








Biología reproductiva del ostión de roca *Striostrea prismatica* en el sureste del Golfo de California

Reproductive biology of the rock oyster *Striostrea prismatica* in the southeastern Gulf of California

Oscar Iram Zavala-Leal^{1*} ,
 Mariana Mena-Alcántar² ,
 Francisco Valdez-González² ,
 Claudia Azucena González-Huerta² ,
 Jushiro Cepeda-Morales² ,
 Juan Manuel Pacheco-Vega² ,
 Breidy Cuevas-Rodríguez² 

¹Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera Universidad Autónoma de Nayarit, Km. 12 Carretera Los Cocos, Bahía de Matanchén, CP. 63740. San Blas, Nayarit, México.

²Doctorado en Ciencias Biológicas Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, CP. 63780. Xalisco, Nayarit, México.

³Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N, CP. 63190. Tepic, Nayarit, México.

* Autor de correspondencia:
ziram28@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 16 de octubre 2021

Aceptado: 09 de septiembre 2022

Como citar: Zavala-Leal OI, Mena-Alcántar M, Valdez-González F, González-Huerta CA, Cepeda-Morales J, Pacheco-Vega JM, Cuevas-Rodríguez B (2022) Biología reproductiva del ostión de roca *Striostrea prismatica* en el sureste del Golfo de California. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3153. DOI: 10.19136/era.a9n3.3153

RESUMEN. El ostión de roca *Striostrea prismatica* es un recurso natural de gran importancia comercial en el Pacífico mexicano, Nayarit ocupa el primer lugar en producción de ostiones en esta región. Uno de los principales sitios de extracción de ostiones de roca en Nayarit es Santa Cruz de Miramar, y de acuerdo con los pescadores de la zona, recientemente se ha observado una disminución en los volúmenes de extracción. El objetivo de este trabajo fue describir la biología reproductiva del ostión de roca y su relación con la temperatura y la clorofila-a. Para ello, se obtuvieron 322 ostiones de la pesca comercial entre enero y diciembre de 2014. Los organismos se pesaron y midieron de forma individual, mientras que las gónadas se procesaron por histología. Se estimó la proporción de sexos, el índice de condición, el ciclo reproductivo y la talla de primera madurez. La temperatura superficial y la clorofila-a variaron de 25.5 a 30.6 °C y de 0.96 a 3.17 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. La proporción de sexos fue 1 M: 0.6 H ($p < 0.05$); el IC fue mayor de abril a junio, mientras que la relación P_s/P_h fue mayor de abril a agosto. El desove se produjo entre mayo y septiembre. La temperatura mostró una asociación directa con la madurez y desove ($p < 0.05$). La talla de primera madurez fue de 80.2 mm. Los resultados de esta investigación podrían contribuir al manejo de la pesquería de este recurso en la zona.

Palabras clave: Desove, índice de condición, Nayarit, sensores remotos, talla de primera madurez.

ABSTRACT. The rock oyster *Striostrea prismatica*, is a natural resource of great commercial importance in the Mexican Pacific, Nayarit occupies the first place of production of oysters in this region. One of the main rock oyster extraction sites in Nayarit is Santa Cruz de Miramar, and according to the fishermen of the area, a decrease in the extraction volumes has recently been observed. The objective of this work was to describe the reproductive biology of the rock oyster and its relationship with temperature and chlorophyll-a. For this, 322 oysters were obtained from commercial fishing between January and December 2014. The organisms were weighed and measured individually. While the gonads were processed by histology. The sex ratio, condition index, reproductive cycle and size at onset of maturity were estimated. The surface water temperature and chlorophyll-a ranged from 25.5 to 30.6 °C and from 0.96 to 3.17 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively. The sex ratio was 1M: 0.6 H ($p < 0.05$); the IC was higher from April to June, while the P_s/P_h proportion was higher from April to August. Spawning occurred between May to September. Temperature showed a direct association with maturity and spawning ($p < 0.05$). The size at first maturity was 80.2 mm. The results of this research could contribute to the management of the fishery of this resource in the area.

Key words: Spawning, condition index, Nayarit, remote sensing, size at the onset of maturity.

INTRODUCCIÓN

En la costa del Pacífico mexicano, la producción de ostras se concentra principalmente en cinco especies, cuatro nativas (*Crassostrea virginica*, *C. rhizophorae*, *Ostrea equestris* en el Golfo de México y mar caribe, y *C. corteziensis* en el Pacífico mexicano) y una introducida (*C. gigas* originaria de Japón y Corea), y en menor medida se capturan *Striostrea prismática* y *Saccostrea palmula* (Ríos-González et al. 2018). En 2018 la producción nacional de ostión fue de 53 443 toneladas de las cuales 42 107 t (78.7%) provienen de acuacultura y 11 336 t (21.3%) son de captura. En la costa del Pacífico mexicano, Nayarit es el principal productor de ostras alcanzando una producción de 5 736 t, lo que significa casi el 43.3% de la producción de esta costa en 2018 (SAGARPA 2018). Los reportes nacionales de producción de ostión, en el Pacífico mexicano se basan en tres especies principales, *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), *C. corteziensis* (Hertlein 1951) y *Striostrea prismática* (INAPESCA 2018). Pero en dichos informes de producción no se reporta la producción de cada especie y la fuente de obtención, es decir, si se capturan en el medio silvestre o se cultivan. No obstante, la producción del ostión de roca en Nayarit y en el Pacífico Mexicano se basa en las capturas (Ríos-González et al. 2018). De acuerdo con Lodeiros et al. (2020), el ostión de roca es una de las especies de ostras más abundantes en los sistemas rocosos costeros y en la mayoría de los casos puede proporcionar la mayor biomasa pesquera de este grupo. La pesquería de esta especie es ribereña y se realiza a lo largo de todo el Pacífico mexicano y en algunas zonas representa uno de los principales recursos capturados por las sociedades cooperativas de producción pesqueras, alcanzado elevada derrama económica como sucede en Acapulco, Guerrero (Sánchez-Telumbre et al. 2021). Por lo que se considera que esta especie tiene gran potencial de cultivo, y en ese sentido algunos trabajos se han enfocado en el control de la reproducción y la producción de juveniles bajo condiciones controladas, además, del cultivo en sistemas suspendidos (Robles et al. 2020, Rodríguez-Pesantes et al. 2022).

A finales de la década de los 70's la explotación del ostión de roca soportaba altos volúmenes de capturas frente a las costas de Nayarit (Cuevas-Guevara y Martínez-Guerrero 1978). De acuerdo con Patiño-Valencia et al. (2006), este recurso presenta un declive poblacional en la zona, el cual determinaron con datos de captura y talla de los organismos. A pesar de no contar con datos precisos sobre la presión pesquera sobre esta especie, su escasa presencia en lugares donde era común encontrarlas, y el pequeño tamaño de los ejemplares extraídos hacen pensar que se ha superado la capacidad de explotación natural (Patiño-Valencia y Ulloa-Ramírez 2008). Se sabe que para el manejo de los recursos pesqueros se requiere el conocimiento y la integración de factores socioeconómicos, biológicos y ecológicos (Seijo y Defeo 1997). En ese sentido, es imprescindible conocer los aspectos reproductivos de algunas especies sujetas a explotación, y esto será un indicador de su continua producción y por ende de su disponibilidad para ser explotadas. En cuanto a la reproducción de esta especie, se ha documentado que son gonocóricos y los machos suelen ser de menor tamaño, lo que sugiere una característica común del hermafroditismo protándrico (Lodeiros et al. 2020). Además, se ha reportado que factores como la temperatura y salinidad influyen en el desove (Loo y Sonnenholzner 2016, Robles et al. 2020), lo que se refleja en el hecho que el evento reproductivo se presente en diferente época de acuerdo a la zona. Por ejemplo, en Sinaloa el desove es de mayo a agosto (Zarain-Hersberg y Villalobos-Fernández 2012), mientras que en Michoacán es de agosto a septiembre (Meléndez-Galicia et al. 2015), poniendo en evidencia que el ostión de roca puede adaptarse a distintas condiciones ambientales, por lo que es necesario determinar la biología reproductiva para cada zona. Por esa razón y dada la importancia del ostión de roca en la región, el objetivo de este estudio fue determinar la biología reproductiva del ostión de roca *S. prismática* y su relación con la temperatura y la clorofila-a, con el fin de proporcionar información básica de esta especie de importancia comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de muestreo y obtención de muestras

Se obtuvieron ostiones provenientes de la pesca comercial, tratando de incluir todas las tallas posibles, de los bancos que existen en el área rocosa en Santa Cruz de Miramar, Nayarit (Oeste de México), que es una playa semi-protegida dentro de la Bahía de Matanchén, San Blas, localizada en los 22° 26' LN y 105° 12' LO, cerca del desembocadura del río Naranja. El clima local es cálido subhúmedo con lluvias en verano e invierno menores de 5 mm con temperatura media anual de 24 °C. La temperatura media de la superficie se estima entre 22 y 30 °C. El rango medio de las mareas primaverales es de 0.98 m y el promedio es de 0.70 m, las mareas son semi-diurnas mixtas (González *et al.* 2009).

Se realizaron muestreos mensuales aleatorios de enero a diciembre, tomando alrededor de 60 organismos por mes. Los ostiones se transportaron en hieleras al laboratorio, para luego lavarlos y cepillarlos para eliminar los epibiontes, mientras que se registraron las medidas (ancho, longitud, altura) y el peso total de cada uno. Para luego desconcharlos y pesar el tejido fresco, 30 organismos se secaron en estufa (65 °C por 48 h). El resto de los organismos, alrededor de 30 organismos por mes, se fijaron en formalina al 10% preparada con agua de mar filtrada, para el posterior análisis histológicos.

Factores ambientales

Para estimar la temperatura superficial del mar (TSM) se obtuvieron imágenes de satélite mensuales de la zona costera de la Bahía de Matanchén, para lo cual se utilizó una composición de los sensores MODIS-Terra y MODIS-Aqua. Para estimar la concentración de clorofila se utilizaron imágenes mensuales, de los sensores MODIS-Terra, Aqua MODIS y VIIRS. Todas las imágenes fueron proporcionadas por Scripps, Universidad de California, San Diego, con una resolución de 1 km. La gestión, el análisis y la extracción de datos de imágenes se realizó con el software Windows Image Manager (WIM), Wim-Soft versión 9.06 Copyright Mati Kahru 1991-2015. Para establecer la eficiencia de los datos obtenidos

a través de sensores remotos, se realizó una comparación de datos tomados *in situ* y de las imágenes satelitales tomadas de las fechas exactas, en función de que no se observaron diferencias significativas (± 0.5 °C) entre dichos datos y que estas estimaciones siguen la misma tendencia, se consideró que los datos pueden ser usados como buenos indicadores del comportamiento de las variables en la zona.

Proporción sexual

El sexo de cada organismo se determinó mediante un examen microscópico del tejido gonadal. La proporción de sexos se estimó dividiendo el número de hembras entre el número de machos. Se aplicó una prueba de Chi-cuadrada (χ^2) para determinar si la proporción de sexos difería de 1: 1 (Zar 2010).

Índice de condición

El índice de condición (IC) se calculó como la proporción de peso del tejido seco (PTS) con respecto al peso de la concha seca (PCS) mediante la fórmula: $IC = w_1 \times 1,000 / w_2$. Donde w_1 es el PTS y w_2 es el PCS, como lo describen Walne y Mann (1975). Además, la relación entre el peso seco y húmedo del tejido (P_s/P_h) se utilizó como método para estimar la condición, como lo propuso Fournier (1992). Para obtener el tejido y concha seca, estas estructuras se colocaron en la estufa de secado a temperatura de 65 °C por 48 horas.

Ciclo reproductivo

Para determinar el ciclo reproductivo se utilizaron alrededor de 30 ostiones previamente fijados en formalina, de los cuales se obtuvieron cortes transversales de 5 mm de espesor de la masa visceral posterior (entre la cavidad pericárdica y la glándula digestiva), se colocaron en casetes para histología. Para luego deshidratar en una serie graduada de soluciones de etanol, aclarar en xileno e incluir en parafina en un procesador de tejidos (Thermo Scientific Shandon Excelsior; Thermo Scientific, Alemania). Después, los bloques de parafina se cortaron a un grosor de 4 μ m en un microtomo motorizado automático (HM355S, Thermo

Scientific Microm, Alemania), y montar los cortes en portaobjetos para teñirlos con hematoxilina-eosina para su análisis. Las imágenes de los cortes histológicos se tomaron con un microscopio unido a una cámara serie Motic B2. Para determinar el desarrollo gonadal se clasificó en cinco fases: indiferenciado, desarrollo, maduro, desove y post-desove (George-Zamora *et al.* 2003). Basado en Mazón-Suastegui *et al.* (2011), se consideró el período de la temporada de reproducción cuando las hembras se encontraban en fase madura y de desove.

Talla de primera madurez

Se ajustó una curva logística a los datos para estimar la longitud a la que el 50% de los individuos eran sexualmente maduros. Para obtener la talla de madurez, se consideraron solo los organismos que se encontraban en etapa de maduración y desove (Mena-Alcántar *et al.* 2017). Se calculó la frecuencia relativa y la longitud acumulada del intervalo de frecuencia (5 mm). Ajustando el modelo logístico de la siguiente manera:

$$M\% = \frac{a}{1 + be^{-cL}}$$

Dónde: M% = porcentaje de organismos maduros, a = intersección, b = pendiente, c = constante y L = longitud total.

Análisis estadístico

Se evaluó si la proporción de sexos esperada de 1: 1 es diferente estadísticamente, mediante una prueba de Chi-cuadrada. Para determinar la asociación de cada fase del ciclo reproductivo (frecuencia relativa) con los factores ambientales, se aplicó un análisis de correlación de Spearman. El análisis estadístico se realizó con el software Statistica 7.1 (StatSoft), considerando la significancia estadística de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Factores ambientales

Los parámetros ambientales estimados durante el período de muestreo del estudio se muestran

en la Tabla 1. La temperatura superficial del mar varió entre 25.5 °C (marzo) y 30.6 °C (julio y agosto). Mientras que la concentración de clorofila-a varió entre 0.96 (junio) y 3.17 $\mu\text{g L}^{-1}$ (abril).

Tabla 1. Valores promedio de temperatura (Temp) y clorofila a (Chl-a) estimados a través de sensores remotos, durante enero a diciembre de 2014 en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México.

Mes	Temp (°C)	Chl-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Enero	25.7	1.35
Febrero	25.8	2.25
Marzo	25.5	2.61
Abril	25.8	3.17
Mayo	27.6	3.02
Junio	30.1	0.96
Julio	30.6	1.83
Agosto	30.6	2.87
Septiembre	29.9	3.06
Octubre	30.1	2.16
Noviembre	28.3	1.83
Diciembre	26.4	1.43

Proporción de sexos

Se muestrearon 322 ostiones de roca, la longitud osciló entre 14 y 150 mm. En la mayoría de los meses (excepto de mayo a septiembre) predominaron organismos en estadio indiferenciado (Tabla 2). En la proporción sexual predominaron los machos de marzo a septiembre. En marzo solo se encontraron machos, que es el único mes en el que la relación fue diferente de 1: 1 ($\chi^2 = 8.0$, $p = 0.04$). Mientras que en noviembre se observó una proporción similar de machos y hembras. La proporción sexual general fue 1M: 0.6H, que según la prueba de independencia χ^2 es diferente de 1: 1 ($\chi^2 = 8.5$ y $p = 0.03$).

Índice de condición

El IC y la relación P_s/P_h mostraron el mismo patrón, ya que ambos fueron bajos de enero a marzo (IC = 17.5-19.9 y $P_s/P_h = 0.22-0.23$). El IC fue mayor de abril a junio (26.95-31.99) mientras que la relación P_s/P_h fue mayor de abril a agosto (0.25-0.31), en tanto que en julio (20.1), el IC disminuye y se mantiene bajo hasta diciembre (11.8) y la relación P_s/P_h disminuye de septiembre a diciembre (0.22-0.21) (Figura 1).

Tabla 2. Número de hembras (H), machos (M) y organismos indiferenciados (I) de ostiones de roca *Striostrea prismatica* en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México (Ene-Dic / 2014).

Mes	M	H	I	M:H	χ^2	P
Enero	0	0	26	-	0	1.00
Febrero	0	0	28	-	0	1.00
Marzo	8	0	28	1:0.0	8.00	0.004*
Abril	6	2	18	1:0.3	2.00	0.157
Mayo	14	10	6	1:0.7	0.67	0.413
Junio	14	6	8	1:0.4	3.20	0.073
Julio	16	12	0	1:0.8	0.57	0.450
Agosto	14	11	0	1:0.8	0.36	0.548
Septiembre	10	7	2	1:0.7	0.53	0.466
Octubre	0	0	32	-	0	1.00
Noviembre	3	3	18	1:1	0	1.00
Diciembre	0	0	20	-	0	1.00
Total	85	51	186	1:0.6	8.50	0.003*

* Indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

Ciclo reproductivo y relación con factores ambientales

De acuerdo con la presencia de células gametogénicas, se definieron las etapas de desarrollo gonadal de indiferenciado, gametogénesis, madurez, desove y post desove (Figura 2). La observación cualitativa de estas etapas de desarrollo gonádico durante el muestreo permitió describir el ciclo reproductivo del ostión. El periodo de desove ocurrió de mayo a septiembre, pero, en el mes de julio se presentó la mayor frecuencia de organismos desovando, mientras que de octubre a febrero se observó un periodo de reposo (Figura 3). En cuanto a la relación de las variables ambientales con el ciclo reproductivo, se observó que la temperatura juega un papel importante en el evento reproductivo (Tabla 3). Específicamente, el desove fue en los meses más cálidos (mayo-septiembre, 27.6 - 30.6 °C) ($R = 0.77$, $p = 0.00$), mientras que la mayor frecuencia de organismos indiferenciados se encontró en los meses más fríos (diciembre-febrero, 25.6 - 26.4 °C) ($R = -0.65$, $p = 0.01$). La concentración de clorofila-a no estuvo relacionada con el ciclo reproductivo. El IC no se relacionó con ninguna de las variables ambientales, pero sí con la etapa de desarrollo de indiferenciado ($R = -0.68$, $p = 0.01$) y la de desarrollo ($R = 0.92$, $p = 0.00$) (Tabla 3).

Talla de primera madurez

El intervalo de longitud en la cual se ob-

servaron organismos maduros fue de 69 a 153 mm. Sin embargo, el tamaño del reclutamiento a la reproducción (L_{50}) fue de 80.2 mm para *Striostrea prismatica* (Figura 4).

DISCUSIÓN

Factores ambientales

La determinación de la TSM y la clorofila-a se realizó a través de sensores remotos, de acuerdo con Veneros *et al.* (2020) este tipo de tecnología ha sido empleada para realizar análisis sobre cobertura vegetal y cuerpos de agua en estudios de conservación y medio ambiente, resultando de gran utilidad. Tanto la temperatura como la clorofila-a estimadas en este estudio son similares a las reportadas en otras zonas de distribución del ostión de roca (Loor y Sonnenholzner 2016).

Proporción de sexos

Los machos fueron más abundantes que las hembras lo que coincide con lo reportado para esta misma especie en la costa del Pacífico de Costa Rica, con una proporción sexual de 3: 1 (M: H) y hermafroditismo (2%) (Fournier 1992). Pero también se ha reportado que en Ecuador la proporción sexual fue de 1: 1 (Loor y Sonnenholzner 2016). Lo que se atribuye al tamaño de los organismos muestreados. Por lo que se especula que *S. prismatica* presenta características de hermafroditismo y dioecia protándrica (Ríos-González *et al.* 2018), mostrando una mayor proporción de machos que hembras en una etapa temprana pero disminuye con la edad o el tamaño debido a la inversión de sexo (Loor y Sonnenholzner 2016) como se ha reportado en *Crassostrea corteziensis* (Chávez-Villalba *et al.* 2008) y *C. gigas* (Baghurst y Mitchell 2002). A diferencia de este estudio, Fournier (1992) reportó hermafroditismo para esta especie, lo que se puede atribuir a que en el Golfo de Nicoya, la actividad reproductiva es constante durante todo el año y puede ocasionar que no exista una reabsorción completa de los gametos del evento reproductivo anterior y una nueva gametogénesis, como ha sido reportada por Paniagua-Chávez y Acosta-Ruiz (1995), mientras

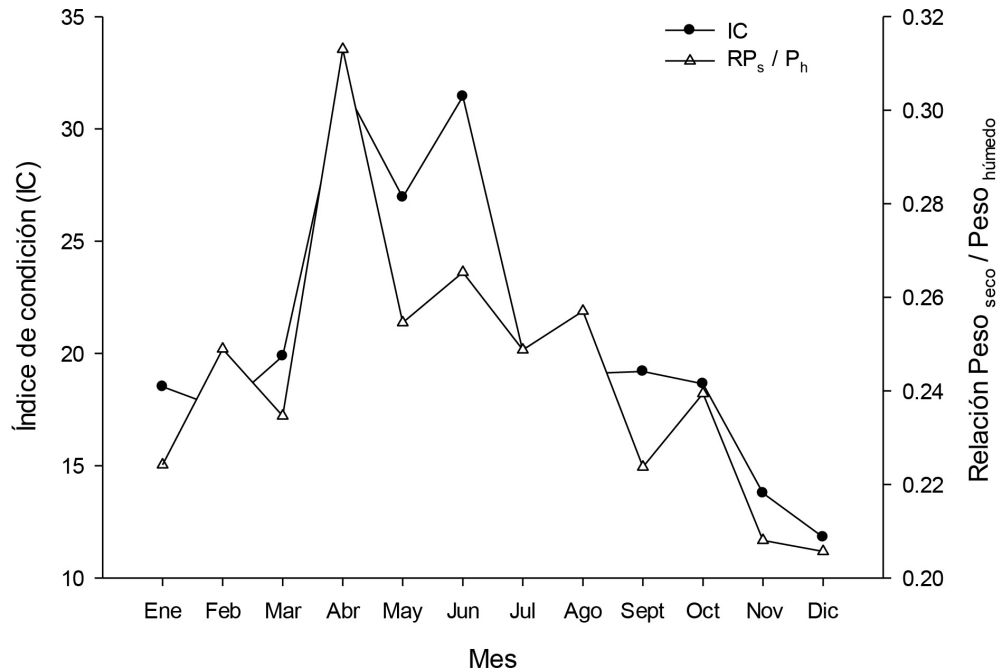


Figura 1. Índice de condición y relación peso seco / peso húmedo del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México. (Ene-Dic / 2014).

que en Santa Cruz de Miramar, Nayarit muestra un período de reposo durante el cual se podría llevar a cabo el cambio de un sexo a otro.

Índice de condición

El índice de condición (IC) permite evaluar parámetros, como el estado nutricional, los cambios en las reservas nutricionales del área y la calidad comercial (Crosby y Gale 1990), y además se encuentra una relación entre el IC y la madurez sexual de ostiones y otros bivalvos (Okumus y Stirling 1998). Se observó una tendencia en IC y la relación P_s/P_h a ser mayor cuando se acerca la madurez sexual, aunque solo muestran correlación positiva con la fase de gametogénesis y correlación negativa con la etapa indiferenciada. Pero no se encontró correlación entre el IC y madurez y/o desove como lo reportaron Lango-Reynoso *et al.* (1999) y Chávez-Villalba *et al.* (2007) para *Crassostrea gigas* y Mena-Alcántar *et al.* (2017) para *C. corteziensis*. Mientras que en *S. prismatica* Fournier (1992) reportó una fuerte correlación positiva entre la madurez y la relación P_s/P_h . Esto

puede deberse al hecho de que en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, la proporción de organismos en la misma etapa de desarrollo (maduros o desove) fue alta (más del 50%), mientras que en Santa Cruz de Miramar, las proporciones de organismos en la misma etapa de desarrollo no alcanzó el 50%, excepto en la fase indiferenciada.

Ciclo reproductivo y relación con factores ambientales

El ostión de roca *Striostrea prismatica* presentó un ciclo reproductivo sincrónico entre machos y hembras con un patrón unimodal como lo reportan Meléndez-Galicia *et al.* (2015) y, Loor y Sonnenholzner (2016), seguido de un período de reposo. El período de desove fue a finales de primavera y verano (junio a agosto) y el período de descanso de otoño a invierno (octubre-febrero), algo similar a lo ocurrido en la costa de Michoacán (Meléndez-Galicia *et al.* 2015) y en la costa sur de Ecuador (Loor y Sonnenholzner 2016) para esta misma especie. En contraste, Fournier (1992) reportó que esta especie

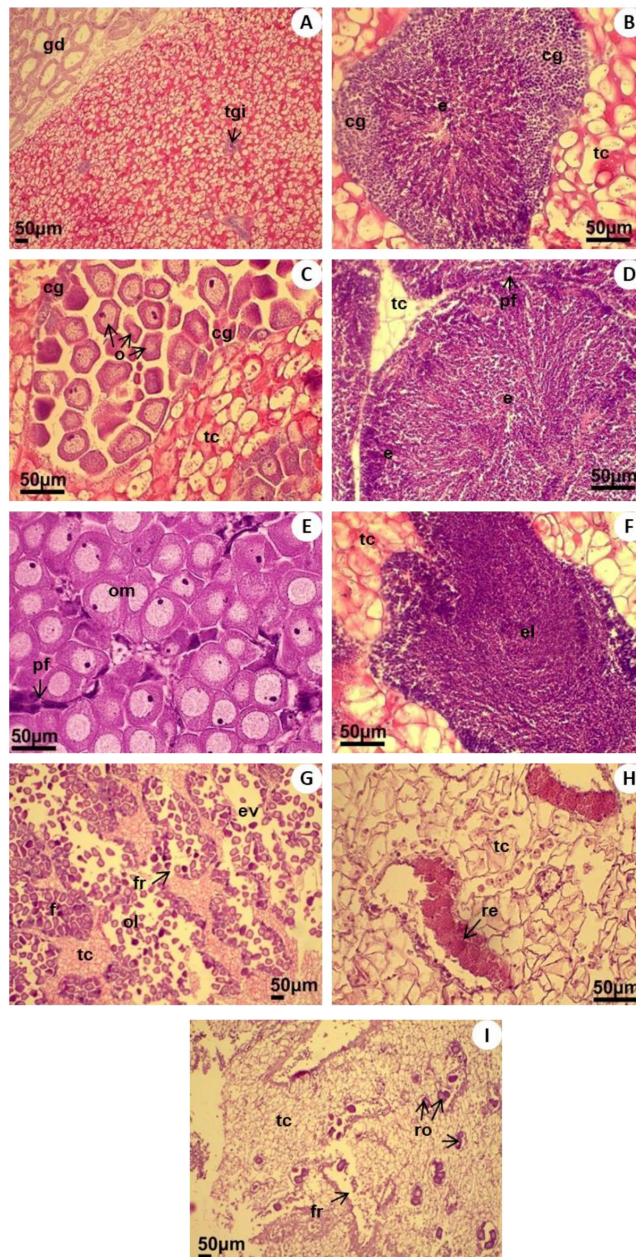


Figura 2. Etapas de desarrollo gonadal del ostión de roca *Striostrea prismatica*, en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México (Ene-Dic / 2014). a) Indiferenciado, 40X; b) gametogénesis en machos 40X; c) gametogénesis en hembras 40X; d) Madurez en machos 40X; e) Madurez en hembras 40X; f) Desove en machos 40X; g) Desove en hembras 10X; h) Post-desove en machos, 40X; i) Post-desove en hembras 10X. cg: células goniales; e: espermatozoides; el: espermatozoides liberados; ev: espacios vacíos; f: folículo; fr: folículos rotos; gd): glándula digestiva; o: ovocito; om: ovocito maduro; ol: ovocitos liberados; pf: pared folicular; re): reabsorción de espermatozoides; ro: reabsorción de ovocitos; tc): tejido conectivo; y tgi: tejido gonadal indiferenciado.

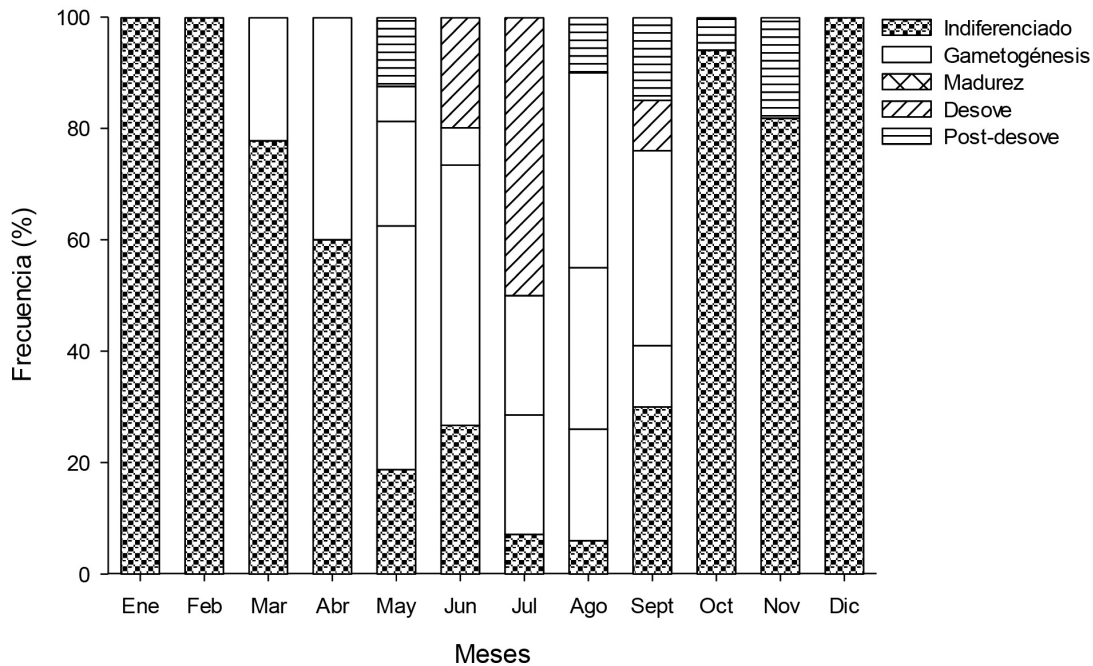


Figura 3. Fases de desarrollo gonádico del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México (Ene-Dic / 2014).

en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, tiene actividad reproductiva de manera continua durante todo el año, sin evidencia de un período de reposo. Lo que puede deberse a que en esa zona la temperatura presenta baja variación a lo largo del año (alrededor de 3 °C).

La temperatura tiene un papel importante en la reproducción, ya que la maduración gonadal y el desove presentaron asociación directa con la temperatura, encontrando que la mayor proporción de organismos maduros y en desove se encontraron entre 27.6 y 30.6 °C. Lo que coincide con la temperatura máxima reportada durante la madurez sexual de 28.1 y 29.6 °C (Loor y Sonnenholzner 2016). Pero se difiere con Fournier (1992) quien reporta que en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, la actividad reproductiva se presenta durante todo el año sin un período de descanso y temperaturas promedio entre 29 y 32 °C. Lo que se puede atribuir a la temperatura que prevalece en la zona muestreada. De acuerdo con Robles *et al.* (2020), la temperatura de desove en condiciones de laboratorio ocurre entre los 28 y 30 °C.

Tabla 3. Correlación entre variables ambientales y la reproducción del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México (Ene-Dic / 2014).

Variables	R Spearman	P
Temperatura y Indiferenciado	-0.6596	0.0196*
Temperatura y Madurez	0.6718	0.0167*
Temperatura y Desove	0.7733	0.0031*
IC y Indiferenciado	-0.6831	0.0143*
IC y Gametogénesis	0.9281	0.0000*
Relación P_s/P_h y Indiferenciado	0.6297	0.0134*
Relación P_s/P_h y Gametogénesis	0.6961	0.0001*
Clorofila-a y IC	0.3566	0.2551
Clorofila-a y Desove	0.0077	0.9708

IC: Índice de condición. P_s/P_h : Relación Peso seco / Peso húmedo del tejido. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

Para la concentración de clorofila-a, no se observó relación con el ciclo reproductivo. Lo que difiere con Loor y Sonnenholzner (2016) quienes reportan que para poblaciones de *S. prismatica* la mayor concentración de clorofila-a en invierno se relacionada con el inicio de la gametogénesis, lo que se atribuye a que los ostiones utilizan clorofila-a y materia orgánica particulada como reservas energéticas (Chávez-Villalba *et al.* 2002, Chávez-Villalba *et al.* 2008, Rodríguez-Jaramillo *et al.* 2008). En ese sen-

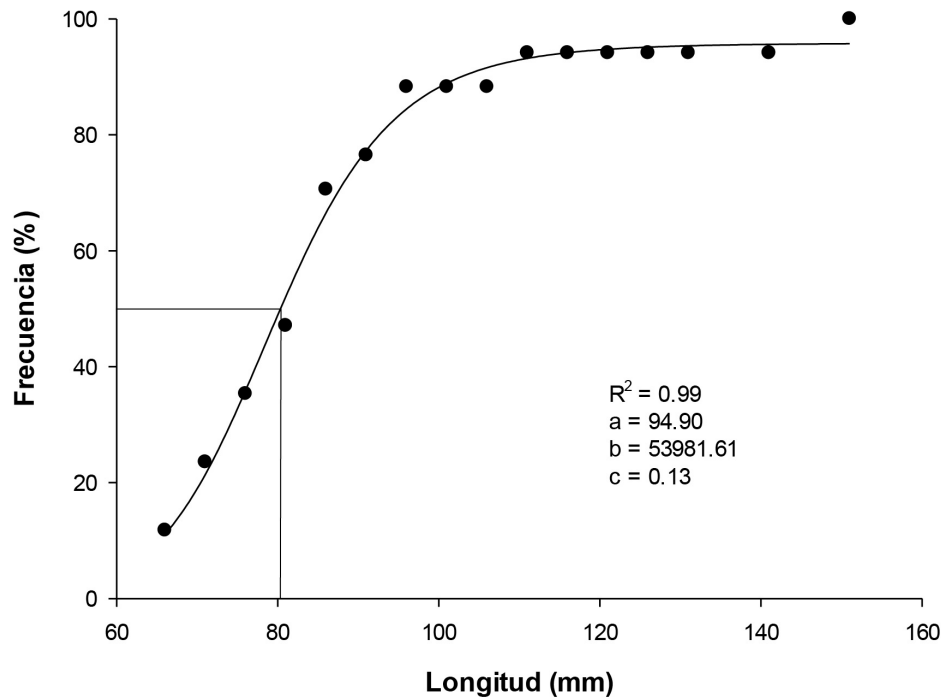


Figura 4. Talla de primera madurez del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Santa Cruz de Miramar, Nayarit, México.

tido, esta diferencia puede deberse a que en Santa Cruz de Miramar la alimentación puede no ser una limitación a lo largo del año para esta especie debido a que se encuentra dentro del rango encontrado para otras zonas (Loor y Sonnenholzner 2016). Pero sobre todo, no presenta un patrón estacional determinado por la temperatura, mientras que en la costa ecuatoriana las variaciones fueron mayores con un patrón en el cual la concentración de clorofila-a fue determinada por la temperatura (Loor y Sonnenholzner 2016). Lo que puede deberse a que en la costa de Santa Cruz de Miramar durante los meses más cálidos del año se presenta la temporada de lluvias, lo cual provoca que grandes cantidades de nutrientes lleguen a la costa desde los arroyos que allí desembocan.

Talla de primera madurez

La talla de primera madurez se ha definido de diferentes formas. Por ejemplo, Campbell y Ming (2003) lo definieron como la talla del primer ostión maduro detectada durante el muestreo en el que to-

dos los individuos pertenecen a la misma cohorte tanto en edad como en tamaño. Para este trabajo se definió como el momento en que el 50% de la población se encuentra en una fase de madurez o cuando la suma de las fases de madurez y desove es mayor o igual al 50%, de acuerdo con Mazón-Suástegui *et al.* (2011) y Mena-Alcántar *et al.* (2017). Pero son pocos los estudios realizados para *S. prismatica* sobre aspectos reproductivos (Arguello-Guevara *et al.* 2013, Hernández-Covarrubias *et al.* 2013, Meléndez-Galicia *et al.* 2015, Loor y Sonnenholzner 2016) y solo dos reportan la talla de primera madurez en esta especie. Al respecto, Hernández-Covarrubias *et al.* (2013) reportaron organismos maduros en un rango de tallas de 5.8 a 15.8 cm, lo que coincide con lo encontrado (6.9 a 15.3 cm). Pero reportan una L_{50} de 90 mm, mientras que en el presente trabajo se observó una L_{50} de 80.2 mm. Mientras que Fournier (1992) encontraron que los organismos más pequeños sexualmente maduros presentan tallas de 15 mm. En recientes investigaciones sobre la producción de esta especie en cautiverio, se re-

portó como un criterio de selección de los reproductores que presentaran una talla superior a los 12 cm (Robles *et al.* 2020).

En este sentido, se ha observado que las diferencias encontradas entre las tallas de madurez pueden atribuirse a factores como las diferencias fenotípicas de los stocks a lo largo de un gradiente latitudinal o temporal (Zhu *et al.* 2011), a la calidad y estructura de los datos (Punt *et al.* 2006), la elección del modelo (Zhu *et al.* 2011) e incluso a la presión pesquera que recibe un recurso (González *et al.* 2012). En ese sentido, no existe información disponible sobre el volumen de producción neta de *S. prismatica*, sin embargo, un ejercicio realizado por Patiño-Valencia *et al.* (2006) con datos de captura de dos localidades de la costa de Nayarit determinaron que presenta un declive poblacional, como se ha establecido por Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón (2011) que la mayoría de los recursos pesqueros se encuentran en algún tipo de agotamiento o sobreexplotación.

CONCLUSIONES

El desove de *S. prismatica* se presenta entre mayo y septiembre. El ciclo reproductivo de esta especie está regulado por la temperatura del agua, con desove entre los 27.6 y 30.6 °C, mientras que la clorofila-a no tiene relación con este evento en la zona, así mismo demostró que el ostión de roca alcanza la talla de primera madurez a los 80.2 mm de longitud.

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias y la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Nayarit. Los autores agradecen a la Sociedad Cooperativa Santa Cruz de Miramar S.C. de R.L. de C.V. por donar los organismos. Finalmente, agradecemos a los revisores anónimos por sus observaciones, las cuales permitieron mejorar sustancialmente este manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Argüello-Guevara W, Loor A, Sonnenholzner S (2003) Broodstock conditioning, spawning induction, and early larval development of the tropical rock oyster *Striostrea prismatica* (Gray 1825). *Journal of Shellfish Research* 32: 665-670.
- Arreguín-Sánchez F, Arcos-Huitrón E (2011) La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica* 21: 431-462.
- Baghurst BC, Mitchell JG (2002) Sex-specific growth and condition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture Research* 33: 1253-1263.
- Campbell A, Ming MD (2003) Maturity and growth of Pacific geoduck clam, *Panopea abrupta*, in southern British Columbia, Canada. *Journal of Shellfish Research* 22: 85-90.
- Chávez-Villalba J, Villelas-Ávila R, Cáceres-Martínez C (2007) Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Sonora, México. *Aquaculture Research* 38: 268-278.
- Chávez-Villalba J, Hernández-Ibarra A, López-Tapia MR, Mazón-Suástegui JM (2008) Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from Northwestern Mexico: growth, gametogenic activity, and condition index. *Journal of Shellfish Research* 27: 711-720.
- Chávez-Villalba J, Pommier J, Andreamiseza J, Pouvreau S, Barret J, Cochard J, Le Pennec M (2002) Broodstock conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect. *Aquaculture* 214: 115-130.
- Crosby MP, Gale LD (1990) A reviews and evaluation of bivalve condition index methodologies with a suggested standard method. *Journal of Shellfish Research* 9: 233-237.

- Cuevas-Guevara CA, Martínez-Guerrero A (1978) Estudio gonádico de *Crassostrea corteziensis* (Hertlein), *C. palmula* (Carpenter) y *C. iridescens* (Hanley) de San Blas, Nayarit, México (Bivalvia: Ostreidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 6: 81-98.
- INAPESCA (2018) Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la carta nacional pesquera. Diario oficial de la federación. Ciudad de México, México. 268p.
- Fournier ML (1992) The reproductive biology of the tropical rocky oyster *Ostrea iridescens* (Bivalvia: Oysteridae) on the Pacific coast of Costa Rica. *Aquaculture* 101: 371-378.
- George-Zamora A, Sevilla-Hernández ML, Aldana-Aranda D (2003) Ciclo gonádico del ostión americano *Crassostrea virginica* (Lamellibranchia: Ostreidae) en Mecoaacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical* 51: 109-117.
- González A, Bojórquez JI, Nájera O, García JD, Madueño A, Flores F (2009) Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Investigaciones Geográficas* 69: 21-32.
- González JA, Pajuelo JG, Lorenzo JM, Santana JI, Tuset VM, Jiménez S, Perales-Raya C, González-Lorenzo G, Martín-Sosa P, Lozano IJ (2012) Talla mínima de captura de peces, crustáceos y moluscos de interés pesquero en Canarias. Una propuesta científica para su conservación. Viceconsejería de Pesca del Gobierno de Canarias. Las Palmas de Gran Canaria, España. 252p.
- Hernández-Covarrubias V, Patiño-Valencia JL, Aguirre-Villaseñor H (2013) Inferencia multimodelo: cálculo de la talla media de madurez del ostión de roca *Striostrea prismatica* en Nayarit, México. *Ciencia Pesquera* 22: 11-18.
- Lango-Reynoso F, Devauchelle N, Le Pennec M, Hatt PJ (1999) Elements of reproductive strategy in oysters, *Crassostrea gigas*, from the "Rade de Brest", France. *Invertebrate Reproduction and Development* 36: 141-144.
- Lodeiros C, Valentich-Scott P, Chávez-Villalba J, Mazón-Suástegui JM, Grijalva-Chon JM (2020) Tropical and subtropical oysteridae of the American Pacific: taxonomy, biology, ecology, and genetics. *Journal of Shellfish Research* 39: 181-206.
- Loor A, Sonnenholzner S (2016) Reproductive cycle of the rock oyster, *Striostrea prismatica* (Gray, 1825) from two locations on the southern coast of Ecuador. *Aquaculture Research* 45: 1432-1442.
- Mazón-Suástegui JM, Ruíz-García MC, Chávez-Villalba J, Rodríguez-Jaramillo C, Saucedo PE (2011). Analysis of growth and first reproduction of hatchery-reared juvenile Cortez oyster (*Crassostrea corteziensis*) in northwestern Mexico: proposal of a minimal fishing size. *Aquaculture Research* 42: 1558-1568.
- Meléndez-Galicia C, Estrada-Navarrete FD, Hernández-Covarrubias V, Arellano-Torres AA, Hernández-Montaño D (2015) Madurez gonádica del ostión de roca *Crassostrea iridescens*, de la costa de Michoacán, México. *Ciencia Pesquera* 23: 25-36.
- Mena-Alcántar M, Zavala-Leal I, Romero-Bañuelos CA, Ruiz-Velazco JMJ, Nieto-Navarro JT, Palacios-Salgado D, Pacheco-Vega JM (2017) Reproduction of Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in a growing area in the central Mexican Pacific coast. *Latin American Journal Aquatic Research* 45: 485-490.
- Okumus I, Stirling HP (1998) Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis* L.) in suspended culture in two Scottish sea lochs. *Aquaculture* 159: 249-261.
- Paniagua-Chávez CG, Acosta-Ruiz MH (1995) Gonadal development of *Crassostrea gigas* in Bahía San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 21: 225-242.

- Patiño-Valencia JL, Ulloa-Ramírez PA, Cervantes S (2006) Diagnóstico de la pesquería de ostión de roca *Crassostrea iridescens*, en Santa Cruz de Miramar y Sayulita en el estado de Nayarit periodo 2001-2005. En: Espino-Barr E, Carrasco MA, Fuentes P, Carbajal E, Puente M, García A (ed.). II Foro Científico de Pesca Ribereña. Instituto Nacional de la Pesca, Colima, México. pp: 131-132.
- Patiño-Valencia JL, Ulloa-Ramírez PA (2008) Estado actual de la pesquería de ostión de roca *Crassostrea iridescens*, en Santa Cruz de Miramar y Sayulita, Nayarit. Periodo 2001-2007. En: Espino-Barr E, Carrasco MA, Fuentes P, Carbajal E, Puente M, García A (ed.). IV Foro Científico de Pesca Ribereña. Instituto Nacional de la Pesca, Guerrero, México. pp: 57-58.
- Punt AE, Hobday D, Flint R (2006) Bayesian hierarchical modeling of maturity-at-length for rock lobsters, *Jasus edwardsii*, off Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research* 57: 503-511.
- Ríos-González KG, López-Uriarte E, Chong-Carrillo O, Vega-Villasante F, Chávez-Villalba J (2018) Rock oyster *Striostrea prismatica* (Gray 1825): Biology, exploitation, and conservation. *Latin American Journal of Aquatic Research* 46: 626-644.
- Robles J, Cisneros P, Siccha-Ramirez R (2020) Reproducción y cultivo de ostra nativa *Striostrea prismática* (Gray, 1825). Tumbes, Perú. *Informe Instituto del Mar de Perú* 47: 5-14.
- Rodríguez-Jaramillo C, Hurtado MA, Romero-Vivas E, Ramírez JL, Manzano M, Palacios E (2008) Gonadal development and histochemistry of the tropical oyster, *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951), during an annual reproductive cycle. *Journal of Shellfish Research* 27: 1129-1141.
- Rodríguez-Pesantes D, Lodeiros C, Revilla J, Márquez A, Van Den Hende S, Sonnenholzner S (2022) Substrate effect on growth and survival of the rock oyster *Striostrea prismatica* (Gray, 1825) cultured in suspended systems in two different ecosystems. *Aquaculture* 555. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738193
- SAGARPA (2018) Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, México. 292p.
- Sánchez-Telumbre N A, Torreblanca-Ramírez C, Padilla-Serrato JG, Flores-Rodríguez P, Flores-Garza R, Kuk-Dzul JG (2021) Mollusks associated to the rock oyster *Striostrea prismatica* Gray, 1825 in Corrales Beach, Jalisco, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 8, e1072. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1072>
- Seijo JC, Defeo O (1997) Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. Documento Técnico de Pesca. FAO. Roma, Italia. 176p.
- Veneros J, García L, Morales E, Gómez V, Torres M, López-Morales F (2020) Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA* 38: 99-107.
- Walne PR, Mann R (1975) Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. In: Barnes H (ed) 9th European Marine Biology Symposium. Aberdeen University Press. Scotland. pp: 587-607.
- Zar JH (2010) Biostatistical analysis. 5th edition. Prentice Hall. New Jersey. 944p.
- Zarain-Hersberg M y Villalobos-Fernández C (2012) Manual de operación y manejo biológico del cultivo de ostión. Primera edición. Centro de Ciencias de Sinaloa, Gobierno del Estado de Sinaloa. Sinaloa, México. 50p.
- Zhu GP, Dai XJ, Song LM, Xu X (2011) Size at sexual maturity of bigeye tuna *Thunnus obesus* (Perciformes: Scombridae) in the tropical waters: a comparative analysis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 11: 149-156.