* from western Gulf of Mexico waters. *Bulletin of Marine Science* 90(4): 941–952. DOI:10.5343/bms.2014.1004.
- KENDALL, B. W. & C. A. GRAY. 2008. Reproductive biology of two co-occurring mugilids, *Liza argentea* and *Myxus elongates*, in southeastern Australia. *Journal of Fish Biology* 73(4): 963–979. DOI:10.1111/j.1095-8649.2008.02000.x
- KIME, D. E. 1995. The effects of pollution on reproduction in fish. *Reviews in fish biology and fisheries* 5: 52–96.
- LORÁN-NÚÑEZ, R. M., A. J. VALDEZ-GUZMÁN & F. R. MARTÍNEZ-ISUNZA. 2008. Selectividad de la red agallera (tendal) y la talla mínima de captura de lebrancha (*Mugil curema*) en la Laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. *Ciencia Pesquera* 16: 47–55.
- MAKMUR, S., D. ARFIATI, G. BINTORO, A. W. EKAWATI, & S. SUBAGDJA. 2019. Gill net selectivity, length at first capture and length at first gonad maturity on *Hampala macrolepidota* (Kuhl & Van Hasselt, 1823) in Ranau Lake, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 348: 012006. DOI:10.1088/1755-1315/348/1/012006
- MARIN, B. J. & J. J. DODSON. 2000. Age, growth and fecundity of the silver mullet, *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae), in coastal areas of Northeastern Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 48(2): 2–3.
- McKELLAR, A. E. & A. P. HENDRY. 2011. Environmental factors influencing adult sex ratio in *Poecilia reticulata*: laboratory experiments. *Journal of Fish Biology* 79(4): 937–953. DOI:10.1111/j.1095-8649.2011.03065.x
- MILLS, L. J., R. E. GUTJARH-GOBELL, R. A. HAEBLER, D. J. BORSAY-HOROWITZ, S. JAYARAMAN, R. J. PRUELL, R. A. MCKINNEY, G. R. GARDNER & G. E. ZAROOGIAN. 2001. Effects of estrogenic (o,p'-DDT; octyphenol) and anti-androgenic (p,p'-DDE) chemicals on indicators of endocrine status in juveniles males summer flounder (*Paralichthys dentatus*). *Aquatic Toxicology* 52(2): 157–176.
- MOORE, R. H. 1974. General ecology, distribution and relative abundance of *Mugil cephalus* and *Mugil curema* on the south Texas coast. *Contributions in Marine Science* 18: 241–245.
- NOM-016-PESC-1994. Consultado el 27 de febrero, 2024. Disponible en: [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2018/normas/14\\_NOM\\_016\\_SAG\\_PESC\\_2014.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2018/normas/14_NOM_016_SAG_PESC_2014.pdf)
- OGLE, D. H. 2016. *Introduction to Fisheries Analyses with R*. Chapman & Hall. CRC Press. 338 p.
- OKSANEN, J. 2017. Vegan: ecological diversity. R Package. Version 2.4-4 11. Available online at: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>
- OLIVEIRA, M. F. D., E. F. DOS SANTOS COSTA, F. A. DE MORAIS FREIRE, J. E. LINS DE OLIVEIRA & A. C. LUCHIARI. 2011. Some aspects of the biology of white mullet, *Mugil curema* (Osteichthyes, Mugilidae), in the northeastern region, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 6: 138–147.
- OROZCO-ÁLVAREZ, J. I. 1986. Diagnóstico poblacional de *Mugil curema* Valenciennes (1836) (Lebrancha) en la laguna de La Mancha, Mpio. De Actopan, Ver. Tesis de grado. Universidad Veracruzana. 127 p.
- OULD-MOHAMED-VALL, M. 2004. Etude de la dynamique des systèmes d'exploitation et de l'écobiologie de la reproduction de trois Mugilidae: *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), *Liza aurata* (Perugia, 1892) et *Mugil capurrii* (Risso, 1810), analyse de leurs stratégies d'occupations des secteurs littoraux mauritaniens et de leurs possibilités d'aménagement. Tesis de doctorado, University Nice-Sophia Antipolis, France. 146 p.
- ÖZBILGIN, H., A. TOKAÇ & H. KAYKAÇ. 2010. Selectivity of conventional and alternative codend design for five fish species in the Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 26(3): 403–409. DOI:10.1111/j.1439-0426.2011.01916.x
- PEREIRA, J., R. MERCALADO, C. KUROPAT, D. LUEDKE & G. SENNE. 1993. Effects of cadmium accumulation on serum vitelogenin levels and hepatosomatic and gonadosomatic indices of winter flounder. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 24: 427–431.
- RHEMAN, S., M. L. ISLAM, M. R. SHAH, S. MONDAL & M. J. ALAM. 2002. Observation on the fecundity and gonadosomatic index (GSI) of grey mullet *Liza parsia* (Ham.). *Journal of Biological Sciences* 2: 690–693.
- R CORE TEAM. 2019. R: A language and environment for computing. R Foundation for Statistical Computing. Available at: <https://www.r-project.org/>
- RIÑO, G. & G. SALAZAR. 1982. Estudio preliminar de la ictiofauna de la Ciénaga de La Virgen con algunas notas ecológicas. Tesis de grado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 133 p.
- RIVERA-BERNAL, J. 1981. Contribución al estudio biológico de la Lebrancha *Mugil curema* (Valenciennes 1836) con fines de explotación piscícola.

- cola en la Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 56 p.
- SÁNCHEZ, W., W. SREMSKI, B. PICCINI, O. PALLUEL, E. MAILLOT-MARÉCHAL, S. BE-TOULLE, A. JAFFAL, S. AÏT-AÏSSA, F. BRION, E. THYBAUD, N. HINFRAY & J. M. PORCHER. 2011. Adverse effects in wild fish living downstream from pharmaceutical manufacture discharges. *Environment International* 37(8): 1342-1348. DOI: 10.1016/j.envint.2011.06.002
- SEGNINI DE BRAVO, M. I., K. S. CHUNG & P. CIURCINA. 1993. Tasa de aclimatación al cambio de temperatura de *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) de Venezuela. *Revista de Biología Tropical. Suplemento* 41(1): 59-62.
- SOKAL, R. R. & F. J. ROHLF. 1995. *Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica* (M. Lahoz León, Trad.). Tursen, S.A. Hermann Blume Ediciones. 832 p.
- SPALDING, M. D., H. E. FOX, G. R. ALLEN, N. DAVIDSON, Z. A. FERDAÑA, M. FINLAYSON, B. S. HALPERN, M. A. JORGE, A. L. LOMBANA, S. A. LOURIE, K. D. MARTIN, E. McMANUS, J. MOLNAR, C. A. RECCHIA & J. ROBERTSON. 2007. Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience* 57(7): 573-583.
- VAZZOLER, A. E. A. DE M. 1996. *Biología de reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática (SBI (ed.))*. Sociedade Brasileira de Ictiologia. Editora da Universidade Estadual de Maringá. 169 p.
- WONG-CHANG, I. & G. BARRERA ESCORCIA. 2005. Estado actual de la contaminación microbiológica en el Golfo de México. In: Botello, A. V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, pp 487-504.
- WOOTTON, R. J. 1992. *Fish Ecology*. Chapman and Hall. Londres. 212 p.
- ZAMUDIO, C., F. BRIGITTE & J. A. ROSAS CASTRO. 2018. Impacto económico, social y ambiental generado por el campo petrolero Puerto Ceiba en Paraíso, Tabasco, México. In: *Desarrollo Regional Sustentable y Turismo*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México, pp 247-271.
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical analysis. Fifth edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey, United States of America. 994 p.