

Research Article

Efecto del fotoperiodo y la temperatura sobre la composición bioquímica en reproductores silvestres de cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea* (Streets, 1877)

José Antonio Estrada-Godínez¹, Minerva Maldonado-García², Vicente Gracia-López²
Manuel Carrillo³, René Rebollar-Prudente² & Milton Spanopoulos-Zarco²

¹Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa

Ciudad Universitaria s/n, 80040 Culiacan Rosales, Sinaloa, Mazatlán, México

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo No. 195

Col. Playa Palo de Santa Rita, 23090, La Paz, Baja California Sur, México

³Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal, Cabanes s/n, Castellón, E-12595, España

RESUMEN. Se estimó el factor de condición (K), el índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y de grasa visceral (IGV), así como la composición bioquímica en diferentes tejidos de reproductores silvestres de cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea*, para evaluarlos a lo largo de un ciclo reproductivo y ver la relación que presentan los cambios con respecto a la temperatura del agua y fotoperiodo de la zona de muestreo. Se capturaron 187 reproductores, 146 hembras y 41 machos en el golfo de California, México. Se observaron diferencias significativas ($P < 0,005$) en los IGS , IHS e IGV ; en el caso de K no se encontraron diferencias. También, se observaron variaciones significativas ($P < 0,05$) en la mayoría de los parámetros bioquímicos, encontrándose los valores más altos durante la etapa de desove, mientras que los más bajos durante la etapa de reposo. Todos los índices estimados y los parámetros bioquímicos determinados, se correlacionaron significativamente ($P < 0,05$) con el fotoperiodo, mientras que solo se encontraron correlaciones significativas ($P < 0,05$) entre el IGS e IGV con respecto a la temperatura del agua.

Palabras clave: *Mycteroperca rosacea*, cabrilla sardinera, ciclo reproductivo, composición bioquímica, fotoperiodo, temperatura, golfo de California.

Effect of photoperiod and temperature on the biochemical composition in wild broodstock of sardine cabrilla, *Mycteroperca rosacea* (Streets, 1877)

ABSTRACT. Condition factor (K), gonadosomatic index, (IGS), hepatosomatic index (IHS) and fat visceral index (IGV) were estimated and the biochemical composition in different tissues of wild leopard grouper broodstock was determinate too, in order to evaluate them along a reproductive cycle and see the relationship of these changes with respect to the water temperature and photoperiod in the sampling area. 187 brooders were caught, 146 females and 41 males in the Gulf of California, Mexico. Significant differences ($P < 0.005$) in the IGS , IHS and IGV but not for K were observed. Significant changes ($P < 0.05$) were also observed in most of the biochemical parameters, being the highest value during the spawning stage, whereas the lowest occurred during the resting stage. Significant correlations ($P < 0.05$) between all estimated indices and biochemical parameters were observed, while only significant correlations ($P < 0.05$) between the IGS and IGV with respect to water temperature.

Keywords: wavelet sardine, reproductive cycle, biochemical composition, photoperiod, temperature, Gulf of California.

Corresponding author: Minerva Maldonado-García (minervam04@cibnor.mx)

INTRODUCCIÓN

La cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea* (Teleostei: Serranidae) es un recurso importante para la pesca

comercial y deportiva, debido a su alto valor en el mercado, ha sido propuesta como un buen candidato para la acuicultura (Díaz-Uribe *et al.*, 2001). Es una especie endémica de México, se distribuye desde el

suroeste de la península de Baja California, hasta la costa de Jalisco, habitando áreas rocosas sobre los 50 m de profundidad (Heemstra & Randall, 1993; Allen & Robertson, 1998). Los juveniles se alimentan de peces y crustáceos bentónicos, y los adultos se alimentan de arenque, anchoveta y otros peces (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Alcanza la madurez sexual entre 3 y 5 años de edad a tallas superiores a 30 cm de longitud total (Díaz-Urbe *et al.*, 2001; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

El ciclo reproductivo de la cabrilla sardinera, al igual que otros peces teleósteos, está regido en gran medida por las condiciones ambientales, entre las que destacan el fotoperiodo y la temperatura, que juegan un papel importante en la sincronización de los ritmos diarios y estacionales, por lo que sus funciones fisiológicas, procesos bioquímicos y su comportamiento se ven afectados por tales factores (Bromage *et al.*, 2001; Falcón *et al.*, 2003; Pankhurst & Porter, 2003).

Se ha descrito cuatro etapas dentro del ciclo reproductivo de la cabrilla sardinera en la bahía de La Paz, Baja California Sur: 1) La etapa de maduración (enero-abril) coincide con el periodo del año en que se incrementa gradualmente la temperatura del agua y el número de horas luz; se caracteriza por un alto porcentaje de ovocitos vitelogénicos en hembras y la presencia de esperma fluyente en machos; 2) la etapa de desove (mayo-junio) se presenta cuando el fotoperiodo alcanza el máximo de horas luz en el año y la temperatura fluctúa entre 21° y 25°C, los ovocitos en maduración final e hidratados predominan en las hembras y los machos continúan presentando esperma fluyente; 3) en la etapa de posdesove (julio), se observa un alto porcentaje de ovocitos atrésicos y se incrementa el número de ovocitos en crecimiento primario en las hembras y un alto porcentaje de machos ya espermiados, y 4) la etapa de reposo (agosto-diciembre), donde, tanto la temperatura del agua como el fotoperiodo llegan a sus valores mínimos en el año, las hembras poseen únicamente ovocitos en crecimiento primario y la totalidad de los machos se encuentra en regresión (Estrada-Godinez *et al.*, 2011).

Los estudios sobre la composición bioquímica en reproductores silvestres sometidos a sus condiciones naturales de alimentación y las variaciones que se presentan en relación a las condiciones ambientales, puede entregar información valiosa sobre los requerimientos nutricionales de las especies con potencial acuícola y pesquero. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es analizar la composición bioquímica de diferentes tejidos de reproductores de cabrilla sardinera en la bahía de La Paz para detectar

eventuales variaciones en relación a las diferentes etapas de su ciclo reproductivo y a las condiciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de reproductores y parámetros ambientales

Mensualmente se recolectaron reproductores de cabrilla sardinera por medio de líneas y anzuelos, utilizando sardina viva como carnada, al norte de la bahía de la paz en el golfo de California, México, de marzo de 2008 a febrero de 2009. La temperatura superficial del agua se registró a partir del sitio web: <http://www.coastwatch.noaa.gov>.

Los datos de fotoperiodo para el área de estudio se obtuvieron de la página web: <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/rs-one-day-world>.

Análisis de las muestras

Los peces capturados fueron sacrificados y eviscerados. Se registró la longitud total (mm) y el peso (g). También se registró el peso de la gónada, peso del hígado y peso de la grasa visceral de cada individuo y con ello se estimaron los siguientes índices:

- (1) Factor de condición (K) = $(W_g/L_t^3) \times 100$
- (2) Índice gonadosomático (IGS) = $(W_g/W_t) \times 100$
- (3) Índice hepatosomático (IHS) = $(W_h/W_t) \times 100$
- (4) Índice de grasa visceral (IGV) = $(W_{gv}/W_t) \times 100$

donde: W_t es el peso total del pez (g), L_t es la longitud total (mm), W_g es el peso de la gónada (g), W_h es el peso del hígado (g) y W_{gv} es el peso de la grasa visceral (g).

Se obtuvo muestras de sangre, hígado, gónada y músculo para efectuar a cabo los análisis de proteínas, triglicéridos y colesterol. Las muestras de sangre fueron centrifugadas a 4.000 rpm por 5 min a -4°C para la obtención de plasma.

Análisis de proteínas, triglicéridos y colesterol

Las muestras de tejido (hígado, gónada y músculo) fueron previamente liofilizadas y pulverizadas; posteriormente fueron re-hidratadas con solución fisiológica (1 mL de NaCl 0,9% + 0,1 g de muestra) y se homogeneizaron por 10 s. Finalmente, fueron digeridas por 2 h con NaOH 0,1N (10 µL de muestra + 90 µL de NaOH 0,1N). Las muestras de plasma fueron diluidas en agua destilada (1:100 v:v).

Para la medición de proteínas se utilizó el método de Bradford modificado para microplaca por Racotta

& Hernández-Herrera (2000) y la lectura se realizó en un espectrofotómetro de placas (Termo Multiskan Spectrum) a 595 nm.

Los triglicéridos se midieron mediante una prueba enzimática colorimétrica GPO-Trinder (Randox Ltd., Crumlin, Co, Antrim, UK) y la lectura se realizó el espectrofotómetro de placas a 540 nm.

Para los análisis de colesterol también se utilizó la prueba enzimática colorimétrica CHOD-PAP (Randox Ltd., Crumlin, Co, Antrim, UK), y en la lectura también se realizó en un espectrofotómetro de placas a 540 nm.

Los resultados obtenidos de las muestras de tejido se expresaron en mg g^{-1} y los de plasma en mg mL^{-1} .

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar cambios en los índices somáticos y en los parámetros bioquímicos en ambos sexos durante las épocas reproductivas previamente establecidas por Estrada-Godínez *et al.* (2011). Los parámetros que presentaron diferencias significativas fueron analizados posteriormente utilizando pruebas de Duncan ($P < 0,05$). Se verificó la homogeneidad de varianzas de los resultados obtenidos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se realizó la transformación estadística de los índices fisiológicos estimados antes de ser sometidos a las pruebas estadísticas.

Se realizaron pruebas de correlación de Pearson ($P < 0,05$) para los siguientes datos: (1) entre los índices somáticos, (2) entre los índices somáticos con respecto a la temperatura y el fotoperiodo, (3) entre parámetros bioquímicos obtenidos, y 4) entre dichos parámetros con respecto a la temperatura y el fotoperiodo.

Los análisis estadísticos y las gráficas de los resultados se elaboraron con el programa computacional Sigma Plot versión 11.0 para Windows (2008 Systat Software Inc. ®).

RESULTADOS

Se capturó un total de 187 reproductores de cabrillas sardineras, de los cuales 146 fueron hembras ($388,5 \pm 6,3$ mm de longitud total y $822,4 \pm 58,2$ g de peso) y 41 machos ($442,5 \pm 10,6$ mm de longitud total y $1153,7 \pm 76,1$ g de peso). En etapa de maduración se recolectaron 101 reproductores (45 hembras y 56 machos), en etapa de desove 32 reproductores (17 hembras y 15 machos), en etapa de posdesove 20 reproductores (11 hembras y 9 machos) y en etapa de reposo 85 reproductores (75 hembras y 10 machos).

Los datos de temperatura del agua y fotoperiodo del área de muestreo se ilustran en las Figuras 1 a 4 (media \pm desviación estándar).

Índices somáticos

En los índices *IGS*, *IHS* e *IGV* se determinaron cambios significativos ($P < 0,05$) a lo largo del ciclo reproductivo en ambos sexos, observándose una relación directa entre el *IGS* y el *IHS* (coeficiente de correlación $r_{xy} = 0,299$; $P = 0,002$) y una relación inversa del *IGV* respecto al *IGS* (coeficiente de $r_{xy} = -0,612$; $P < 0,0001$) y el *IHS* ($r_{xy} = -0,252$; $P = 0,009$), es decir, mientras que el *IGS* y *IHS* alcanzaron sus mayores porcentajes durante las etapas de desove, los del *IGV* fueron los más menores. En cambio, durante la etapa de reposo tanto el *IGS* como el *IHS* se redujeron significativamente, mientras que los de *IGV* se incrementaron hasta alcanzar sus mayores porcentajes (Tabla 1). Con respecto a *K*, solo se observaron cambios significativos ($P < 0,05$) en los machos, alcanzando su mayor valor durante la etapa de reposo. No se observaron correlaciones significativas ($P < 0,05$) entre *K* con los demás índices (Fig. 1).

Parámetros bioquímicos (proteínas, triglicéridos y colesterol)

Se observaron variaciones significativas ($P < 0,05$) en la mayoría de los parámetros bioquímicos medidos en todos los tejidos (Figs. 2-4), encontrándose generalmente los valores más altos durante la etapa de desove, mientras que los más bajos se determinaron durante la etapa de reposo, siendo únicamente los machos los que no presentaron cambios significativos ($P > 0,05$) en la cantidad de proteínas y triglicéridos en gónada y plasma y en la cantidad de colesterol en plasma.

Además, se observó que la mayoría de los parámetros bioquímicos medidos en los diferentes tejidos se correlacionaron significativamente ($P < 0,05$) entre sí. Se determinó que el contenido de proteínas en plasma se relacionó de manera inversa con todos los demás (Tablas 2-4).

Correlaciones entre los índices somáticos y la temperatura y fotoperiodo

Respecto a la relación entre los parámetros físicos, temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) y fotoperiodo (horas luz), no se encontró una correlación significativa ($P > 0,05$) entre la temperatura y *K*, entre la temperatura y el *IHS* mientras que si se observó correlación directa significativa ($P < 0,05$) entre la temperatura y el *IGS* ($r_{xy} = 0,285$; $P = 0,003$), e inversa significativa ($P <$

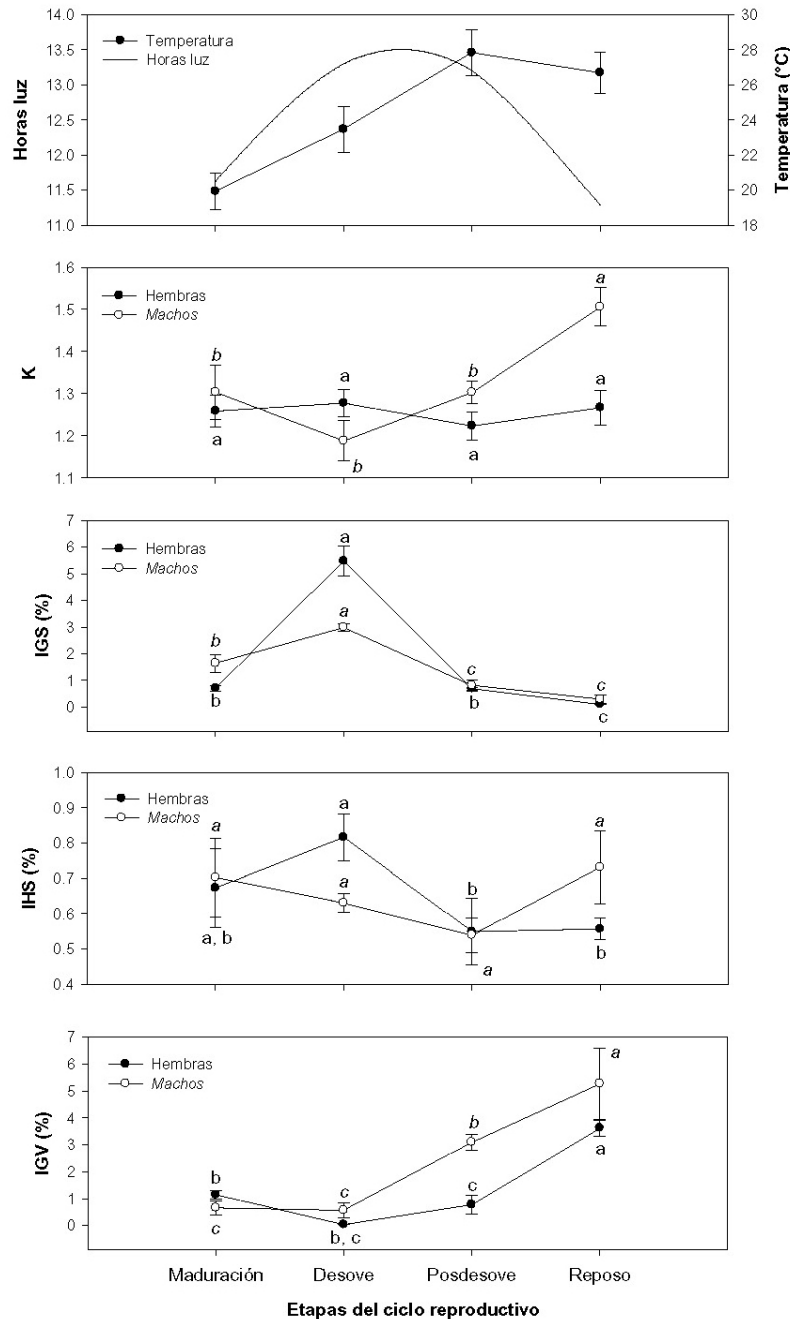


Figura 1. Cambios en los índices somáticos en las diferentes etapas del ciclo reproductivo de *M. rosacea* con referencia a la temperatura y al fotoperiodo. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$). *K*: factor de condición, *IGS*: índice gonadosomático, *IHS*: índice hepatosomático, *IGV*: índice de grasa visceral.

0,05) entre la temperatura del agua y el *IGV* ($r_{xy} = 0,497$; $P < 0,0001$) (Tabla 5).

Por su parte, el fotoperiodo se correlacionó significativamente ($P < 0,05$) con todos los índices estimados. La correlación fue inversa con respecto a *K* ($r_{xy} = -0,204$; $P = 0,037$) e *IGV* ($r_{xy} = -0,473$; $P < 0,0001$). Mientras que con respecto al *IGS* ($r_{xy} =$

$0,486$; $P < 0,0001$) y al *IHS* ($r_{xy} = 0,394$; $P < 0,0001$) la correlación fue positiva (Tabla 5).

Correlaciones entre los parámetros bioquímicos y la temperatura y fotoperiodo

Todos los parámetros bioquímicos presentaron una correlación positiva significativa con el fotoperiodo (P

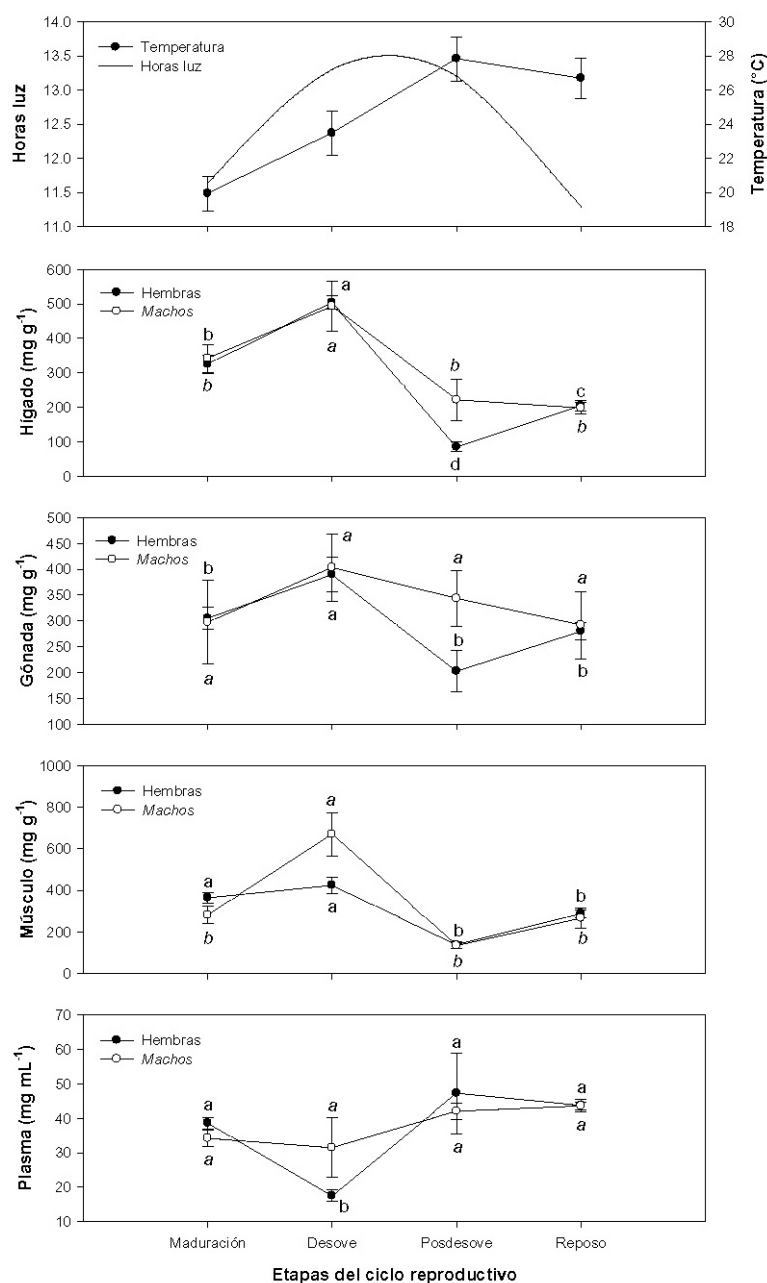


Figura 2. Cambios en contenido de proteínas en diferentes tejidos de reproductores de *M. rosacea* durante su ciclo reproductivo, con referencia a la temperatura y al fotoperiodo. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

< 0,05), a excepción del contenido de proteínas en el plasma (Tabla 6); esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que conforme se incrementa el número de horas luz en el año, se observa un aumento en la cantidad de proteínas triglicéridos y colesterol en los diferentes tejidos analizados (Figs. 2-4). Con respecto a la temperatura del agua, no se observaron correlaciones significativas ($P > 0,05$) entre este factor y la mayoría de los parámetros bioquímicos obtenidos (Tabla 6).

DISCUSIÓN

El proceso reproductivo en general, implica cambios energéticos y bioquímicos considerables en los diferentes órganos y tejidos de los peces teleosteos (Fernández-Palacios & Izquierdo, 2009). En este caso, tanto K como el IGV funcionan como indicadores de la cantidad de energía disponible en los peces para realizar sus funciones vitales (Lambert & Dutil, 1997). Sin embargo, en este estudio no se observaron

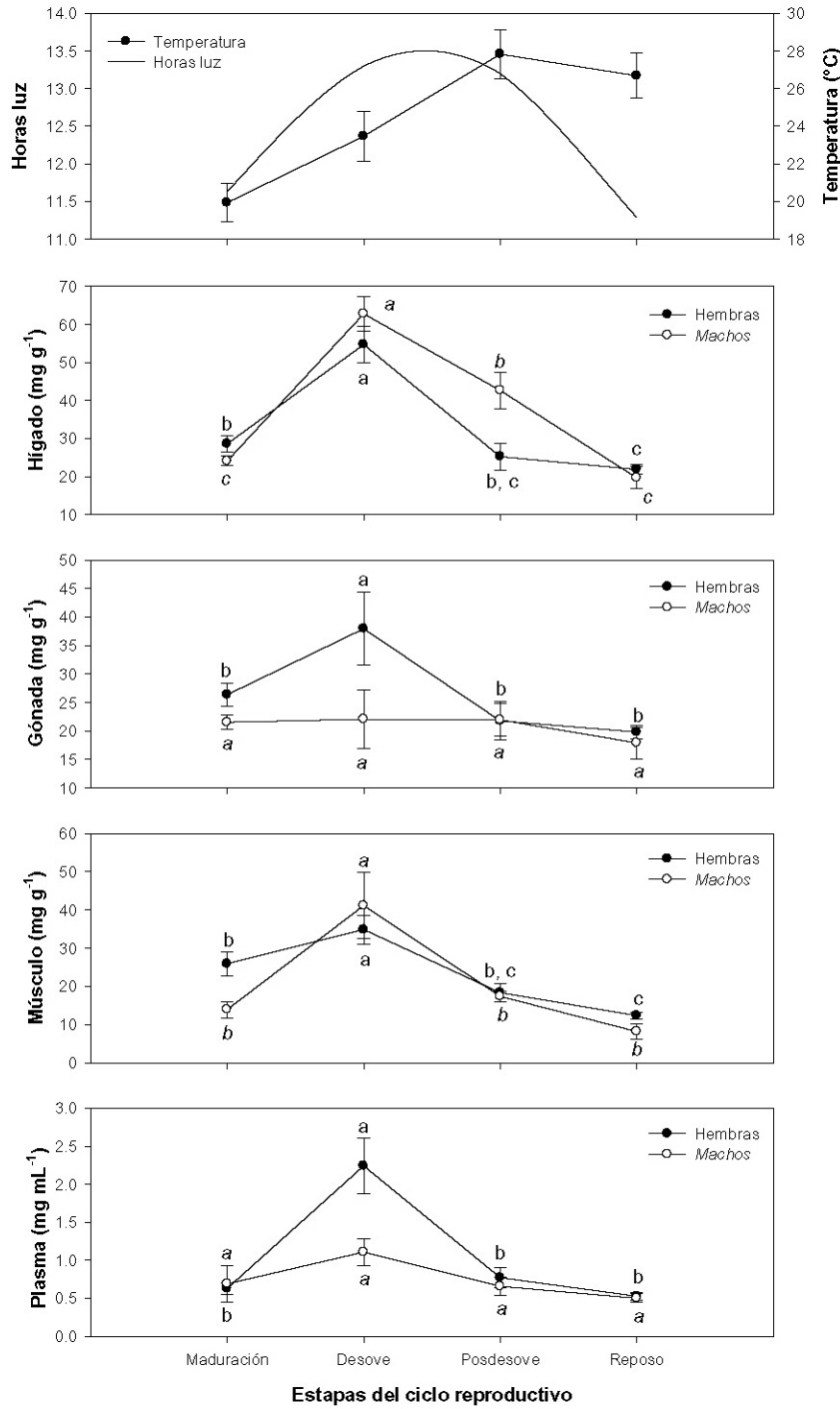


Figura 3. Cambios en contenido de triglicéridos en diferentes tejidos de reproductores de *M. rosacea* durante su ciclo reproductivo, con referencia a la temperatura y al fotoperiodo. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

variaciones significativas en K , debido a que los reproductores de cabrilla sardinera así como los de otras especies de serránidos y peces tropicales, en general, no dejan de alimentarse aún durante las etapas de maduración y desove (Volpato & Trajano, 2005;

Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Chandrasekhara & Krishnan, 2011). A diferencia de lo anterior, en los peces de aguas templadas y frías como los salmónidos, los reproductores dejan de alimentarse cuando se encuentran en el periodo reproductivo, utilizando las

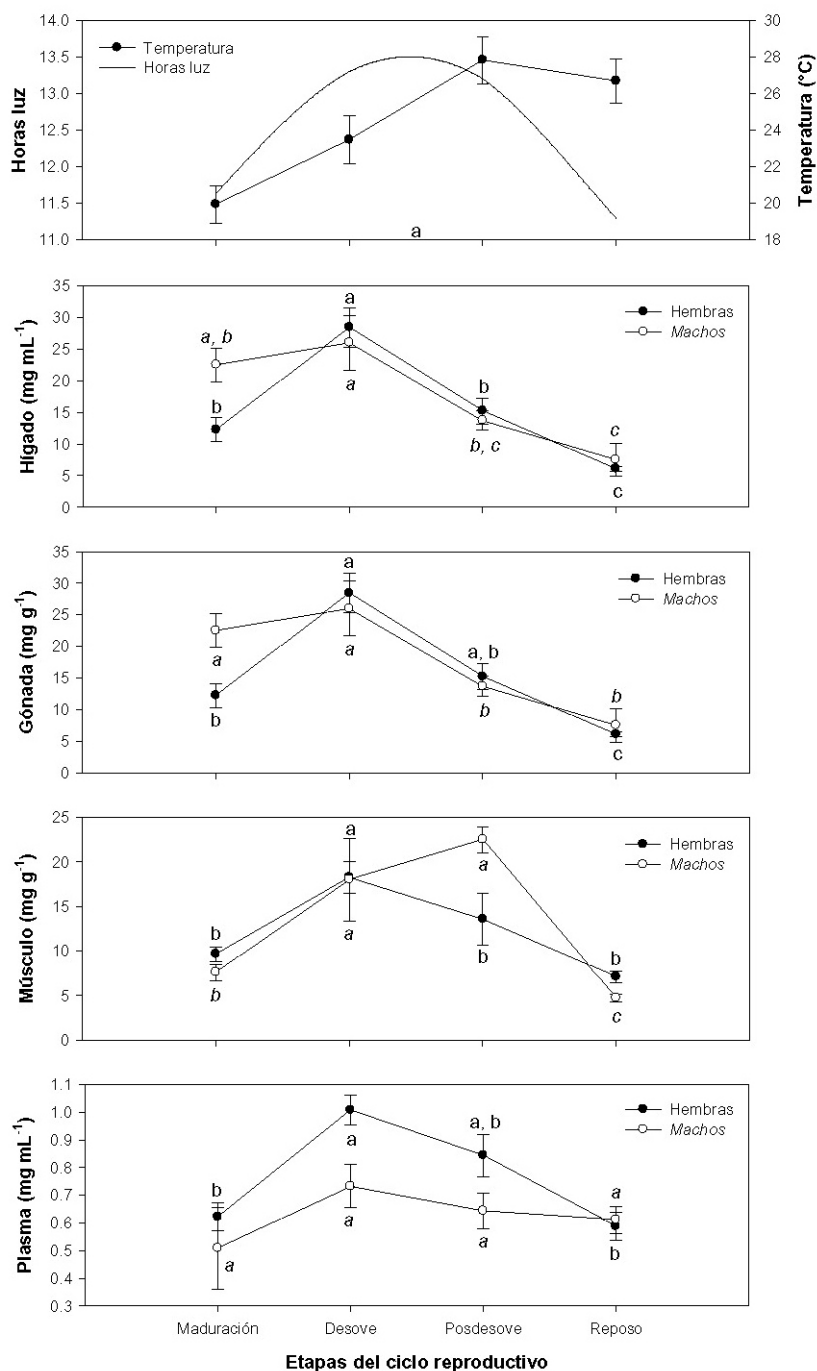


Figura 4. Cambios en contenido de colesterol en diferentes tejidos de reproductores de *M. rosacea* durante su ciclo reproductivo, con referencia a la temperatura y al fotoperiodo. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

reservas energéticas acumuladas tanto la grasa visceral como en el músculo para sus funciones vitales, reflejándose en la disminución de K (Barnham & Baxter, 1998; Bureau, *et al.*, 2002).

En este mismo sentido y debido a que la cabrilla sardinera no deja de alimentarse durante el periodo de

mayor actividad reproductiva, el contenido de proteínas, triglicéridos y colesterol en el músculo de los reproductores de cabrilla sardinera, en lugar de disminuir, se incrementa de manera significativa, principalmente durante la etapa de desove. Así mismo, las variaciones en el *IGV* se deben a que la mayoría de

Tabla 1. Coeficiente de correlación entre los diferentes índices somáticos estimados en reproductores silvestres de *M. rosacea*. *Significa una correlación significativa ($P < 0,05$). *K*: factor de condición, *IGS*: índice gonadosomático, *IHS*: índice hepatosomático, *IGV*: índice de grasa visceral.

	<i>IGS</i>		<i>IHS</i>		<i>IGV</i>	
	Coeficiente de correlación	<i>P</i>	Coeficiente de correlación	<i>P</i>	Coeficiente de correlación	<i>P</i>
<i>K</i>	-0,06	0,47	-0,112	0,177	-0,014	0,866
<i>IGS</i>			0,299	<0,002*	-0,612	<0,0001*
<i>IHS</i>					-0,252	0,009*

Tabla 2. Coeficiente de correlación entre el contenido de proteínas en hígado, gónada, músculo y plasma con respecto a los demás parámetros bioquímicos determinados en reproductores silvestres de *M. rosacea*. *Significa correlación significativa ($P < 0,05$).

	Proteínas-gónada		Proteínas-músculo		Proteínas-plasma	
	Coeficiente de correlación	<i>P</i>	Coeficiente de correlación	<i>P</i>	Coeficiente de correlación	<i>P</i>
Proteínas-hígado	0,519	<0,0001*	0,634	<0,0001*	-0,592	<0,0001*
Proteínas-gónada			0,497	<0,0001*	-0,268	0,0112*
Proteínas-músculo					-0,365	0,000444*
Proteínas-plasma						
Triglicéridos-hígado	0,215	0,0428*	0,267	0,0116*	-0,576	<0,0001*
Triglicéridos-gónada			0,32	0,0022*	-0,326	0,0018*
Triglicéridos-músculo					-0,35	<0,0001*
Triglicéridos-plasma						
Colesterol-hígado	0,176	0,983	0,258	0,0146*	-0,617	<0,0001*
Colesterol-gónada			0,411	<0,0001*	-0,508	<0,0001*
Colesterol-músculo					-0,544	<0,0001*

las fuentes de energía provenientes del alimento se destinan a la formación de gametos y al crecimiento de las gónadas. Por esta razón, el contenido de triglicéridos en el plasma registrado, se mantiene alto durante la etapa de desove y el porcentaje de *IGV* es el más bajo observado durante el ciclo reproductivo, en cambio, hacia las etapas de posdesove y reposo se observa una disminución de los triglicéridos en el plasma y un incremento significativo en el *IGV*, ya que es cuando los triglicéridos se acumulan en los depósitos subcutáneos de grasa (grasa visceral).

A su vez, se observó una correlación positiva entre el *IGS* e *IHS*, presentándose los porcentajes más altos durante las épocas de maduración y desove, lo cual coincide con los resultados encontrados en otras especies de serránidos como *Epinephelus merra* (Nakamura *et al.*, 2007) y *E. diacanthus* (Chandrasekhara & Krishnan, 2011), así como en otras especies como *Mugil cephalus* (Gopalakrishnan, 1991) y *Diplodus puntazzo* (Hernández *et al.*, 2003), donde se registró que ambos índices se incrementan conforme

avanza la maduración de las gónadas. El aumento del *IHS* en los reproductores de cabrilla sardinera durante las épocas de maduración y desove se debe principalmente a la constante síntesis de proteínas y acumulación de triglicéridos y colesterol en el hígado, las que posteriormente formarán parte de la vitelogenina que será enviada a la gónada para la formación del vitelo y la gota lipídica de los huevos en las hembras (Wiegand, 1996; Hyllner *et al.*, 2001; Lubzens *et al.*, 2010), esto se refleja también en el incremento del tamaño de las gónadas lo cual incrementa el *IGS* y la correlación positiva entre ambos índices.

Por otro lado, se sabe que las condiciones ambientales juegan un papel importante en la regulación de la reproducción en diferentes animales, incluyendo los peces (Chaudhuri, 1997; Muñoz-Cueto, 2009). Con respecto a los resultados obtenidos en reproductores silvestres de cabrilla sardinera, se puede observar que tanto el *IGS* como el *IHS*, así como los parámetros bioquímicos obtenidos en los diferentes

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre el contenido de triglicéridos en hígado, gónada, músculo y plasma con respecto a los demás parámetros bioquímicos determinados en reproductores silvestres de *M. rosacea*. *Significa una correlación significativa ($P < 0,05$).

	Triglicéridos-hígado		Triglicéridos-gónada		Triglicéridos-músculo		Triglicéridos-plasma	
	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P
Proteínas-hígado	0,528	<0,0001*	0,335	0,00135*	0,394	0,000132*	0,436	<0,0001*
Proteínas-gónada			0,454	<0,0001*	0,0748	0,486	0,368	0,00039*
Proteínas-músculo					0,179	0,0941	0,112	0,297
Proteínas-plasma							-0,461	<0,0001*
Triglicéridos-hígado			0,552	<0,0001*	0,456	<0,0001*	0,67	<0,0001*
Triglicéridos-gónada					0,415	<0,0001*	0,557	<0,0001*
Triglicéridos-músculo							0,585	<0,0001*
Triglicéridos-plasma								
Colesterol-hígado			0,526	<0,0001*	0,459	<0,0001*	0,617	<0,0001*
Colesterol-gónada					0,488	<0,0001*	0,487	<0,0001*
Colesterol-músculo							0,699	<0,0001*

Tabla 4. Coeficiente de correlación entre el contenido de colesterol en hígado, gónada, músculo y plasma con respecto a los demás parámetros bioquímicos determinados en reproductores silvestres de *M. rosacea*. *Significa una correlación significativa ($P < 0,05$).

	Colesterol-hígado		Colesterol-gónada		Colesterol-músculo		Colesterol-plasma	
	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P	Coefficiente de correlación	P
Proteínas-hígado	0,511	<0,0001*	0,533	<0,0001*	0,411	<0,0001*	0,163	0,126
Proteínas-gónada			0,305	0,00364*	0,29	0,0058*	-0,0145	0,893
Proteínas-músculo					0,129	0,229	0,022	0,838
Proteínas-plasma							-0,351	0,000754*
Triglicéridos-hígado	0,709	<0,0001*	0,661	<0,0001*	0,578	<0,0001*	0,392	0,000145*
Triglicéridos-gónada			0,621	<0,0001*	0,398	0,00011*	0,0208	0,847
Triglicéridos-músculo					0,448	<0,0001*	0,31	0,00315*
Triglicéridos-plasma							0,389	0,000167*
Colesterol-hígado			0,674	<0,0001*	0,704	<0,0001*	0,369	0,000371*
Colesterol-gónada					0,453	<0,0001*	0,304	0,00376*
Colesterol-músculo							0,395	0,000127*

- Allen, G.R. & D.R. Robertson. 1998. Peces del Pacífico Oriental Tropical. P-111. CONABIO, Agrupación Sierra Madre y CEMEX. México, 327 pp.
- Barnham, C. & A. Baxter. 1998. Condition factor, K, for salmonid fish. Fish. Notes, 3 pp.
- Bromage, N., M. Porter & C. Randall. 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. Aquaculture, 197: 63-98.
- Bureau, D.P., S.J. Kaushik & C. Young-Cho. 2002. Bioenergetics. In: J.E. Halver & R.W. Hardy (eds.). Fish nutrition. Academic Press, Amsterdam, pp. 1-59.
- Carrillo, M., N. Bromage, S. Zanuy, R. Serrano & F. Prat. 1989. The effect of modifications in photoperiod on spawning time, ovarian development and egg quality in the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture, 81: 351-365.
- Chandrasekhara, R.A. & L. Krishnan. 2011. Biochemical composition and changes in biological indices associated with maturation of the ovary in the spiny cheek grouper *Epinephelus diacanthus* (Valenciennes, 1828). Indian J. Fish., 58(2): 45-52.
- Chaudhuri, H. 1997. Environmental regulation of gonadal maturation and spawning in fishes. In: S.K. Maitra (ed). Frontiers in environmental and metabolic endocrinology. University of Burdwan, Burdwan, pp. 91-100.
- Díaz-Urbe, J.G., J.F. Elorduy-Garay & M.T. González-Valdovinos. 2001. Age and growth of the leopard grouper, *Mycteroperca rosacea*, in the southern Gulf of California, Mexico. Pac. Sci., 55: 171-182.
- Estrada-Godínez, J.A., M. Maldonado-García, V. Gracia-López & M. Carrillo. 2011. Reproductive cycle of the leopard grouper, *Mycteroperca rosacea* (Streets) in Bahía de La Paz, Mexico. Cienc. Mar., 37(4): 425-441.
- Fernández-Palacios, H. & M.S. Izquierdo. 2009. Efecto de la dieta de los reproductores sobre la puesta. In: M. Carrillo (ed.). La reproducción en los peces: aspectos básicos y su aplicación en la acuicultura. Fundación OESA, Madrid, pp. 337-380.
- Falcón, J., L. Besseau & G. Boeuf. 2003. Daily and annual physiological and behavioral rhythms in fish: implications for the domestication of bluefin tuna. In: C.R. Bridges, H. Gordin & A. Garcia (eds.). Domestication of the bluefin tuna *Thunnus thynnus thynnus*. CIHEAM-IAMZ Zaragoza, pp. 61-63.
- Gopalakrishnan, A. 1991. Studies on some aspects of the reproductive physiology of the female grey mullet, *Mugil cephalus* (L). Tesis de Doctorado. Cochin University of Science and Technology, Cochin, 214 pp.
- Heemstra, P.C. & J.E. Randall. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis, 125(16): 382 pp.
- Hernández, M.D., M.A. Egea, F.M. Rueda, F.J. Martínez & G.B. García. 2003. Seasonal condition and body composition changes in sharpnout seabream (*Diplodus puntazzo*) raised in captivity. Aquaculture, 220: 569-580.
- Huber, M. & D.A. Bengtson. 1999. Effects of photoperiod and temperature on the regulation of the onset of maturation in the estuarine fish *Menidia beryllina* (Cope) (Atherinidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 240(2): 285-302.
- Hyllner, S.J., L. Westerlund, P.E. Olson & A. Schopen. 2001. Cloning of rainbow trout egg envelope proteins members of a unique group of structural proteins. Biol. Reprod., 64: 805-811.
- Lambert, Y. & J.D. Dutil. 1997. Can simple condition indices be used to monitor and quantify seasonal changes in the energy reserves of Atlantic cod (*Gadus morhua*)? Can. J. Fish Aquat. Sci., 54: 104-112.
- Lubzens, E., G. Young, J. Bobe & J. Cerdà. 2010. Oogenesis in teleosts: how eggs are formed. Gen. Comp. Endocr., 165(3): 367-389.
- Mitra, S.K., M. Seth & A. Chattoraj. 2006. Photoperiod, pineal photoreceptors and melatonin as the signal of photoperiod in the regulation of reproduction in fish. J. Endocrinol. Reprod., 10(2): 73-87.
- Munro, A.D. 1990. General introduction. In: A.D. Munro, A.P. Scott & T.J. Lam (eds.). Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences. CRC Press, Boca Raton, pp. 1-12.
- Muñoz-Cueto, J.A. 2009. Cerebro y reproducción en peces: bases neurales y neuroendócrinas. In: M. Carrillo (ed.). La reproducción en los peces: aspectos básicos y su aplicación en la acuicultura. Fundación OESA, Madrid, pp. 25-75.
- Nakamura, M., M.A. Alam, Y. Kobayashi & R.K. Bhandari. 2007. Role of sex hormones in sex change of grouper. Fish. Physiol. Biochem. (Special Issue): 23-27.
- Pankhurst, N.W. & M. Porter. 2003. Cold and dark or warm and light: variations on the theme of environmental control of reproduction. Fish Physiol. Biochem., 28: 385-389.
- Racotta, I.S. & R. Hernández-Herrera. 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. Comp. Biochem. Physiol., 125: 437-443.
- Valpato, G.L. & E. Trajano. 2005. Biological rhythms. In: A.L. Val, E.M.F. de Almeida-Val & D. Randall (eds.). The physiology of tropical fishes. Academic Press, Amsterdam, pp. 101-153.

Wiegand, M.D. 1996. Composition, accumulation and utilization of yolk lipids in teleost fish. *Rev. Fish. Biol. Fish.*, 6: 259-286.

Received: 22 April 2013; Accepted: 7 December 2013