

*Research Article*

## Aspectos reproductivos de la lisa *Mugil curema* (Mugiliformes: Mugilidae) en la laguna costera de Barra de Navidad, Jalisco, México

Salvador Ruiz-Ramírez<sup>1</sup>, Elvira Georgina Molina-Arenas<sup>1</sup>, Gabriela Lucano-Ramírez<sup>1</sup>  
Consuelo Aguilar-Betancourt<sup>1</sup>, Juan Ramón Flores-Ortega<sup>1</sup>  
Daniel Kosonoy-Aceves<sup>1</sup> & Gaspar González-Sansón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras  
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Corresponding author: Salvador Ruiz-Ramírez (sruizram@costera.melaque.udg.mx)

**RESUMEN.** La lisa *Mugil curema* tiene amplia distribución en América, habitando sistemas costeros y estuarinos. Es un recurso con importancia pesquera en varias regiones del Pacífico mexicano. El objetivo del presente trabajo es describir aspectos reproductivos de *M. curema* durante un ciclo anual. Se realizaron muestreos mensuales con redes y atarraya de febrero 2011 a enero 2012 en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. Se analizaron 495 ejemplares, a los cuales se les midió la longitud y el peso total. De cada ejemplar se extrajeron las gónadas, se pesaron, clasificaron según su maduración y se procesaron para histología. Se capturaron ejemplares entre 10,3 y 38,5 cm, con promedio de 26,1 cm. Se identificaron 375 hembras con promedio de 27,2 cm y 110 machos con promedio de 23,4 cm. El número de hembras dominó de manera significativa en la muestra total, por mes y por clase de longitud. Los valores máximos del índice gonadosomático ocurrieron en abril, agosto y noviembre. El factor de condición presentó valores altos en varios meses coincidiendo en ambos sexos. En la ovogénesis se identificaron seis fases de desarrollo de los ovocitos y debido a la gran cantidad de ovocitos con crecimiento primario y en vitelogénesis 2 y 3, el patrón de desarrollo fue sincrónico por grupos con desove total. La longitud promedio de madurez ( $L_{50}$ ) de machos fue de 21,7 cm y de hembras de 24,5 cm. Contrastando estas dos últimas longitudes con las de captura, se sugiere que más del 50% de los organismos capturados son individuos que se reprodujeron al menos una vez.

**Palabras clave:** *Mugil curema*, lisa, índice gonadosomático, histología, madurez gonadal, México.

## Reproductive aspects of *Mugil curema* (Mugiliformes: Mugilidae) in the Barra de Navidad coastal lagoon, Jalisco, Mexico

**ABSTRACT.** The white mullet *Mugil curema* is broadly distributed in America inhabiting coastal and estuarine systems. It is an economically important fishery resource in several regions of the Mexican Pacific. The goal of this research was the description of several reproductive aspects of *Mugil curema* during an annual cycle. Fish were sampled monthly with gill and cast nets from February 2011 to January 2012 in the coastal lagoon Barra de Navidad, Jalisco, Mexico. A total of 495 fish were analyzed. Total length and weight were measured for each specimen and gonads were collected, weighted, classified after their maturation stage and preserved for histological analyses. Caught fish were between 10.3 and 38.5 cm total length with a mean of 26.1 cm. A total of 375 individuals were classified as females with a mean total length of 27.2 cm while 110 fish were classified as males with a mean total length of 23.4 cm. Females dominated by numbers in the total sample, monthly and by length classes. Highest values of the gonadosomatic index occurred in April, August and November. Condition factor showed high values in several months and its trend along the year was similar in both sexes. Six stages were identified during the oogenesis and, due to the high quantity of primary growth and secondary vitellogenic and tertiary vitellogenic oocytes, the developing pattern was group-synchronous with total spawning. Length at maturity ( $L_{50}$ ) was 21.7 cm for males and 24.5 for females. Comparing these values with length composition of commercial catches, more than 50% of caught fish have reproduced at least once.

**Keywords:** *Mugil curema*, white mullet, gonadosomatic index, histology, gonadal maturity, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Las especies de la familia Mugilidae representan uno de los principales recursos en las pesquerías comerciales de estuarios en las regiones templadas y tropicales del mundo (Blaber, 1997). *Mugil curema* Valenciennes, 1836, conocida como lisa, es una especie de amplia distribución geográfica, que vive en aguas costeras y estuarinas en los océanos Atlántico y Pacífico (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004). Los juveniles ingresan a sistemas lagunares-estuarinos, donde se desarrollan hasta alcanzar la fase adulta, para luego migrar a la zona pelágica costera para desovar (Polanco *et al.*, 1987; Marín *et al.*, 2003). La lisa constituye uno de los recursos más importantes de la pesca artesanal en sistemas lagunares y bahías en varias zonas de la costa del Pacífico mexicano (Vasconcelos-Pérez *et al.*, 1996). Es una especie que tiene amplio margen de adaptabilidad y distribución, sobre todo por su aceptación en el mercado y ha sido objeto de moderada explotación pesquera (SEMARNAP, 2000). En 1997 la captura de *M. curema* en México fue de 10.737 ton, de las cuales el litoral del Pacífico aportó 31% (3.326 ton) y el área del Golfo de México y el Caribe el 70,41% (7.025 ton). La captura de lisa en el litoral del Pacífico se ha mantenido estable, dado que entre 2000 y 2011 se han reportado capturas entre 3.384 y 3.750 ton (SAGARPA-CONAPESCA, 2011). Sin embargo, en la costa de Jalisco se ha registrado una clara disminución en la captura de 70 a 10 ton durante 1993 a 2003. Esta cantidad sólo cubre la demanda local, además el precio de venta es bajo y la extracción es una actividad que realizan los pescadores ribereños a lo largo de todo el año (Espino-Barr *et al.*, 2004). La pesca de *M. curema* está regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-016-PESC-1994 (DOF, 1995), y por la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2006), donde se establece la talla mínima de captura y el periodo de veda comprende de mayo a julio.

Se han realizado varios trabajos sobre aspectos reproductivos de la lisa en la región del Golfo de México y del Atlántico (Jacot, 1920; Anderson 1957; Angell, 1973; Moore, 1974; Álvarez-Lajonchère, 1976, 1980; Ibáñez-Aguirre, 1993; Marín *et al.*, 2003; Solomon & Ramnarine, 2007; Albieri *et al.*, 2010a, 2010b; Oliveira *et al.*, 2011a, 2011b), así como en el Pacífico mexicano (Yáñez-Arancibia, 1976; Lucano-Ramírez & Michel-Morfin, 1997; Cabral-Solís *et al.*, 2010; Ramos-Santiago *et al.*, 2010).

El objetivo de este estudio fue describir algunos aspectos reproductivos de *M. curema* durante un ciclo anual en la laguna costera de Barra de Navidad, Jalisco, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La laguna costera Barra de Navidad se ubica al sur del estado de Jalisco y norte del estado de Colima, México, entre las coordenadas geográficas 19°10'51"-19°12'10"N, 104°39'14"-104°39'14"W. Su eje principal tiene 3,6 km de longitud en dirección noroeste-sureste y está orientada de manera paralela al Océano Pacífico. La laguna tiene una superficie de 382 ha de espejo de agua y 620 ha de manglar. Este cuerpo de agua posee una comunicación continua con la Bahía de Navidad por el noroeste; sus principales aportes de agua dulce provienen del Río Marabasco y el Arroyo Seco. Fue declarada como Sitio Ramsar en 2008, debido principalmente al bosque de manglar, siendo el segundo más extenso del estado, además de las poblaciones de aves asociadas a la laguna. La región se caracteriza por dos periodos climáticos: lluvias (julio-noviembre) y secas (diciembre-junio). El clima es cálido subhúmedo, con temperatura máxima promedio de 32°C y mínima de 24°C. La precipitación pluvial media es de 1.050 mm (Meyer-Willerer *et al.*, 2006).

Los peces se recolectaron en 42 campañas de muestreo realizadas cada siete días, entre febrero 2011 y enero 2012. Para la captura se utilizaron atarraya (3 m de largo y 2,5 cm de luz de malla) y redes de enmalle (60 m de largo y de 7,0; 7,6; 8,9 y 10,2 cm de luz de malla). Se realizaron entre 40 y 50 lances de atarraya por día entre las 16:00 y 19:30 h. Las redes de enmalle operaron de 19:00 a 07:00 h del día siguiente (González-Sansón *et al.*, 2014a, 2014b). En cada individuo se registró la longitud total (Lt;  $\pm 0,1$  cm) y peso total (Pt;  $\pm 0,1$  g). Se extrajeron las gónadas, se obtuvo su peso (Pg;  $\pm 0,01$  g) y se asignó sexo y el estadio de madurez con base a Marín *et al.* (2003), que proponen cuatro estadios: inmaduro, en desarrollo, maduro y desove. Las gónadas se preservaron en formol neutro. Una sección de las gónadas se procesó siguiendo la técnica histológica de rutina: deshidratación en alcohol, inclusión en parafina, cortes con micrótopo (Erma, Japón), tinción con hematoxilina y eosina, y preservación con bálsamo de Canadá. Para la asignación de las fases de desarrollo de los ovocitos y el desarrollo del testículo se tomaron en cuenta las características descritas por Brown-Peterson *et al.* (2011) y Lowerre-Barbieri *et al.* (2011).

### Variables reproductivas

Se analizó la proporción de sexos para la muestra total, de manera mensual y por clase de talla. Se utilizó la prueba estadística Chi cuadrado ( $\chi^2$ ), con corrección para continuidad de Yates (Zar, 2010), para comprobar diferencias significativas a la proporción esperada 1H:1M.

El índice gonadosomático (IGS) se utilizó para interpretar la variación en la maduración gonadal en el ciclo anual y como indicador de los cambios en la relación porcentual entre el peso del pez y el peso de las gónadas, y se calculó para cada organismo de acuerdo con Rodríguez-Gutiérrez (1992) mediante la ecuación:

$$IGS = \left[ \frac{Pg}{Pt - Pg} \right] * 100 \times$$

Se calcularon los porcentajes por mes de cada uno de los cuatro estadios de madurez gonádica de cada sexo. El factor de condición relativo (FC) se empleó como indicador indirecto del bienestar de cada individuo y se basó en la relación entre el peso y la talla del organismo (Rodríguez-Gutiérrez, 1992), siendo calculado mediante la expresión:

$$FC = \left[ \frac{Pt}{Lt^{2.89}} \right] * 100 \times$$

Se obtuvieron imágenes de cortes transversales de testículo y ovario (de cada estadio de maduración), y de ovocitos (de las siete fases de desarrollo) con una cámara digital (AxioCam MRc5s, Zeiss) acoplada a un microscopio (AxioStar, Zeiss) y conectada a una computadora y utilizando el software Axiovision (ver. 4.8.2, Zeiss). De estas imágenes, se obtuvo el diámetro del ovario (DOV; mm) y de los ovocitos (DO;  $\mu\text{m}$ ), y el área del testículo (AT;  $\text{mm}^2$ ). El diámetro del ovario y ovocito se calculó a partir del promedio resultante del diámetro del eje mayor y menor; para los ovocitos de las primeras fases, sólo se midieron los que presentaron un núcleo definido. Debido a que el testículo presenta una forma triangular o de corazón se midió el área en vez del diámetro. También para cada estadio de maduración del ovario se realizaron conteos de las distintas fases del ovocito, los cuales se expresaron en porcentaje.

Se estimó la longitud a la cual el 50% de los individuos han alcanzado la madurez sexual ( $L_{50}$ ); para esto, al porcentaje de organismos maduros ( $P_{LT}$ ) en cada clase de talla se ajustó el modelo logístico mediante un método de aproximación no lineal (algoritmo de Levenberg-Maquart) según Lucano-Ramírez *et al.* (2014), usando la ecuación:

$$P_{LT} = \left[ \frac{1}{1 + e^{(bLt+a)}} \right] * 100.$$

### Análisis estadístico

Se obtuvieron valores promedio y error estándar (ee) de Lt, IGS, FC, DO, DOV y AT. Se probaron supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, antes de realizar las pruebas estadísticas respectivas (Zar, 2010). La variación del FC se realizó con el análisis de varianzas (ANOVA) y cuando se presentó diferencia significativa se utilizó la prueba de comparaciones

múltiples de Student-Newman-Keuls (SNK). Para el análisis de Lt, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney (U), mientras que para el IGS, DO, DOV y AT se utilizó el ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis (H) y cuando las diferencias fueron significativas, se empleó la prueba de comparaciones múltiples de Dunn. Se analizó la variación temporal conjunta del IGS y FC mediante la prueba no paramétrica de correlación por rangos de Spearman ( $r_s$ ) (Zar, 2010). A menos de que se indique otro valor, se utilizó un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

## RESULTADOS

Se recolectaron 495 ejemplares de *Mugil curema*, con intervalo de tallas entre 10,3 y 38,5 cm y promedio de 26,1 cm ( $\pm 0,45$ ). La longitud promedio de las hembras ( $27,2 \pm 0,45$  cm) fue mayor ( $U_{110,375} = 7,130$ ;  $P < 0,01$ ) que la de los machos ( $23,4 \text{ cm} \pm 0,61$ ). Los machos se distribuyeron entre los 15,0 y 29,0 cm, en tanto que las hembras entre los 15,0 y 38,5 cm. Las mayores frecuencias ( $n > 30$ ) en los machos se presentaron a los 23,0 y 25,0 cm; a su vez, las mayores frecuencias ( $n > 90$ ) en las hembras se observaron a los 25,0 y 27,0 cm (Fig. 1).

Se estimó la relación entre la longitud total (Lt) y el peso total (Pt) para hembras ( $Pt = 0,0134 \text{ Lt}^{2,89}$ ) y machos ( $Pt = 0,0142 \text{ Lt}^{2,89}$ ) las cuales no presentaron diferencias significativas entre sexos ( $t_{0,05,2} 470 = 0,9$ ;  $P > 0,1$ ). En consecuencia se estimó dicha relación para todos los organismos muestreados ( $PT = 0,0136 \text{ LT}^{2,89}$  ( $R^2 = 0,98$ ;  $P < 0,05$ ). El valor de la pendiente de la ecuación potencial indica que el tipo de crecimiento fue alométrico negativo ya que fue significativamente diferente de 3 ( $t_{0,05,1} 474 = 2,5$ ;  $P < 0,05$ ) (Fig. 2).

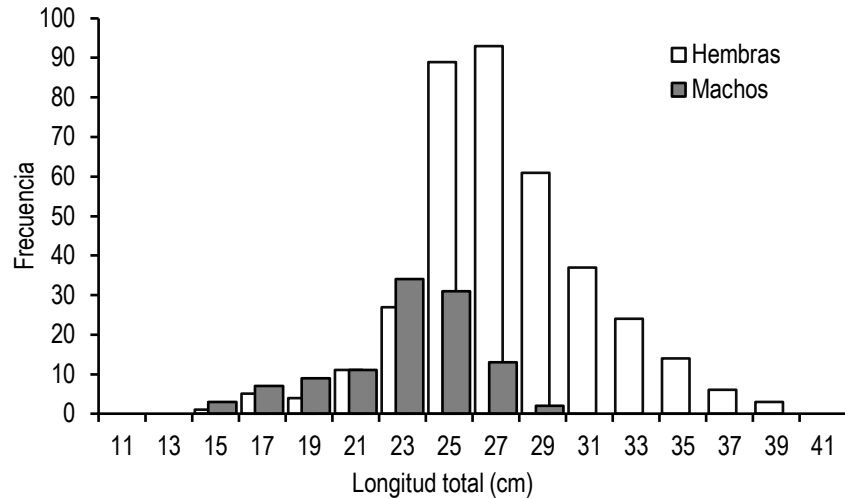
### Proporción sexual

Para el total de organismos capturados la proporción sexual fue de 1,0H:0,3M, y fue significativamente diferente de la esperada 1:1 ( $\chi^2_{0,05,2} = 144$ ;  $P < 0,001$ ). En los meses muestreados, el número de hembras fue mayor al de machos a excepción de agosto y estos números fueron significativamente diferentes (Tabla 1).

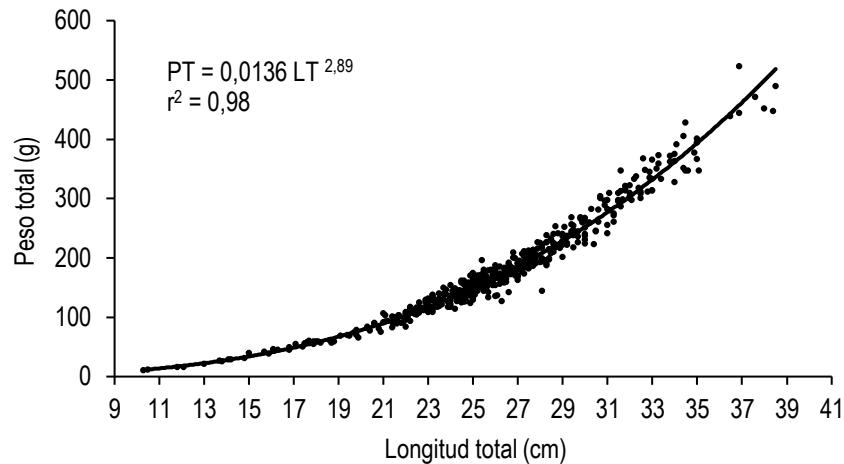
En el análisis de sexos por clase de longitud, se registró que en las primeras cuatro clases ( $< 17$  a  $23$  cm) no se presentó diferencia, sin embargo en las restantes ( $25$  a  $> 37$ ), la proporción de hembras fue superior de manera significativa respecto de los machos (Tabla 2).

### Características del ovario y testículo

Macroscópicamente los ovarios son de color rojizo a amarillo, son dos lóbulos alargados, por lo general del



**Figura 1.** Frecuencia de tallas de hembras y machos de *Mugil curema* capturados en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México.



**Figura 2.** Relación longitud total (LT) y peso total (PT) del total de ejemplares de *Mugil curema* capturados en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México.

mismo tamaño y en ocasiones con paredes onduladas, están en contacto con la vejiga natatoria y se unen al aproximarse al orificio urogenital. En un corte transversal, presentan forma circular y esta característica se mantiene a lo largo de su madurez. Cada lóbulo presenta una arteria dispuesta de manera longitudinal y numerosos vasos sanguíneos de manera paralela a la arteria. La irrigación sanguínea en los ovarios es más notoria conforme avanza el grado de madurez. Microscópicamente, se identificaron en mayor cantidad ovocitos en crecimiento primario y ovocitos en vitelogénesis secundaria y terciaria (Fig. 3).

Los testículos son de color blanco, al igual que los ovarios tienen tamaño semejante, son dos órganos que se unen en el orificio urogenital, en un corte transversal

tiene forma triangular o de corazón, paredes lisas y en ocasiones presenta arrugas o pliegues. Microscópicamente, en los testículos se observó epitelio germinal primario, así como espermatozoides en los lóbulos y conducto espermático (Fig. 4).

El área trasversal del testículo incrementó a medida que avanzó su maduración ( $H_{3,64} = 35,1$ ;  $P < 0,01$ ). La prueba de contrastes múltiples, mostró que las menores áreas las presentaron los testículos inmaduros y en desarrollo, y entre estos no hubo diferencias significativas. Las mayores áreas las presentaron los testículos desovados y maduros, estos últimos presentaron la mayor área, que fue significativa respecto del estadio desovado (Fig. 5).

**Tabla 1.** Proporción sexual mensual de *Mugil curema* colectada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. \*Diferencia significativa.

	Hembras	Machos	H : M	$\chi^2$
Febrero	18	6	1,0:0,33	6,0*
Marzo	35	18	1,0:0,51	5,4*
Abril	44	14	1,0:0,31	15,5*
Mayo	16	4	1,0:0,25	7,2*
Junio	22	3	1,0:0,13	14,4*
Julio	55	7	1,0:0,12	37,1*
Agosto	4	2	1,0:0,50	0,6
Septiembre	23	7	1,0:0,30	8,5*
Octubre	25	2	1,0:0,08	19,5*
Noviembre	40	12	1,0:0,30	15,1*
Diciembre	47	25	1,0:0,53	6,7*
Enero	46	10	1,0:0,21	23,1*

De igual manera, el diámetro promedio del ovario presentó diferencias significativas entre los cuatro estadios de maduración ( $H_{3,177} = 114,1$ ;  $P < 0,01$ ). La prueba de contrastes múltiples, indicó que el menor diámetro promedio lo presentó el ovario inmaduro, en tanto que los estadios en desarrollo y desovado no difieren entre sí, y éstos a su vez son menores que el estadio maduro, que presentó el mayor diámetro de ovario (Fig. 6).

Los ovarios inmaduros presentaron fundamentalmente ovocitos en crecimiento primario (PG; 99,88%), y escasos con alvéolos corticales (CA; 0,02%). En los ovarios en desarrollo se observaron ovocitos en PG (91,8%), con CA (7,5%), en vitelogénesis primaria (Vtg 1; 0,6%) y vitelogénesis secundaria (Vtg 2; 0,1%). A su vez, en el ovario capaz de reproducirse, los ovocitos que dominaron fueron PG (58,3%) en menor porcentaje que en los estadios anteriores y Vtg 2 (36,6%), y el resto de las fases representaron bajos porcentajes (5,1%). En el ovario desovado la túnica suele ser más gruesa y con pliegues en la cara interior y exterior; los ovocitos y lamelas cambiaron la estructura organizada en comparación con los estadios previos y se visualizan zonas vacías; se observan ovocitos que posteriormente seguirán un proceso de reabsorción; los ovocitos en las fases de CA a Vtg 3, se encontraron en porcentajes bajos (0,07-3,9%) y nuevamente predominó la fase PG (91,9%) (Fig. 7). En todos los estadios de maduración del ovario, se observó que las lamelas están en contacto al interior de la túnica en un solo sitio, ubicado cerca de la arteria principal.

A medida que avanzó el proceso de maduración de la gónada, se incrementó el diámetro promedio de los ovocitos presentes, observándose diferencias signifi-

**Tabla 2.** Proporción sexual por clase de longitud de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. \*Diferencia significativa.

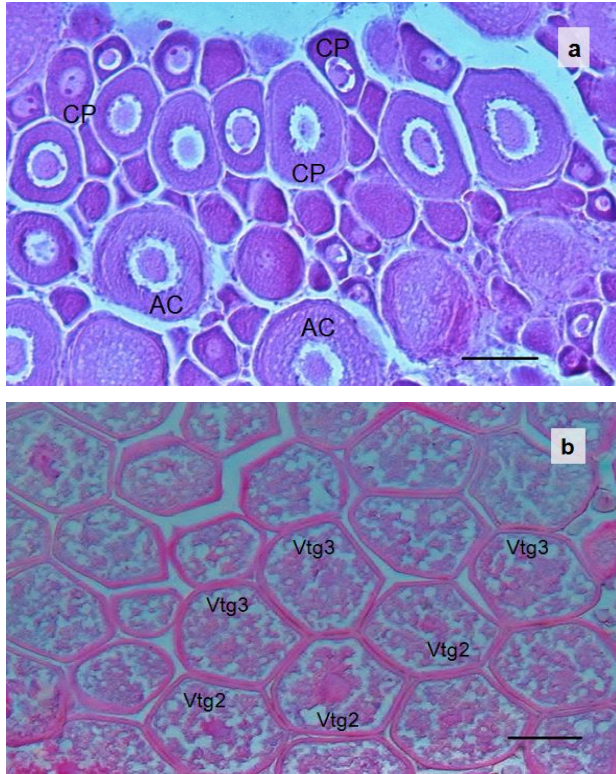
Longitud (cm)	Hembras	Machos	H:M	$X^2$
17	6	10	1,0:1,66	1,00
19	4	9	1,0:2,25	1,90
21	11	11	1,0:1,00	0,00
23	27	34	1,0:1,25	0,80
25	89	31	1,0:0,34	28,00*
27	93	13	1,0:0,13	60,30*
29	61	2	1,0:0,03	55,20*
31	37	0	1,0:0,00	37,00*
33	24	0	1,0:0,00	24,00*
35	14	0	1,0:0,00	14,00*
37	9	0	1,0:0,00	9,00*

tivas ( $H_{3,340} = 86,21$ ;  $P < 0,05$ ). La prueba de contrastes múltiples identificó dos grupos en los ovarios de los estadios inmaduros, en desarrollo y desovados se presentaron los ovocitos con los menores diámetros promedios (A), mientras que los ovocitos con los mayores diámetros promedio se observaron en los ovarios maduros (B) (Fig. 8).

El diámetro promedio de los ovocitos se incrementó de manera significativa conforme avanzó el grado de maduración ( $H_{5,185} = 165,9$ ;  $P < 0,05$ ). La prueba de contrastes múltiples identificó cuatro grupos con traslapo. El diámetro promedio menor lo presentaron los ovocitos en la fase crecimiento primario (60  $\mu\text{m}$ , A); los siguientes diámetros promedio correspondieron a los ovocitos alvéolos corticales (112  $\mu\text{m}$ , B) y vitelogénesis primaria (196  $\mu\text{m}$ , BC); les siguieron los ovocitos en vitelogénesis terciaria (268  $\mu\text{m}$ , CD) y migración de la vesícula germinal (269  $\mu\text{m}$ , CD), mientras tanto que el diámetro promedio mayor lo presentaron los ovocitos de la fase vitelogénesis secundaria (303  $\mu\text{m}$ , D) (Fig. 9).

### Índice gonadosomático

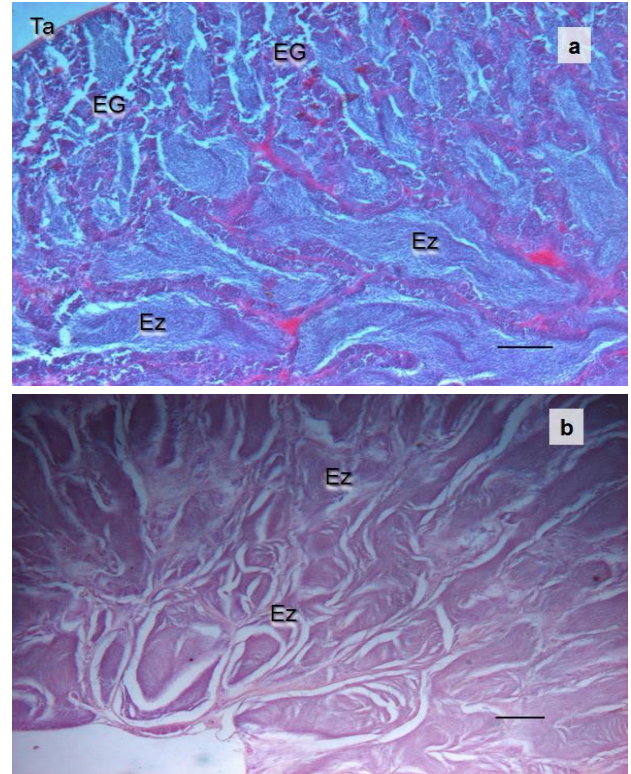
Los valores mayores del promedio mensual del IGS de hembras se observaron en febrero, abril, agosto, noviembre (3,28 a 5,59), y en los machos en febrero, abril, septiembre y enero (2,18 a 2,65). Los promedios mensuales mostraron diferencias significativas en hembras ( $H_{11,373} = 70,19$ ;  $P < 0,05$ ) y machos ( $H_{11,110} = 36,14$ ;  $P < 0,05$ ) (Fig. 10). En ambos sexos, la prueba de contrastes múltiples identificó traslapos en varios meses. Aunque de febrero a agosto los valores del IGS de ambos sexos siguieron una tendencia parecida, no se detectó correlación significativa ( $r_s = 0,307$ ;  $P = 0,33$ ;  $n = 12$ ) para el total de meses analizados. También se encontró que el IGS de hembras fue mayor que el de machos ( $U_{110,373} = 14,820$ ;  $P < 0,05$ ).



**Figura 3.** Corte transversal de ovario de *Mugil curema*. a) Ovario inmaduro constituido principalmente por ovocitos en crecimiento primario (CP) y alvéolos corticales (AC). Barra: 100  $\mu\text{m}$ , b) ovario capaz de reproducirse con ovocitos en vitelogénesis secundaria (Vtg 2) y vitelogénesis terciaria (Vtg 3).

#### Factor de condición

Los promedios máximos del FC para las hembras ocurrieron en febrero, abril, agosto, noviembre y diciembre (1,39 a 1,41) y en los machos en febrero, junio-agosto y diciembre (1,46-1,48). El ANOVA mostró diferencias significativas entre los meses para el FC de hembras ( $F_{11,363} = 6,523$ ;  $P < 0,05$ ) y machos ( $F_{11,98} = 5,10$ ;  $P < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de SNK, identificó dos grupos en hembras y en machos, que presentan traslajos en algunos meses. El FC de hembras y machos siguió un comportamiento temporal cercano, esto se corroboró con la prueba de correlación ( $r_s = 0,692$ ;  $P = 0,012$ ;  $n = 12$ ), lo que indica sincronía en la condición reproductiva de ambos sexos. En varios meses los promedios del FC de los machos fueron mayores a los de las hembras y estadísticamente se comprobó esta diferencia ( $F_{1,483} = 5,71$ ;  $P < 0,05$ ); por lo tanto, los machos en promedio presentan mejor condición que las hembras (Fig. 11). En las hembras la variación mensual del IGS y FC siguió una tendencia muy parecida, misma que indicó la correlación ( $r_s = 0,762$ ;  $P = 0,003$ ;  $n = 12$ ). En los machos se observó una tendencia mensual inversa entre el IGS y FC, aunque



**Figura 4.** Corte transversal de testículo de *Mugil curema*. a) Testículo capaz de reproducirse con túnica albugínea (Ta), epitelio germinal tardío (EG) y espermatozoides (Ez). Barra: 200  $\mu\text{m}$ . b) espermatozoides (Ez) en el conducto espermático. Barra: 200  $\mu\text{m}$ .

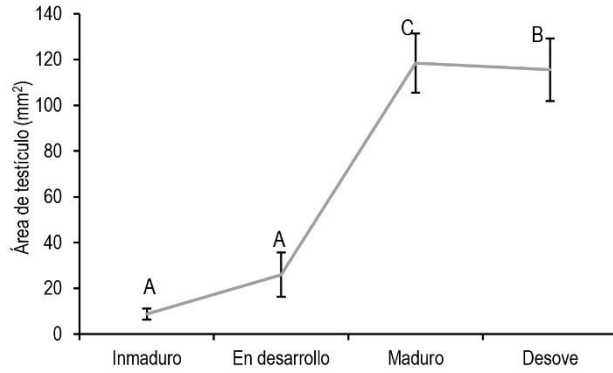
esta no fue significativa ( $r_s = -0,0419$ ;  $P = 0,896$ ;  $n = 12$ ).

#### Estadios macroscópicos de maduración gonadal: variación temporal

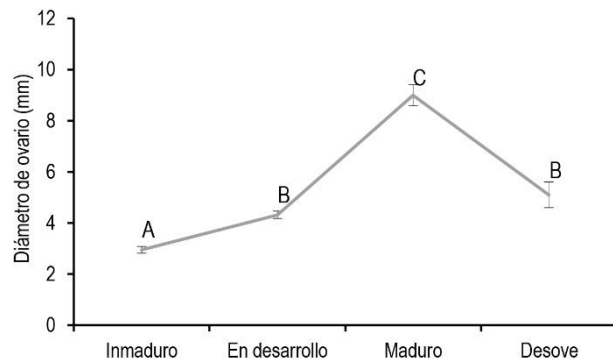
En la mayoría de los meses se presentaron los cuatro estadios de maduración de ovarios y testículos. Los mayores porcentajes de ovarios maduros ocurrieron en abril, agosto, noviembre y diciembre; mientras que los mayores porcentajes de testículos maduros se presentaron en abril, agosto-septiembre, diciembre-enero. En varios de estos meses en los dos sexos se registraron porcentajes bajos de gónadas inmaduras (Fig. 12).

#### Longitud de maduración sexual

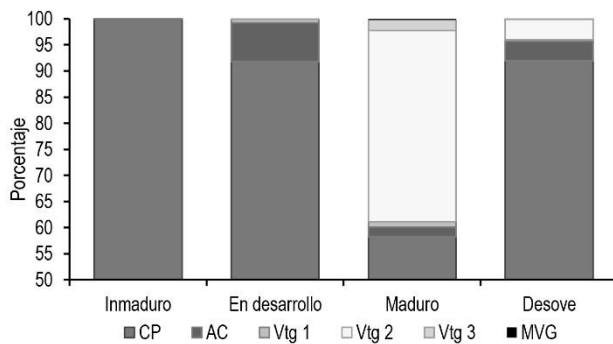
El macho y la hembra más pequeños con gónadas maduras midieron 19 y 23 cm Lt, respectivamente; mientras que el macho y la hembra mayores con gónadas inmaduras fueron de 27 y 29 cm Lt, respectivamente. Los machos maduros presentaron menor longitud que las hembras en la mayoría de los valores observados. Los valores estimados de longitud



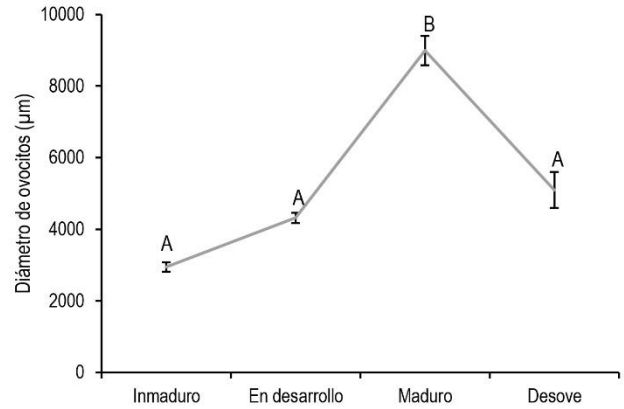
**Figura 5.** Área promedio de testículo ( $\pm$ error estándar) de cuatro estadios de maduración de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. Letras similares indican que no hay diferencia entre grupos.



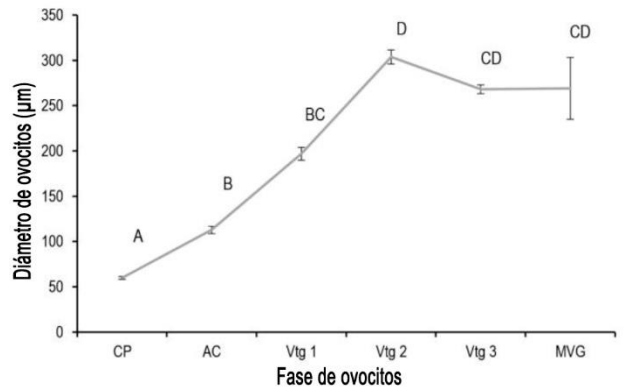
**Figura 6.** Diámetro promedio de ovario ( $\pm$ error estándar) de cuatro estadios de maduración de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. Letras similares indican que no hay diferencia entre grupos.



**Figura 7.** Porcentaje de ovocitos en ovarios de cuatro estadios de maduración de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. CP: crecimiento primario, AC: alvéolos corticales, Vtg 1: vitelogénesis primaria, Vtg 2: vitelogénesis secundaria, Vtg 3: vitelogénesis terciaria, MVG: migración de la vesícula germinal.



**Figura 8.** Diámetro promedio de ovocitos ( $\pm$ error estándar) en ovarios de cuatro estadios de maduración de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. Letras similares indican que no hay diferencias entre grupos.

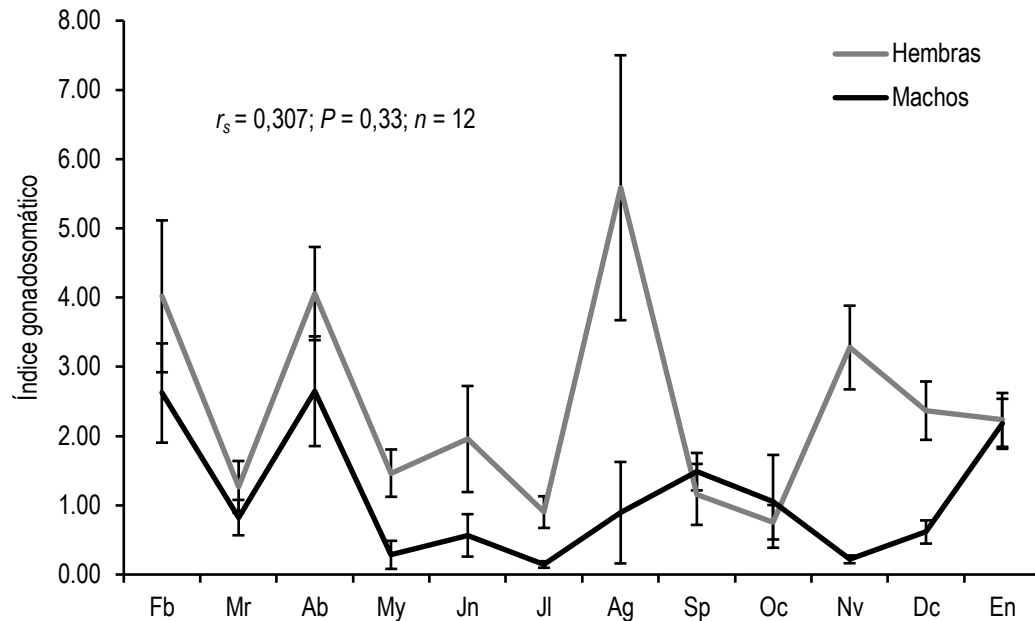


**Figura 9.** Diámetro promedio de ovocitos ( $\pm$ error estándar) en diferente fase de maduración de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. Letras similares indican que no hay diferencia entre grupos. CP: crecimiento primario, AC: alvéolos corticales, Vtg 1: vitelogénesis primaria, Vtg 2: vitelogénesis secundaria, Vtg 3: vitelogénesis terciaria, MVG: migración de la vesícula germinal.

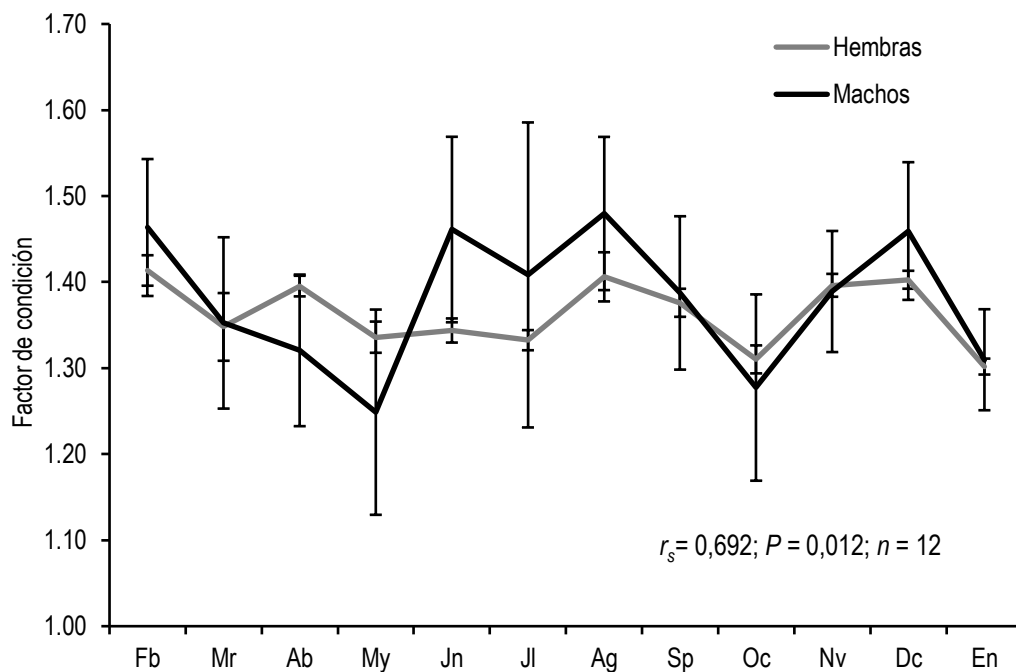
promedio de maduración para los machos fue de 21,7 cm ( $P_{Lt} = \left[ \frac{1}{1+e^{(-0,44*Lt+9,71)}} \right] \times 100$ ) y para las hembras de 24,5 cm ( $P_{Lt} = \left[ \frac{1}{1+e^{(-0,40*Lt+9,98)}} \right] \times 100$ ) (Fig. 13). Los dos hechos anteriores pueden sugerir que los machos maduran antes que las hembras.

## DISCUSIÓN

El conocimiento del peso, longitud y sexo para describir la estructura poblacional son esenciales para el manejo de un stock pesquero. La amplitud de longitu-



**Figura 10.** Promedio mensual del índice gonadosomático ( $\pm$ error estándar) de hembras y machos de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco.

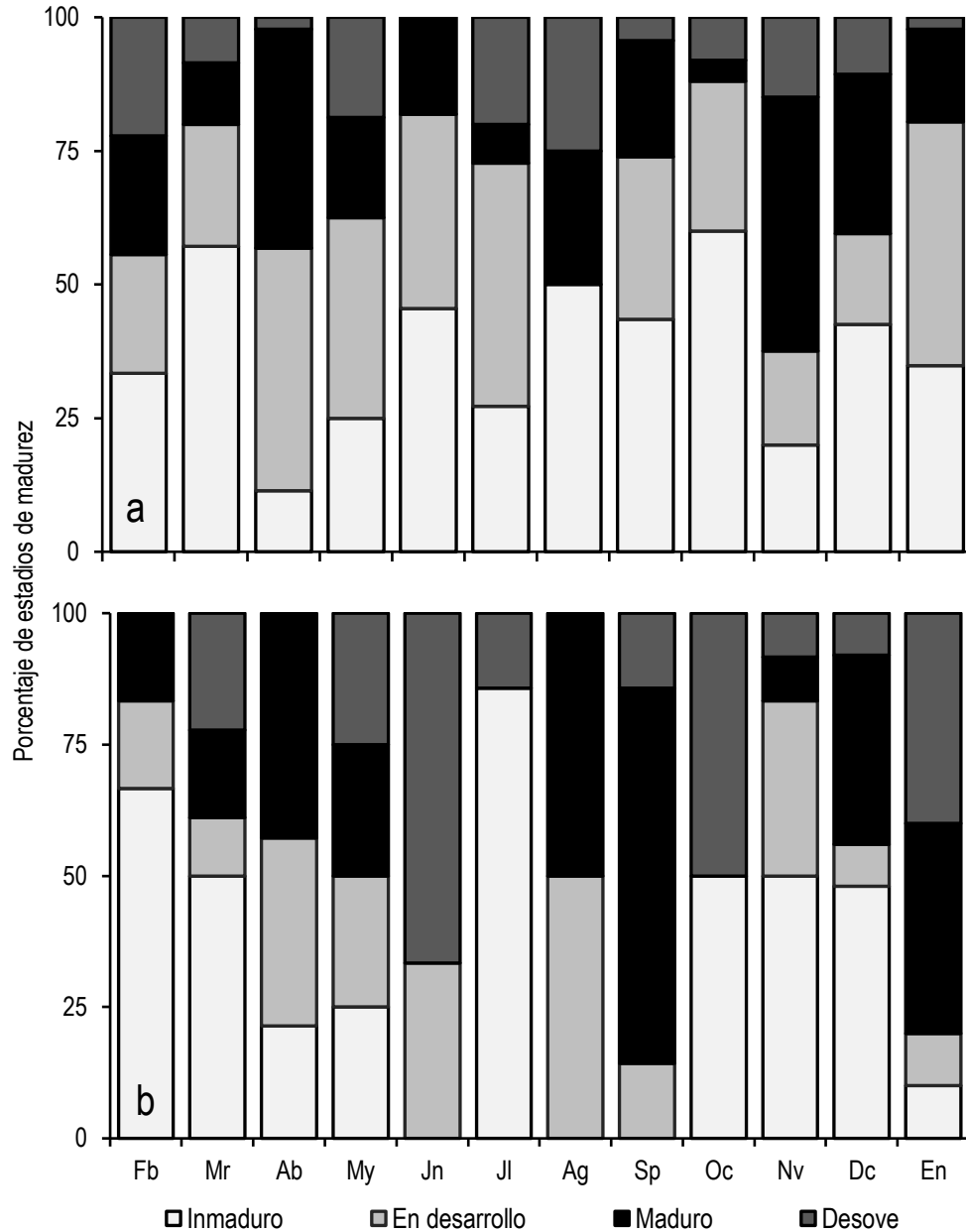


**Figura 11.** Promedio mensual del factor de condición ( $\pm$ error estándar) de hembras y machos de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco.

des encontradas en este estudio para *M. curema* son cercanas a las señaladas en otros estudios para la misma especie, en Veracruz, México (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004) y Brasil (Albieri, 2009; Oliveira *et al.*, 2011a, 2011b), no obstante que se trata de localidades muy lejanas. En la estructura de tallas,

fue claro que los machos dominaron en las clases menores, mientras que las hembras lo hicieron en las clases mayores. Esta misma observación también la encontró Patinar (2008) para *Liza saliens* en el Mar Caspio. En el mismo sentido, en este trabajo las hembras de *M. curema* fueron más grandes y de mayor



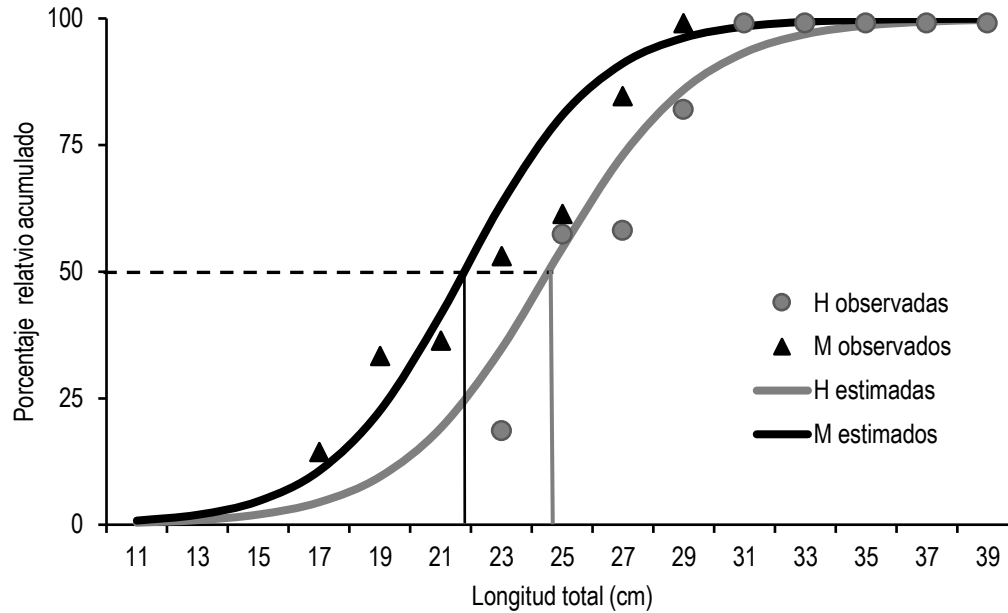


**Figura 12.** Porcentaje mensual de los estadios de madurez gonádica en hembras a) y machos b) de *Mugil curema* capturada en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco.

peso que los machos, lo cual coincide con lo encontrado por Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello (1996) en Veracruz, México, Oliveira *et al.* (2011a) en Brasil y, Solomon & Ramnarine (2007) al sur del Caribe. Esta estrategia la siguen numerosas especies, y se explicaría porque las hembras al alcanzar mayor longitud, tienden a producir una mayor cantidad de huevos (Nikolsky, 1963; Wootton, 1992).

Los valores de la relación entre longitud y el peso obtenidos en este trabajo son similares a los encontrados en lagunas costeras del Pacífico mexicano (Lucano-

Ramírez & Michel-Morfín, 1997; Ibáñez, 2015) y del Golfo de México (Ibáñez-Aguirre *et al.*, 1996; Ibáñez, 2015). Ibáñez (2015) observó que los valores de  $b$  en *M. curema* se incrementan en latitudes menores en ambientes más tropicales, quizás por esta razón *M. curema* capturada en la costa sur de Jalisco presentó un valor de  $b = 2,89$ , y  $2,88$  en la costa central de Jalisco (Lucano-Ramírez & Michel-Morfín, 1997). Además se ha sugerido que esta especie se adapta mejor a ambientes tropicales (Moore, 1974).



**Figura 13.** Porcentaje de hembras (H) y machos (M) maduros de *Mugil curema* capturados en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco.

La proporción de sexos informa de manera parcial la estructura de la población en peces, donde se espera que la proporción de sexos sea 1H:1M (Nikolsky, 1963). Para *M. curema* en la Laguna Barra de Navidad, México, las hembras dominaron en número en los tres aspectos analizados (muestra total, análisis por mes y clase de longitud). También en cuatro estudios en México se encontró la misma tendencia: Lucano-Ramírez & Michel-Morfín (1997; 1,6H:1M); Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello (2004; 1,4H:1M); Cabral-Solís *et al.* (2010; 1H:0,6M) y Ramos-Santiago *et al.* (2010; 2H:1M). A su vez, dos estudios en Brasil coinciden con un predominio de hembras, Albieri (2009) y Fernández & Dias (2013) (3,7H:1M y 2,4H:1M, respectivamente). En escasos estudios se ha encontrado un equilibrio en los sexos (Oliveira *et al.*, 2011a, 2011b).

En este trabajo las características macroscópicas de los ovarios de *M. curema* son semejantes a las señaladas por Albieri (2009) y Oliveira *et al.* (2011a). Solomon & Ramarine (2007), analizaron el proceso de maduración del ovario empleando una escala de seis estados de desarrollo. En este trabajo, así como en los de Marín *et al.* (2003) y Oliveira *et al.* (2011a), se utilizaron escalas de cuatro estados de desarrollo. Independientemente del número de estados que se utilice, todos aportan información básica sobre la reproducción, pero se prefiere el uso de métodos más específicos y con menor error como el análisis histológico y la medición de ovocitos (West, 1990). En

este sentido, en este trabajo, en el análisis de la maduración del ovario y testículo también se incluyeron variables complementarias como porcentaje y diámetro promedio de ovocitos y ovario, y el área del testículo.

Se distinguieron dos grupos de ovocitos dominantes en el estadio maduro. Esto es característico en especies con desarrollo sincrónico por grupos (Wallace & Sellman, 1981). Este mismo patrón se ha reportado para la lisa en Brasil (Albieri *et al.*, 2010b; Fernández & Dias, 2013). Sin embargo, este tipo de desarrollo de los ovocitos no coincide exactamente con lo señalado por Solomon & Ramarine (2007) en Trinidad y Tobago, pues estos autores encontraron tres grupos de ovocitos. Estas diferencias en el desarrollo de los ovocitos en *M. curema* se podrían explicar por las condiciones regionales a las que cada población está sometida, además de tratarse de poblaciones completa o relativamente aisladas.

Son escasos los trabajos que presentan valores del diámetro de ovocitos de *M. curema*, sin embargo, se observa que el diámetro promedio de los ovocitos más grandes (320  $\mu\text{m}$ ) es menor al encontrado por Albieri *et al.* (2010b) y Oliveira *et al.* (2011a). Esta diferencia se podría atribuir al efecto que provocó el procesamiento histológico de los ovocitos (West, 1990), aunque podría deberse a que la Laguna Barra de Navidad, no sea un sitio de desove regular para la lisa y por tanto los ovocitos no logran un máximo grado de maduración y tal vez, el desove ocurre en zonas relativamente

distantes de la costa, como se ha señalado para esta especie en otras regiones (Polanco *et al.*, 1987; Marín *et al.*, 2003; Albieri *et al.*, 2010a). Es decir, el área de estudio, la Laguna Barra de Navidad, podría ser un área donde los organismos maduran, en tanto, los desoves podrían ocurrir en áreas de la plataforma costera, ya que la laguna tiene comunicación constante con el océano.

El (FC) factor de condición se ha empleado para evaluar la condición de un pez y relacionar esta condición con la reproducción, sin embargo, varios autores han empleado este indicador de manera conjunta con el IGS para apoyar el periodo reproductivo (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello 2004; Kanak & Tachihara, 2008). En este trabajo se encontró que las hembras presentaron correlación temporal entre el IGS y FC, un resultado semejante fue reportado por Cabral-Solís *et al.* (2010), que observaron incrementos del FC en los meses que ocurrieron desoves. En contraste, Albieri *et al.* (2010b) señalaron que el FC no estaría relacionado con el IGS.

EL IGS de hembras y machos de *M. curema* presentó una distribución temporal semejante, lo que sugiere que el proceso de maduración y desove está en sincronía en ambos sexos. Los máximos valores del IGS se presentaron en abril, agosto y noviembre. Otros estudios de esta especie realizados también en el Pacífico mexicano muestran ligeras diferencias con estos resultados. Lucano-Ramírez & Michel-Morfín (1997), al norte de la costa de Jalisco, reportaron máximos en marzo y julio, mientras que Cabral-Solís *et al.* (2010) en la Laguna de Cuyutlán, Colima, encontraron que los mayores valores del IGS fueron en febrero y agosto. A su vez en el Golfo de México, en la Laguna de Tamiahua, Veracruz, los mayores valores se presentaron de febrero-mayo (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004). La temporada de reproducción de la lisa puede variar en función de la distribución geográfica (Marín *et al.*, 2003). También se han señalado periodos continuos de desove, los cuales varían de tres (Moore, 1974), cuatro (Yáñez-Arancibia, 1976; Ibáñez-Aguirre, 1993) y cinco meses (Jacot, 1920) y en todos estos casos, inician en enero y terminan en agosto. Alternativamente también se han encontrado periodos cortos de reproducción en mugílidos (Anderson, 1957; Angell, 1973; Lucano-Ramírez & Michel-Morfín, 1997). Se ha mencionado que en ambientes tropicales, la temperatura y el fotoperiodo tienen poca variación estacional, aunque, cambios estacionales en el viento y la lluvia pueden causar alguna estacionalidad (Lowe-McConnell, 1987). En regiones tropicales las lluvias podrían jugar un rol importante en determinar los ciclos reproductivos de peces. En general, los peces se reproducen cuando las condiciones ambientales son favorables para la supervi-

encia de las larvas proporcionándoles el alimento adecuado, y con esto propician su rápido crecimiento, lo cual contribuye a disminuir el número de depredadores (Chellappa *et al.*, 2010).

Además de este trabajo, Álvarez-Lajonchère (1976) y Franco (1986) han encontrado tres periodos reproductivos cortos en el año, los cuales presentan sobreposición en varios meses. En la zona de estudio, los tres puntos de actividad reproductiva de la lisa coinciden con condiciones ambientales que favorecen el éxito reproductivo. De febrero a mayo se presentan en la región zonas de afloramiento costero (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012); a su vez, en julio-agosto se inicia el periodo de lluvias (donde las escorrentías incrementan la productividad local), y en noviembre concluyen, así como los procesos de hundimiento costero, estos dos últimos podrían favorecer un periodo breve de relajamiento o calma ambiental. Se conoce que los desoves múltiples proporcionan varias ventajas en las poblaciones, aseguran que algunos individuos coinciden con condiciones favorables para la eclosión y sobrevivencia de la progenie, disminuyendo la competencia intraespecífica y alcanzando una mayor fecundidad las especies con una longitud corporal relativamente menor (McEvoy & McEvoy, 1992).

La información de la talla promedio en la cual los organismos alcanzan la madurez sexual puede ser importante como referente en especies que tienen una explotación intensa, sobre todo a largo plazo. En *M. curema*, ya que las tallas promedio de captura son menores que las tallas promedio de maduración, permite suponer que más del 50% de los organismos que integran la captura se reprodujeron al menos una vez. En este trabajo la talla promedio de maduración sexual de hembras (24,5 cm) y machos (21,7 cm) fueron similares a las encontradas por Fernández & Dias (2013; 24,8 cm) y Oliveira *et al.* (2011b; 24,3 cm), ambos en Brasil, a pesar de las diferencias geográficas. Otros dos estudios en México (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004; Cabral-Solís *et al.*, 2010), encontraron tallas promedio de maduración (27,4 y 25,5 cm, respectivamente) mayores a las observadas en las hembras de la Laguna Barra de Navidad. También, en este trabajo, se encontró que los machos maduran a una talla menor que las hembras, esta misma observación se ha registrado para otros mugílidos (Anderson, 1957; Edimar, 1973; El-Halfawy, 2004; Kendall & Gray, 2008). Aunque lo anterior parece ser una generalidad, también se ha observado que las hembras maduran un poco antes que los machos en *M. curema* (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004; Oliveira *et al.*, 2011b). Araújo & Chellappa (2002) han señalado que diferencias en la condición corporal de hembras y machos pueden indicar una respuesta

adaptativa fenotípica a cambios ambientales en las costas del trópico. Y en un sentido más amplio, la talla de maduración sexual puede ser afectada por factores genéticos, fisiológicos y ambientales (Nikolsky, 1963).

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con financiamiento parcial del proyecto 05-2010-1-746 del fondo COECYTJAL-UDG 2010 y el apoyo a Nuevos Profesores de Tiempo Completo del PROMEP (Oficio: 103.5/12/3418). Agradecemos a los estudiantes de licenciatura de Biología Marina de la Universidad de Guadalajara que participaron como voluntarios en la investigación.

### REFERENCIAS

- Albieri, R.J. 2009. Biología reproductiva da tainha *Mugil liza* Valenciennes e do parti *Mugil curema* Valenciennes (Actinopterygii, Mugilidae) na baía de Sepetiba, RJ, Brasil. Universidade Federal Rural Do Rio de Janeiro, Instituto de Biología, 63 pp.
- Albieri, R.J., F.G. Araújo & W. Uehara. 2010a. Differences in reproductive strategies between two co-occurring mullets *Mugil curema* Valenciennes 1836 and *Mugil liza* Valenciennes, 1836 (Mugilidae) in a tropical bay. *Trop. Zool.*, 23: 51-62.
- Albieri, R.J., F.G. Araújo & T.P. Ribeiro. 2010b. Gonadal development and spawning season of white mullet *Mugil curema* (Mugilidae) in a tropical bay. *J. Appl. Ichthyol.*, 26: 105-109.
- Álvarez-Lajonchère, L.S. 1976. Contribución al ciclo de vida de *Mugil curema* Valenciennes in Curvier et Valenciennes, 1836 (Pisces: Mugilidae). *Rev. Invest. Mar.*, 28: 1-130.
- Álvarez-Lajonchère, L.S. 1980. Estudio de algunos aspectos sobre la reproducción de *Mugil trichodon* (Pisces: Mugilidae) en Tunas de Zaza, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 1: 3-27.
- Ambriz-Arreola, I., J. Gómez-Gutiérrez, M.C. Franco-Gordo, B.E. Lavaniegos & E. Godínez-Domínguez. 2012. Influence of the coastal upwelling-downwelling variability on tropical euphasiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 451: 119-136.
- Anderson, W.W. 1957. Early development, spawning, growth and occurrence of silver mullet (*Mugil curema*) along the south Atlantic coast of United States. *Fish. Bull.*, 57: 397-414.
- Angell, C.H.L. 1973. Algunos aspectos de la biología de la lisa *Mugil curema* Valenciennes, en aguas hipersalinas del nororiente de Venezuela. Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales, La Salle, 33: 223-238.
- Araújo, A.S. & S. Chellappa. 2002. Estrategia reproductiva do peixe voador, *Hirundichthys affinis* Günther (Osteichthyes, Exocoetidae). *Rev. Bras. Zool.*, 19: 691-703.
- Blaber, S.J.M. 1997. Fish and fisheries of tropical estuaries. Chapman & Hall, London, 367 pp.
- Brown-Peterson, N.J., D.M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B.J. Macewicz & S.K. Lowerre-Barbieri. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Mar. Coast. Fish. Dynam. Manage. Ecosys. Sci.*, 3: 52-70.
- Cabral-Solís, E.G., M. Gallardo-Cabello, E. Espino-Barr & A.L. Ibáñez. 2010. Reproduction of *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) from the Cuyutlan lagoon, in the Pacific coast of Mexico. *Avan. Invest. Agropec.*, 14: 19-32.
- Chellappa, S., J.T. Lima, A. Araujo & N.T. Chellappa. 2010. Ovarian development and spawning of Serra Spanish mackerel in coastal waters of northeastern Brazil. *Braz. J. Biol.*, 70: 451-456.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-016-PESC-1994 que regula la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe. Diario Oficial de la Federación, 24 de abril de 1995.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2006. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección, 25 de agosto de 2006.
- Edimar, C.L.A. 1973. Algunos aspectos de la biología de la lisa *Mugil curema* en aguas hipersalinas de Nororiente de Venezuela. *Mem. Soc. Cien. Nat.*, 51: 223-238.
- El-Halfawy, M.M. 2004. Reproductive biology of *Mugil seheli* (Family: Mugilidae) reared in fish farm. *Egypt. J. Aquat. Res.*, 30B: 234-240.
- Espino-Barr, E., E.G. Cabral-Solís, A. García-Boa & M. Puente-Gómez. 2004. Especies marinas con valor comercial de la costa de Jalisco, México. SAGARPA-INP, 145 pp.
- Fernández, W.S. & J.F. Dias. 2013. Aspects of the reproduction of *Mugil curema* Valenciennes, 1836 in two coastal systems in the southeastern Brazil. *Trop. Zool.*, 26: 15-32.
- Franco, L. 1986. Biología y reproducción de la lisa, *Mugil curema* Valenciennes (Pisces: Mugilidae) en el Golfo de Cariaco, Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, 103 pp.
- González-Sansón, G., C. Aguilar-Betancourt, D. Kosonoy-Aceves, G. Lucano-Ramírez, S. Ruiz-Ramírez, J.R. Flores-Ortega & F. Silva-Bátiz. 2014a. Weight-length relationships for 38 fish species of Barra de Navidad

- coastal lagoon, Jalisco, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.*, 30: 428-430.
- González-Sansón, G., C. Aguilar-Betancourt, D. Kosonoy-Aceves, G. Lucano-Ramírez, S. Ruiz-Ramírez, J.R. Flores-Ortega, A. Hinojosa-Larios & F. Silva-Bátiz. 2014b. Composición por especies y tallas de los peces en la laguna Barra de Navidad, Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 62: 129-144.
- Ibáñez, A.L. 2015. Geographic differences and annual stability in length-weight relationships of fish mullets (Pisces: Mugilidae). *Hidrobiológica*, 25: 146-150.
- Ibáñez-Aguirre, A.L. 1993. Coexistence of *Mugil cephalus* and *M. curema* in a coastal lagoon in the Gulf of Mexico. *J. Fish Biol.*, 42: 959-961.
- Ibáñez-Aguirre, A.L. & M. Gallardo-Cabello. 1996. Age determination of the grey mullet *Mugil cephalus* L. and the white mullet *Mugil curema* V. (Pisces: Mugilidae) in Tamiagua, Veracruz. *Cienc. Mar.*, 22: 329-345.
- Ibáñez-Aguirre, A.L. & M. Gallardo-Cabello. 2004. Reproduction of *Mugil cephalus* and *M. curema* (Pisces: Mugilidae) from coastal lagoon in the Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 75: 37-49.
- Jacot, A.P. 1920. Age, growth and scale characters of the mullets, *Mugil cephalus* and *Mugil curema*. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 39: 119-229.
- Kanak, M.K. & K. Tachihara. 2008. Reproductive biology of common silver biddy *Gerres oyena* in Okinawa Island of southern Japan. *Fish. Sci.*, 74: 265-275.
- Kendall, B.W. & C.A. Gray. 2008. Reproductive biology of two co-occurring mugilids, *Liza argentea* and *Myxus elongates*, in southeastern Australia. *J. Fish Biol.*, 73: 963-979.
- Lowe-McConnell, R.H. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press, Cambridge, 382 pp.
- Lowerre-Barbieri, S.K., N.J. Brown-Peterson, H. Murua, J. Tomkiewicz, D.M. Wyanski & F. Saborido-Rey. 2011. Emerging issues and methodological advances in fisheries reproductive biology. *Mar. Coast. Fish. Dynam. Manage. Ecosys. Sci.*, 3: 32-51.
- Lucano-Ramírez, G. & J.E. Michel-Morfin. 1997. Ciclo reproductivo y aspectos poblacionales de *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (Pisces: Mugilidae) en la laguna costera Agua Dulce, Jalisco, México. *Oceanología*, 1: 105-115.
- Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez, G. González-Sansón & B.P. Ceballos-Vázquez. 2014. Reproductive biology of the yellow snapper, *Lutjanus argentiventris* (Pisces, Lutjanidae), from the Mexican central Pacific. *Cienc. Mar.*, 40: 33-44.
- Marín, E.B.J., A. Quintero, D. Bussière & J.J. Dodson. 2003. Reproduction and recruitment of white mullet (*Mugil curema*) to a tropical lagoon (Margarita Island, Venezuela) as revealed by otolith microstructure. *Fish. Bull.*, 101: 809-821.
- McEvoy, L.A. & J. McEvoy. 1992. Multiple spawning in several commercial fish species and its consequences for fisheries management, cultivation and experimentation. *J. Fish Biol.*, 41: 125-136.
- Meyer-Willerer, A., O. Velázquez-González & M. Patiño-Barragán. 2006. Ciclo anual de las variables hidrobiológicas en el estuario Barra de Navidad, México. In: C. Jiménez-Quiroz & E. Espino-Barr (eds.). Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. INP, SAGARPA, pp. 51-57.
- Moore, R.H. 1974. General ecology, distribution and relative abundance of *Mugil cephalus* and *Mugil curema* on the South Texas coast. *Contr. Mar. Sci.*, 18: 241-255.
- Nikolsky, G. 1963. The ecology of fishes. Academic Press, London, 352 pp.
- Oliveira, M.R., E.F. dos Santos Costa & S. Chellappa. 2011a. Ovarian development and reproductive period of White mullet, *Mugil curema* in the coastal waters of Northeastern Brazil. *Anim. Biol. J.*, 2: 199-212.
- Oliveira, M.F., E.F.C. Costa, F.A.M. Freire, J.E.L. Oliveira & A.C. Luchiari. 2011b. Some aspects of the biology of white mullet, *Mugil curema* (Osteichthyes, Mugilidae), in the northeastern region, Brazil. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.*, 6: 138-147.
- Patinar, R. 2008. Some biological aspects of the sharpnose mullet *Liza saliens* (Risso, 1810) in Gorgan Bay-Miankaleh wildlife refuge (the southeast Caspian Sea). *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 8: 225-232.
- Polanco, J.S., S. Mimbela & M. Beléndez. 1987. Pesquerías mexicanas: estrategias para su administración. Secretaría de Pesca, México, pp. 943-1007.
- Ramos-Santiago, E., H. Gil-López, A. Labastida-Che & R. Gómez-Orte. 2010. Reproducción y madurez gonádica de la lisa *Mugil cephalus* en las costas de Oaxaca y Chiapas. *Cienc. Pesq.*, 18: 79-91.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativas de la madurez gonádica en peces. AGT Editor, México, 79 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (SAGARPA-CONAPESCA). 2011. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 311 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 2000. Anuario estadístico de pesca 1999. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México, 291 pp.

- Solomon, N.F. & I.W. Ramnarine. 2007. Reproductive biology of white mullet, *Mugil curema* Valenciennes in the Southern Caribbean. *Fish. Res.*, 88: 133-138.
- Vasconcelos-Pérez, J., S. Sánchez-González & L. Schultz-Ruiz. 1996. La pesquería de lisa. In: A. Sánchez-Palafox, D.F. Fuentes-Castellanos & S. García-Real (eds.). *Pesquerías relevantes de México*. Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, México, pp. 581-594.
- Wallace, R.A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleost. *Am. Zool.*, 21: 325-434.
- West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Aust. J. Mar. Fresh. Res.*, 41: 199-222.
- Wootton, R.J. 1992. Constraints in the evolution of fish life histories. *Nerth. J. Zool.*, 42: 291-303.
- Yáñez-Arancibia, L.A. 1976. Observaciones sobre *Mugil curema* Valenciennes en áreas naturales de crianza en México. Alimentación, crecimiento, madurez y relaciones ecológicas. *An. Centro Cienc. Mar Limnol.*, 3: 211-243.
- Zar, J.H. 2010. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 944 pp.

*Received: 28 June 2016; Accepted: 7 February 2017*