

CICLO REPRODUCTIVO DE *Tagelus plebeius* (BIVALVIA) EN EL ESTUARIO DEL RÍO CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL

Márcia Fernandes de FARIAS¹, Cristina de Almeida ROCHA-BARREIRA¹

RESUME

El bivalvo *Tagelus plebeius* es una especie infaunal y eurihalina que se encuentra principalmente en ambientes intermareales tropicales. Aunque existan estudios acerca del ciclo reproductivo de bivalvos, todavía hay pocas investigaciones sobre la biología reproductiva de la mayoría de las especies que se encuentran en el litoral brasileño, las cuales son importantes para el equilibrio de estos ecosistemas y representan una actividad económica complementaria o de subsistencia de los pescadores artesanales. Se describió el ciclo reproductivo de *T. plebeius* a partir de una población ubicada en el estuario del Río Ceará, en el municipio de Fortaleza, Estado de Ceará, Brasil. Durante 15 meses (abril/2006 a junio/2007) se colectaron 450 ejemplares a los cuales se les examinó las gónadas mediante histología rutinaria. Los estadios de desarrollo gametogénico se definieron con las siguientes fases: Organización Folicular (OF), Proliferación (P), Maduración/ Eliminación Inicial (M/E), Eliminación Avanzada (EA) y Atresia Celular (AC) para ambos sexos. La especie tiene un ciclo reproductivo continuo, presentando ejemplares maduros y desovados durante todo el año. Sin embargo, fueron observados períodos de mayor liberación de gametos en el segundo semestre del año. Entre los factores que estarían influenciando el ciclo reproductivo de *T. plebeius* en el estuario del Río Ceará, la salinidad parece ser el principal, ya que se encontró una correlación significativa entre este factor y las fases Maduración/ Eliminación Inicial y Atresia Celular.

Palabras clave: Bivalvia; gametogénesis; histología; reproducción.

REPRODUCTIVE CYCLE OF *Tagelus plebeius* (BIVALVIA) IN THE CEARÁ RIVER ESTUARY, NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT

The bivalve *Tagelus plebeius* is an infaunal and eurihaline species found mainly in tropical intertidal environments. Although there are studies on the reproductive cycle of bivalves, there is still little research on the reproductive biology of most species found on the Brazilian coast, which are important for the balance of these ecosystems and represent a complementary economic activity or subsistence of artisanal fishermen. The reproductive cycle of *T. plebeius* was described from a population located in the Ceará river estuary, in the municipality of Fortaleza, Ceará, Brazil. During 15 months (April/2006 to June/2007), 450 specimens were collected and the gonads were examined by routine histology. The stages of gametogenic development were defined with the following phases: Follicular Organization (OF), Proliferation (P), Maturation/Initial Elimination (M/E), Advanced Elimination (EA) and Cellular Atresia (AC) for both sexes. The species has a continuous reproductive cycle, presenting mature and spawned specimens throughout the year. However, periods of higher gametes release were observed in the second half of the year. Among the factors that would be influencing the reproductive cycle of *T. plebeius* in the Ceará river estuary, salinity seems to be the main one, since a significant correlation was found between this factor and the phases Maturation/Initial Elimination and Cell Atresia.

Key words: Bivalvia; gametogenesis; histology; reproduction.

Artigo Científico: Recebido em 20/06/2017; **Aprovado em** 04/10/2017

¹ Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará (LABOMAR/UFC), Av. da Abolição, 3207, Meireles, CEP: 60165-081, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: cristina.labomar@gmail.com (autor correspondiente)

INTRODUCCIÓN

La "almeja navaja" *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786) es un bivalvo abundante en regiones tropicales, encontrado tanto en áreas de sedimento arenoso como limo-arcilloso (GUTIÉRREZ y VALERO, 2001). Vive enterrado en estos sedimentos en profundidades de 30 a 75 cm. Esta especie se distribuye desde el estado de la Carolina del Norte, en los Estados Unidos, hasta el sur de Argentina (RIOS, 2009). En los estuarios de la región Nordeste de Brasil, donde comúnmente se encuentra este molusco, representa una actividad económica complementaria y/o de subsistencia de los pescadores artesanales.

Estudios sobre la biología reproductiva de los moluscos estuarinos son fundamentales para definir la calidad de vida de los organismos bien como la evaluación del potencial de explotación de los recursos y su manejo (BARREIRA y ARAÚJO, 2005). En los moluscos explotados por muchas comunidades ribereñas y litorales, la densidad y el tamaño medio de los organismos pueden ser afectados por esta explotación. Las actividades de pesca de moluscos es intensa en Brasil y puede exceder la capacidad de recuperación de las poblaciones en algunas localidades (SILVA-CAVALCANTI y COSTA, 2011). La reproducción, el desarrollo embrionario y el ciclo del desarrollo gonadal son aspectos importantes para el entendimiento de la biología de cualquier organismo, una vez que sin indicaciones seguras sobre el ritmo y el ciclo reproductivo sería difícil comprender otros aspectos biológicos (NARCHI, 1976). La importancia de la adquisición del conocimiento en reproducción se relaciona con la necesidad de un estudio adecuado de la historia de vida de las diversas especies de moluscos y su pertinencia con el manejo adecuado y conservación.

Algunos factores abióticos también pueden regular o sincronizar el ciclo reproductivo de los moluscos y de la mayoría de los invertebrados marinos. De estos, están la temperatura y la salinidad, siendo la primera señalada como la más importante (BEUKEMA *et al.*, 2001, BARREIRA y ARAÚJO, 2005, BOEHS *et al.*, 2008, ASCENCIO *et al.*, 2016)

Trabajos sobre la reproducción de *T. plebeius* fueron realizados en Brasil por MATOS *et al.* (1997), en el Estado de Pará, por CEUTA y BOEHS (2012), en el Estado de Bahia y por SILVA *et al.* (2014) en el estado de São Paulo. En Argentina, CLEDÓN *et al.* (2004) también estudiaron el ciclo reproductivo de la referida especie.

Aunque existan diversos estudios sobre el ciclo de reproducción en bivalvos, todavía hay carencia de pesquisas sobre los aspectos biológicos básicos de la mayor parte de las especies encontradas en el litoral brasileño. Estas informaciones son importantes para el equilibrio de los ecosistemas y muchas veces cruciales en la economía de las comunidades costeras y hasta mismo de regiones enteras (BARREIRA y ARAÚJO, 2005).

Debido a la escasez de estudios realizados sobre la reproducción de *T. plebeius* y justificando la importancia de este fenómeno biológico para asegurar la manutención de los estoques naturales de las poblaciones explotadas, se considerando también la importancia de las pesquisas sobre la biología reproductiva de moluscos bivalvos comúnmente encontrados en el litoral brasileño, el objetivo de este trabajo fue estudiar el ciclo reproductivo de esta especie en el estuario del Río Ceará, Estado de Ceará, Brasil y analizar las relaciones entre las fases del desarrollo gametogénico y las variaciones abióticas (temperatura, salinidad y pluviosidad) ocurridas en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estuario del Río Ceará ubicado en el estado de Ceará, en la frontera de los municipios de Fortaleza (oeste) y Caucaia (este). Es un ambiente con características típicas de estuario solamente durante el período de lluvias, cuando la precipitación y el desague del río son mayores que la evaporación, y la circulación presenta características típicamente estuarinas (ALCÂNTARA-FILHO, 1978). Las aguas estuarinas que inundan el manglar del Río Ceará se presentan constantemente turbias. La salinidad varía considerablemente en función del caudal del río y de la amplitud de las mareas y la temperatura es, en general, elevada, variando de 22 a 30 ° C, con una relativa humedad relativa del 80%. El clima local es ecuatorial húmedo y semiárido, con precipitación máxima en los meses de marzo a julio, con promedios anuales que varían de 1.000 a 1.500 mm (MIRANDA *et al.*, 1988; SEMACE, 2006). El sedimento presentó una granulometría lodo-arenosa, con predominio de arena fina y ocurrencia de conchas y fragmentos de conchas de bivalvos (FARIAS y ROCHA-BARREIRA, 2012).

Durante un período de 15 meses (abril/2006 a junio/2007) se recolectaron mensualmente 30 animales, totalizando 450 ejemplares. Éstos fueron

extraídos al azar de un banco natural en el estuario del Río Ceará (03°42'09.8" S, 38°35'49.0" W) (Figura 1). Los muestreos se realizaron en mareas diurnas de sizígia, de acuerdo con las Tablas de Mareas divulgadas por el Departamento de Hidrología y Navegación de la Marina (DNH) para el Puerto de Mucuripe (Fortaleza) en los años 2006 y 2007 (BRASIL, 2006; 2007). Por tratarse de un molusco encontrado enterrado en profundidades que pueden variar de 30 a 75 cm, los animales fueron capturados utilizando una pala de pico grande. Los organismos eran localizados por la observación en el sedimento de marcas a los pares de los orificios de los sifones característicos de este bivalve.

Simultáneamente a la recogida de muestras se tomaron datos de las variables ambientales, como temperatura (agua, aire y sedimento) y salinidad del agua. Los datos de precipitación para el municipio de Fortaleza fueron obtenidos a través de la Fundación Cearense de Meteorología y Recursos Hídricos (FUNCEME).

Para el estudio histológico, las gónadas de los ejemplares se fijaron en Bouin salino durante ocho horas y se conservaron posteriormente en alcohol 70%. En laboratorio las gónadas se deshidrataron en una batería creciente de etanol y se incluyeron en parafina. Cortes de 5 μm de grosor se realizaron en un micrótopo manual, se deshidrataron con etanol, se aclararon con xileno y posteriormente fueron teñidos con hematoxilina-eosina (KIM *et al.*, 2006). El montaje

definitivo se hizo con resina sintética ("Entellan").

La determinación del sexo de los animales se realizó mediante el examen de la gónada. Para la clasificación de las células germinales y de las fases del ciclo gametogénico, se siguió las denominaciones definidas para *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin, 1791) (BARREIRA y ARAÚJO, 2005). Se clasificaron independientemente las gónadas de machos y hembras tomando como base el estudio microscopio de las láminas histológicas.

Se observaron y fotografiaron las células con microscopio óptico binocular y cámara digital acoplada para la verificación del desarrollo gametogénico. La razón sexual se calculó mensualmente mediante la relación $r = n^\circ \text{ de machos} / n^\circ \text{ de hembras}$ y se analizó estadísticamente por el teste del "Qui-cuadrado" (X^2) (donde, $H_0: r = 1$; $H_1: r \neq 1$), con un nivel de significancia de 95%. Para estimar el crecimiento de las células femeninas a lo largo del período de estudio se midió en aproximadamente 100 células el diámetro de las ovogonias, de los ovocitos previtelogénicos, vitelogénicos y maduros mediante un microscopio binocular acoplado al computador (software ScopePhoto[®] versión 1.0.0.0.) y se expresó en micrómetros (μm). Las correlaciones entre las fases del desarrollo gonadal y las variaciones de temperatura, salinidad y pluviosidad en el área de estudio se obtuvieron mediante el análisis no paramétrico de Spearman (software STATISTICA[®] versión 6.0.).

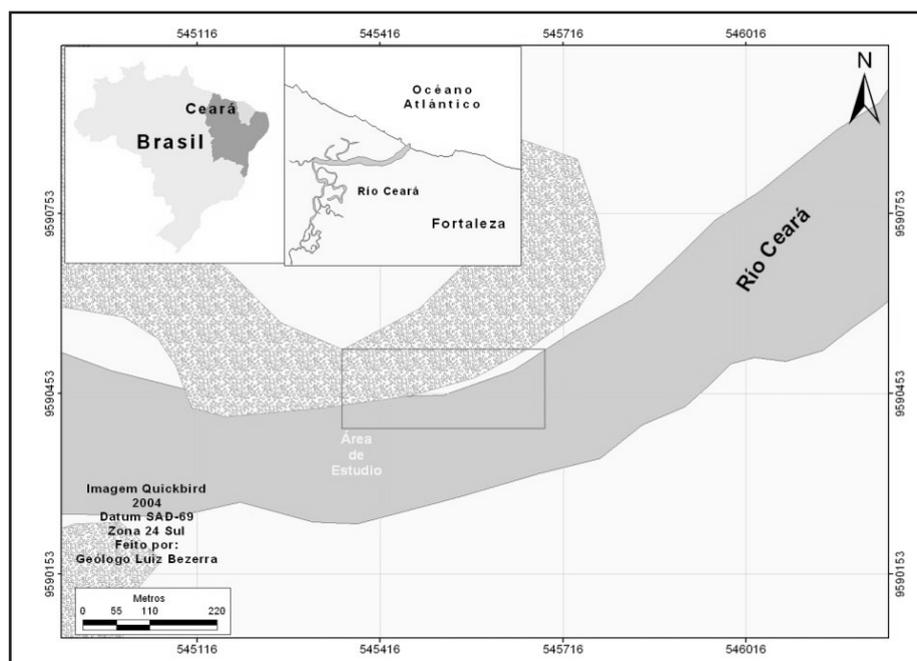


Figura 1 . Localización del área de muestreo: Estuario del Río Ceará, Brasil (Elaborados pelos autores)

RESULTADOS

Proporción y Diferenciación Sexual

Se identificaron 196 machos (43,5%) y 173 hembras (38,44%) (Figura 2). Los individuos indiferenciados (inmaduros sexualmente) correspondieron al 4%. También se encontraron 63 individuos que presentaron solamente células iniciales en desarrollo, representando el 14% de los ejemplares analizados. Los machos presentaron un tamaño mínimo de 23,0 mm y máximo de 53,2 mm ($40,3 \pm 6,21$ mm) y las

hembras presentaron un tamaño mínimo de 22,0 mm y un máximo de 62,5 mm ($40,9 \pm 5,72$ mm). Los individuos indiferenciados presentaron tamaños inferiores a 21,0 mm. A lo largo del período de estudio la proporción entre machos y hembras osciló de 0,47 a 2, siendo los machos más abundantes que las hembras, sin embargo, considerando el promedio del período, la proporción sexual fue en torno de 1:1. La razón sexual promedia fue de 1,13 M: 0,88 F. Los resultados del teste X^2 (Qui-cuadrado) aceptaron la hipótesis nula (H_0) para la razón sexual igual a 1 para la especie investigada ($X^2 = 3,84$; $GL=1$; $\alpha = 0,05$).

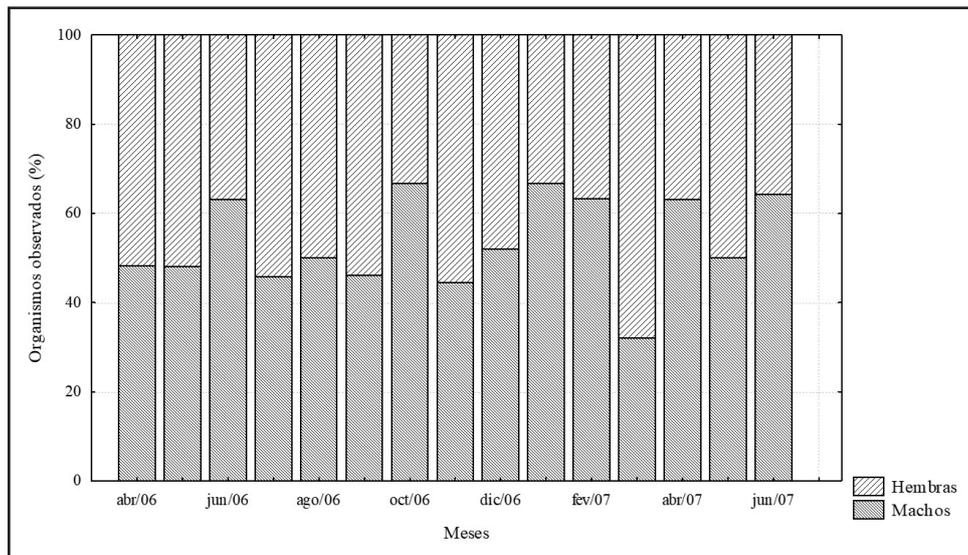


Figura 2. Proporción sexual de los ejemplares de *Tagelus plebeius*, observados en el período de abril/2006 a junio/2007 en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, Ceará

Histología de las Gónadas

Las células germinativas masculinas se encontraron junto a las células de la pared de los folículos testiculares. En este estudio se reconocieron espermatogonias (fuertemente basofílicas, con citoplasma con volumen reducido en relación al núcleo, el cual es grande y contiene varios nucléolos también basófilos), espermatocitos (basofílicos, el núcleo ocupa casi todo el volumen celular, presentando condensación de la cromatina), espermátides (muy pequeñas, presentando núcleo redondeado, basófilo, poco perceptible) y espermatozoides (región de la cabeza basófila ligeramente alargada y flagelo acidófilo largo y muy fino), de la pared hacia el centro del folículo, en esta secuencia (Figura 3).

En las hembras se reconocieron ovogonias (pequeñas y ovaladas, conectadas a las paredes del folículo, presentan citoplasma ligeramente basófilo y núcleo esférico bien desarrollado y un nucléolo basófilo), ovocitos previtelogénicos (más grandes que las ovogonias, de forma ligeramente alargada, pudiendo o no estar unidos a la pared folicular, citoplasma acidófilo, núcleo voluminoso con un nucléolo grande y fuertemente basófilo y cromatina adensada), ovocitos vitelogénicos (más grandes que los pre-vitelogénicos, con citoplasma acidófilo y núcleo también aumentado, reaccionando poco a los colorantes y nucléolo basófilo) y ovocitos maduros (de forma irregular, libres en el centro del folículo, capa celular poco perceptible, levemente basófilo, citoplasma acidófilo y núcleo poco coloreado con nucléolo evidente) (Figura 4).

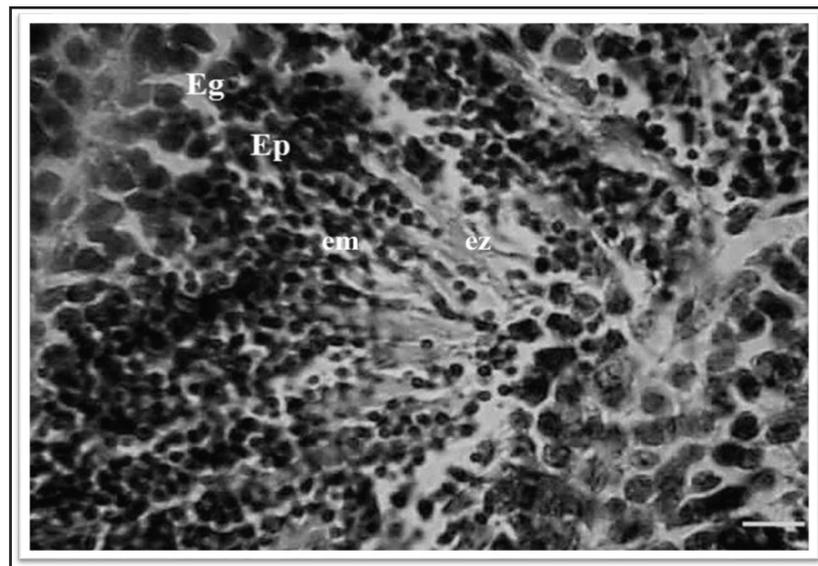


Figura 3 . Microfotografía de las células germinativas masculinas de *Tagelus plebeius*. Escala de la barra = 5µm. Eg= espermatogonia; Ep= espermatócitos; em= espermátide; ez= espermatozoide.

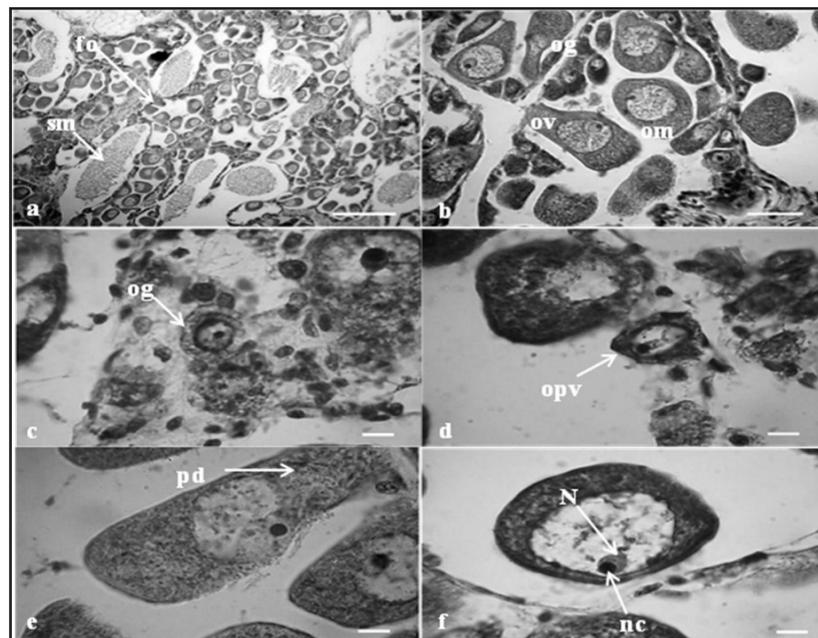


Figura 4 . Microfotografía de las células germinativas femeninas de *Tagelus plebeius*. (a) Células germinativas en el interior de los folículos ovarianos. Escala de la barra = 100 µm. (b) Visión general del folículo ovariano con células en diferentes estadios de maduración. Escala de la barra = 20 µm; (c) Detalle de una ovogonia. Escala de la barra = 5 µm; (d) Detalle de un ovocito previtelogénico. Escala de la barra = 5 µm; (e) Detalle de un ovocito vitelogénico. Escala de la barra = 5 µm; (f) Detalle de un ovocito maduro. Escala de la barra = 5 µm. sm= septos musculares; fo= folículo ovariano; om= ovocito maduro; ov= ovocito vitelogénico; opv= ovocito previtelogénico; pd= pedúnculo; og= ovogonia; N= núcleo; nc= nucléolo.

Fases de Desarrollo de las Gónadas

La caracterización de las fases del desarrollo gonadal para ambos sexos encontradas durante el periodo de estudio se representa en la Tabla 1. Los organismos considerados "Indiferenciados" no pudieron ser caracterizados sexualmente, por presentaren solamente esbozos de tejido germinativo. En estos individuos las gónadas presentaron una

gran cantidad de tejido conjuntivo flojo, con células primordiales indiferenciadas dispersas al azar (Figura 5a).

Se identificó las siguientes fases del desarrollo gonadal para ambos sexos: Organización Folicular (OF) (Figura 5b), Proliferación (P) (Figuras 6a y 7a), Maduración/ Eliminación Inicial (M/E) (Figuras 6b y 7b), Eliminación Avanzada (EA) (Figuras 6c y 7c) y Atresia Celular (AC) (Figuras 6d y 7d).

Tabla 1. Fases de desarrollo de las gónadas de *Tagelus plebeius*.

Fase gonádica	Machos (♂)	Hembras (♀)
Organización Folicular (OF)	Presencia de células en estadio de desarrollo inicial. No se puede determinar el sexo. Se trata probablemente de un proceso de organización de los folículos y/o desarrollo germinal inicial	
Proliferación (P)	Pueden observarse células proliferativas de la serie espermática junto a la pared del folículo. Presencia de algunos espermatozoides en el centro de los túbulos seminales.	Gran cantidad de células iniciales (ovogonias y ovocitos previtelogénicos) adheridas a la pared folicular. Intensa actividad proliferativa y crecimiento celular.
Maduración/ Eliminación Inicial (M/E)	Gran cantidad de espermatozoides en el interior de los túbulos seminales. Se pueden observar células iniciales de la serie espermática en la pared de los túbulos.	Folículos llenos de ovocitos en vitelogénesis y ovocitos maduros. Pequeña cantidad de células iniciales. Inicio de la emisión de gametos.
Eliminación Avanzada (EA)	La pared de los túbulos se presenta reducida. Se observaron señales de emisión y espacios libres en el interior del folículo.	Liberación de ovocitos maduros. Pared folicular espesa, debido al reinicio del desarrollo de las células iniciales. Presencia de ovocitos maduros remanentes.
Atresia Celular (AC)	Presencia de folículos llenos de células germinales en estadio de desarrollo sin definición. Células con aspecto atresico o degenerado.	Presencia de un gran número de células maduras, pero totalmente en atresia o degeneración. Evidencia de ovocitos en lisis.

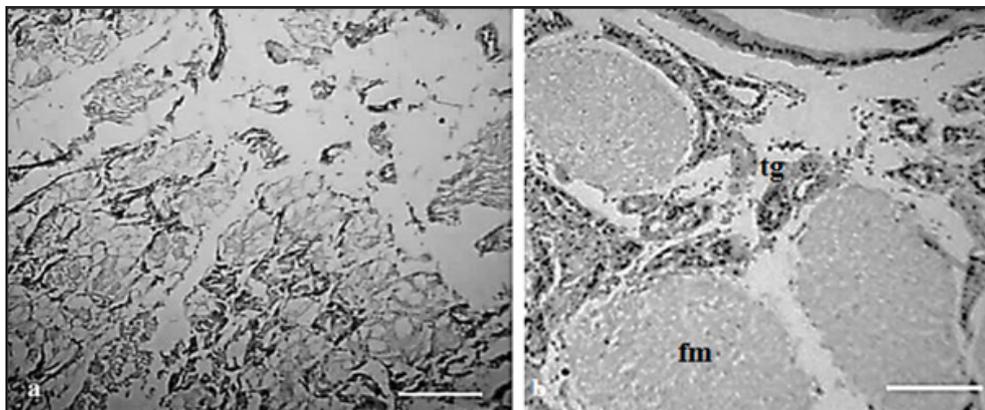


Figura 5. Microfotografía de la gónada de *Tagelus plebeius*. (a) indiferenciada, (b) en fase de Organización Folicular de *Tagelus plebeius*. Escala de la barra = 20 µm. tg = Tejido germinativo; fm = fibras musculares.

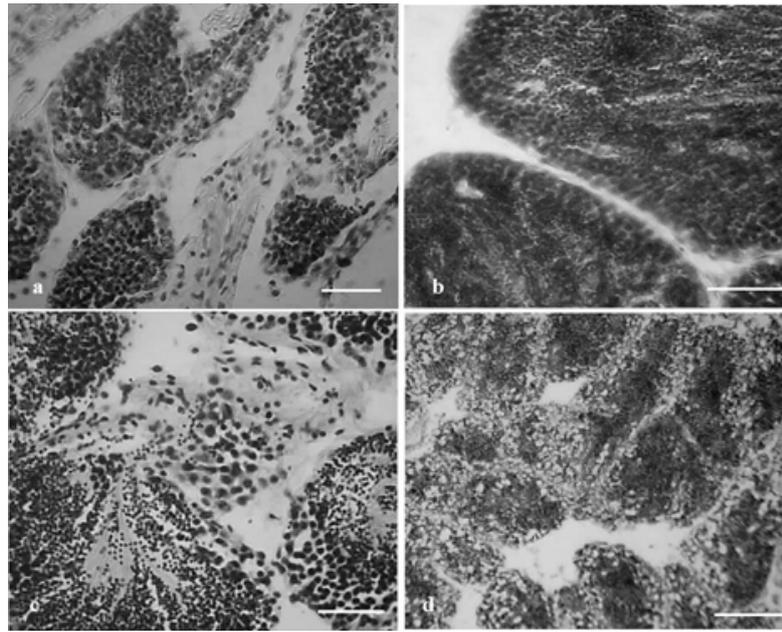


Figura 6. Microfotografías de las fases de la gónada en machos de *Tagelus plebeius*. (a) Proliferación, (b) Maduración/ Eliminación Inicial, (c) Eliminación Avanzada y (d) Atresia Celular. Escala de la barra = 20 μ m.

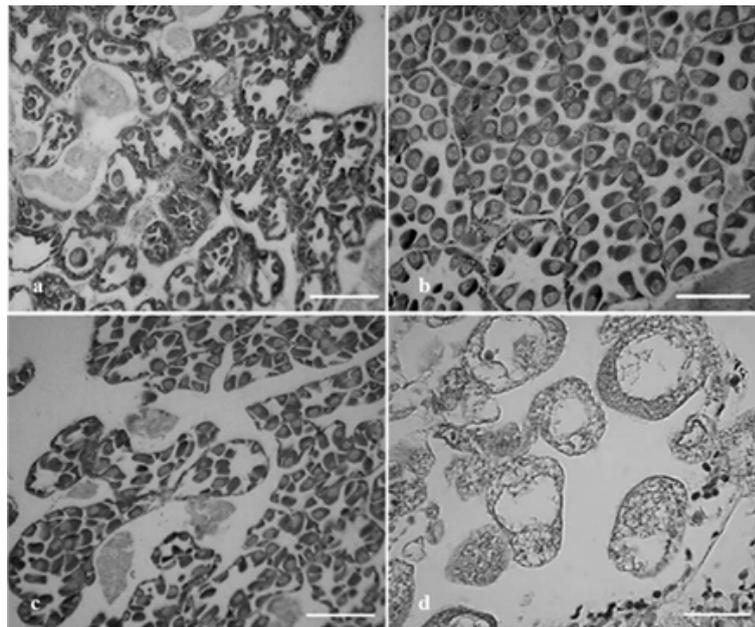


Figura 7. Microfotografías de las fases de la gónada en hembras de *Tagelus plebeius*. (a) Proliferación, (b) Maduración/ Eliminación Inicial, (c) Eliminación Avanzada y (d) Atresia Celular. Escala de la barra = 20 μ m.

Ciclo Reproductivo

Los porcentajes para las fases del desarrollo gonadal para ambos sexos de *Tagelus plebeius*, encontrados durante el periodo de estudio se muestran en la Figura 8. Según los resultados

obtenidos, se observó que tanto los machos como las hembras de la población de *T. plebeius* presentaron procesos de gametogénesis y liberación durante todo el periodo, presentando, así, un ciclo de reproducción continuo.

Los picos de liberación en machos se observaron

principalmente en el segundo semestre de 2006, en los meses de agosto, septiembre y octubre, en que la mayoría de ellos estaban en la fase Maduración/ Eliminación Inicial (M/E). En abril y mayo de 2006 se observó un menor porcentaje de los machos en esta fase. En febrero de 2007, los machos también liberaron gametos, siendo en mayo de 2007 una eliminación de menor intensidad. Los machos en Eliminación Avanzada (EA) ocurrieron durante todo el periodo de estudio, en los meses de abril, mayo, noviembre, diciembre de 2006 y enero y marzo de 2007. En los meses de junio y julio de 2006, 100% estaban en EA.

En relación a las hembras, los picos de eliminación también ocurrieron en el segundo semestre de 2006, en los meses de octubre y noviembre. En diciembre de 2006 la mayoría de las hembras estaba en Maduración/ Eliminación Inicial (M/E).

Los picos de menor intensidad se observaron en los meses de junio a septiembre de 2006 y febrero y marzo de 2007. Las hembras en Eliminación Avanzada ocurrieron de junio a noviembre de 2006, con la mayoría en esta fase en el mes de junio de 2007. Para ambos sexos se observó un periodo de madurez gonadal en el primer semestre, acompañado de un periodo de liberación de gametos en el segundo semestre de los años estudiados. El tamaño de las células sexuales presentes en el interior de las gónadas de la población femenina de *T. plebeius* presentó variaciones significativas durante el periodo

de estudio (Figura 9). Las ovogonias presentaron el menor diámetro, variando de 6 a 12 μm (Promedio de $8,3 \pm 1,52 \mu\text{m}$), en cuanto los ovocitos maduros presentaron los mayores valores de tamaño, variando de 27 a 57 μm (Promedio de $41,7 \pm 5,00 \mu\text{m}$). Estas variaciones en el valor promedio del diámetro de las células sexuales femeninas de *Tagelus plebeius* fueron proporcionales a las fases del desarrollo gonadal.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente pesquisa se verificó que en la fase inicial del desarrollo gonadal (Proliferación), las células sexuales medidas poseían diámetros más reducidos, siendo posible la visualización principalmente de ovogonias y ovocitos previtelogénicos. En la medida en que iban madurando (Maduración/ Eliminación Inicial), el diámetro de los ovocitos fue aumentando. En esta fase, hubo una predominancia de ovocitos vitelogénicos y ovocitos maduros. Este hecho coincidió con el periodo de liberación de gametos, en que los ovocitos maduros alcanzaron el mayor grado de madurez.

De julio a agosto de 2006 (segundo semestre) se observó que el tamaño de las células maduras se mantuvo prácticamente constante, caracterizando una tendencia a la liberación de las mismas. En el primer semestre de 2007 (de enero a junio) las células sexuales presentaron diámetros menores que de los meses anteriores, se quedando en proceso de crecimiento, caracterizando un periodo de madurez gonadal (proliferación) (Figura 10).

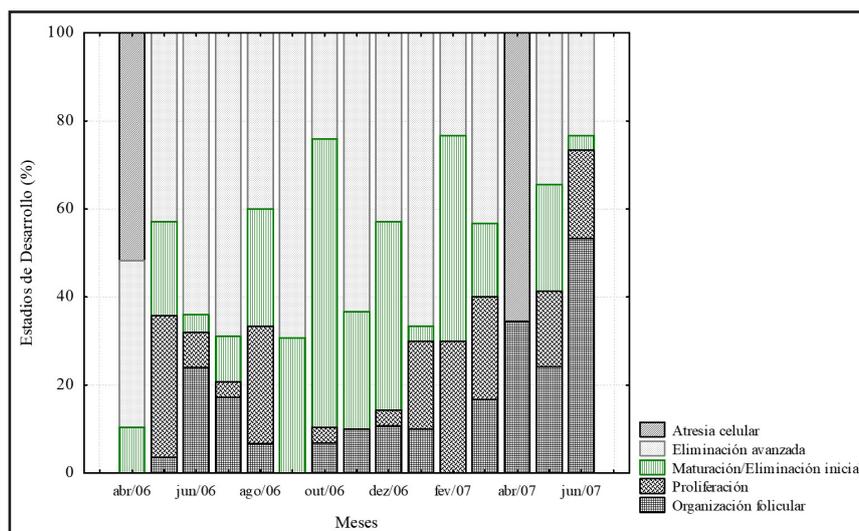


Figura 8 . Fases del desarrollo gonadal de machos y hembras de *Tagelus plebeius*, observadas durante el periodo de abril de 2006 a junio de 2007, en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, estado de Ceará, Brasil.

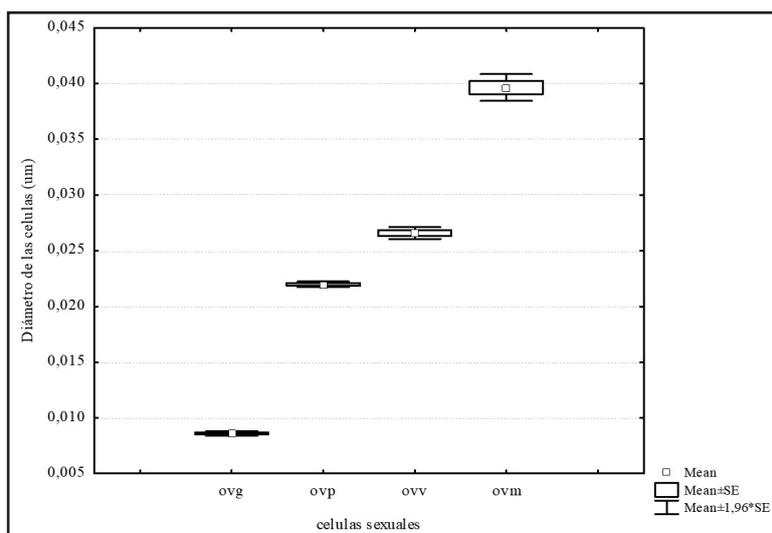


Figura 9. Variaciones en el tamaño de las células sexuales femeninas en las gónadas de *Tagelus plebeius* en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, estado de Ceará, Brasil. $n = 2356$. (ovg= ovogonia, ovp= ovocito previtelogénico, ovv= ovocito vitelogénico, ovm= ovocito maduro).

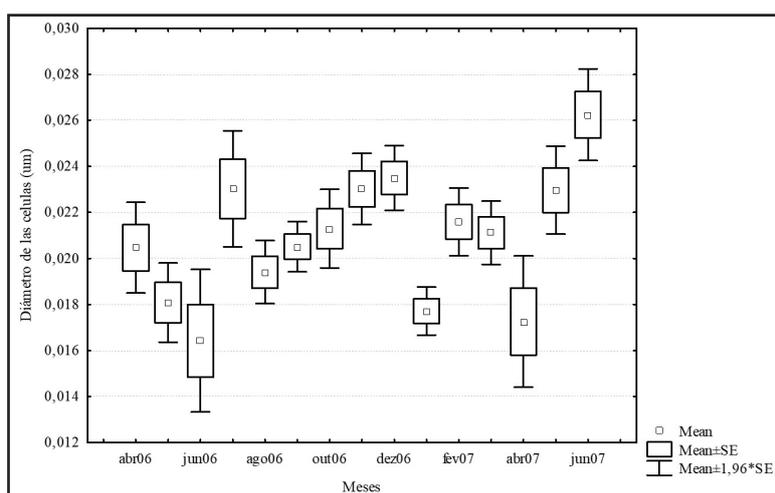


Figura 10. Diámetro promedio (μm) de las células sexuales femeninas de *Tagelus plebeius* observado durante el periodo de abril de 2006 a junio de 2007, en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, estado de Ceará, Brasil. $n = 2356$.

En el transcurso de este estudio, la salinidad varió entre 5 y 40, siendo la mínima registrada en abril de 2007 y la máxima en los meses de noviembre de 2006 y enero de 2007. La temperatura del aire varió entre 33°C , registrada en los meses de junio y de agosto de 2006 a 29°C en enero, marzo y abril de 2007. La temperatura del agua varió entre 32°C en abril de 2006 y 25°C en agosto de 2006.

La temperatura del sedimento varió entre 34°C en abril y junio de 2006 y 26°C en agosto de 2006. La precipitación media mensual para el municipio de Fortaleza, durante la presente investigación, varió entre 405,0 mm, observada en mayo de 2006 y 2,7 mm en noviembre de 2006. Así, se observaron dos

períodos de lluvia, entre abril y junio de 2006 y entre febrero y mayo de 2007. Se observó un período seco entre octubre y diciembre de 2006.

La temperatura y la precipitación no presentaron correlaciones fuertes y significativas con las fases del desarrollo gonadal de *T. plebeius*. Sin embargo, la frecuencia de individuos en Maduración/ Eliminación Inicial (M/E) presentó correlación positiva con la salinidad ($r = 0,52$; $p = 0,04$), en cuanto la frecuencia de individuos en Atrésia Celular (AC) presentó una correlación negativa con la misma variable ambiental ($r = -0,84$; $p = 0,00$) (Figuras 11 y 12). La precipitación todavía se correlacionó negativamente con la salinidad ($r = -0,72$; $p = 0,05$).

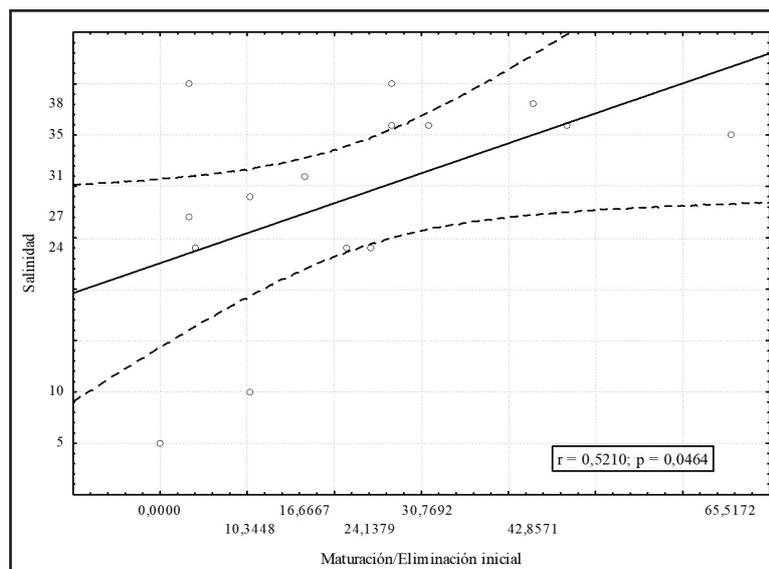


Figura 11 . Correlaciones entre la salinidad y la frecuencia absoluta de machos y hembras de *Tagelus plebeius* en fase de Maduración/ Eliminación Inicial (M/E) observada durante el periodo de abril de 2006 a junio de 2007, en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, estado de Ceará, Brasil.

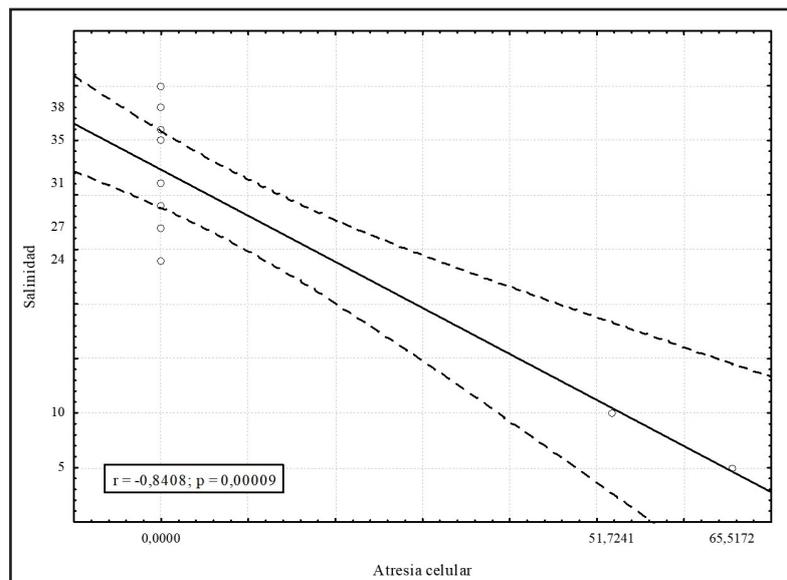


Figura 12 . Correlaciones entre la salinidad y la frecuencia absoluta de machos y hembras de *Tagelus plebeius* en Atresia Celular (AC) observada durante el periodo de abril de 2006 a junio de 2007, en el estuario del Río Ceará, en Fortaleza, estado de Ceará, Brasil.

DISCUSIÓN

Se observó que en la gónada de un mismo individuo de *Tagelus plebeius* pueden ser encontrados folículos gonadales con células en diferentes estadios de madurez. Según BARREIRA y ARAÚJO (2005), ello indica que el proceso de madurez celular ocurre continuamente y de forma independiente en el

interior de la gónada. Tal como lo mencionó SILVA *et al.* (2014), la identificación de varios estadios de madurez para *T. plebeius* es difícil, una vez que la diferencia entre un estadio y otro es muy sutil.

CEUTA *et al.* (2010) registraron la ocurrencia de hermafroditismo de especímenes de *T. plebeius* y de *Iphigenia brasiliensis*, relacionando el fenómeno con las amplias variaciones en la salinidad y los efectos

locales de contaminación. En el presente estudio, no se observó ninguna evidencia de hermafroditismo.

Aunque los individuos denominados "Indiferenciados", observados en el presente estudio pudieran indicar un periodo de reposo sexual, se consideró la ausencia de un periodo de reposo sexual definido, corroborando los resultados de ASSIS (1985) para *Lucina pectinata* en el Estado de Bahia, Brasil y de BARREIRA y ARAÚJO (2005), para una población de *Anomalocardia brasiliiana* en el Estado de Ceará, Brasil. Estos resultados divergen de aquellos encontrados por CEUTA y BOEHS (2012) para una población de *T. plebeius* en el municipio de Ilhéus, Bahia, Brasil, en el cual las hembras presentaron un estadio de recuperación.

Los machos de la población de *T. plebeius* estudiada presentaron un estadio de madurez acompañado por una destacada fase de eliminación de gametos, observada en prácticamente todos los meses del año, con picos elevados principalmente de agosto a octubre de 2006. Para las hembras, la fase Proliferación (madurez) fue más evidente y frecuente que para los machos y ocurrió principalmente en el primer semestre de los años pesquisados. CEUTA y BOEHS (2012), para una población de *T. plebeius* en Ilhéus, estado de Bahia, también han comprobado que la mayoría de los individuos observados eliminaba gametos en el segundo semestre del año (agosto a octubre), coincidiendo con el presente estudio.

Durante el acompañamiento de las fases del desarrollo gonadal de *T. plebeius* en el estuario del Río Ceará se observó que tanto las hembras como los machos tendieron a una simultaneidad en el ciclo reproductivo aunque en las hembras tenga sido más perceptible la diferenciación entre los estadios. En los machos, las gónadas frecuentemente presentaban células sexuales en varias fases de desarrollo. Se observó también que el ciclo reproductivo del macho es más irregular y los individuos pasan más tiempo liberando gametos. Probablemente el costo energético para producir espermatozoides es menor que el de la hembra, que depende mayor energía en la síntesis del vitelo y también gasta más tiempo en la producción de los ovocitos. De acuerdo con BOEHS (2000), aunque existan evidencias de un desarrollo de la gónada primaria ser más precoz en hembras, la progresión de las fases proliferativa (multiplicación de las ovogonias) y vegetativa (crecimiento de los ovocitos) es más lenta que en las fases correspondientes en los machos.

Comparando los resultados de este estudio con aquellos obtenidos por los diferentes autores citados anteriormente, es posible observar que las poblaciones de la costa de Bahia (CEUTA y BOEHS, 2012), São Paulo (SILVA *et al.*, 2014) y Ceará (presente estudio), en Brasil, presentaron ciclos de reproducción bastante similares, con liberación de gametos a lo largo de todo el año y ciclo sexual continuo. Aunque los periodos de mayor eliminación de gametos no sean coincidentes, es natural que ocurran diferencias en los periodos de eliminación de gametos entre poblaciones de regiones próximas (MORTON, 1990).

Diferentemente de los resultados hallados para las poblaciones de la región Nordeste, observados por CEUTA y BOEHS (2012) e no presente estudio, y Sudeste de Brasil (SILVA *et al.*, 2014), la población de *T. plebeius* de la costa argentina (CLEDÓN *et al.*, 2004) presentó actividad reproductiva concentrada en determinados periodos a lo largo del año, con el inicio del desarrollo de los gametos en la primavera. Según esos autores, durante la actividad reproductiva, no ocurrieron eliminación y madurez de los gametos simultáneamente, diferentemente de lo que fue observado en los estudios en la costa brasileña. La sincronía, la duración del ciclo reproductivo y el número de ciclos durante el año pueden ser características específicas de cada población o pueden variar en poblaciones que ocurren en diferentes áreas geográficas (SASTRY, 1979; EVERSOLE, 1989). De esta forma, las diferencias observadas entre las poblaciones de las regiones brasileñas y argentinas pueden estar relacionadas con las amplitudes de variación de la temperatura debido a las diferencias latitudinales, que pueden propiciar una acentuada diversidad de los factores fisioecológicos, afectando las épocas de reproducción de los organismos y, en particular, de moluscos bivalvos (BARREIRA y ARAÚJO, 2005), tal como lo mencionó CEUTA y BOEHS (2012).

Para la obtención de informaciones más detalladas y confiables en relación al estudio del ciclo reproductivo de las especies, actualmente, la medición y el conteo de los ovocitos están siendo utilizadas como métodos complementares sustentados por técnicas histológicas (MOURA *et al.*, 2008). De las pesquisas ya realizadas con moluscos bivalvos, utilizando esta metodología de análisis, se destacan los estudios hechos en la costa argentina con *T. plebeius* (CLEDÓN *et al.*, 2004) y *Amiantis purpuratus* (MORSAN, 2003; MORSAN y KROECK,

2005) y con *Callista chione* en la costa sudoeste de Portugal (MOURA *et al.*, 2008). En la costa brasileña, se destacan las pesquias de BOEHS (2000), en la Bahía de Paranaguá, Estado de Paraná, Brasil, con *Anomalocardia brasiliana* y de BORZONE *et al.* (2001), con *Chione pubera*, en el litoral sur del Estado de São Paulo.

CLEDÓN *et al.* (2004) midieron para *T. plebeius* en la costa argentina, ovocitos de 75-95 µm de diámetro. Los ovocitos maduros de *T. plebeius* provenientes del estuario del Río Ceará midieron de 27 a 57 µm, con un promedio de 41,7 µm de diámetro. Los diámetros registrados en el presente estudio, menores que los observados en la pesquisa de CLEDÓN *et al.* (2004), sugieren una probable relación con las condiciones ambientales diferenciadas en las dos áreas, tales como cambios climáticos y disponibilidad de alimento. Poblaciones ubicadas en aguas tropicales (presente estudio), donde solo ocurren dos estaciones en el año (periodo seco y lluvioso) tienen estrategias reproductivas distintas de las encontradas en aguas templadas (CLEDÓN *et al.*, 2004), donde ocurren todas las estaciones del año. En este último caso, los cambios de temperatura son tan evidentes que inducen a los organismos a presentaren diferentes respuestas en su ciclo reproductivo.

De los factores ambientales observados en el presente estudio, la temperatura del agua no parece influenciar el ciclo gametogénico de la especie, pues ninguna correlación entre este factor y las fases del desarrollo gonadal fue significativa. Este estudio difirió de lo que fue constatado para especies del sudeste y sur de Brasil. BORZONE *et al.* (2001), en una pesquisa con *Chione pubera* (litoral sur el Estado de São Paulo) y GIL y THOMÉ (2004), estudiando *Donax hanleyanus* (litoral norte de Rio Grande do Sul) observaron que ambas especies tienen su desarrollo gonadal térmicamente controlado.

El venerideo *C. pubera* presentó periodos de desove relacionados con el aumento de la temperatura del agua, y el periodo de reversión gonadal coincidió con los menores valores de temperatura. En cuanto en *D. hanleyanus*, hubo una correlación negativa entre la temperatura del agua y el porcentaje de animales en inicio de madurez y una correlación positiva de esta variable con la emisión/desove parcial de gametos. Aún en el sur de Brasil, ARAÚJO (2001) en un estudio con *Anomalocardia brasiliana* en la Reserva Extrativista de Pirajubaé, Estado de Santa Catarina, también verificó que las diferencias observadas en los ciclos reproductivos de las especies

son probablemente reflejos de las amplitudes de variación de la temperatura, debido a las diferencias latitudinales.

MORSAN y KROECK (2005), en un estudio realizado en Playa Villarino (Patagónia Argentina), con una población de *Amiantis purpuratus*, observaron que la gametogénesis de esa especie también es aparentemente regulada por la temperatura. La fase proliferativa ocurre durante los meses de bajas temperaturas y la madurez ocurre durante el periodo de temperaturas más altas. Según MAIA *et al.* (2006), los ciclos gametogénicos de *Solen marginatus* y *Venerupis pullastra* en la Ría de Aveiro (Portugal) pueden presentar padrones climáticos relacionados con la temperatura del agua, se habiendo observado una emisión de gametos más intensa durante los meses más calientes de verano.

Difiriendo de los resultados citados encima, la salinidad fue la variable que más influenció la especie *T. plebeius* durante el periodo de estudio. Se observó que la correlación entre este factor y las fases del desarrollo fue significativa, principalmente entre las fases Maduración/Eliminación Inicial (correlación positiva) y Atresia Celular (correlación negativa). Estas correlaciones sugieren que, debido al aumento de la salinidad en función de los menores valores de pluviosidad encontrados para el periodo, existe un estímulo para una mayor liberación de gametos, principalmente en el segundo semestre del año.

Merece especial atención, la degeneración de las células sexuales (Atresia Celular), tanto en machos como en hembras, observada exclusivamente en los meses de abril del periodo estudiado (2006 y 2007), cuyos valores obtenidos para la salinidad del agua fueron 10 y 5, respectivamente. De acuerdo con GILLES (1982), el efecto directo de la salinidad está relacionado con la habilidad en niveles molecular y orgánico de mantener un balance hídrico adecuado de sus fluidos internos, en cualquier estadio de su ciclo de vida.

Posiblemente los mayores valores de pluviosidad ocurridos en este periodo, con una consecuente disminución de la salinidad del agua en el área estudiada, interfirieron en el ciclo reproductivo de la especie, causando una perturbación osmótica en los organismos. De acuerdo con BARREIRA y ARAÚJO (2005), esta influencia se da en la medida que induce las células del animal a la realización de ajustes de la osmolaridad. Se tratando de una especie eurihalina, *T. plebeius*, como otros moluscos, puede regular el volumen de sus células dependiendo de

las características de permeabilidad de la membrana celular que, por su vez, son influenciadas por la concentración osmótica extracelular, principalmente en medios con salinidad variable.

VIÉGAS (1981) reportó que *T. plebeius* tiene un límite de salinidad ideal para su mejor desarrollo. Según ABRAHÃO y AMARAL (1999), las pesquisas realizadas con la especie no mencionan un rango óptimo de supervivencia para este bivalvo, pero CASTAGNA y CHANLEY (1973) verificaron que las actividades de filtración y excavación de estos moluscos eran reducidas en una salinidad abajo de 10, con una pequeña tasa de supervivencia en salinidades de 2,5 e 5,0.

Los bivalvos *Anomalocardia brasiliana* y *Lucina pectinata*, especies simpátricas a *T. plebeius* en el estuario del río Ceará, también tienen su desarrollo gonadal influenciado principalmente por la variación de salinidad (BARREIRA y ARAÚJO, 2005). Resultados similares fueron encontrados por CARPES-PATERNOSTER (2003) para *Mytella guyanensis*, en la isla de Santa Catarina, Brasil, donde el mayor volumen de individuos en gametogénesis ocurrió en los meses de verano, coincidiendo con las temperaturas más altas, teniendo también la influencia de la variación de salinidad. Estos resultados divergen de los encontrados por CEUTA y BOEHS (2012), que aunque tenga constatado en su pesquisa una elevada pluviosidad cuando los animales estaban en baja eliminación, la salinidad parece no haber presentado mucha diferencia en el área estudiada.

CONCLUSIÓN

La precipitación, con la consiguiente variación de la salinidad es el factor importante que influye en el ciclo reproductivo *Tagelus plebeius*. El ciclo reproductivo de esta especie es continuo a lo largo del año, con la maduración gonadal predominantemente en el primer semestre del año y la eliminación de gametos predominantemente en el segundo semestre del año.

Los factores ambientales pueden actuar de manera significativa en *T. plebeius*, afectando las fases de su ciclo reproductivo. Se tratando de una especie con amplia distribución geográfica, es natural que pueda exhibir diferentes comportamientos en relación con estos factores en las regiones donde habita. Ello explica también la variación de los estadios descritos en la literatura para esta y otras especies de bivalvos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO J. R.; AMARAL, A.C.Z. 1999 Tamanho, densidade e distribuição de *Tagelus plebeius* (Veneroidea, Psammobiidae) em uma praia arenosa, São Paulo, Brasil. *Iheringia Série Zoologia*, 87(1):181-190.
- ALCÂNTARA-FILHO, P. 1978 Contribuição ao estudo da biologia e ecologia do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda, Brachyura) no Manguezal do Rio Ceará (Brasil). *Arquivo de Ciências do Mar*, 18(1/2): 1-41.
- ARAÚJO, C. M. 2001 *Biologia Reprodutiva do Berbigão Anomalocardia brasiliana (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) na Reserva Extrativista de Pirajubaé (REMAPI), Estado de Santa Catarina, Florianópolis*, 203pp. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).
- ASCENCIO, L. A.; ENRÍQUEZ, M.; MARTÍNEZ, I.; ALDANA, D. 2016 Efecto de la temperatura y la salinidad en el ciclo reproductor de hembras y machos de *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae). *Revista de Biología Tropical*, 64(2): 449-459.
- ASSIS, R.C.F. 1985 Maturação sexual de *Lucina pectinata* (Gmelin, 1791) (Mollusca-Bivalvia). *Universitas Ciência*, 34(1): 77-92.
- BARREIRA, C.A.R.; ARAÚJO, M.L.R. 2005 Ciclo Reprodutivo de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) na Praia do Canto da Barra, Fortim, Ceará, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 31(1): 9-20.
- BEUKEMA, J. J.; DEKKER, R.; ESSINK, K.; MICHAELIS, H. 2001 Synchronized reproductive success in the main bivalve species in the Wadden Sea: causes and consequences. *Marine Ecology Progress Series*, 211(1): 143-155.
- BOEHS, G. 2000 *Ecologia Populacional, Reprodução e Contribuição em Biomassa de Anomalocardia brasiliana (Gmelin, 1791) (Bivalvia-Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil*, Curitiba. 201pp. (Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná).

- BOEHS, G.; ABSHER, T. M.; CRUZ-KALED, A. C. 2008 Ecologia populacional de *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin, 1791) (Bivalvia, Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(2): 259-270.
- BORZONE, C.A.; VARGAS, K.M.; PEZUTTO, P.R.; TAVARES, Y.A.G. 2001 Aspectos da reprodução e dinâmica populacional de *Chione pubera* (Bory Saint-Vicent) (Bivalvia, Veneridae) no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18(2), 333-349.
- BRASIL 2006 *Tábuas das marés*. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em 2 de janeiro de 2006.
- BRASIL 2007 *Tábuas das marés*. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em 3 de janeiro de 2007.
- CARPES-PATERNOSTER, S. 2003 *Ciclo reprodutivo do marisco-do-mangue Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) no manguezal do Rio Tavares – Ilha de Santa Catarina/SC. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 30pp. Disponível em:< <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85568>> Acesso em 20 fev. 2014.
- CASTAGNA, M; CHANLEY, P. 1973 Salinity tolerance of some bivalves from inshore and estuarine environments in Virginia waters on the western mid-atlantic coast, *Malacologia*, 12(1): 47-96.
- CEUTA, L.O.; BOEHS, G.; SANTOS, J.J.B. 2010 Hermaphroditism among dioecious *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786) (Mollusca, Psammobiidae) and *Iphigenia brasiliensis* (Lamarck, 1818) (Mollusca, Donacidae) on the Cachoeira River Estuary, Ilhéus, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(1): 125-127.
- CEUTA, L.O; BOEHS, G. 2012 Reproductive cycle of *Tagelus plebeius* (Mollusca: Bivalvia) in the estuary of the Cachoeira River, Ilhéus, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3): 569-576.
- CLEDÓN, M.; BRICHTOVA, A.C.P.; GUTIÉRREZ, J.; PENCHASZADEH, P.E. 2004 Reproductive cycle of the stout razor clam *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786) in the Mar Chiquita Coastal Lagoon, Argentina. *Journal of Shellfish Research*, 23(2): 443-446.
- EVERSOLE, A.G. 1989 Gametogenesis and spawning in north american clam population for culture. In: MANZI, J. J.; CASTAGNA, M. (eds). *Clam Mariculture in North America. Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, p. 75-109.
- FARIAS, M. F.; ROCHA-BARREIRA, C. A. 2012 Aspectos populacionais de *Tagelus plebeius* (Mollusca: Bivalvia: Solecurtidae) no estuário do Rio Ceará, Nordeste do Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 45(2):32-39.
- GADOMSKI, K.; LAMARE, M. 2015 Spatial variation in reproduction in southern populations of the New Zealand bivalve *Paphies ventricosa* (Veneroidea: Mesodesmatidae). *Invertebrate Reproduction & Development*, 59(2), 81-95.
- GIL, G.M.; THOMÉ, J.W. 2004 Descrição do ciclo reprodutivo de *Donax hanleyanus* (Bivalvia, Donacidae) no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 94(3): 271-276.
- GILLES, R. 1982 Osmoregulatory process in mollusks and crustaceans from media with fluctuating salinity regime. *Boletim de Fisiologia Animal da Universidade. São Paulo*, 6(1): 1-36.
- GUTIÉRREZ, J.; VALERO, J. 2001 La almeja navaja *Tagelus plebeius* y su participación en mecanismos ecológicos de comunidades intermareales mediante la producción de valvas. In: IRIBARNE, O. (ed) *Reserva de Biosfera Mar Chiquita: características físicas, biológicas y ecológicas*, Editorial Martin, p.121-128.
- KIM, Y.; ASHTON-ALCOX, K.A.; POWELL, E.N. 2006 *Histological Techniques for Marine Bivalve Molluscs: Update*. Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 27. 76 pp.
- MAIA, F.M.D.S.R. 2006 *Estudo do ciclo reprodutor e do crescimento de Solen marginatus e Venerupis pullastra na Ria de Aveiro: contributo para a gestão destes recursos pesqueiros* (Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10773/4943>> Acesso em 20 fev. 2014.

- MATOS, E.; MATOS, P.; CASAL, G.; AZEVEDO, C. 1997 Estrutura fina do espermatozóide de *Tagelus plebeius* (Lightfoot) (Mollusca, Bivalvia) do litoral norte do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 14(3-4): 595.
- MIRANDA, P.T.C.; GURGEL, F. F.G.; LIBERATO, M.A.F.; OLIVEIRA, M.T.; ARRUDA, T.L.B. 1988 Comunidades bentônicas em raízes de *Rhizophora mangle* Linnaeus, no manguezal do rio Ceará (Ceará-Brasil). *Arquivos de Ciências do Mar*, 27(1):101-110.
- MORSAN, E. M.; KROECK, M. A. 2005 Reproductive cycle of purple clam, *Amiantis purpurata* (Bivalvia: Veneridae) in northern Patagonia (Argentina). *Journal of Marine Biological Association of UK*, 85(2): 367-373.
- MORSAN, E.M. 2003 Spatial analysis and abundance estimation of the southernmost population of purple clam, *Amiantis purpurata* in Patagonia (Argentina). *Journal of Marine Biological Association of UK*, 83(5): 1073-1082.
- MORTON, B. 1990 The life cycle and sexual strategy of *Grafrarium pectinatum* (Bivalvia:Veneridae) in a Hong Kong mangrove. *Malacological Review*, 23(1): 53-62.
- MOURA, P.; GASPAR, M.B.; MONTEIRO, C.C. 2008 Gametogenic cycle of the smooth clam *Callista chione* on the south-western coast of Portugal. *Journal of Marine Biological Association of UK*, 88(1): 161-167.
- NARCHI, W. 1976 Ciclo anual de gametogênese de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca, Bivalvia). *Boletim de Zoologia da Universidade de São Paulo*, 1(1): 331-350.
- RIOS, E.C. 2009 *Compendium of Brazilian Sea Shells*. 668 p. Evangraf, Rio Grande.
- SASTRY, A.N. 1979 Pelecypoda (excluding Ostreidae). Molluscs: pelecypods and lesser classes In: GUIESE, A. C. & PEARSE, J. S. (eds.), *Reproduction of marine invertebrates*. Academic Press, p. 113-192.
- SEMACE. 2006 Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/>>. Acesso em: 05/03/2006.
- SILVA, C. F.; CORTE, G. N.; YOKOYAMA, L. Q.; ABRAHAO, J. R.; AMARAL, A. C. Z. 2014 Growth, mortality, and reproduction of *Tagelus plebeius* (Bivalvia: Solecurtidae) in Southeast Brazil. *Helgoland Marine Research*, 69(1): 1-12.
- SILVA-CALVACANTI, J. S.; COSTA, M. F. 2011 Fisheries of *Anomalocardia brasiliana* in Tropical Estuaries. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 6(2): 86-99.
- VIÉGAS, O. 1981 *Dinâmica populacional e produção de Tagelus plebeius (Solecurtidae: Bivalvia) no Canal do Calunga, Maceió-Alagoas*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 86f. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xtAction=Ink&exprSearch=142473&indexSearch=ID>> Acesso em: 20 fev. 2014.