



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

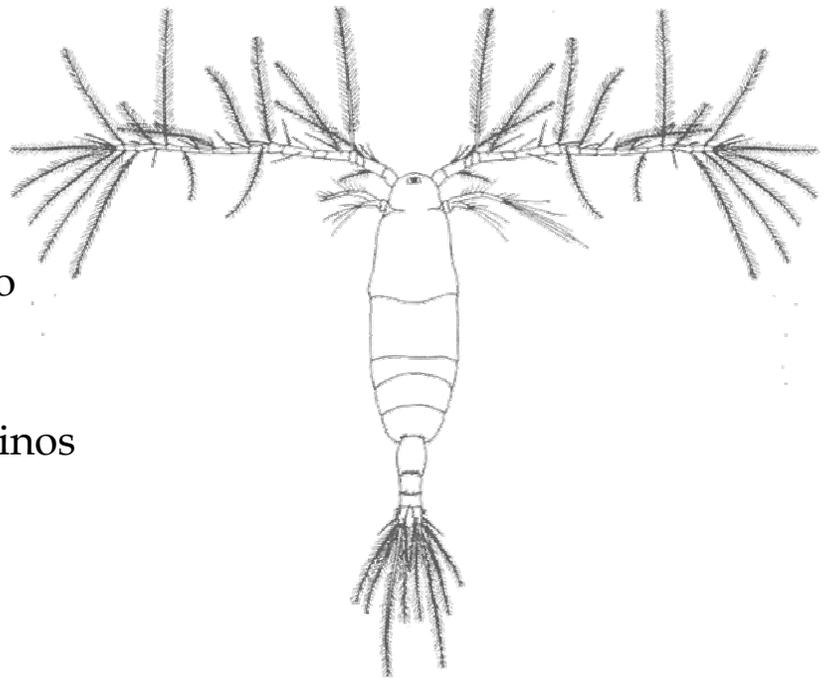


Departamento de Plancton y Ecología Marina

Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena B.C.S., México durante El Niño 1997/98

Tesis:

que para obtener el grado
de Maestro en Ciencias
con Especialidad en
Manejo de Recursos Marinos



Presenta:

Gladis Angélica López Ibarra

La Paz, B. C. S., México, noviembre de 2002



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 09:00 horas del día 14 del mes de noviembre del 2002 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

“ESTRUCTURA DE LA TAXOCENOSIS DE COPÉPODOS EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S., MÉXICO, DURANTE EL NIÑO 1997/98”

Presentada por el alumno:

LÓPEZ

Apellido paterno

IBARRA

materno

GLADIS ANGÉLICA

nombre(s)

Con registro:

A	9	9	0	0	4	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

MC. JOSÉ RICARDO PALOMARES GARCÍA

PRESIDENTE

SECRETARIO

DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES

SEGUNDO VOCAL

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

TERCER VOCAL

MC. DAVID LOPEZ CORTÉS

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION

*A Mis Padres,
Por su amor y su apoyo incondicional.
A ustedes debo todo lo que soy.*

Agradecimientos:

Al M. en C. Ricardo Palomares García por dirigir esta tesis, por la paciencia que me ha tenido y por enseñarme todo lo que hasta ahora sé de los copépodos y sobre todo, por ser un buen amigo y apoyarme en las buenas y en las malas (me debes la dirección del brujo eh!!!) muchas gracias Palomares.

Al comité revisor de esta tesis, por sus comentarios y sugerencias para mejorar el trabajo: Dr. Sergio Hernández Trujillo, por los buenos consejos, por hablarme fuerte cuando lo necesitaba y por todo el apoyo brindado, gracias Sergio (ahora ya no te tengo miedo); M. en C. Gustavo de la Cruz Agüero, por tener siempre un tiempo y sacarme de mis dudas, aunque me dijeras “No desde ahorita”; Dr. David Alfaro Sequeiros Beltrones y al M. en C. David López Cortés, por las correcciones de esta tesis y por todos sus consejos, comentarios y sugerencias para mejorar este trabajo. A todos muchas gracias por ayudarme a cumplir esta meta.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN), por el apoyo económico otorgado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico recibido.

A los compañeros del CICIMAR, a José Ángel, Alfredo y Salvador (gracias a ustedes llegue aquí), a Humberto Ceseña (por la buena onda con que siempre me trato y por darme la noticia de que me aceptaron en la maestría, gracias Dr.), a Marcial Villalejo (por ser mi amigo, por todos sus consejos y por llevarme a conocer el Depto. de Plancton), a Ricardo Saldierna (jefe del Depto. de Plancton y Ecol. Marina) y a todos los que han estado cerca de mi estos años.

A todos los compañeros del Departamento de Plancton y Ecología Marina por todo el apoyo brindado, algunos por ser buenos amigos y ayudarme a salir adelante en los momentos difíciles, otros no tanto, pero ellos me ayudaron a ser cada día más fuerte y se los agradezco mucho.

A Gabriela Esqueda (Bombón), por los buenos consejos, por ser mi confidente, por darme ánimo y apoyo en los momentos difíciles y por todas esas platicas tan buenas (tu sabes de que tema), gracias por tu amistad.

A Roció Pacheco (Bellota), por todos los consejos que me has dado y por aguantarme de compañera de cubículo, gracias por todo Chio.

A Roxana de Silva, por enseñarme la técnica para colectar zooplancton, por el conocimiento transmitido sobre los grupos del zooplancton y por renegar junto conmigo del Palomares.

A Tere Barriga, por todas las pláticas, los buenos consejos, por darme ánimos para terminar esta tesis, por las salidas a divertirnos y por tu buena onda.

A mis amigas Elba y Paty por todo su apoyo en los malos ratos.

A Andrea y Jorge, por todos los buenos momentos que compartimos juntos, cuando las cosas estaban tan difíciles aquí en La Paz.

A los amigos (con hijos incluidos, los que tienen), José y Gina, Tere y Lorenzo, Bety y Hugo, Mily y Carlos, Irene y Ángel, Mary y Román, Carmen y Mauricio, Carmen y Salvador, por su amistad, por los momentos tan divertidos que hemos pasado juntos, por los campamentos y por todas esas posadas, pre-posadas, cumpleaños, no cumpleaños y pretextos para hacer buenas fiestas (con brincolin, en el lugar de siempre).

A Judith Nolasco, por ser mi mejor amiga, te espero pronto por aquí en La Paz.

A mis familiares, Elia y José (mis padres), Adrián (mi hermano), Josefina (mi abuela), Silvia y Leticia (mis tías), Karime, Selene, Abel y María José (mis primos, casi hermanos), a todos muchas gracias por estar siempre conmigo y mandarme su apoyo y sus bendiciones, los quiero.

Especialmente y con todo mi amor a Manuel Zetina, por tu amor, comprensión, compañía, por estar conmigo siempre, por los consejos y regaños cuando me desesperaba por la tesis (mira que sirvieron), gracias Manuel por hacerme una mujer felizmente casada.

INDICE

INDICE	I
GLOSARIO	II
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. ANTECEDENTES	5
4. ÁREA DE ESTUDIO	7
5. MATERIAL Y MÉTODOS	9
5.1. MUESTREO DE CAMPO	9
5.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO	9
5.3. ANÁLISIS DE DATOS	10
6. RESULTADOS	12
6.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y BIOMASA ZOOPLANCTÓNICA	12
6.2. COMPOSICIÓN ESPECÍFICA	20
6.3. ABUNDANCIA ESPECÍFICA	24
6.4. DOMINANCIA Y DIVERSIDAD ESPECÍFICA	28
6.5. ORDENACIÓN	34
7. DISCUSIÓN	43
8. CONCLUSIONES	55
9. BIBLIOGRAFÍA	57
10. ANEXO	63

GLOSARIO

Antiestuario. (Estuario Negativo), Lugar donde el nivel de evaporación es mucho mayor que el aporte por lluvia, es típico de bahías cálidas. Pertenecen a este tipo muchas bahías tropicales, entre ellas la bahía fosforescente, en Puerto Rico. A una escala mayor, el Mediterráneo se puede considerar como un antiestuario (Margalef, 1980).

Diversidad. Es una medida regional o local de la variedad de especies en una comunidad que toma en cuenta la abundancia relativa de cada especie (Ricklefs y Miller, 1999). Sin embargo es un concepto difícil de definir debido a que incluye dos componentes: la variedad y la abundancia relativa de las especies. La diversidad puede ser medida registrando solamente el número de las especies, describiendo la abundancia relativa o usando una medida o índice que combine los dos componentes (Magurran, 1988)

Dominancia. Condición en las comunidades o estratos vegetales donde una o más especies, por su número, cobertura o tamaño ejerce influencia considerable sobre las demás especies y controla las condiciones de su existencia (Krebs, 1985).

Ecotono. Es una transición entre dos o más comunidades diversas como, por ejemplo, entre bosque o pradera o entre una comunidad marina de fondo blando y otra de fondo duro. La comunidad ecotonal suele contener muchos de los organismos de cada una de las comunidades que se entrecortan y además, organismos que son característicos del ecotono y que a menudo están confinados en él (Odum, 1972).

El Niño. El término de El Niño fue originalmente usado por los pescadores de las costas del Perú y Ecuador, ellos notaron la aparición de una corriente de agua inusualmente cálida en el Océano Pacífico, que se presenta a principios de año, coincidiendo con la época navideña (el nombre hace alusión al nacimiento del niño Dios), este se presenta con intensidad variable cada 2-7 años. El Niño fue pronto reconocido como un calentamiento oceánico en gran escala que afecta la mayor parte del Pacífico tropical. (http://www.csal.co.uk/hottopics/el_nino/sp-review.html)

ENSO. Es la interacción que se presenta entre el océano Pacífico Tropical y la atmósfera, tiene dos componentes una oceánica (El Niño) y una atmosférica (la oscilación del sur). En la costa peruana la fase cálida del ENSO, conocida como El Niño, se manifiesta

principalmente por la incursión de aguas cálidas a consecuencia de la llegada de ondas Kelvin desde el oeste, que invaden el sistema de surgencias costero (caracterizado por aguas frías, ricas en nutrientes), cambios en la dirección de las corrientes marinas, elevación de la temperatura y del nivel del mar, disminución de nutrientes para el fitoplancton y macroalgas marinas y como consecuencia la disminución de alimento para los peces. La fase fría del ENSO, se conoce como La Niña, se manifiesta como masas de agua frías, que al contrario de El Niño se propagan hacia el oeste, durante este periodo se incrementa la productividad primaria.

(<http://www.concytec.gob.pe/investigacion/biologia/riben/ant.htm>)

Especie Alóctona. Son aquellas que no son propias de un área en particular, pero que pueden registrarse en el sitio dependiendo de la época del año o de las condiciones ambientales.

Estructura de la Taxocenosis o Asociación. Descripción de un segmento del ecosistema. Grupos de especies de una comunidad que responden de manera similar a factores bióticos y abióticos, los cuales influyen en la distribución, abundancia y en las interacciones de las especies (Ludwig y Reynolds, 1988)

Equidad. Considera la manera en la que se distribuye la abundancia de cada especie en la taxocenosis.

Fitoplancton. Porción vegetal del plancton. Son comunidades de algas microscópicas que flotan libremente en el agua; las hay marinas y de agua dulce (Krebs, 1985).

Isolinea. Línea o superficie que conecta en una gráfica todos los puntos de igual valor ya sea temperatura, salinidad, etc. en un momento determinado o durante un periodo específico.

Oscilación del sur. Es una variación inversa de la presión entre Darwin (12.4°S, 139.9°E), una localidad del norte de Australia y Tahití (17.5°S, 149.6°O), una Isla del Pacífico central ecuatorial. Normalmente la presión atmosférica en Darwin es menor que la presión en Tahití, ya que en la primera localidad ejerce su efecto la masa de agua cálida del Pacífico y en consecuencia los vientos soplan de este a oeste. Si a la presión

de Tahití se le resta el valor de la presión de Darwin, la diferencia resulta positiva. Cuando ocurre la Oscilación del Sur, la diferencia adquiere un valor negativo.

Plancton. Conjunto de organismos tanto animales como vegetales que habitan a la deriva en la columna de agua; su capacidad de movimiento es insuficiente para evitar ser transportados pasivamente por las corrientes.

Surgencia. Se refiere al movimiento ascendente de aguas subsuperficiales, más frías y con mayor concentración de nutrientes, que reemplazan a las aguas superficiales en zonas restringidas del océano. Las surgencias más importantes que se presentan en el océano son las surgencias costeras, las cuales son provocadas por vientos hacia el ecuador en los océanos con frontera oriental (Amador-Buenrostro y Figueroa-Rodríguez, 1997).

Taxocenosis. Parte de la comunidad formada por los representantes de un grupo taxonómico.

Zooplancton. Animales que forman parte del plancton; la comunidad de animales de aguas marinas y dulces que flotan a la deriva en el agua y que se mueven pasivamente con las corrientes (Krebs, 1985).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.	8
Figura 2. Anomalías de la temperatura superficial del mar de enero de 1982 a septiembre de 1989 y de mayo de 1997 a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena, B.C.S., México. (Modificada de: Palomares-García et al., en prensa).	13
Figura 3. Serie de tiempo del promedio de temperatura superficial del mar (°C), en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificada de: Palomares-García et al., en prensa).	14
Figura 4. Temperatura superficial del mar para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.	16
Figura 5. Serie de tiempo de la biomasa zooplanctónica (ml/m ³) de enero de 1982 a septiembre de 1989 y de mayo de 1997 a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificada de: Palomares-García et al., en prensa).	17
Figura 6. Biomasa zooplanctónica para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.	19
Figura 7. Afinidad biogeográfica de la taxocenosis de copépodos para a) mayo, b) agosto, c) noviembre de 1997 y d) enero de 1998 en Bahía Magdalena, México.	22
Figura 8. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en mayo de 1997.	24
Figura 9. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en agosto de 1997.	25
Figura 10. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en noviembre de 1997.	26
Figura 11. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en enero de 1998.	27
Figura 12. Curvas de K-Dominancia de la taxocenosis de copépodos para los cuatro meses de estudio.	28
Figura 15. Distribución espacial de la diversidad para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.	32
Figura 16. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para mayo de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) <i>Acartia clausi</i> , (Pa) <i>Paracalanus aculeatus</i> , (Lj) <i>Labidocera jollae</i> , (Cs) <i>Corycaeus speciosus</i> , (Ca) <i>Corycaeus andrewsi</i> , (Or) <i>Oithona rigida</i> , (Pw) <i>Pseudodiaptomus wrighti</i> , (Al) <i>Acartia lilljeborgii</i> y (Lt) <i>Labidocera trispinosa</i> . Segundo conjunto: (Cp) <i>Calanus pacificus</i> , (Ea) <i>Euterpina acutifrons</i> y (Cr) <i>Corycaeus robustus</i>	35
Figura 17. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para agosto de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) <i>Acartia clausi</i> , (Al) <i>Acartia lilljeborgii</i> , (Lt) <i>Labidocera trispinosa</i> . (Pw) <i>Pseudodiaptomus wrighti</i> , (Cf) <i>Centropages furcatus</i> ; (Cr) <i>Corycaeus robustus</i> , (Cp1) <i>Canthocalanus pauper</i> , (Uv) <i>Undinula vulgaris</i> y (Ea) <i>Euterpina acutifrons</i> . Segundo conjunto: (Pa) <i>Paracalanus aculeatus</i> , (Pa) <i>Paracalanus parvus</i> , (Ad) <i>Acartia danae</i> , (Ov) <i>Oncea venusta</i> , (Oc) <i>Oncea confiera</i> , (Fg) <i>Farranula gibbula</i> , (Em) <i>Euchaeta</i>	

<i>marina</i> , (Ss) <i>Subeucalanus subcrassus</i> , (Ps) <i>Pareucalanus sewelli</i> , (Cs) <i>Corycaeus speciosus</i> , (Cp2) <i>Calocalanus pavo</i> , (Cl) <i>Corycaeus lautus</i> , (Sb) <i>Scolecithrix bradyi</i> , (Ag) <i>Acrocalanus gracilis</i> , (Nm) <i>Nanocalanus minor</i> , (Op) <i>Oithona plumifera</i> , (Cc) <i>Corycaeus catus</i> (La) <i>Labidocera acuta</i> , (La1) <i>Labidocera acutifrons</i> y (Td) <i>Temora discaudata</i>	37
Figura 18. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para noviembre de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) <i>Acartia clausi</i> , (Al) <i>Acartia lilljeborgii</i> , (Ca) <i>Corycaeus andrewsi</i> , (Cr) <i>Corycaeus robustus</i> , (Cf) <i>Centropages furcatus</i> , (Pw) <i>Pseudodiaptomus wrighti</i> , (La) <i>Labidocera acuta</i> , (Ov) <i>Oncea venusta</i> , (Oc) <i>Oncea confiera</i> , (Uv) <i>Undinula vulgaris</i> y (Lt) <i>Labidocera trispinosa</i> . Segundo conjunto: (Cp2) <i>Calocalanus pavo</i> , (Os) <i>Oithona similis</i> , (Ot) <i>Oithona tenuis</i> , (Pa) <i>Paracalanus aculeatus</i> , (Pa) <i>Paracalanus parvus</i> , (Ea) <i>Euterpina acutifrons</i> , (Td) <i>Temora discaudata</i> , (Fg) <i>Farranula gibbula</i> , (Ss) <i>Subeucalanus subcrassus</i> , (Ag) <i>Acrocalanus gracilis</i> , (Ps) <i>Pareucalanus sewelli</i> , (Cc) <i>Corycaeus catus</i> , (Ad) <i>Acartia danae</i> , (Cp1) <i>Canthocalanus pauper</i> , (Em1) <i>Euchaeta media</i> y (Ca) <i>Clausocalanus arcuicornis</i>	38
Figura 19. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para enero de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) <i>Acartia clausi</i> , (Al) <i>Acartia lilljeborgii</i> , (Pw) <i>Pseudodiaptomus wrighti</i> , (Or) <i>Oithona rigida</i> , (Ag) <i>Acrocalanus gracilis</i> , (Ea) <i>Euterpina acutifrons</i> , (Lt) <i>Labidocera trispinosa</i> , (Ca) <i>Clausocalanus arcuicornis</i> , (Cc) <i>Corycaeus catus</i> , (La) <i>Labidocera acuta</i> , (El) <i>Euchaeta longicornis</i> , (Td) <i>Temora discaudata</i> , (Fg) <i>Farranula gibbula</i> , (Cp1) <i>Canthocalanus pauper</i> , (Ss) <i>Subeucalanus subcrassus</i> , (Ps) <i>Pareucalanus sewelli</i> , (Ad) <i>Acartia danae</i> , (Cl1) <i>Corycaeus latus</i> , (Oc) <i>Oncea confiera</i> , (Ov) <i>Oncea venusta</i> y (Cr) <i>Corycaeus robustus</i> . Segundo conjunto: (Em) <i>Euchaeta marina</i> , (Uv) <i>Undinula vulgaris</i> , (Cp2) <i>Calocalanus pavo</i> , (Cs) <i>Corycaeus speciosus</i> , (Nm) <i>Nanocalanus minor</i> , (Ca) <i>Corycaeus andrewsi</i> , (Pa) <i>Paracalanus aculeatus</i> y (Op) <i>Oithona plumifera</i>	40
Figura 20. Abundancia de las especies dominantes en relación con la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, México	42
Figura 21. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de mayo de 1997 (Modificada de: http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/).....	44
Figura 22. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de agosto de 1997 (Modificada de: http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/).....	44
Figura 23. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de noviembre de 1997 (Modificada de: http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/).....	45
Figura 24. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de enero de 1998 (Modificada de: http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/)	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de especies de copépodos subtropicales y tropicales encontradas durante el evento El Niño 1997/98 pero no en eventos anteriores en Bahía Magdalena, B.C.S., México.....	23
Tabla 2. Análisis de varianza de dos vías del índice de diversidad.....	33
Tabla 3. Prueba de Tukey de diferencias significativas de diversidad entre los meses de estudio.....	33
Tabla 4. Especies de copépodos de afinidad subtropical y tropical que solo aparecieron en dos eventos El Niño, en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificado de: Palomares-García <i>et al.</i> , en prensa).	52

RESUMEN

El fenómeno de El Niño 1997/98 presentó un patrón diferente a eventos previos en Bahía Magdalena (México), por su aparición temprana y por la intensidad de las anomalías positivas de temperatura superficial registradas. Con el propósito de observar el impacto que esto ocasionó en el ecosistema, se evaluaron los cambios estacionales de la taxocenosis de copépodos, asociados a los cambios ambientales durante un ciclo estacional (mayo, agosto y noviembre de 1997 y enero de 1998). Los resultados indican que en mayo de 1997, antes de la llegada de aguas cálidas al área, la taxocenosis estuvo constituida por una baja diversidad y el predominio de dos especies de afinidad templada; *Calanus pacificus* y *Labidocera trispinosa*, quienes contribuyen con un 70% de la abundancia total. Para el período cálido (agosto y noviembre), las especies dominantes cambiaron hacia aquellas de origen tropical que son propias de ambientes lagunares tales como *Acartia clausi* y *Acartia lilljeborgii* (80% de la abundancia total). Durante agosto, la diversidad tuvo un incremento notable en las estaciones influenciadas por agua del exterior de la bahía; en tanto que para noviembre la diversidad tuvo un ascenso en la mayoría de las estaciones, para enero se observó un incremento generalizado de la diversidad en toda el área. De acuerdo con el análisis de componentes principales, los resultados permiten identificar la separación de dos ambientes, uno ligado a las aguas internas de la bahía, donde las especies que dominan son especies residentes y especies que frecuentemente entran a la bahía por intercambio de marea; el otro ambiente se asocia con las estaciones influenciadas por aguas del exterior, en donde las especies dominantes son de ambientes oceánicos o neríticos. Es en esta última área, donde se refleja con mayor claridad la llegada de aguas cálidas y su fauna asociada. Los cambios más relevantes en la taxocenosis de copépodos coinciden con la presencia de anomalías positivas de temperatura. Entre los cambios más notables se pueden mencionar: el incremento en un 75% de las especies de afinidad tropical y la presencia de *Pontella fera*, que es una especie nerítica de afinidad tropical que solo había sido registrada para la parte sur del Golfo de California. Durante el período de relajación del evento, estos cambios se reflejan no solo en la fauna alóctona, sino que inciden en las especies dominantes al interior de la bahía, observándose la sustitución de la especie templada *Paracalanus parvus*, por la especie de afinidad tropical *Paracalanus aculeatus*.

ABSTRACT

El Niño event 1997/98 showed a different behavior from previous events in Magdalena Bay (Mexico), due to its early appearance and to the maximum intensity of the registered positive anomalies. In order to determine the impact of this event, the seasonal changes of the copepod taxocoenosis were observed, associated to the environmental changes during this period, with the purpose of assessing the impact of the phenomenon in this ecosystem. The results indicate that in May of 1997, before the arrival of warm waters to Magdalena bay, the taxocoenosis was marked by a low diversity and the dominance of species of the exterior of the bay that are abundant when the influence of the California's current is bigger (*Calanus pacificus* and *Labidocera trispinosa* represent 70% of the total abundance). For the warm period (August and November), the dominant species were characteristic of coastal lagoon habitats as *Acartia clausi* and *A. lilljeborgii* (80% of the total abundance). During August, the diversity only increased in the stations influenced by water of the exterior; while in November the diversity increased in most of the stations and in January a widespread increase of the diversity was observed in the whole area. In accordance with the analysis of principal components, the results allow to identify the separation of two environments, one bound to the internal waters of the bay, where the species that dominate are species residents and species that frequently enter the bay by tide exchange; the other environment associates with the stations influenced by water of the exterior, where the dominant species are from oceanic or neritic zones. In the later area the arrival of warm waters and their associated fauna due to the "El Niño" event is more clearly reflected. The most important changes in the copepod taxocoenosis coincide with the presence of higher temperature anomalies $>4^{\circ}\text{C}$. An increase up to 75% of the species of tropical affinity, the presence of *Pontella fera* which is neritic of tropical affinity that had only been reported previously for the southern part of the Gulf of California. During the period of relaxation of the event, changes are not reflected only in the foreigner fauna, but they incide on the dominant species in the interior of the bay, where a substitution of the temperate species *Paracalanus parvus*, by *P. aculeatus* which is from tropical affinity occurred.

1. INTRODUCCIÓN

El Niño es un fenómeno oceanográfico que se caracteriza por alteraciones en los patrones normales de circulación del océano y de la atmósfera. En condiciones normales los vientos alisios soplan de Este a Oeste a través del Pacífico tropical, y desplazan a su paso el agua superficial desde las costas de Sudamérica hacia las costas de Australia, dando origen a la Corriente Ecuatorial. Mientras los vientos alisios continúan soplando hacia el Oeste, la termoclina emerge casi hasta la superficie en el Este y se profundiza en el Oeste (Wrytki, 1965; 1975). Durante El Niño los vientos alisios se debilitan por la modificación de los campos de presión (hacia el Este); al cambio en los vientos y en la presión atmosférica se le conoce como Oscilación del Sur. Cuando la Oscilación del Sur presenta valores negativos, los campos de presión no provocan vientos hacia el Oeste como para mantener la masa de agua cálida en su posición normal. Entonces, la diferencia en los niveles medios del mar entre el Pacífico tropical oriental y el occidental tienden a compensarse y se forma una Onda de Kelvin; ésta se mueve a lo largo de todo el Pacífico ecuatorial, llegando a las costas de América de 4 a 6 meses después de haberse generado. Una vez que la Onda de Kelvin alcanza las costas de América se divide hacia el norte y el sur, a lo largo de la costa. Todo esto da lugar al hundimiento de la termoclina en el Pacífico Oriental y su elevación en el Oeste (Barber *et al.*, 1985; Norton *et al.*, 1985).

Se ha documentado que como consecuencia del hundimiento de la termoclina se presenta una disminución de la productividad primaria en las zonas de surgencia frente a las costas de Perú, debido a la baja disponibilidad de nutrientes y a las elevadas temperaturas (Barber *et al.* 1985), esto también ha sido observado en la Corriente de California (Fiedler, 1984; Mullin, 1995; Lenarz *et al.*, 1995) y en la costa occidental de la península de Baja California. En esta última, la biomasa del zooplancton presenta una marcada disminución en respuesta a la escasez de alimento (Chelton *et al.*, 1982 y McGowan, 1985). Tales cambios en los primeros niveles tróficos traen consigo cambios en los siguientes niveles. De esta forma, se han documentado cambios en la distribución y abundancia de invertebrados (Lenarz *et al.*, 1995) y en algunos grupos particulares, como es el caso de los eufáusidos (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995). Durante El Niño 1982/83, la comunidad de eufáusidos registró una elevada abundancia de especies tropicales y endémicas del Pacífico oriental tropical, mientras que las especies templadas

tuvieron una drástica disminución en su abundancia (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995). En tanto que durante el evento de 1986/87, la estructura de la comunidad sufrió pocos cambios, en coincidencia con un evento menos intenso (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995). El incremento en el número de especies tropicales y la disminución de especies templadas también se ha observado en las comunidades de copépodos, en Baja California durante los eventos de 1982/83 y 1987/88 (Hernández-Trujillo, 1999) y en la región sur de California durante El Niño 1997/98 (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002). Sin embargo, en Bahía Magdalena, a pesar de la marcada disminución en el fitoplancton durante El Niño 1982/83 (Nienhuis y Guerrero-Caballero, 1985; Nienhuis, 1986; Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998; Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000), la sucesión estacional de las especies dominantes de la comunidad de copépodos sufrió poca variación (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996), lo que sugiere una elevada capacidad de estas especies para adaptarse a los cambios ambientales. Esta capacidad de los copépodos podría indicar una atenuación de los efectos de El Niño hacia el interior de la bahía, debido a que estos representan entre un 50% y un 90% de la biomasa zooplanctónica (Palomares-García, 1992).

Las comunidades de peces también son afectadas por los cambios climáticos y la falta de alimento provocando la disminución de las poblaciones debido a bajos reclutamientos en diversas especies de peces (Barber *et al.*, 1985; Lenarz *et al.*, 1995). A este respecto, Fiedler (1984) menciona que el efecto de El Niño 1982/83 en las costas de California no fue directo sobre la actividad de desove de la anchoveta norteña, ya que la población se distribuyó en una área extensa y se observó una mayor proporción de hembras. No obstante, la escasez de alimento se vió reflejada en un crecimiento lento de larvas, juveniles y adultos. En la costa de Baja California Sur se ha observado que los cambios climáticos afectan los patrones de distribución de las larvas de especies de interés pesquero en la región, como la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*) y la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) (Funes-Rodríguez *et al.*, 1995; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998), además la influencia del evento El Niño 1982/83 en Bahía Magdalena se asoció con una baja actividad reproductiva de la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*), indicada por un pobre reclutamiento larval (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987).

Los eventos El Niño y en particular el de 1982/83, se han asociado con marcadas alteraciones en los patrones de reproducción, distribución, abundancia y disminución de

diversos organismos, no obstante cada evento presenta particularidades que modifican su impacto sobre cada ecosistema. En Bahía Magdalena el evento de El Niño 1997/98 se caracterizó por tener un comportamiento diferente a eventos previos, debido a que las primeras anomalías positivas se registraron en junio de 1997, a diferencia de El Niño de 1982/83 que inició en noviembre. El evento de 1997/98 también se destacó por su intensidad, ya que al menos en su etapa inicial superó al considerado como el más intenso del siglo veinte (1982/83), aunque tuvo una duración menor (15 meses), mientras que el de 1982/83 duró aproximadamente 23 meses.

Palomares-García (1992) y Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996), observaron un incremento en la proporción de especies de origen tropical y cambios en la sucesión de la especies dominantes, dentro de Bahía Magdalena. Donde *Acartia clausi* es sustituida por *Acartia tonsa* en el periodo de mayor intensidad del evento 1982-83 (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996). La aparición temprana y la magnitud del evento del Niño 1997/98 sugieren que la estructura de la taxocenosis de copépodos pudiera presentar un comportamiento diferente. Por ello, en el presente trabajo, se analizan los cambios estacionales de la taxocenosis de copépodos, como respuesta a las condiciones climáticas anómalas generadas durante el evento de El Niño 1997/98.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar la variación de la estructura de la taxocenosis de copépodos en función de los cambios del ambiente, asociados con el evento de El Niño 1997/98 en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las especies de copépodos presentes durante El Niño 1997/98.
- Determinar la distribución y abundancia de las especies de copépodos.
- Determinar la estructura de la taxocenosis de copépodos y su variación estacional.
- Analizar la variación de la estructura de la taxocenosis de copépodos en función de la temperatura.

3. ANTECEDENTES

Se han realizado varios trabajos relacionados con los efectos que ocasiona el calentamiento temporal de la superficie del mar asociado al fenómeno de El Niño sobre diversas especies de organismos marinos, principalmente las de origen planctónico y las que tienen importancia comercial.

En el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas durante El Niño 1982/83, considerado como el más fuerte del siglo hasta antes del evento 1997/98 (McGowan, 1984), se pudo definir una serie de cambios a diferentes niveles. Saldierna-Martínez *et al.* (1987) señalaron que durante El Niño 1982/83, las poblaciones de sardina y anchoveta en Bahía Magdalena disminuyeron debido a la escasez de alimento, provocando una drástica disminución en la reproducción de *Opisthonema libertate* y por ende un bajo reclutamiento larval.

Nienhuis y Guerrero-Caballero (1985); Nienhuis (1986); Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones (1998) registraron en Bahía Magdalena cambios considerables en la estructura de la comunidad y una drástica disminución en la biomasa fitoplanctónica. Los últimos indican que la posterior recuperación del microfitoplancton fue lenta y abarcó hasta 1986.

En lo que respecta a las comunidades de copépodos, Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996), analizaron la estructura de esta comunidad en Bahía Magdalena durante y después del evento El Niño 1982/83, encontrando que la sucesión estacional de especies se mantuvo, aunque se observaron cambios en la composición específica durante el periodo más cálido del evento. Palomares-García (1992) realizó un estudio de la taxocenosis de copépodos durante 1985/86, observando que en 1986 inició un El Niño débil en comparación con el evento 1982/83, ya que la taxocenosis en ese periodo no presentó alteraciones en los patrones de sucesión estacional de las especies dominantes.

En general, los cambios físicos y biológicos más importantes asociados con el evento 1997/98 fueron similares a los observados en otros eventos El Niño. La intensidad de los vientos alisios disminuyó, los patrones normales de lluvias se vieron alterados, al igual que la presión atmosférica (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000). También se observó la profundización de la termoclina y un descenso en la productividad primaria en las zonas

de surgencias, debido a la escasez de nutrientes; esto provocó que algunos organismos disminuyeran sus poblaciones, principalmente por las altas temperaturas como los mantos de *Macrocystis piryfera* y por la falta de alimento como el abulón y algunas aves marinas (Hernández-Carmona *et al.*, 2000; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000).

En la Costa Occidental de la Península de Baja California, las especies de copépodos consideradas típicas de la Corriente de California como *Calanus pacificus*, estuvieron presentes en abundancias bajas en otoño de 1997 e invierno de 1998, en tanto que las especies tropicales y subtropicales estuvieron ampliamente representadas (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002; Palomares-García *et al.*, en prensa).

Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) analizaron la producción de huevos y el crecimiento de las especies de copépodos más abundantes durante febrero y marzo de 1998, encontrando que ambos procesos estuvieron afectados por la turbulencia y por el largo periodo de calentamiento relacionado con El Niño. Palomares-García *et al.* (en prensa) analizaron los efectos de El Niño 1997/98 en Bahía Magdalena, encontrando que la biomasa zooplanctónica fue dos veces más baja que durante El Niño 1982/83, aunque el patrón de variación estacional se mantuvo. También encontraron cambios importantes en la abundancia y un incremento de especies tropicales de copépodos durante la fase más intensa del evento. Además, la abundancia de las especies de copépodos propias de la bahía disminuyó en un tercio en comparación con el evento de 1982/83 y también las especies de pelágicos menores de afinidad templada y tropical se vieron fuertemente afectados por este evento.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en Bahía Magdalena, la cual forma parte del complejo lagunar Magdalena-Almejas (Figura 2). Este se ubica en la costa occidental de la península de Baja California, entre los 24° 15' y los 25° 20'N y entre los 111° 30' y los 112° 15'O, en el límite sur del sistema de la Corriente de California, en donde confluyen las masas de agua del Pacífico Norte, Pacífico Central y Pacífico Oriental Tropical (Roden, 1971; Brinton y Reid, 1986). Esto da como resultado una amplia variabilidad hidrológica estacional, que favorece cambios notables en la comunidad planctónica, en función del predominio de una u otra masa de agua y su correspondiente fauna asociada (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996).

Este sistema lagunar se divide en tres zonas hidrológicas bien diferenciadas. La zona norte, llamada también zona de canales, presenta una forma irregular y está formada principalmente por esteros y canales con una profundidad promedio de 3.5 m, la cual está rodeada por mangles (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*). La zona central, denominada propiamente Bahía Magdalena, está comunicada con el océano Pacífico por una boca de aproximadamente 38 m de profundidad y 4 km de ancho (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Por último, la zona sur, denominada Bahía Almejas, se forma entre la costa de la península y la isla Santa Margarita por el oeste y Creciente por el sur (Contreras, 1985); se comunica con el océano por un canal estrecho (0.2 km) y somero (5-7 m). Bahía Magdalena y Bahía Almejas están comunicadas por medio de un canal de 2.5 km de ancho y aproximadamente 30 m de profundidad. Estas dos últimas zonas están rodeadas por manglar.

Este sistema lagunar se caracteriza por presentar condiciones anti-estuarinas, debido a que presenta una precipitación baja (70 mm anuales) y una escasa afluencia de agua dulce, así como una elevada tasa de evaporación. Por tanto, los gradientes de temperatura y salinidad tienen una estrecha relación con la batimetría, presentándose valores elevados en donde las profundidades son menores; además, durante la época fría (enero a junio) se presenta la entrada de aguas de surgencia, ricas en nutrientes, que enriquece las aguas de Bahía Magdalena (Zaytsev, O. *et al.*, 2001).

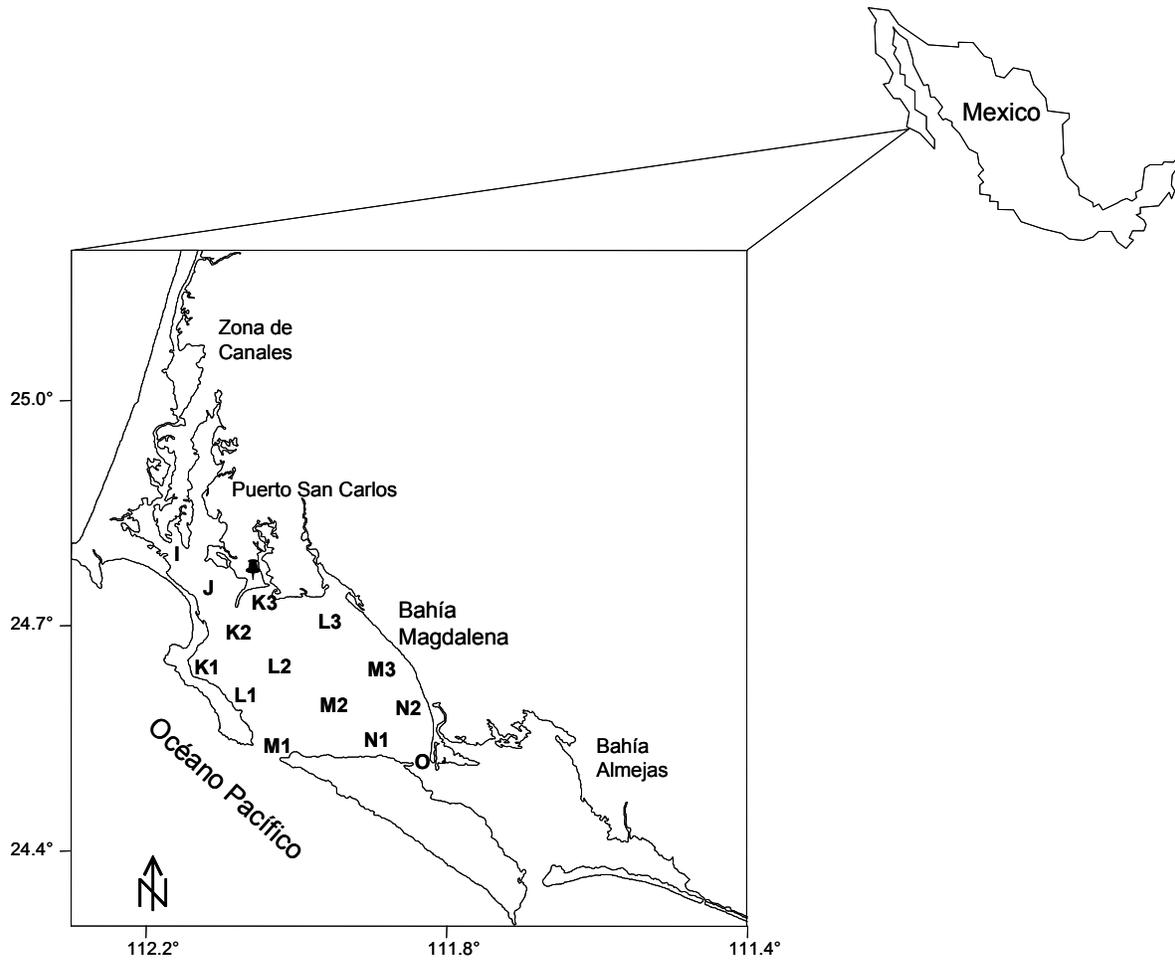


Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Muestreo de Campo

El material biológico que se analizó en este trabajo, proviene de las campañas denominadas BAMA realizadas durante 1997 y 1998 como parte del proyecto “Ecología y Producción secundaria del ecosistema pelágico” y durante 1998/1999 en el proyecto “Impacto del fenómeno El Niño 1997/1998 en Bahía Magdalena”.

Se analizaron un total de 55 muestras de zooplancton que corresponden a los meses de mayo (antes de la llegada de El Niño a las costas de B. C. S.), agosto y noviembre de 1997 y enero de 1998. Se seleccionaron estos meses debido a que es cuando la temperatura superficial del mar presentó los cambios más evidentes.

Las muestras de zooplancton fueron recolectadas en 14 estaciones de muestreo (Figura 1) con una red cónica de 60 cm de diámetro de boca y una abertura de malla de 333 μm . Los arrastres fueron superficiales, circulares con duración de 5 minutos. Todos los muestreos fueron diurnos; los organismos recolectados se preservaron en una solución de formalina al 4% neutralizada con borato de sodio.

Con una botella Niskin se obtuvieron muestras de agua a 0, 5, 10 y 15 metros de profundidad para medir la temperatura superficial con un termómetro de cubeta.

5.2. Análisis de Laboratorio

En el laboratorio se estimó la biomasa zooplanctónica mediante el método del volumen desplazado (Stedman, 1976). Posteriormente se obtuvieron submuestras de $\frac{1}{2}$ a un $\frac{1}{16}$ dependiendo del volumen de biomasa de la muestra original, mediante un fraccionador Folsom. Todas aquellas muestras que tenían un volumen menor a 10 ml de biomasa zooplanctónica se analizaron en su totalidad.

La cuantificación de los copépodos adultos se realizó a partir de las submuestras, el número de organismos se estandarizó a 100 m^3 de agua filtrada, mediante la fórmula:

$$Nn = (n / V) (100)$$

Donde:

n = total de organismos presentes por estación.

V = metros cúbicos de agua filtrada en el lance.

Nn = número total de organismos (por especie) en 100 m³.

La identificación y el conteo de las especies de copépodos se efectuó usando un microscopio estereoscópico Zeiss, siguiendo los criterios de identificación de Mori (1964), Owre y Foyo (1967), Tanaka y Omori (1977), Palomares-García *et al.* (1998), principalmente.

5.3. Análisis de Datos

El análisis de los datos (normalizados) se dividió en tres partes: descripción ecológica de la taxocenosis; descripción ambiental y relación de las variables ambientales con la estructura de la taxocenosis de copépodos.

En la descripción ecológica se empleó la composición específica y la abundancia de la estructura de la taxocenosis. Para analizar la taxocenosis se construyeron las curvas de K-dominancia (De la Cruz-Agüero, 1994) y para conocer su estructura se estimó el índice de diversidad (H') y equidad (E) de Shannon (Pielou, 1975; Margalef, 1980; Magurran, 1988), utilizando la expresión:

$$H = -\sum pi \log_2 pi$$

Donde:

pi = proporción de la especie i , con respecto al total; ni/N

Además se realizó un análisis de ordenación, mediante el Análisis de Componentes principales (ACP). Para este análisis se utilizaron únicamente aquellas especies que aparecieron en más de una estación, estandarizando la matriz de abundancia mediante una transformación logarítmica [$\log(x+1)$]. Dicha transformación se aplicó para disminuir las diferencias de abundancia entre especies y aproximar las distribuciones a la normalidad. Los resultados de este análisis se representaron gráficamente, mostrando

simultáneamente la distribución de las variables en los ejes factoriales (De la Cruz-Agüero, 1994; StatSoft, Inc., 2000; Fahmy, 1999).

Para tener una idea general de los cambios ambientales durante el periodo de estudio se analizó el comportamiento de la temperatura superficial y la biomasa zooplanctónica. Se utilizaron datos de biomasa zooplanctónica desde 1983 a 1989 y de 1997 a 1998 (Palomares-García *et al.*, en prensa). Se calcularon las anomalías de temperatura desde 1982 a 1989 y de 1997 a 1998. Las anomalías de temperatura fueron calculadas siguiendo la metodología de Makridakis y Wheelwright (1978), de la siguiente manera:

$$Z_{ij} = X_{ij} - Y_j$$

Donde:

Z_{ij} = anomalía del mes j en el año i

X_{ij} = valor variable en el mes j del año i

Y_j = valor promedio en el mes j

Con los valores de temperatura superficial del mar y biomasa zooplanctónica registrados en cada mes de estudio, se determinó su distribución mediante la técnica de isoclinas con ayuda del programa Surfer (Golden Software Inc., 2000).

Finalmente, se realizó un análisis gráfico de la relación entre la abundancia de las especies más importantes vs. la temperatura superficial del mar; esto con el objetivo de conocer el rango óptimo de temperatura en el que se presentan las mayores abundancias de estas especies en la bahía.

6. RESULTADOS

6.1. Temperatura Superficial del Mar y Biomasa Zooplanctónica

Desde los inicios del CICIMAR, Bahía Magdalena fue elegida como una de la áreas de interés y gracias al esfuerzo de diferentes proyectos, en esta bahía se cuenta con una de las series de temperatura más amplias, que nos permite realizar inferencias sobre eventos interanuales como el evento de El Niño. Se presenta una serie de tiempo de las anomalías de temperatura para Bahía Magdalena desde 1982 hasta 1989 y de 1997 hasta 1998; en donde se evidencian tres periodos de calentamiento (Figura 2). El primero inició durante el segundo semestre de 1982 (noviembre de 1982), presentando su mayor anomalía de temperatura en julio de 1983 (+2.6 °C). Posteriormente, en octubre de 1983 y mayo de 1984, se observaron anomalías relativamente bajas, consideradas como una fase de relajación del evento, seguidas por un segundo incremento de las anomalías (+1.8 °C); la influencia de este evento tuvo una duración de aproximadamente 23 meses (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996). En 1986/87 se registró un periodo corto de calentamiento. Este es considerado como un El Niño débil, debido a que las mayores anomalías observadas fueron de 1 °C (Gómez- Gutiérrez *et al.*, 1995). En Bahía Magdalena solo se detectó un pico de calentamiento durante el segundo semestre de 1987 (julio a diciembre de 1987). A diferencia de los dos eventos previos, el evento de 1997/98 se manifestó durante el primer semestre de 1997 en el Pacífico ecuatorial (marzo de 1997) (McPhaden, 1999; Sánchez *et al.*, 2000) tres meses antes de que se registraran las primeras anomalías positivas en estas latitudes (junio de 1997). La anomalía más alta fue + 4.4 °C registrada en agosto de 1997, con un segundo pico de calentamiento en junio de 1998, con una anomalía de +3.7 °C y una duración aproximada de 15 meses (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000; Palomares-García *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, en prensa).

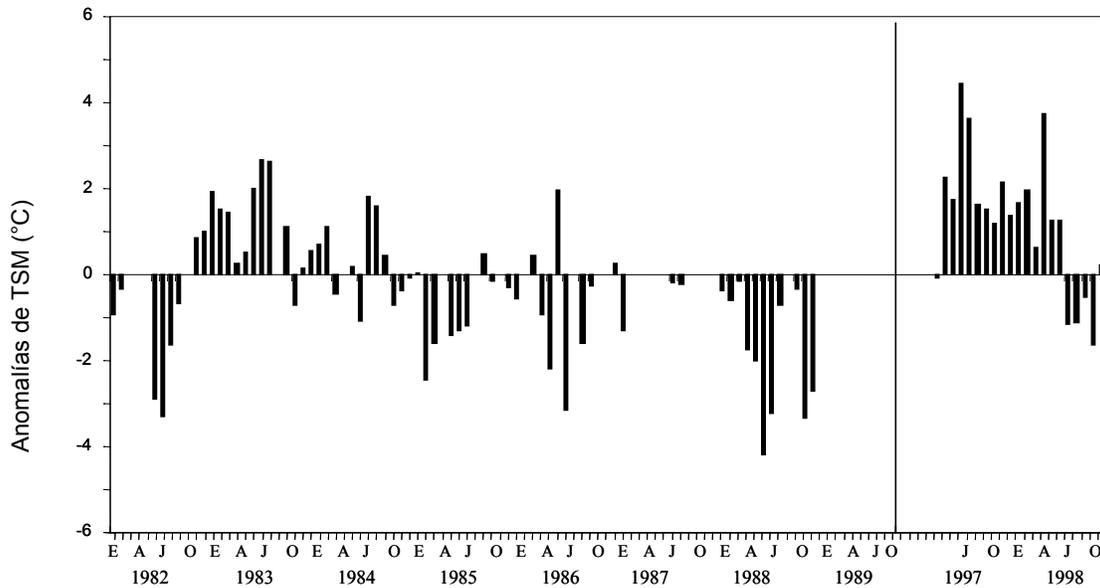


Figura 2. Anomalías de la temperatura superficial del mar de enero de 1982 a septiembre de 1989 y de mayo de 1997 a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena, B.C.S., México. (Modificada de: Palomares-García et al., en prensa).

La serie de tiempo de la temperatura superficial del mar (TSM) para Bahía Magdalena (Figura 3), de enero de 1982 a septiembre de 1998, muestra una tendencia estacional con valores bajos de enero a junio (19-21 °C), con un fuerte incremento de junio a septiembre (21-27 °C), seguido por una progresiva disminución de octubre a diciembre (26-21 °C). Durante el periodo anómalo de El Niño 1997/98, la TSM muestra la misma tendencia estacional, aunque el intervalo de variación fue más amplio (19-31 °C) y se alcanzó la temperatura record para esta zona superior en 3.2 °C a la máxima registrada durante el evento de 1982/83.

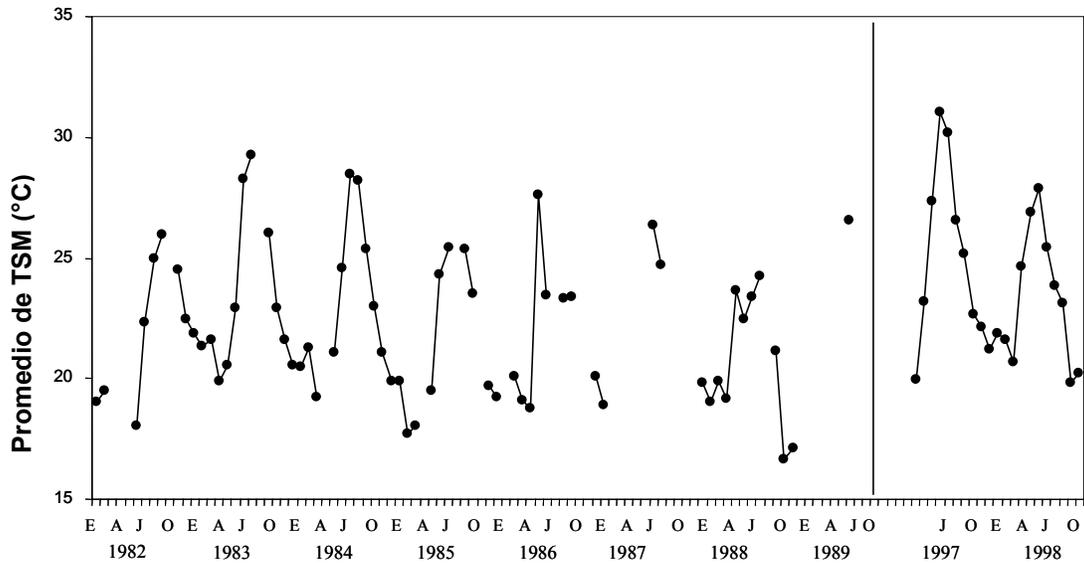


Figura 3. Serie de tiempo del promedio de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificada de: Palomares-García *et al.*, en prensa).

Se presentan los registros de temperatura superficial del mar para los meses de estudio (Figura 4). En mayo de 1997 los valores de temperatura fueron los más bajos (Figura 4A), en correspondencia con anomalías de temperatura negativas (-0.07°C), lo cual indica que el fenómeno de El Niño aun no impactaba esta región. En el mapa para este mes se puede observar que la temperatura superficial más baja se registró en las estaciones de la boca de la bahía (17°C). En contraste, las estaciones del interior cercanas a la zona de canales, presentaron temperaturas más elevadas (23°C).

En agosto de 1997 la temperatura superficial mostró un marcado incremento comparado con mayo, con una mínima de 29°C y una máxima de 32°C (Figura 4B), las anomalías de temperatura superficial fueron positivas para este mes ($+4.4^{\circ}\text{C}$), siendo las máximas registradas en todo el estudio. Se observó que la temperatura superficial para este mes fue muy homogénea en todas las estaciones de muestreo.

En noviembre de 1997, la temperatura superficial del mar mostró una disminución en comparación con el mes de agosto, en correspondencia con el patrón de cambio estacional (Figura 4C). Se observaron anomalías de temperatura positivas de $+1.5^{\circ}\text{C}$ que coinciden con la disminución de la intensidad del evento. Los valores de temperatura superficial más elevados para este mes se registraron en las estaciones del centro de la

bahía y cercanas a la boca (26°C), mientras que las estaciones cercanas a la zona de canales presentaron temperaturas menores (24°C). Cabe señalar, que en este mes se observó un patrón de distribución de la temperatura inverso, al que se presentó durante el mes de mayo.

En enero de 1998 las temperaturas superficiales fueron bajas en comparación con los meses anteriores (Figura 4D). Pero, a pesar de ésta disminución en la temperatura superficial, ligada a la variación estacional se observaron anomalías de temperatura positivas ($+2.2^{\circ}\text{C}$). Las temperaturas superficiales más altas se observaron en las estaciones cercanas a la boca de la bahía (23°C); las estaciones del interior y de la zona de canales presentaron las temperaturas más bajas (21°C).

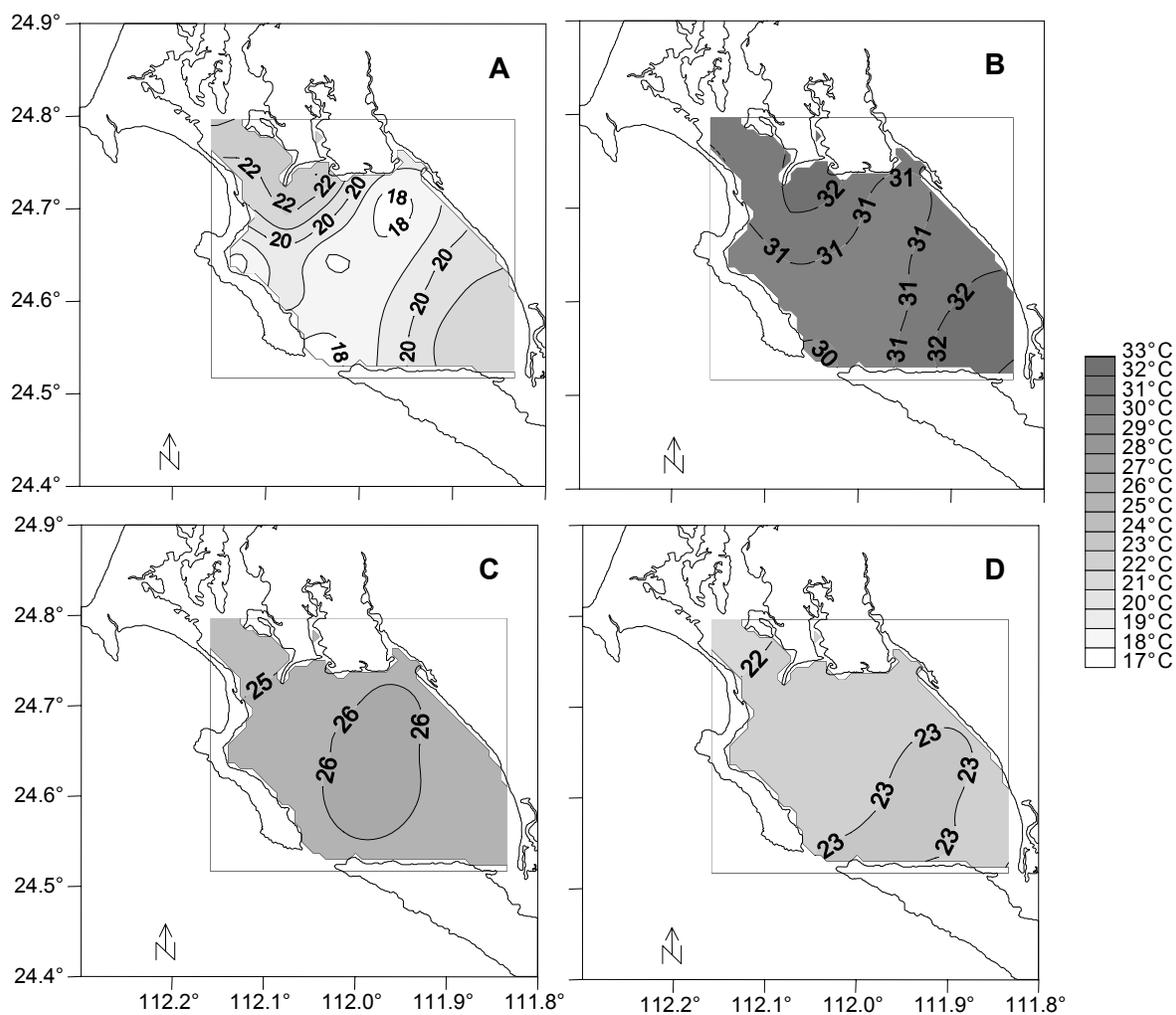


Figura 4. Temperatura superficial del mar para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.

En Bahía Magdalena se puede observar que la biomasa zooplanctónica presenta un patrón estacional, el cual permanece en años normales o anómalos como El Niño o La Niña, dicho patrón consiste en el registro de valores más altos de biomasa zooplanctónica durante los meses de verano, mientras que los valores más bajos se registran a finales del invierno e inicios de la primavera. La serie de tiempo de biomasa zooplanctónica para Bahía Magdalena (Figura 5), muestra una marcada disminución a partir de 1983. En julio de 1983 se registró el máximo de biomasa con 10 ml/m^3 . A partir de este mes y durante 1984 los valores más altos de biomasa zooplanctónica fueron cinco veces más bajos, hasta agosto de 1985 en donde se registró un valor máximo de 11 ml/m^3 . Durante 1986/87 el patrón estacional de la biomasa se mantuvo, pero los valores observados fueron bajos en comparación con los registrados durante 1983 y 1985. Para el evento 1997/98 también se mantiene el patrón de variación estacional de la biomasa en la bahía, aunque de igual manera que para 1986/87 los valores fueron más bajos que los registrados para el evento 1983/84 (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, en prensa).

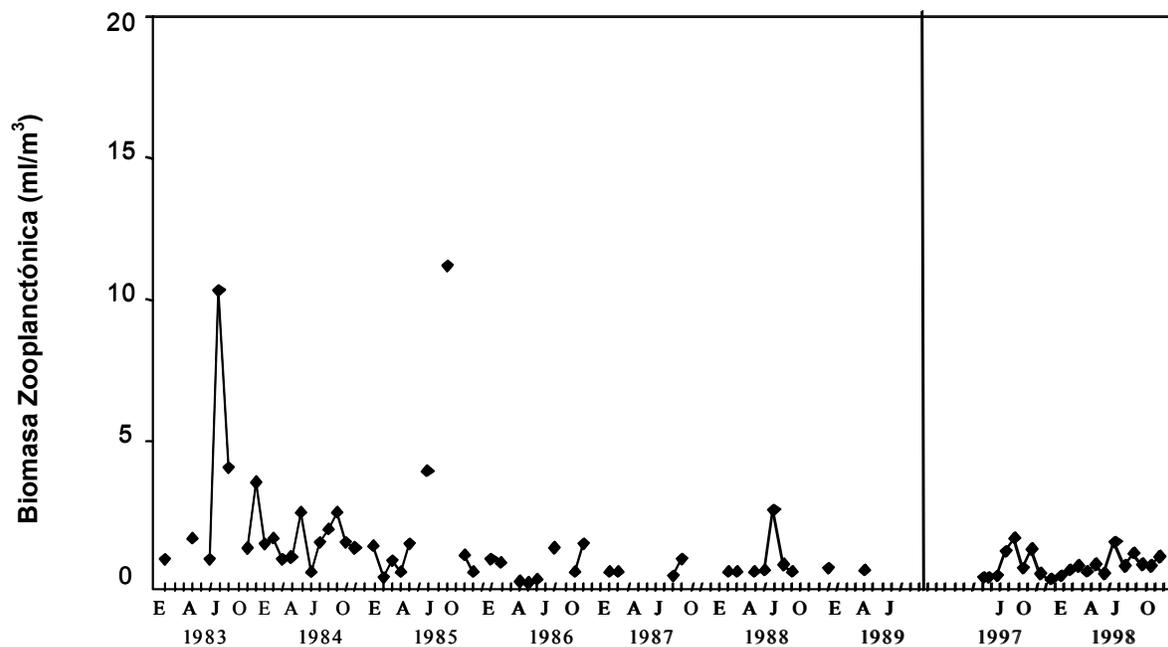


Figura 5. Serie de tiempo de la biomasa zooplanctónica (ml/m^3) de enero de 1982 a septiembre de 1989 y de mayo de 1997 a diciembre de 1998 en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificada de: Palomares-García *et al.*, en prensa).

Para los meses de estudio la biomasa zooplanctónica fue menor en el mes de mayo de 1997, con valores entre 22 y 534 ml/ m³, siendo mayor al norte de la bahía, en el área cercana a la zona de canales (Figura 6A).

En agosto se registraron los valores más altos de biomasa zooplanctónica de todo el estudio (entre 63 y 7003 ml/m³), coincidiendo con el patrón estacional descrito para la bahía. Los valores más altos de biomasa se registraron en las estaciones de la zona de canales y las estaciones del centro de la bahía (Figura 6B).

En noviembre la biomasa zooplanctónica fue más homogénea en toda la bahía y menor que en agosto con valores entre 140 y 617 ml/m³ (Figura 6C).

En enero la biomasa presentó valores entre 5 y 733 ml/m³ presentándose los registros más bajos en el centro de la bahía, siendo mayores en los extremos norte y sur (Figura 6D).

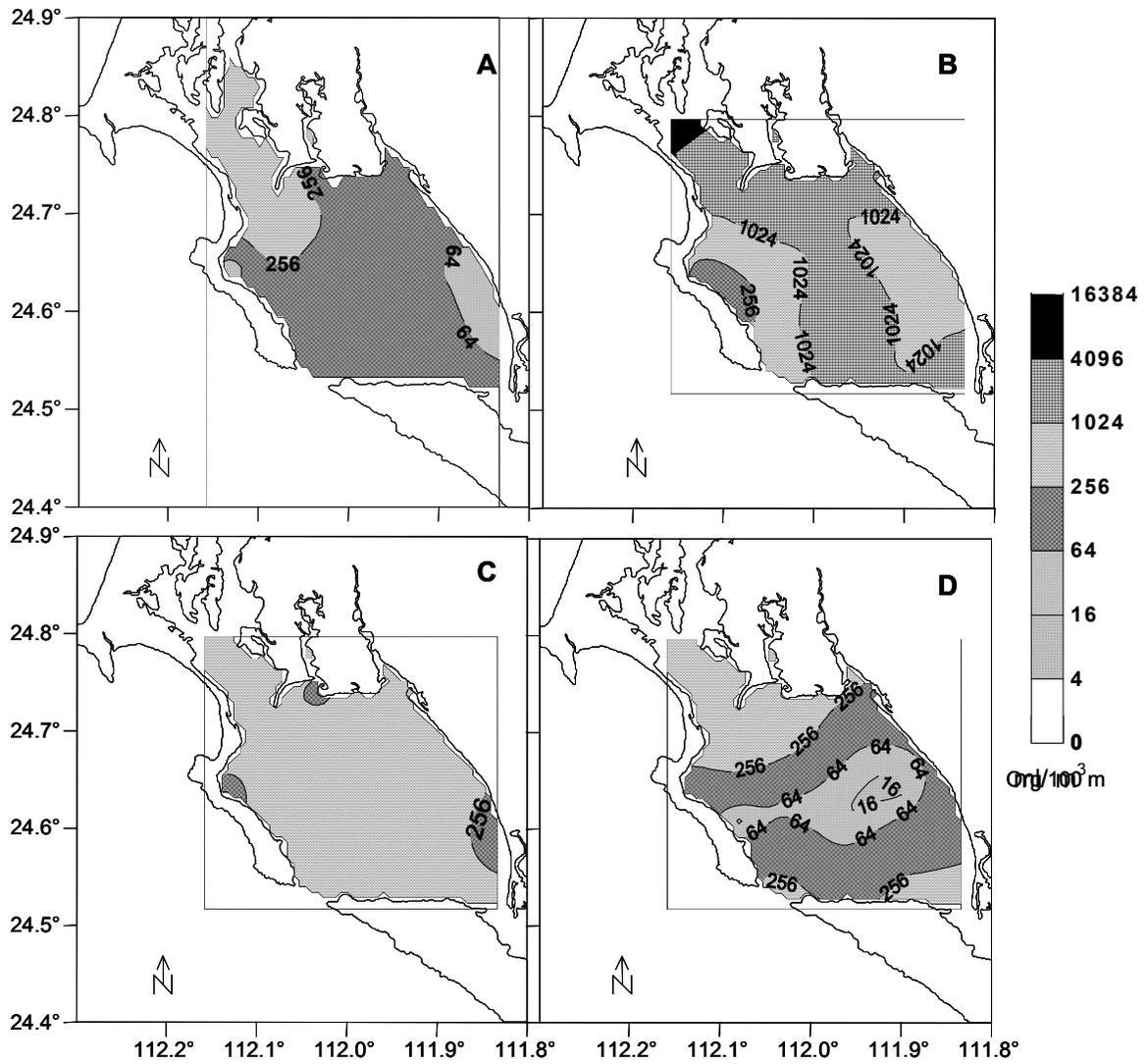


Figura 6. Biomasa zooplanctónica para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.

6.2. Composición Específica

En este trabajo se identificaron organismos de cinco órdenes de copépodos: Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida, Poecilostomatoida y Monstrilloida. Se identificaron 66 especies de copépodos pertenecientes a 30 géneros. En mayo se registró el número más bajo de especies de todo el estudio (22 especies), pertenecientes a 14 géneros; en agosto el número de especies se incrementó a 38 y a 24 géneros; en noviembre se encontraron 40 especies y 27 géneros; para enero se registró el máximo número de especies con 44, pertenecientes a 24 géneros (ver Anexo 1).

El orden dominante fue el Calanoida; la mayor abundancia promedio fue aportada principalmente por dos especies, *Acartia lilljeborgii* y *Acartia clausi* con 5,129,298 org/100m³ y 1,485,838 org/100m³ respectivamente, aunque hubo otras especies que fueron co-dominantes (≥ 40000 org/100m³) dependiendo de la época del año; por ejemplo *Calanus pacificus* (40,254 org/100m³), *Pseudodiaptomus wrighti* (48,863 org/100m³), *Labidocera trispinosa* (188,345 org/100m³), *Paracalanus aculeatus* (174,355 org/100m³) y *Paracalanus parvus* (64,468 org/100m³). Otras especies que aparecieron con abundancias variables fueron *Centropages furcatus* (26,810 org/100m³), *Temora discaudata* (2,573 org/100m³) y *Undinula vulgaris* (769 org/100m³).

Otras especies no dominantes aparecieron con frecuencia durante los 4 meses de estudio, en casi todas las estaciones de muestreo con abundancias variables (Anexo 1); las más comunes pertenecen a los órdenes Ciclopoida y Poecilostomatoida, por ejemplo, *Oithona plumifera*, *Oithona rigida*, *Corycaeus andrewsi*, *Corycaeus speciosus*, *Corycaeus robustus*, *Oncea conifera* y *Oncea venusta*. De estas especies algunas llegaron a presentar abundancias medias (≤ 40000 org/100m³; ≥ 2500 org/100m³), como es el caso de *C. andrewsi* (23,378 org/100m³), *C. speciosus* (10,815 org/100m³) y *C. robustus* (13,576 org/100m³).

Del orden Harpacticoida, la especie *Euterpina acutifrons* fue la única que se registró en los 4 meses y en casi todas las estaciones de muestreo, pero con abundancias bajas (< 2500 org/100m³) de 1357 org/100m³.

Del orden Mostrilloida se encontró la especie *Cymbasoma californiense*. Este último orden

está formado esencialmente por especies parásitas (que se pueden encontrar frecuentemente en las muestras de plancton, sobre todo en su etapa adulta). Sin embargo su frecuencia es muy baja; *C. californiense* solo se registró en agosto y noviembre en una sola estación.

Se observó la composición de la taxocenosis de copéodos en función de su afinidad biogeográfica (Figura 7). Durante mayo se observó un mayor predominio de especies de afinidad templada cuando las temperaturas superficiales fueron bajas (ver Figura 4A), lo que coincidió con la mayor influencia de las aguas de la Corriente de California. En agosto, noviembre y enero se observó un marcado incremento de las especies de afinidad tropical, coincidiendo con el incremento de la temperatura superficial, producto del avance de aguas cálidas durante el evento El Niño (ver Figura 4B, C y D). Lo anterior fue más evidente en agosto, cuando se registraron las máximas anomalías de temperatura, aunque la temperatura fue menor en los meses restantes, la dominancia de las especies de afinidad tropical se prolongó hasta enero.

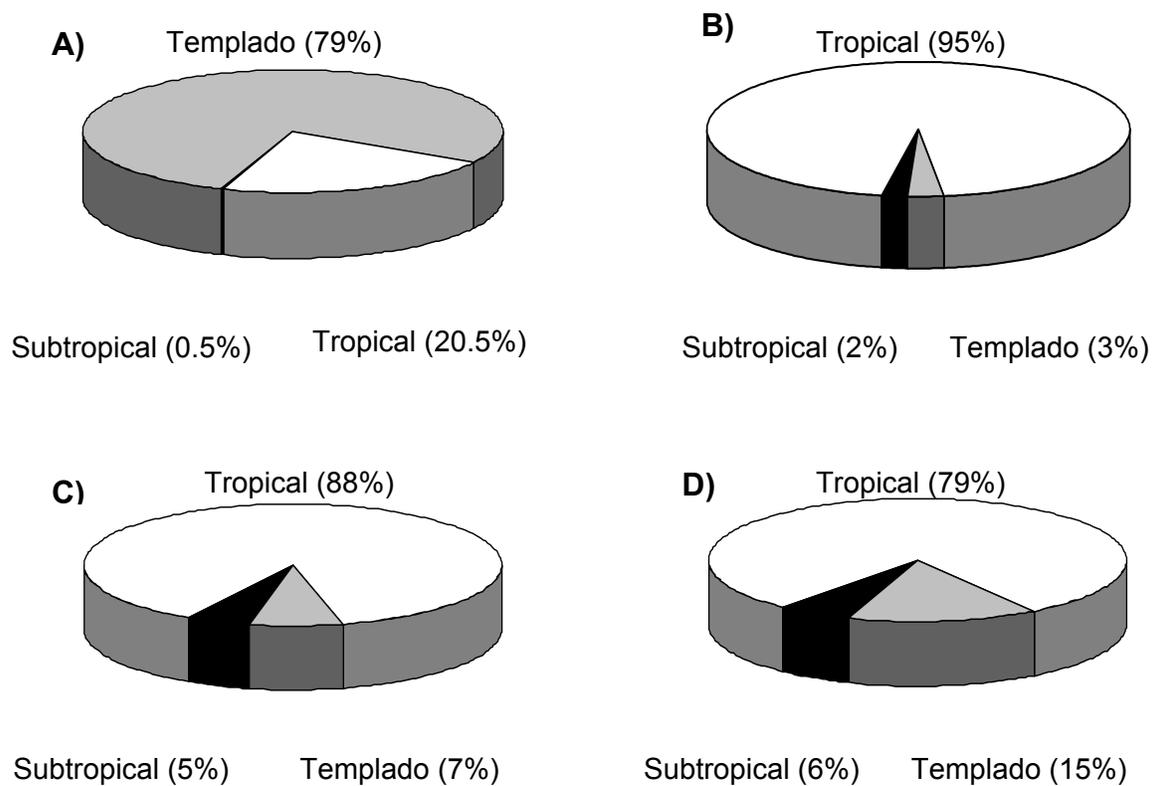


Figura 7. Afinidad biogeográfica de la taxocenosis de copépodos para a) mayo, b) agosto, c) noviembre de 1997 y d) enero de 1998 en Bahía Magdalena, México.

El avance de aguas cálidas del sur hacía el norte favoreció la presencia de especies de afinidad tropical hacia el interior de Bahía Magdalena. Un caso notable es el de la especie *Pontella fera*, la cual solo se registró durante la fase de mayor intensidad del evento. Esta es una especie nerítica tropical que no había sido registrada anteriormente en Bahía Magdalena. Su distribución conocida hacía el norte comprendía el centro del Golfo de California y Bahía Concepción (Palomares-García *et al.*, 1998). Además, se registraron especies que no habían sido reportadas en la bahía durante anteriores eventos El Niño (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de especies de copépodos subtropicales y tropicales encontradas durante el evento El Niño 1997/98 pero no en eventos anteriores en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

Especies
<i>Acrocalanus gracilis</i> Giesbrecht, 1888
<i>Calocalanus pavo</i> Dana, 1849
<i>Candacia aethiopica</i> Dana, 1849
<i>Canthocalanus pauper</i> Giesbrecht, 1888
<i>Centropages abdominalis</i> Sato, 1913
<i>Corycaeus robustus</i> Giesbrecht, 1888
<i>Euchaeta indica</i> Wolfenden, 1905
<i>Euchaeta longicornis</i> Giesbrecht, 1888
<i>Pontella fera</i> Dana, 1849 *
<i>Pontellopsis armata</i> Giesbrecht, 1889
<i>Scolecithricella dentata</i> Giesbrecht, 1892
<i>Scolecithricella ctenopus</i> Giesbrecht, 1888

*Primer registro para Bahía Magdalena, B. C. S., México.

6.3. Abundancia Especifica

En mayo de 1997 las especies más abundantes fueron *Labidocera trispinosa* y *Calanus pacificus* con un 44% y 34% de la abundancia total respectivamente (Figura 8). Estas especies son de afinidad templada, lo que coincide con las temperaturas registradas en este mes y con lo reportado para otros años en esta época en la bahía. Así mismo, en este mes se habían registrado anomalías negativas en el área, por lo que la aparición de estas especies muy probablemente esté relacionada con la presencia de aguas templadas con características de temperatura similares a las pertenecientes a la Corriente de California.

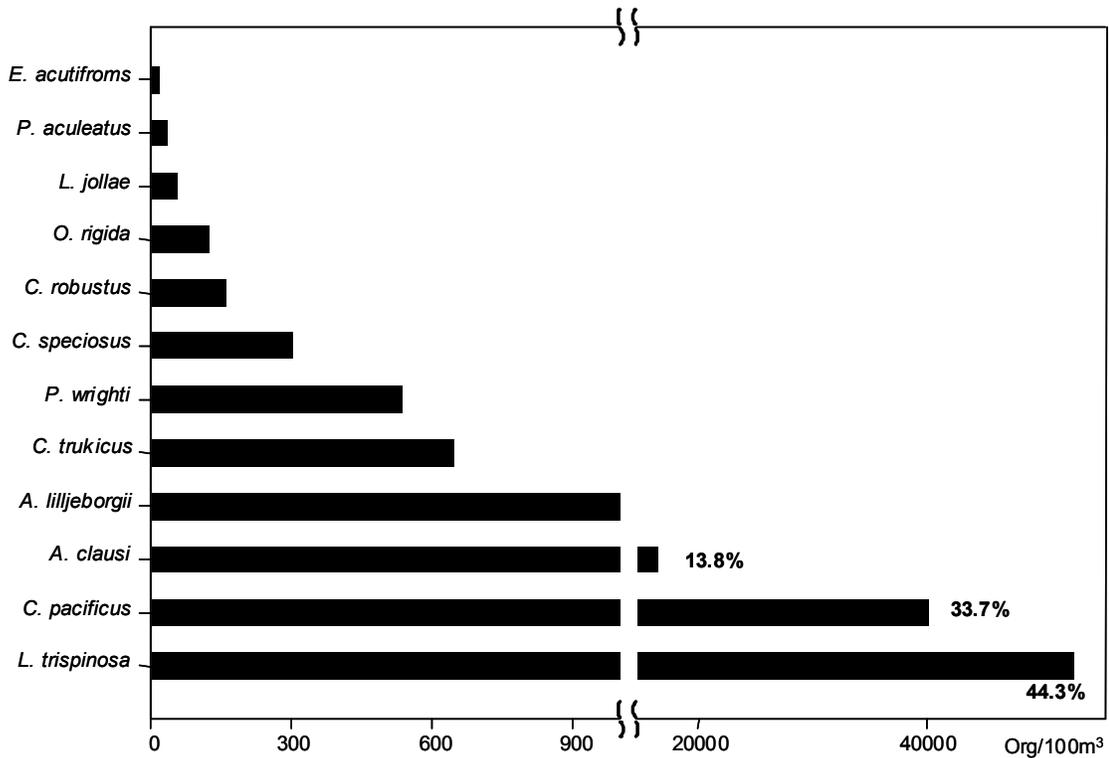


Figura 8. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en mayo de 1997.

En agosto de 1997 las temperaturas superficiales elevadas, coincidieron con las mayores abundancias de *Acartia lilljeborgii* (69.8%) y *Acartia clausi* (20.2%) las cuales acumularon el 90% de abundancia total (Figura 9). También se observó la presencia de un mayor número de especies de afinidad tropical, localizadas en las estaciones cercanas a la boca, aunque todavía con abundancias bajas. En este mes se registró por primera vez para esta

zona la especie *Pontella fera*, la cual solo se encontró en la estación M1 de la boca de Bahía Magdalena.

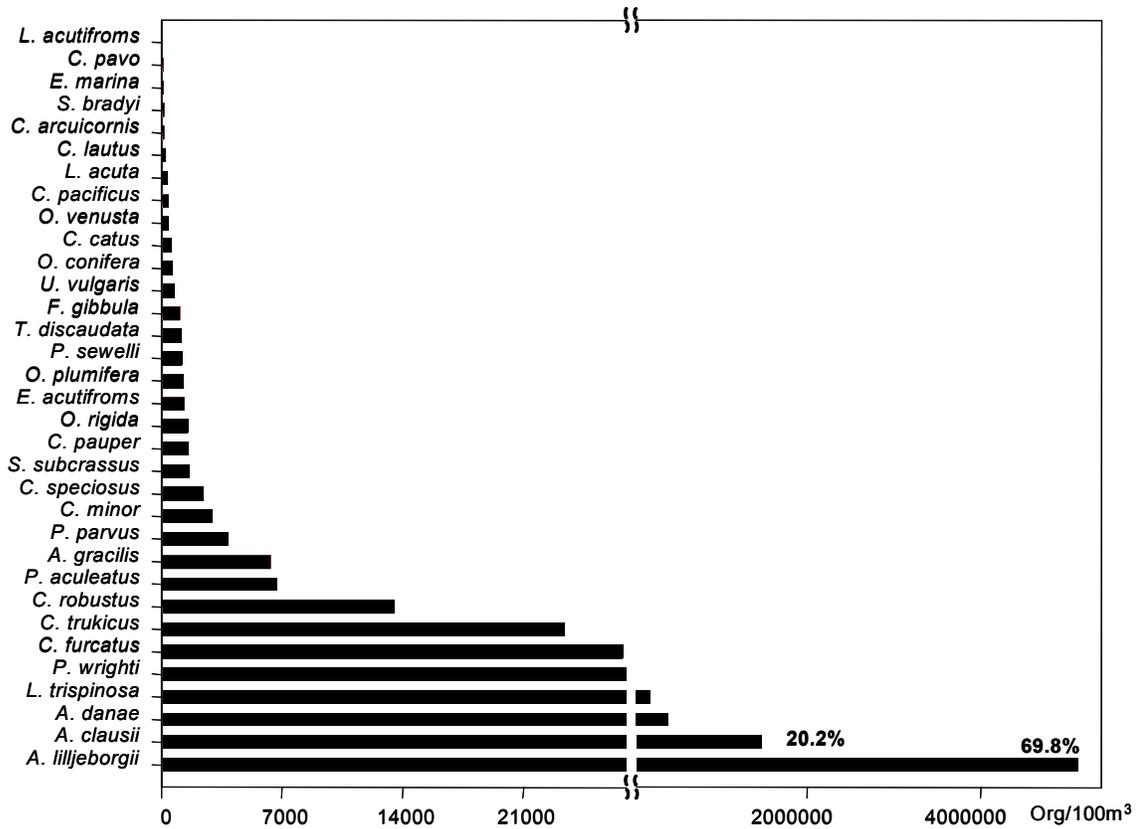


Figura 9. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en agosto de 1997.

En noviembre a pesar de que presentó un ligero descenso en la temperatura superficial se observó que el número de especies fue más elevado (en comparación con los meses anteriores) y se incrementó la presencia de especies de afinidad tropical en la bahía (Figura 10), además las especies del género *Acartia* conservaron su dominancia (*Acartia lilljeborgii*, 45% y *Acartia clausi*, 27%).

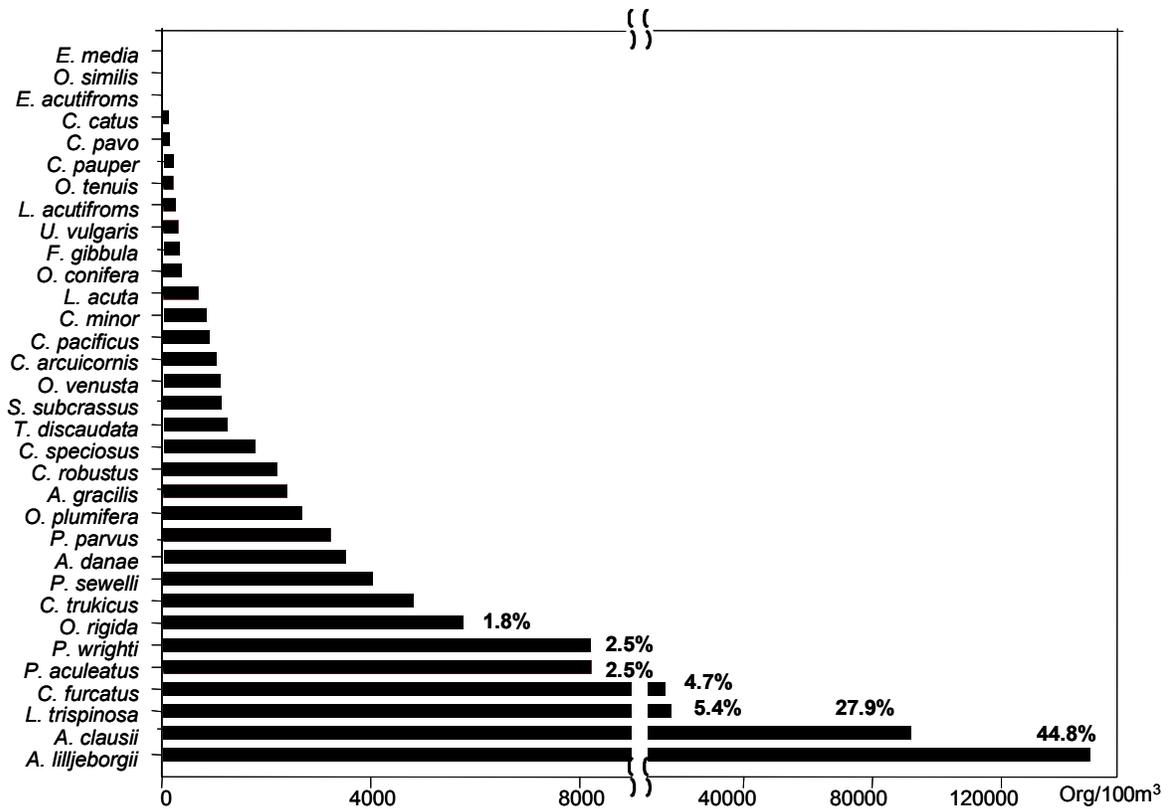


Figura 10. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en noviembre de 1997.

En enero de 1998 se observó nuevamente una disminución de la temperatura (mín. 21.2°C - máx. 22.9°C). La especie más abundante en este mes fue *Paracalanus aculeatus* (24% de la abundancia total). Este incremento en la abundancia de *Paracalanus aculeatus* coincidió con la sucesión estacional de especies registradas en años anteriores, la cual consiste en el desplazamiento de las especies del género *Acartia* por especies del género *Paracalanus* durante el periodo frío del año, pero a diferencia de lo observado anteriormente (Palomares-García, 1992; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996), en este caso, la especie de *Paracalanus* más abundante no fue *P. parvus*, la cual es una especie templada, sino *P. aculeatus*, que es tropical. También en este mes se presentó *Acartia tonsa* especie que durante el periodo de mayor intensidad el evento El Niño 1982/83 fue muy abundante y sustituyó a *Acartia clausi* (Figura 11).

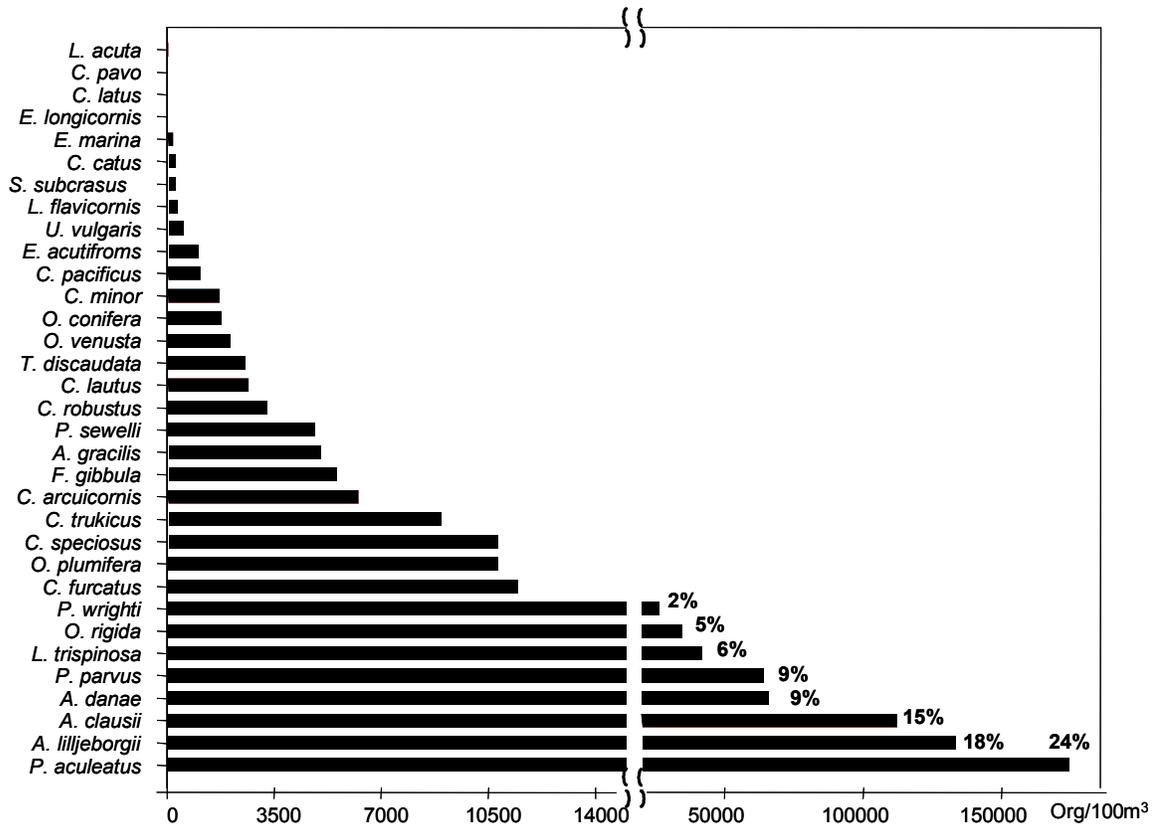


Figura 11. Abundancia relativa de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena en enero de 1998.

6.4. Dominancia y Diversidad Específica

De acuerdo con las curvas de K-dominancia se pudo observar una amplia variación en el número de especies dominantes a lo largo del estudio (Figura 12). De manera general los meses con mayor dominancia y una diversidad baja fueron mayo y agosto de 1997 debido a que con solo tres y dos especies, respectivamente, acumularon el 90% de la abundancia. Las especies dominantes en ambos meses fueron diferentes, ya que en mayo, antes de la llegada de aguas cálidas a la bahía, estuvieron presentes *Calanus pacificus* y *Labidocera trispinosa*, mientras que en agosto estuvieron dominando especies propias de ambientes lagunares como *Acartia clausi* y *Acartia lilljeborgii*. En noviembre y enero la dominancia fue menor ya que se necesitó de un mayor número de especies para sumar el 90% de la abundancia. Las especies que fueron dominantes en estos meses pertenecen a los géneros *Acartia* y *Paracalanus*.

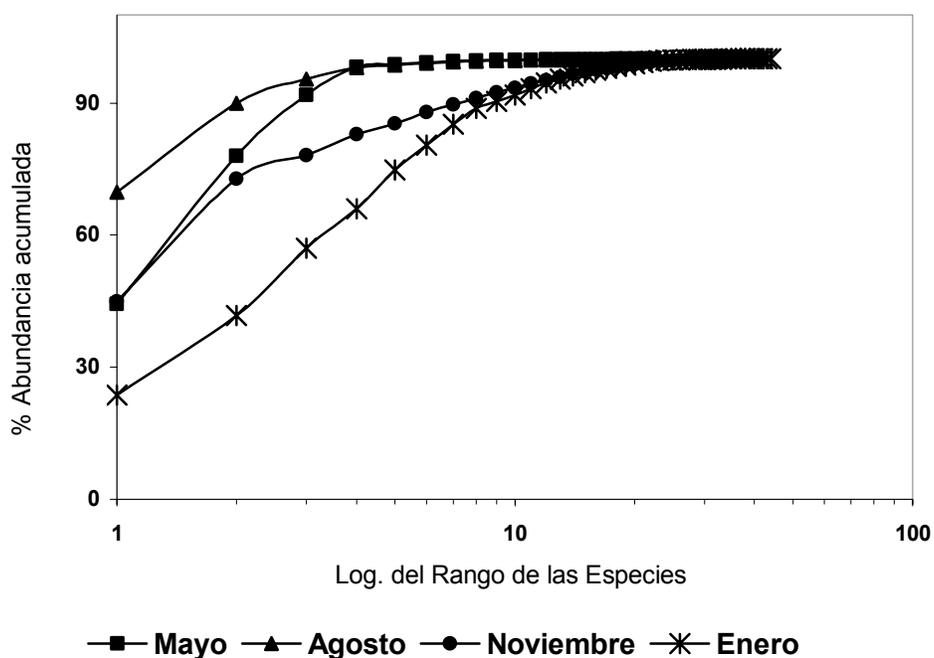


Figura 12. Curvas de K-Dominancia de la taxocenosis de copépodos para los cuatro meses de estudio

Diversidad Específica

De manera general se observó que los valores de diversidad (H') fluctuaron entre 0.24 bits/ind en mayo y 3.92 bits/ind en agosto (Figura 13). Se puede apreciar que en el mes de mayo la diversidad fue baja y hubo poca variación entre las estaciones de muestreo. Esto se debe a la influencia de las aguas de la Corriente de California que aportan una comunidad dominada por especies templadas como *Calanus pacificus* y *Labidocera trispinosa*. En agosto y noviembre la diversidad se incrementó por el aporte de especies de afinidad tropical acarreadas por la Corriente Costera de Costa Rica, pero la variación entre estaciones de muestreo fue muy alta, ya que aunque se registraron altos valores de diversidad también se observó una alta dominancia de *Acartia clausi* y *Acartia lilljeborgii*. Para enero la diversidad fue alta y la variación entre estaciones de muestreo fue baja, debido a que la dominancia de *Paracalanus aculeatus* fue baja y la abundancia se repartió de manera homogénea entre las especies.

En cuanto a la equidad (E), el valor mínimo fue 0.09 y el máximo de 0.9, ambos registrados durante el mes de mayo. Se observó que los meses de mayo, agosto y noviembre presentaron una alta variación en la equidad, lo que sugiere que la abundancia de las especies se repartió heterogéneamente, lo que coincide con la alta dominancia de dos especies; mientras que durante el mes de enero la variación fue menor, lo que nos indica una distribución homogénea de la abundancia de las especies (Figura 14). Los valores calculados de diversidad y equidad por mes y por estación se pueden consultar en el Anexo 2.

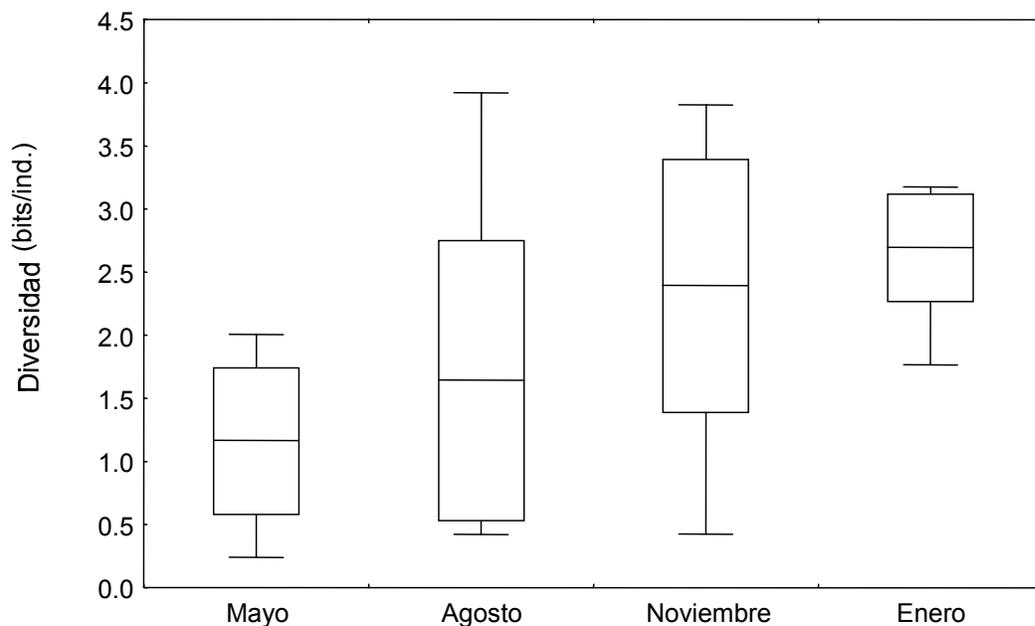


Figura 13. Diversidad por meses. Se indica el promedio, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos.

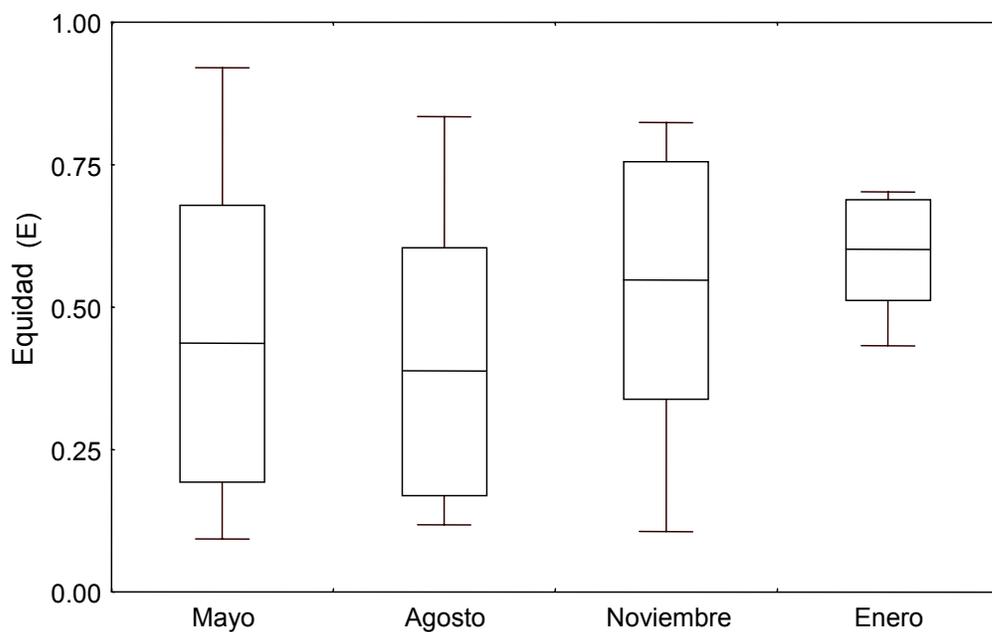


Figura 14. Equidad por meses. Se indica el promedio, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos.

El análisis de la distribución espacial de la diversidad permitió observar que en mayo la diversidad fue relativamente más baja que en los otros meses de estudio, siendo la región de la boca de la bahía el área donde se presentaron los menores valores de diversidad (Figura 15A).

En agosto se observó una gran variabilidad espacial de la diversidad, ya que se pudo ver un incremento de la diversidad muy marcado, pero solo en las estaciones influenciadas por agua del exterior (est. M1, M2), hecho que probablemente se relacione con la llegada de aguas cálidas a la bahía. En tanto que el resto de la bahía presentó valores de diversidad similares a los del mes anterior (Figura 15B).

En noviembre también se observó gran variación de la diversidad entre estaciones, aunque se pudo observar un incremento de la diversidad en casi todas las estaciones en comparación con lo registrado para agosto, con valores bajos solo en estaciones del interior de la bahía (K3 y M3). Los valores más altos se registraron en las estaciones cercanas a la boca, debido a que en estas se registró una mayor presencia de especies de origen tropical (Figura 15C).

En enero se observó que los valores de diversidad registrados en este mes fueron más homogéneos en la bahía, con ligeras disminuciones de la diversidad en algunas estaciones del centro de la bahía en comparación con los meses anteriores (Figura 15D). De igual forma se observaron valores altos en las estaciones cercanas a la boca y menor variación de la equidad, lo cual denota una distribución más homogénea de la abundancia.

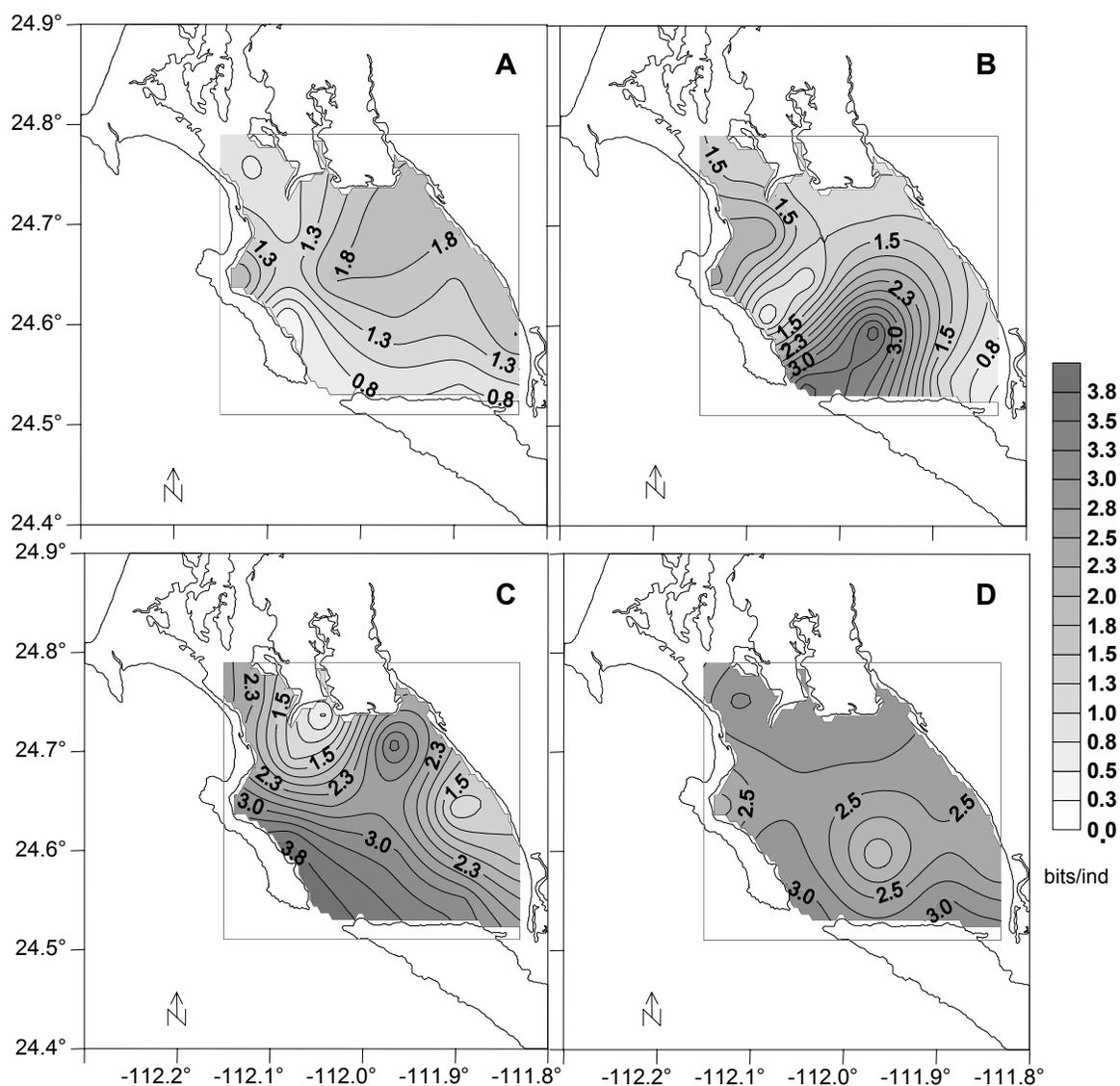


Figura 15. Distribución espacial de la diversidad para A) mayo, B) agosto, C) noviembre de 1997 y D) enero de 1998 en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98.

Para comprobar si existía diferencia en la diversidad entre los meses de estudio y entre las estaciones se realizó un análisis de varianza de dos vías. Se aplicó este tipo de análisis ya que se ha comprobado que los valores del índice de diversidad de Shannon pueden presentar distribución normal (Zar, 1996; Sequeiros-Beltrones, 1997). Se comprobó que existen diferencias significativas entre los meses ($p \leq 0.001$), pero no entre estaciones de muestreo (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza de dos vías del índice de diversidad.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Meses	20.39	3	6.80	9.32	0.0001	2.85
Estaciones	6.29	13	0.48	0.66	0.785	1.98
Error	28.44	39	0.73			
Total	55.11	55				

Después del análisis de varianza de dos vías se realizó una prueba *a posteriori*, empleando la de Tukey, la cual es útil para conocer en que pares de medias se presentan estas diferencias (Sokal y Rohlf, 1979). Se encontró que el mes de mayo presentó diferencias significativas con los meses de noviembre y enero; y agosto con el mes de enero (Tabla 3). Debido a que mayo y agosto presentaron una variación mayor de la diversidad entre estaciones, mientras que en noviembre y enero la diversidad fue muy homogénea entre las estaciones de muestreo.

Tabla 3. Prueba de Tukey de diferencias significativas de diversidad entre los meses de estudio.

	Mayo	Agosto	Noviembre	Enero
Mayo	-	0.4188	0.0014*	0.0002*
Agosto		-	0.0854	0.0069*
Noviembre			-	0.7595
Enero				-
Media	1.1624	1.6396	2.3878	2.6915

* Diferencia significativa

6.5. Ordenación

El análisis de componentes principales, nos ayuda a resumir la información sobre las fuentes de variación que determinan la estructura de la comunidad, proporcionándonos un panorama general de la variación en tiempo y espacio de la taxocenosis de copépodos (Pielou, 1984).

En mayo la representación gráfica del ACP se basa en los dos primeros factores, que en conjunto representan el 49% de la varianza (Figura 16). Se puede observar que el primer componente se asocia con los factores que determinan el éxito poblacional de las especies que integran la taxocenosis, esto redundando en una distribución diferencial a lo largo del primer componente en función de su abundancia; en tanto que el segundo se relaciona con el origen de cada población. Se separan así las especies que tienen sus máximas abundancias en aguas oceánicas o neríticas de aquellas que son propias de ambientes lagunares. De esta forma, en el espacio de los dos primeros factores es posible definir dos tipos de ambientes, uno asociado a las estaciones del interior de la bahía y el otro a las estaciones influenciadas por el agua del exterior, es decir las que están cercanas a la boca. En función de esto las especies presentes también muestran una tendencia a separarse en dos conjuntos: el primero comprendido por especies propias de la bahía, de afinidad tropical y el segundo por especies oceánicas o neríticas de afinidad templada.

En el primer conjunto de especies sobresalen entre otras: *Acartia lilljeborgii*, *Labidocera trispinosa*, *Pseudodiaptomus wrighti*, *Paracalanus aculeatus* y *Acartia clausi*. Estas aparecen separadas en el espacio de los dos primeros componentes en función de la abundancia y la distribución que presentan. *A. lilljeborgii* y *A. clausi* son especies residentes de la bahía; *L. trispinosa* es una especie nerítica que con frecuencia se ubica dentro de la bahía, aunque sus abundancias pueden fluctuar dependiendo de la época del año y *P. wrighti* es una especie epibentónica característica de ambientes confinados. Las mayores abundancias de estas especies se registraron en las estaciones cercanas a la zona de canales (est. I, J, K2); mientras que *A. clausi* y *P. aculeatus* presentaron sus mayores abundancias en el otro extremo de la bahía, en la porción sur (est. O). Una característica importante es que estas especies presentan sus mayores abundancias en las estaciones internas de la bahía, lo que coincide con el patrón de distribución de la

temperatura y con la afinidad tropical de estas especies, ya que en estas estaciones los valores de temperatura fueron comparativamente más elevados que los observados en las estaciones cercanas a la boca. El segundo conjunto muestra especies como *Calanus pacificus*, *Euterpina acutifrons* y *Corycaeus robustus*. La primera es una especie de afinidad templada y de hábitat oceánico, típica de las aguas de la Corriente de California; cabe destacar que la mayor abundancia de esta especie se registró en la estación M1 ubicada en la boca de la bahía, en coincidencia con las temperaturas más bajas registradas para este mes (mín. 16.8 °C) y con la época de mayor influencia de la Corriente de California en esta área. *E. acutifrons* y *C. robustus* son especies nerítico-tropicales que aparecen comúnmente dentro de la bahía a lo largo del año, pero sus abundancias son bajas; en este mes presentaron las mayores abundancias en la estación M1 y K1 respectivamente, mientras que su presencia fue muy baja o nula en las estaciones del interior de la bahía.

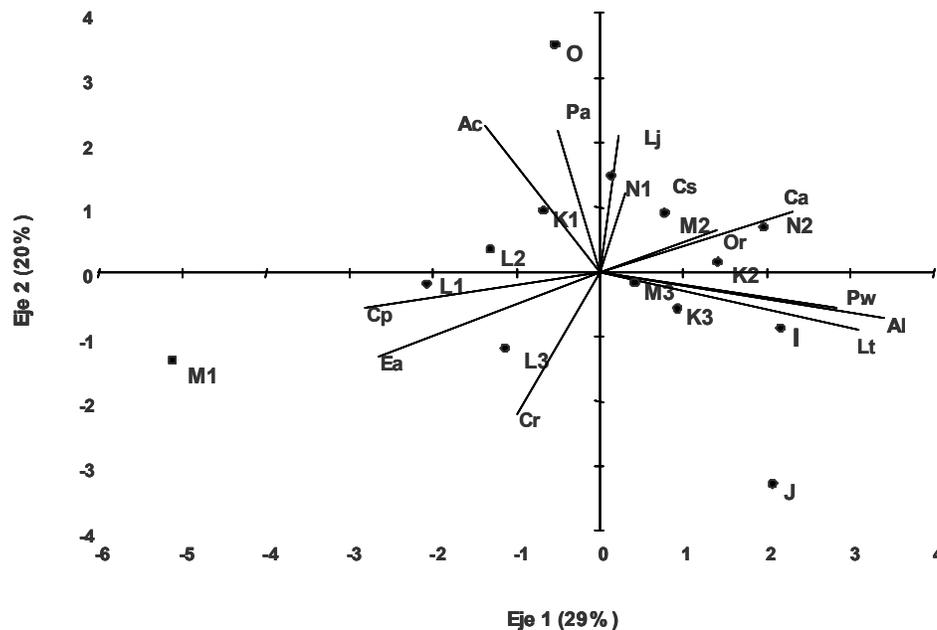


Figura 16. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para mayo de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) *Acartia clausi*, (Pa) *Paracalanus aculeatus*, (Lj) *Labidocera jollae*, (Cs) *Corycaeus speciosus*, (Ca) *Corycaeus andrewsi*, (Or) *Oithona rigida*, (Pw) *Pseudodiaptomus wrighti*, (Al) *Acartia lilljeborgii* y (Lt) *Labidocera trispinosa*. Segundo conjunto: (Cp) *Calanus pacificus*, (Ea) *Euterpina acutifrons* y (Cr) *Corycaeus robustus*.

En agosto la representación gráfica del ACP se basa en los dos primeros factores, que en conjunto explican un 55% de la varianza (Figura 17). De igual forma que en el mes anterior, se puede observar que el primer componente se asocia con los factores que determinan el éxito poblacional de las especies que integran la taxocenosis; mientras que el segundo se identifica con el origen de cada población. Entonces, en el espacio de los dos primeros factores es posible definir dos tipos de ambientes, uno asociado a las estaciones del interior de la bahía identificado por la presencia de un mayor número de especies residentes y especies que frecuentemente entran a la bahía por el intercambio de mareas, y otro ligado a las estaciones influenciadas directamente por el agua del exterior, en el que prosperan especies oceánicas y neríticas de afinidad tropical, las cuales presentaron sus mayores abundancias en las estaciones cercanas a la boca de la bahía. A diferencia de mayo, en este mes se observó un incremento en el número de especies (de 22 especies en mayo a 38 especies en agosto), esto puede estar relacionado con un fuerte incremento de la temperatura en toda la bahía (mín. 29.4°C- máx. 32.3°C) asociado con la llegada de aguas cálidas del sur las cuales transportan especies de afinidad tropical, lo que se manifestó con una anomalía de +4°C.

El primer conjunto está constituido por *Acartia clausi*, *Acartia lilljeborgii*, *Labidocera trispinosa*, *Pseudodiaptomus wrighti*, *Centropages furcatus*, *Corycaeus robustus*; estas especies son de afinidad tropical, y tuvieron abundancias altas durante todo el mes en las estaciones del interior de la bahía (O, J, K3) y su presencia fue muy baja en las estaciones cercanas a la boca. *A. clausi* y *A. lilljeborgii* son propias de la bahía, las otras especies están con frecuencia dentro de la bahía por el intercambio de mareas. El segundo conjunto está formado por *Paracalanus aculeatus*, *Paracalanus parvus*, *Acartia danae*, *Oncaea venusta*, *Oncaea conifera*, *Farranula gibbula*, *Euchaeta marina*, *Subeucalanus subcrassus*, entre otras, la mayoría de estas especies son de afinidad subtropical-tropical, algunas son de origen nerítico y otras son oceánicas, sus mayores abundancias se registraron en las estaciones cercanas a la boca, donde es más acentuada la influencia de las aguas del exterior (est. M1, M2, K1, K2, N1). Cabe destacar que en este mes se presentó la especie *Pontella fera*, que es una especie nerítica de afinidad tropical que no había sido registrada antes en el interior de la bahía.

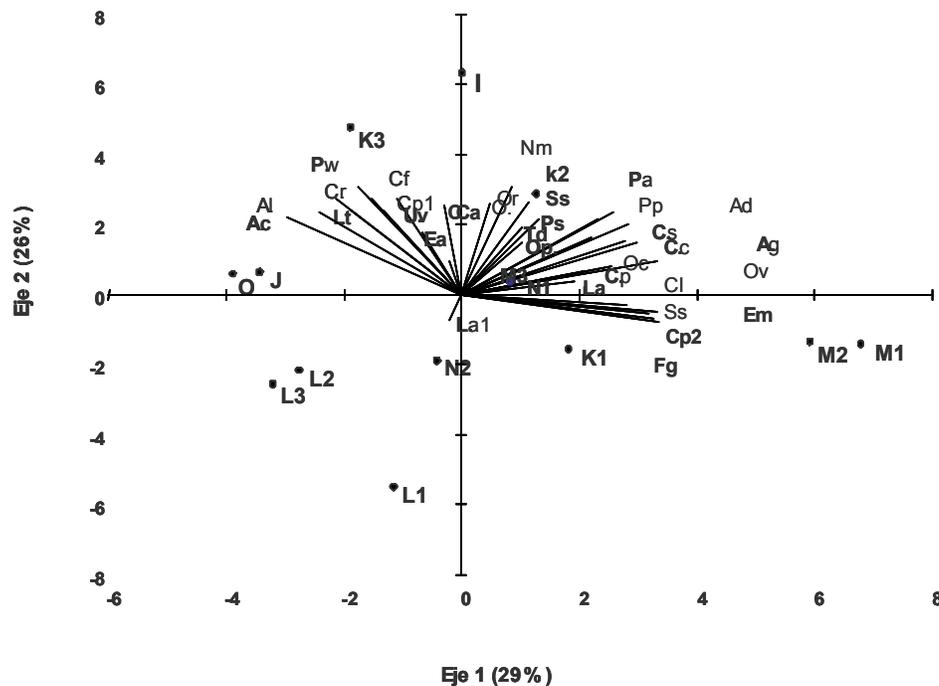


Figura 17. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para agosto de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) *Acartia clausi*, (Al) *Acartia liljeborgii*, (Lt) *Labidocera trispinosa*, (Pw) *Pseudodiaptomus wrighti*, (Cf) *Centropages furcatus*; (Cr) *Corycaeus robustus*, (Cp1) *Canthocalanus pauper*, (Uv) *Undinula vulgaris* y (Ea) *Euterpina acutifrons*. Segundo conjunto: (Pa) *Paracalanus aculeatus*, (Pa) *Paracalanus parvus*, (Ad) *Acartia danae*, (Ov) *Oncea venusta*, (Oc) *Oncea confiera*, (Fg) *Farranula gibbula*, (Em) *Euchaeta marina*, (Ss) *Subeucalanus subcrassus*, (Ps) *Pareucalanus sewelli*, (Cs) *Corycaeus speciosus*, (Cp2) *Calocalanus pavo*, (Cl) *Corycaeus lautus*, (Sb) *Scolecithrix bradyi*, (Ag) *Acrocalanus gracilis*, (Nm) *Nanocalanus minor*, (Op) *Oithona plumifera*, (Cc) *Corycaeus catus* (La) *Labidocera acuta*, (La1) *Labidocera acutifrons* y (Td) *Temora discaudata*.

Para noviembre la representación gráfica del ACP se basa en los dos primeros factores, que en conjunto explican un 50% de la varianza (Figura 18). En este mes también se observa que el primer componente se asocia con los factores que determinan el éxito poblacional de las especies que integran la taxocenosis; mientras que el segundo se identifica con el origen de cada población, separándose entonces las especies que son propias de la bahía de aquellas que tienen sus máximas abundancias en aguas oceánicas o neríticas. En el espacio de los dos primeros factores es posible definir dos tipos de ambientes, uno formado por las estaciones del interior de la bahía identificado por la presencia de un mayor número de especies residentes y especies que frecuentemente entran a la bahía por el intercambio de mareas, y otro ligado a las estaciones influenciadas directamente por el agua del exterior; en el que predominan especies oceánicas y neríticas de afinidad tropical, las cuales presentaron sus mayores abundancias en las estaciones cercanas a la boca de la bahía.

En este mes también se observó un incremento en el número de especies (de 38 en agosto a 40 en noviembre) aunque la temperatura superficial disminuyó (mín. 23.9°C-máx. 25.9°C) comparado con agosto, pero aún es notable la influencia de aguas tropicales, lo que se denota por un mayor porcentaje de especies de afinidad tropical.

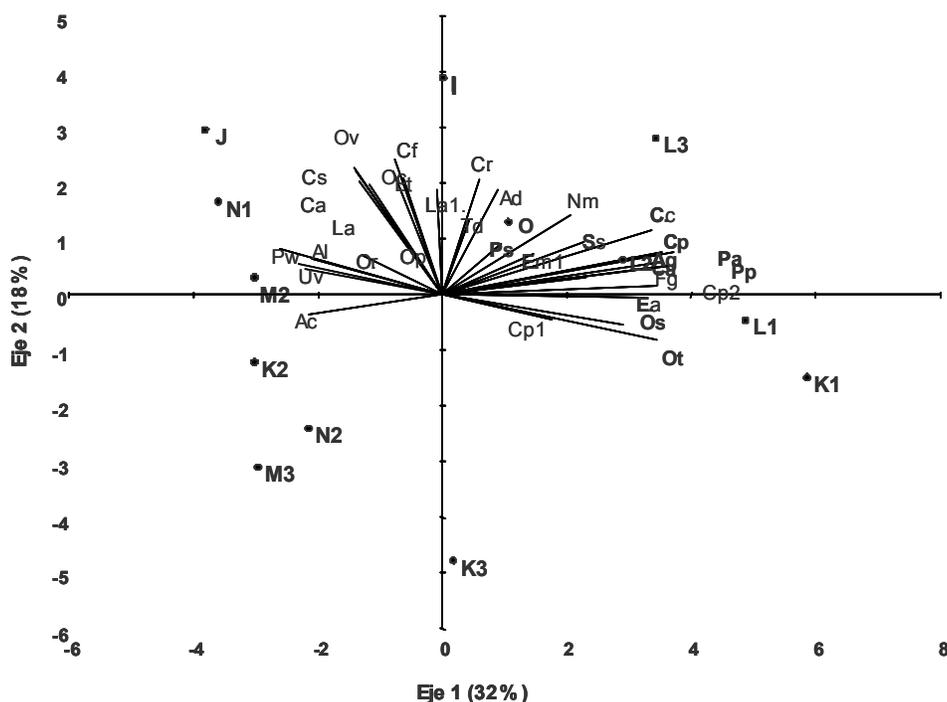


Figura 18. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para noviembre de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) *Acartia clausi*, (Al) *Acartia lilljeborgii*, (Ca) *Corycaeus andrewsi*, (Cr) *Corycaeus robustus*, (Cf) *Centropages furcatus*, (Pw) *Pseudodiaptomus wrighti*, (La) *Labidocera acuta*, (Ov) *Oncea venusta*, (Oc) *Oncea confiera*, (Uv) *Undinula vulgaris* y (Lt) *Labidocera trispinosa*. Segundo conjunto: (Cp2) *Calocalanus pavo*, (Os) *Oithona similis*, (Ot) *Oithona tenuis*, (Pa) *Paracalanus aculeatus*, (Ea) *Euterpina acutifrons*, (Td) *Temora discaudata*, (Fg) *Farranula gibbula*, (Ss) *Subeucalanus subcrassus*, (Ag) *Acrocalanus gracilis*, (Ps) *Pareucalanus sewelli*, (Cc) *Corycaeus catus*, (Ad) *Acartia danae*, (Cp1) *Canthocalanus pauper*, (Em1) *Euchaeta media* y (Ca) *Clausocalanus arcuicornis*.

El primer conjunto de especies está formado por *Acartia clausi*, *Acartia lilljeborgii*, *Corycaeus andrewsi*, *Corycaeus robustus*, *Centropages furcatus* y *Pseudodiaptomus wrighti*, entre otras. La mayoría de las especies que forman este grupo son de afinidad tropical y sus mayores abundancias se registraron en las estaciones del interior de la bahía cerca de la zona de canales (I, J, N1), mientras que *A. clausi* presentó sus mayores abundancias en las estaciones del centro de la bahía (K2, M2). El segundo conjunto formado por *Calocalanus pavo*, *Oithona similis*, *Oithona tenuis*, *Paracalanus aculeatus* y

Paracalanus parvus, entre otras. Estas especies son de afinidad tropical y algunas son de origen oceánico y nerítico lo cual coincide con sus mayores abundancias en las estaciones cercanas a la boca (est. K1, L1, L2). Algunas de las especies de ambos conjuntos se ubican cerca del origen, debido a su baja correlación con ambos componentes en función de su baja abundancia o distribución restringida.

En enero la representación gráfica del ACP se basa en los dos primeros factores, que en conjunto representan el 45% de la varianza (Figura 19). Se puede observar que el primer componente se asocia con los factores que determinan el éxito poblacional de las especies que integran la taxocenosis; mientras que el segundo se identifica con el origen de cada población, separándose así las especies que tienen sus máximas abundancias en aguas oceánicas o neríticas de aquellas que son propias de la bahía. De esta forma, en el espacio de los dos primeros factores es posible definir dos tipos de ambientes, uno asociado a las estaciones del interior de la bahía y el otro a las estaciones influenciadas por el agua del exterior, es decir las que están cercanas a la boca. En función de esto las especies presentes también muestran una tendencia a separarse en dos conjuntos, el primero comprendido por especies propias de la bahía y aquellas que frecuentemente entran por intercambio de marea; en el segundo predominan especies oceánicas y neríticas de afinidad tropical, las cuales presentaron sus mayores abundancias en las estaciones cercanas a la boca de la bahía.

Además se observó el mayor incremento en el número de especies (de 40 en nov. a 44 en enero), aunque se registró una considerable disminución de la temperatura superficial (mín. 21.2°C- máx. 22.9°C) en comparación con agosto y noviembre, que fue cuando se observaron las temperaturas más elevadas en la bahía, pero es importante destacar que un gran número de especies presentes en este mes aún son de afinidad tropical.

En el primer conjunto de especies sobresalen *Acartia clausi*, *Acartia lilljeborgii*, *Labidocera trispinosa*, *Pseudodiaptomus wrighti*, *Oithona rigida* y *Acrocalanus gracilis*, entre otras; sus mayores abundancias se presentaron en las estaciones del interior de la bahía (est. I, J, K3), otras especies que encontramos en este grupo son *Farranula gibbula*, *Corycaeus lautus*, *Corycaeus robustus* las cuales estuvieron presentes con abundancias más altas en las estaciones L2, L3, O, las abundancias que presentaron en las estaciones mencionadas anteriormente fueron bajas. Este grupo se conformó con especies

residentes de la bahía y de especies que frecuentemente entran a la bahía por intercambio de marea, la afinidad de la mayoría de estas especies es tropical, en este mes estuvieron presentes a pesar de que las temperaturas registradas en las estaciones fueron bajas. El segundo conjunto está formado por *Euchaeta marina*, *Undinula vulgaris*, *Lucicutia flavicornis*, *Calocalanus pavo*, *Corycaeus speciosus* y *Nanocalanus minor* entre otras, la mayoría de las cuales son oceánicas y de afinidad tropical. Sus mayores abundancias se registraron en las estaciones cercanas a la boca (est. M1, K1, L1, N1), las temperaturas registradas en estas estaciones fueron bajas, aunque con un ligero incremento en la estación M1. De igual manera que en el mes anterior, algunas de las especies de ambos conjuntos se ubicaron muy cerca del origen, debido a su baja correlación con ambos componentes en función de su baja abundancia o distribución restringida.

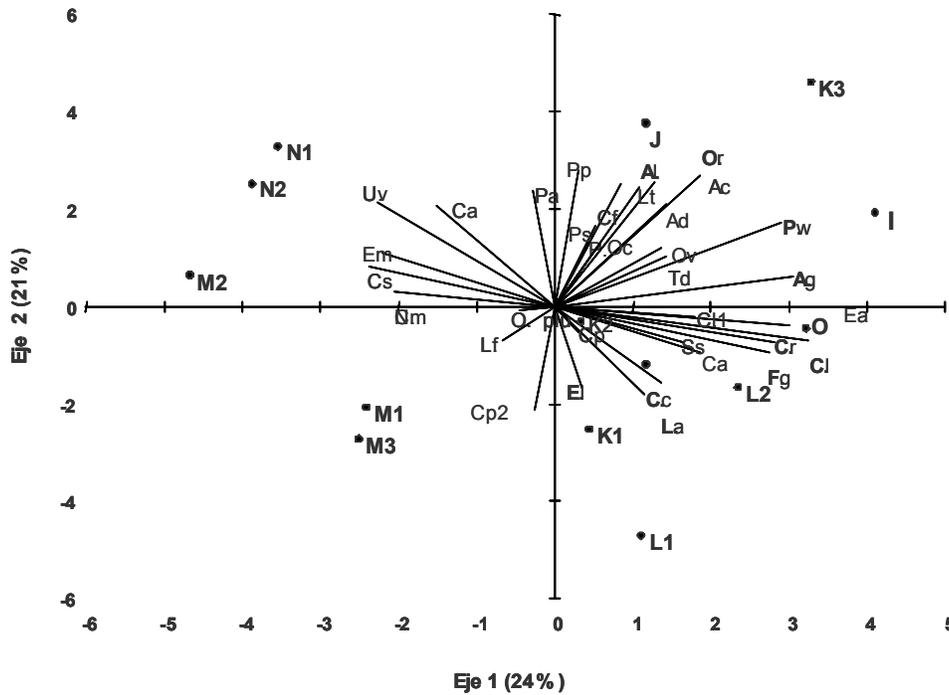


Figura 19. Biplot de variables (especies) y observaciones (estaciones) de los dos primeros ejes resultantes del ACP para enero de 1997 en Bahía Magdalena, México. Primer conjunto: (Ac) *Acartia clausi*, (Al) *Acartia lilljeborgii*, (Pw) *Pseudodiaptomus wrighti*, (Or) *Oithona rigida*, (Ag) *Acrocalanus gracilis*, (Ea) *Euterpina acutifrons*, (Lt) *Labidocera trispinosa*, (Ca) *Clausocalanus arcuicornis*, (Cc) *Corycaeus catus*, (La) *Labidocera acuta*, (El) *Euchaeta longicornis*, (Td) *Temora discaudata*, (Fg) *Farranula gibbula*, (Cp1) *Canthocalanus pauper*, (Ss) *Subeucalanus subcrassus*, (Ps) *Pareucalanus sewelli*, (Ad) *Acartia danae*, (Cl1) *Corycaeus latus*, (Oc) *Oncea confiera*, (Ov) *Oncea venusta* y (Cr) *Corycaeus robustus*. Segundo conjunto: (Em) *Euchaeta marina*, (Uv) *Undinula vulgaris*, (Cp2) *Calocalanus pavo*, (Cs) *Corycaeus speciosus*, (Nm) *Nanocalanus minor*, (Ca) *Corycaeus andrewsi*, (Pa) *Paracalanus aculeatus* y (Op) *Oithona plumifera*.

6.6 Especies Dominantes y Temperatura

Al relacionar la distribución de las especies dominantes con la temperatura del mar (Figura 20), se observó que la especie de afinidad templada *Calanus pacificus* presentó sus mayores abundancias entre los 18 y 20°C, lo que coincide con su presencia dominante en mayo, *Labidocera trispinosa* que también es una especie de afinidad templada presentó abundancias altas en un intervalo más amplio de temperatura que *C. Pacificus*, entre 18 y 30°C. Las especies del genero *Acartia* (*Acartia clausi* y *Acartia lilljeborgii*) tuvieron sus abundancias mayores alrededor de los 30°C, coincidiendo con su afinidad tropical y con la dominancia de éstas en agosto, que fue el mes en el cual se registró la mayor anomalía positiva (+4.4°) del evento El Niño. En cuanto a las especies del genero *Paracalanus*, ambas presentaron sus mayores abundancias entre los 20 y 30°C, aunque la abundancia registrada de *Paracalanus aculeatus* (especie de afinidad tropical) fue superior a la que presentó *Paracalanus parvus* (especie de afinidad templada) en el periodo frío (meses de noviembre y enero) que fue cuando presentaron sus mayores abundancias en la bahía.

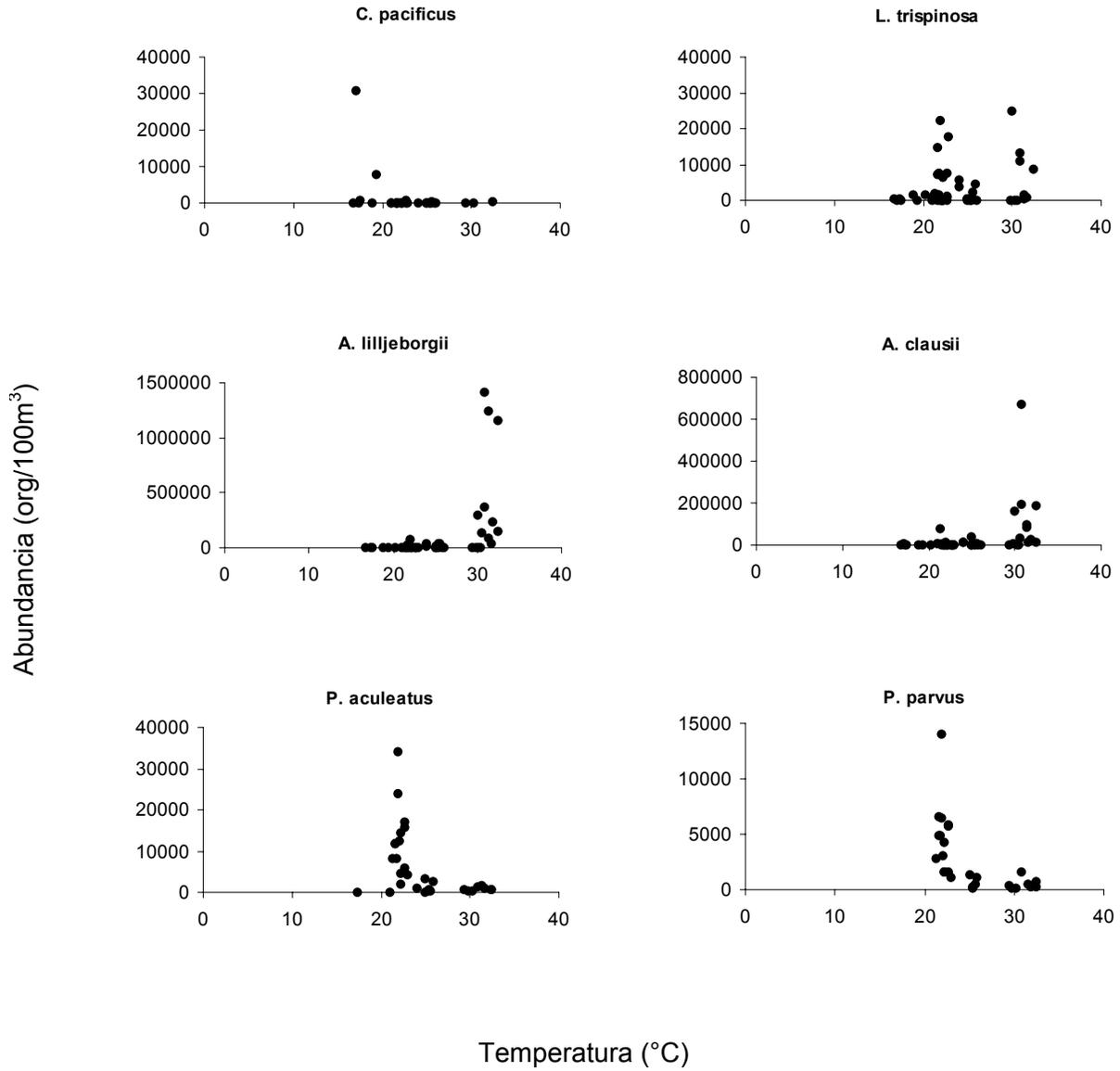


Figura 20. Abundancia de las especies dominantes en relación con la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, México

7. DISCUSIÓN

El Niño 1997/98 ha sido considerado como uno de los eventos más fuertes del siglo veinte y se compara en magnitud y extensión al evento de 1982/83 (Wolter y Timlin, 1998; McPhaden, 1999; Lynn *et al.*, 1998). Las evidencias de este evento se manifestaron en el Pacífico ecuatorial durante marzo de 1997, alcanzando su máxima intensidad en junio del mismo año (McPhaden, 1999; Sánchez *et al.*, 2000). En las costas de Baja California Sur frente a Bahía Magdalena El Niño se hizo presente desde junio de 1997 (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999; Palomares-García *et al.*, en prensa), mientras que para Baja California la evidencia del evento El Niño se registró un mes después, en julio de 1997 por una expansión de la contracorriente costera, la cual transportó agua inusualmente cálida y salina hacia el norte (Lynn *et al.*, 1998; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002). Esto coincide con lo registrado en nuestro estudio, donde para el mes de mayo de 1997, no se apreciaban anomalías positivas en Bahía Magdalena, en correspondencia con el patrón de temperatura registrado en las aguas adyacentes a la bahía (Figura 21). Para agosto de 1997 (Figura 22), se pudo observar la invasión de aguas cálidas en toda el área, hasta una latitud de 60°N en coincidencia con las anomalías más altas registradas en esta zona, superiores en 1.2°C a las observadas durante el evento de 1982/83. Durante noviembre de 1997 y enero de 1998 la zona se encontraba aún bajo la influencia de la onda cálida provocada por el evento El Niño (Figura 23 y 24), aunque se registró una disminución en las temperaturas superficiales provocadas por el cambio climático estacional. Las anomalías positivas en la zona disminuyeron a partir de septiembre de 1998, lo que nos indica un período de relajación, que culmina con la llegada del evento La Niña en 1999 (Bograd *et al.*, 2000; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002; Durazo y Baumgartner, 2002).

Los efectos físicos asociados con la llegada de aguas cálidas a las costas de Baja California y California han sido bien documentadas, entre las más relevantes se encuentran, el calentamiento de la capa de mezcla, la elevación del nivel medio del mar, el incremento del flujo geostrófico hacia los polos y el hundimiento de la termoclina y de la nutriclina (Huyer y Smith, 1985; Reinecker y Mooers, 1986; Murphree y Reynolds, 1995; Durazo y Baumgartner, 2002).

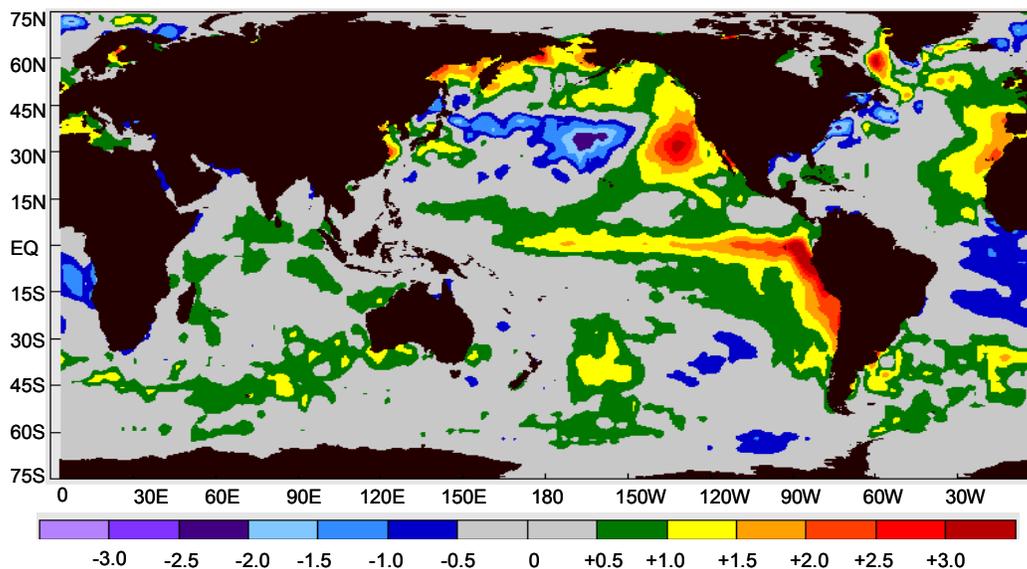


Figura 21. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de mayo de 1997
(Modificada de: <http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/>)

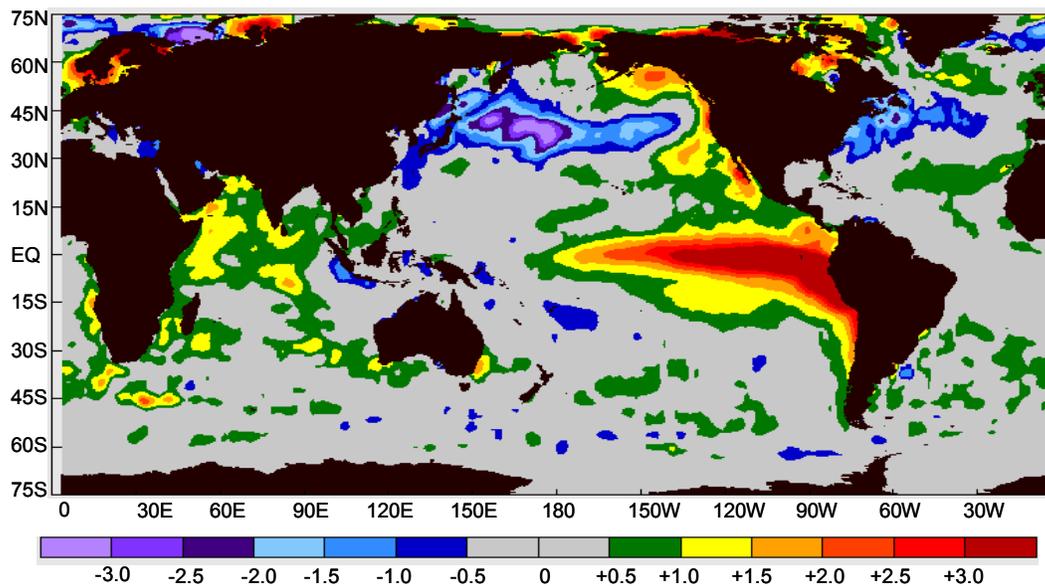


Figura 22. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de agosto de 1997
(Modificada de: <http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/>)

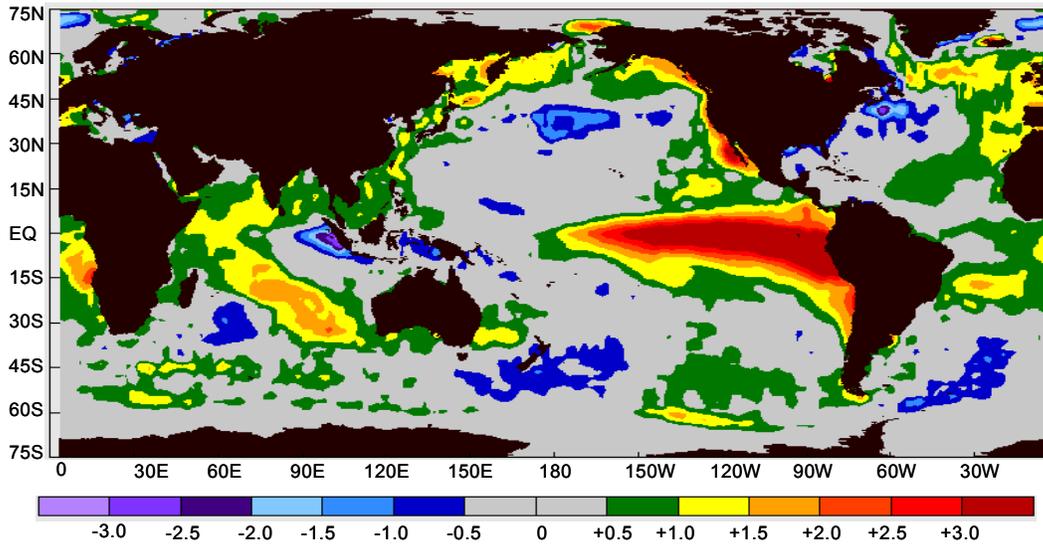


Figura 23. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de noviembre de 1997
(Modificada de: <http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/>)

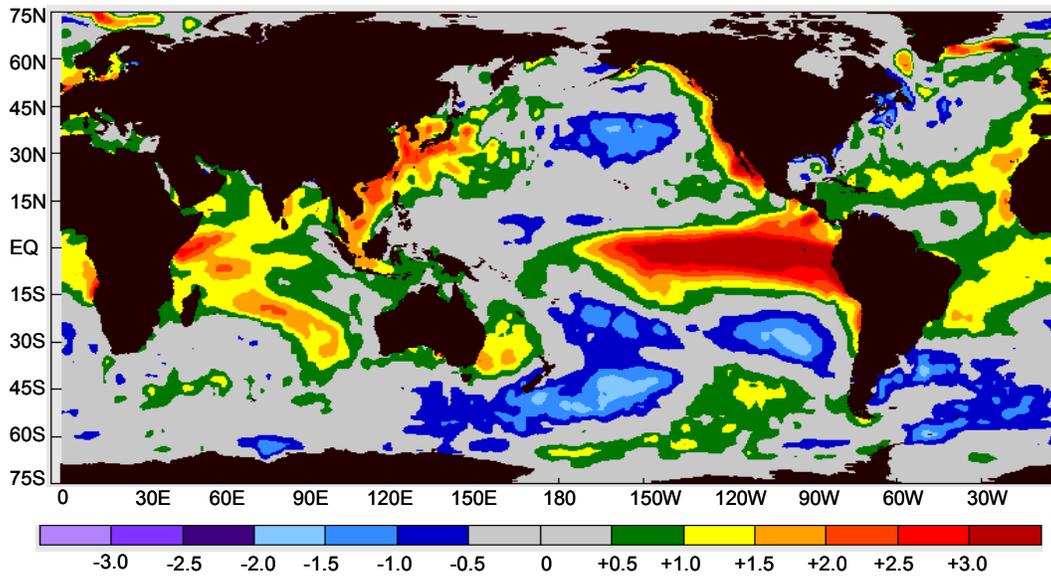


Figura 24. Anomalías de Reynolds de temperatura superficial del mar para el mes de enero de 1998
(Modificada de: <http://www.coaps.fsu.edu/~grant/reysst/>)

Los efectos biológicos de El Niño están menos documentados que los físicos y la mayor parte de la información esta referida al evento de 1982/83. Sin embargo, diversos trabajos han relacionado la intensidad de los eventos ENSO con cambios en las comunidades planctónicas, una de las consecuencias más notables de el evento El Niño es la disminución de la productividad primaria en las zonas de surgencia, debido principalmente al reducido aporte de nutrientes y a las elevadas temperaturas (Barber *et al.*, 1985; Fiedler, 1984; Mullin, 1995; Lenarz *et al.*, 1995). Esta reducción en la productividad primaria se relaciona con la disminución en el volumen de zooplancton, debido principalmente a la escasez de alimento (Chelton *et al.*, 1982; McGowan, 1985; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 1998; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2001; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002). Sin embargo es importante mencionar, que durante eventos El Niño la biomasa zooplanctónica muestra importantes diferencias entre Baja California y la región sur de California, debido probablemente a diferencias en la dinámica del plancton o a patrones de circulación entre las dos regiones (McGowan, 1985; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002). Los cambios térmicos también provocan alteraciones en la estructura de las comunidades de estos organismos, pero los diversos grupos responden de manera diferente a los cambios dependiendo de la magnitud del evento, por ejemplo los eufausidos, durante El Niño 1982/83 (evento El Niño fuerte) presentaron cambios importantes en su composición de especies, mientras que durante el evento de 1986/87 (evento débil) la influencia sobre la estructura de la comunidad de estos organismos no fue evidente (Gómez-Gutiérrez *et al.* 1995). El decremento y los cambios en el plancton repercute en los niveles tróficos superiores debido a que muchas especies de importancia comercial tienen como su principal fuente de alimento a las comunidades planctónicas (Fiedler, 1984; Millar *et al.*, 1985; Fiedler *et al.*, 1986; Barber *et al.*, 1985; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000).

En cuanto a la estructura de la comunidad de copépodos, diversos estudios indican que esta puede verse modificada durante los eventos El Niño. Hernández-Trujillo (1999), menciona que la comunidad de copépodos sufre una "tropicalización" durante eventos El Niño, debido a que la llegada de aguas tropicales y su fauna asociada, provocan un fuerte incremento en la presencia de especies tropicales, algunas de las cuales no habían sido registradas o no son frecuentes en la zona de estudio, mientras que la abundancia de especies templadas típicas de la Corriente de California se reduce considerablemente. Esto concuerda con lo registrado en este estudio, en donde se observó un incremento de las especies de afinidad tropical a partir de agosto de 1997 y también coincide con el

registró de la especie *Pontella fera*, la cual no había sido reportada para el área de Bahía Magdalena. Las especies de afinidad templada estuvieron bien representadas durante mayo de 1997 (cuando aún no se presentaba El Niño en la zona) pero para agosto, noviembre de 1997 y enero de 1998 su abundancia fue muy baja.

En particular para Bahía Magdalena, se han documentado los efectos provocados por eventos El Niño sobre diversos organismos planctónicos. La escasez de nutrientes durante los eventos El Niño, ha sido señalada como la principal causa de la disminución en la biomasa y fuertes cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica (Nienhuis y Guerrero-Caballero, 1985; Nienhuis, 1986; Garate-Lizárraga y Sequeiros-Beltrones, 1998; Martínez-López, 1993; Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000; Garate-Lizárraga *et al.*, 2000). La disminución en la producción fitoplanctónica, también se ha relacionado con cambios en diferentes grupos del zooplancton (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999; Cota-Meza, 2000; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, en prensa). Además se han observado alteraciones en los patrones de distribución de algunas especies de peces, como la sardina y la anchoveta, y también el lento crecimiento de larvas y juveniles debido a la falta de alimento (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987; Funes-Rodríguez *et al.*, 1995; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Palomares-García *et al.*, en prensa).

La biomasa zooplanctónica presenta fuertes variaciones interanuales, pero se aprecia una marcada disminución a partir del evento El Niño 1982/83, la cual se puede deber a diferentes factores en distintas escalas, como los descritos por varios autores para el sistema de la Corriente de California. Roesler y Chelton (1987) atribuyen gran parte de esta variabilidad a los cambios relacionados con la latitud, la estacionalidad y el transporte hacia el sur de la Corriente de California. Roemmich y McGowan (1995), lo asocian con el cambio climático global, mientras que Bakun (1990) lo relaciona con cambios en la intensidad de las surgencias. Finalmente, en una escala interanual, se ha documentado la influencia de los eventos El Niño como uno de los mayores generadores de variación del volumen de biomasa del zooplanctónica (Bernal, 1979, 1981; Chelton, 1981; Chelton *et al.*, 1982; McGowan, 1984, 1985; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 1998; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002).

Hacia el extremo sur de la Corriente de California, donde se ubica Bahía Magdalena,

algunos de estos factores pierden importancia y otros cobran mayor fuerza (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 1998). En el interior de la bahía, los cambios más significativos en el volumen de la biomasa zooplanctónica no ligados con la variación estacional han sido relacionados con una disminución de la biomasa fitoplanctónica, producto de la escasa disponibilidad de nutrientes y de la presencia de aguas tropicales por efecto del evento El Niño 1982/83 (Nienhuis y Guerrero-Caballero, 1986; Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998; Martínez-López, 1993; Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000).

La serie de tiempo de biomasa zooplanctónica para Bahía Magdalena, muestra una marcada disminución a partir de 1983. Durante 1983/84 los valores más altos de biomasa zooplanctónica fueron cinco veces más bajos que los registrados en años previos y para 1986/87 el patrón estacional se mantuvo, aunque los valores observados fueron bajos en comparación con los registrados durante 1983. Durante el evento 1997/98 también se mantuvo el patrón estacional de la biomasa zooplanctónica en la bahía, observándose valores elevados durante los meses de verano, mientras que los valores más bajos se presentan a finales del invierno e inicios de la primavera (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, en prensa), lo anterior coincide con lo observado en el presente trabajo, en donde la biomasa para el mes de mayo fue la más baja que se registró en todo el estudio, mientras que durante el mes de agosto se registraron los valores más altos de biomasa zooplanctónica en la bahía (incremento favorecido por el notable crecimiento poblacional de especies residentes, pertenecientes al género *Acartia*). En tanto que, en noviembre y enero los valores de biomasa fueron menores que los registrados en agosto.

Por otra parte, debido a su ubicación geográfica, Bahía Magdalena esta dentro de un área reconocida como una zona de transición templado-tropical, ya que en esta zona convergen las masas de agua del Pacífico Norte, Central y Oriental Tropical (Brinton y Reid, 1986). Además, es una zona influenciada por las aguas de dos corrientes importantes, una es la Corriente de California, la cual fluye de norte a sur y aporta aguas con temperatura y salinidad bajas (≤ 18 °C y < 34.5 ups respectivamente), además de una alta concentración de nutrientes; la otra es la Corriente Costera de Costa Rica o Corriente Mexicana (Lavín *et al.*, 1997; Badan, 1997), que fluye de sur a norte y aporta aguas de temperatura y salinidad elevadas (≥ 18 °C y < 35.0 ups respectivamente) y pobres en nutrientes (McLain y Thomas, 1983; Lynn y Simpson, 1987). El fuerte intercambio de agua

que tiene Bahía Magdalena con el exterior, hace posible que en el área vestibular de la bahía existan fuertes cambios en la afinidad biogeográfica de las especies de copépodos, fluctuando entre una afinidad templada o tropical, dependiendo de la corriente que este imperando en la zona. Estos cambios fueron registrados durante el presente trabajo y coinciden con los reportados por Palomares-García, (1992) y Palomares y Gómez-Gutiérrez (1996). Nuestros resultados indican la definición de dos periodos; el primero es frío y abarca parte del invierno y la primavera, cuando predominan especies de afinidad templada; mientras que el segundo es cálido y comprende verano y otoño, cuando predominan especies de afinidad tropical.

Otro factor relevante en la hidrodinámica de Bahía Magdalena es el viento. Este presenta una fuerte variación estacional y provoca procesos de mezcla vertical en la columna de agua, principalmente en los meses de marzo a junio (Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000). Los afloramientos asociados con dicha mezcla determinan en buena medida los ciclos de producción en la bahía, ya que el primer pico de abundancia del microfitoplancton, ocurren durante la primavera en correspondencia con las surgencias que se presentan frente a la bahía en esta época. Un segundo pico de abundancia se observa durante el otoño relacionado con el rompimiento de la termoclina y la homogenización de la columna de agua (Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000; Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000). Esta elevada disponibilidad de alimento favorece la proliferación de especies herbívoras como *Calanus pacificus* y *Paracalanus parvus* hacia finales del invierno y durante la primavera (Palomares-García, 1989; Hernández-Trujillo, 1991; Mullin, 1995). En tanto que durante el verano y el otoño, con la disminución del fitoplancton, se observa un predominio de especies omnívoras, pertenecientes al género *Acartia* (Palomares-García, 1989). Esto coincide con lo encontrado en este trabajo, en donde se observan altas abundancias de *Calanus pacificus* en mayo de 1997 y una co-dominancia de *Paracalanus parvus* en enero de 1998, mientras que en agosto y noviembre de 1997 la taxocenosis estuvo dominada por *Acartia lilljeborgii* y *Acartia clausi*.

Esto demuestra que la sucesión estacional de las especies dominantes en la taxocenosis de copépodos prevalece aún en condiciones anómalas como las registradas durante el evento 1997/98, aunque con algunas diferencias respecto a las registradas durante eventos anteriores (Palomares-García, 1992; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez,

1996). La alternancia de especies del género *Acartia* por especies del género *Paracalanus* se mantuvo. Sin embargo, en esta ocasión *Acartia clausi* y *Acartia lilljeborgii* fueron sustituidas por *Paracalanus aculeatus* que es una especie nerítica de afinidad tropical. En estudios anteriores (realizados en períodos no Niño y Niño) (Palomares-García, 1992; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996), la especie dominante durante el período frío fue la especie de afinidad templada *Paracalanus parvus*. La llegada de *Paracalanus aculeatus* a esta zona fué uno de los cambios más notables en la composición faunística de Bahía Magdalena, ya que se tiene registro de la permanencia de esta especie en la zona con abundancias elevadas durante los tres años posteriores al evento de El Niño 1997/98, mientras que *Paracalanus parvus* se presentó con abundancias muy bajas en la bahía (datos sin publicar, CICIMAR).

Otra diferencia notable en cuanto a la sucesión de especies observada entre este trabajo y el realizado por Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996) para El Niño 1982/83, fue que durante el evento 1997/98 no se presentó la sucesión de *Acartia clausi* por *Acartia tonsa*. Esta última, solo se registró durante el mes de enero de 1998 con abundancias muy bajas, mientras que para el evento 1982/83, el reemplazo de *Acartia clausi* por *Acartia tonsa* se presentó durante la fase de mayor intensidad de El Niño y posteriormente *Acartia clausi* desplazó a *Acartia tonsa* durante la fase de relajación del evento. Durante el 1997/98, la especie residente *Acartia clausi* no tuvo una disminución en su abundancia tan acentuada como en 1982/83, por lo que muy probablemente la población de *Acartia tonsa*, no encontró condiciones favorables al interior de la bahía, posiblemente debido a que la población de *Acartia tonsa* era muy pequeña como para desarrollarse con éxito y dominar sobre las especies congénicas. Además de que *Acartia tonsa* es más sensible que *Acartia clausi* a los cambios de temperatura (Gaudy *et al.*, 2000).

La dinámica hidrológica de la zona no solo controla la sucesión de las especies dominantes, también se refleja en la estructura de la taxocenosis. De esta forma, durante el mes de mayo de 1997 la presencia de las aguas de la Corriente de California en la zona favoreció la abundancia de especies de afinidad templada (79%), como *Labidocera trispinosa* y *Calanus pacificus*; esta última es considerada como típica de dicha corriente (Hernández-Trujillo, 1991; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000). En agosto y noviembre de 1997, la llegada de aguas inusualmente cálidas favoreció un marcado incremento en el número de especies de afinidad tropical (95% y 88% respectivamente), además en agosto

se presentó la especie *Pontella fera*, que es una especie nerítica de afinidad tropical que no había sido registrada en el interior de la bahía, solo había sido reportada anteriormente para el Golfo de California y Bahía Concepción (Palomares-García *et al.*, 1998). En enero de 1998 las especies más abundantes fueron las del género *Paracalanus*, siendo *Paracalanus aculeatus*, de afinidad tropical la más abundante. Además, se pudo observar que el incremento en el número de especies tropicales se mantuvo (79%) aunque la temperatura del mar descendió, debido probablemente a que la presencia de las aguas cálidas de la Corriente Costera de Costa Rica mantienen su influencia en la zona de estudio en esta época del año (enero). Lo anterior coincide con lo reportado por Palomares-García *et al.*, (en prensa) quienes detectaron, durante este mismo evento, un incremento considerable de especies tropicales durante los meses de mayor intensidad de El Niño y una disminución en la abundancia de las especies templadas en los meses fríos.

Hernández-Trujillo, (1999), encontró que en la costa oeste de Baja California Sur frente a Bahía Magdalena, la proporción regular de la taxocenosis de copépodos es tropical en un 50% en años “no Niño”, mientras que en años “Niño” esta fauna se incrementa hasta un 80%. Durante el evento El Niño 1997/98 se observó un incremento en la abundancia de especies de afinidad tropical o ecuatorial y de ambientes oceánicos en la región sur de la Corriente de California al igual que dentro de Bahía Magdalena, mientras que la abundancia de las especies templadas fue menor durante la fase más intensa de El Niño (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2000). Además, se encontró que las especies templadas como *Calanus pacificus* registraron abundancias bajas, mientras que las especies tropicales y ecuatoriales estuvieron bien representadas, con más de un 80% de la abundancia total, lo cual coincide con lo encontrado por Lavaniegos-Espejo *et al.* (2000); Lavaniegos-Espejo *et al.* (2002) y Palomares-García *et al.* (en prensa). Esta dominancia de las especies de copépodos de afinidad tropical, también coincidió con lo reportado por Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996), durante el evento de 1982/83 (Tabla 4), aunque durante 1982/83 se registraron un mayor número de especies (71) mientras que para 1997/98 se registraron un total de 66, debido probablemente a que se analizó un número mayor de cruceros y a que este evento duró 8 meses más aproximadamente.

Tabla 4. Especies de copépodos de afinidad subtropical y tropical que solo aparecieron en dos eventos El Niño, en Bahía Magdalena, B.C.S., México (Modificado de: Palomares-García *et al.*, en prensa).

Especies	1983/84	1997/98
<i>Acartia tonsa</i> Dana, 1849	x	x
<i>Acrocalanus gracilis</i> Giesbrecht, 1888		x
<i>Aetideus armatus</i> Boeck, 1872	x	
<i>Calocalanus pavo</i> Dana, 1849		x
<i>Candacia aethiopica</i> Dana, 1849		x
<i>Candacia catula</i> Giesbrecht, 1889	x	x
<i>Candacia longimana</i> Claus, 1863	x	x
<i>Canthocalanus pauper</i> Giesbrecht, 1888	x	x
<i>Centropages abdominalis</i> Sato, 1913		x
<i>Centropages gracilis</i> Dana, 1849	x	
<i>Centropages longicornis</i> Mori, 1932	x	x
<i>Clytemnestra scutellata</i> Dana, 1852	x	
<i>Copilia quadrata</i> Dana, 1852	x	
<i>Corycaeus longistylis</i> Dana, 1848	x	
<i>Corycaeus robustus</i> Giesbrecht, 1888		x
<i>Euchaeta indica</i> Wolfenden, 1905		x
<i>Euchaeta longicornis</i> Giesbrecht, 1888		x
<i>Metridia pacifica</i> Brodsky, 1950	x	
<i>Microcetella rosea</i> Dana, 1848	x	
<i>Oithona attenuata</i> Farran, 1913	x	
<i>Oithona decipiens</i> Farran, 1913	x	
<i>Oithona setigera</i> Dana, 1852	x	
<i>Oithona tenuis</i> Rosendorn, 1917	x	x
<i>Pareucalanus sewelli</i> Fleminger, 1973	x	x
<i>Pleuromamma quadrangulata</i> Lubbock, 1856	x	
<i>Pontella fera</i> Dana, 1849*		x
<i>Pontellina plumata</i> Dana, 1852	x	x
<i>Pontellopsis armata</i> Giesbrecht, 1889		x
<i>Scolecithricella dentata</i> Giesbrecht, 1892		x
<i>Scolerithricella ctenopus</i> Giesbrecht, 1888		x
<i>Subeucalanus subcrassus</i> Giesbrecht, 1888		x
<i>Sapphirina angusta</i> Dana, 1849	x	
<i>Undinula vulgaris</i> Dana, 1852	x	x

*Primer registro para Bahía Magdalena, B. C. S., México.

Bahía Magdalena presenta un intercambio de agua con el exterior que favorece el incremento de la diversidad de especies en la zona de la boca y en la parte central de la bahía (Palomares-García, 1992). De hecho, Gómez-Gutiérrez *et al.* (2001) no encuentran una diferencia significativa entre la parte central de la bahía y la plataforma continental adyacente a Bahía Magdalena, por lo que sugieren que existe un intercambio continuo de especies.

En el presente trabajo se observó que durante el periodo frío (mayo), cuando la influencia de la Corriente de California es más fuerte en la zona, los valores de diversidad registrados fueron bajos en el área de la boca y centro de la bahía, mientras que en los márgenes internos se observaron valores más altos, en tanto que en el periodo cálido (agosto y noviembre), cuando la TSM fue más elevada, se registró un incremento en el

número de especies de afinidad tropical y los valores de diversidad aumentaron en la zona de la boca y en la zona central de la bahía. Incluso cuando la TSM ya había descendido (enero), el incremento en el número de especies tropicales y en los valores de diversidad se mantuvieron, pero este fue más homogéneo en toda la bahía. Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996) y Palomares-García *et al.* (en prensa) encontraron un patrón similar durante los eventos El Niño 1982/83 y 1997/98 respectivamente, una disminución en la diversidad en el periodo frío, mayor influencia de la Corriente de California en la zona y un incremento de ésta en la fase más cálida, debido al mayor número de especies tropicales acarreadas por la Corriente Costera de Costa Rica. Esto sugiere que, durante un evento de calentamiento, la diversidad de la taxocenosis de copépodos se ve incrementada por el mayor aporte de especies tropicales, lo que coincide con la presencia de especies no registradas en eventos anteriores o en años “normales” dentro de Bahía Magdalena.

A lo largo del año, la influencia de las aguas adyacentes a la bahía se refleja en una separación de ambientes. Hacia el interior de la bahía predominan especies propias de ambientes lagunares y especies que frecuentemente entran a la bahía gracias al intercambio de mareas, en tanto que en el área vestibular son más frecuentes las especies alóctonas propias de ambientes oceánicos y neríticos de afinidad tropical, las cuales presentan sus mayores abundancias en las estaciones cercanas a la boca de la bahía. Es en esta zona donde la influencia de los cambios asociados con eventos El Niño se observa en mayor grado, sobre todo en agosto (fase de mayor intensidad del evento) cuando se presenta una fuerte influencia de aguas tropicales y su fauna asociada. Para noviembre y enero la distribución de estas especies alóctonas abarca una mayor extensión, lo que se refleja en un incremento en la diversidad gracias a la conjunción de especies propias de la bahía y especies que entran a la bahía por el intercambio de mareas.

La definición de solo dos grupos de especies de copépodos contrasta con lo observado por Palomares-García (1992) y Palomares-García y Gómez-Gutiérrez (1996), quienes registraron tres grupos de especies; el primero formado por especies residentes de la bahía, las cuales son numéricamente dominantes, debido a la gran abundancia de sus poblaciones, el segundo grupo comprende a especies neríticas que entran regularmente a la bahía por intercambio de marea y son menos abundantes que las especies residentes y

el tercer grupo, reúne a especies de aguas neríticas abiertas y oceánicas, las cuales presentan bajas frecuencias y abundancias dentro de Bahía Magdalena. Estas diferencias en la definición de ambientes al interior de la bahía, puede estar relacionada con el avance de las aguas cálidas y la llegada de especies de origen tropical, lo que favorece una amplia diferencia entre los márgenes internos de la bahía y las aguas del exterior, provocando que no se defina un gradiente semejante al observado en estudios previos. Esto coincide con el más reciente estudio publicado por Gómez-Gutiérrez *et al.* (2001), quienes no observan diferencias significativas entre al área vestibular de la bahía y la zona nerítica adyacente, concluyendo que no se puede definir un ecotono en el área de la boca de la bahía, debido a la fuerte influencia de las aguas del exterior.

8. CONCLUSIONES

Durante El Niño 1997/98 se registró un 7% menos de especies copéodos, en comparación con las registradas durante el evento 1982/83.

Los valores de biomasa zooplanctónica registrados durante El Niño 1997/98 fueron cinco veces mas bajos que los registrados durante el evento El Niño 1982/83 en Bahía Magdalena, sin embargo el patrón estacional se mantuvo, con un incremento en los meses de verano y una disminución en invierno y principios de primavera.

La sucesión estacional de especies en la bahía conserva la misma tendencia registrada en estudios previos; Las especies de afinidad templada dominan cuando las temperaturas superficiales son bajas (17-23°C) y las especies de afinidad tropical cuando las temperaturas se incrementan (29-32°C).

A diferencia de lo reportado en años anteriores, durante El Niño 1997/98 la especie del género *Paracalanus* más abundante, fue *P.aculeatus*, una especie de afinidad tropical y no la especie templada *P. parvus*.

El arribo de aguas tropicales y su fauna asociada a la zona se traduce en un incremento de especies tropicales de un 70% y la presencia de *Pontella fera*, una especie nerítica tropical que no había sido reportada anteriormente en Bahía Magdalena. Su distribución hacia el norte comprendía el Golfo de California y Bahía Concepción.

Uno de los efectos más notables asociados al evento 1997/98 es el cambio en la estructura de la taxocenosis de copéodos, observándose un incremento en la diversidad de 0.24 bits/ind en mayo (previo al registro de anomalías de temperatura positivas) a 3.92 bits/ind en agosto (cuando se registró la anomalía máxima).

Se confirma la presencia de dos conjuntos de especies, uno corresponde a las especies residentes, que son frecuentes dentro de la bahía como *Acartia clausi*, *Acartia lilljeborgii*,

Labidocera trispinosa, *Centropages furcatus*, *Pseudodiaptomus wrighti*, entre otras; el otro esta formado por especies neríticas y oceánicas que entran ocasionalmente a la bahía como *Undinula vulgaris*, *Euchaeta marina*, *Calocalanus pavo*, *Oithona similis*, *Oithona tenuis*, entre otras. Este último conjunto fue el más influenciado por el evento de El Niño 1997/98, debido al incremento de su abundancia y frecuencia dentro de la bahía.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S., Galindo-Bect, L.A. y Chee-Barragán, B. (1975). Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*. 2(2):94-110.
- Amador-Buenrostro, A. y Figueroa-Rodríguez, M. (1997) Glosario de Términos Oceanográficos. En: M. F. Lavín, ed. Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 265-272.
- Badan, A., (1997). La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En: M. F. Lavín, ed. Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 92-112.
- Bakun, A., (1990). Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*. 247: 198-201.
- Barber, R.T., Kogelschatz, J.E. y Chavez, P.F. (1985). Origin of productivity anomalies during the 1982-1983 El Niño. *CalCOFI Rep.* 26: 65-71.
- Bernal, P. (1979). Large-scale biological events in the California Current. *CalCOFI Rep.* 20: 89-101.
- Bernal, P. (1981). A review of the low-frequency response of the pelagic ecosystem in the California Current. *CalCOFI Rep.* 22: 49-62.
- Bograd, S.J., Digiacomo, P.M., Durazo, R., Hayward, T.L., Hyrenbach, K.D., Lynn, R.J., Mantyla, A.W., Schwing, F.B., Sydeman, W.J., Baumgartner, T., Lavaniegos, B. y Moore, C.S. (2000). The state of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime?. *CalCOFI Rep.* 41: 26-52.
- Brinton, R. y Reid, J.L. (1986). On the effect of interannual variations in circulation and temperature upon euphausiids of California current. In: Pierrot-Bults, A.C., Vander Spoel, S., Zahuranec, B. J., Johnson, R.K. (eds.) Pelagic biogeography, vol. 49. UNESCO Tech. Paper, Paris.
- Chelton, D.B. (1981). Interannual variability of the California Current – physical factors. *CalCOFI Rep.* 22: 130-148.
- Chelton, D.B., Bernal, P.A. y McGowan, J.A. (1982). Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. *J. Mar. Res.* 40:1095-1125.
- Contreras, F. (1985). Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo/SePesca, 263 pp.
- Cota-Meza, M. 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. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

- De la Cruz-Agüero, G. (1994). ANACOM- Sistema para el Análisis de Comunidades. Versión 3. Manual de Usuario. México. xi+99pp.
- Durazo, R. y Baumgartner, T.R. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography*. 54: 7-31.
- Fahmy, T. (1999). XLSTAT. Versión 4.3. www.xlstat.com
- Fiedler, P.C. (1984). Some effects of El Niño 1983 on the Northern anchovy. *CalCOFI Rep.* Vol. XXV. pp. 53-58.
- Fiedler, P.C., Methot, R.D. y Hewitt, R.P. (1986). Effects of California El Niño 1982-1984 on the northern anchovy. *J. Mar. Res.* 44: 317-338.
- Funes-Rodríguez, R., González-Armas, R. y Esquivel-Herrera, A. (1995). Distribución y composición específica de larvas de peces durante y después de El Niño, en la costa del Pacífico de Baja California Sur (1983-1985). *Hidrobiológica*, 5 (1-2): 113-125.
- Funes-Rodríguez, R., Fernández-Alamo, M.A. y González-Armas, R. (1998). Larvas de peces recolectadas durante dos eventos El Niño en la costa occidental de Baja California Sur, México, 1958-1959 y 1983-1984. *Oceánides*, 13 (1): 67-75.
- Funes-Rodríguez, R., Hinojosa-Medina, A., Avendaño-Ibarra, R., Hernández-Rivas, M., Saldierna-Martínez, R. y Watson, W. (2001). Spawning of Small Pelagic Fishes in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, at the Beginning of the 1997-1998 El Niño event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53: 653-664.
- Gárate-Lizárraga, I. y Siqueiros-Beltrones, A. (1998). Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982 - 1983 "El Niño" Event (1984 to 1986). *Pacific Science* (1998). Vol. 52: 79-97.
- Gárate-Lizárraga, I., Siqueiros-Beltrones, D.A., Guerrero-Caballero, R. y Verdugo-Díaz. (2000). Dinámica del fitoplancton en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds), BACs: Centro de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 10:143-155.
- Gaudy, R., Cervetto, G. y Pagano, M. (2000). Comparison of the metabolism of *A. clausi* and *A. tonsa*: Influence of temperature and salinity. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 247: 51-65.
- Golden Software, Inc. (2000). Surfer. Versión 7.02. www.goldensoftware.com.
- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R. y Gendron, D. (1995). Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, México during the weak ENSO 1986 - 1987. *Marine Ecology Progress Series*. 120: 41-51.
- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R., De Silva-Davila, R., Carballido-Carranza, A. y Martínez-López, A. (1999). Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. *Journal of Plankton Research*. 21(12) : 2227-2244.

- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R., Hernández-Trujillo, S. y Carballido-Carranza, A. (2001). Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Rev. Biol. Trop.*, 49 (2): 545-558.
- Hernández-Carmona, G., Robledo, D., Serviere, E., Ochoa, E., Sánchez, I., Riosmena, R. y Cano, O. (2000). Efecto de la disponibilidad de nutrientes sobre el reclutamiento y sobrevivencia de *Macrocystis Pyrifera* en Baja California Sur, México, durante el fenómeno de El Niño 1997/1998. Simposio CONACyT. Los efectos del fenómeno El Niño en México. México, D. F. 17-19 de mayo de 2000.
- Hernández-Trujillo, S. (1991). 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. Inv. 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.* 1-12
- Huyer A. y Smith R. L. (1985). The signature of El Niño off Oregon, 1982-1983. *Journal of Geophysical Research.* 90: 7133-7142.
- Krebs, C. J., (1985). Ecología – Estudio de la Distribución y la Abundancia. Harla S. A. de C. V. México, D. F. p. 753.
- Lavaniegos-Espejo, B., Gómez-Gutiérrez, J., Lara-Lara, J. R. y Hernández-Vázquez, S. (1998). Long-term changes in zooplankton volumes in the California Current System - the Baja California region. *Marine Ecology Progress Series* 169: 55-64.
- Lavaniegos-Espejo, B., Gaxiola, B., Jiménez, G., González, L., Baumgartner, M., Durazo, T., García, R. y Lara, J. (2000). Efectos del evento climático El Niño 1997/98 sobre el ecosistema pelágico de la Corriente de California. Simposio CONACyT. Los efectos del fenómeno El Niño en México. México, D. F. 17-19 de mayo de 2000.
- Lavaniegos-Espejo, B., Jiménez-Pérez, L.C. y Gaxiola-Castro, G. (2002). Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progress in Oceanography* 54: 33-58.
- Lavín, M. F., Beier, E. y Badan, A. (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, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana 141-171.
- Lenarz, H., Ventresca, A., Graham, M., Schwing, B., y Chavez, F. (1995). Explorations of El Niño events and associated biological population dynamics off Central California. *CalCOFI Rep.* 36: 106-119.
- Ludwing, J.A. y Reynolds J.F. (1988). *Statistical Ecology: A primer on methods and computing.* John Wiley and Sons, New York. 337 pp.
- Lynn, R. J. y Simpson, J. J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research.* 92: 12947-12966.

- Lynn, R.J., Baumgartner, T., García, J., Collins, C.A., Hayward, T.L., Hyrenbach, K.D., Mantyla, A.W., Murphree, T., Shankle, A., Schwing, F.B., Sakuma, K.M. y Tegner, M.J. (1998). The state of the California Current, 1997-1998: transition to El Niño conditions. *CalCOFI Rep.* 39: 25-49.
- Magurran, A. E., (1988). *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. p. 179.
- Makridakis, S. y Wheelwright, C. (1978). *Forecasting Methods and application*. Wiley, New York, 717 pp.
- Margalef, R. (1980). *Ecología*. Ediciones Omega S. A., Barcelona. p. 951.
- Martínez-López, A. (1993). Efectos del evento “El Niño” 1982-83 en la estructura del fitoplancton en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Martínez-López, A. y Verdugo-Díaz, G. (2000). Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.), *BACs: Centro de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. 9: 125-142.
- McLain, D. R. y Thomas, D. H. (1983). Year-to-year fluctuations of the California Countercurrent and effects on marine organisms. *CalCOFI Rep.* 24: 91-101
- McGowan, J.A. (1984). The California El Niño, 1983. *Oceanus*. 27: 48-51.
- McGowan, J.A. (1985). El Niño 1983 in the Southern California Bight. En: “El Niño North. El Niño effects in the eastern subarctic Pacific Ocean” eds. W. S. Wooster and D. L. Fluharty. Washington Sea Grant Program, University of Washington. 66-184.
- McPhaden, M.J. (1999). Genesis and evolution of the 1997-98 El Niño. *Science*, 283: 950-954.
- Miller, C. B., Batchelder, R. D., Brodeur, R. D. y Percy, W. G. (1985). Response of the zooplankton and ichthyoplankton off Oregon to the El Niño of 1983. En: “El Niño North. El Niño effects in the eastern subarctic Pacific Ocean” eds. W. S. Wooster and D. L. Fluharty. Washington Sea Grant Program, University of Washington. 185-187.
- Mori, T. (1964). The pelagic copepoda from the Neighbouring waters of Japan, Yokendo Co. Tokio. *Monogr.* : 1-150.
- Mullin, M. (1995). The Californian El Niño of 1992 and the fall of *Calanus*. *CalCOFI Rep.* 36: 175-178.
- Murphree, T. y Reynolds, C. (1995). El Niño and La Niña effects on the northeast pacific: the 1991-1993 and 1988-1989 events. *CalCOFI Rep.* 36: 45-56.
- Nienhuis, H., y Guerrero-Caballero, R. (1985). A qualitative analysis of the anual phytoplankton cycle of the Magdalena Complex (México). *Journal of Plankton Research*. 7(4): 427-441.

- Nienhuis, H. (1986). La composición específica, diversidad y biomasa del fitoplancton de Bahía Magdalena de septiembre de 1980 hasta junio de 1984. *Atlas Investigaciones Marinas*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas 5:1-70.
- Norton, J., McLain, D., Brainard, R. y Husby, D. (1985). The 1982-1983 El Niño event off Baja and Alta California and its ocean climate context. En: "El Niño North. El Niño effects in the eastern subarctic Pacific Ocean" eds. W. S. Wooster and D. L. Fluharty. Washington Sea Grant Program, University of Washington. 44-71.
- Odum, E. P. (1972). *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana S. A. de C. V. México, D. F. p. 639.
- Owre, M. y Foyo, M. (1967). Copepods of the Florida Current. *Fauna Caribeana*. 1-137.
- Palomares-García, R. (1989). Análisis de la variación espacio-temporal de los copépodos planctónicos en Bahía Magdalena Baja California Sur (1983-1984). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Palomares-García, R. (1992). Analysis of the taxocenosis of copepods in the lagoon complex of Magdalena-Almejas Bay., B.C.S., in 1985 - 1986. *Ciencias Marinas* 18: 71-92.
- Palomares-García, R. y Gómez-Gutiérrez, J. (1996). Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during El Niño 1983 - 1984. *Estuarine, coastal and Shelf science*. 43: 583-595.
- Palomares-García, R., Suárez, E. y Henández, S. (1998). Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano. CICIMAR-IPN. 352 P.
- Palomares-García, R., De Silva, R., Martínez, A., Hinojosa, A., Avendaño, R. y Funes, R. (2001). El evento El Niño 1997-1998 y su impacto sobre el zooplancton en Bahía Magdalena, B.C.S. En: Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 1: 192-198.
- Palomares-García, R., De Silva, R., Martínez, A., Funes, R., Carballido, A., Avendaño, R., Hinojosa, A. y López, G. (en prensa). Biological effects of El Niño 1997/98, in a shallow subtropical ecosystem. *Geofísica Internacional*.
- Pielou, E.C. (1975). *Ecological diversity*. Wiley Interscience, New York, 627 p.
- Pielou, E.C. (1984). *The interpretation of ecological data. A primer on classification and ordination*. John Wiley and Sons, New York. 263 p.
- Reinecker, M.M. y Mooers, C.N.K. (1986). The 1982-1983 Niño off northern California. *Journal of Geophysical Research*. 91: 6597-6608.
- Ricklefs, R.E. y Miller, G.L. (1999). *Ecology*. 4a. edición W. H. Freeman and company, New York. 822 p.

- Roden, G. (1971). Aspect of the transition zone in the Northeastern Pacific. *Journal of Geophysical Research*. 5: 3462-3475.
- Roemmich, D y McGowan, J. (1995). Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science* 267: 1324-1326.
- Roesler, C.S. y Chelton, D.B. (1987). Zooplankton variability in the California Current, 1951-1982. *CalCOFI Rep.* 28: 59-96.
- Saldierna-Martínez, R., Sánchez, C. y Vera R. (1987). Estudios sobre los primeros estadios de vida de la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) y sardina monterrey (*Sardinops sagax*), en Bahía Magdalema, B.C.S. I. Descripción de huevos. II. Distribución y abundancia de huevos y larvas. III Mortalidad larval. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 174 p.
- Sánchez, G., Calienes, R. y Zuta S. (2000). The 1997-98 El Niño and its effects on the castal marine ecosystem off Peru. *CalCOFI Rep.* Vol. 41: 62-86.
- Siqueiros-Beltrones, D.A. (1997). Statistical treatment of Shannon-Wiener's diversity index (H'); testo f normalita for simple values of diatom assemblages. *Oceánides*. 13 (1): 1-11.
- StatSoft, Inc. (2001). Statistica-Data analysis software system. Versión 6. www.statsoft.com
- Stedman, H.F. (1976). Zooplankton fixation and preservation. Monographs on Oceanographic Methodology, 4, UNESCO Press, 174 p.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F. (1979). Biometria. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 832 p.
- Tanaka, O. y Omori, M. (1977). Cyclopoid Copepods of the family Oithonidae in Curuga Bay and adjacent waters. *Bull. Plankton Soc. Japan* 24 (2): 43-81.
- Wolter, K. y Timlin, M.S. (1998). Measuring the strength of the ENSO events: How does 1997/98 rank? *Weather*. 53: 315-324.
- Wrytki, K. (1965). Corrientes superficiales del Océano Pacífico oriental tropical. Comisión Interamericana del Atún Tropical. *Boletín (IX)*. 5: 295-303.
- Wrytki, K. (1975). El Niño. The Dynamic Response of equatorial Pacific Ocean to Atmosphere Forcing. *J. of Phys. Oceanogr.* 5: 572-584.
- Zar, J.H. (1996). Bioestadistical Análisis. Prentice hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 662 pp.
- Zaytsev, O., Salinas-González, F., Cervantes-Duarte, R. y Turrent Thompson, C. (2001). Coastal dynamics influence on nutrient transport at the area of Magdalena-Almejas Lagoon System, Baja California Sur, Mexico. 10th Anniversary Meeting of the PICES (North Pacific Marine Sciences Organization), Victoria, BC, Canada. P. 60.

10. ANEXO

Anexo 1. Abundancia promedio mensual de las especies registradas en Bahía Magdalena, B.C.S. México durante El Niño 1997/98 (org./100m³).

ESPECIE		AFINIDAD BIOGEOGRÁFICA	MAYO	AGOSTO	NOVIEMBRE	ENERO
<i>Acartia clausi</i>	Giesbrecht, 1892	Tem. - Calida	16424	1485838	92107	112151
<i>Acartia danae</i>	Giesbrecht, 1889	Tropical		397644	3515	66133
<i>Acartia lilljeborgii</i>	Giesbrecht, 1889	Ecuatorial	7671	5129983	147820	133326
<i>Acartia tonsa</i>	Dana, 1849	Tem. - Calida				71
<i>Acrocalanus gracilis</i>	Giesbrecht, 1888	Tropical	9	6384	2411	5024
<i>Calanus pacificus</i>	Brodsky, 1948	Templada	40254	440	931	1100
<i>Calocalanus pavo</i>	Dana, 1849	Tropical		129	155	84
<i>Candacia aethiopica</i>	Dana, 1849	Tem. - Calida		20		17
<i>Candacia catula</i>	Giesbrecht, 1889	Ecuatorial				16
<i>Candacia curta</i>	Dana, 1849	Ecuatorial	14			
<i>Candacia longimana</i>	Claus, 1863	Trop. - Ecu.			10	
<i>Canthocalanus pauper</i>	Giesbrecht, 1888	Tem. - Calida		1588	226	
<i>Centropages abdominalis</i>	Sato, 1913	Tropical				7
<i>Centropages calaninus</i>	Dana, 1849	Trop. - Ecu.		56		
<i>Centropages furcatus</i>	Dana, 1849	Tropical		26810	15640	11480
<i>Centropages longicornis</i>	Mori, 1932	Tropical				17
<i>Clausocalanus arcuicornis</i>	Dana, 1849	Trop. - Ecu.	8	188	1061	6245
<i>Clytemnestra rostrata</i>	Brady, 1883	Subtropical			8	
<i>Corycaeus catus</i>	Dahl, 1894	Tropical		592	141	284
<i>Corycaeus latus</i>	Dana, 1848	Tropical				104
<i>Corycaeus lautus</i>	Dana, 1848	Subtropical		264		2671
<i>Corycaeus robustus</i>	Giesbrecht, 1891	Tropical	162	13576	2224	3286
<i>Corycaeus speciosus</i>	Dana, 1849	Subtropical	303	2441	1793	10815
<i>Corycaeus andrewsi</i>	Farran, 1911	Tropical	648	23378	4835	8966
<i>Cymbasoma californiense</i>	Suárez, 1999	Tropical		56	34	
<i>Euchaeta indica</i>	Wolfenden, 1905	Ecuatorial				52
<i>Euchaeta longicornis</i>	Giesbrecht, 1888	Tropical				125
<i>Euchaeta marina</i>	Prestandrea, 1833	Ecuatorial		142		202
<i>Euchaeta media</i>	Giesbrecht, 1888	Tropical			37	18
<i>Euterpina acutifrons</i>	Dana, 1848	Tropical	23	1357	85	1028
<i>Farranula gibbula</i>	Giesbrecht, 1891	Tropical		1106	343	5545
<i>Labidocera acuta</i>	Dana, 1849	Ecuatorial		357	710	35
<i>Labidocera acutifrons</i>	Dana, 1849	Tropical		80	275	
<i>Labidocera jollae</i>	Esterly, 1906	Templada	59	20		
<i>Labidocera trispinosa</i>	Esterly, 1905	Subtropical	52914	188345	17716	41867
<i>Lucicutia flavicornis</i>	Claus, 1863	Tropical				347
<i>Nanocalanus minor</i>	Claus, 1863	Tropical	3	2961	848	1727
<i>Oithona plumifera</i>	Baird, 1843	Tropical	11	1297	2690	10822
<i>Oithona rigida</i>	Giesbrecht, 1896	Subtropical	126	1554	5788	35056
<i>Oithona similis</i>	Claus, 1866	Subtropical			65	36
<i>Oithona tenuis</i>	Rosendorn, 1917	Tropical			233	86

Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena durante El Niño 1997/98

<i>Oncaea conifera</i>	Giesbrecht, 1891	Subtropical		693	383	1788
<i>Oncaea venusta</i>	Philippi, 1843	Subtropical		453	1120	2074
<i>Paracalanus aculeatus</i>	Giesbrecht, 1888	Subtropical	39	6684	8232	174355
<i>Paracalanus parvus</i>	Claus, 1863	Tem. - Calida		3909	3242	64468
<i>Pareucalanus sewelli</i>	Fleminger, 1973	Ecuatorial		1225	4047	4856
<i>Pontella fera</i>	Dana, 1849	Tropical		20		
<i>Pontellina plumata</i>	Dana, 1849	Tropical			13	17
<i>Pontellopsis armata</i>	Giesbrecht, 1889	Tropical			12	
<i>Pseudodiaptomus wrighti</i>	Johnson, 1964	Tropical	536	48863	8216	26628
<i>Rhincalanus nasutus</i>	Giesbrecht, 1888	Templada	69			
<i>Saphirella tropica</i>	Wolfenden, 1906	Tropical			10	7
<i>Scolecithricella dentata</i>	Giesbrecht, 1888	Tem. - Calida	11			
<i>Scolecithricella ctenopus</i>	Giesbrecht, 1888	Tropical	28			
<i>Scolecithrix bradyi</i>	Giesbrecht, 1888	Tropical	9	165	10	
<i>Subeucalanus subcrassus</i>	Giesbrecht, 1888	Ecuatorial		1642	1153	289
<i>Temora discaudata</i>	Giesbrecht, 1892	Tropical		1168	1256	2573
<i>Undinula vulgaris</i>	Dana, 1852	Tropical	92	769	319	543

Anexo 2. Valores calculados de diversidad y equidad por mes y por estación

Estaciones	Mayo	Agosto	Noviembre	Enero
	Diversidad			
I	0.825	1.569	2.71	2.35
J	0.703	1.416	2.276	3.054
K1	2.005	2.282	3.074	2.155
K2	0.844	2.268	1.236	2.739
K3	1.197	1.084	0.423	2.931
L1	0.241	0.472	3.826	2.921
L2	1.81	0.813	2.438	2.673
L3	2.003	1.231	3.412	2.867
M1	0.56	3.835	-	3.176
M2	1.434	3.922	3.068	1.765
M3	1.459	1.744	1.069	2.558
N1	0.789	1.117	3.097	3.082
N2	1.759	0.779	1.763	2.257
O	0.645	0.422	2.649	3.153
	Equidad			
I	0.294	0.334	0.564	0.527
J	0.272	0.395	0.569	0.685
K1	0.668	0.504	0.662	0.453
K2	0.301	0.509	0.309	0.614
K3	0.399	0.251	0.106	0.648
L1	0.093	0.157	0.824	0.608
L2	0.645	0.235	0.513	0.55
L3	0.713	0.388	0.695	0.617
M1	0.187	0.798	-	0.693
M2	0.478	0.834	0.767	0.432
M3	0.92	0.418	0.322	0.691
N1	0.305	0.263	0.758	0.702
N2	0.626	0.21	0.441	0.541
O	0.203	0.118	0.578	0.643