

*Research Article*

## Variabilidad de la abundancia de zooplancton en Bahía Magdalena Baja California Sur, México (1997-2001)

Sergio Hernández-Trujillo<sup>1,2</sup>, Gabriela Esqueda-Escárcega<sup>1</sup> & Ricardo Palomares-García<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Plancton, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), La Paz, Baja California Sur, México

<sup>1</sup>Becario COFAA, <sup>2</sup>Becario EDI

**RESUMEN.** Se analizaron muestras de zooplancton de 16 campañas oceanográficas, efectuadas en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, entre agosto de 1997 y marzo de 2001. Se identificó un total de 26 grupos taxonómicos, de los cuales los más abundantes y frecuentes fueron copépodos y quetognatos; en 2000-2001 se observó una tendencia a disminuir entre 10 y 20 el número de grupos de zooplancton. La biomasa zooplanctónica y abundancia de copépodos disminuyeron en el periodo de estudio, en contraste con los quetognatos que tuvieron un ligero aumento. Las fluctuaciones de abundancia de zooplancton no estuvieron relacionadas con la concentración de clorofila-*a*, a diferencia de los máximos de abundancia de zooplancton, que estuvieron asociados a los cambios de la temperatura superficial del mar. El ciclo estacional de la abundancia del zooplancton en Bahía Magdalena, indicó que en invierno el promedio fue mayor de 65.000 ind 100 m<sup>-3</sup>, valor que aumentó en primavera a más de 99.000 ind 100 m<sup>-3</sup>, se mantuvo en verano alrededor de 100.000 ind 100 m<sup>-3</sup> y en otoño descendió rápidamente a casi 40.000 ind 100 m<sup>-3</sup>.

**Palabras clave:** zooplancton, abundancia, comunidad, Bahía Magdalena, México.

## Zooplankton abundance variability in Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico (1997-2001)

**ABSTRACT.** Zooplankton were studied from 16 oceanographic surveys carried out in Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico, between August 1997 and March 2001. Twenty-six taxonomic groups were identified, the most abundant and frequent of which were copepods and chaetognaths. In 2000-2001, the number of zooplankton groups tended to decrease by 10 to 20. Both zooplankton biomass and copepod abundance declined, unlike chaetognaths, which increased slightly. Fluctuations in zooplankton abundance were independent of the chlorophyll-*a* concentration, whereas the maximum zooplankton abundances were associated with changes in the sea surface temperature. The seasonal zooplankton abundance cycle in Magdalena Bay indicated that, in winter, the averaged was than 65,000 ind 100 m<sup>-3</sup>, a value that increased to more than 99,000 ind 100 m<sup>-3</sup> in spring, remained around 100,000 ind 100 m<sup>-3</sup> in summer, and decreased rapidly to nearly 40,000 ind 100 m<sup>-3</sup> in autumn.

**Keywords:** zooplankton, abundance, community, Magdalena Bay, Mexico.

---

Corresponding author: Sergio Hernández-Trujillo (strujil@ipn.mx)

### INTRODUCCIÓN

Bahía Magdalena se encuentra en el extremo sur del llamado sistema de la Corriente de California, en un área reconocida como una zona de transición templado-tropical, donde convergen las masas de agua del Pacífico Norte, Central y Oriental Tropical

(Brinton & Reid, 1986); esta es una zona influenciada por aguas de la Corriente de California y la Corriente Costera de Costa Rica o Corriente Mexicana (Lavín *et al.*, 1997; Badan, 1997). El intenso intercambio de agua que tiene Bahía Magdalena con el área marina adyacente, favorece que en la boca de entrada de la bahía se presenten fuertes cambios oceanográficos y

biológicos que definen algunas de las características de las comunidades planctónicas, dependiendo de la época del año, intensidad y trayectoria de la corriente marina dominante en la zona.

Desde 1982 el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), ha efectuado estudios continuos y sistemáticos de plancton en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas con el propósito de estudiar el ictioplancton, particularmente a las larvas de sardina y anchoveta, para obtener estimaciones de abundancia y eventualmente, hacer estimaciones de la biomasa desovante (Esqueda-Escárcega *et al.*, 1984).

En este contexto, uno de los objetivos colaterales fue el estudio de la composición y abundancia de zooplancton, el cual se centró en el análisis de la biomasa y en la estructura de la comunidad de copépodos (Hernández-Trujillo, 1991a; Palomares-García, 1992; Hernández-Trujillo *et al.*, 1997) y quetognatos principalmente (Cota-Meza *et al.*, 1992; Cota-Meza, 2000). La literatura generada sobre el zooplancton de la bahía, considera que la biomasa zooplanctónica, es una variable fundamental para la caracterización biológica de la bahía (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, 2003; López-Ibarra & Palomares-García, 2006).

Por ser el medio que transfiere la energía orgánica producida por el fitoplancton a niveles tróficos superiores, el zooplancton es un conjunto clave en las redes tróficas pelágicas, razón por la que se convierte no solo en uno de los más importantes factores medio ambientales, sino también en los ciclos biogeoquímicos en el mar *e.g.* del carbón, nitrógeno y fósforo (Lenz, 2000). A pesar del alto significado ecológico que tiene el zooplancton en Bahía Magdalena y que se ha descrito el ciclo anual de la biomasa zooplanctónica (Palomares-García *et al.*, 2003), sólo Palomares-García & Vera-Alejandre (1995) y Gómez-Gutiérrez *et al.* (2001), han analizado sus componentes, determinando la abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos en el área cercana a la boca principal de Bahía Magdalena.

Es importante que el escaso conocimiento que se tiene de la ecología del zooplancton de la bahía se incremente sustancialmente en todos los aspectos, dado los servicios ambientales que ésta proporciona y el impacto que tiene la actividad pesquera en un ecosistema de alta variabilidad y complejidad biológica (Funes-Rodríguez *et al.*, 2007). En este estudio se analiza la abundancia de los grupos taxonómicos de zooplancton en Bahía Magdalena y su variación y relación con los cambios de la temperatura superficial del mar entre 1997 y 2001.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Bahía Magdalena se encuentra en la costa occidental de Baja California Sur (24°15'-25°20'N, 111°30'-112°15'W) (Fig. 1). El sistema lagunar se divide en tres zonas: norte o zona de canales, central o Bahía Magdalena y sur o Bahía Almejas (López-Ibarra & Palomares-García, 2006). El sistema presenta condiciones anti-estuarinas, con escasas precipitaciones y alta evaporación (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Una muy extensa y detallada descripción del área de estudio se encuentra en el trabajo de Funes-Rodríguez *et al.* (2007).

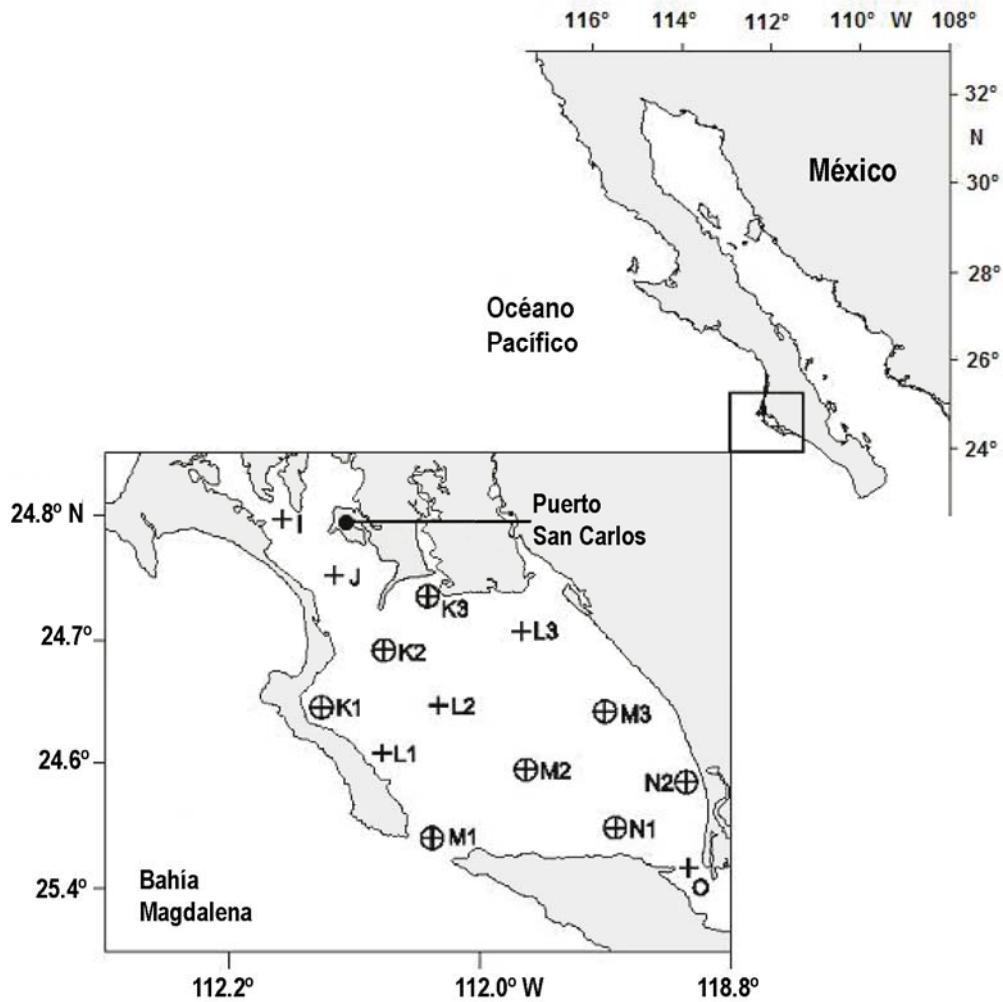
Las muestras de zooplancton fueron obtenidas en algunos meses entre agosto 1997 y marzo 2001, excepto el año 1999, empleando una red de 1,5 m de longitud, 0,6 m de diámetro de boca y malla filtrante de 333 nm, provista de un flujómetro para medir la cantidad de agua filtrada. Las muestras recolectadas fueron fijadas con formol al 4% y neutralizadas con una solución saturada de borato de sodio. En cada estación de muestreo se registró la temperatura superficial del agua de mar con un CTD Seabird. Se obtuvieron muestras de agua de mar con botellas Niskin para la determinación de la clorofila-*a* mediante el método propuesto por Jeffrey & Humphrey (1975).

La biomasa de zooplancton fue determinada en cada estación mediante el método de volumen desplazado (Beers, 1976), expresado en mL 100 m<sup>3</sup>. Para el análisis cualitativo y cuantitativo de zooplancton, se obtuvieron submuestras de 5 mL con una pipeta Stempel y los organismos se identificaron con un microscopio estereoscópico y claves de identificación. La determinación de abundancia se efectuó extrapolando el volumen analizado a la muestra original; con los datos del flujómetro se calculó el volumen filtrado (Hernández-Trujillo, 1991b; Hernández-Trujillo *et al.*, 2005) que sirvió de base para la estimación de la densidad de zooplancton por 100 m<sup>3</sup> de agua filtrada.

La serie temporal de temperatura superficial de Bahía Magdalena fue construida a partir de los datos de Palomares-García *et al.* (2003) y los obtenidos en este estudio. Para el cálculo de la anomalía de temperatura se procedió de acuerdo a lo señalado por Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999).

## RESULTADOS

La temperatura superficial del mar tuvo un mínimo de 14,3°C en junio 1999 y un máximo de 28,9°C en agosto 1997. Se observó un patrón estacional de



**Figura 1.** Área de estudio y estaciones de muestreo.

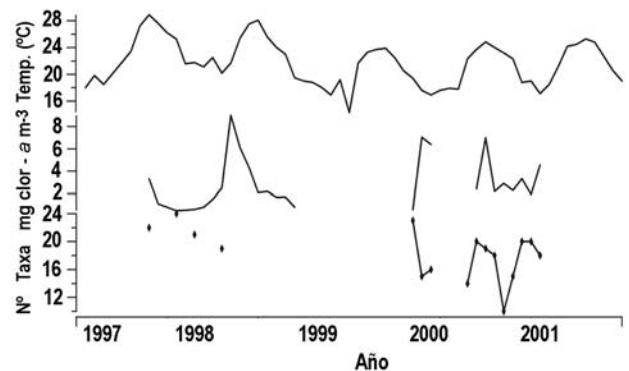
**Figure 1.** Study area and sampling stations.

variación y una clara disminución térmica a partir de septiembre de 1998. Las anomalías térmicas calculadas fueron positivas (hasta de 5,8°C) entre 1997-1998 y negativas (hasta -4,6°C) en el periodo 1999-2001 (Fig. 2a).

La clorofila-*a* fue mínima en noviembre 1997 (0,05 mg Clor-*a* L<sup>-1</sup>) y máxima en mayo 1998 (9 mg Clor-*a* L<sup>-1</sup>). Otros dos pulsos de alta concentración se observaron en febrero (6,40 mg Clor-*a* L<sup>-1</sup>) y septiembre 2000 (7,0 mg Clor-*a* L<sup>-1</sup>) (Fig. 2b).

De 144 muestras de zooplancton obtenidas en 16 campañas oceanográficas, se identificaron 26 taxa, siendo más numerosos en 1997-1998, oscilando entre 19 y 21, mientras que en 2000-2001 se observó una disminución de taxa entre 10 y 20 (con un valor máximo de 23 en enero 2000) (Fig. 2c).

El análisis de la abundancia de zooplancton mostró que los copépodos, decápodos y quetognatos fueron



**Figura 2.** Variación de a) temperatura superficial del mar, b) concentración de clorofila-*a*, c) número de taxa de zooplancton.

**Figure 2.** Variation of a) sea surface temperature, b) chlorophyll-*a* concentration, c) number of total zooplankton taxa.

los tres grupos más abundantes y frecuentes durante el periodo de estudio. La abundancia relativa de copépodos, decápodos y quetognatos fluctuó entre 13 (95%), 0,6 (21%) y 0,2 (21,3%) respectivamente (Fig. 3a, Tabla 1).

Otros grupos que tuvieron 100% de frecuencia de ocurrencia fueron las larvas de cirripedios, larváceos y cladóceros, aunque su densidad fue marginal en casi todos los meses analizados (0,1 (3,3%), 0,4 (14,3%) y 0,1(6,0%), respectivamente). Por otro lado, los grupos de menor frecuencia (12,5-37,5%) y con menores abundancias ( $< 0,1\%$ ) fueron cumáceos, isópodos, nemertinos y misidáceos (Tabla 1).

La contribución de cada taxa a la composición y abundancia mensual fue explorada a través del análisis de abundancia-diversidad y se obtuvo que solo en octubre 2000, enero y febrero 2001 fue necesaria la participación de más de un taxon para alcanzar el 80% de la abundancia total.

La biomasa zooplanctónica fue mínima en noviembre 2000 (0,134 mL 100 m<sup>-3</sup>) y máxima en agosto 1997 (1,15 mL 100 m<sup>-3</sup>), y al igual que en el caso de la abundancia de zooplancton, tuvo variaciones negativas entre 12 y 77% (Fig. 3b).

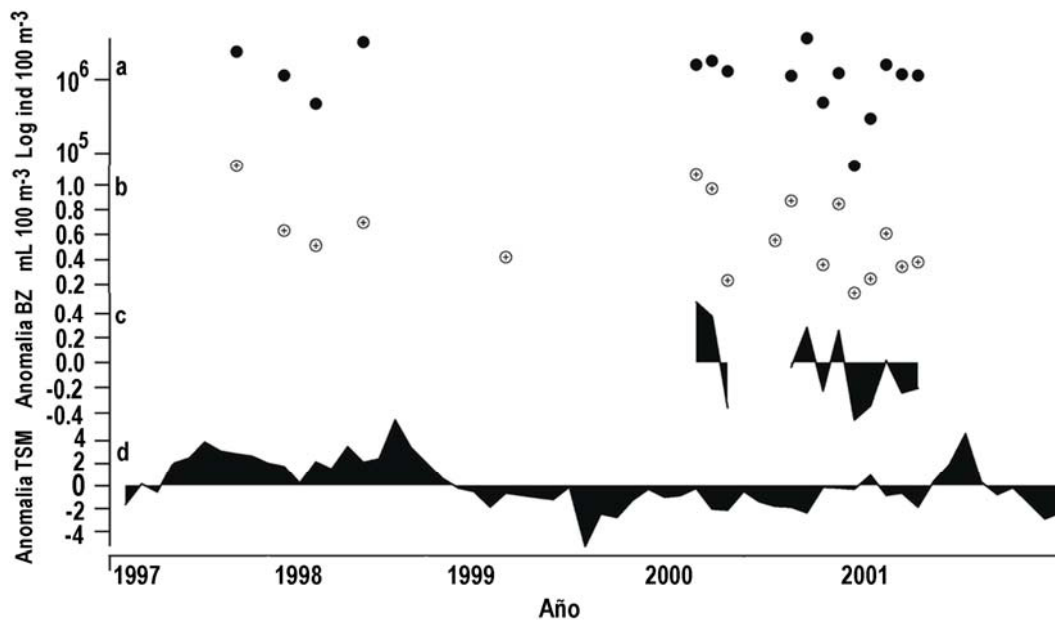
El zooplancton presentó tres máximos de abundancia: agosto 1997, abril 1998 y agosto 2000. Los cambios de abundancia, tomando en cuenta el promedio 1997-2001, mostraron variaciones negativas

entre 10 y 91%, las que fueron más frecuentes en el periodo 2000-2001 (Fig. 3c). Las desviaciones de abundancia de zooplancton y de temperatura del mar (Fig. 3d) tuvieron un patrón de variación inverso en 1997-1998 y otro de tipo mixto en 2000-2001, ya que la abundancia tuvo desviaciones negativas y positivas en aguas anormalmente frías.

Respecto a la relación entre la abundancia de zooplancton y la concentración de la clorofila-*a*, de manera general, se pudo determinar que el zooplancton en la bahía incrementó ligeramente su abundancia en concentraciones clorofila-*a* de hasta 7,0 mg. Sin embargo, igualmente se registraron densidades considerablemente altas coincidiendo con mínimas concentraciones de pigmento.

Con la información obtenida se elaboró una primera aproximación del ciclo estacional de la abundancia de zooplancton en Bahía Magdalena, que en invierno tuvo en promedio más de 65.000 ind 100 m<sup>-3</sup>, valor que aumentó en primavera a más de 99.000 ind 100 m<sup>-3</sup> y que se mantuvo en verano en casi 100.000 ind 100 m<sup>-3</sup> y luego descender rápidamente en otoño a casi 40.000 ind 100 m<sup>-3</sup> (Fig. 4).

Este ciclo de variación coincidió parcialmente con el obtenido para la biomasa, ya que los menores biovolúmenes se registraron en invierno y primavera (290 y 373 mL 100 m<sup>-3</sup>, respectivamente), aumentaron rápidamente en verano (1222 mL 100 m<sup>-3</sup>) y disminuyeron nuevamente en el otoño (714 mL 100 m<sup>-3</sup>).

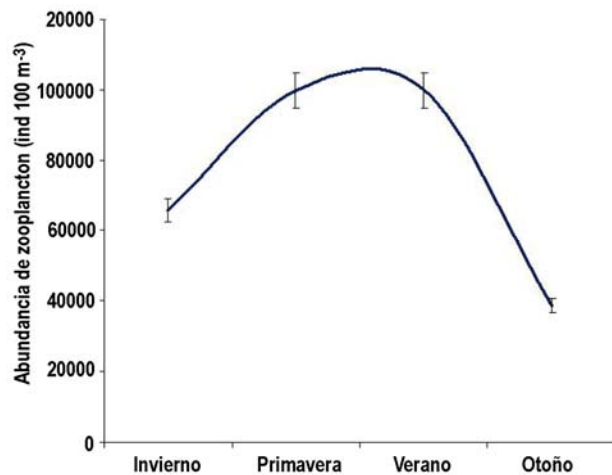


**Figura 3.** Variación de a) abundancia de zooplancton, b) biomasa zooplanctónica, c) desviación estándar de la biomasa zooplanctónica, d) anomalías de temperatura superficial del mar.

**Figure 3.** Variability of a) zooplankton abundance, b) zooplankton biomass, c) biomass zooplankton standard deviation, d) anomalies of sea surface temperature.

**Table 1.** Abundancia promedio de los principales taxa de zooplancton en Bahía Magdalena, B.C.S., México (ind 100 m<sup>-3</sup>).  
**Table 1.** Average zooplankton abundance of main taxa in Bahía Magdalena, B.C.S., Mexico (ind 100 m<sup>-3</sup>).

Taxon	Ago-97	Nov-97	Ene-98	Abr-98	Ene-00	Feb-00	Mar-00	Jul-00	Ago-00	Sep-00	Oct-00	Nov-00	Dic-00	Ene-01	Feb-01	Mar-01
Hidroida	23486	2201	16280	15893	272	2189	447	0	1587	149	11303	0	113	9217	1202	4020
Siphonophorae	238	131	1251	11515	556	0	0	70	2695	1152	0	0	306	18674	2173	2997
Nemertea	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	2909	0	0	0	0	0
Bryozoa	411	17985	1526	3879	938	0	0	661	4072	149	0	0	0	1164	1994	649
Chaetognatha	77892	19941	16142	141261	5662	10258	2372	134721	781152	28778	35431	292	27198	187427	21814	24573
Polychaeta	7748	7366	737	4101	957	3103	276	0	0	149	1003	0	353	1081	1408	573
Cladocera	14827	546610	263432	61945	37742	18698	10353	19559	15642	26408	117098	487	22431	143501	88330	64875
Cirripedia	11808	4826	980	5161	4361	1092	1352	1252	3946	1972	10540	633	637	6105	13846	38106
Ostracoda	0	396	216	0	1311	2437	131	0	1365	1035	980	486	30	294	1485	1319
Mysidacea	0	34	932	2867	2533	0	513	0	0	0	0	0	0	0	221	0
Decapoda	109311	19355	14154	591768	233816	34305	273976	140775	507451	61326	50823	388	48992	104950	104543	61254
Stomatopoda	2397	154	0	2662	69	0	149	257	21127	149	53	0	0	0	188	0
Isopoda	77	34	0	999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	0	0
Amphipoda	339	1253	122	1201	1778	171	1483	0	6791	211	2085	47	0	0	0	0
Cumacea	77	34	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euphausiacea	462	440	0	6316	49287	562	4055	0	194297	3862	0	195	0	1565	18870	812
Copepoda	2098628	148735	140153	1949845	1155656	1699904	970530	758361	2065735	351481	896932	63133	195062	861350	747738	898623
Gastropoda	22275	667	3054	21663	15662	660	8400	1067	8666	1995	6498	0	998	9891	29167	2322
Pteropoda	7242	1267	395	2252	1649	0	0	167	9720	0	0	0	0	190	0	0
Bivalvia	2359	70	380	1592	0	702	0	552	7689	5096	5264	478	113	2265	331	298
Echinodermata	1867	317814	938	0	365	0	0	0	3149	2169	30261	0	0	468	262	896
Thaliacea	4863	24446	4755	33964	114	0	0	0	680	3136	1681	0	461	17077	2553	84
Larvacea	21367	28575	11090	328449	71945	15629	30145	5343	12994	4206	56199	1167	1044	228459	123320	34265
Teleostei (huevos)	6071	909	576	45853	5781	1377	3557	59302	14562	829	911	0	196	6366	19127	4888
Teleostei (larvas)	531	289	0	7570	850	1010	158	648	1222	0	107	0	188	717	3389	1031



**Figura 4.** Ciclo estacional de la abundancia de zooplancton en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

**Figure 4.** Seasonal zooplankton abundance in Magdalena Bay, B.C.S., Mexico.

## DISCUSION

De acuerdo a la variación mensual y al valor de las anomalías de TSM en la bahía, la zona estudiada estuvo alternadamente bajo condiciones cálidas y frías. La fase cálida terminó poco después de El Niño 1997-1998 (Palomares-García *et al.*, 2003; López-Ibarra & Palomares-García, 2006), mientras que el inicio de la fase fría coincidió con La Niña 1999-2000 (Sánchez-Montante *et al.*, 2007). Ambos eventos climatológicos se asociaron a un cambio de régimen climático caracterizado por el sobrecalentamiento de aguas de la bahía, durante el régimen cálido (1997-1998) y a la intensificación de los vientos del noroeste, transporte de aguas frías e intensificación de eventos de surgencia costera (1999-2000), que caracterizó el cambio hacia un régimen frío (Lynn *et al.*, 1998; Bograd *et al.*, 2000).

El cambio del número de grupos taxonómicos del zooplancton a lo largo del tiempo es un rasgo importante en la estructura de la comunidad, y refleja cambios ambientales de salinidad, temperatura, luminosidad, densidad, circulación de agua y otros factores físicos y biológicos, que representan una amplia variedad de nichos. Esta variabilidad ambiental, de acuerdo a la escala espacial y temporal de que se trate, propicia que los grupos taxonómicos de zooplancton cambien en número, abundancia y diversidad de acuerdo a las condiciones ambientales de pequeña, mediana y larga escala.

Por el nivel de abundancia y frecuencia de ocurrencia, los copépodos, decápodos y quetognatos

fueron los grupos clave en la estructura de la comunidad zooplanctónica. Los copépodos y decápodos conformaron el primer grupo funcional (Lenz, 2000) y fueron más abundantes durante El Niño 1997-1998, y luego disminuyeron sus densidades durante La Niña 2000-2001 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>). En el caso de los quetognatos, la tendencia observada fue de un ligero incremento durante La Niña.

El resto de los grupos zooplanctónicos, no fue tan relevante como para modificar la estructura de la comunidad. Sin embargo, esto no quiere decir que los grupos menos abundantes como nemertinos, isópodos, cumáceos o pterópodos sean poco importantes en la comunidad, ya que al igual que los más numerosos, realizan la transferencia de energía en la red pelágica marina (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001; Turner, 2004). La reducción en la abundancia de la biomasa del zooplancton, puede estar relacionada también con la disminución de organismos gelatinosos en la bahía (hidromedusas, sifonóforos, taliáceos y briozoarios), pues su contenido de agua es superior al 95% (Larson, 1986), lo que influye fuertemente en las estimaciones de biomasa por el método de volumen desplazado.

La información sobre la diversidad de zooplancton a nivel de grupo taxonómico es escasa y dispersa, Palomares-García & Vera-Alejandre (1995) encontraron en febrero 1989 en una estación de muestreo en la boca de Bahía Magdalena 20 grupos taxonómicos de zooplancton, seis menos que los encontrados en este trabajo, de los cuales copépodos, cladóceros y decápodos fueron los más abundantes, coincidiendo con los resultados de esta investigación. Cota-Meza (2000) identificó 13 especies de quetognatos para el ciclo estacional 1982 (> 50% especies tropicales) y Cota-Meza *et al.* (1992) encontraron 10 especies en el ciclo de 1988 (50% especies tropicales), lo que representa 23% menos de la riqueza específica del grupo. En copépodos Palomares-García (1992) identificó 74 especies en el ciclo 1983-1984 (> 50% especies tropicales) y López-Ibarra (2002) encontró 66 especies para el periodo 1997-1998 (79-95% especies tropicales), 11% menos que en 1983-1984. En la zona marina adyacente del complejo lagunar, el porcentaje de especies tropicales de copépodos fue de 80% durante el Niño 1982-1983, que se redujo a 48% una vez que dicho fenómeno desapareció a partir de 1984 (Hernández-Trujillo, 1999).

A lo largo del ciclo estacional se percibe un incremento en la diversidad de copépodos, asociado a cambios en el flujo de la Corriente de California (CC); cuando este es fuerte y fluye hacia el sur, se presenta una dominancia de especies templadas en la bahía. Cuando la CC se debilita, se incrementa la cantidad de

especies de origen tropical y ecuatorial, en correspondencia con el avance de la Corriente Mexicana. Este patrón puede ser reforzado durante eventos ENSO, donde el avance de aguas cálidas acarrea un mayor número de especies tropicales (Palomares-García, 1992; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996). Gómez-Gutiérrez *et al.* (2001), mencionan que los cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica en el sector profundo de Bahía Magdalena se relacionan estrechamente con la variabilidad estacional del ambiente y en particular, con la temperatura y estratificación de la columna de agua. Sin embargo, aún bajo condiciones de un evento El Niño, la sucesión estacional de los copépodos dominantes prevalece y representa el mayor cambio en términos de la estructura comunitaria (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez 1996; Palomares-García *et al.*, 2003b). En un estudio que abarcó 20 meses (mayo 1997 a diciembre 1998), Palomares-García *et al.* (2003), no detectaron cambios significativos en el patrón de sucesión de las especies clave (con una representatividad entre 54 y 90%) como, *Acartia clausi*, *A. lilljeborgii* y *Paracalanus parvus*. Las especies de *Acartia* tienen su máxima abundancia durante el verano, en sincronía con el máximo de biomasa zooplanctónica, pero ambas especies alcanzaron una mayor abundancia en los meses previos al inicio del evento ENSO 1997, en comparación con la abundancia observada en 1998, cuando el ENSO estaba en pleno desarrollo en Bahía Magdalena.

La disminución en la abundancia de zooplancton coincide con el registro de anomalías negativas de TSM y el aumento en la dominancia de los tres grupos zooplanctónicos más importantes; aparentemente, esta tendencia es parte de un fenómeno regional de más largo plazo como el señalado por Roemmich & McGowan (1995) con una disminución de hasta un 80% de la biomasa de zooplancton (29-31°N, 118-125°W). Lavaniegos *et al.* (1998) también detectaron una reducción de 1 a 5% (24-29°N, 113-120°W) y MacCall *et al.* (2005) observaron una reducción aproximada de 50% para el área entre Punta Eugenia-Isla Magdalena. Dentro de Bahía Magdalena también se ha registrado una disminución de la biomasa zooplanctónica desde 1982 (Palomares-García *et al.* 2003), en magnitud equivalente a 80-90%, valor que se encuentra en concordancia con el 77% estimado en esta investigación para el periodo 2000-2001.

En la costa occidental de la península de Baja California Sur se han encontrado reducciones importantes de la biomasa de zooplancton (Lavaniegos *et al.*, 1998) y se han estimado anomalías negativas persistentes del biovolumen zooplanctónico

en la región de Punta Eugenia a Isla Magdalena (MacCall *et al.*, 2005) desde la década de los 70'. En la bahía solo se registró un máximo de abundancia de la biomasa en 1982 y a partir de ese año, se ha observado una tendencia a la baja ( $< 10 \text{ mL L}^{-1}$ ; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996). Por lo tanto, se supone que la abundancia de zooplancton estimada en este trabajo está reflejando este fenómeno de gran escala y que en la literatura se atribuye al calentamiento de los primeros 100 m de profundidad (Roemmich & McGowan, 1995), ocasionado por un cambio de régimen climático que coincide con el inicio del evento de El Niño 1958 (MacCall *et al.*, 2005). En este sentido, el ciclo de zooplancton que aquí se ha propuesto, constituye la base para confirmar o rectificar la estacionalidad obtenida, así como establecer los intervalos en que puede encontrarse en este ecosistema lagunar.

Los resultados obtenidos ubican a Bahía Magdalena en la tendencia regional de disminución de la biomasa zooplanctónica, por lo que el análisis individual de los grupos funcionales, podría aportar información pormenorizada de cómo la disminución de abundancia de zooplancton está impactando la estructura de la comunidad, en función de las fluctuaciones de densidad y frecuencia de ocurrencia de cada grupo, en respuesta a los cambios climáticos (Colebrook, 1977).

La descripción de la abundancia y diversidad de zooplancton obtenida en este trabajo, permite tener una línea base, para comparar con estudios posteriores, donde se realice un seguimiento del cambio en ambas variables, en virtud de que estos cambios pueden convertirse en impactos negativos, que influirán en la productividad biológica y por lo tanto, en el aprovechamiento de los servicios ambientales que provee el complejo lagunar.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo financiero de la CGPI del IPN (200194) y del SIMAC-CONACyT (990107007), así como a la colaboración de Conservera San Carlos. Se agradece el trabajo de laboratorio y campo de Alejandro Zárate Villafranco.

## REFERENCIAS

- Alvarez-Borrego, S., L.A. Galindo-Bect & B. Chee-Barragan. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Cienc. Mar.*, 2(2): 94-110.

- Beers, J.R. 1976. Determination of zooplankton biomass. En: H.F. Steedman (ed.). Zooplankton fixation and preservation. Monographs on oceanographic methodology. UNESCO Press, Paris, 4: 35-86.
- Badan-Dangon, A. 1997. La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En: M.F. Lavín (ed.). Contribuciones a la oceanografía física en México. Unión Geofísica Mexicana, México, Monografía 3, pp. 99-112.
- Bograd, S.J., P.M. Digiaco, R. Durazo, T.L. Hayward, K.D. Hyrenbach, R.J. Lynn, A. Mantyla, F. Schwing, W.J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos & C.S. Moore. 2000. The state of the California Current: forward to a new regime? CalCOFI Rep., 41: 26-52.
- Colebrook, J.M. 1977. Annual fluctuations in biomass of taxonomic groups of zooplankton in the California Current. US Fish. Bull., 75: 357-368.
- Brinton, E. & J. Reid. 1986. On the effect of interannual variations in circulation and temperature upon euphausiids of the California Current. En: A.C. Pierrot-Bults, S. Van der Spoel, B. Zahuranec & R. Johnson (eds.). A pelagic biogeography. UNESCO Tech. Pap., Mar. Sci., 49: 25-34.
- Cota-Meza, S., M. Haro-Garay & V. Masse-Zendejas. 1992. Distribución y abundancia de quetognatos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México durante el ciclo estacional 1988-1989. Invest. Mar. CICIMAR, 7: 47-59.
- Cota-Meza, S. 2000. Análisis de la distribución de las poblaciones de quetognatos (Chaetognatha) en el complejo lagunar Bahía Magdalena, Baja California Sur durante el año de 1982. Tesis de Maestría, IPN-CICIMAR, La Paz, B.C.S., 113 pp.
- Esqueda-Escárcega, G., A. Esquivel, R. Funes, R. González, M. Haro, M. Henández, S. Hernández-Trujillo, R. Saldierna, M. Sánchez, C. Sánchez & 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 pp.
- Funes-Rodríguez, R., J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García. 2007. Área de estudio: complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas. En: R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena, CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, pp. 21-28.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, R. De Silva-Dávila, M.A. Carballido-Carranza & A. Martínez-López. 1999. Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. J. Plankton Res., 21(12): 2227-2244.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, S. Hernández-Trujillo & A. Carballido-Carranza. 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. Rev. Biol. Trop., 49(2): 545-558.
- Hernández-Trujillo, S. 1991a. Copépodos pontélicos en Bahía Magdalena, Baja California Sur (Junio, Julio de 1988). Invest. Mar. CICIMAR, 6(1): 155-163.
- Hernández-Trujillo, S. 1991b. Patrones de distribución y abundancia de *Calanus pacificus* en relación a la temperatura superficial en el Pacífico de Baja California Sur, México, (1982-1986). Rev. Invest. Cient., 2(1): 56-64.
- Hernández-Trujillo, S. 1999. Variability of community structure of Copepoda related to El Niño 1982-83 and 1987-88 along the west coast of Baja California Peninsula, Mexico. Fish. Oceanogr., 8(4): 284-295.
- Hernández-Trujillo, S., R. Cervantes-Duarte & S. Aguíñiga-García. 1997. Variación espacial y temporal de algunas variables físicas, químicas y biológicas en Bahía Magdalena, B.C.S. (Julio-Agosto, 1988) Rev. Invest. Cient., 8(1-2): 1-13.
- Hernández-Trujillo, S., A. Zárate-Villafranco & G.M. Esqueda-Escárcega. 2005. Estudio inicial de la distribución vertical del biovolumen de zooplancton en bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Océanides, 20(1-2): 9-16.
- Gárate, L.I. 1992. Variación espacio temporal de la abundancia fitoplanctónica y de la estructura de las asociaciones microfitorplánctónicas en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas durante 1984-1986. Tesis de Maestría en Ciencias. IPN-CICIMAR, La Paz, B.C.S. México, 84 pp.
- Jeffrey, S.W. & G.F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll's a, b, c1, and c2 in algal phytoplankton and higher plants. Bioch. Phys. Pflanzen, 167: 191-194.
- Larson, R.J. 1986. Water content, organic content, and carbon and nitrogen composition of medusae from the northeast Pacific. J. Exp. Biol. Ecol., 99: 107-120.
- Lavaniegos-Espejo, B., J. Gómez-Gutiérrez, J.R. Lara-Lara & S. Hernández-Vásquez. 1998. Long-term changes in zooplankton volumen in the California Current System: the Baja California region. Mar. Ecol. Prog. Ser., 169: 55-64.
- Lavín, M.F., E. Beier & A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: escalas estacional e interanual. En: M.F. Lavín (ed.). Contribuciones a la oceanografía física en México. Unión Geofísica Mexicana, Monografía 3, México, pp. 141-172.



- Lenz, J. 2000. Introduction. En: R.P. Harris, P.H. Wiebe, J. Lenz, H.R. Skjoldal & M. Huntley (eds.). Zooplankton methodology manual. Academic Press, London, pp.1-32.
- López-Ibarra, G. & R. Palomares-García. 2006. Estructura de la comunidad de copépodos en Bahía Magdalena, México, durante El Niño 1997-1998. *Rev. Biol. Oceanogr.*, 4(1): 63-76.
- Lynn, R.J., T. Baumgartner, J. Garcia, A. Collins, R. Hayward, K.D. Hyrenbach, W. Mantyla, T. Murphree, A. Shankjle, F.B. Schwing, K.M. Sakuna & M.J. Tegner. 1998. The state of the California Current in 1997-98: a transition to El Niño conditions. *CalCOFI Report*, 39: 25-50
- MacCall, A., H. Batchelder, J. King, D. Mackas, N. Mantua, G. Mcfarlane, I. Perry, J. Schweighert & F. Schwing. 2005. Recent ecosystem changes in the California Current System. En: J.R. King (ed.). Report of the study group on fish. and ecosystem responses to recent regime shifts. PICES Scientific Report 28, Appendix 2: 65-86.
- Nienhuis, H. & R. Guerrero. 1985. A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena lagoon complex (México). *J. Plankton Res.*, 7(4): 427-441.
- Obeso-Nieblas, M., J.H. Gaviño-Rodríguez & A. Jiménez-Illescas. 1999. Modelación de la marea en el sistema lagunar bahía Magdalena, B.C.S. México. *Oceánides*, 14(2): 79-88.
- Palomares-García, R. 1992. Analysis of the taxocoenosis of copepods in the lagoon complex of Magdalena-Almejas bay, B.C.S. en 1985-1986. *Cienc. Mar.*, 18: 71-92.
- Palomares-García, R.J. & R. Vera-Alejandre. 1995. Predation upon larvae of the Pacific sardine *Sardinops sagax* by cyclopoid copepods. *J. Crust. Biol.*, 15: 196-201.
- Palomares-García, R. & J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-1984. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 43: 583-595.
- Palomares-García, R., A. Martínez-López, R. De Silva-Dávila, R. Funes-Rodríguez, M.A. Carballido-Carranza, R. Avendaño-Ibarra, A. Hinojosa-Medina & G.A. López-Ibarra. 2003. Biological effects of El Niño 1997-98 on shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3): 455-466.
- Roemmich, D. & J. McGowan. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science*, 267: 1324-1326.
- Sánchez-Ortiz, C. & J. Gómez-Gutiérrez. 1992. Distribución y abundancia de los estadios planctónicos de la jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Rev. Invest. Cient.*, 3: 47-60.
- Sánchez-Montante, O., O. Zaitsev & M. Saldívar-Reyes. 2007. Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena, IPN-CICIMAR, La Paz Baja California Sur, México, pp. 1-28.
- Turner, J.F. 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool. Stud.*, 43(2): 255-266.
- Zaitsev, O., O. Sánchez-Montante & C.J. Robinson. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar. Bahía Magdalena-Almejas. En: R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena, IPN-CICIMAR, La Paz, Baja California Sur, México, pp. 29-43.

Received: 9 December 2009; Accepted: 12 August 2010