

## Efecto de la temperatura y la salinidad en el ciclo reproductor de hembras y machos de *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae)

Luis Alfonso Ascencio A.<sup>1,2</sup>, Martha Enríquez D.<sup>2</sup>, Imelda Martínez M.<sup>3</sup> & Dalila Aldana A.<sup>2\*</sup>

1. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. C. P. 04510. Distrito Federal, México; luis.ascencio86@gmail.com
2. CINVESTAV-IPN Mérida, Laboratorio de Conservación, Cultivo y Biología de Moluscos. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Calle 60 Antigua Carretera Mérida-Progreso. C.P. 97310. Mérida, Yucatán, México; daldana@mda.cinvestav.mx, menriquez@mda.cinvestav.mx
3. Instituto de Ecología A. C. Carretera Antigua a Coatepec 351. El Haya, C. P. 91070, Xalapa, Veracruz, México; Imelda.martinez@inecol.mx

\* Correspondencia: daldana@mda.cinvestav.mx

Recibido 17-II-2015. Corregido 14-I-2016. Aceptado 16-II-2016.

**Abstract: Effect of temperature and salinity on the reproductive cycle of males and females of *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae).** The American oyster, *Crassostrea virginica*, is one of the most important economic coastal fishery activities in Mexico. As for other bivalve molluscs, its sustainability is based on healthy populations, and additional information on current reproductive cycles, will reinforce local management strategies. The objective of this study was to evaluate the effect of temperature and salinity on the gonadal development stages in both sexes and in two size groups (40-60 mm and  $\geq 61$  mm) of *C. virginica* from Tamiahua Lagoon, Gulf of Mexico. Monthly surveys of 90 organisms were undertaken, for a yearly total of 1 080 oysters sampled from the lagoon in 2011. Both field and laboratory work used standard procedures. Our results showed that reproduction was continuous in both sexes, but some peaks of the reproductive cycle were observed along the year. Peaks registered from January to July were for gametogenesis; those of June and September were for mature individuals; and in January, February, and from September to December, for spawning/spent oysters. Maturity of females of both range sizes was positively correlated with temperature, but not for males. For spawning, spent individuals, males of sizes  $\geq 61$  mm were positively correlated with salinity, whereas smaller males (40-60 mm) and females of both sizes, did not show any correlation. In this study, we observed that temperature and salinity had a different effect in the reproduction of the American oyster of different sizes and sexes of Tamiahua lagoon. Rev. Biol. Trop. 64 (2): 449-459. Epub 2016 June 01.

**Key words:** American oyster, temperature, salinity, reproduction.

El ostión americano, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), se distribuye en las lagunas de la costa este de América, desde Canadá hasta México (Meyer & Townsend, 2000). Para latitudes templadas, se ha reportado que la fisiología reproductiva de *C. virginica*, se ve afectada directamente por los cambios estacionales en la temperatura (Loosanoff & Nomejko, 1951; Galtsoff, 1964; Giese & Pearse, 1979; Kennedy & Krantz, 1982; Shumway, 1996). La mayoría de los trabajos en esta especie han sido realizados en esas latitudes, existiendo pocos estudios en lagunas tropicales,

donde este parámetro presenta poca variación a lo largo del año (Arias-de León, Lango-Reynoso, Chávez-Villalba, Castañeda-Chávez, & Ramírez-Gutiérrez, 2013; Aldana-Aranda et al., 2014).

En este sentido Bayne (1973), Wilson et al. (2005) y Neto et al. (2013) observaron en diferentes bivalvos marinos que la salinidad y la cantidad de alimento son los que influyen en la actividad reproductiva.

De la misma manera Dinamani (1987) y Ruiz, Martínez, Mosquera, Abad y Sánchez (1992), observaron la influencia de la cantidad

de alimento y las fluctuaciones de temperatura en el ciclo reproductivo de *C. gigas*. En *C. virginica* Paniagua-Chávez y Acosta-Ruiz (1995) en *C. gigas* y Thompson, Newell, Kennedy y Mann (1996), señalan que la temperatura tiene efecto en el desarrollo gonádico, únicamente cuando los requerimientos alimenticios están completos, reportando que no hay sincronía en la liberación de gametos en ambos sexos. Freitas et al. (2010), señalan que la almeja *Anadara notabilis* de la franja tropical, presenta una reproducción continua y asincrónica, indicando que la temperatura regula el desarrollo de ovogonias y espermatogonias.

Orton (1920), Barillé (1997), Kobayashi, Hofmann, Powell, Klinck & Kusaka (1997), van der Veer, Cardoso & van der Meer (2006), Dutertre et al. (2009) emplean el concepto de temperatura umbral como una constante fisiológica, que al ser alcanzada permite el inicio de la producción y crecimiento de los gametos.

Por lo que respecta al efecto de la salinidad en la reproducción de *C. virginica*; Rogers & García-Cubas (1980), Martínez, Aldana, Brulé & Cabrera (1995) y Aldana-Aranda (2004), señalan que la disminución de salinidad estimula la liberación de gametos.

Los trabajos efectuados con *C. virginica* en la región tropical del Golfo de México, reportan para esta especie una reproducción continua durante todo el año (Martínez et al., 1995; George-Zamora, Sevilla, & Aldana, 2003; Baqueiro-Cardenas, Aldana-Aranda, Sevilla, & Rodríguez, 2007). Sin embargo, Sevilla y Mondragón (1965) para la laguna de Tamiahua reportó un ciclo con estadios de gametogénesis, madurez y desoves estacionales y secuenciales en un ciclo anual. Ruiz et al. (1992) señalan la plasticidad que tiene esta especie para tolerar amplios intervalos de temperatura y salinidad. Shumway, (1996) y Cormier-Méthé (2015) han observado que los mayores efectos fisiológicos sobre la reproducción se producen con las fluctuaciones de temperatura y salinidad.

Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto que tienen la temperatura y la salinidad sobre los estadios de maduración gonadal en ambos sexos y en

dos grupos de tallas en *C. virginica* de la Laguna de Tamiahua en el norte de Veracruz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** La Laguna de Tamiahua es una de las lagunas costeras más grande del Golfo de México, se encuentra entre las latitudes 21°15' N - 97°23' W y 22°06' N - 97°46' W al norte del estado de Veracruz. Tiene una longitud de 100 km y 25 km de ancho, y una superficie de 12 581 ha (Contreras, 1993).

Esta laguna forma parte de las cuencas hidrológicas de los ríos Tuxpan y Pánuco (Botello & Calva, 1998). Presenta dos bocas: una al norte, la boca de Tampachiche y otra al sur, la boca de Corazones, que se encuentra frente a la ciudad de Tamiahua. Su profundidad promedio es de 2.2 m (Álvarez, De la Lanza-Espino, & Cáceres-Martínez, 1994). Su clima es cálido húmedo con lluvias en verano, presentando una precipitación pluvial media anual de 1 500 mm (Contreras, 1993). Esta laguna es el principal reservorio del recurso ostión en América latina (Camacho et al., 1978).

**Variabes ambientales:** Los datos de temperatura y salinidad del agua son valores medios obtenidos por la Comisión Nacional del Agua y de datos reportados para esta localidad de 1970 a 2013 por diversos autores (Contreras, 1985; Reguero, García-Cubas, & Zúñiga, 1991; De la Lanza-Espino, 1998; Ocaña-Luna & Sánchez, 2003; Hernández, Valdez, & Zavala, 2006).

**Recolecta de organismos y procesamiento histológico:** Los ostiones se recolectaron en los tres bancos ostrícolas de mayor producción reportados por los pescadores: La Palma (21°22' 23" N - 97°26'44" W), Panzacola (21°21'23" N - 97°27'05" W) y Cabecillas (21°18'00" N - 97°26'28" W).

Se realizaron muestreos mensuales de enero a diciembre 2011, extrayéndose al azar 30 individuos por banco, utilizando el arte de pesca de los pescadores, que consiste en una tenaza, con la cual recogen del sustrato ostiones y los epibiontes asociados a los bancos

ostrícolas. De cada individuo se obtuvo la longitud mayor, establecida como la línea de mayor longitud perpendicular a la charnela. Para analizar el efecto de la temperatura y la salinidad por tallas se utilizaron dos criterios, uno pesquero que se refiere a la talla mínima de captura por la regulación pesquera mexicana que es de 61 mm, y otro biológico-reproductivo señalado por Menzel (1951) y Thompson et al. (1996), correspondiente a la talla mínima para la actividad reproductiva que es de 40 mm. Con base en lo anterior, las tallas obtenidas para este estudio se agruparon en dos categorías: de 40-60 mm y  $\geq 61$  mm.

Se tomó una muestra transversal de 1 cm<sup>3</sup> de la región media de la masa visceral de cada organismo. Las muestras extraídas fueron fijadas en formol al 10 % (con agua filtrada de la misma laguna) durante un lapso de 72 h. Posteriormente, se deshidrataron, se transparentaron en UltraClear®, y se incluyeron en parafina Paraplast®. De cada muestra se realizaron cortes histológicos de 6  $\mu$ m empleando un microtomo Microm®. Los cortes fueron teñidos con la técnica Hematoxilina-Eosina (H-E) (Gabe, 1968). El sexo de los organismos y el estado de madurez sexual, se determinó mediante la observación microscópica de los cortes histológicos de la muestra de gónada-glándula digestiva de cada individuo. Los estados de madurez gonádica se determinaron de acuerdo a la clasificación de Lucas (1965): gametogénesis, madurez y liberación.

Como los datos con los que se trabajó no cumplieron con los supuestos de normalidad, se realizó la prueba de Wilcoxon entre las frecuencias de los estadios del ciclo gonádico para hembras y para machos, y para ambos rangos de tallas analizados. Asimismo, se realizaron pruebas de correlación de Spearman para determinar la relación entre los estadios de madurez gonádica de las hembras y de los machos y en sus dos rangos de tallas con las variables ambientales. Por último, se hizo un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con ajustes del modelo lineal generalizado entre los tres estadios gonádicos de las hembras, de los

machos y para los dos rangos de tallas con la temperatura y la salinidad.

## RESULTADOS

**Ciclo reproductivo:** El ciclo reproductivo para hembras y machos se presenta en la figura 1. La gametogénesis se presentó todo el año en ambos sexos y ambas tallas, excepto en septiembre para hembras.

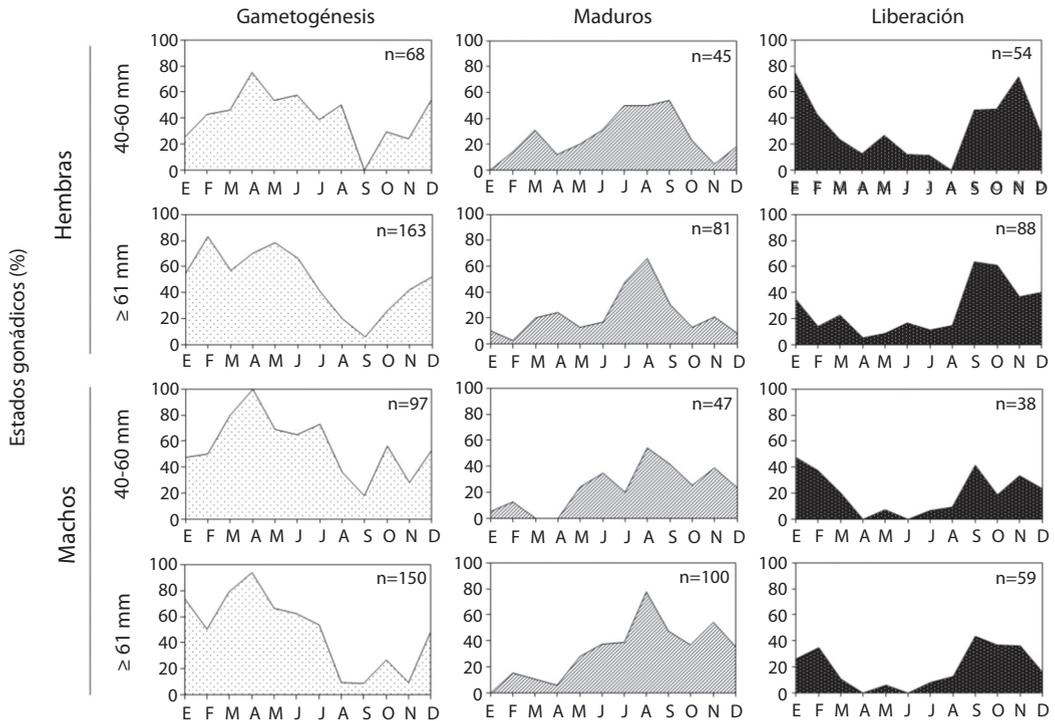
En las hembras de 40-60 mm, de enero a abril, la gametogénesis va en aumento, con un pico de 75 % en abril, disminuyendo hasta septiembre donde la gametogénesis no se presentó. Un segundo pico de 55 % se observó en diciembre. Mientras que en las hembras  $\geq 61$  mm la gametogénesis es alta, de 70 %, de enero a junio disminuyó a 6 % en septiembre para aumentar nuevamente a partir de octubre.

Los machos de 40-60 mm presentaron un pico de gametogénesis de 90 a 100 % en abril y un pico de 50 % de octubre a diciembre. Los machos de tallas  $\geq 61$  mm presentaron tres picos, uno en abril de 94 %, en octubre de 27 % y en diciembre de 50 %.

Los organismos maduros de ambos sexos y ambas tallas se presentaron todo el año. En las hembras de tallas de 40-60 mm el mayor pico de 54 % se presentó en agosto. En los machos de la misma talla, el comportamiento fue similar, con un pico del 55 % en agosto. En la talla de  $\geq 61$  mm, tanto en las hembras como en los machos, se presentó un pico en agosto, con valores del 80 % en machos y de 66 % para las hembras.

La liberación de gametos se presentó todo el año en individuos de ambos sexos y ambas tallas. Las hembras de tallas 40-60 mm presentaron dos picos mayores al 70 % en noviembre y enero, y en las  $\geq 61$  mm el pico fue de 60 % en septiembre-octubre. Los machos con tallas de 40-60 mm, presentaron dos picos, uno de 48 % en enero y otro de 42 % en septiembre. Un patrón similar se presentó para los machos con tallas  $\geq 61$  mm.

En el cuadro 1 se presenta la comparación entre hembras y machos y entre los ostiones de tallas de 40-60 mm y de  $\geq 61$  mm para los



**Fig. 1.** Ciclo reproductivo de hembras y machos para los rangos de tallas de 40-60 mm y  $\geq 61$  mm de *Crassostrea virginica*.  
**Fig. 1.** Reproductive cycle of females and males for size ranges from 40-60 mm and  $\geq 61$  mm of *Crassostrea virginica*.

CUADRO 1

Comparación de los estadios gonádicos entre hembras y machos (sexos) y entre ostiones con tallas de 40 - 60 mm y de  $\geq 61$  mm (tallas) (Prueba de Wilcoxon:  $W, p = > 0.05$ ) en el ostión americano *Crassostrea virginica*

TABLE 1

Comparison of gonadal stages between males and females (gender) and oysters with sizes between 40 - 60 mm and  $\geq 61$  mm (sizes) (Wilcoxon test:  $W, p = > 0.05$ ) in the American oyster *Crassostrea virginica*

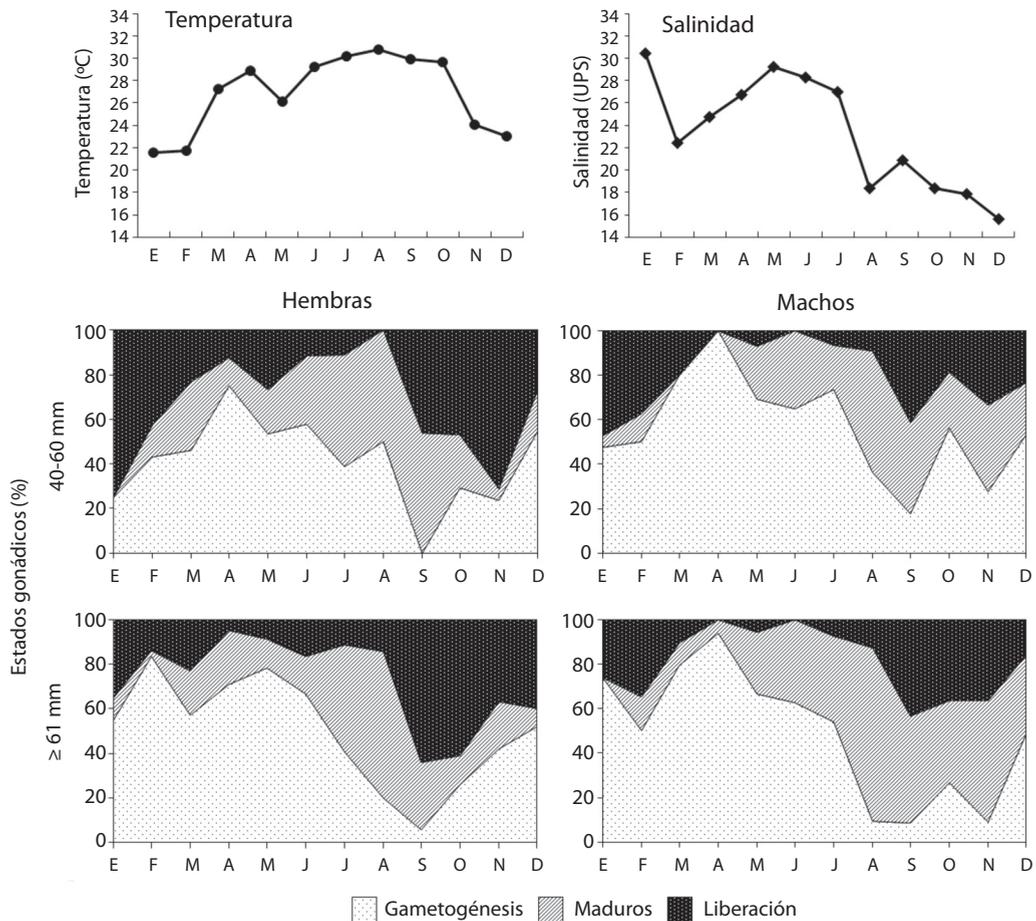
	Estadios gonádicos	W	p
Sexos	Gametogénesis	124.0	0.13
	Maduro	120.0	0.08
	Liberación	143.0	0.68
Tallas	Gametogénesis	170.5	0.24
	Maduro	157.0	0.69
	Liberación	160.0	0.56

diferentes estadios de madurez gonádica, no encontrándose diferencias ( $p > 0.05$ ).

### Correlación entre la temperatura, la salinidad y los estadios de madurez gonádica.

La temperatura media anual del agua fue de  $26.9 \pm 3.4$  °C durante el periodo de muestreo, oscilando entre 22 y 30 °C (Fig. 2). Resulta interesante señalar que la temperatura solo afectó de manera significativa a las hembras maduras, y para ambas tallas. En cambio, los machos no presentaron ninguna correlación de los estadios reproductivos con la temperatura (Cuadro 2).

La salinidad media mensual, varió de 16 a 31 UPS presentando un marcado descenso de junio a diciembre. La salinidad tuvo un efecto



**Fig. 2.** Ciclos reproductivos de hembras y machos para los rangos de tallas de 40-60 mm y  $\geq 61$  mm de *Crassostrea virginica* con la temperatura y la salinidad media mensual de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México.

**Fig. 2.** Reproductive cycles of females and males for size ranges from 40-60 mm and  $\geq 61$  mm of *Crassostrea virginica* with the averages monthly temperature and salinity from Tamiahua lagoon, Veracruz, Mexico.

en los organismos de mayor talla ( $\geq 61$  mm) tanto en machos como en hembras. En los machos, este parámetro tuvo una correlación significativa con los estadios maduro y en liberación. Mientras que en las hembras, esta correlación entre desove y salinidad fue alta ( $r = -0.497$ ), pero no significativa.

#### Umbral de temperatura y salinidad:

La figura 3 muestra el análisis de escalamiento multidimensional no métrico, entre la temperatura y salinidad para cada uno de los estadios de madurez gonádica tanto para hembras como

para machos y para los dos rangos de tallas y la figura 4 resume la temperatura y salinidad umbrales para cada estadio reproductivo. Se observó que las hembras de 40-60 mm requieren 26 °C y 32 UPS para iniciar la gametogénesis. Mientras las de  $\geq 61$  mm, la inician en 25 °C en el mismo rango de salinidad. Para alcanzar el estadio maduro las de 40-60 mm requieren 29 °C y 26 UPS, mientras que las de  $\geq 61$  mm necesitan de 30 °C y 25 UPS. La liberación de ovocitos en las hembras de 40-60 mm se inició a 24 °C y 28 UPS, y para las de  $\geq 61$  mm a 28 °C y a 25 UPS.

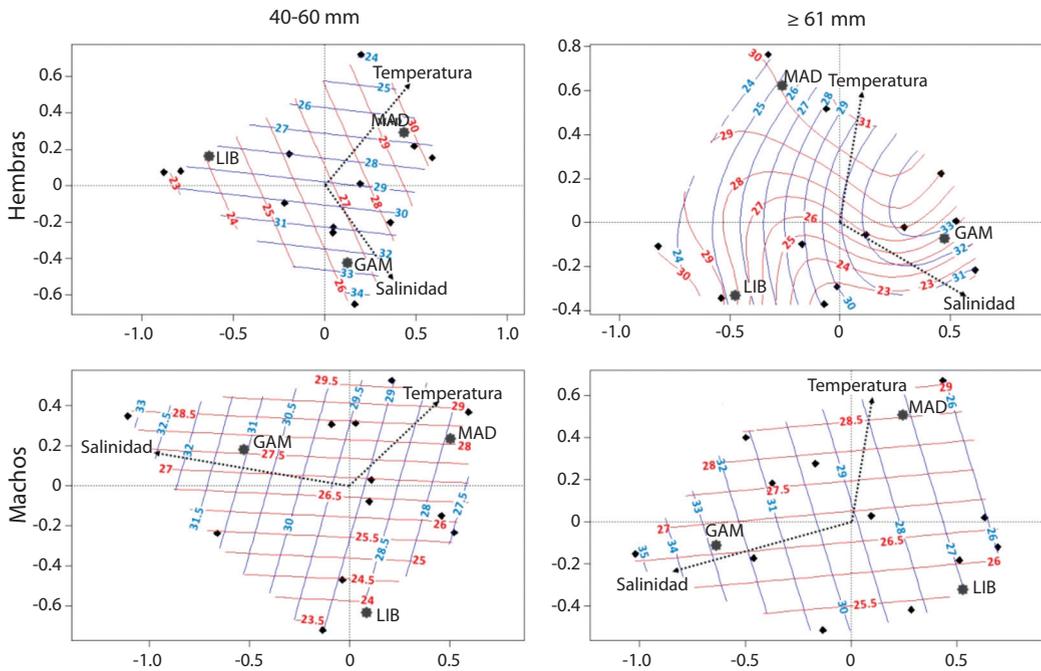
CUADRO 2

Valores de correlación (r) entre la temperatura y la salinidad con los estadios gonádicos de hembras y machos del ostión americano, *Crassostrea virginica* en Tamiahua, Veracruz, México

TABLE 2  
Correlation values (r) between temperature and salinity with gonadal stages of male and female American oyster, *Crassostrea virginica* in Tamiahua, Veracruz, Mexico

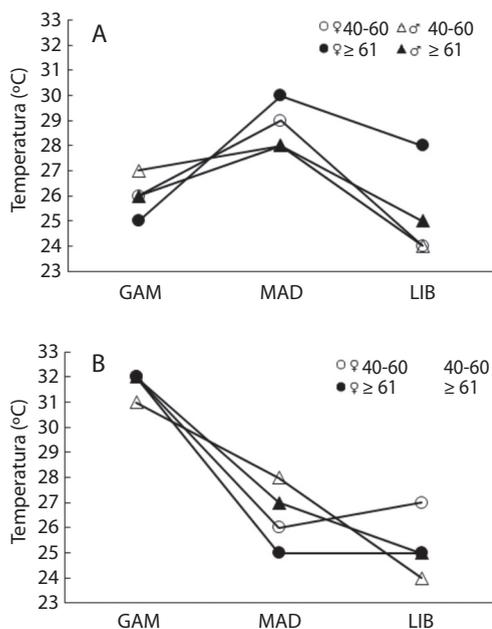
Estadios gonádicos	Hembras				Machos				
	40-60 mm		≥ 61 mm		40-60 mm		≥ 61 mm		
	r	p	r	p	r	p	r	p	
Temperatura	Gametogénesis	0.21	0.51	-0.54	0.07	-0.05	0.88	-0.35	0.26
	Madurez	0.86*	< 0.05	0.78*	< 0.05	0.23	0.47	0.46	0.13
	Desove	-0.36	0.25	-0.05	0.88	-0.51	0.09	-0.16	0.62
Salinidad	Gametogénesis	0.31	0.32	0.30	0.35	0.44	0.15	0.42	0.17
	Madurez	0.01	0.97	-0.16	0.62	-0.19	0.56	-0.76*	< 0.05
	Desove	-0.08	0.80	-0.49	0.06	-0.25	0.42	-0.59*	0.04

\*Correlación significativa. / \* Significant correlation.



**Fig. 3.** Escalamiento multidimensional no métrico de temperatura (líneas rojas) y salinidad (líneas azules) con los estadios gonádicos de *Crassostrea virginica* hembras y machos con tallas 40-60 mm y ≥ 61 mm. GAM, Gametogenesis; MAD, Maduros; LIB, Liberación. La temperatura y salinidad umbral para cada estadio del ciclo de madurez gonádica es representado por un asterisco (\*).

**Fig. 3.** Non-metric multidimensional scaling, among temperature (red lines) and salinity (blue lines) and reproductive stages of females and males for size ranges from 40-60 mm and ≥ 61 mm of *Crassostrea virginica*. GAM, Gametogenesis; MAD, Mature; LIB, spawning/spent. Temperatura y salinidad umbral para cada estadio del ciclo de madurez gonádica. Threshold temperature and salinity for each stage of gonadal maturation cycle is represented by an asterisk (\*)



**Fig. 4.** Valores umbrales de temperatura (a) y salinidad (b) de los estadios gonádicos de ostiones hembras y machos con tallas de 40-60 mm y  $\geq 61$  mm.

**Fig. 4.** Threshold values of temperature (a) and salinity (b) of gonadal stages for males and females oysters for size ranges 40-60 mm and  $\geq 61$  mm.

En machos de 40-60 mm, la gametogénesis inició a 27.5 °C y 31 UPS. Mientras que para los de talla  $\geq 61$  mm se inició a 26.5 °C y 32 UPS. Los machos maduros de 40-60 mm requieren una temperatura de 28 °C y una salinidad de 28 UPS, mientras que los de  $\geq 61$  mm requirieron 28.5 °C y 27 UPS. La liberación de espermatozoides se inició, a 24 °C y 28.5 UPS en ostiones de 40-60 mm, por su parte, los ostiones machos con tallas  $\geq 61$  mm necesitaron 25 °C y 27 UPS.

## DISCUSIÓN

Los invertebrados marinos que habitan en la franja tropical, generalmente muestran una reproducción continua y asincrónica (Freites et al. 2010). Bayne (1973) establece con bivalvos marinos, que estos pueden tener diferentes estrategias reproductivas. Una de ellas, se refiere a la formación de gametos a partir de la

energía aportada directamente de la ingesta de alimentos (oportunistas), en lugar de utilizar la energía almacenada como reservas de los tejidos somáticos, tal como ocurre en especies de zonas templadas.

En este estudio, los estadios de gametogénesis, maduros y liberación de gametos se presentaron durante todo el año, coincidiendo con lo observado por otros autores en *C. virginica* de distintas localidades de la región tropical del Golfo de México (Rogers & García-Cubas, 1980; Martínez et al. 1995; George-Zamora et al., 2003; Baqueiro et al., 2007). Estas estrategias reproductivas pueden ser consideradas como adaptaciones a las condiciones del ambiente (Ruiz et al., 1992) y reflejan la plasticidad que tiene esta especie para tolerar amplios intervalos de temperatura y salinidad.

La temperatura del agua en zonas templadas ha sido señalada como uno de los parámetros que ejerce mayor efecto sobre la duración e intensidad del ciclo reproductivo en diferentes especies de ostiones (Galtsoff, 1964; Giese & Pearse, 1979; Kautsky, 1982). En ostiones de latitudes tropicales, esta relación no es tan clara. Así, Lasiak y Dye (1989), Martínez et al. (1995), George-Zamora et al. (2003), observan que este parámetro influye poco o nada en la madurez y en la liberación de gametos.

En contraste, en este estudio se observó que el pico de ostiones maduros coincide con la mayor temperatura del año (31 °C). Asimismo, este parámetro se correlacionó de manera positiva en hembras maduras de 40-60 mm ( $r = 0.86$ ,  $p = 0.001$ ) y de  $\geq 61$  mm ( $r = 0.76$ ,  $p = 0.02$ ). La temperatura es primordial en las hembras, debido a que influye sobre la conversión del glicógeno, proceso necesario para la biosíntesis de lípidos que son moléculas indispensables durante la vitelogénesis en ostiones (Ruiz et al., 1992, Dridi, Romdhane, Elcafsi, 2007; Liu, Li, Gao, & Kong, 2010).

Los valores umbrales de la temperatura obtenidos en este estudio, sugieren que los machos necesitan una temperatura de 1-2 °C mayor que las hembras para iniciar el proceso de gametogénesis. Las hembras de 40-60 mm iniciaron la ovogénesis a 26 °C y los machos

a 27 °C. Por lo que respecta a las hembras  $\geq$  61 mm, la inician a 25 °C y los machos a 26 °C. Lo anterior coincide con lo reportado por Arias-de León et al. (2013), con *C. virginica* en distintas lagunas del Golfo de México, especie en la cual observaron grandes cambios en el ciclo gonádico debido a variaciones de temperatura de uno a dos grados centígrados.

Otra contribución de este estudio al analizar el ciclo de madurez gonádica por separado para hembras y machos y para diferentes tallas, fue observar que para alcanzar la madurez en hembras y machos, la temperatura fue mayor que la que se necesitó para iniciar la gametogénesis. El incremento de 3 a 5 °C que requirieron las hembras para este cambio fue mayor que el rango de temperatura que necesitaron los machos, que fue de tan solo 1 a 2 °C. Este resultado coincide con lo reportado por Galtsoff (1964), quien sugiere que la maduración gonadal, los procesos de liberación de gametos y la tasa de recuperación, son mucho más demandantes en hembras que en machos, por lo tanto, necesitan más energía para realizarlas.

En este trabajo, se observó que para la liberación de gametos en *C. virginica*, fue necesario un decremento de temperatura (de 2 hasta 5 °C) con respecto a la necesaria para alcanzar la madurez. Cuevas-Guevara y Martínez-Guerrero (1979), y Vélez y Epifanio (1981), encontraron los mismos resultados para distintas especies de ostiones tropicales. Por el contrario, Rodríguez-Jaramillo et al. (2008) trabajando con *Crassostrea corteziensis* en el Pacífico mexicano, encuentran que se necesita mayor temperatura para liberar los gametos que para madurar. Pazos, Román, Acosta, Abad y Sánchez (1996) observaron en *Pecten maximus*, un comportamiento reproductivo en que se presentaban dos temporadas de liberación de gametos coincidiendo con los meses de mayor y menor temperatura, sugiriendo que lo que se necesita es un marcado cambio en la temperatura en un periodo corto de tiempo.

Por su parte, la salinidad umbral requerida para la gametogénesis en los ostiones de este estudio, fue mayor a la necesitada para los estadios de maduración y liberación. Las hembras

al igual que los machos  $\geq$  61 mm, iniciaron la gametogénesis con una salinidad de 32 UPS, mientras que los machos de 40-60 mm necesitaron 31 UPS.

Con resultados similares, Supan y Wilson (2001), reportaron que la mayoría de los eventos reproductivos en *C. virginica* al norte del Golfo de México, ocurren en un intervalo de salinidad de 10-34 UPS. Si los ostiones son expuestos a concentraciones fuera de este rango, la gametogénesis se reduce, la liberación de gametos se inhibe y el tejido gonádico es reabsorbido.

Los estadios maduros y de liberación de gametos en *C. virginica* son estimulados por decrementos en los valores de salinidad (Rogers & García-Cubas, 1980, Martínez et al., 1995, George-Zamora et al., 2003). En este trabajo se observó una estrecha relación entre la caída de la salinidad y machos en estadios maduros y liberación de gametos con tallas  $\geq$  61 mm.

La reducción de la salinidad, está asociada a cambios en los niveles de nutrientes que influyen en la disponibilidad de alimento, lo que actúa como un agente estresante para *C. virginica*, y provoca la liberación de gametos (Jmeliova & Sanz, 1969; Angell, 1986). En el mismo sentido, Neto et al. (2013) observaron que los decrementos rápidos en la salinidad, estimulan la citólisis de las paredes de los folículos gonádicos en especies del género *Crassostrea*, permitiendo la liberación de los gametos. Con respecto a la influencia de este parámetro en distintas tallas de *C. virginica*, La Peyre, Eberline, Soniat y La Peyre (2013), observaron un efecto diferencial al utilizar como criterios el reclutamiento, el crecimiento, y la mortandad.

En este trabajo, se puso en evidencia que la temperatura y la salinidad no ejercen el mismo efecto en la reproducción de hembras y machos del ostión americano; la madurez estuvo influenciada por la temperatura en hembras, pero no en machos. En cambio, la disminución de la salinidad fue determinante en el proceso de liberación de gametos en machos. En hembras, éste parámetro no tuvo efecto. Por lo que

respecta al patrón reproductivo por rango de tallas, éste fue similar en hembras y machos.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó en el marco del proyecto M0034-2008-02/109498 del CONACYT “Diagnóstico biológico-pesquero y sistema de información geográfico del recurso ostión de las lagunas de Veracruz para su uso, ordenamiento y manejo sustentable” y la beca de Maestría CONACYT N° 222628 otorgada a Luis Alfonso Ascencio Aguirre. Al laboratorio de Ictiología del Cinvestav-IPN, Unidad Mérida por el acceso al equipo de histología y microscopía, y a Teresa Colas Marrufo por el apoyo en el procesamiento histológico. A Ricardo de Jesús Madrigal Chavero del Instituto de Ecología A. C. de Xalapa por su apoyo en las recolectas.

### RESUMEN

La reproducción del ostión americano, *Crassostrea virginica* se encuentra ligada a la temperatura y la salinidad. Sin embargo el efecto de estos parámetros no ha sido evaluado por sexos y por tallas. En este trabajo se analiza el efecto de la temperatura y la salinidad sobre la reproducción del ostión americano, por sexos separados y por tallas (40-60mm y  $\geq 61$  mm). Se recolectaron 1 080 ostiones, 90 organismos por mes durante 2011 en la laguna de Tamiahua, Veracruz México. El desarrollo de madurez gonádica se clasificó en tres estadios: gametogénesis, maduros y liberación. La reproducción fue continua en ambos sexos; la gametogénesis presentó máximos entre enero-julio, la madurez entre junio y septiembre y la liberación en enero y febrero, y de septiembre a diciembre. Sólo se presentó correlación significativa entre la temperatura y las hembras de ambas tallas en madurez, pero no en machos. La disminución de la salinidad fue determinante en la liberación de gametos pero sólo para los machos  $\geq 61$  mm, en machos pequeños y hembras de ambas tallas, este parámetro no tuvo efecto. En este trabajo se puso en evidencia que la temperatura y la salinidad tuvieron efecto diferencial entre tallas y sexos del ostión americano.

**Palabras clave:** ostión americano, temperatura, salinidad, reproducción.

### REFERENCIAS

- Aldana-Aranda, D. (2004). Tabasco una potencia ostrícola nacional. *Resumen de la XVII Reunión científica-tecnológica forestal y agropecuaria*, 325-336.
- Aldana-Aranda, D., Enríquez-Díaz, M., Lango-Reynoso, F., Brulé, T., Montero, J., & Baqueiro-Cardenas, E. (2014). Reproductive strategies of the Eastern oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) in tropical lagoons of the Mexican Gulf of Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 33(1), 145-152.
- Álvarez, A., De la Lanza-Espino, G., & Cáceres-Martínez, C. (1994). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Ciudad de México: Ed. UABC-UNAM.
- Angell, C. L. (1986). *The biology and culture of tropical oysters. Studies and Reviews* (Vol. 13). Manila: Ed. International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Arias-De León, C., Lango-Reynoso, F., Chávez-Villalba, J., Castañeda-Chávez, M. R., & Ramírez-Gutiérrez, S. C. (2013). Oocyte cohort analysis: reproductive patterns of *Crassostrea virginica* (Bivalvia) in tropical lagoons of the Gulf of Mexico. *Invertebrate Reproduction & Development*, 57(2), 85-94.
- Baqueiro-Cardenas, E., Aldana-Aranda, D., Sevilla, M. L., & Rodríguez, P. (2007). Variations in the reproductive cycle of the oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), Pueblo Viejo lagoon, Veracruz, México. *Transitional Waters Bulletin*, 1(2), 37-46.
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M., & Razet, D. (1997). Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 212(2), 149-172.
- Bayne, B. L. (1973). Physiological changes in *Mytilus edulis* L., induced by temperature and nutritive stress. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 53(01), 39-58.
- Botello, A. V., & Calva, B. L. G. (1998). Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco lagoons in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60(1), 90-103.
- Camacho, E., Palacios, M., Cortina, J., Aguilar, E., Zamudio, H., & Villarreal, A. (1978). Resultados preliminares al cultivo de ostión en las lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco, Veracruz. *Resumen del II Simposio de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura*, 897-942.



- Contreras, E. F. (1985). Comparación hidrológica de tres lagunas costeras del estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia UJAT*, 2(3), 47-56.
- Contreras, E. F. (1993). *Ecosistemas costeros mexicanos*. Ciudad de México: Ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cormier-Méthé, D. (2015). *Eastern oyster, Crassostrea virginica: Productivity and physiology under varying temperature and salinity conditions* (Doctoral dissertation). University of Prince Edward Island, Prince Edward Island, Canada.
- Cuevas-Guevara, C. A., & Martínez-Guerrero, A. (1979). 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.
- De la Lanza-Espino, G. (1998). Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. L. R. Martínez-Córdoba (Compilador), *Ecología de los sistemas acuícolas* (pp.1-26). Ciudad de México: Ed. AGT.
- Dinamani, P. (1987). Gametogenesis patterns in populations of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in Northland, New Zealand. *Aquaculture*, 64(1), 65-76.
- Dridi, S., Romdhane, M. S., & Elcalfi, M. H. (2007). Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert lagoon, Tunisia. *Aquaculture*, 263(1), 238-248.
- Dutertre, M., Beninger, P. G., Barillé, L., Papin, M., Rosa, P., Barillé, A. L., & Haure, J. (2009). Temperature and seston quantity and quality effects on field reproduction of farmed oysters, *Crassostrea gigas*, in Bourgneuf Bay, France. *Aquatic Living Resource*, 22(03), 319-329.
- Freites, L., Montero, L., Arrieche, D., Babarro, J. M., Saucedo, P. E., Cordova, C., & García, N. (2010). Influence of environmental factors on the reproductive cycle of the eared ark *Anadara notabilis* (Röding, 1798) in northeastern Venezuela. *Journal of Shellfish Research*, 29(1), 69-75.
- Gabe, M. (1968). *Techniques histologiques*. Paris: Ed. Masson.
- Galtsoff, P. S. (1964). The American oyster. *Fish and Wildlife Service Fishery Bulletin*, 64, 1-480.
- George-Zamora, A., Sevilla-Hernández, M. L., & Aldana Aranda, D. (2003). Ciclo gonádico del ostión americano *Crassostrea virginica* (Lamellibranchia: Ostreidae) en Mecoacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 51(4), 109-117.
- Giese, A. C., & Pearse, J. S. (1979). Introduction: general principles. In A. C. Giese & J. S. Pearse (Eds.), *Reproduction of marine invertebrates* (pp. 1-49). New York: Academic Press.
- Hernández, U., Valdez, J., & Zavala, F. (2006). Composición y abundancia del ictioplancton durante la temporada de estiaje en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 6(1), 138-149.
- Jmeliova, N. N. & Sanz, J. (1969). Respiración y algunas particularidades de la alimentación del ostión *Crassostrea rhizophorae* Guilding 1828. *Serie oceanología*, 3, 1-20.
- Kautsky, N. (1982). Quantitative studies on gonad cycle, fecundity, reproductive output and recruitment in a Baltic *Mytilus edulis* populations. *Marine Biology*, 68, 143-160.
- Kennedy, V. S., & Krantz, L. B. (1982). Comparative gametogenic and spawning patterns of the oyster *Crassostrea virginica*, (Gmelin) in central Chesapeake Bay. *Journal of Shellfish Research*, 2, 113-140.
- Kobayashi, M., Hofmann, E. E., Powell, E. N., Klinck, J. M., & Kusaka, K. (1997). A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 149(3), 285-321.
- La Peyre, M. K., Eberline, B., Soniat, T., & La Peyre, J. F. (2013). Differences in extreme low salinity timing and duration differentially affect Eastern oyster (*Crassostrea virginica*) size class growth and mortality in Breton Sound, LA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 146-157.
- Lasiak, T., & Dye, A. (1989). The ecology of the brown mussel *Perna perna* in Transkei, Southern Africa: Implications for the management of a traditional food resource. *Biological Conservation*, 47(4), 245-257.
- Liu, W., Li, Q., Gao, F., & Kong, L. (2010). Effect of starvation on biochemical composition and gametogenesis in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Fisheries Science*, 76(5), 737-745.
- Loosanoff, V. L., & Nomejko, C. A. (1951). Existence of physiologically-different races of oysters, *Crassostrea virginica*. *Biological Bulletin*, 101, 151-156.
- Lucas, A. (1965). Recherche sur la sexualité des mollusques bivalves. *Bulletin Biologique France Belgique*, 99, 115-247.
- Martínez, M. I., Aldana-Aranda, D., Brulé, T., & Cabrera, E. (1995). Crecimiento y desarrollo gonadal del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) (Mollusca: Ostreidae), en la Península de Yucatán, México. *Avicennia*, 3, 61-75.

- Menzel, R. W. (1951). Early sexual development and growth of the American oyster in Louisiana waters. *Science*, 113, 719-721.
- Meyer, D. L., & Townsend, E. C. (2000). Faunal utilization of created intertidal eastern oyster (*Crassostrea virginica*) reefs in the southeastern United States. *Estuaries*, 23(1), 34-45.
- Neto, R., Zeni, T. O., Ludwig, S., Horodesky, A., Giroto, M. V., Castilho-Westphal, G. G., & Ostrensky, A. (2013). Influence of environmental variables on the growth and reproductive cycle of *Crassostrea* (Mollusca, Bivalvia) in Guaratuba Bay, Brazil. *Invertebrate reproduction & Development*, 57(3), 208-218.
- Ocaña-Luna, A., & Sánchez, R. (2003). Diversity of ichthyoplankton in Tampamachoco lagoon, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoológica*, 74(2), 179-193.
- Orton, J. H. (1920). Sea-temperature, breeding and distribution in marine animals. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, 12(02), 339-366.
- Paniagua-Chávez, C. G. & Acosta-Ruiz, M. J. (1995). Desarrollo gonadal de *Crassostrea gigas* en Bahía de San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 20(2), 225-242.
- Pazos, A. J., Román, G., Acosta, C., Abad, M., & Sánchez, J. (1996). Stereological studies on the gametogenic cycle of the scallop, *Pecten maximus*, in suspended culture in Ria de Arousa (Galicia, NW Spain). *Aquaculture*, 142, 119-135.
- Reguero, M., García-Cubas, A., & Zúñiga, G. (1991). Moluscos de la laguna de Tampachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 18(2), 289-328.
- Rodríguez-Jaramillo, C., Hurtado, M., Romero-Vivas, E., Ramírez, J., Manzano, M., & Palacios, E. (2008). Gonadal development and histochemistry of the tropical oysters, *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) during an annual reproductive cycle. *Journal of Shellfish Research*, 27(5), 1129-1141.
- Rogers, P. & García-Cubas, A. (1980). Evaluación gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) del sistema fluvio lagunar Atasta-Pom, laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología UNAM*, 8, 21-42.
- Ruiz, C., Martínez, D., Mosquera, G., Abad, M., & Sánchez, J. L. (1992). Seasonal variations in condition, reproductive activity and biochemical composition of the flat oyster, *Ostrea edulis*, from San Cibrán (Galicia, Spain). *Marine Biology*, 112(1), 67-64.
- Sevilla, H. M. & Mondragón, C. E. (1965). Desarrollo gonádico de *Crassostrea virginica* (Gmelin) en la laguna de Tamiahua. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras*, 1, 51-69.
- Shumway, S. E. (1996). Natural environmental factors. In V. Kennedy, R. I. E. Newell, & A. Eble (Eds.), *The Eastern Oyster Crassostrea virginica* (pp. 467-513). College Park, Maryland: Maryland Sea Grant Book.
- Supan, J., & Wilson, C. (2001) Analyses of gonadal cycling by oyster broodstock, *Crassostrea virginica* (Gmelin), in Louisiana. *Journal of Shellfish Research*, 20(1), 215-220.
- Thompson, R. J., Newell, R. I. E., Kennedy, V. S., & Mann, R. (1996). Reproductive processes and early development. In V. Kennedy, R. I. E. Newell, & A. Eble (Eds.), *The Eastern Oyster Crassostrea virginica* (pp. 335-370). College Park, Maryland: Maryland Sea Grant Book.
- van der Veer, H. W., Cardoso, J., & van der Meer, J. (2006). The stimulation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research*, 56(2), 107-124.
- Vélez, A., & Epifanio, C. E. (1981). Effects of temperature and ratio non gametogenesis and growth in the tropical mussel *Perna perna* (L.). *Aquaculture*, 22, 21-26.
- Wilson, C., Scotto, L., Scarpa, J., Volety, A., Laramore, S., & Haunert, D. (2005). Survey of water quality, oyster reproduction and oyster health status in the St. Lucie estuary. *Journal of Shellfish Research*, 24(1), 157-165.

