



## Nota científica

# Variación diaria de la abundancia del zooplancton en Bahía Magdalena, B.C.S. México

## Daily cycle of zooplankton abundance in Magdalena Bay, B.C.S. Mexico

Sergio Hernández-Trujillo\*, Gabriela Esqueda-Escárcega, José Reyes Hernández-Alfonso y Rocío Pacheco-Chávez

Departamento de Plancton, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Apartado postal 592, 23000 La Paz, Baja California Sur, México.

\*Correspondencia: strujil@ipn.mx

**Resumen.** Se presenta la variación diaria de la abundancia de zooplancton en Bahía Magdalena, México a partir de muestreos en una estación fija durante 10 días en febrero de 2002. De 112 taxa identificados, los nauplios de balanos y los cladóceros *Penilia avirostris* y *Pseudevadne tergestina* fueron los más comunes y abundantes y con niveles de variación diaria de más del 100%. Los copépodos constituyeron una quinta parte de la abundancia del zooplancton y 7 de las 80 especies encontradas se registran por vez primera en la zona de estudio. La abundancia del zooplancton fue parcialmente coherente con la hidrografía de la bahía, así como con un modelo de retención de partículas. Las 3 especies de copépodos más abundantes fueron más numerosas a inicio de la serie pero tendieron a reducir su densidad hacia el fin del lapso de estudio. La hidrodinámica invernal en la zona se identificó como un factor de concentración de zooplancton, quizá de importancia mayor que la temperatura o la concentración de clorofila *a*, aún no estimada en la estructura de la comunidad ni en la intensidad de las relaciones interespecíficas.

Palabras clave: zooplancton, variación diaria, Bahía Magdalena, abundancia.

**Abstract.** This paper presents the daily variation of the abundance of zooplankton in Magdalena Bay, Mexico from sampling in a fixed-station for 10 days of February 2002. From 112 taxa identified barnacles nauplii and cladoceran *Penilia avirostris* and *Pseudevadne tergestina* were the most common and abundant with daily variation levels more than 100%. The copepods constituted one fifth of zooplankton abundance and 7 of the 80 species found were recorded for the first time in the study area. Zooplankton abundance showed partially coherent pattern with the hidrography of the bay as well as particles retention model. The 3 species of copepods more abundant were more numerous at the beginning of the time series but tended to reduce its density toward the end of the time of study. Winter hydrodynamics was identified as a factor of zooplankton concentration, perhaps more important than the temperature or the concentration of chlorophyll *a*, with a weight still not estimated in the structure of the community or the intensity of the interspecific relationships.

Key words: zooplankton, micro scale variation, Bahía Magdalena, abundance.

Los estudios del zooplancton en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, principalmente en el estrato superficial, han sido relativamente continuos y se han realizado sobre una red de estaciones que el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) estableció desde 1982 (Hinojosa-Medina et al., 2007). Las únicas referencias de estudios circadianos del zooplancton en la zona de estudio son la de Hernández-Trujillo et al. (1997), quienes encontraron una asociación significativa de la abundancia

de zooplancton con la dinámica física y química de las aguas de la bahía y la de Gómez-Gutiérrez et al. (2001), quienes a lo largo de un transecto perpendicular a la línea de costa de aproximadamente 6 km de longitud encontraron que las comunidades zooplanctónicas de la parte central de la bahía y de la zona marina adyacente no difieren significativamente. Hernández-Trujillo et al. (2005), con el mismo diseño experimental empleado por Gómez-Gutiérrez et al. (2001), encontraron que la distribución vertical del biovolumen de zooplancton tampoco difería significativamente a lo largo del año.

Recibido: 08 junio 2009; aceptado: 23 noviembre 2009

La literatura local da cuenta de la fuerte variabilidad en la composición y abundancia del zooplancton de la bahía en relación con los cambios estacionales (Cota-Meza et al. 1992, Gómez-Gutiérrez et al., 2001), y de manera incipiente de las variaciones a menor escala (Hernández-Trujillo et al., 1997, Hernández-Trujillo et al., 2005) que permiten estimar la magnitud de esos cambios asociados a las condiciones ambientales (Palomares-García, 1992, López-Ibarra y Palomares-García, 2006, Gómez-Gutiérrez et al., 2007).

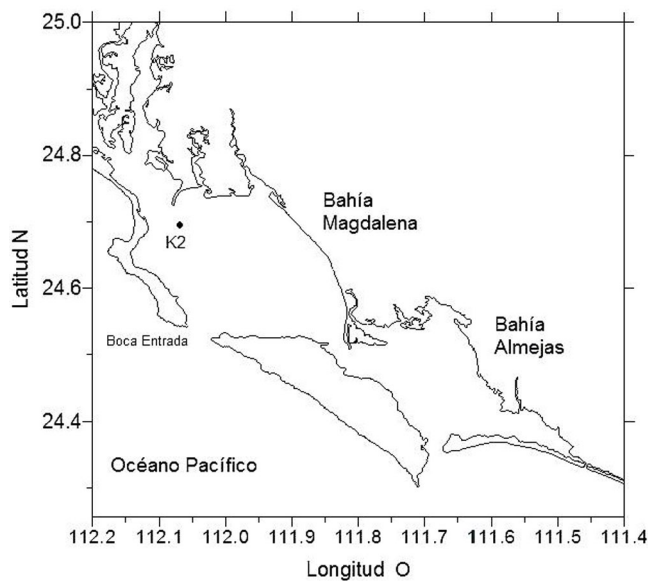
El sitio de muestreo se eligió en función de que en el área norte de Bahía Magdalena (donde se localiza la estación K2, 24°69'2" N 112°07'7" O), entre 1982 y 1994, se registraron altas abundancias de zooplancton (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996), de huevos y larvas de peces (Esqueda-Escárcega et al., 1984, Funes-Rodríguez et al., 1998) y de fitoplancton (Nienhuis y Guerrero-Caballero 1985, Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998, Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000), intuyéndose que esos altos niveles se debieron a la influencia de algún mecanismo promotor en la zona. En un estudio sobre la hidrografía de Bahía Magdalena, Morales-Zárate et al. (2006) determinaron que en el norte de la bahía se lleva a cabo un proceso convectivo que propicia la concentración de partículas.

En consideración a lo anterior, se realizó este trabajo con el propósito de estimar en la estación K2, en el estrato superficial, la magnitud de la variación diaria de la biomasa, la abundancia y la estructura de la comunidad de

zooplancton en relación con la temperatura, la salinidad y la concentración de clorofila *a* en Bahía Magdalena.

Diariamente se llevaron a cabo muestreos seriados diarios de zooplancton del 19 al 28 de febrero de 2002, entre las 7:30 y 8:30 horas (Fig.1). Se efectuaron arrastres con una red cónica de 60 cm de diámetro de boca y 2 m de longitud con luz de malla de 333  $\mu\text{m}$ , equipada con flujómetro digital para estimar el volumen de agua filtrada. Cada muestra se fijó en formol al 10% neutralizado con borato de sodio (Gómez et al., 2001) y se midió la biomasa con el método de volumen desplazado. Se registraron datos de la temperatura superficial del mar y salinidad con un CTD Seabird; con botellas tipo Niskin se recolectó agua para la determinación espectrofotométrica de pigmentos fotosintéticos (Jeffrey y Humphrey, 1975). La transparencia fue estimada usando un disco de secchi. En cada muestra se analizó el zooplancton hasta el menor nivel posible; a partir de una alícuota de 5 ml, se extrapoló la abundancia registrada al total de la muestra y posteriormente a 1 000  $\text{m}^3$  de agua filtrada. Los resultados fueron analizados mediante modelos ecológicos de abundancia-diversidad. Los datos de abundancia, riqueza de especies y diversidad fueron empleados para calcular la desviación de cada observación (día) respecto del promedio general (10 días) y estimar la magnitud de la variación. Con el propósito de revelar diferencias de la abundancia del zooplancton durante el periodo estudiado se aplicó un análisis de varianza unidireccional ( $\alpha=0.05$ ) y *a posteriori* se realizó una prueba de Bonferroni (WinStat) para probar si las diferencias encontradas entre los grupos de muestras cumplían con la mínima significativa de 0.05 (Sokal y Rohlf, 1995). Se utilizó un análisis de correlación simple para ver de qué manera la temperatura y la concentración de clorofila *a* explican el comportamiento de la abundancia de los grupos dominantes de zooplancton ( $p<0.05$ ).

Los valores promedio de temperatura y salinidad superficial no tuvieron variación significativa ( $p>0.05$ ) oscilaron entre 17.69 y 18.45  $^{\circ}\text{C}$  y la salinidad entre 34.46 y 34.54 ups ( $p>0.05$ ), respectivamente. La concentración superficial de clorofila *a* fluctuó significativamente ( $p<0.05$ ) entre 0.1 y 2.9  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; la biomasa del zooplancton tuvo cambios significativos ( $p<0.05$ ) y fluctuó entre 398 y 1 264  $\text{ml}/1\ 000\ \text{m}^3$  de agua filtrada, aunque presentó cambios diarios entre 4 y 206% con máximos en los días 2, 6 y 10 (Cuadro 1). Se identificaron 27 grupos funcionales del zooplancton (Cuadro 2), de los cuales los cladóceros, copépodos y cirripedios fueron los de mayor abundancia relativa (26, 20 y 18%, respectivamente). La densidad de estos taxa presentaron una marcada variación a lo largo de los 10 días del periodo de estudio, observándose 2 máximos el tercer día (21 de febrero) y el séptimo (25 de febrero) (624 513 y 1 009 656 orgs/ $1\ 000\ \text{m}^3$ , respectivamente). Los



**Figura 1.** Localización de la estación de muestreo en Bahía Magdalena, Baja California Sur.

**Cuadro 1.** Valores promedio de temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, transparencia (Trans.), concentración de clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) a 0 m, biomasa de zooplancton, abundancia de zooplancton, riqueza del zooplancton, diversidad y grupo/especie más abundante en febrero de 2002 en Bahía Magdalena, B.C.S. México

| Día | TSM (°C) | Salinidad (ups) | Trans. (m) | Clorofila (0 m) | Biomasa Zooplancton (ml ·1000 m <sup>-3</sup> ) | Abundancia total (orgs·1000m <sup>-3</sup> ) | Número de taxa |
|-----|----------|-----------------|------------|-----------------|---|--|----------------|
| 19  | 17.8     | 34.55           | 6          |                 | 398   | 158646                                       | 43             |
| 20  | 17.7     | 34.52           | 9          | 2.3             | 820   | 287172                                       | 59             |
| 21  | 17.8     | 34.46           | 10         | 2.9             | 1264  | 624513                                       | 56             |
| 22  | 17.9     | 34.46           | 7          |                 | 950   | 328794                                       | 57             |
| 23  | 18.3     | 34.48           | 9          | 1.3             | 656   | 346831                                       | 84             |
| 24  | 18.1     | 34.48           | 9          | 1.2             | 1227  | 407819                                       | 52             |
| 25  | 18.4     | 34.50           | 12         | 0.1             | 503   | 1009656                                      | 74             |
| 26  | 18.5     | 34.54           | 8          | 0.5             | 537   | 145358                                       | 50             |
| 27  | 18.4     | 34.51           | 0          | 1.6             | 628   | 135250                                       | 45             |
| 28  | 18.4     | 34.49           | 12         | 1.2             | 895   | 512235                                       | 58             |

| Día | Índice de Shannon (bits ind <sup>-1</sup> ) | Grupo/Especie más abundante (Abundancia relativa) |
|-----|---|---|
| 19  | 1.219                                       | Cirripedia (17%)                                  |
| 20  | 1.228                                       | Cirripedia (20%)                                  |
| 21  | 0.99  | Cirripedia (42%)                                  |
| 22  | 1.308                                       | Cirripedia (16%)                                  |
| 23  | 1.324                                       | Cirripedia (14%)                                  |
| 24  | 1.149                                       | <i>Penilia avirostris</i> (19%)                   |
| 25  | 0.836                                       | <i>Pseudevadne tergestina</i> (33%)               |
| 26  | 1.236                                       | <i>Pseudevadne tergestina</i> (22%)               |
| 27  | 1.159                                       | <i>Penilia avirostris</i> (22%)                   |
| 28  | 1.203                                       | Cirripedia (24%)                                  |

Dana, 1849 y *Pseudevadne tergestina* (Claus, 1877) fueron los taxa dominantes por su abundancia y frecuencia de aparición a lo largo de la serie temporal; el nivel de variación diaria de la densidad de los nauplios de cirripedios estuvo entre 6 y 427%; en tanto, *P. avirostris* presentó cambios de abundancia de 0.5 a 149% y *P. tergestina* fluctuó de 5 a casi 3 000%.

En Bahía Magdalena se ha registrado la presencia de 4 especies de cirripedios: *Chthamalus fissus* Darwin, 1854; *Chthamalus anisopoma* Pilsbry, 1916; *Megabalanus peninsularis* (Pilsbry, 1916) y *Tetraclita confinis* Pilsbry, 1916 (Gómez-Daglio, 2003). Las larvas nauplio de cirripedios encontradas en el zooplancton no pudieron identificarse en el nivel de especie, ya que se carece de la descripción de los primeros estadios de desarrollo de las especies antes citadas. Esta circunstancia limita el alcance del análisis, ya que la abundancia del grupo sólo puede tratarse de manera general. La descripción de las formas larvales de las especies de cirripedios de Bahía Magdalena es una tarea pendiente para poder reanalizar en el futuro la información aquí presentada. No obstante, Hines (1978) encontró que los balanos de la zona central de California (*Chthamalus fissus*, *Balanus glandula* Darwin, 1854 y *Tetraclita squamosa* Brugière, 1789) responden de manera oportunista a cambios de corta escala, rápidos y ambientalmente adversos, minimizando el costo energético de la reproducción para reducir la dispersión de las larvas y así mejorar las oportunidades de colonización. En este estudio se encontró que la abundancia de los nauplios de cirripedios se relacionó inversamente con la temperatura superficial y con la concentración de clorofila *a* (Spearman  $p < 0.05$ ) durante el periodo (Fig. 2).

máximos de densidad de cirripedios ocurrieron el tercer día (264 822 orgs/1 000 m<sup>3</sup>) y el décimo (28 de febrero) (122 787 orgs/1 000 m<sup>3</sup>) de la serie, en tanto que para los cladóceros fue en el séptimo (536 977 orgs/1 000 m<sup>3</sup>) (Fig. 2). El análisis estadístico de la abundancia del zooplancton, mostró que el séptimo día de la serie fue significativamente diferente del resto (Bonferroni,  $p < 0.05$ ) y que el nivel de variación estuvo entre 14 y 378%.

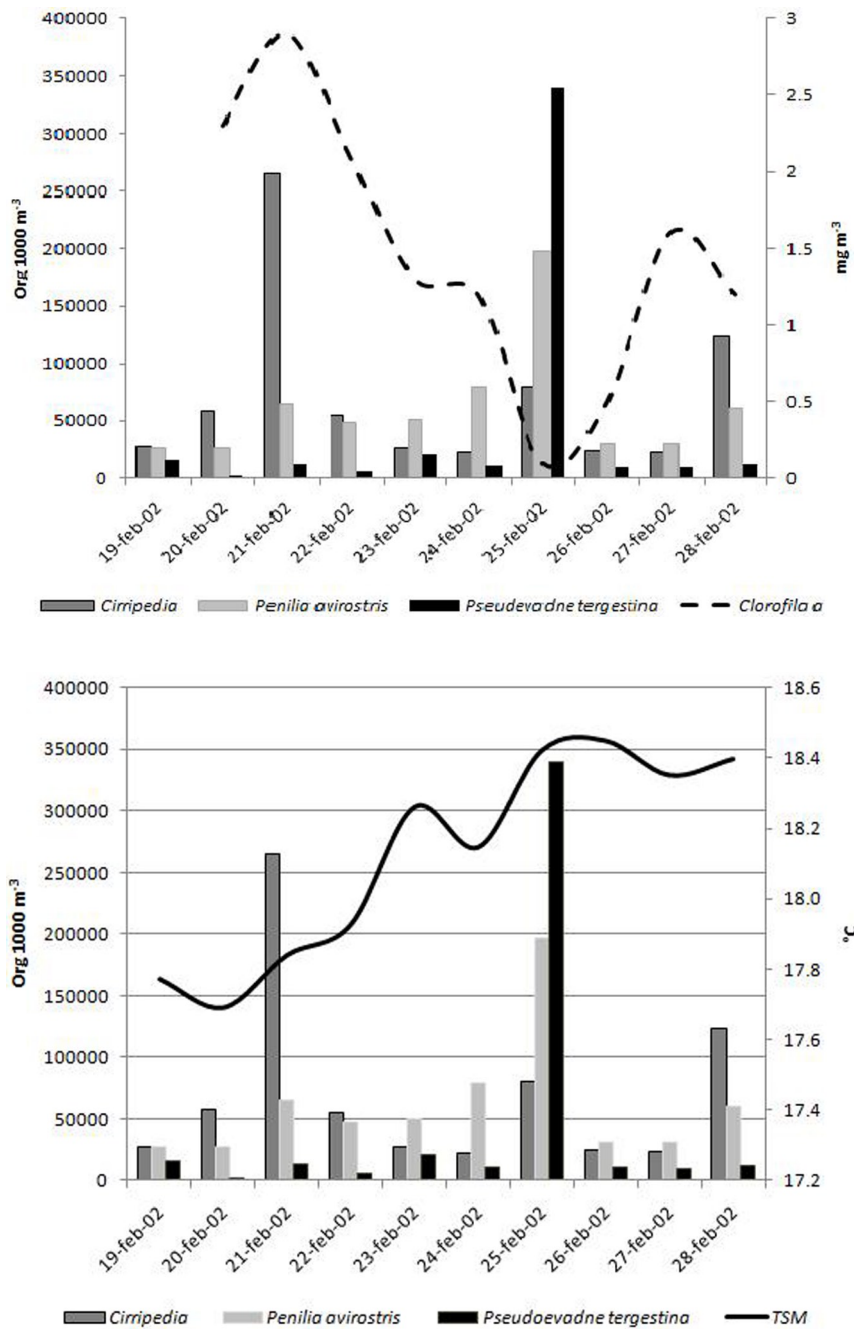
La riqueza de especies a lo largo del ciclo de muestreo osciló significativamente (Bonferroni  $p < 0.05$ ) entre 43 y 84, con un total de 116 taxa, de los cuales el 69% corresponde a especies de copépodos; la variación diaria de la riqueza fue de 1 a más de 47%. El índice de diversidad de Shannon tuvo valores entre 0.8 y 1.3 bits·ind<sup>-1</sup>, con niveles de variación diaria entre 0.7 y 47% que fueron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 1).

Los cirripedios y los cladóceros *Penilia avirostris*

Los cladóceros son un grupo en el que predominan

**Cuadro 2.** Elenco sistemático del zooplancton identificado en Bahía Magdalena, B.C.S. en febrero de 2002

|                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| AMPHIPODA                        | <i>Microsetella rosea</i>         |
| ASCIDACEA                        | <i>Microsetella norvegica</i>     |
| ASTEROIDEA                       | <i>Nannocalanus minor</i>         |
| BRACHIOPODA                      | <i>Oithona attenuata</i>          |
| BRYOZOA                          | <i>Oithona decipiens</i>          |
| CHAETOGNATHA                     | <i>Oithona fallax</i>             |
| CIRRIPEDIA                       | <i>Oithona nana</i>               |
| COPEPODA                         | <i>Oithona plumifera</i>          |
| <i>Acartia clausi</i>            | <i>Oithona rigida</i>             |
| <i>Acartia lilljeborgii</i>      | <i>Oithona robusta</i>            |
| <i>Acartia tonsa</i>             | <i>Oithona setigera</i>           |
| <i>Acartia danae</i>             | <i>Oithona similis</i>            |
| <i>Acrocalanus gracilis</i>      | <i>Oithona tenuis</i>             |
| <i>Acrocalanus monachus</i>      | <i>Triconia conifera</i>          |
| <i>Aetideus brady</i>            | <i>Oncaea media</i>               |
| <i>Calanus pacificus</i>         | <i>Oncaea venusta</i>             |
| <i>Calocalanus pavo</i>          | <i>Paracalanus aculeatus</i>      |
| <i>Candacia bipinnata</i>        | <i>Paracalanus indicus</i>        |
| <i>Candacia catula</i>           | <i>Paracalanus parvus</i>         |
| <i>Candacia curta</i>            | <i>Parvocalanus crassirostris</i> |
| <i>Candacia truncata</i>         | <i>Pseudodiaptomus wrighti</i>    |
| <i>Canthocalanus pauper</i>      | <i>Pareucalanus sewelli</i>       |
| <i>Centropages furcatus</i>      | <i>Phaenna spinifera</i>          |
| <i>Chiridius poppei</i>          | <i>Scolecithrix danae</i>         |
| <i>Clausocalanus arcuicornis</i> | <i>Subeucalanus mucronatus</i>    |
| <i>Clausocalanus furcatus</i>    | <i>Subeucalanus subcrassus</i>    |
| <i>Clausocalanus jobei</i>       | <i>Subeucalanus pileatus</i>      |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> | <i>Subeucalanus subtenius</i>     |
| <i>Copilia quadrata</i>          | <i>Temora discaudata</i>          |
| <i>Copilia vitrea</i>            | <i>Undinula vulgaris</i>          |
| <i>Corycaeus affinis</i>         | Ciclopoide bentónico              |
| <i>Corycaeus amazonicus</i>      | Harpacticoide bentónico           |
| <i>Corycaeus andrewsi</i>        | CTENOPHORA                        |
| <i>Corycaeus catus</i>           | DECAPODA                          |
| <i>Corycaeus crassiusculus</i>   | ECHINODERMATA                     |
| <i>Corycaeus latus</i>           | EUPHAUSIACEA                      |
| <i>Corycaeus lautus</i>          | HYDROIDA                          |
| <i>Corycaeus longistylis</i>     | ISOPODA                           |
| <i>Corycaeus ovalis</i>          | LARVACEA                          |
| <i>Corycaeus pacificus</i>       | MOLLUSCA                          |
| <i>Corycaeus robustus</i>        | MYSIDACEA                         |
| <i>Corycaeus speciosus</i>       | OPHIUROIDEA                       |
| <i>Corycaeus typicus</i>         | OSTRACODA                         |
| <i>Corycaeus sp</i>              | CLADOCERA                         |
| <i>Oncaea sp</i>                 | <i>Penilia avirostris</i>         |
| <i>Ctenocalanus vanus</i>        | <i>Pseudevadne tergestina</i>     |
| <i>Eucaheta indica</i>           | PISCES                            |
| <i>Eucaheta marina</i>           | PJORONIDA                         |
| <i>Euterpina acutifrons</i>      | POLYCHAETA                        |
| <i>Farranula gibbula</i>         | CHAETOGNATA                       |
| <i>Labidocera acutifrons</i>     | <i>Sagitta enflata</i>            |
| <i>Labidocera acuta</i>          | <i>Sagitta decipiens</i>          |
| <i>Labidocera johnsonii</i>      | <i>Sagitta euneritica</i>         |
| <i>Labidocera trispinosa</i>     | <i>Sagitta minima</i>             |
| <i>Lucicutia flavicornis</i>     | SIPHONOPHORA                      |
| <i>Macrosetella gracilis</i>     | SIPUNCULIDA                       |
| <i>Mecynocera clausi</i>         | STOMATOPODA                       |
|                                  | THALIACEA                         |



**Figura 2.** Variación de la densidad de nauplios de cirripedios, *Penilia avirostris* y *Pseudevadne tergestina* en la estación K2 de Bahía Magdalena, B.C.S., febrero de 2002, en relación con a), concentración de clorofila *a*, y b), temperatura superficial del mar.

las formas de aguas continentales, pero los representantes marinos llegan a constituir una importante fracción de la comunidad zooplanctónica y de la producción de materia orgánica (Marazzo y Valentin, 2004). Las 7 especies marinas conocidas están distribuidas en los géneros: *Penilia*, *Evadne* y *Podon* (Marazzo y Valentin, 2001)

**a** (Evadne= *Pseudevadne* Mordukhai-Boltovskoi, 1978). *Penilia avirostris* Dana, 1849 se considera una forma típica de aguas cálidas y de ambientes costeros eurihalinos (Marazzo y Valentin, 2000); es además, la única especie de los cladóceros marinos que se alimenta por filtración (Atienza et al., 2008). *Pseudevadne tergestina* (Claus, 1877) se encuentra principalmente en la superficie de mares costeros y embalses (Marazzo y Valentin, 2004), es carnívora y cuando abunda es alimento de peces y otros depredadores zooplanctónicos (Fofonoff, 1994); puede alcanzar grandes abundancias debido a que los huevos partenogénéticos se desarrollan hasta embriones antes de ser liberados al medio (paedogenesis).

**b** El máximo de abundancia de los cladóceros (1 009 656 orgs·1 000 m<sup>-3</sup>) ocurrió el séptimo día de la serie, ya que en el resto la densidad fluctuó alrededor de 50 000 org·1 000 m<sup>-3</sup>, coincidiendo con la disminución de clorofila *a* a partir del tercer día de la serie, hasta su mínimo valor el séptimo día (0.1 mg/m<sup>3</sup>) en que la abundancia promedio de *P. tergestina* y *P. avirostris* fueron las máximas (350 000 y 200 000 orgs/1 000 m<sup>3</sup>, respectivamente); después de ese día ambas especies tuvieron una drástica reducción a pesar de que la temperatura superficial del mar se mantuvo alrededor de 18.4 °C y la concentración de clorofila *a* aumentó hasta 1.6 mg/m<sup>3</sup>. *Penilia avirostris* tuvo una variación de abundancia inversa a la concentración de clorofila *a* a lo largo de toda la serie temporal ( $r = -0.5$ ,  $p < 0.05$ ), siendo *P. tergestina*

ligeramente más intensa ( $r = -0.59$ ,  $p < 0.05$ ).

Aunque en su conjunto los copépodos sumaron una quinta parte de la abundancia total del zooplancton, el análisis específico mostró que en ninguno de los días de la serie estuvieron entre las especies dominantes, y en términos de diversidad las especies encontradas representan el 54% de la riqueza registrada para la zona de estudio por Hernández-Trujillo et al. (2004). De acuerdo con estos autores, estas especies son principalmente de afinidad tropical-subtropical, características de aguas costeras y 3 son de hábitat oceánico (Cuadro 3). Las especies de copépodos registradas por primera vez en la bahía fueron 7 (Cuadro 3), de éstas, 4 son del orden Calanoida y pertenecen a 3 familias; 3 son del orden Cyclopoida.

La abundancia de copépodos tuvo 2 máximos: el tercer día y el décimo (114 293 y 127 148 orgs/1 000 m<sup>3</sup>, respectivamente) de la serie; la variación diaria osciló significativamente ( $p < 0.05$ ) entre 1 y 260%. Los copépodos dominantes fueron *Paracalanus aculeatus* Giesbrecht 1888, *Paracalanus parvus* (Claus, 1863) y *Clausocalanus arcuicornis* (Dana, 1849). *Paracalanus aculeatus* tuvo su máxima abundancia el segundo día (33 937 orgs/1 000 m<sup>3</sup>) y se redujo en 57% durante los siguientes 5 días de la serie hasta su mínima abundancia en el octavo día y el noveno, para volver a aumentar el décimo. *Paracalanus parvus* tuvo un solo máximo de abundancia el tercer día (35 171 orgs/1 000 m<sup>3</sup>) y presentó un patrón de disminución de densidad similar al de *P. aculeatus*, con tendencia a mantener un mínimo nivel de abundancia. *Clausocalanus arcuicornis* tuvo su máxima abundancia en el quinto día (18 609 orgs/1 000 m<sup>3</sup>), a partir del cual también presentó un patrón similar de disminución de abundancia hasta el final de la serie temporal, del mismo modo que *P. aculeatus* y *P. parvus*.

En Bahía Magdalena, el ingreso de agua por la boca Entrada produce una dispersión hacia la parte norte, donde se ubica la estación de muestreo, y durante el refluo se produce un efecto contrario (Obeso-Nieblas et al., 1999). Esta dinámica es producto del régimen de mareas de tipo mixto semidiurno (Sánchez-Montante et al., 2007). Durante este estudio la variación del nivel del mar por

efecto de las mareas fluctuó entre 0 y 2.15 m (www.mobileGeographics.com). A partir del séptimo día de la serie se inició una tendencia sostenida de aumento en la altura de la marea durante el muestreo. Los resultados de la abundancia del zooplancton y de la estructura de la comunidad en la estación K2 no coinciden totalmente con lo esperado a partir del patrón hidrodinámico. Dada la naturaleza dispersora de la corriente de marea, se esperaba una menor abundancia zooplanctónica; lo que sucedió fue lo contrario, la gran abundancia de nauplios cirripedios y de cladóceros se mantuvo al máximo. Estos altos y persistentes niveles de abundancia podrían explicarse mediante el modelo de retención de partículas probado por Morales-Zárate et al. (2006), quienes observaron que la concentración de partículas se da en parches y es promovida por el transporte generado por el viento y el flujo de marea residual, y encontraron que las áreas someras son las de mayor concentración, especialmente en el norte de la bahía.

Es posible que las elevadas abundancias de la fase meroplanctónica de los balanos se haya correlacionado negativamente con la concentración de clorofila *a* y la temperatura superficial debido a que, según Morales-Zárate et al. (2006), una vez liberadas las partículas, que en este caso serían las formas larvales de los balanos, en los primeros 6 días se lleva a cabo la dispersión y posteriormente permanecen en las zonas de retención hasta por 28 o más días. Ello coincide con la estimación de tiempo de residencia de agua de Sánchez-Montante et al. (2007) de 6 a 30 ciclos de mareas en Bahía Magdalena, lo que significaría una potencial desventaja para las poblaciones meroplanctónicas, ya que al aumentar el tiempo de residencia en la columna de agua son más susceptibles a la depredación por planctófagos y también se retrasa su asentamiento, además de que el gran número de organismos herbívoros concentrados llevan a cabo un intenso consumo de fitoplancton como quedó de manifiesto en la variación diaria de hasta 400% de la concentración de clorofila *a*. Además, los resultados mostraron que la biomasa de zooplancton presentó cambios dependientes de la dominancia de cirripedios y cladóceros, y que estos últimos, a su vez, dominaron sobre los nauplios de cirripedios, dando como resultado bajos niveles de diversidad, que en este caso fueron menores a 1 bit·ind<sup>-1</sup> cuando la abundancia de los nauplios de cirripedios, de *Penilia avirostris* y *Pseudevadne tergestina* fue máxima.

La dominancia y codominancia de los cladóceros en la comunidad zooplanctónica durante la serie temporal en la bahía puede deberse también a los procesos físicos antes mencionados, ya que ambas especies son conocidas como típicas de aguas cálidas. *Penilia avirostris* se encuentra óptimamente en agua con temperatura alrededor de 25°C

**Cuadro 3.** Nuevos registros de copépodos pelágicos para Bahía Magdalena, B.C.S. México

---

|   |
|---|
| <i>Paracalanus indicus</i> Wolfenden, 1905              |
| <i>Subeucalanus subtenuis</i> (Razouls 1995)            |
| <i>Subeucalanus pileatus</i> (Giesbrecht, 1888)         |
| <i>Clausocalanus parapergens</i> Frost & Fleminger 1968 |
| <i>Oithona fallax</i> Farran, 1913                      |
| <i>Oithona robusta</i> Giesbrecht 1891                  |
| <i>Copilia vitrea</i> (Haeckel, 1864)                   |

---

(Onbé, 1983), aunque puede encontrarse en aguas hasta de 18°C, como sucede en Bahía Magdalena. *Pseudevadne tergestina* se considera indicadora de masas costeras de aguas cálidas (Onbé et al., 1983) y el intervalo térmico en el que se distribuye óptimamente es de 22 a 24°C (Marazzo y Valentin, 2001). Las condiciones térmicas del agua en el lugar y época de estudio estuvieron por debajo de las que han sido reconocidas como óptimas para ambas especies, por lo que las grandes concentraciones obtenidas podrían explicarse también a través del modelo de circulación invernal y retención de Morales-Zárate et al. (2006). Este conjunto de características ambientales puede ayudar a entender por qué los adultos con ojos compuestos conspicuos que los hacen vulnerables ante los peces planctívoros (Wong et al., 2008) estarían congregados en tan altas abundancias a lo largo de la serie.

Estas fluctuaciones pueden asociarse con factores biológicos como la reproducción y la depredación, por lo que este aspecto debe ser atendido con estudios de dinámica poblacional, de fecundidad y de distribución vertical de cladóceros en Bahía Magdalena para avanzar en la comprensión de la estructura de la comunidad de zooplancton.

*Paracalanus aculeatus* y *P. parvus* tuvieron al inicio un patrón similar de variación diaria: en ambas la densidad promedio fue menor a 10 000 orgs/1 000 m<sup>3</sup>, aumentando 3.5 veces 24 horas después, para volver a disminuir a los niveles del primer día. A partir del quinto día, la abundancia de ambas especies fluctuó inversamente hasta el final de la serie, y con tendencia a disminuir sus densidades. *Clausocalanus arcuicornis* fue menos numerosa al inicio de la serie que *P. aculeatus* y *P. parvus* y aunque la fluctuación de abundancia fue menos pronunciada también tendió a disminuir hasta el final de la serie.

A diferencia de los nauplios de cirripedios y los cladóceros, los copépodos aumentaron su abundancia cuando la marea alcanzó en promedio 1.0 m de altura y disminuyó cuando la marea subió más de 2.0 m. Esta situación en el contexto del modelo de Morales-Zárate et al. (2006) indica que la abundancia de los copépodos es coherente con el efecto convectivo de la corriente que entra a la bahía y llega a la zona norte, pero no explica por qué se reduce su abundancia cuando el agua sigue acumulándose. Un factor adicional a la hidrografía de la bahía es la gran abundancia de *P. avirostris*, dado que competiría con los copépodos herbívoros por recursos, lo cual se observó al disminuir notablemente la clorofila *a* en sincronía con la reducción de los nauplios de cirripedios, los cladóceros y copépodos.

Queda en relieve que la hidrodinámica invernal en la bahía es un factor que promueve la formación de zonas de concentración de plancton, por lo que los nauplios de

cirripedios y los cladóceros pueden ser el principal alimento de peces planctívoros, y más importantes en la red trófica de Bahía Magdalena que los copépodos. Lo anterior hace necesario comparar estacionalmente y entre el día y la noche la abundancia del zooplancton para encontrar los factores ambientales que ayuden a explicar esta variación, así como los biológicos responsables de la no explicada por los factores físicos.

Este trabajo fue financiado por el IPN a través del proyecto “Dinámica del zooplancton en ecosistemas lagunares (CGPI 20010311)”. Los autores agradecen al personal de apoyo y a los estudiantes de posgrado que participaron en el trabajo de campo y laboratorio, así como a los revisores que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

#### Literatura citada

- Atienza, D., E. Saiz, A. Skovgaard, I. Trepát y A. Calbet. 2008. Life history and population dynamics of the marine cladoceran *Penilia avirostris* (Branchiopoda: Cladocera) in the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Journal of Plankton Research* 30:345-357.
- Cota-Meza, S., M. Haro-Garay, R. Massé-Zendejas. 1992. Distribución y abundancia de quetognatos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México durante el ciclo estacional 1988-1989. *Investigaciones Marítimas CICIMAR* 7:47-59.
- Esqueda-Escárcega, G., A. Esquivel, R. Funes, R. González, M. Haro, M. Henández, S. Hernández-Trujillo, R. Saldierna, M. Sánchez, C. Sánchez y R. Vera. 1984. Atlas de distribución y densidad de huevos y larvas de clupeidos y engráulidos en el complejo Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, 1981-1983. *Atlas CICIMAR*, 2: 131 p.
- Fofonoff, P.W. 1994. Marine cladocerans in Narraganset Bay. PhD Thesis, University of Rhode Island, Kingston. 51 p.
- Funes-Rodríguez, R., R. González-Armas y R. Avendaño Ibarra. 1998. Distribución y abundancia de larvas de peces en el sistema lagunar Bahía Magdalena Almejas Baja California Sur, México. *Hidrobiológica* 8:55-66.
- Gómez-Daglio, L. 2003. Sistemática de los Balanomorfos (Cirripedia, Thoracica) de la Región Sur de la Península de Baja California, México. Tesis, maestría en ciencias Centro Interdisciplinario de Ciencias Marítimas-IPN, La Paz, B.C.S. 102 p.
- Gómez-Gutiérrez, J. Palomares-García, S. Hernández-Trujillo, A. Carballido-Carranza. 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Revista de Biología Tropical* 49:545-558.
- Gómez-Gutiérrez, J., S. Martínez-Gómez y C. J. Robinson. 2007. Influence of thermo-haline fronts forced by tides on near-surface zooplankton aggregation and community structure in Bahía Magdalena, Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 346:109-125.
- Hernández-Trujillo, S., R. Cervantes-Duarte y S. Aguíñiga-

- García. 1997. Variación espacial y temporal de algunas variables físicas, químicas y biológicas en Bahía Magdalena, B.C.S. (julio-agosto, 1988). *Revista de Investigación Científica* 8:1-13.
- Hernández-Trujillo, S., A. Zarate-Villafranco y G. M. Esqueda-Escárcega. 2005. Estudio inicial de la distribución vertical del biovolumen de zooplancton en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Oceánides*. 20:9-16.
- Hines, A. H. 1978. Reproduction in three species of intertidal barnacles from central California. *Biology Bulletin* 154:262-281.
- Hinojosa-Medina, A., R. Funes-Rodríguez, G. Aceves-Medina y J. Gómez-Gutiérrez. 2007. Evolución de la investigación científica en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. *In* Estudios ecológicos en Bahía Magdalena, Funes-Rodríguez, R. J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marítimas-IPN, La Paz Baja California Sur. p. 289-298.
- Jeffrey, S. W. y G. F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll's a, b, c1 and c2 in algal phytoplankton and higher plants. *Comparative Biochemistry and Physiology* 167:191-194.
- López-Ibarra, G. y R. Palomares-García. 2006. Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante El Niño 1997/98. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41:63-76.
- Marazzo, A. y J. L. Valentin. 2000. Daily variation of marine cladoceran densities in a tropical bay-Brazil. *Hydrobiologia* 428:205-208.
- Marazzo, A. y J. L. Valentin. 2001. Spatial and temporal variations of *Penilia avirostris* and *Evadne tergestina* (Crustacea, Branchiopoda) in a Tropical Bay, Brazil, *Hydrobiologia* 445:133-139.
- Marazzo, A. y J. L. Valentin. 2004. Population dynamics of *Pseudevadne tergestina* (Branchiopoda:Onychopoda) in Guanabara Bay, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47:713-723.
- Morales-Zárate, M. V., A. L. Aretxabaleta, F. E. Werner y S. E. Lluch-Cota. 2006. Modelación de la circulación inercial y la retención de partículas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas (Baja California Sur, México). *Ciencias Marinas* 32:631-647.
- Nienhuis, H. & R. Guerrero. 1985. A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena lagoon complex (México). *Journal of Plankton Research* 7: 427-441.
- Obeso- Nieblas, M., J. H. Gaviño y R. Jiménez-Illescas. 1999. Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. *Oceánides* 14:79-88.
- Onbé, T. 1983. Preliminary observations on the biology of a marine cladocerans *Pleopis* ("Podon") *schmackeri* (Poppe), *Journal of the Faculty of Applied Biological Sciences Hiroshima University* 22:55-64.
- Palomares-García, R. 1992. Análisis de la taxocenosis de los copépodos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S. durante 1985-1986. *Ciencias Marinas* 19:71-92.
- Palomares-García, R. y Gómez-Gutiérrez, J. 1996. Copepod community structure in Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-84. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43:583-595.
- Sánchez-Montante, O., O. Zaitsev y M. Saldívar-Reyes. 2007. Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. *In* Estudios ecológicos en Bahía Magdalena, Funes-Rodríguez, R. J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marítimas-IPN, La Paz Baja California Sur. p. 1-28.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*, tercera edición. W. H. Freeman, New York. 887 p.
- Wong, C. K., C. Vivian, y Y. Li y A. Chan. 2008. Diel cycles of reproduction and vertical migration in the marine cladocerans *Pseudevadne tergestina* and *Penilia avirostris*. *Journal of Plankton Research* 30:65-73.