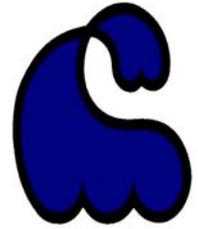




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS



CICIMAR-IPN

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE
LARVAS DE PECES EN BAHIA MAGDALENA
DURANTE EL DESARROLLO DEL EVENTO EL
NIÑO
(1997-1998).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

JULIÁN DAVID LEAL ESPINOZA

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR.

AGOSTO 2006

DEDICATORIA:

A Dios por la salud y la vida sin EL nada somos.

A mi esposa Maria Judith Nolasco Sánchez por la paciencia y amor, que me ayudo a realizar este proyecto de los dos.

A mi bebe Karol Emilia Leal Nolasco que es la razón de mi ser, yo te amo mucho mi “amor”.

A mi padre Julián Leal Aguirre y mi ma’ Octaviana Espinoza Arredondo por darme la vida y educarme según su capacidad.

A mis hermanos que son 9 por eso pondré su primer nombre Alejandro, Julia, Maria, Reina, Francisca, Beatriz, Delia, Heriberto y Miguel.

A mis suegros Santos Nolasco y Rafaela Sánchez que me cuidaron lo que era de ellos (mi esposa) y también a mis cuñadas Danny, Vianey y Perla. (Vamos por unas)

Especialmente en MEMORIA de mi abuela materna MANUELA ARREDONDO que hace un año se nos adelanto en el goce eterno.

A TODOS QUE INVOLUNTARIAMENTE O CON TODO EL DOLO PARTICIPARON Y ENRIQUECIERON ESTA TESIS.

Especialmente a mi director Rene Funes Rodríguez, Martín Rivas Hernández, Alejandro Hinojosa, Rogelio Armas, Gerardo Aceves, Ricardo Saldierna, Raymundo Avendaño, Rocio, Roxana Silva y Ricardo Palomares.

Finalmente y no menos importantes a mis amigos: Raúl Morales (Gato I), Javier Hernández, Claudia Silva, Alfredo García “el licenciado”, Juan Manuel Gutiérrez “El Guata”, José Ángel Trigueros, Juan Francisco Pedroza “El rudo”, Bardo Sánchez, German Ayala (Gato II), Josefina Audelo del Valle y Mayra.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 13:00 horas del día 17 del mes de Mayo del 2006 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:

"DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LARVAS DE PECES EN BAHÍA MAGDALENA
DURANTE EL DESARROLLO DEL EVENTO EL NIÑO (1997-1998)"

Presentada por el alumno:

LEAL Apellido paterno	ESPINOZA materno	JULIÁN DAVID nombre(s)
Con registro:		
A	0	3
0	4	1
0		0

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

DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ

PRESIDENTE

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

SECRETARIO

DR. GERARDO ACEVES MEDINA

SEGUNDO VOCAL

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

TERCER VOCAL

MC. RICARDO JAVIER SALDIERNA MARTÍNEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 02 del mes Junio del año 2006, el (la) que suscribe JULIÁN DAVID LEAL ESPINOZA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A030410 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LARVAS DE PECES EN BAHÍA MAGDALENA DURANTE EL DESARROLLO DEL EVENTO EL NIÑO (1997-1998)" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: julian777david@yahoo.com, rfunes@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


JULIÁN DAVID LEAL ESPINOZA
nombre y firma

Indice	Pag.
RELACIÓN DE FIGURAS.	i
RELACIÓN DE TABLAS.	v
GLOSARIO.	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN.	viii
ABSTRACT.	ix
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. MARCO AMBIENTAL Y ANTECEDENTES.	6
3. JUSTIFICACIÓN.	13
4. HIPÓTESIS.	14
5. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS.	14
6. AREA DE ESTUDIO.	15
7. MATERIALES Y METODOS.	17
8. RESULTADOS	24
8.1 Temperatura superficial del mar.	24
8.1.1. Variación temporal de la temperatura superficial del mar.	24
8.1.2. Variación espacial de la temperatura superficial del mar.	24
8.1.3. Variación interanual de la temperatura superficial del mar.	27
8.2. Biomasa del zooplancton.	27
8.2.1. Variación temporal de la biomasa del plancton.	27
8.2.2. Variación espacial de la biomasa del plancton.	28
8.3 Distribución temporal y espacial de larvas de peces 1997- 1998.	30
8.3.1. Variación temporal de larvas de peces.	30
8.3.2. Variación espacial de larvas de peces.	34
8.3.3. Variación interanual de larvas de peces.	50
8.4. Asociaciones de larvas de peces durante 1997-1998.	51
8.4.1. Análisis temporal de las asociaciones de larvas de peces.	51
8.4.2. Análisis espacial de las asociaciones de larvas de peces.	53
8.5. Análisis de Correspondencia	55
8.6. Abundancia larval y variables ambientales.	59
8.6.1. Intervalos de temperatura superficial donde ocurren las larvas de peces.	59
8.6.2. Intervalos de biomasa del zooplancton donde ocurren las larvas de peces.	63
9. DISCUSION.	68
9.1. Variación térmica temporal y espacial.	68
9.2. Variación temporal y espacial de la biomasa del zooplancton.	71
9.3. Variación temporal y espacial de la abundancia de larvas de peces.	74
9.4. Asociación temporal y espacial de larvas de peces.	80
9.5. Relación entre la abundancia de larvas y las variables ambientales.	83
10. CONCLUSIONES	88
11. LITERATURA CITADA	89

RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudio y plan de estaciones de muestreo en Bahía Magdalena Baja California Sur, México durante 1997-1998.
- Figura 2.** Anomalías térmicas (barras grises) y promedios mensuales (puntos) y estacionales de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena durante el evento El Niño de 1997-1998.
- Figura 3.** Distribución de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena durante invierno (a y b), primavera (c y d), verano (e y f) y otoño (g y h) de 1997 y 1998.
- Figura 4.** Anomalías térmicas (barras grises), promedios mensuales (puntos) y estacionales de la biomasa del zooplancton en Bahía Magdalena durante el evento El Niño en 1997-1998.
- Figura 5.** Distribución de la biomasa del zooplancton ($\text{ml}/1000\text{m}^3$) en Bahía Magdalena durante invierno (a y b), primavera (c y d), verano (e y f) y otoño (g y h) de 1997-1998.
- Figura 6.** Distribución temporal de la abundancia de larvas de: (a) *Sardinops caeruleus*, (b) *Scomber japonicus*, (c) *Quietula y-cauda*, (d) *Ilypnus gilberti*, (e) *Paralabrax nebulifer*, (g) *Paralabrax maculatofasciatus*, (f) *Chaenopsis alepidota* y (h) *Etropus crossotus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño en 1997 y 1998 (área sombreada anomalía de temperatura).
- Figura 7.** Distribución temporal de larvas de: (a) Haemulidae, (b) Mullidae, (c) Gerreidae, (d) *Opisthonema* spp., (e) *Anchoa* spp. y (f) *Calamus brachysomus* en Bahía Magdalena durante El Niño en 1997 y 1998 (área sombreada anomalía de temperatura).
- Figura 8.** Distribución de la abundancia de larvas de *Scomber japonicus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 9. Distribución de la abundancia de larvas de *Sardinops caeruleus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 10. Distribución de la abundancia de larvas de *Ilypnus gilberti* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 11. Distribución de la abundancia de larvas de *Quietula y-cauda* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 12. Distribución de la abundancia de larvas de *Paralabrax maculatofasciatus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 13. Distribución de la abundancia de larvas de *Paralabrax nebulifer* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 14. Distribución de la abundancia de larvas de *Chaenopsis alepidota* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 15. Distribución de la abundancia de larvas de *Calamus brachysomus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 16. Distribución de la abundancia de larvas de Gerreidae en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 17. Distribución de la abundancia de larvas de Haemulidae en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 18. Distribución de la abundancia de larvas de *Anchoa* spp. en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

Figura 19. Distribución de la abundancia de larvas de *Opisthonema* spp. en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

- Figura 20.** Distribución de la abundancia de larvas de *Etropus crossotus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.
- Figura 21.** Distribución de la abundancia de larvas de Mullidae en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.
- Figura 22.** Asociaciones temporales (meses) de larvas de peces obtenidas en Bahía Magdalena de 1997 y 1998. Grupo (A) periodo frío, (B) transición del periodo frío al cálido, (C) Grupo cálido, (D) Grupo de transición del periodo cálido al frío, y un Grupo aislado (Ai).
- Figura 23.** Asociaciones espaciales (estaciones) de larvas de peces en Bahía Magdalena de 1997 y 1998. Asociación Norteña e insular-interior.
- Figura 24.** Diagrama de dispersión de especies, estaciones de muestreo y variables ambientales definidos mediante el Análisis de Correspondencia Canónica en Bahía Magdalena en 1997.
- Figura 25.** Diagrama de dispersión de especies, estaciones de muestreo y variables ambientales definidos mediante el Análisis de Correspondencia Canónica en Bahía Magdalena en 1998.
- Figura 26.** Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- *Sardinops caeruleus*, b).- *Scomber japonicus*, c).- *Quietula y-cauda* y d).- *Ilypnus gilberti* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.
- Figura 27.** Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- *Paralabrax maculatofasciatus*, b).- *Paralabrax nebulifer*, c).- Haemulidae y d).- Gerreidae agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 28. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- Mullidae, b).- *Opisthonema* spp., c).- *Anchoa* spp., d).- *Calamus brachysomus* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 29. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a) *Chaenopsis alepidota* b) *Etropus crossotus* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 30. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Sardinops caeruleus*, b).- *Scomber japonicus*, c).- *Ilypnus gilberti*, d).- *Quietula y-cauda* agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 31. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Paralabrax maculatofasciatus*, b).- *Paralabrax nebulifer*, c).- Haemulidae, d).- Gerreidae agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 32. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Anchoa* spp., b).- *Calamus brachysomus*, c).- Mullidae, d).- *Opisthonema* spp. agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

Figura 33. Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Chaenopsis alepidota* y b).- *Etropus crossotus* agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Taxa seleccionadas mediante el índice del valor Biológico (Sanders, 1960; Loya y Escofet, 1990) de un total de 150 taxa durante 1997 y 1998.

Tabla 2. Prueba de Monte Carlo aplicado a la matriz biológica de larvas de peces y la de variables ambientales en Bahía Magdalena durante 1997.

Tabla 3. Prueba de Monte Carlo aplicado a la matriz biológica de larvas de peces y la de variables ambientales en Bahía Magdalena durante 1998.

GLOSARIO

Alóctono. -(del griego allos, 'otro'; chthon, 'tierra'), ente (biológico o no) no indígena, adquirido, natural de otro lugar diferente al que se encuentra.

Autóctono. -(del griego autos, 'uno mismo'; chthon, 'tierra'), ente (de naturaleza biológica o inorgánica) natural del lugar donde se encuentra. El caso de los endemismos es una situación extrema en que una especie autóctona pertenece a un rango geográfico muy limitado. No obstante, el carácter de autóctono no implica limitación geográfica, existiendo especies de muy amplia distribución que responden a dicho carácter.

Antiestuario. -Estuario en el cual la evaporación excede a la precipitación, escurrimiento de agua dulce. También conocidos como estuarios negativos.

Abundancia. -Número total de individuos de una especie o especies que existen en un área, volumen, población o comunidad.

Biomasa. -abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico.

ENOS. -El Niño Oscilación del Sur: evento que conlleva a dos componentes una oceánica y otra atmosférica en el Pacífico Ecuatorial, que provoca la invasión de aguas anormalmente cálidas, elevación del nivel medio del mar y hundimiento de la termoclina.

Fitoplancton. -Fracción del plancton que representa a los vegetales con capacidad de producir su propio alimento mediante fotosíntesis.

Larvas. -Estadio del desarrollo de las larvas de peces, desde de la eclosión del huevo hasta la transformación donde adquiere todos los caracteres merísticos externos (aletas y escamas).

Sucesión. -Conjunto de cambios que se producen en un ecosistema a lo largo del tiempo. Estos cambios son la consecuencia de las interacciones entre los organismos y los factores abióticos del ecosistema, y producen la sustitución de unos seres vivos por otros.

Surgencia. -Afloramiento de agua provocada principalmente por viento, el cual al soplar con cierta intensidad por un tiempo tiende a desplazar agua hacia mar adentro por efecto de coriolis, la cual es remplazada por agua fría y rica en nutrientes por debajo de la termoclina.

Termoclina. -Región fronteriza del mar entre dos capas de agua de temperatura diferente, en la que la temperatura cambia a razón 0.2° C por cada 10 m de profundidad.

Vientos alisios. - Sistema de vientos oceánicos tropicales uniformes que soplan hacia el ecuador desde el noroeste del hemisferio norte y del sudeste en el hemisferio sur.

AGRADECIMIENTOS:

Al Instituto Politécnico Nacional por permitirme ser alumno de esta gran casa de estudio.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Por todas las facilidades otorgadas para llevar a cabo mis estudios de postgrado.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la Beca que permitió mi estancia y termino de los créditos de estudios.

A la Beca PIFI Otorgada por IPN por la ayuda económica cuando se vinieron tiempos difíciles y permitieron la conclusión de la Tesis.

Al Dr. Rene Funes Rodríguez por aceptarme como su alumno y por todo el apoyo y ayuda brindada gracias Dr. Todo se lo debo a USTED.

A los Maestros que me impartieron las clases y sus historias ayudando a mi formación profesional.

A Dr. José Ángel Trigueros Salmeron Por darme posada los primeros días de mi estancia en la Paz.

Al Dr. David Alfaro Siqueiros por conectarme con mi Director de tesis.

A todos los que participaron y generaron la base de datos que sirvieron para el presente trabajo: Alejandro Hinojosa, Raymundo Avendaño, Roxana Silva, Rene Funes Rodriguez y Jesús Romero.

Especialmente a Martín Rivas Hernández por su apoyo y orientación en la cuestión estadística.

A susanita Carillo Coop y Gerardo Aceves por la orientación en la programa Surfer gracias susana. Me puedes volver a decir como funciona!!!

A Raymundo Avendaño y Ricardo Palomares por su apoyo de manera inconsciente (con el mapa base BAMA y Anomalías de la temperatura del mar).

RESUMEN

La sucesión estacional de las larvas de peces en Bahía Magdalena ha sido asociada con la variación oceanográfica producto de la influencia de corrientes oceánicas que influyen desde la zona oceánica adyacente. Sin embargo, los eventos de calentamiento El Niño producen cambios en la diversidad biológica y la productividad del sistema. Con el objeto de analizar los cambios en la distribución espacio-temporal de larvas de peces durante el desarrollo del evento de calentamiento El Niño de 1997 y 1998, se utilizaron las larvas de peces previamente identificadas durante muestreos mensuales de 1997 a 1998 en Bahía Magdalena. De un total de 150 taxa determinados, se seleccionó a 14 de ellos (9 a nivel específico, 3 a nivel familia y 2 a nivel genérico) cuyos principales atributos fueron su abundancia y frecuencia numérica, que explican el 95% de la abundancia y 86% de la frecuencia de ocurrencia. En general, la disminución de su abundancia de las larvas de peces fue relacionado con la permanencia del evento de calentamiento. No obstante, las especies típicamente tropicales no presentaron cambios importantes durante el máximo desarrollo y maduración del evento El Niño, no así las de origen templado-transicional que mostraron cambios en su abundancia y tiempo donde ocurren las larvas. A pesar de la disminución de la abundancia de especies residentes y alóctonas fue notable la consistencia en áreas y épocas en la mayoría de las especies. La variabilidad estacional de las asociaciones de larvas de peces es identificada en un periodo de invierno, frío-cálido, verano, y cálido-frío, mientras que la variabilidad espacial identifica a un grupo norteño (zona de esteros y canales poco profundos), y otro insular-interior (boca de acceso y canal de navegación). La distribución de especies residentes fue determinada por la biomasa del zooplancton y la temperatura; mientras que las especies alóctonas y algunas residentes por la batimetría y la longitud geográfica en estaciones profundas del margen occidental insular.

ABSTRACT

Seasonal succession of fish larvae has been associated with environmental variations product of the influence of ocean currents from the adjacent oceanic zone. Nevertheless, the presence of inter-annual events El Niño produces important changes in the biological diversity and the productivity of the system. Changes in seasonal and spatial fish larval distribution in Magdalena Bay during the development of the warming El Niño event 1997-1998 were analyzed. Fish larvae information was used from monthly samples collected during 1997-1998. Total of 150 taxa were identified during the studied period, using 14 taxa (9 species, 2 genera, and 3 families) whose main attributes were their abundance and numerical frequency. This species explain 95% of total abundance and 86% and total occurrences during two years of samplings. In general, fish larvae abundance diminished during the period of positive thermal anomalies, which is attributable to the El Niño anomalous conditions. In spite of that, local and alien species showed relative consistency in space and timing. However, tropical species not showed important changes larval abundance during the extreme El Niño conditions, but those of temperate-transicional species affinity showed significant changes during the most intense El Niño phase. Seasonal variation in larval fish assemblages is identified in winter, cool-warm, summer and warm-cool, while spatial variation divided the lagoon system in one northern area characterized by shallow channels and estuaries and insular-inlet group, exposed to the zone open to the ocean, and navigation channel. Local species were positively correlated with geographical latitude, sea surface temperature, and small plankton volume in the Northern and Eastern zone; whereas, local and alien species are determined by bathymetry and geographical longitude in deepest stations.

1. INTRODUCCION

La riqueza de peces en el área de influencia de la Corriente de California disminuye de sur a norte relacionado con la latitud geográfica y el descenso de temperatura (Horn, 1980). Las especies de origen tropical tienen como límite norteño el sur de California; mientras que las especies de afinidad templada el límite sureño es Baja California. Sin embargo, Point Conception, California (34.5° N) parece ser el límite faunístico que actúa como barrera, principalmente para las especies tropicales (Horn, 1980). Con relación a esto, la regionalización zoogeográfica de la distribución de los peces del Pacífico Noreste (Allen y Smith, 1988), esta basada en los esquemas propuestos por McGowan (1971) y Briggs (1974), que incluyen a la provincia San Dieguina desde el sur de California hasta Bahía Magdalena, y una provincia Mexicana que se extiende desde el sur de Bahía Magdalena hasta el Golfo de Tehuantepec.

En la provincia San Dieguina no hay un cambio gradual aparente de las especies de origen templado y tropical, lo cual es debido a que la fauna de origen templado que es común al sur de California, reaparece tan al sur como Bahía Magdalena adaptada parcial o totalmente a la zona de surgencias costeras. En cambio las especies de origen tropical, a pesar de presentar una marcada disminución entre Cabo San Lucas y Bahía Magdalena, encuentran sitios apropiados dentro de lagunas costeras y ensenadas (Briggs, 1974). De acuerdo con esto, Bahía Magdalena es el lugar donde se registra la mayor tasa de cambio de especies, y por lo tanto pudiera ser identificada como el límite norteño de la denominada provincia Mexicana (Briggs, 1974).

La ictiofauna de Bahía Magdalena esta caracterizada por tres componentes: el templado-cálido (provincia San Dieguina); el subtropical; y el subtropical-tropical que probablemente se originó al momento de la formación de la Península de Baja California entre el Mioceno y el Plioceno (Castro-Aguirre y Torres-Orozco, 1993). Por lo que su riqueza de especies se ve reflejada en la presencia de aproximadamente 260 especies de peces óseos (De la Cruz-Agüero

et al., 1994; Galván-Magaña *et al.*, 2000), que en conjunto representan el 65% de un total de 400 especies reportadas en la zona costera de Baja California (Fisher *et al.*, 1995; Moser, 1996).

Dentro de la gran diversidad faunística se incluye un importante componente de peces pelágicos menores de importancia comercial el cual es denominado recurso sardina como son: la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*); la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*); la macarela (*Scomber japonicus*), la sardina japonesa (*Etrumeus teres*), y la sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*) (Mathews, 1975; Félix *et al.*, 1996). Además de especies propias de lagunas costeras de interés en la pesquería ribereña (familias Gerreidae, Serranidae, Haemulidae y Mullidae) (Fisher *et al.* 1995), y de importancia ecológica, por su alta abundancia son parte importante en la cadena trófica (*Ilypnus gilberti*, *Quietula y-cauda* y *Anchoa* spp.) (Horn, 1980).

Los estuarios y lagunas donde habitan estas especies, son importantes, debido a que sirven como complemento en los patrones de migración de los peces; sirviendo de refugio para los peces en reproducción; además son áreas que proporcionan protección a juveniles; ya que existe la disponibilidad de alimento (Yañez-Arancibia, 1985). No obstante, en estos sitios las condiciones ambientales suelen ser muy rigurosas debido a que cambian rápidamente, lo cual se traduce en una alta variabilidad en el número de especies y su abundancia. A pesar de ello, los peces presentan diferentes mecanismos de respuesta a los cambios del ambiente, ya sea evitando las aguas someras, o desplazándose hacia mar abierto donde las condiciones pudieran ser menos variables (McHugh, 1985).

En cambio, los primeros estadios de vida de los peces son más vulnerables que los juveniles y adultos a los cambios del ambiente, pues requieren de una serie de características físicas y biológicas para alcanzar su desarrollo y supervivencia. Asimismo, el periodo durante el cual los huevos y larvas necesitan satisfacer sus requerimientos es corto, y cambia rápida y continuamente durante su desarrollo (Balon, 1985). Si bien, los agrupamientos de larvas de peces se identifican como un conjunto de especies cuyas larvas son recolectados en una misma área, la coexistencia de especies en una asociación sugiere que comparten requerimientos

comunes durante sus primeros estadios de vida (Fuiman y Werner, 2002). El desarrollo y la supervivencia de los primeros estadios de vida puede ser determinado por diferentes factores, entre los más comunes son: el efecto de la temperatura, la iluminación, las corrientes marinas, y la disponibilidad de alimento (Walker *et al.*, 1987; Bakun, 1996; Griocche *et al.*, 1999).

La estructura temporal de las asociaciones de larvas de peces en la costa occidental de Baja California, ha sido relacionada con cambios estacionales del ambiente producto del patrón de corrientes y fisiografía del área (Moser *et al.*, 1987, Moser y Smith, 1993; Funes-Rodríguez *et al.*, 1995 y 2001; Aceves-Medina, 2003). Es así como los cambios en la composición y estructura de las asociaciones de larvas de peces de Bahía Magdalena, son relacionados con el ciclo térmico estacional y la topografía, que le confiere la presencia de una boca acceso comunicada a la zona nerítica adyacente (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998, 2001, Avendaño-Ibarra, 2004a). En consecuencia, es posible identificar la presencia de huevos y larvas de especies residentes y de especies migratorias, que se introducen con propósitos reproductivos, así como también de los primeros estadios de especies de origen oceánico que penetran por efecto dispersivo del flujo de mareas (Aceves-Medina *et al.*, 1992; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2004a).

A la variación estacional del ambiente se le agregan eventos interanuales de calentamiento El Niño, que son evidentes en la disminución de la abundancia de larvas de peces pelágicos menores de afinidad templada, y un aumento de las especies de afinidad tropical (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, 2003). Sin embargo, estos eventos también influyen en la intensidad del desove de especies pelágico costeras de afinidad templada que se reduce, o se amplía en el caso de las especies tropicales (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987), al igual ocurren cambios en el periodo de mayor actividad reproductiva de especies propias de zonas lagunares, que es limitada a la temporada de invierno-primavera durante El Niño (Avendaño-Ibarra, 2004a).

Los efectos biológicos durante los eventos El Niño en Bahía Magdalena también han sido observados en la disminución de la productividad primaria y secundaria, acompañada de la

presencia de formas pequeñas de fitoplancton (nanofitoplancton), y la disminución del microfitoplancton (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000). Durante El Niño, los copépodos neríticos y oceánicos son más diversos, e incluyen a varias especies tropicales y ecuatoriales cuya abundancia es incrementada durante el máximo desarrollo de El Niño (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996). Así también, es notable la persistencia de un patrón sucesivo de especies dominantes, que muestra la gran adaptabilidad de estas a los cambios ambientales; aún bajo condiciones anómalas El Niño (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; López-Ibarra, 2002).

Los antecedentes que preceden a este trabajo tuvieron por objeto conocer la estructura espacio-temporal de las asociaciones de larvas de peces (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Avendaño-Ibarra, 2004a), o de especies de importancia comercial (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001), así como de larvas de peces de arrecife (Avendaño-Ibarra, 2004b), algunos de ellos desarrollados en diferentes eventos de calentamiento El Niño, o durante años “normales”. Sin embargo, están limitados a observar la variabilidad temporal y espacial de la abundancia de larvas por periodos cortos de tiempo.

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo es conocer la distribución espacio-temporal de la abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena, y de su relación con las variables ambientales durante el evento El Niño de 1997-1998. En este estudio se analiza la distribución y abundancia de las larvas de peces más frecuentes y abundantes durante el periodo caracterizado por el inicio, el máximo desarrollo, y el debilitamiento del evento de calentamiento de El Niño 1997-1998 en Bahía Magdalena.

Las ventajas de trabajar con especies cuyos principales atributos son que su frecuencia y abundancia (Índice de valor Biológico; Sanders, 1960; Loya y Escofet, 1990), implica una disminución en tiempo y costo hombre destinada al análisis de la comunidad, son relativamente fáciles de recolectar puesto que son más abundantes, haciendo más sencillo los estudios de impacto y manejo de ecosistemas. En contraste, el uso de especies raras implica un mayor

tiempo e intensidad del muestreo, periodo y área de colecta. El propósito de este estudio es el de evaluar el uso de las especies más frecuentes y abundantes para indicar una condición o respuesta a una presión, que puede ser ambiental o antropogénica de especies con requerimientos ecológicos similares, como es discutido por Niemi y McDonald (2004). Los indicadores han sido utilizados tanto para evaluar las condiciones del ambiente (calentamiento temprano del sistema), como para diagnosticar el cambio ambiental (Dale y Beyeler, 2001), además de caracterizar las interacciones que determinan la distribución y abundancia de los organismos (Krebs, 1985).

La distribución espacio-temporal de la abundancia de larvas de peces y de su relación con las variables ambientales durante el desarrollo del evento El Niño 1997-1998, fue analizada para tratar de contestar las siguientes preguntas: a) cuales son las especies que caracterizan la comunidad por su alta frecuencia y abundancia; b) en que áreas se localiza la mayor densidad de larvas de peces; c) como es la variabilidad estacional e interanual en la estructura de las asociaciones de larvas de peces; y d) cual es su relación con las variables ambientales.

2. MARCO AMBIENTAL Y ANTECEDENTES

Los antecedentes muestran que la distribución espacio-temporal y abundancia de larvas de peces son una consecuencia de respuestas a procesos bióticos y abióticos en Bahía Magdalena. El principal precursor del cambio es la variación de las características hidrográficas de Bahía Magdalena que están relacionadas con la influencia de dos corrientes principales que circulan en el área oceánica adyacente. Una es la Corriente de California caracterizada por tener agua relativamente fría y de baja salinidad (15-20 °C; 33.5-34.0 ups) de invierno a primavera; y la Contracorriente Costera que es cálida y de alta salinidad (>25 °C; >34.0 ups), presente durante la segunda mitad del año (Sverdrup *et al.*, 1942; Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987).

Por esta razón, la variación de la temperatura promedio mensual de invierno-primavera es comparativamente menor (19.8-21.0 °C); con respecto del verano-otoño (27.1-30.9 °C) (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). En situaciones aparentemente “normales” del estado de las características oceanográficas de la Corriente de California, la diferencia de la TSM entre el mes más frío, y el mes más calido en Bahía Magdalena, es de aproximadamente 7 °C (20.3 y 27.3 °C; mayo y septiembre). Sin embargo, suele ser mucho mayor (12 °C) durante los eventos de calentamiento de gran intensidad, como el registrado de 1997 a 1998 (19.5 y 31.0 °C; mayo y agosto), con anomalías térmicas positivas (+4.0 °C), y la presencia de alta temperatura superficial (31.5 °C) como la registrada al sur de la bahía (Palomares-García *et al.*, 2003).

Aunado a lo anterior, se agrega otro proceso hidrodinámico conocido como la surgencia costera que aporta agua fría, rica en nutrientes, la cual es transportada hacia el interior del sistema lagunar por el flujo de marea (Huyer 1983; Guerrero-Domínguez *et al.*, 1988; Zaytsev *et al.*, 2003). Esto produce un enfriamiento diferencial entre las estaciones cercanas a la boca de acceso con respecto a las estaciones de su interior (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975), que puede ser mayor a 1 °C en las estaciones interiores (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Lluch-Belda *et al.*, 2000).

La estructura de las asociaciones de larvas de peces en Bahía Magdalena ha sido relacionada principalmente con la variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar. Esto ha sido corroborado por Avendaño-Ibarra *et al.* (2004a), quienes mencionan que el ciclo anual de la temperatura en el sistema lagunar es un indicador de la variabilidad ambiental, y que es consistente con cambios en la composición de las especies en: un tipo de asociación de larvas de peces de invierno a primavera; y otro de verano a otoño. Asimismo, estos autores identifican un grupo de transición “frío-cálido” compuesto por especies residentes, con baja dominancia y riqueza de especies en primavera (*Quietula y-cauda*, *Ilypnus gilberti*, *Calamus brachysomus*), y un grupo “cálido-frío” conformado por especies con baja abundancia, riqueza y dominancia durante el otoño (Mullidae, Blenniidae). Las variaciones estacionales también han sido observadas en cambios de la estructura temporal de grupos del fitoplancton y del zooplancton que se manifiestan en una estrecha correspondencia con los procesos de cambio del ambiente (Palomares-García, 1992; Gárate-Lizárraga, *et al.*, 2000).

El efecto de marea en la dispersión y transporte de larvas del zooplancton influye considerablemente en la variación de la abundancia, un ejemplo es la variación observada en larvas de *Sardinops caeruleus*, donde la mayor abundancia se registra durante el reflujó, lo que permite suponer que el desove de esta especie quizá se realicen dentro del sistema lagunar, a diferencia de otras especies de afinidad néritica-oceánica con mayor abundancia durante el flujo de marea (Aceves-Medina *et al.*, 1992). Este efecto también es observado por Avendaño-Ibarra *et al.* (2004a) quienes reportan la presencia, aunque escasa, de larvas de peces mesopelágicos en el sistema lagunar probablemente debido a procesos de transporte. Asimismo, se ha observado que la comunidad del zooplancton no presenta una diferencia significativa entre la parte central de Bahía Magdalena y su exterior, aparentemente debido al vigoroso intercambio que originan las corrientes (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001). Lo cual es físicamente posible debido a que las corrientes generadas son en dirección suroeste y noreste hacia el interior de la bahía (Obeso-Nieblas *et al.*, 1999); y que el probable desplazamiento de una partícula suspendida en la

boca de acceso, sugiere un desplazamiento hasta de 6 Km. hacia el interior durante el flujo de la marea (Sánchez-Montante, 2004).

La relación que existe entre el hábitat del adulto y la distribución de sus productos del desove es importante, ya que las especies autóctonas, utilizan los fondos someros cercanos a la zona de manglares y pastos marinos para efectuar la reproducción, comparado con las especies alóctonas asociadas a la boca de acceso y el canal de navegación (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998). Lo anterior es consistente con la distribución de otros grupos del plancton, donde se aprecia una influencia del agua del exterior con el predominio de especies de origen nerítico y oceánico en los alrededores de la boca de acceso, y una marcada dominancia de especies residentes confinadas a los márgenes interiores (Palomares-García, 1992; Gárate-Lizárraga, 2000).

Una estrategia de las especies residentes para evitar el transporte durante el refluo hacia el exterior de la bahía, es probablemente, el cambiar su posición y velocidad de nado en la columna de agua y utilizar corrientes residuales hacia la costa, en cambio otras especies del zooplancton utilizan el refluo para ser dispersados (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001). Gómez-Gutiérrez y Sánchez-Ortiz (1997), sugieren que los productos del desove son dispersados hacia la región oceánica por intercambio de marea, donde pasan las fases larvianas antes de invadir el sistema lagunar como juveniles; pero también existe la migración de larvas de peces en transformación que ingresan a los estuarios por el fondo a través de las bocas (Krygier y Pearcy, 1986), lo que hace posible la presencia de comunidades que pertenecen a diferente hábitat.

En estudios dirigidos para entender la naturaleza y los patrones de asociación del ictioplancton, se muestra que la estacionalidad en que ocurren los procesos oceanográficos (e. g. patrón de corrientes y surgencias) es la responsable de los diferentes agrupamientos de larvas de peces en tiempo y espacio. Los agrupamientos de larvas de peces en el Golfo de California ocurren de forma estacional en coincidencia con fuertes gradientes latitudinales de temperatura probablemente relacionados con el patrón general de corrientes; sin embargo, la presencia de

dos tipos de agrupamientos durante periodos de transición (primavera y otoño) dividen el área en tres regiones (norte, centro y sur), que presentan cambios latitudinales entre sus fronteras y de su fauna asociada (Aceves-Medina *et al.*, 2004).

La estructura temporal de las asociaciones de larvas de peces en la costa occidental de Baja California, ha sido vinculada con cambios estacionales del ambiente producto del patrón de corrientes, no obstante, la extensión o amplitud de los agrupamientos que son caracterizados por faunas de diferente afinidad biogeográfica, dependen de la intensidad y la magnitud de las corrientes (Funes-Rodríguez *et al.*, 1995 y 2001). Al respecto, Doyle *et al.* (1992) señalan que las agrupaciones de larvas de peces frente a Oregon y Washington, tienen relación con dos ambientes dominantes que son: la Corriente de California y los ciclos de surgencia. Al igual que la variación del régimen de surgencia afecta y quizás controla la composición y abundancia de las agrupaciones de especies en los cuatro sistemas de corrientes de bordes orientales (California, Perú, Canarias y Benguela) (Olivar y Shelton, 1993). Por su parte, Walker *et al.* (1987) sugieren que la temperatura del agua es un precursor importante en la conformación de los cambios de distribución y ocurrencia de larvas de peces en la cuenca de San Onofre, California. Flores-Coto (1987), encuentra que la comunidad lagunar y estructura de las asociaciones de larvas de peces son debidas principalmente a la temperatura y en menor magnitud a la salinidad en el Golfo de México.

La estructura de las asociaciones de larvas de peces también ha sido relacionada con las características topográficas y el comportamiento reproductivo de los adultos. Al respecto, Sabatés (1990) encuentra que la heterogeneidad temporal de las larvas de peces radica en la riqueza de especies y periodos de reproducción; mientras que la espacial depende de los efectos combinados de las características topográficas e hidrográficas en el mar Mediterráneo. A su vez, Doyle (1992) identifica que el origen de las asociaciones de larvas de peces es controlado por la batimetría frente a Oregon y Washington; este autor, describe cuatro tipos de asociaciones (costero, talud-transicional, oceánico, y otro asociado a la descarga del río Columbia. A su vez,

Sánchez-Velasco *et al.* (1996) encuentran un tipo de asociación caracterizada por especies estuario-dependientes en la descarga de ríos, y otra relacionada con la influencia oceánica en Laguna Términos, Campeche. Otras variables ambientales que han sido relacionadas en la formación de asociaciones de larvas de peces en el canal Inglés son la salinidad y fluorescencia (clorofila a) (Grieco *et al.*, 1999).

Por otro lado, es conocido que durante los eventos de calentamiento El Niño ocurren cambios físicos en el noroeste del Pacífico (Norton *et al.*, 1985; Murphree y Reynolds *et al.*, 1995; Schwing *et al.*, 1997; MacPhaden, 1999). El origen de las alteraciones físicas del sistema ocurre cuando los vientos alisios se debilitan en el Pacífico Tropical, y es entonces cuando la masa de agua que se encuentra apilada normalmente en el Pacífico Occidental, tiende a buscar el equilibrio mediante ondas oceánicas que viajan hacia el Pacífico Tropical Oriental. Al llegar al continente, la corriente se ramifica hacia los polos por medio de ondas costeras tipo Kelvin; este tren de ondas que son atrapadas en la costa, tiene entre sus consecuencias la elevación del nivel medio del mar, el hundimiento de la termoclina, el relajamiento de la surgencia costera y consecuentemente una disminución de productividad primaria, secundaria y abundancia de peces (Norton *et al.*, 1985; Murphree y Reynolds *et al.*, 1995). El proceso contrario ocurre durante los eventos La Niña, que es cuando los vientos alisios se restablecen, apilando agua del lado Asiático, lo cual favorece la elevación de la termoclina, el enfriamiento y el enriquecimiento de las aguas superficiales en América (Schwing *et al.*, 1997; MacPhaden, 1999). Un evento La Niña ha sido documentado con un incremento de la producción del zooplancton, y anomalías térmicas negativas en el área de influencia de la Corriente de California desde finales de 1998 al 2001 (Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2003; Schwing *et al.*, 2002).

Los efectos de El Niño 1997-1998 en la parte sureña de la Corriente de California (Ensenada y Magdalena), se manifiestan en el calentamiento local de las aguas dentro de los primeros 100 m de profundidad, con incrementos en la temperatura por arriba del promedio de hasta de 8.5 °C, y cambios en la salinidad de 0.8 UPS frente a Punta Eugenia durante el máximo

desarrollo del evento; además de la disminución de la surgencia costera, el incremento del nivel medio del mar, y el hundimiento de la termoclina (Durazo y Baumgartner, 2002).

Los efectos del evento El Niño en Bahía Magdalena han sido identificados por el incremento de la temperatura superficial del mar, y una disminución de la productividad biológica (Palomares-García *et al.*, 2003); ya que es conocido que las características físico-químicas de su interior están íntimamente ligadas con la región oceánica adyacente (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Guerrero *et al.*, 1988). En Bahía Magdalena, los efectos de El Niño 1982-1983 perduraron por 24 meses (noviembre de 1982, a octubre de 1984), a diferencia de el periodo de anomalías positivas de aproximadamente 15 meses durante El Niño de 1997-1998; seguido de un periodo de enfriamiento, a finales de 1998 (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999, Palomares-García *et al.*, 2001, 2003). La diferencia entre ambos eventos de calentamiento también fue observada en el valor de las anomalías máximas registradas en julio de 1983 (+2.6 °C), y en agosto de 1997 (+ 4.4 °C), lo cual se explica por la intensidad y el periodo en que ocurren los eventos El Niño, que difieren entre ellos (MacPhaden, 1999).

Las alteraciones biológicas durante el período de cambio climático de 1954-1960, con un evento El Niño de 1958 a 1959, han sido documentadas en larvas de peces por Moser *et al.* (1987). Estos autores mencionan que es posible observar diferencias entre los límites de distribución de los complejos multi-específicos del ictioplancton, debido a una superposición en la distribución de especies en el área de influencia de la Corriente de California. En relación a ello, se ha dicho que las variaciones interanuales que determinan la extensión y delimitan las asociaciones de larvas de peces, es el resultado de un corrimiento de límites geográficos de poblaciones de origen tropical en la costa occidental de Baja California, durante El Niño (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Aceves-Medina, 2003).

En Bahía Magdalena, los cambios biológicos durante el evento fueron evidentes en la disminución de la abundancia de huevos y larvas de sardina Monterrey, pero, simultáneamente es notable el incremento en la abundancia de los productos del desove de la sardina crinuda de

afinidad tropical (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Palomares-García *et al.*, 2003). Al igual que ocurren modificaciones del periodo reproductivo de los pelágicos menores, que puede ser por un periodo más amplio en especies tropicales, o se reduce en especies templadas (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987), también se presenta en especies residentes al interior de Bahía Magdalena (Avendaño-Ibarra, 2004b).

En Bahía Magdalena los cambios interanuales producto del evento de El Niño 1982-1983, han sido identificados en la disminución de la producción de fitoplancton que perduró hasta 1984; seguida de una lenta recuperación en 1985 (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000). A su vez, ha sido posible observar una “tropicalización” del sistema en el reemplazo de copépodos de afinidad templada, por especies tropicales durante la fase más intensa del evento; y una disminución de las especies templadas debido a la persistencia de las anomalías térmicas y cambios en las especies de copépodos residentes (Palomares-García *et al.*, 2001; López-Ibarra, 2002; Palomares-García *et al.*, 2003). Sin embargo, los cambios interanuales durante eventos El Niño, han sido realizados sobre especies en particular (Saldierna *et al.*, 1987; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001; Avendaño-Ibarra 2004b), y por periodos que identifican solo una parte del evento de calentamiento El Niño en 1997 (Avendaño-Ibarra 2004b).

3. JUSTIFICACION

El sistema lagunar Bahía Magdalena es considerado como una región importante del Pacífico Mexicano donde se desarrollan las pesquerías de especies de alto valor comercial y altos volúmenes de captura. Su alta diversidad de peces se debe a su ubicación geográfica, situada en una “zona de transición” entre las provincias biogeográficas Mexicana y San Dieguina, lo que permite la presencia de especies de afinidad templada y subtropical-tropical. Es una zona de fuerte contraste estacional ambiental, originado principalmente por el patrón estacional de corrientes y surgencias que influyen a través de su boca de acceso. No obstante, la variabilidad interanual influye en la productividad biológica del sistema, como ocurre durante los eventos de calentamiento El Niño. Si bien, estos eventos se presentan periódicamente (3-7 años), es importante notar que su intensidad y periodo en que ocurren es diferencial a estas latitudes. Debido a lo anterior, la presente información servirá para comprender el impacto del evento El Niño, en los cambios en la distribución y abundancia espacio-temporal de las larvas de peces frecuentes y abundantes en Bahía Magdalena. Esta investigación pretende ser una de las más completas por que incluye información mensual durante dos años consecutivos, que muestran el desarrollo del evento de calentamiento El Niño y posterior debilitamiento e iniciación del evento de enfriamiento La Niña 1998.

4. HIPOTESIS

El evento de calentamiento El Niño 1997-1998 modificó de forma estacional e interanual la distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena.

5. OBJETIVOS.

5.1. OBJETIVO GENERAL.

Conocer la distribución espacio-temporal de larvas de peces en Bahía Magdalena durante el evento El Niño (1997-1998).

5.1.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

- 1) Identificar las temporadas y áreas donde se localiza la mayor densidad de larvas de peces en Bahía Magdalena.

- 2) Establecer la relación entre la distribución y abundancia de las larvas de peces con las variables de temperatura, biomasa del zooplancton, batimetría, latitud y longitud geográfica en Bahía Magdalena.

6. ÁREA DE ESTUDIO

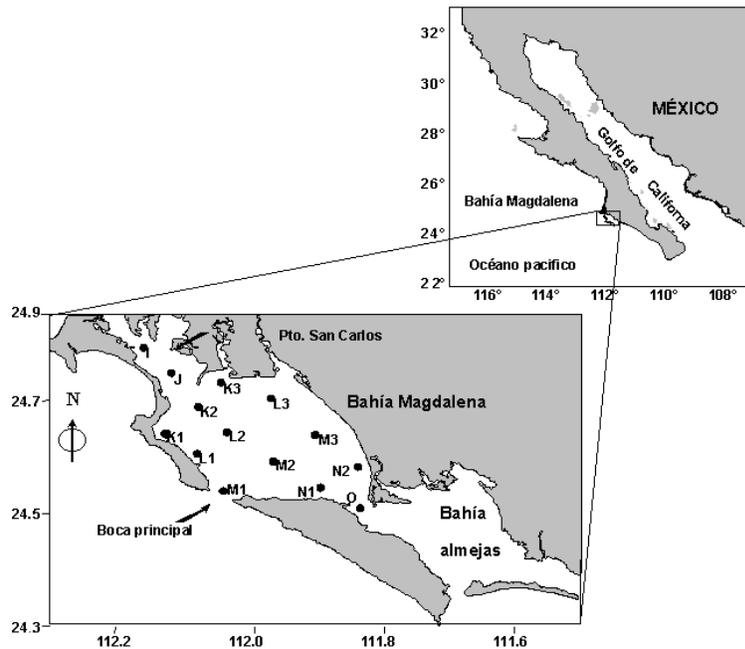


Figura 1. Área de estudio y plan de estaciones de muestreo en Bahía Magdalena Baja California Sur, México durante 1997 y 1998.

El sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas se localiza en una zona de transición donde confluyen biotas de distintas afinidades biogeográficas a lo largo del año (Castro y Torres, 1993). Es uno de los sistemas lagunares más extensos del Pacífico Mexicano (1066.6 km²), que se localiza en la costa occidental de Baja California Sur, México 24° 15'-25° 20' N, 112° 30'-112° 12' (Fig.1).

Bahía Magdalena tiene una extensión de 700 km², con 55 Km. de largo y 25 Km. en su parte más ancha. El área de estudio es caracterizada por presentar ciclos de marea semidiurnos, con dos periodos de flujo y reflujos. La corriente de marea durante el flujo, o el reflujos máximo alcanza una velocidad de 0.80 m s⁻¹. El volumen total de agua se calcula que es de aproximadamente 7 km³, con un incremento de 0.3 Km³ durante la marea viva, y una disminución de 0.2 Km³ durante el reflujos (Sánchez-Montante, 2004).

La bahía presenta tres zonas bien definidas: La zona norteña con estuarios y manglares y la presencia de canales someros (3.5 m profundidad); la zona oeste con la presencia de una amplia boca (4 km), que conecta a la bahía con el mar abierto entre Isla Margarita e Isla Magdalena, donde la profundidad es de aproximadamente 40 metros; y la zona este conformada de fondos someros y arenosos (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

La hidrografía de Bahía Magdalena está relacionada con dos corrientes oceánicas principales: Una corriente fría denominada Corriente de California que fluye hacia el Ecuador de invierno a primavera, y otra cálida denominada Contracorriente Costera que fluye hacia el Norte que predomina de verano a otoño (Sverdrup *et al.*, 1942; Lynn y Simpson, 1987; Hickey, 1979). La diferencia de la temperatura superficial entre la zona nerítica adyacente al sistema lagunar y el interior es de aproximadamente 1° C, mientras que al interior del sistema lagunar se presenta un ciclo anual térmico muy intenso con diferencias de 7 °C, entre el periodo más frío (a finales de invierno), y el más cálido (a finales de verano) (Lluch-Belda *et al.*, 2000). Es una zona anti-estuarina con una alta tasa de evaporación que excede a cualquier aporte de lluvia (1-14 mm promedio por año), lo cual resulta en un incremento de la salinidad y la temperatura en estrecha correspondencia con la batimetría; mientras que en la zona oeste presenta condiciones semejantes a la surgencia que enriquece el área (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

Las aguas oceánicas adyacentes al sistema lagunar se enriquecen en forma estacional por periodos de intensas surgencias principalmente en primavera ($50-300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ por 100 metros de línea de costa) (Zaytsev *et al.*, 2003). Esta agua fría y rica en nutrientes fluye hacia el interior, por corrientes a través de su boca, determina las características físicas y químicas del área (Acosta y Lara, 1978; Guerrero-Domínguez *et al.*, 1988). La biomasa del zooplancton es comparativamente menor durante invierno y primavera, seguido de un rápido incremento a finales de primavera, con un máximo en verano (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001).

7. MATERIALES Y METODOS

Las muestras de zooplancton fueron obtenidas mensualmente de enero a diciembre de 1997 y 1998. El plan básico de muestreo consistió de 14 estaciones en Bahía Magdalena. Un total de 294 muestras de zooplancton fueron obtenidas durante el periodo de estudio. En 1997 dos muestreos no se realizaron por diferentes circunstancias, el primero en abril debido a problemas de traslado a campo, y el segundo en septiembre que no fue completado debido al paso del huracán NORA. El muestreo de febrero de 1998 se descartó del análisis por estar incompleto.

Las muestras de zooplancton se recolectaron con una red cónica de 0.60 m de diámetro en su boca, provista de un flujómetro digital y malla de monofilamento Nytex de 505 μm . Los arrastres fueron superficiales con una trayectoria casi circular a una velocidad aproximada de 1 m s^{-1} durante cinco minutos. En cada estación de muestreo se midió la temperatura superficial del mar con un termómetro de cubeta. Las muestras fueron fijadas con formaldehído al 4% de concentración final y neutralizada con una solución saturada de borato de sodio para su preservación final. La biomasa del zooplancton fue medida en el laboratorio por el método de volumen desplazado (Beers, 1976).

Las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar fueron obtenidas del trabajo de Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) y Palomares *et al.*, (2003) para la serie de datos de Bahía Magdalena de enero de 1982 a diciembre de 1998. Las cuales fueron calculadas usando el promedio móvil de orden 12, de acuerdo con Makridakis y Wheelwright (1978).

La información utilizada en el presente trabajo se deriva de la base de datos de la CONABIO (Proyecto S102, datos de distribución y abundancia), que esta conformada por la abundancia mensual georreferenciada de 150 taxa determinados en Bahía Magdalena entre 1997 y 1998. Los organismos fueron identificados utilizando los trabajos de Moser *et al.* (1984) y

Moser (1996); y las larvas de peces fueron contadas por especie y su abundancia se estandarizó a número de larvas por 10 m² de superficie marina (Smith y Richardson, 1977).

El análisis de la información se realizó con aquellos individuos que presentaron mayor abundancia y frecuencia de aparición durante los dos años de estudio. La elección de ellos se hizo con el índice de valor biológico de Sanders (1960) y Loya y Escofet (1990), que dio como resultado la selección de 14 formas específicas, nueve de ellas identificadas hasta nivel de especie, tres a nivel familia (Haemulidae, Gerreidae, Mullidae) y dos a nivel género (*Opisthonema* spp., *Anchoa* spp.). El total de los ejemplares seleccionados representan el 95.3 % de la abundancia total de larvas, y el 86% del total de la frecuencia de ocurrencia durante el periodo de estudio.

La fórmula para calcular el Índice de Valor Biológico es la siguiente:

$$IVB = \sum_{i=1}^j P_{vij}$$

Donde: *i* es la especie, *j* la muestra, y *P_{vij}* es el nivel de cada especie en la *i-ésima* muestra

Tabla 1. Taxa seleccionados mediante el índice del valor biológico (Sanders, 1960; Loya y Escofet, 1990) de un total de 150 taxa durante 1997 y 1998.

Taxa	Abundancia total	Abundancia relativa	Abundancia acumulada	Puntaje IBV
<i>Ilypnus gilberti</i>	1950.6	28.85	28.85	164
<i>Quietula y-cauda</i>	782.9	11.58	40.43	137
Gerreidae	1974.7	29.20	69.64	97
<i>Anchoa spp.</i>	708.4	10.47	80.11	85
Haemulidae	281.3	4.16	84.28	67
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	45.3	0.67	84.95	60
<i>Paralabrax nebulifer</i>	108.7	1.60	86.56	52
<i>Scomber japonicus</i>	131.6	1.94	88.50	50
Mullidae	27.7	0.41	88.91	45
<i>Opisthonema spp.</i>	166.9	2.46	91.38	44
<i>Sardinops caeruleus</i>	124.2	1.83	93.22	43
<i>Chaenopsis alepidota</i>	90.6	1.34	94.56	35
<i>Etropus crossotus</i>	41.1	0.60	95.17	35
<i>Calamus brachysomus</i>	11.6	0.17	95.34	10

La distribución de las larvas de peces en Bahía Magdalena fue obtenida a través de mapas que muestran el promedio trimestral de la abundancia de larvas de cada especie por estación de muestreo durante invierno (enero-marzo), primavera (abril-junio), verano (julio-septiembre) y otoño (octubre-diciembre); esto mismo se hizo con la temperatura y biomasa zooplanctónica utilizando para este fin el programa de Surfer mapping system 7.0. (Anónimo, 2001). La variación estacional de la abundancia de las larvas de peces fue descrita mediante la obtención del valor promedio mensual de la abundancia de cada especie en cada estación positiva de muestreo.

El análisis de la disimilitud temporal y espacial de la composición de especies fue medida con el índice de Bray-Curtis (1957), que ha sido comúnmente aceptado en estudios de ecología marina, por ser una técnica suficientemente robusta, al no ser afectada por las ausencias conjuntas y dar más peso a las especies abundantes que a las raras (Field *et al.*, 1982). El análisis temporal (meses) se basó en la matriz construida con los datos numéricos de la abundancia acumulada de cada una de las especies por mes de muestreo; y la disimilitud espacial (estaciones) fue explorada

con los datos numéricos de la abundancia acumulada de cada estación de muestreo (I, J, K1, K2,...etc.) de los dos años de estudio (1997-1998).

El índice de Bray-Curtis (1957) ha sido utilizado en estudios enfocados a la definición de grupos de larvas de peces en la costa del Pacífico y del Golfo de México (Richardson y Stephenson, 1978; Richardson *et al.*, 1980; Flores-Coto *et al.*, 1988; Doyle 1992; Doyle *et al.*, 1993; Sánchez-Velasco *et al.*, 1996; Sanvicente-Añorve *et al.*, 1998; Aceves-Medina *et al.*, 2003). Esta técnica pone de manifiesto el grado de disimilitud entre la distribución de especies, su densidad y variación temporal, que por su composición y estructura características pueden ser ecológicamente reconocibles como comunidades (e. g. Richardson y Stephenson, 1978; Richardson *et al.*, 1980). Sin embargo, este método puede ser utilizado para cuantificar la disimilitud entre dos objetos basado en las observaciones de los descriptores (abundancia de las especies).

El índice de Bray-Curtis se define con la siguiente expresión matemática:

$$\delta_{jk} = 100 \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})}$$

Donde:

y_{ij} = es el valor de la *i-ésima* especie en la *j-ésima* muestra

y_{ik} = es el valor de la *i-ésima* especie en la *k-ésima* muestra;

δ_{jk} = es la disimilitud entre la *j-ésima* y *k-ésima* muestras sumadas de todas *S* especies.

$\delta_{jk} = 0$ (ninguna disimilitud) y $\delta_{jk} = 100$ (disimilitud total).

Una vez obtenida la matriz de disimilitud se utilizó como algoritmo de agregación, la técnica de agrupamiento Ward, que permitió la construcción de los dendrogramas que muestran las relaciones entre grupos de estaciones y especies. Esta técnica considera la varianza existente entre las variables numéricas para formar los grupos, debido a que este algoritmo se considera como una

generalización multidimensional del modelo del análisis de varianza. (Roux, 1993). Previo al análisis de disimilitud los valores de la abundancia de larvas de peces fueron transformados, esto es, los valores de la matriz original de datos fueron expresados en unidades de $\ln(x+1)$.

La agrupación de las especies obtenida con el método de Ward se define:

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{ng} (X_{ig} - \overline{X}_g)(X_{ig} - \overline{X}_g)$$

\overline{X}_g es la media del grupo g . El criterio comienza suponiendo que cada dato forma un grupo, $g=n$ y por tanto, \mathbf{W} es cero. A continuación, se unen los elementos que produzcan el incremento mínimo de \mathbf{W} . Obviamente, esto implica tomar los más próximos con la distancia euclidiana. En la siguiente etapa, se tiene $n-1$ grupos, $n-2$ de un elemento y uno de dos elementos. Se decide de nuevo unir dos grupos para que W crezca lo menos posible, con lo que pasamos a $n-2$ grupos y así sucesivamente hasta tener un grupo único. Los valores \mathbf{W} indican el crecimiento del criterio al formar grupos y pueden utilizarse para decidir cuantos grupos naturales contienen los datos.

Una vez obtenidos el agrupamiento mensual (temporal), y de estaciones (espacial), los valores de la abundancia original de cada especie fueron reorganizados para cada grupo (temporal o espacial), de acuerdo al orden en que aparecen en los dendrogramas. Esto permite destacar la contribución de cada especie en los grupos determinados. Asimismo, los grupos de estaciones clasificados fueron localizados en mapas, que destacan la distribución diferencial de las larvas de peces entre 1997 y 1998.

Los criterios para definir las asociaciones de larvas de peces en tiempo y espacio (grupos faunísticos) que aparecen en los dendrogramas (temporal y espacial) fue complementado con información de la autoecología de las especies (distribución de la especie; afinidad biogeográfica;

época de reproducción). La información fue obtenida principalmente de los trabajos de Miller y Lea (1972), Eschmeyer *et al.* (1983), Fischer *et al.* (1995), Moser (1996), Fishbase (<http://www.fishbase.org/search.cfm>), además de literatura especializada de cada especie.

Además se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), que es una técnica multivariable de ordenación directa, que permite interpretar la relación entre las estaciones de muestreo, las especies y las variables ambientales (Ter Braak, 1986), donde se incluyeron a las 14 formas específicas (9 especies y 5 morfotipos), y cinco de los parámetros (temperatura superficial del mar, biomasa del zooplancton, latitud, longitud y batimetría). Este análisis se realizó con el programa de PC-ORD (McCune y Mefford, 1999).

El CCA es un método de ordenación de eigenvalores que integra la matriz de datos biológicos con la matriz de las variables ambientales, generando diagramas que muestran simultáneamente las similitudes entre los sitios de muestreo. Se basa en la ocurrencia, abundancia de las especies y la relación con las variables ambientales. Este método trabaja con regresiones lineales múltiples entre la matriz principal (datos biológicos) con una matriz secundaria (variables ambientales). La ordenación de ejes es determinada con los datos de las variables ambientales por medio de un análisis de gradiente. Por lo tanto, el CCA forma un diagrama de ordenación en el cuál, los puntos representan a los sitios y las especies, y los vectores a las variables ambientales. Este diagrama muestra el patrón de la variabilidad de la composición de la comunidad que puede estar explicada por las variables ambientales, y a su vez se visualiza la distribución de las especies asociados a cada variable (McCune y Grace, 2002).

Los valores de la abundancia total acumulada y frecuencia de aparición de larvas de cada especie por año de muestreo (1997 y 1998), fueron agrupados por intervalos de temperatura superficial de mar, en cada medio grado centígrado de temperatura (16.5-31.5 °C), y por intervalos de biomasa del zooplancton, por cada 50 ml de biomasa (50->1000 ml). Este análisis

permite identificar los intervalos “óptimos” de temperatura y biomasa del zooplancton donde ocurre la mayor abundancia y frecuencia de cada uno de los taxa seleccionados.

Las matrices de abundancia ordenadas en forma trimestral fueron comparadas mediante la técnica de Mantel (1967), que es una prueba para obtener interacciones utilizando distancias en tiempo y espacio entre dos matrices con las mismas entidades u ordenes de magnitud (Sokal, 1979). Este análisis se realizó con el programa de PC-ORD (McCune y Mefford, 1999), en donde se compara la abundancia total de cada especie y/o morfotipo, arreglada en matrices trimestrales (invierno, primavera, verano, otoño) para evaluar la relación entre cada trimestre de 1997, con respecto a 1998.

La prueba de Mantel (1967) es la suma de los productos de las distancias en tiempo y espacio entre todos los posibles pares de casos y se calcula con la siguiente formula:

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S_{ij} \overline{t_{ij}}$$

Donde N es el número de casos, t_{ij} es la distancia entre los casos i y j en el tiempo, y S_{ij} es la distancia entre los casos i y j en el espacio. Cuando esta presente la interacción espacio-tiempo los casos cercanos en el tiempo lo serán también en el espacio, y la prueba estadística será grande si la transformación recíproca es aplicada a las distancias.

8. RESULTADOS

8.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR.

8.1.1. Variación temporal de la temperatura superficial del mar

El valor promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) de enero a marzo de 1997, que corresponde a la temporada de invierno, fluctuó entre 19° y 20° C, con un incremento notable a principios de verano (julio), hasta alcanzar la máxima temperatura en agosto de 1997 (31.9 ° C), que coincide con la máxima anomalía térmica positiva (+4.4° C). Posteriormente, la temperatura desciende desde 26 ° C en otoño (octubre), hasta 22.0 ° C en diciembre (Fig. 2).

Durante 1998, se observa la misma tendencia estacional de la TSM, sin embargo, la persistencia del evento El Niño y su posterior relajación son observados en el incremento de la TSM durante la primera mitad del año y una disminución durante la segunda parte con respecto de 1997. Este incremento fue de 2.1° C en invierno y de 1.1° C en primavera de 1998, con respecto al mismo periodo en 1997, mientras la relajación se observa en la disminución de la TSM (2.7° C) en verano y en otoño (2.8° C) donde se observan anomalías térmicas negativas (Fig. 2).

8.1.2. Variación espacial de la temperatura superficial del mar

La distribución de la TSM en Bahía Magdalena denota valores menores en las zonas de mayor profundidad, e influenciadas por el agua nerítica adyacente; sin embargo, valores relativamente altos son registrados en estaciones someras.

En el invierno de 1997 y de 1998, la distribución de la temperatura superficial de mar en la bahía fue casi homogénea, pero ligeramente menor durante invierno de 1997 (19.2-20.6 °C), con respecto a 1998 (20.6-22.6 °C). La temperatura mínima se presenta en la parte oeste y la máxima hacia el este y el sur del sistema en ambos años (Figs. 3a, b).

En la primavera de 1997, la TSM presenta un gradiente que va en aumento de oeste a este (Figs. 3c, d), las menores temperaturas se registraron al oeste (18.7-19.7 °C), y son relativamente mayores al norte y al este de Bahía Magdalena (22°-24.1°C). En primavera de 1998, el gradiente de temperatura sigue el mismo patrón (oeste-este), con un ligero incremento (oeste, 20.0-20.9° C; este, 21.9-24.5° C) (Figs. 3c, d).

En el verano de 1997 y 1998, la TSM conserva el gradiente oeste-este con un incremento de la TSM en 1997, con un máximo registrado (31.0-31.9°C) en la región sur (Fig. 4e); mientras que durante el verano de 1998 se observa una disminución de aproximadamente 3° C en los promedios en la boca y la parte sur (Figs. 4e, f).

En otoño de 1997, la TSM es comparativamente cálida (25.9° C) al oeste, y mínima (23.2° C) al norte de la bahía (Fig. 4g). En cambio durante el otoño de 1998, se observa un enfriamiento homogéneo en toda la bahía de 21.9° C, salvo dos estaciones que registraron 21.1 y 22.6° C (Fig. 4h).

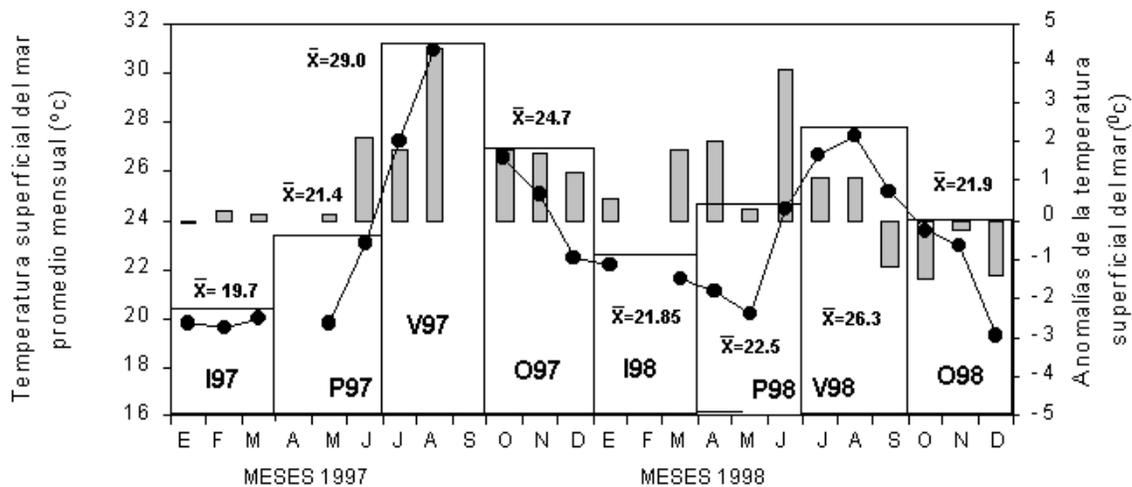


Figura. 2 Anomalías térmicas (barras grises), promedios mensuales (puntos) y estacionales de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena durante el evento El Niño de 1997-1998.

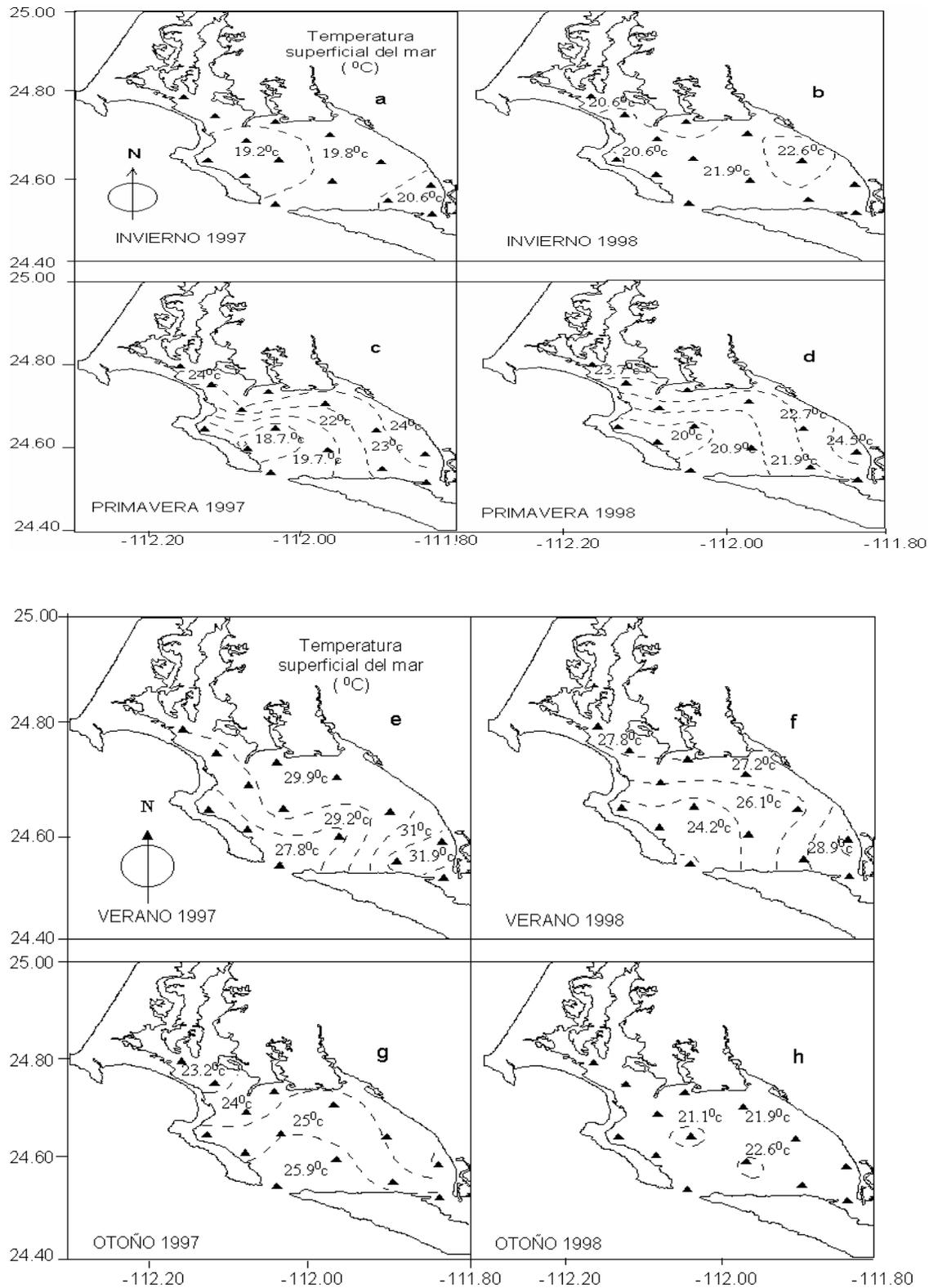


Figura 3.-Distribución de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena durante invierno (a y b), primavera (c y d), verano (e y f) y otoño (g y h) de 1997 y 1998.

8.1.3. Variación interanual de la temperatura superficial del mar

La variación interanual de la temperatura superficial del mar de Bahía Magdalena de 1997 a 1998, puede ser analizada en tres periodos de variación: 1) un periodo libre de anomalías de invierno a primavera de 1997; 2) un periodo caracterizado por la influencia del evento El Niño que se registra en las anomalías térmicas positivas por lo menos 15 meses (junio de 1997 a agosto de 1998), con dos máximos uno en agosto de 1997 (+4.4 ° C) y otro en junio de 1998 (+3.7° C); y 3) un periodo de enfriamiento del sistema lagunar relacionado con la presencia de anomalías térmicas negativas de septiembre a diciembre de 1998 (± 1.4 °C) (Fig.2).

8.2. BIOMASA DEL ZOOPLANCTON

8.2.1. Variación temporal de la biomasa del zooplancton

La variación temporal de la biomasa del zooplancton (BZ) en Bahía Magdalena sigue una misma tendencia estacional a la TSM presentándose valores bajos en la primera mitad del año y valores altos en la segunda. En 1997 de enero a junio (invierno-primavera) la BZ registró valores menores en promedio a los 250 ml por 1000m³ (Fig. 4); seguido de un incremento en junio hasta los 1200 ml/1000m³ y un valor máximo en agosto (verano) de 1600 ml/1000m³ disminuyendo nuevamente hasta 200 ml en diciembre (otoño). Durante 1998, se observa un ligero incremento en los promedios de la BZ en la primera parte del año (invierno-primavera) con valores mayores a 250 ml/1000m³ comparados con 1997, pero con valores menores a 800 ml en verano con respecto al año anterior. La BZ presenta un incremento notable en diciembre de 1998 de 1000ml/1000 m³ (Fig. 4).

8.2.2. Variación espacial de la biomasa del zooplancton

En invierno y primavera de 1997 y 1998, la BZ estuvo distribuida casi homogéneamente en el sistema lagunar (Figs. 5 a, b, c, d). Los valores de la biomasa fueron en promedio menores a 256 ml/1000 m³ aunque se observa la presencia de núcleos de BZ mayores a 256 ml situados al norte y oeste de la bahía durante invierno y primavera de 1998 (Figs. 5 b, d).

En verano de 1997 se registra la BZ más alta del periodo de estudio, que van desde 256 a los 1024 ml/1000 m³, con presencia de núcleos mayores (1024-4046 ml) en algunas estaciones de la parte central, y desde el norte hasta al sur de la bahía (Fig. 5 e), en comparación con la registrada el verano de 1998 de 64-256 ml/1000 m³, en la parte este-oeste con una sola estación situada cerca de la boca con valores altos mayores a 1024 ml (Fig. 5 f). Durante el otoño de 1997 y 1998, la distribución de la BZ es casi homogénea en gran parte de la bahía (256ml/1000 m³), salvo en algunas estaciones donde se localizaron núcleos de alta densidad de 1024ml al norte y oeste de la bahía (Figs. 5g, h).

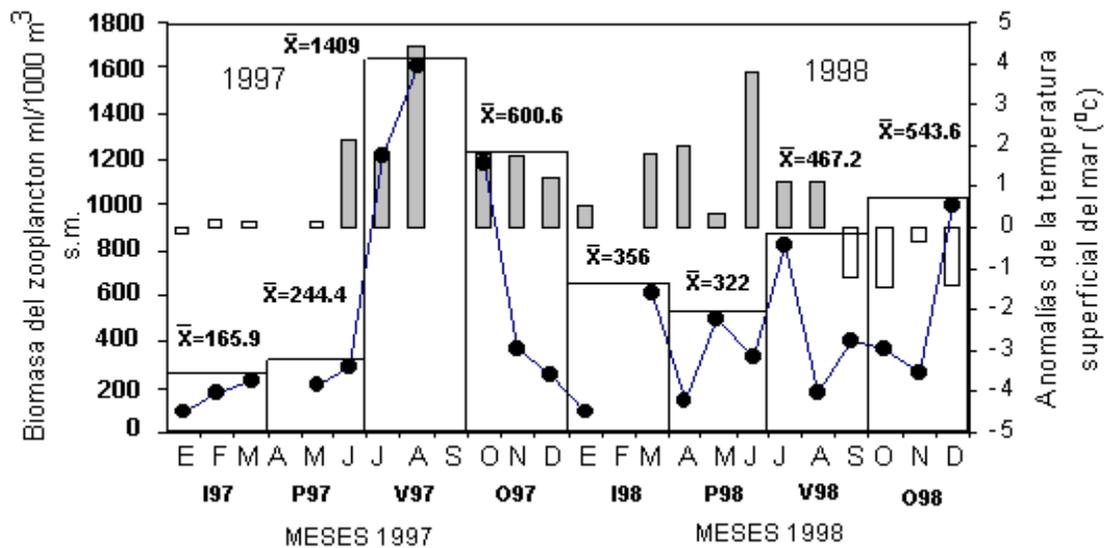


Figura 4.- Anomalías térmicas (barras grises), promedios mensuales (puntos) y estacionales de la biomasa del zooplancton en Bahía Magdalena durante el evento El Niño en 1997-1998.

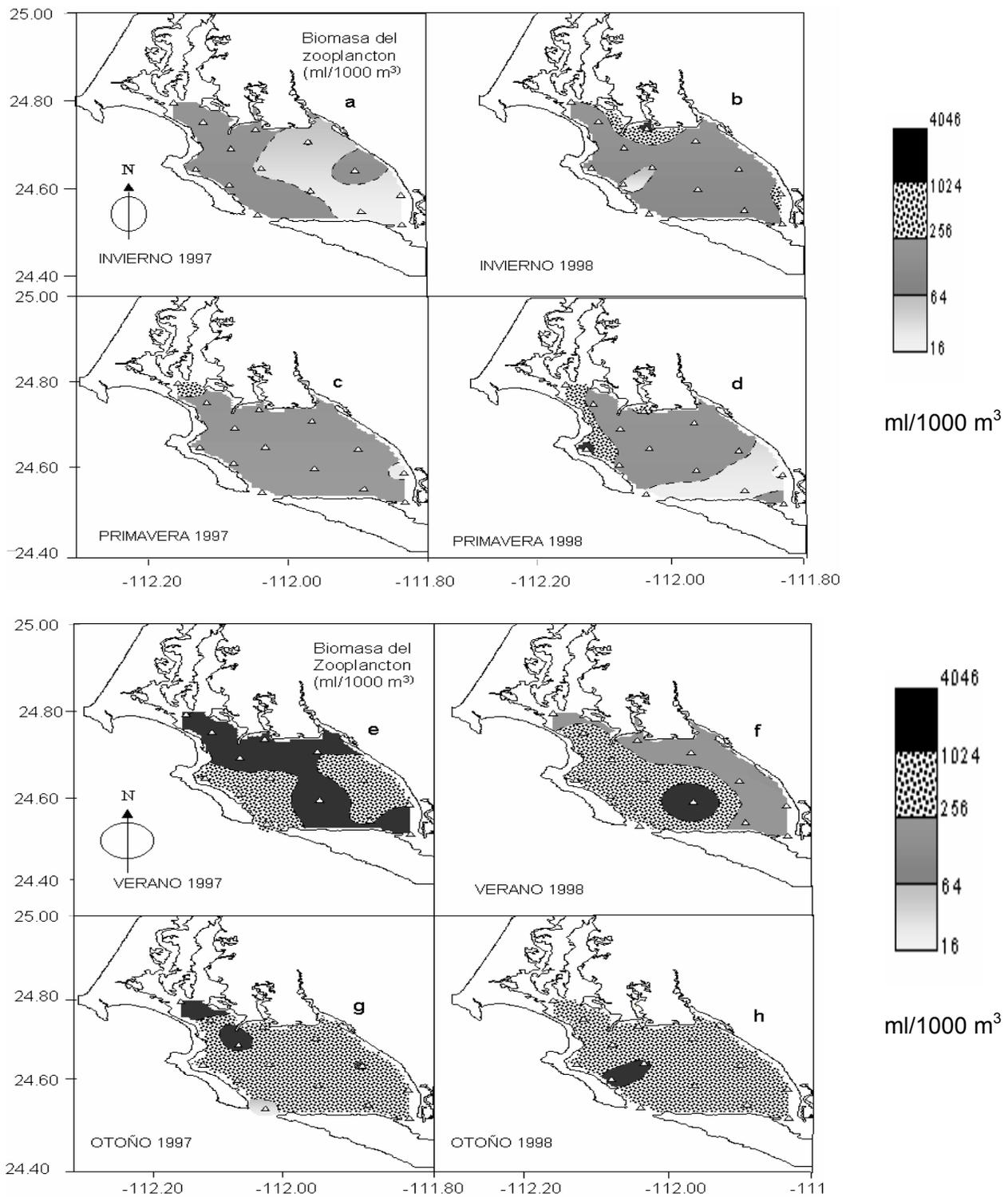


Figura 5.-Distribución de la biomasa del zooplancton (ml/1000m³) en Bahía Magdalena durante invierno (a y b), primavera (c y d), verano (e y f) y otoño (g y h) de 1997-1998.

8.3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LARVAS DE PECES.

8.3.1. Variación temporal de larvas de peces

a). Especies con periodos reproductivos de invierno a primavera.

Las larvas de pelágicos menores de afinidad templado-transicional como lo son *Scomber japonicus* y *Sardinops caeruleus* estuvieron presentes en Bahía Magdalena principalmente durante la primera mitad del año de 1997 y 1998. Sin embargo, la abundancia de ambas especies disminuyó notablemente durante 1998; y posteriormente presentaron un incremento similar hasta el otoño de 1998. (Figs. 6a y b).

Las larvas de *Quietula y-cauda* e *Ilypnus gilberti* son especies consideradas autóctonas, ambas especies se presentan a lo largo del año en la bahía principalmente en invierno y primavera. Sin embargo tuvieron una considerable disminución de su abundancia durante 1998 (Figs. 6c y d).

Las larvas de *Paralabrax maculatofasciatus* y *Paralabrax nebulifer* presentan un incremento durante la primavera de 1997. Sin embargo, el incremento de primavera se ve desplazado en *P. maculatofasciatus* al verano 1998, y en *P. nebulifer* hacia el otoño de 1998 (Figs. 6e y g).

Las larvas de *Chaepnosis alepidota* son recolectadas principalmente durante invierno y primavera, aunque es posible observarlas a lo largo de 1997. No obstante, sus larvas disminuyeron considerablemente durante el invierno y primavera de 1998, y nuevamente ocurrió un ligero incremento hacia el verano y otoño de 1998 (Fig. 6f).

b). Especies con periodos reproductivos de verano a otoño

Las larvas de peces cuyos adultos son de afinidad tropical-subtropical como *Opisthonema* spp., *Anchoa* spp., Haemulidae, Gerreidae, Mullidae, *Etropus crossotus* y *Calamus brachysomus* presentan incrementos principalmente durante el verano. Las larvas de *Etropus crossotus* incrementaron su abundancia durante el verano y otoño 1998, con respecto al año anterior (Fig. 6h). Sin embargo, las larvas de Haemulidae y Gerreidae, que están presentes desde finales de primavera hasta principios de otoño, disminuyeron su abundancia durante 1998 (Fig. 7a y c).

Las larvas de *Opisthonema* spp. son localizadas durante el verano principalmente, y desde mediados de primavera y verano durante 1998 (Fig. 7d). Las larvas de Mullidae son encontradas en verano y otoño, siendo más abundantes durante el verano de 1998 (Fig. 7b). Las larvas de *Anchoa* spp. presentan un incremento desde mediados de primavera y abundancia máxima durante el verano, sin embargo, disminuyen notablemente durante 1998 (Fig. 7e). Las larvas de *Calamus brachysomus* se presentan en verano e invierno, pero incrementaron ligeramente su abundancia durante el verano de 1998 (Fig. 7f).

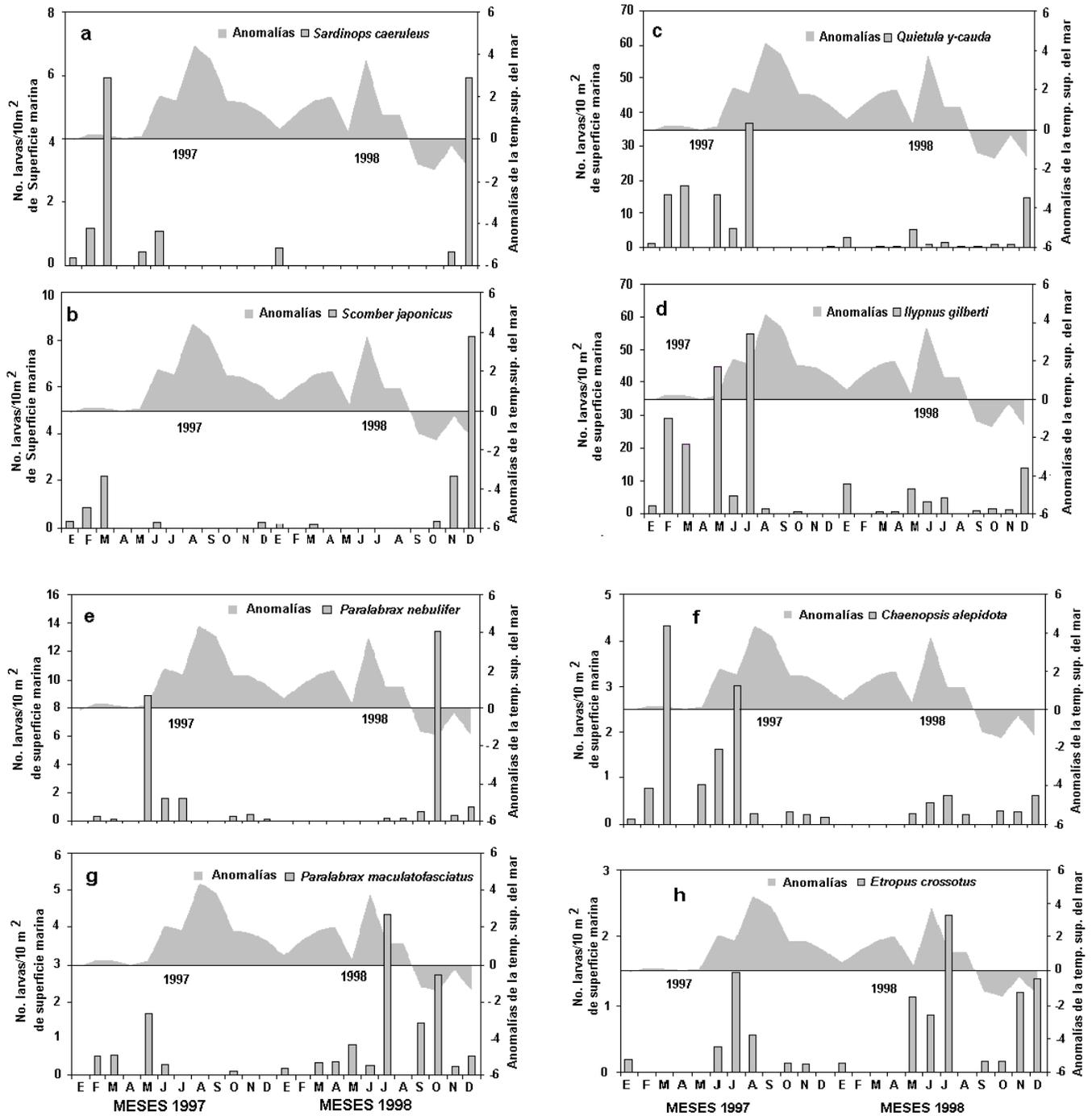


Figura 6.- Distribución temporal de la abundancia de larvas de: (a) *Sardinops caeruleus*, (b) *Scomber japonicus*, (c) *Quietula y-cauda*, (d) *Ilypnus gilberti*, (e) *Paralabrax nebulifer*, (g) *Paralabrax maculatofasciatus*, (f) *Chaenopsis alepidota* y (h) *Etropus crossotus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño en 1997 y 1998 (área sombreada anomalía de temperatura).

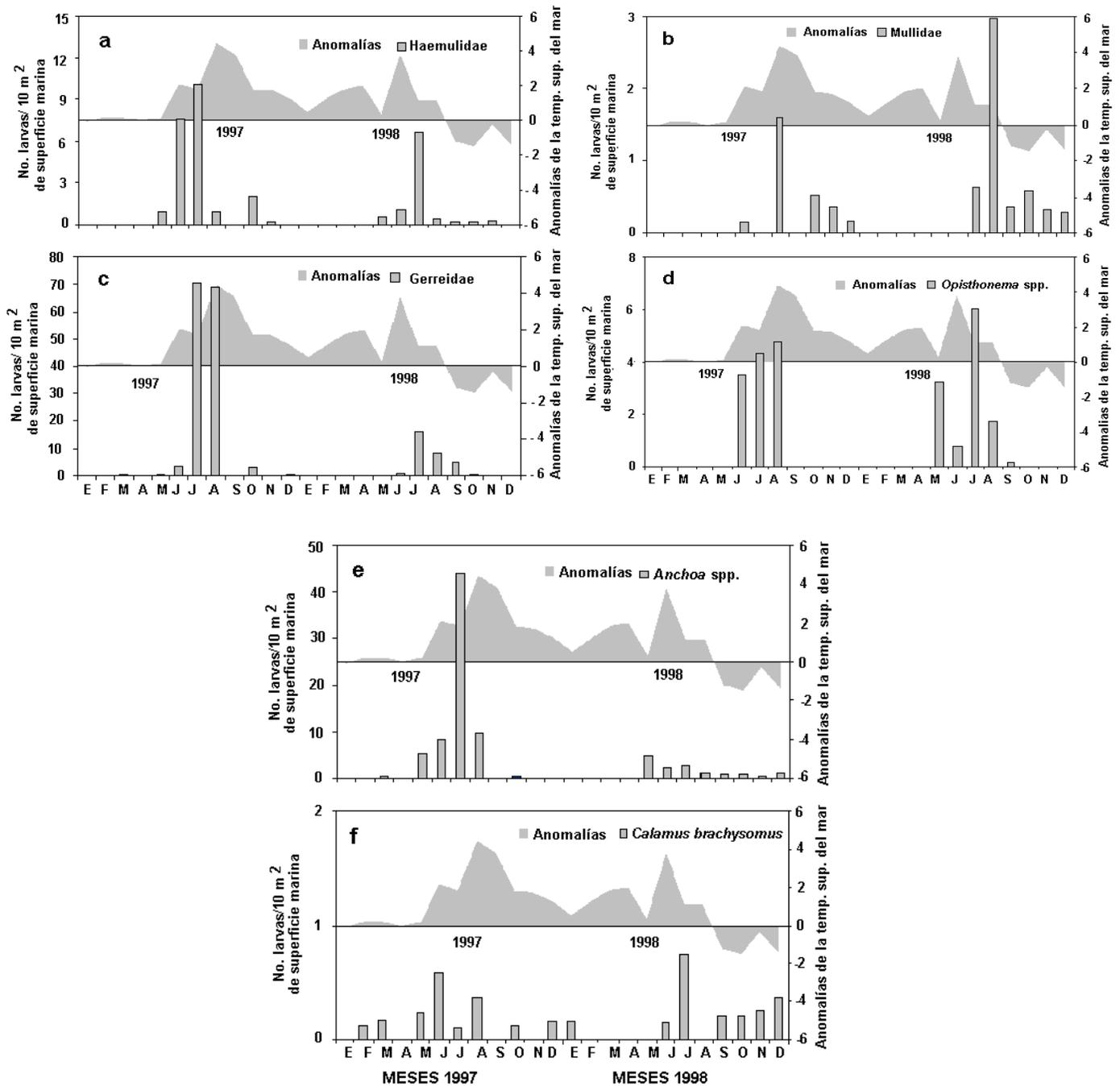


Figura 7.- Distribución temporal de larvas de: (a) Haemulidae, (b) Mullidae, (c) Gerreidae, (d) *Opisthonema* spp. (e) *Anchoa* spp. y (f) *Calamus brachysomus* en Bahía Magdalena durante El Niño en 1997 y 1998 (área sombreada anomalía de temperatura).

8.3.2 Variación espacial de larvas de peces

a). Especies con periodos reproductivos de invierno a primavera.

Las larvas de *Sardinops caeruleus*, y *Scomber japonicus* presentaron una distribución similar en Bahía Magdalena. Su distribución se extendió desde la parte norte y el oeste de la bahía con baja abundancia (1-10 larvas), y pulsos de mayor abundancia (10-100 larvas) durante el invierno de 1997. Sin embargo, durante el invierno de 1998, las larvas de *S. caeruleus* fueron escasas y con baja abundancia (1-10 larvas) al norte (estación J, K3, L3), y las larvas de *S. japonicus* aunque escasas se observan en la boca de acceso (M1). Ambas especies fueron nuevamente encontradas al centro y sur de la bahía durante el otoño de 1998 (Figs.8 y 9).

Las larvas de *Quietula y-cauda* e *Ilypnus gilberti* presentaron una distribución similar en Bahía Magdalena. Sus larvas son abundantes (10-100 larvas) y muy abundantes (100-1000 larvas) al norte del área (estaciones J, K2) entre invierno y primavera, pero disminuyen hacia la boca de acceso. Durante 1998, ambas especies disminuyen su abundancia durante esta temporada, pero conservan el mismo patrón de distribución (Figs.10 y 11).

Las larvas de *Paralabrax maculatofasciatus* se distribuyen ocupando estaciones de la parte norte y central la bahía (I, J, K1, K2, K3 y L3) siendo escasas y de baja abundancia; mientras las larvas de *P. nebulifer* están más ampliamente distribuidas, ocupando en estaciones del norte y sur del área (Figs.12 y 13).

Las larvas de *Chaepnosis alepidota* y *Calamus brachysomus* se encuentran a lo largo del año en Bahía Magdalena. *C. alepidota* es abundante en la parte norte y oeste de la bahía (10-100 larvas/10m²) en invierno, primavera y verano de 1997; mientras que las larvas de *C. brachysomus* son escasas en diversos puntos de la bahía. Ambas especies se presentan como abundantes (10-100 larvas), alrededor de la estación K1 durante el verano de 1998 (Figs.14 y 15).

b). Especies con periodos reproductivos de verano a otoño.

Las larvas de Gerreidae, Haemulidae, *Opisthonema* spp., *Etropus crossotus* y Mullidae presentan una distribución espacial semejante, con abundancias comparativamente más altas en estaciones cercanas a la boca de acceso y la parte insular-occidental de la bahía (Figs.16, 17, 19, 20 y 21). Con la excepción de las larvas de *Anchoa* spp. que se localizan principalmente hacia la zona norte y centro de la bahía (Fig.18).

Las larvas de Gerreidae y Haemulidae se incrementan a partir de primavera y alcanzan su mayor densidad durante el verano. Las larvas de Gerreidae son muy abundantes (100-1000 larvas) en verano de 1997 y 1998, en estaciones localizadas al norte y oeste de la bahía (I, K2 L1). En cambio las larvas de Haemulidae fueron abundantes (10-100 larvas) al oeste. Los ejemplares de ambas familias presentan un patrón similar de distribución en 1998, sin embargo, su abundancia fue disminuida con respecto al año anterior (Figs. 16 y 17).

Las larvas de *Anchoa* spp. y *Opisthonema* spp. se incrementan a partir de la primavera, y alcanzan su mayor abundancia durante el verano (10-100 larvas) de 1997 y 1998. Las larvas de *Anchoa* spp. ocurren entre el norte y el lado oriental de la bahía (I,J,K1,K2,K3,L3,M3,N2); mientras que *Opisthonema* spp. se distribuye del lado occidental principalmente (K1,L1,M2,M1,K1). En 1998, ambos tipos de larvas presentan un patrón similar de distribución, con una ligera disminución de su abundancia (Figs.18 y 19).

Las larvas de Mullidae y *Etropus crossotus* se localizan del lado occidental-insular principalmente. Ambas especies se presentan en baja abundancia (1-10 larvas) en la parte central de la bahía (L1 y M2), y el norte (J, K2), respectivamente. Durante 1998 se conserva el mismo patrón de distribución, con incrementos de su abundancia hacia la parte central de la bahía (Figs.20 y 21).

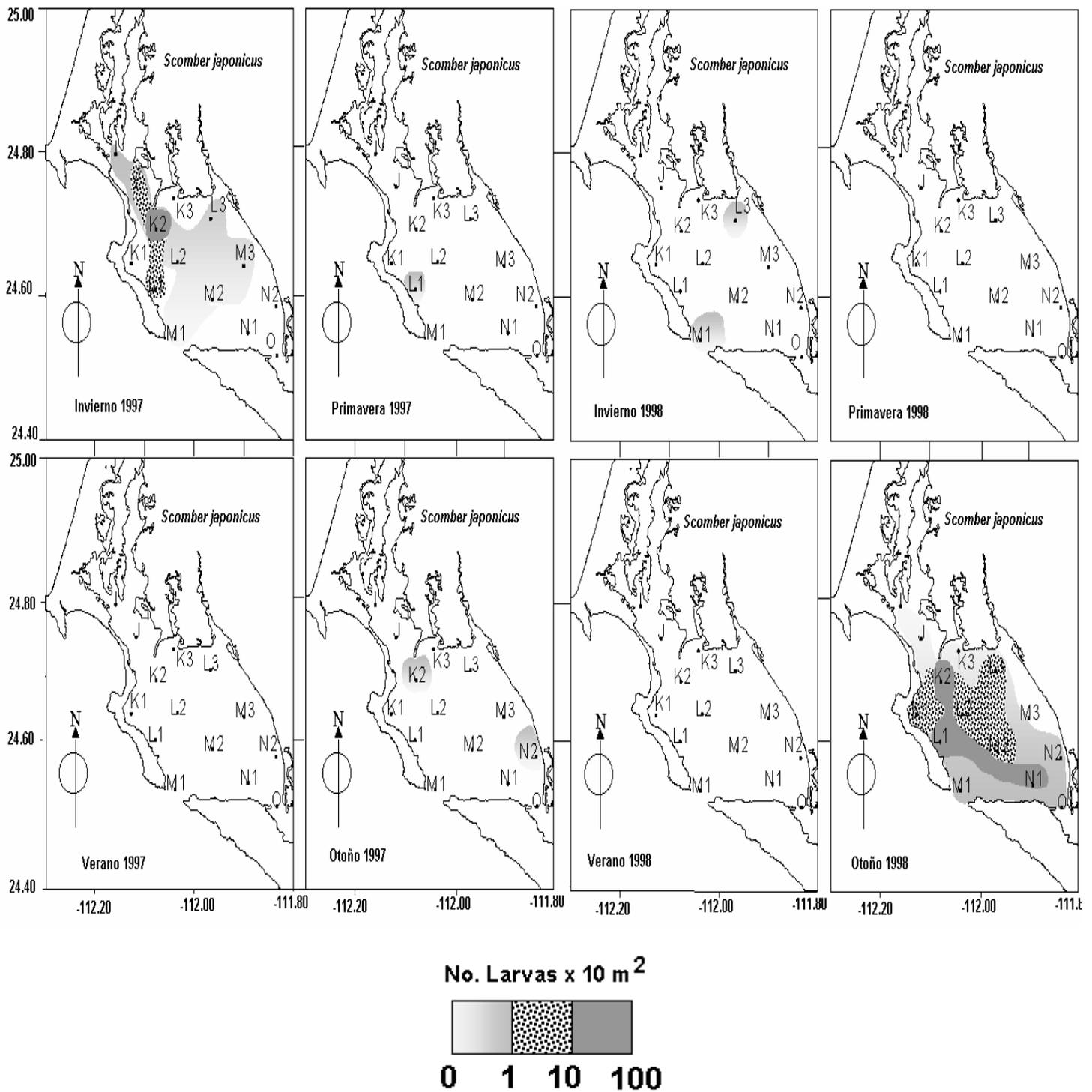


Figura 8.- Distribución de la abundancia de larvas de *Scomber japonicus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

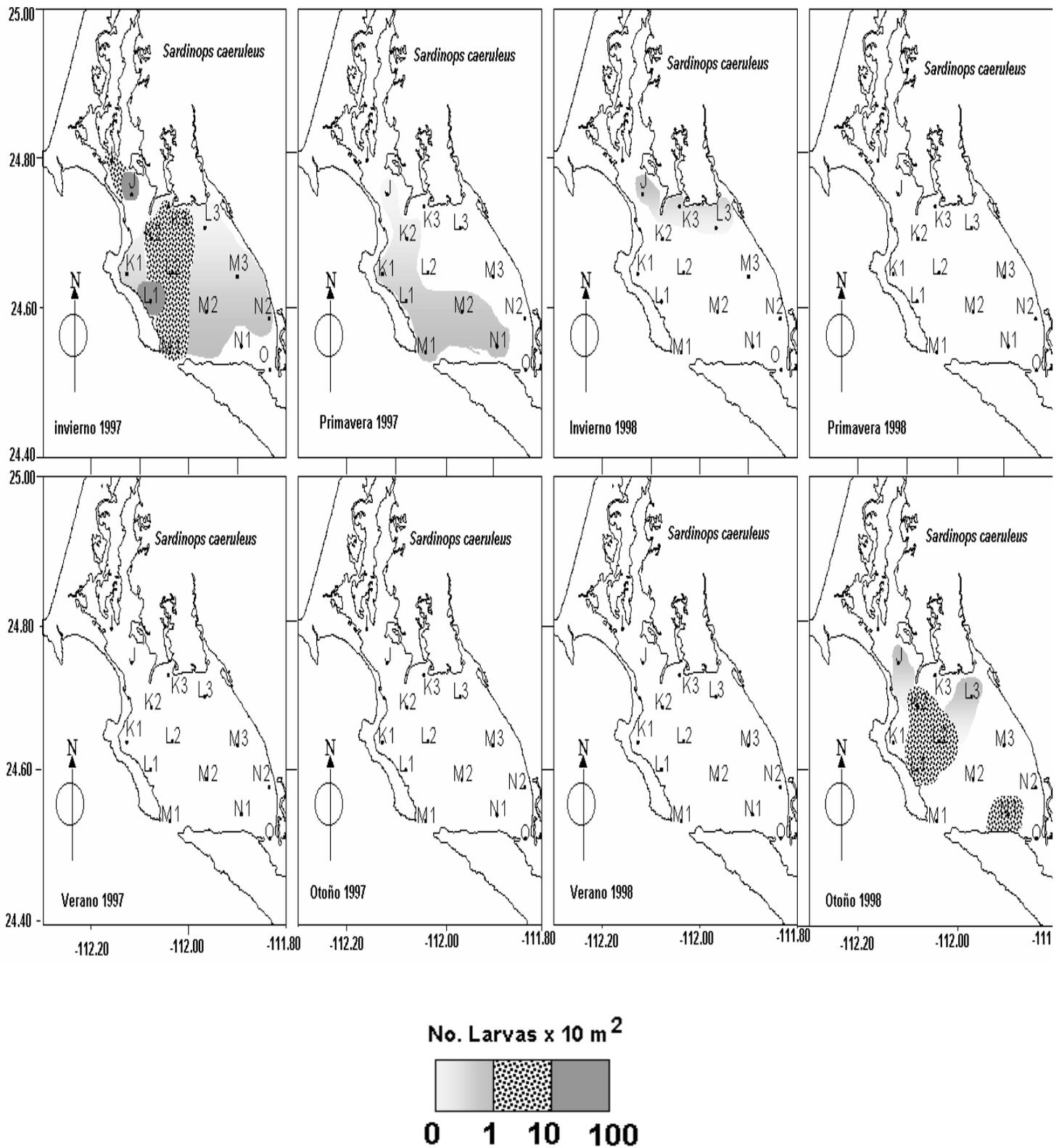


Figura 9.- Distribución de la abundancia de larvas de *Sardinops caeruleus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

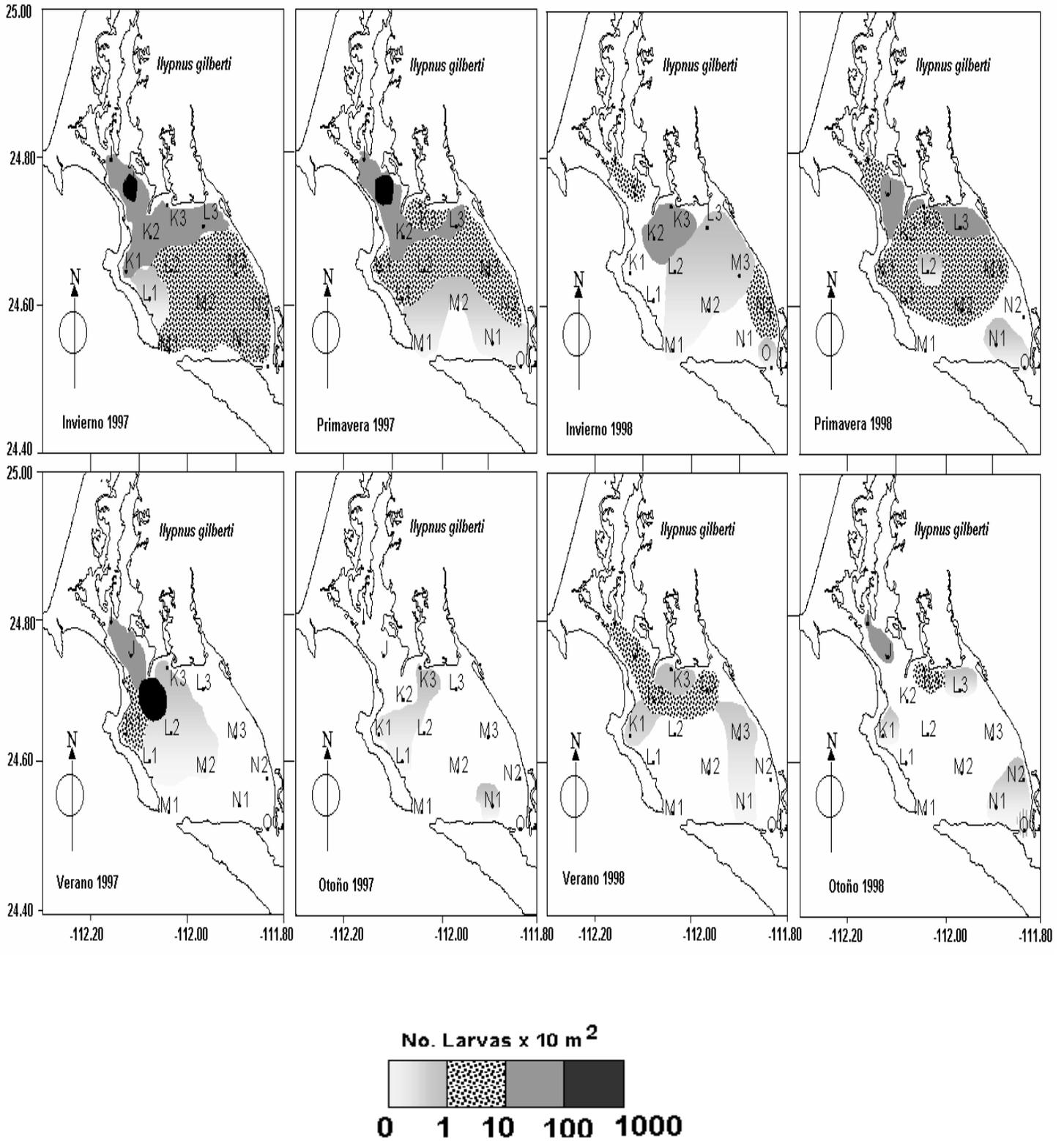


Figura 10.- Distribución de la abundancia de larvas de *Ilypnus gilberti* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

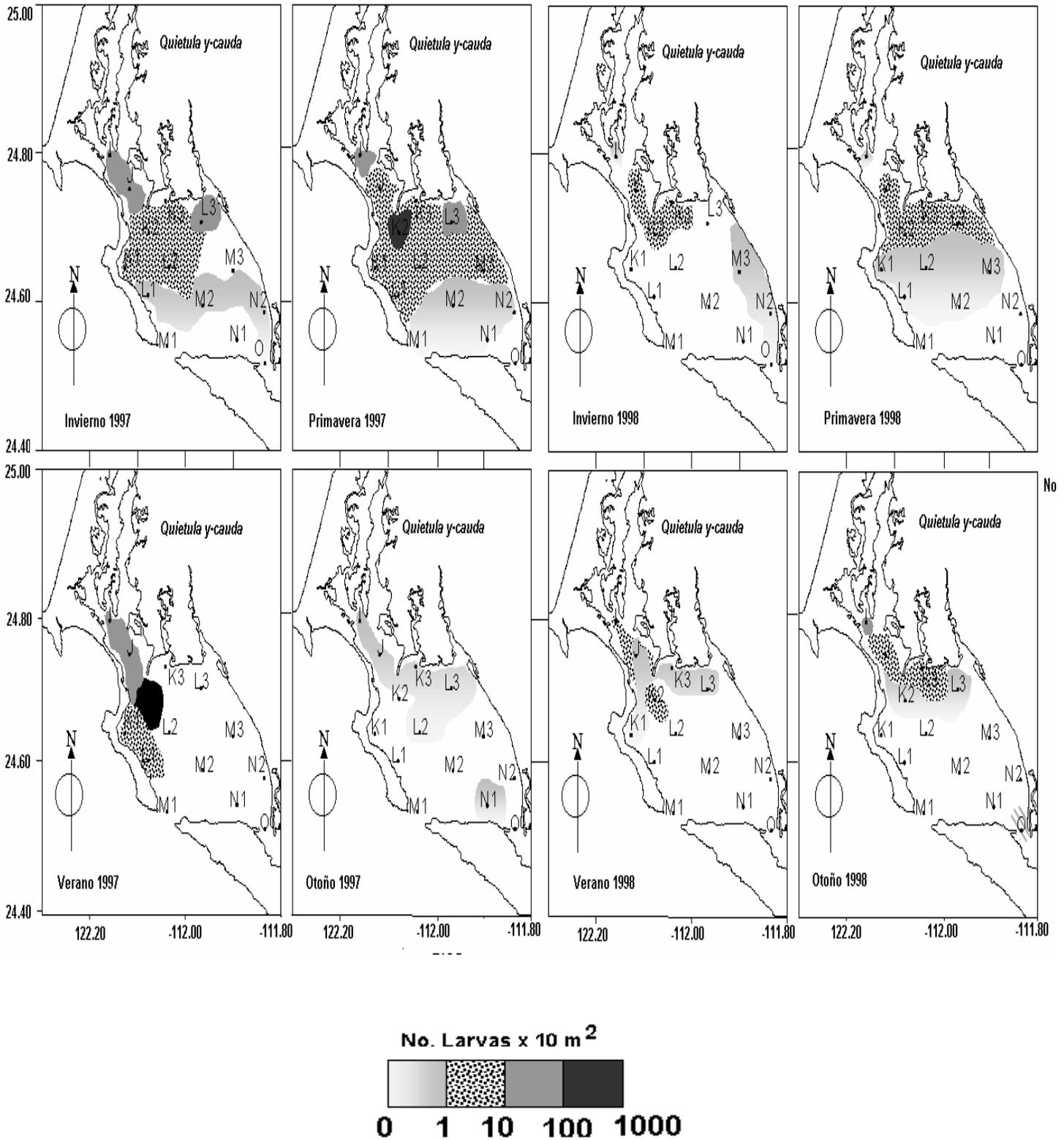


Figura 11.- Distribución de la abundancia de larvas de *Quietula y-cauda* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

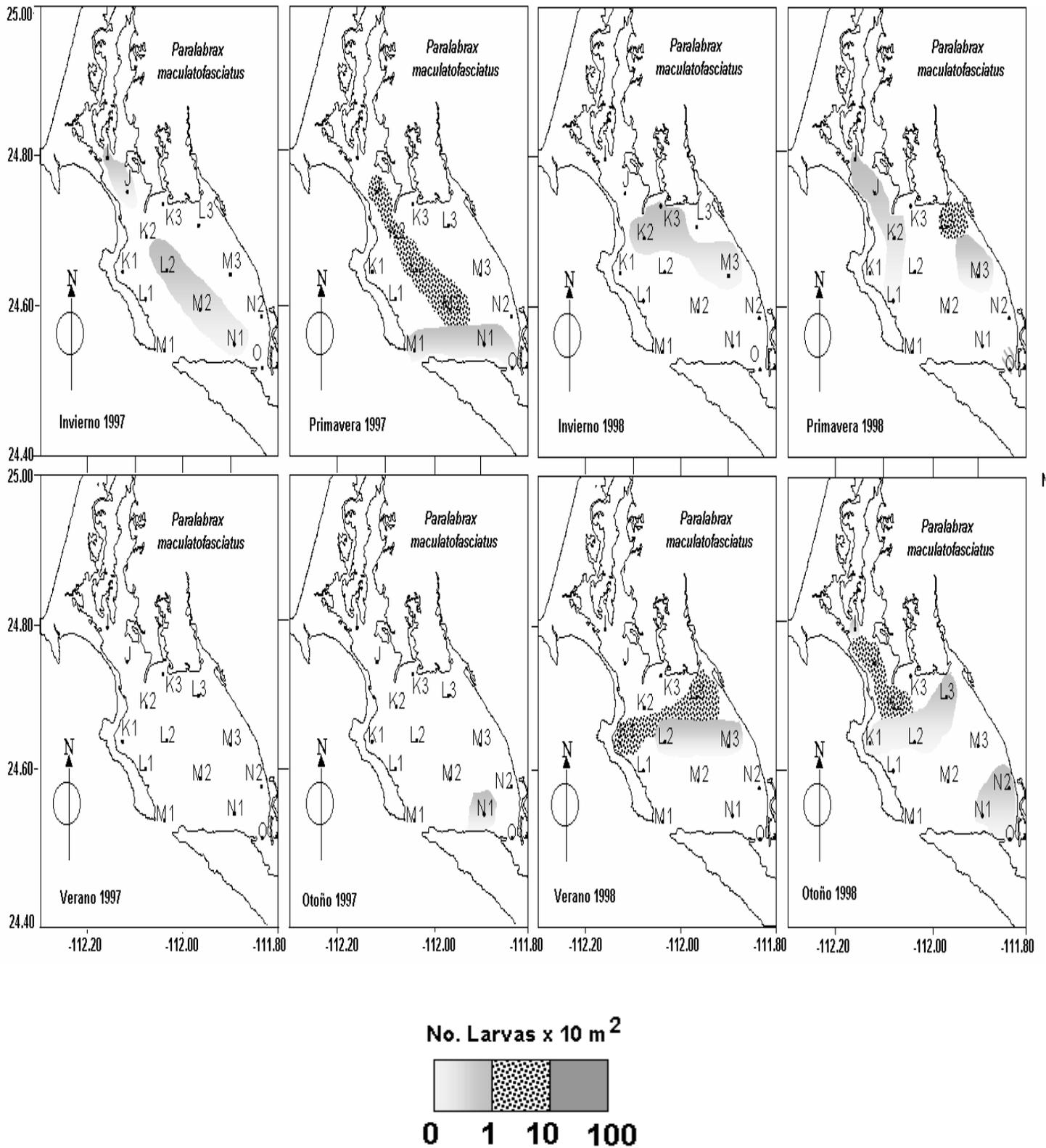


Figura 12.- Distribución de la abundancia de larvas de *Paralabrax maculatofasciatus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

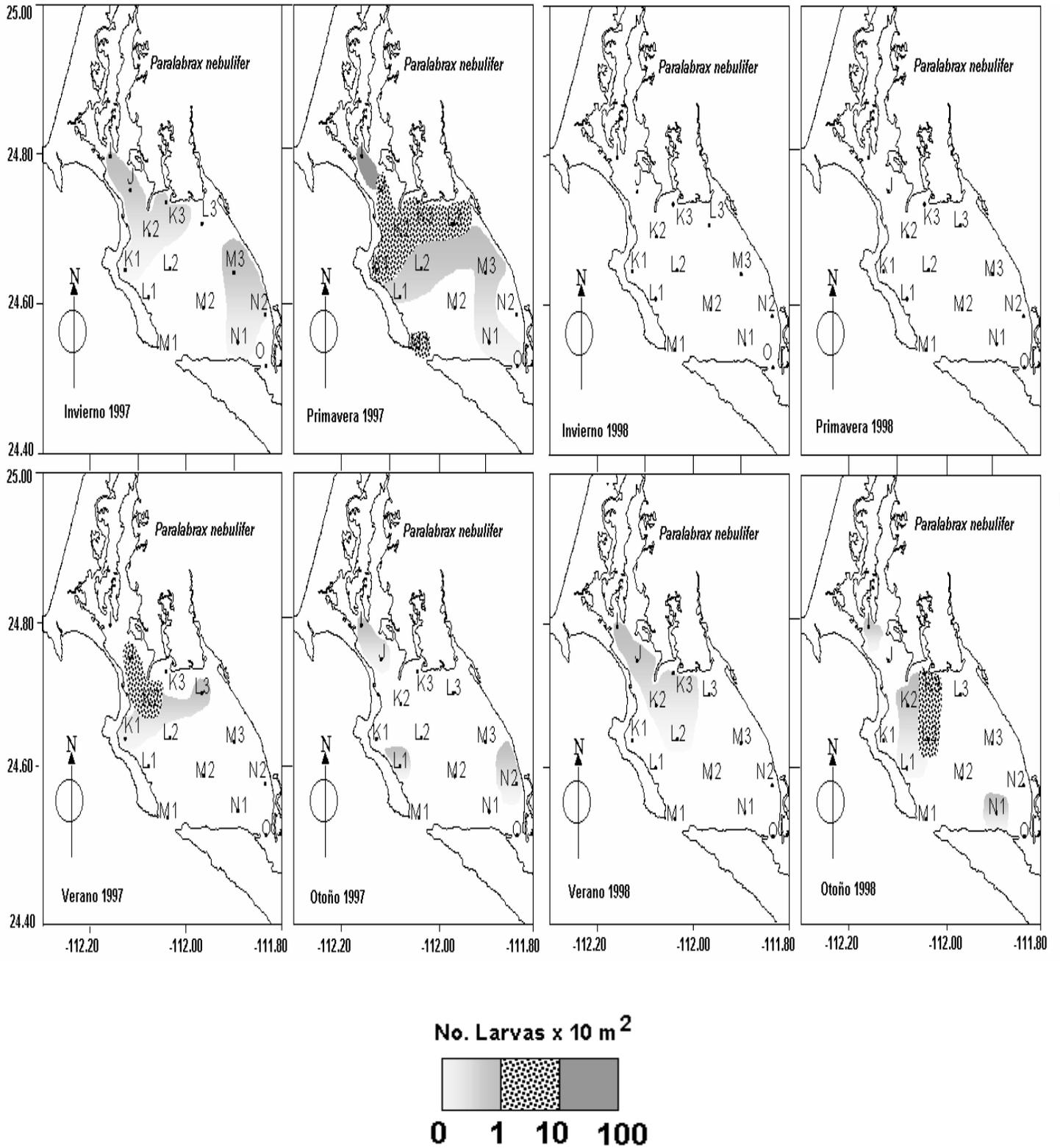


Figura 13.- Distribución de la abundancia de larvas de *Paralabrax nebulifer* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

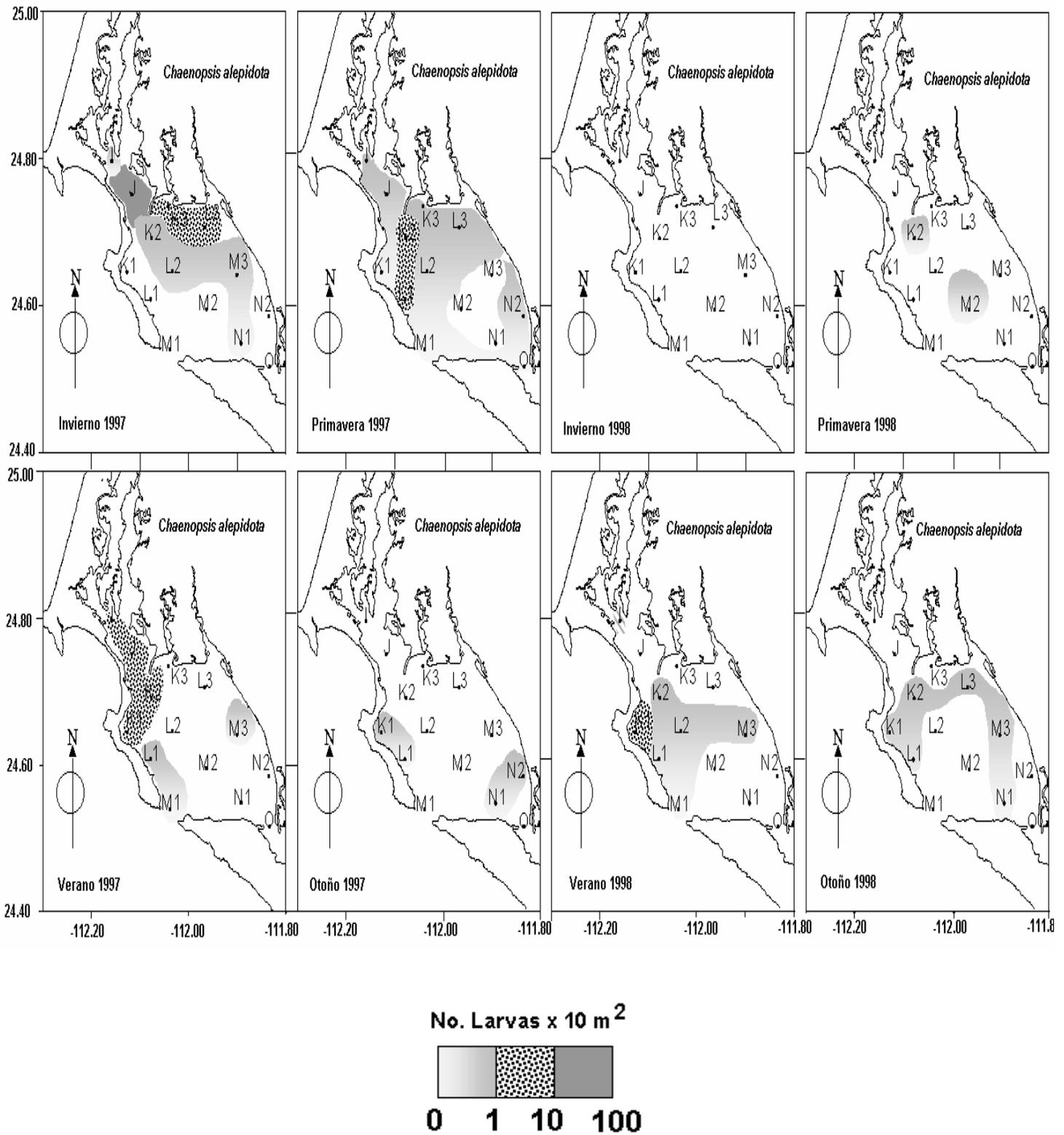


Figura 14.- Distribución de la abundancia de larvas de *Chaenopsis alepidota* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

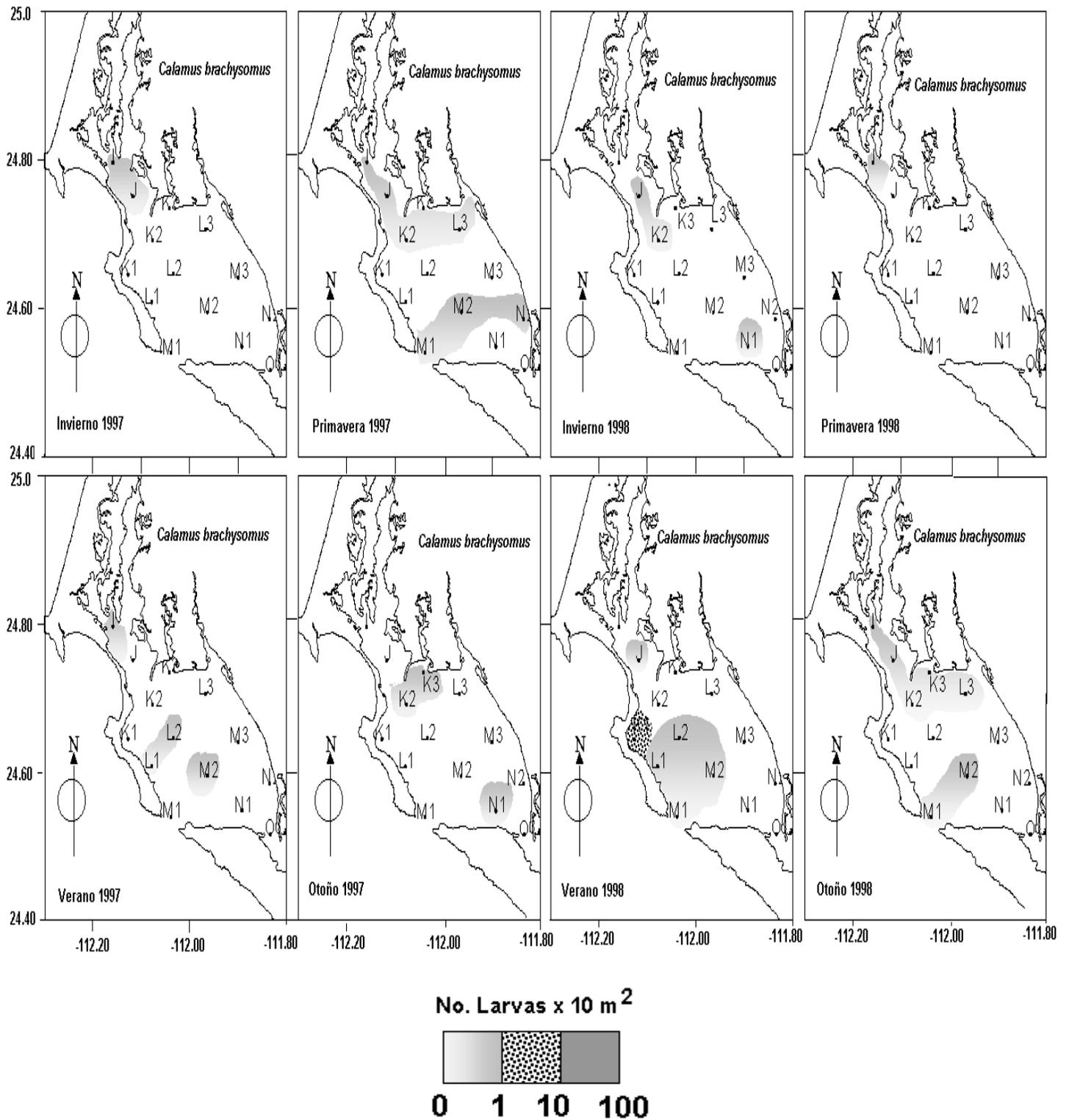


Figura 15.- Distribución de la abundancia de larvas de *Calamus brachysomus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

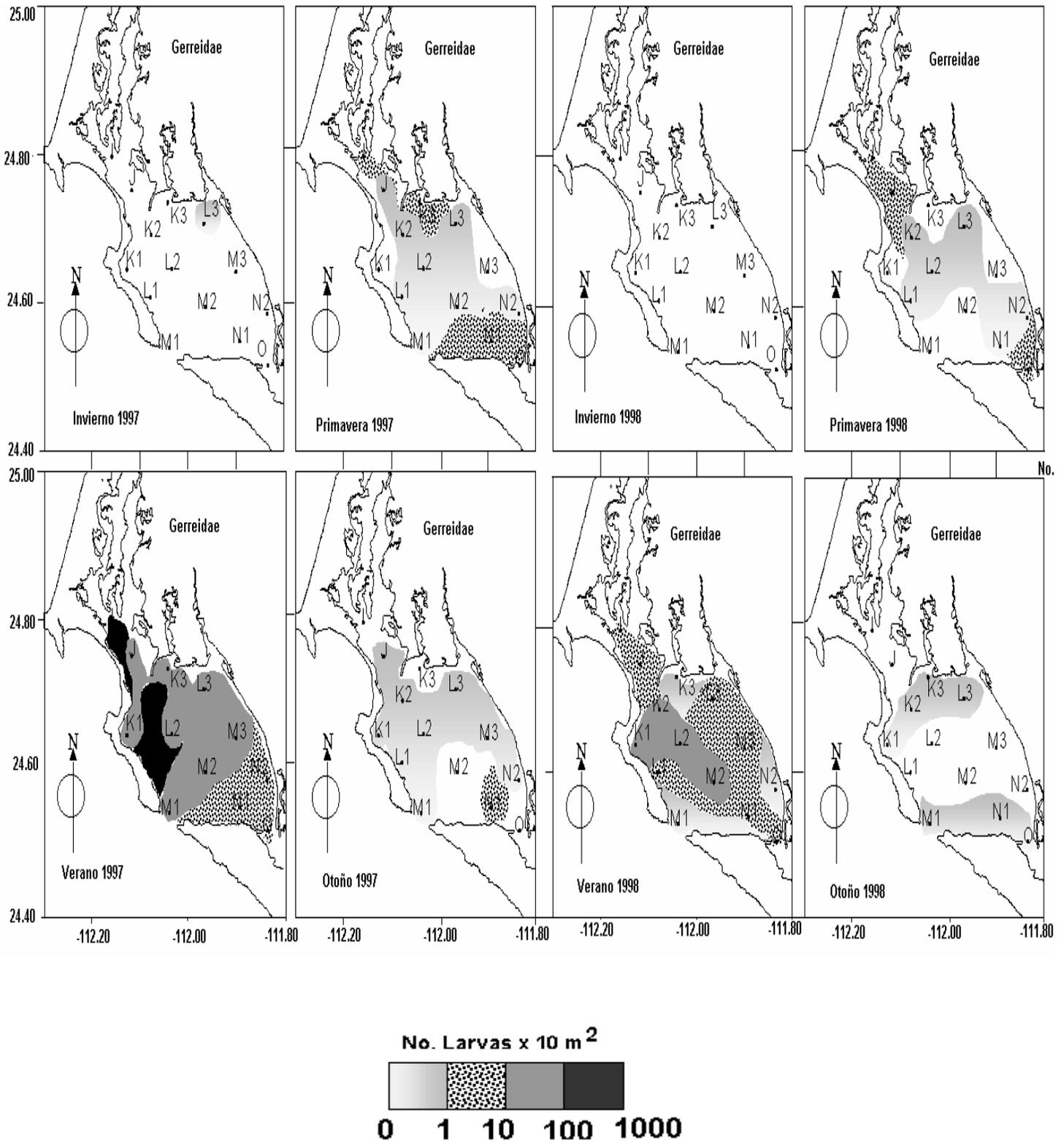


Figura 16.- Distribución de la abundancia de larvas de Gerreidae en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

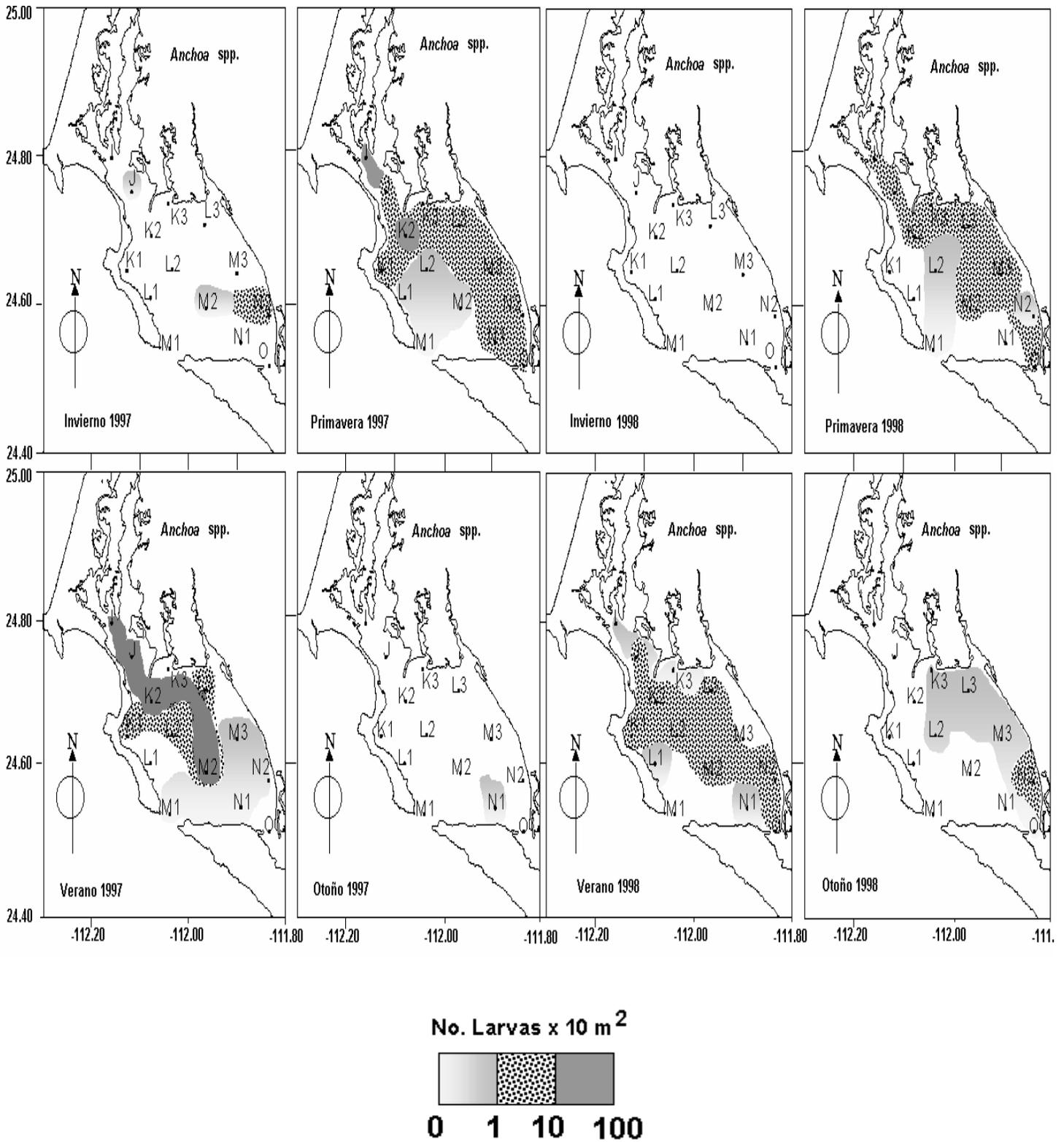


Figura 18.- Distribución de la abundancia de larvas de *Anchoa* spp. en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

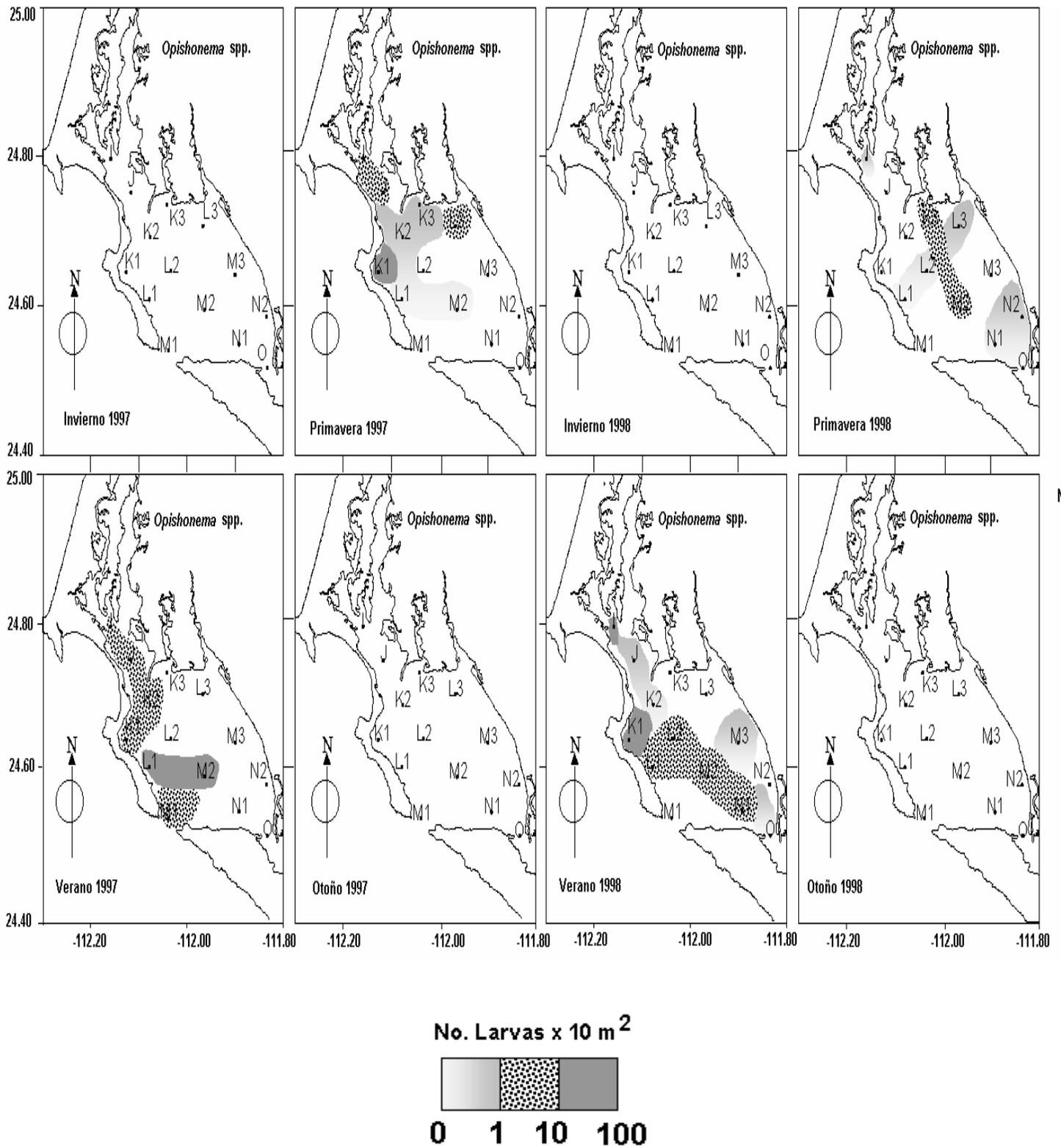


Figura 19.- Distribución de la abundancia de larvas de *Opishonema* spp. en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

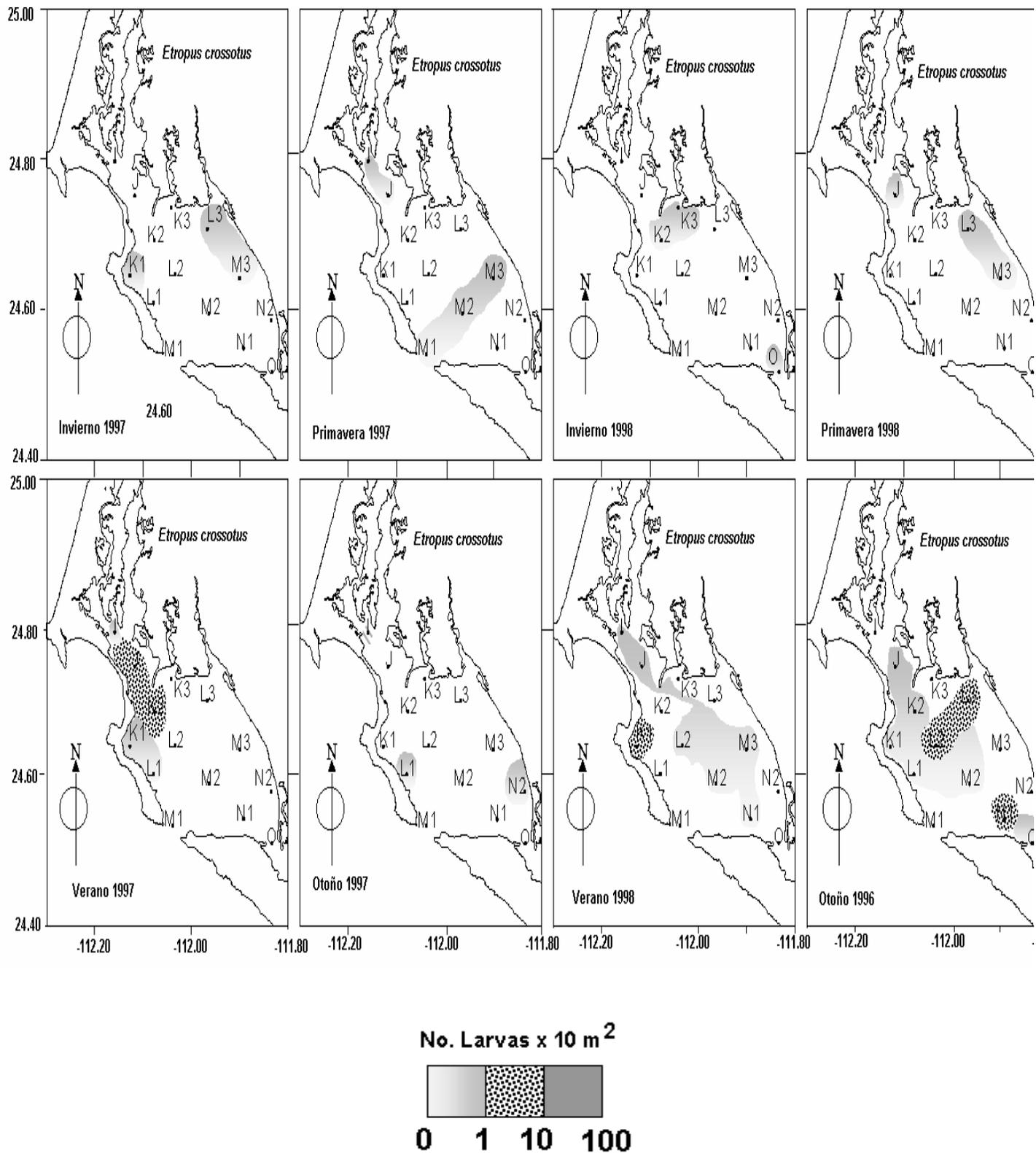


Figura 20.- Distribución de la abundancia de larvas de *Etropus crossotus* en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

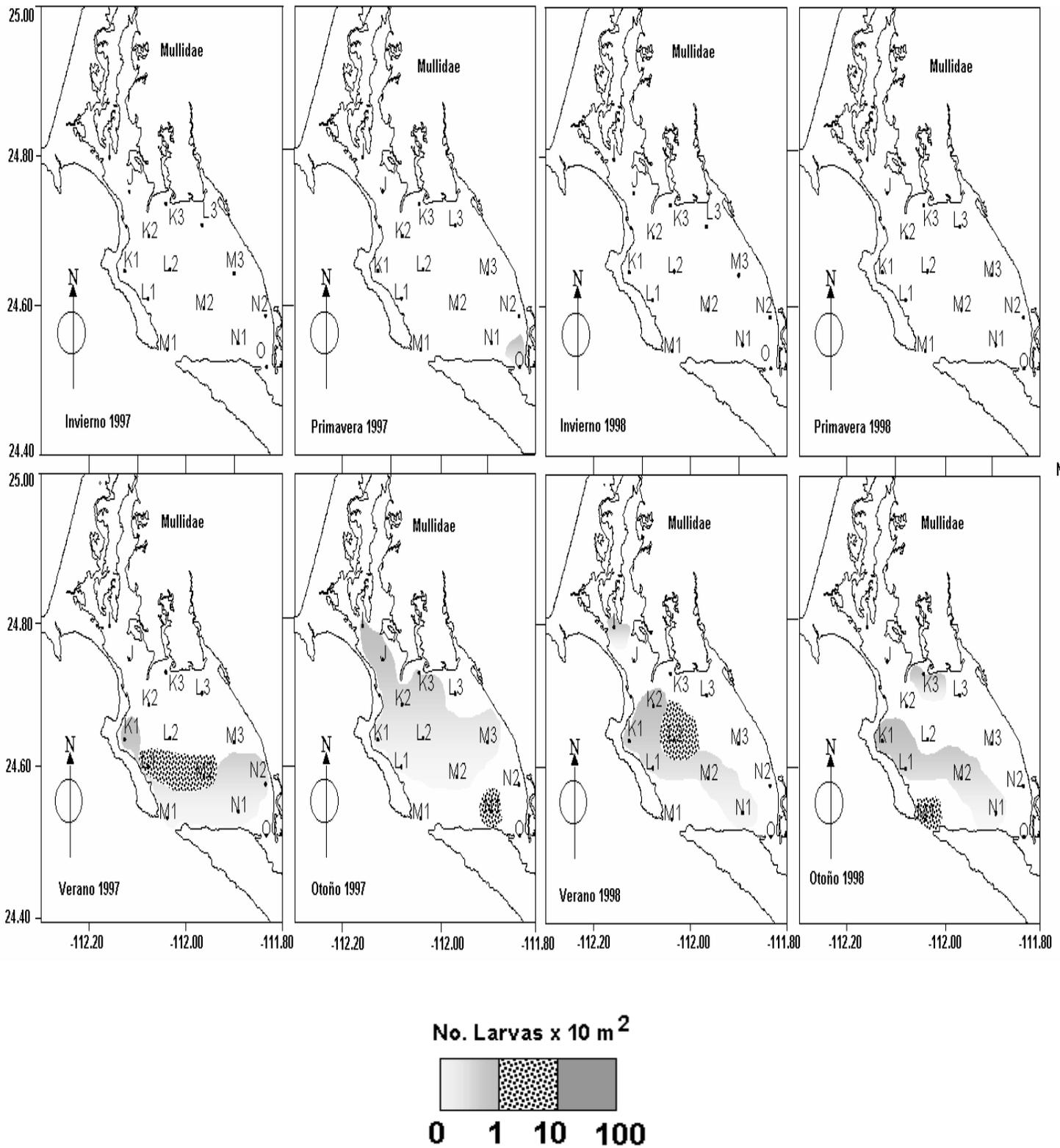


Figura 21.- Distribución de la abundancia de larvas de Mullidae en Bahía Magdalena durante el evento El Niño 1997-1998.

8.3.3. Variación interanual de larvas de peces

La proporción de cambio de la abundancia de larvas de peces durante los dos años de estudio (1997-1998), como un indicador del cambio en la abundancia y temporalidad en que son encontradas las larvas de peces entre un año y otro, fue evaluada de forma trimestral. Para ello se utilizó la prueba de Mantel (1967), que permite comparar matrices biológicas de la misma magnitud (abundancias) y entidades biológicas (larvas de peces), además de explicar que tanta correlación, o similitud existe en ambas matrices. El análisis se llevo a cabo por separado comparando invierno de 1997 con invierno de 1998, primavera con primavera y así sucesivamente, el análisis mostró que no existe estadísticamente una relación entre la abundancia trimestral de 1997, con respecto a 1998, como son: Inviernos 1997 y 1998 ($r= 0.24$; $P=0.14$); primaveras ($r=0.14$; $P=0.21$), veranos ($r=0.22$; $P=0.11$); y entre otoños ($r=0.17$; $P=0.11$), lo cual puede ser el resultado de los cambios ambientales en la escala interanual que hace muy diferentes las estaciones de un año con respecto a otro.

Durante el invierno de 1998 la abundancia de las larvas de *Sardinops caeruleus* fue menor en un 83% respecto a 1997, *Scomber japonicus* disminuyo un 86%, otras especies que presentan pulsos de abundancia en este periodo como lo son *Ilypnus gilberti*, *Quietula y-cauda* y *Chaenopsis alepidota* disminuyeron un 64, 78 y 100% de la abundancia en 1998.

En primavera de 1998 la disminución en la abundancia de larvas de especies que se encuentran a lo largo del año fue notable con respecto a la registrada en 1997 *Chaenopsis alepidota* disminuyo un 73%, mientras que *Quietula y-cauda* e *Ilypnus gilberti* un 81 y 83%, Haemullidae y *Paralabrax nebulifer* disminuyeron un 85 y 100% respectivamente.

En verano de 1998 las larvas que presentan una mayor proporción de cambio en la abundancia son *Anchoa* spp. con un 92% menor que en 1997, *Chaenopsis alepidota* un 80%, Gerreidae un 86%, *Ilypnus gilberti* un 95% y *Quietula y-cauda* un 97%.

Durante el otoño de 1998 los cambios en la abundancia fueron positivos lo que nos indica la relajación del evento El Niño con abundancias positivas en la mayoría de los taxa.

8.4. ASOCIACIONES DE LARVAS DE PECES DURANTE 1997-1998.

8.4.1. Análisis **temporal** (meses) de las asociaciones de larvas de peces.

El análisis de la distribución temporal de larvas de peces (especies/meses) utilizando el método de Bray-Curtis (1957) identificó a cinco grupos de meses a un nivel de disimilitud de 25% (Fig. 22). Un grupo denominado de “frío” incluye meses de la temporada de invierno; un grupo de transición “frío-cálido” conformado por meses de primavera; un grupo “cálido” que incluye meses de verano principalmente; un grupo de transición “cálido-frío” caracterizado por los meses de otoño; y un quinto grupo aislado por incluir meses de diferentes estaciones del año.

El análisis temporal identificó a cinco grupos de especies (I-V) determinados a un nivel de disimilitud de 40% en el dendrograma: I) las larvas de *Q. y-cauda* e *I. gilberti* fueron características del periodo frío y de transición de frío-cálido; II) la asociación de larvas de *P. nebulifer*, *P. maculatofasciatus* y *C. alepidota* son características de ambos periodos de transición (frío-cálido y cálido-frío); III) las larvas de *S. caeruleus* y *S. japonicus*, son características del periodo frío, y los grupos de especies IV) *E. crossotus*, *C. brachysomus* y Mullidae, y V) Gerreidae, *Opisthonema* spp del periodo cálido (Fig. 22).

8.4.2. Análisis **espacial** (estaciones) de las asociaciones de larvas de peces.

La variabilidad espacial de las asociaciones de larvas de peces identificó a cuatro grupos a un nivel de disimilitud de 30%, que separa las estaciones de muestreo realizadas durante 1997, de aquellas efectuadas en 1998. El grupo identificado como Zona norteña (1997) fue integrado por estaciones preferentemente localizadas en la parte norte de la bahía (I,J,K2,K1,K3,L3); mientras que el grupo Insular-Interior (1997) es conformado por estaciones situadas ampliamente entre la zona central de la bahía, y las Islas Magdalena y Margarita (L1,M1,N1,O,L2,M3,M2,N2). De igual forma, se distinguen a dos grupos de estaciones denominados Zona Norteña (1998), e Insular-interior (1998) por estar conformados prácticamente por las mismas estaciones durante 1998 (Fig. 23).

La distribución de las de larvas de peces permitió distinguir a tres tipos de asociaciones a un nivel de disimilitud de 40% en el dendrograma: la primera A), es representada por especies residentes (*Anchoa* spp., Gerreidae, *Ilypnus gilberti* y *Quietula y-cauda*), que son características de la Zona norteña durante 1997 y 1998; la segunda asociación (B), fue conformada por una mezcla de especies aloctonas y residentes, que estuvieron principalmente asociadas al grupo Insular-interior (*S. caeruleus*, *P. nebulifer*, *Opisthonema* spp., Haemulidae, *C. alepidota*); y una tercera asociación (C) constituida por especies de diferentes hábitats (*Etropus crossotus*, Mullidae, *S. japonicus*, *P. maculatofasciatus*, *C. brachysomus*), que fue el más variable entre ambos años, ya que durante 1997 su mayor abundancia se restringe al norte del área, y durante 1998 abarca la mayor parte del sistema (Fig. 23).

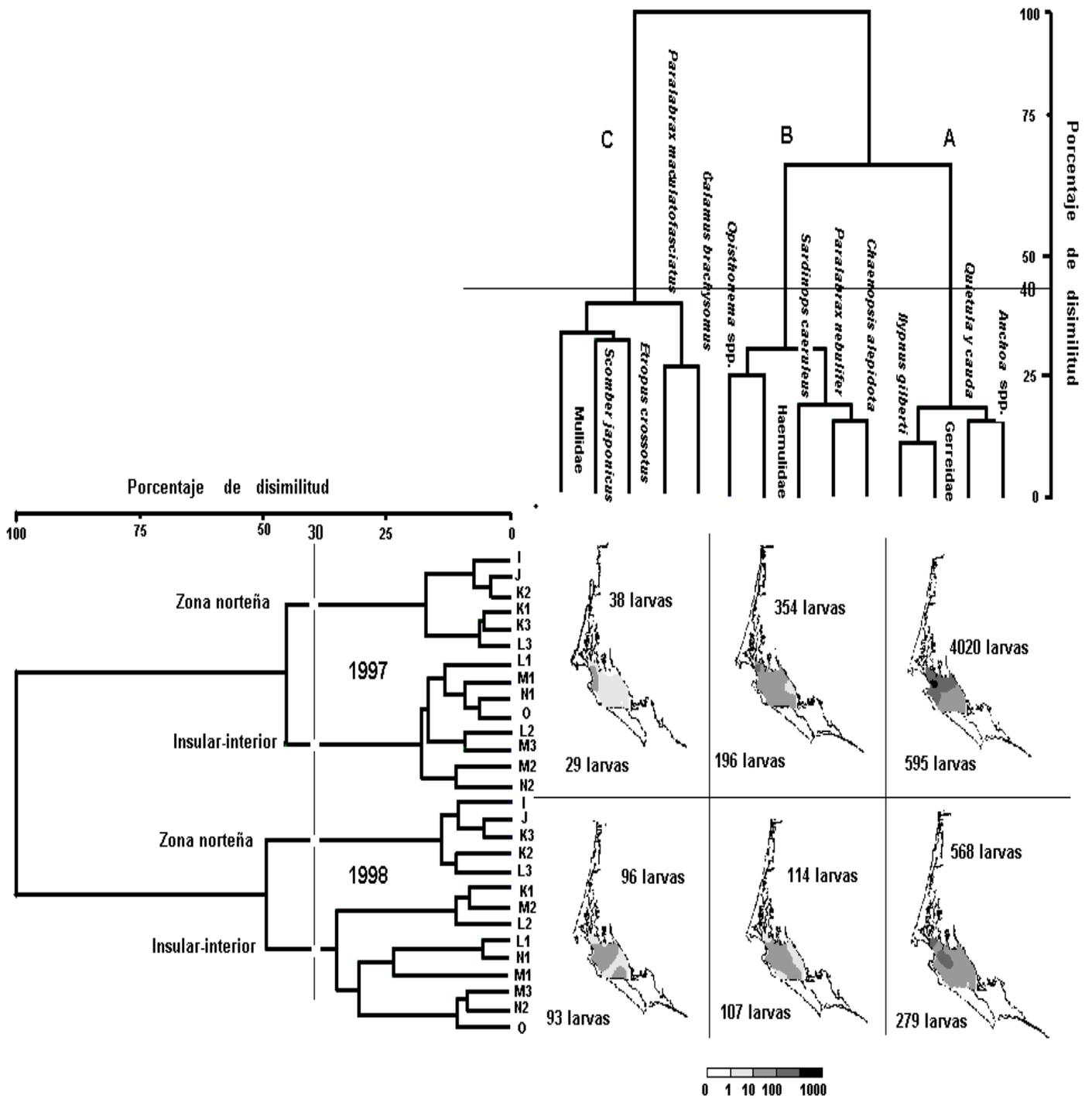


Figura 23.-Asociaciones espaciales (estaciones) de larvas de peces en Bahía Magdalena de 1997 y 1998. Asociación Norteña e insular-interior.

8.5 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA

El análisis de Correspondencia Canónica fue utilizado para explorar la relación entre las estaciones de muestreo, las especies y las variables ambientales en 1997 y 1998. Durante 1997, se encontró una alta correlación ($r=0.9$ y una $P<0.05$) entre la abundancia de larvas y los parámetros ambientales. La varianza acumulada de los primeros dos ejes fue de 47.9% (Tabla 2). Esto fue consistente con 1998, cuando también existió una alta correlación entre la abundancia de las especies y las variables ambientales ($r= 0.96$, $P<0.05$), con una varianza acumulada del 54% entre ambos ejes (Tabla 3).

Los diagramas de dispersión realizados en 1997 y 1998 (Figs. 24, 25) muestran un grupo de especies determinado por la profundidad y la longitud geográfica, que es caracterizado por especies que se distribuyen principalmente del lado occidental-insular, donde se ubican las estaciones más profundas (*S. japonicus*, *S. caeruleus*, *Opisthonema* spp., Gerreidae, Haemulidae, Mullidae y *C. brachysomus*). Durante 1998, este grupo además de estar determinado por las variables anteriores, también se incluye la biomasa del zooplancton, relacionada con incrementos ocurridos en estaciones profundas durante 1998. También en este periodo, las larvas de *E. crossotus* y *C. alepidota* son determinadas por los mismos factores. Un segundo grupo de individuos es determinado por la latitud geográfica, la biomasa del zooplancton y la temperatura superficial durante 1997 y 1998. Este grupo es relacionado con larvas de peces cuyos adultos habitan las zonas someras cerca de manglares y canales poco profundos (*C. alepidota*, *P. maculatofasciatus*, *Q. y-cauda*, *I. gilberti*, *P. nebulifer*, *Anchoa* spp. y *E. crossotus* (Figs. 24, 25).

La diferencia entre ambos periodos fue la modificación en la similitud de las estaciones asociadas a la boca de acceso y el grupo de estaciones aisladas que identifican la zona sur. Durante 1997, los grupos insular-occidental y Norteño no tienen relación con una agrupación de

estaciones del sur (O, M2, N1 y N2). Sin embargo durante 1998, el grupo aislado con poca relación, se amplía e incluye estaciones de la boca (M1 y L1).

Tabla 2.-Prueba de Monte Carlo aplicado a la matriz biológica de larvas de peces y la de variables ambientales en Bahía Magdalena durante 1997.

Ejes	Correlación taxa-parámetros	Media	Mínimo	Máximo	P
1	0.947	0.768	0.547	0.969	0.0050
2	0.942	0.810	0.504	0.977	0.0180

Tabla 3.- Prueba de Monte Carlo aplicado a la matriz biológica de larvas de peces y la de variables ambientales en Bahía Magdalena durante 1998.

Ejes	Correlación taxa-parámetros	Media	Mínimo	Máximo	P
1	0.96	0.80	0.53	0.96	0.0020
2	0.86	0.77	0.49	0.95	0.1360

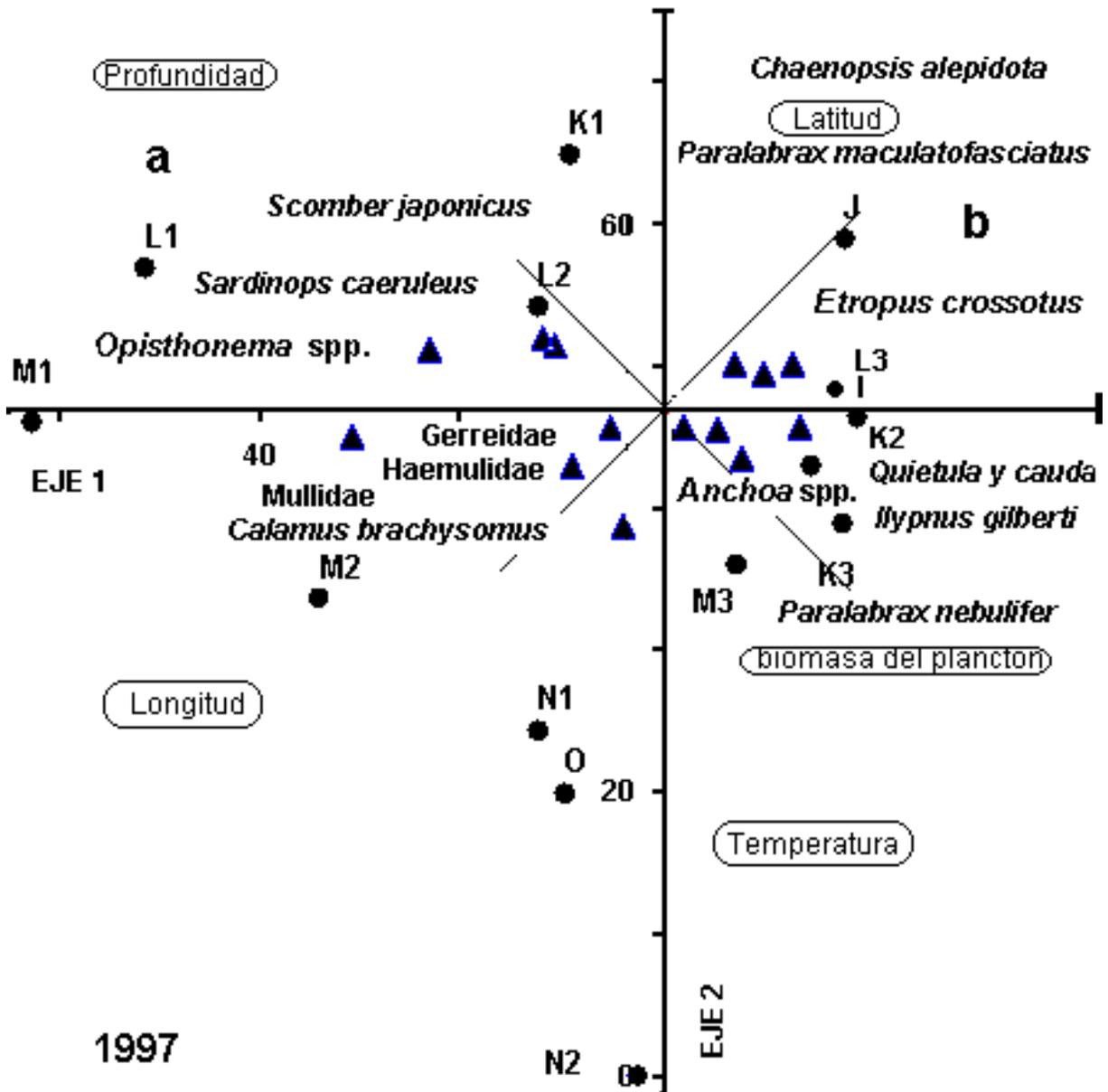


Figura 24. Diagrama de dispersión de especie, estaciones de muestreo y variables ambientales definidos mediante el Análisis de Correspondencia Canónica en Bahía Magdalena en 1997.

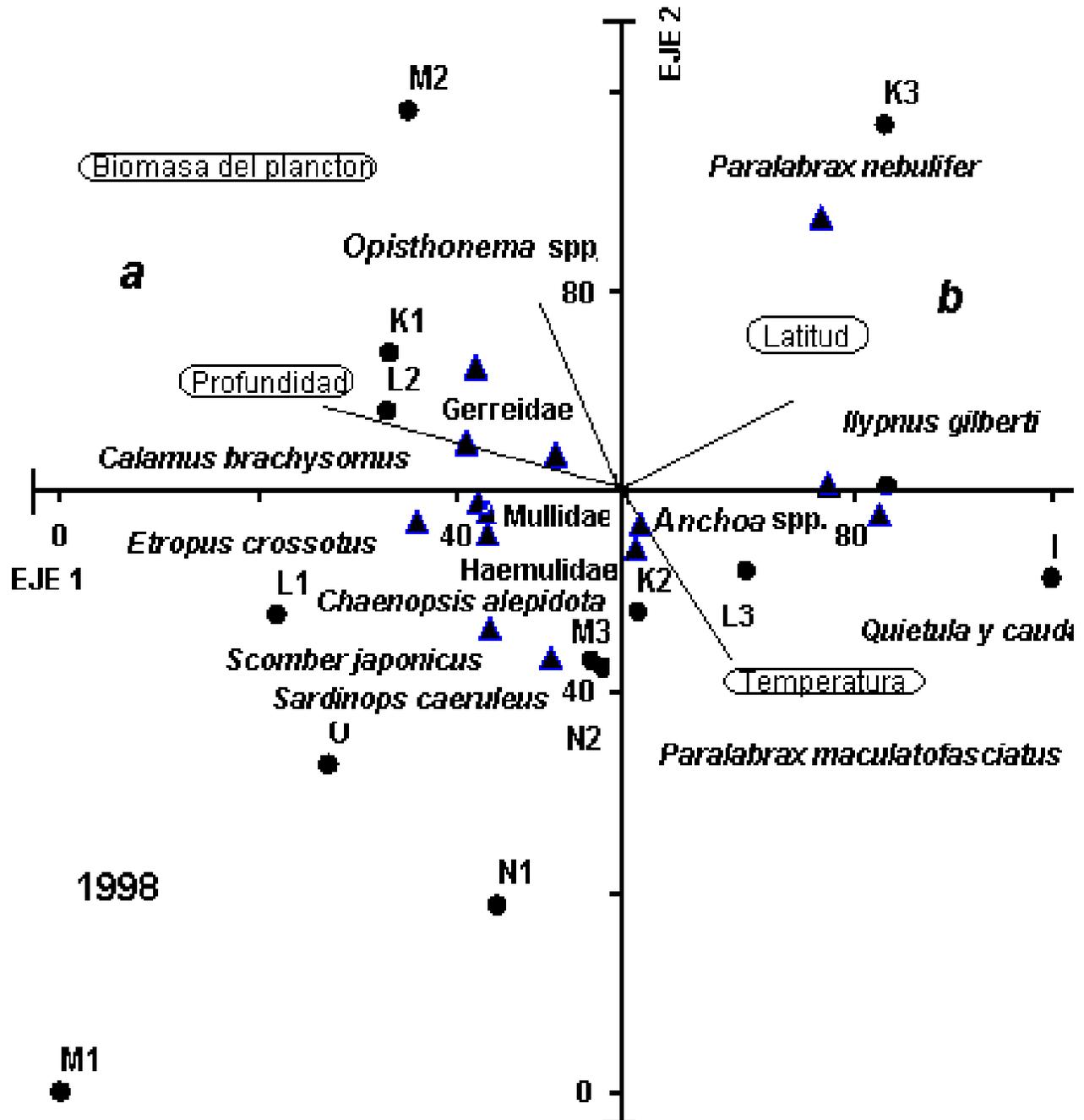


Figura 25. Diagrama de dispersión de especies, estaciones de muestreo y variables ambientales definidos mediante el Análisis de Correspondencia Canónica en Bahía Magdalena en 1998.

8.6 ABUNDANCIA LARVAL Y VARIABLES AMBIENTALES.

8.6.1 Intervalos de temperatura superficial donde ocurren las larvas de peces

Las larvas de *Sardinops caeruleus* y *Scomber japonicus* ocurrieron principalmente en un intervalo de temperatura superficial de mar entre 18.5° y 20.0° C (Fig. 26 a, b), que es parecido al intervalo donde ocurren las larvas de *Quietula y-cauda*, e *Ilypnus gilberti* (19.0 y 21.5° C) (Fig. 26c,d). Los intervalos de temperatura donde se observa la mayor frecuencia y abundancia de larvas de las cuatro especies son comparativamente similares entre 1997 y 1998.

El intervalo de temperatura donde ocurrieron un mayor número de larvas de *Paralabrax nebulifer* (22.5°-24.0° C), *Calamus brachysomus* (21.0°-25.5° C), *Chaenopsis alepidota* (20.5°-24.5° C) y fue similar durante 1997 (Figs. 27b; 28d; 29a). No obstante, el mínimo y máximo de temperatura en que ocurrieron estas especies fue mayor durante 1998; al igual que *P. maculatofasciatus* (20.0°-21.5° C) comparativamente mayor en 1998 (24.0°-26.0°) (Figs. 27b, 28d, 29 y 27a).

Las larvas de peces de la familia Gerreidae (26.0-27° C), Haemulidae (22.5°-26.0° C), Mullidae (25.0°-26.5° C), *Anchoa* spp. (25.5°-28.5° C), *Opisthonema* spp. (25.5°-26.5° C) y *Etropus crossotus* (27.0°-27.5° C), presentaron un incremento en su abundancia y frecuencia de ocurrencia en un intervalo de temperatura superficial, que fue similar entre ellas durante 1997 y 1998 (Figs. 27d, 27c, 28 a,c,b, 29b). Sin embargo, durante 1998, desaparecen los incrementos asociados a temperaturas mayores a 29.0° C en las larvas de Gerreidae, Mullidae, *Opisthonema* spp. y *E. crossotus* (Figs. 27d, 28a,b,g; 29b) pero también desaparecen aquellos incrementos asociados a temperaturas menores de 20.0° C, como sucedió con *Opisthonema* spp., aunque se mantiene en *E. crossotus*.

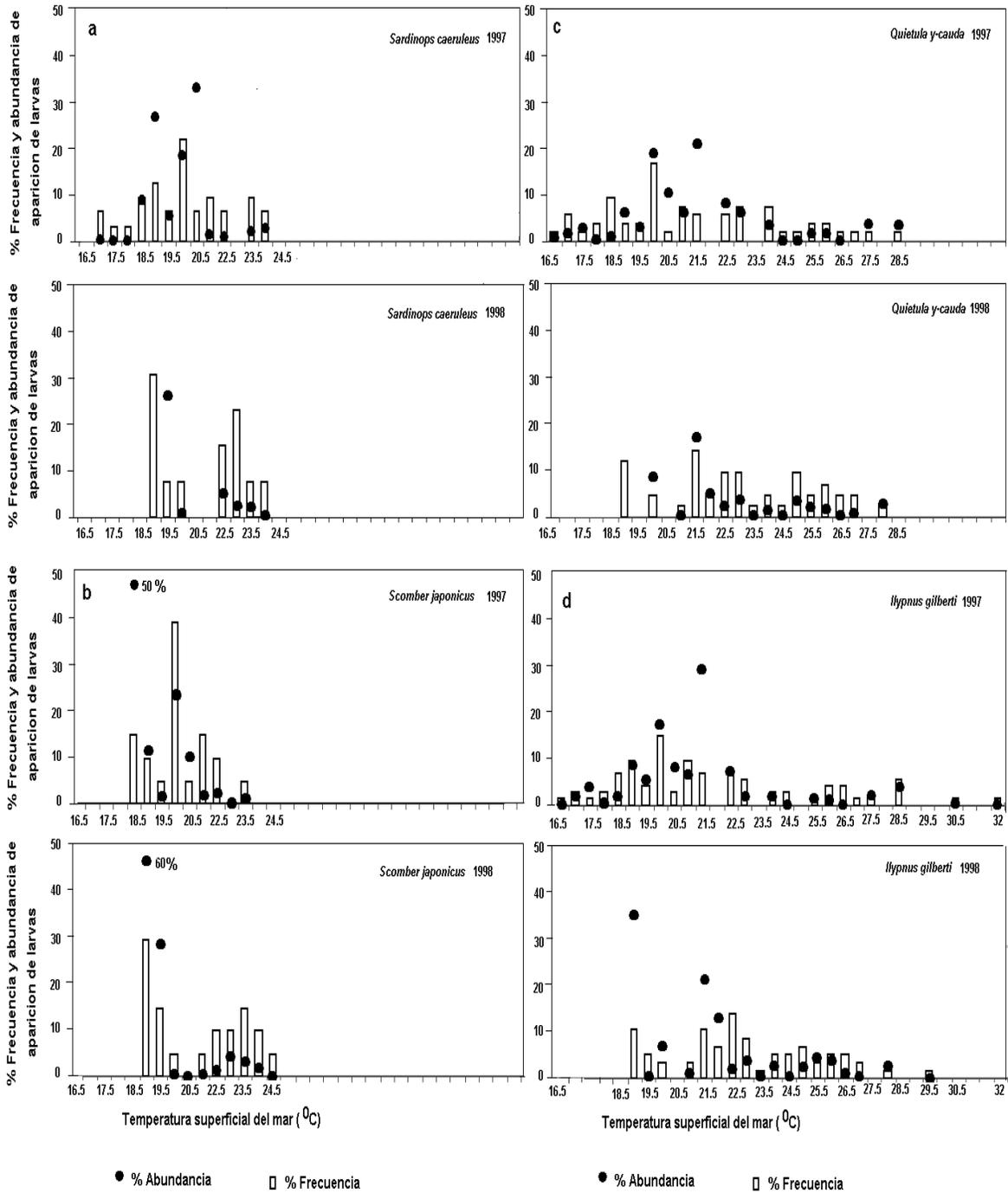


Figura 26 - Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- *Sardinops caeruleus*, b).- *Scomber japonicus*, c).- *Quietula y-cauda* y d).- *Ilypnus gilberti* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

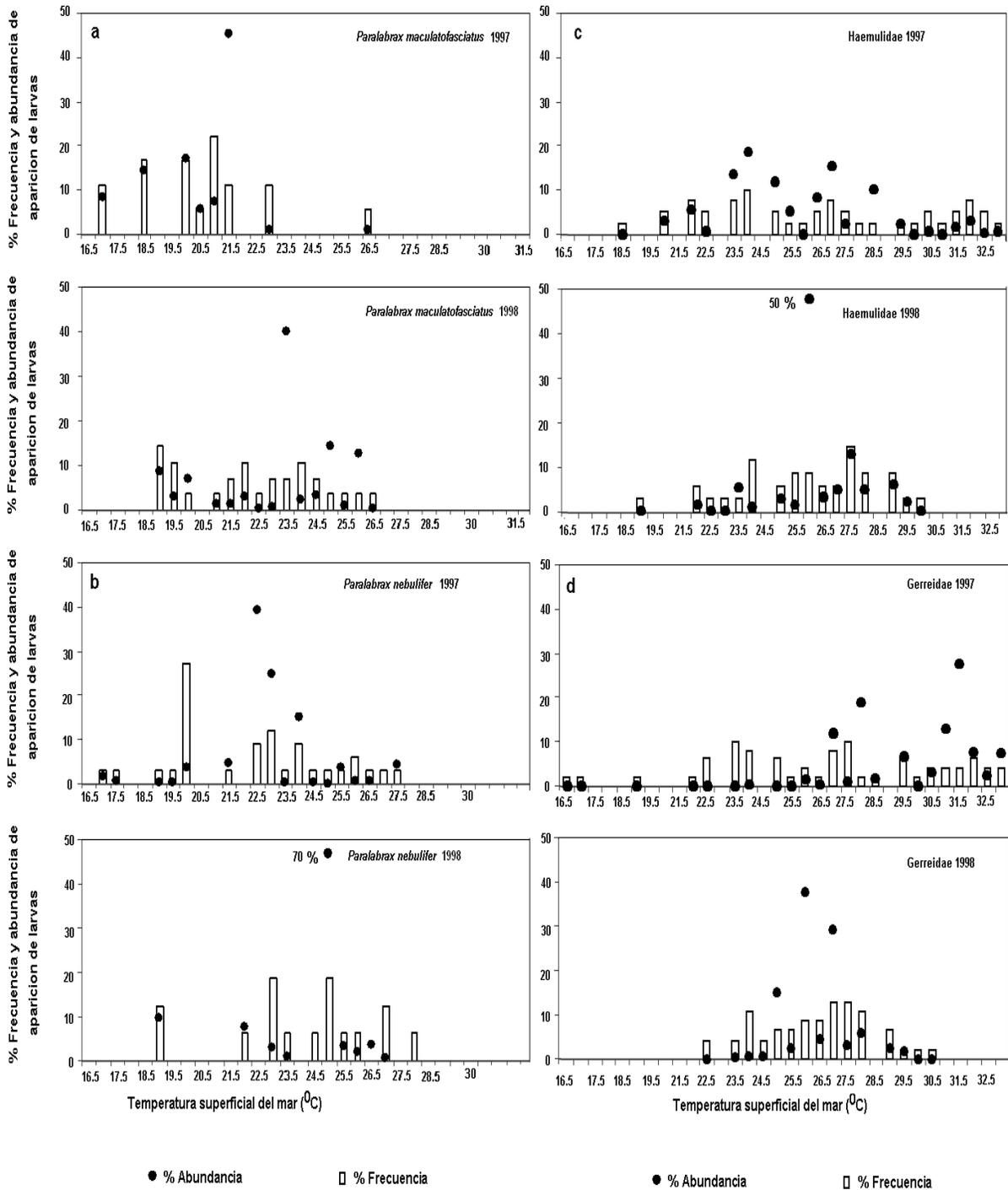


Figura 27.- Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- *Paralabrax maculatofasciatus*, b).- *Paralabrax nebulifer*, c).- Haemulidae y d).- Gerreidae agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

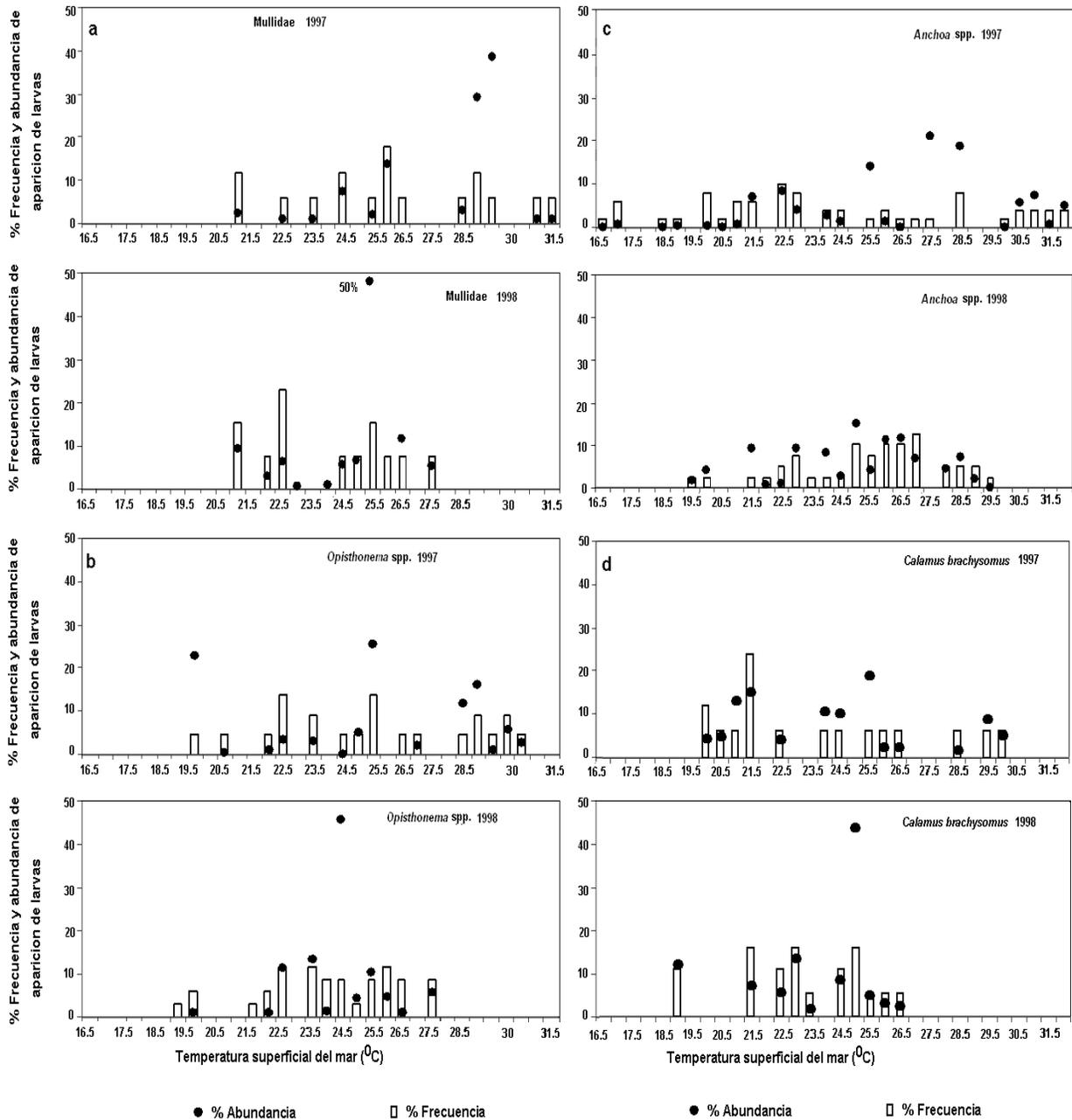


Figura 28 - Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a).- Mullidae, b).- *Opisthonema* spp., c).- *Anchoa* spp., d).- *Calamus brachysomus* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

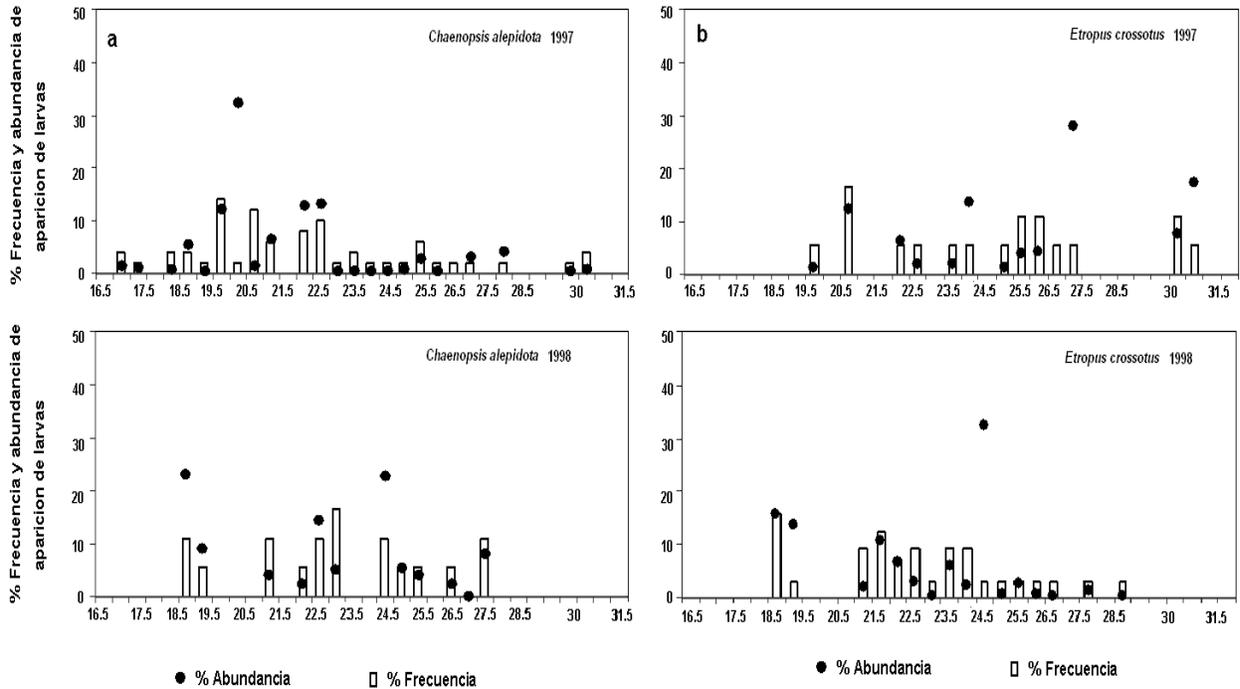


Figura 29 - Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia de: a) *Chaenopsis alepidota* b) *Etropus crossotus* agrupados por intervalos de 0.5°C de temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

8.6.1. Intervalos de la biomasa del zooplancton donde ocurren las larvas de peces

Las larvas de *Sardinops caeruleus* (250-300ml/1000m³) y *Scomber japonicus* (50-250ml/1000m³) ocurrieron en coincidencia con intervalos de biomasa del zooplancton comparativamente bajos durante 1997 (Figs. 30a, b). No obstante, la presencia de estas especies coincide con incrementos en la biomasa durante 1998 (700 y 1000; 550-700ml/1000m³, respectivamente) (Figs. 30a, b).

Las larvas de *P. maculatofasciatus* (150-200ml/1000m³), Haemulidae (150-200 ml/1000m³), *C. brachysomus* (150-200 ml/1000m³), *Opisthonema* spp. (350 ml/1000m³) y de las familias y Mullidae (50 ml/1000m³), son encontradas con valores de biomasa relativamente bajos en 1997 (Figs. 31a, 31c, 32b,d,c) pero también ocurren en sincronía con valores intermedios

(450-700 ml/1000m³). Las larvas de estos ejemplares son consistentes en el incremento de su abundancia asociadas con valores de biomasa comparativamente bajos durante 1998, pero también es posible observar un incremento en su abundancia con valores altos en este año (1000ml/1000m³) (Figs. 31a, 31c; 32b,d,c).

Las larvas de *I. gilberti* (450-600ml/1000m³), *Q. y-cauda* (500-600 ml/1000m³), *P. nebulifer* (500 ml/1000m³) y *C. alepidota* (500-600 ml/1000m³) fueron registradas con valores de biomasa intermedios durante 1997 (Figs. 30c,d; 33a). Sin embargo, el intervalo de biomasa donde ocurren estas especies coincidió con bajos volúmenes de biomasa durante 1998 (150-300 ml/1000m³) (Figs 30c,d; 33a.); aunque estas presentaron pulsos donde incrementan su abundancia en coincidencia con valores altos de biomasa durante 1998 (1000 ml/1000m³).

Las larvas de peces de la familia Gerreidae, *Anchoa* spp. y *E. crossotus* fueron recolectadas principalmente con valores altos de biomasa (900-1000ml/1000m³) durante 1997 y 1998 (Figs. 31d;32a;33b) mientras que las larvas de *Anchoa* spp. estuvieron asociadas con valores bajos de la biomasa del zooplancton durante 1998 (Fig. 32a).

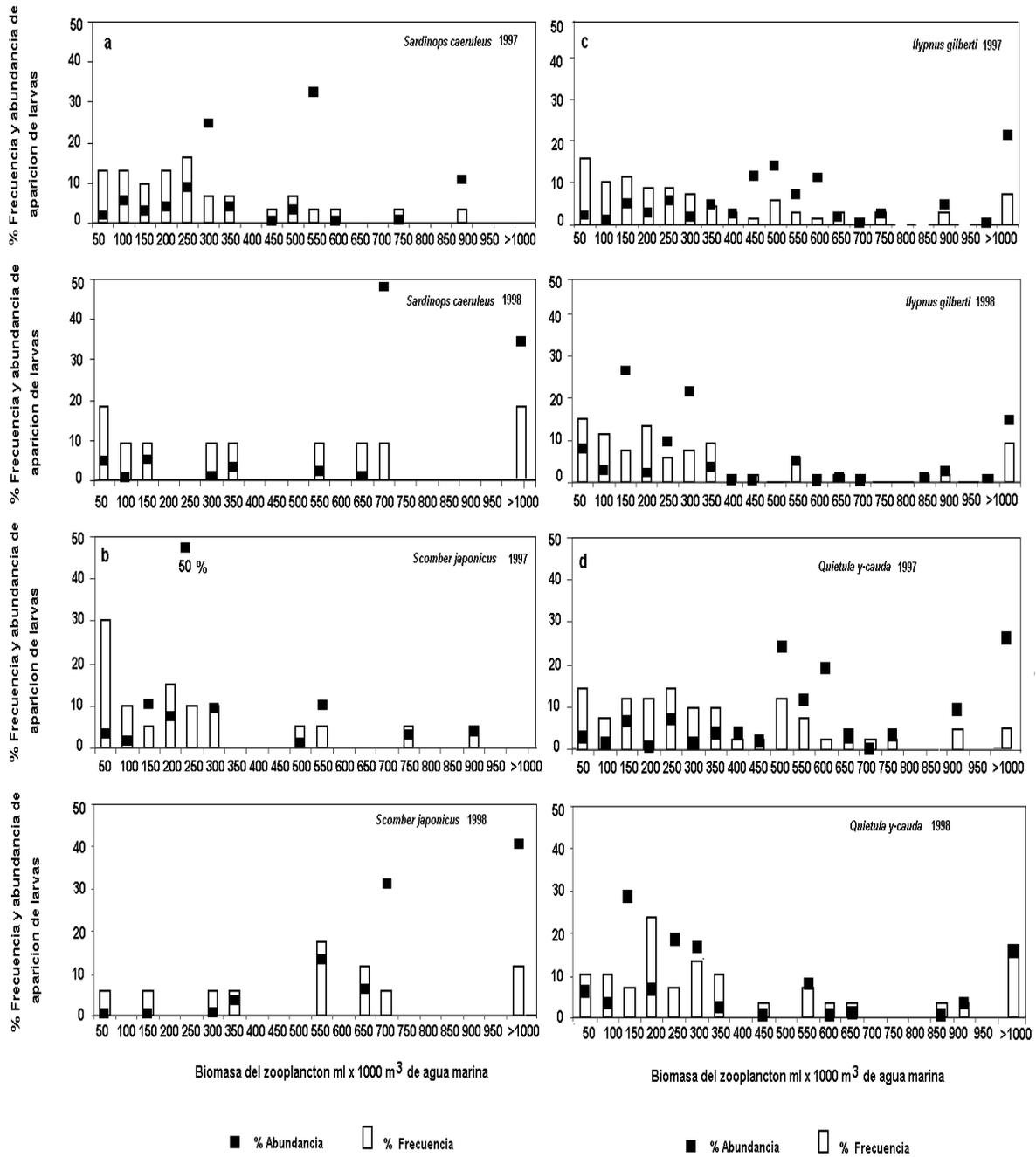


Figura 30.- Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Sardinops caeruleus*, b).- *Scomber japonicus*, c).- *Ilypnus gilberti*, d).- *Quietula y-cauda* agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

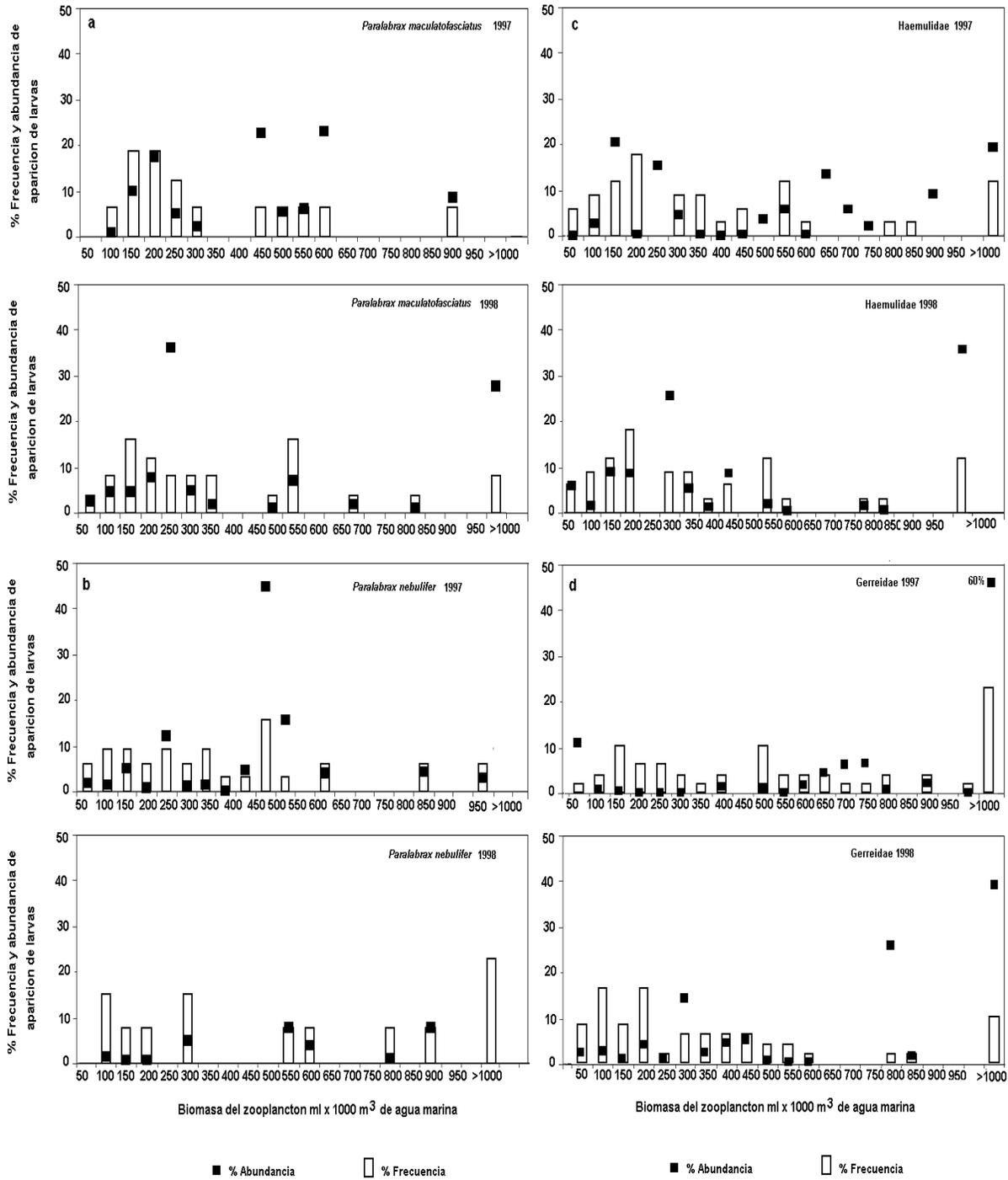


Figura 31.- Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Paralabrax maculatofasciatus*, b).- *Paralabrax nebulifer*, c).- *Haemulidae*, d).- *Gerreidae* agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zoopláctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

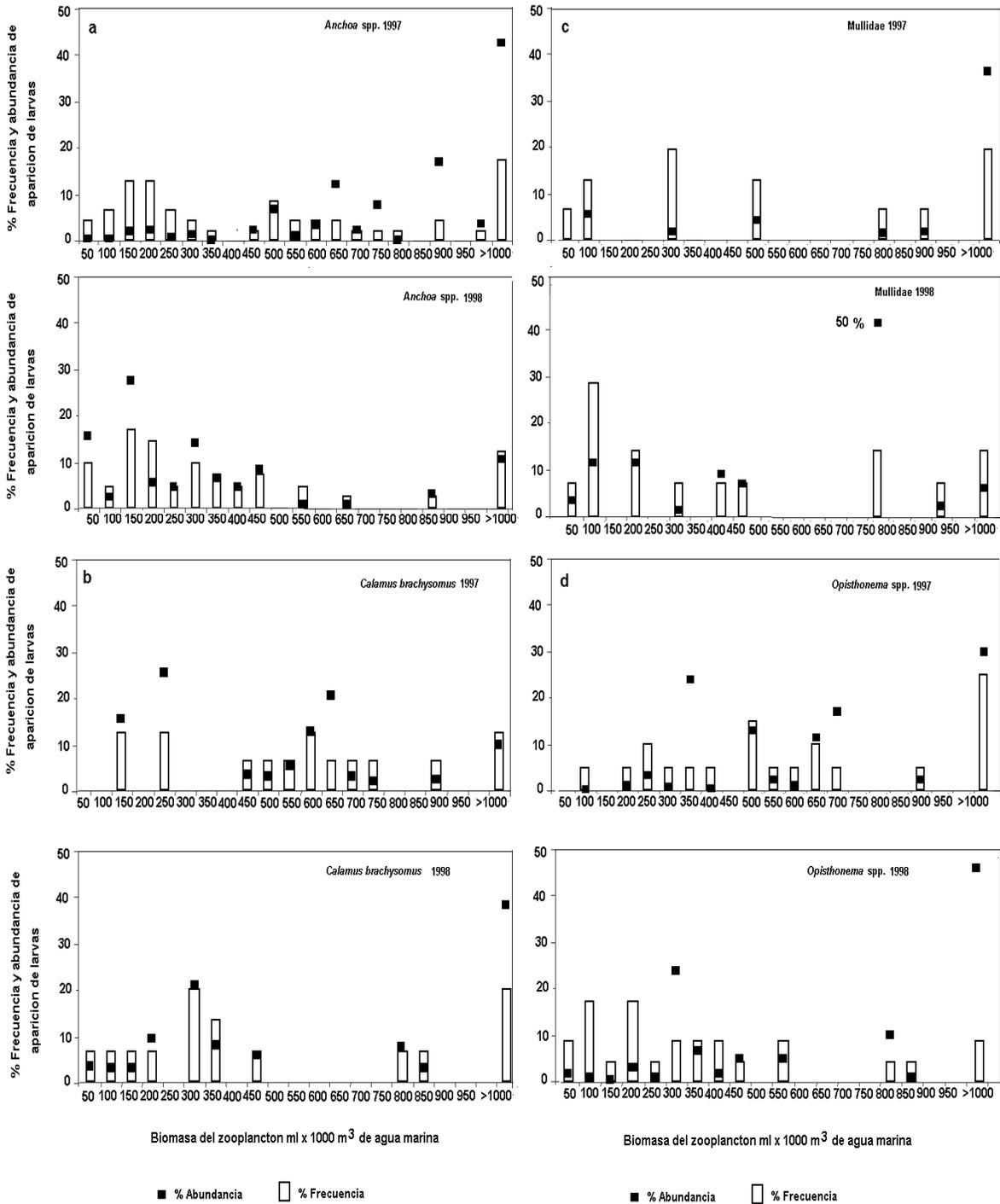


Figura 32.- Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).-*Anchoa* spp., b).-*Calamus brachysomus*, c).-Mullidae, d).- *Opisthonema* spp. agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zoopláctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

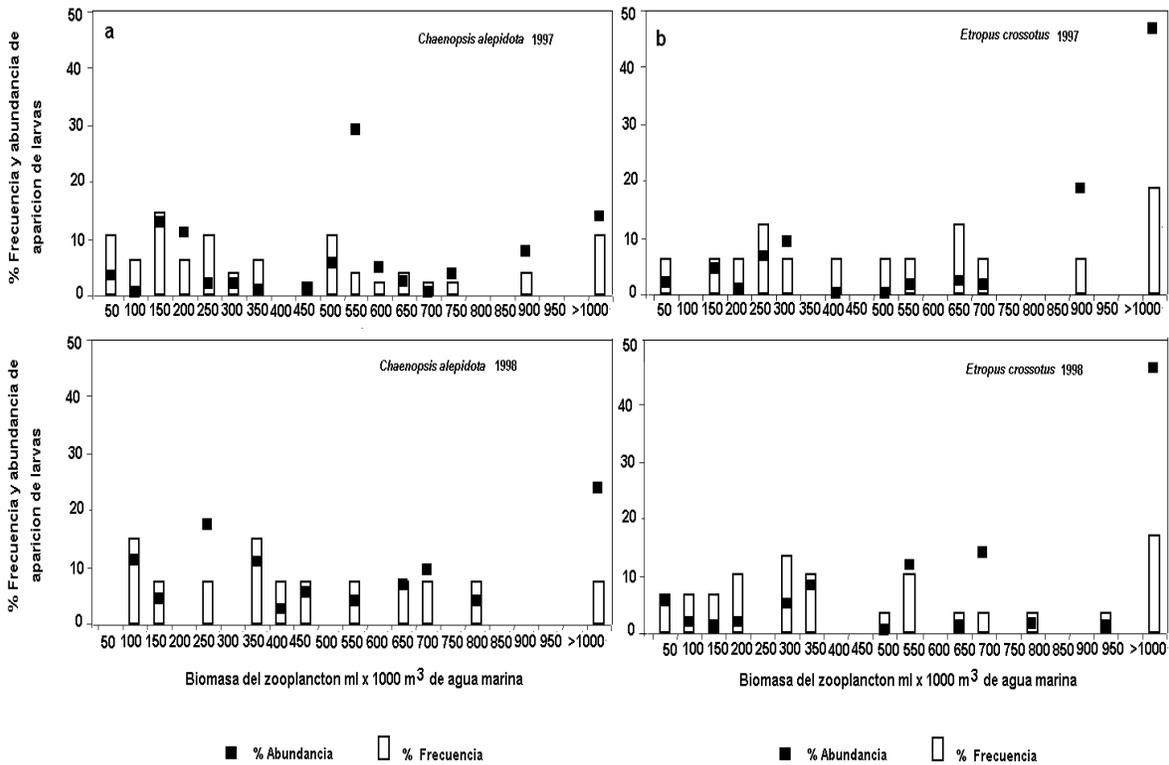


Figura 33.- Porcentaje de la abundancia y frecuencia de ocurrencia larval de: a).- *Chaenopsis alepidota* y b).- *Etropus crossotus* agrupados por intervalos de 50 ml de biomasa zooplanctónica en Bahía Magdalena en 1997 y 1998.

9 DISCUSION

9.1. Variación térmica temporal y espacial

La variación temporal de la temperatura superficial de Bahía Magdalena es observada en dos periodos que son contrastantes a lo largo del año. El primer periodo es frío durante la primera mitad del año (enero a junio), y el segundo cálido (julio a diciembre) (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). Estas variaciones son vinculadas principalmente al patrón de corrientes superficiales que convergen en la región adyacente al área de estudio cada una con características físico-químicas

particulares que influyen desde la zona nerítica adyacente al sistema lagunar (Sverdrup *et al.*, 1942; Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987). Sin embargo, durante los eventos El Niño la circulación oceánica es modificada en una reducida actividad de la Corriente de California que viaja hacia el Ecuador, e intensificación de la corriente cálida de sur a norte, además de alteraciones en la posición de la masa de agua Superficial Subtropical, como es el transporte de esta masa de agua hacia la costa durante la fase más intensa del evento El Niño (Norton *et al.*, 1985; Durazo y Baumgartner, 2002; Chavez *et al.*, 2002).

Aunque hay diferencias en los eventos El Niño basados en el tiempo de inicio y localización de los incrementos anómalos de la temperatura superficial del mar, tienen una evolución similar con la misma secuencia de crecimiento a debilitamiento (Glantz, 1996). Los eventos El Niño son caracterizados por: a) una fase precursora; b) el inicio; c) incremento de las condiciones anómalas y su maduración; y d) cuando disminuyen sus efectos (Nicholls, 1987). De acuerdo con este autor, durante el periodo de 1995 a 2000 se presentó un fuerte contraste de cambios estacionales e interanuales de intensidad de la Corriente de California. Esto significa que desde finales de 1995 y principios del 2001 se produjeron tres eventos en el Pacífico Tropical, el primero relacionado con un evento La Niña 1995-1997 (débil-moderado); seguido del evento El Niño 1997-1998, y posteriormente La Niña (intenso) hasta el 2001 (Schwing *et al.*, 2002).

Lo anterior tiene relación con la variabilidad térmica estacional e interanual de Bahía Magdalena durante 1997 y 1998. Durante la fase inicial del evento de calentamiento registrado en el Pacífico Oriental Tropical, la temperatura superficial en la bahía estuvo alrededor de la media “normal” para los meses de enero-mayo de 1997, seguido de un amplio periodo de anomalías positivas de junio de 1997 a septiembre de 1998, y finalmente el debilitamiento del evento observado en las anomalías térmicas negativas de septiembre a diciembre de 1998 asociado al evento de enfriamiento La Niña desde finales de 1998 (este estudio), hasta 2001 (Schwing *et al.*, 2002). Esta variabilidad es consistente con observaciones realizadas en la costa occidental de

Baja California, durante el evento de calentamiento El Niño 1997-1998 (Durazo y Baumgartner, 2002; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2003), pero además es conocido que las modificaciones del ambiente como consecuencia del evento de calentamiento en latitudes medias, se presentan entre tres y seis meses después de su origen en el Pacífico Tropical (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995; Hernández-Trujillo, 1999).

Es importante hacer notar que a pesar de la presencia de anomalías térmicas positivas o negativas durante el periodo de 1997 a 1998, la variabilidad anual que rige el cambio en la temperatura, es consistente con el enfriamiento y el calentamiento natural del sistema de acuerdo al patrón de corrientes, incidencia luminosa de verano y las surgencias de primavera como lo observado anteriormente por diferentes autores (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999; Lluch-Belda *et al.*, 2000).

La variación espacial de la temperatura en Bahía Magdalena sigue una tendencia que en principio es definida por la batimetría (con valores altos de temperatura en áreas someras y valores bajos en lugares profundos), pero también por la presencia de una amplia boca de acceso que permite la existencia de un gradiente térmico con menor temperatura en la boca de acceso (influenciado por la condición oceánica), mientras que en su interior prevalece la condición antiestuarina (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Lluch-Belda *et al.*, 2000; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999). La presencia de un fuerte gradiente de temperatura en la boca de acceso a Bahía Magdalena ha sido vinculada con la influencia oceánica y con procesos locales de enfriamiento como las surgencias que son máximas durante la primavera (Huyer, 1983; Zaytsev *et al.*, 2003). Estos eventos proveen agua fría y rica en nutrientes que fluyen al interior de Bahía Magdalena por corrientes de marea a través de su boca, determinando las características físicas y químicas del área (Acosta y Lara, 1978; Guerrero *et al.*, 1988). Esto hace posible que con la combinación de la presencia de corrientes de mareas y un canal profundo de navegación, exista la disminución de la temperatura superficial en las inmediaciones de la boca de acceso y el margen occidental al interior del sistema

Una situación inversa fue observada en los valores promedio de la temperatura en otoño de 1997, donde existió una diferencia de aproximadamente 2 °C entre la boca y el interior, siendo mas calida la boca que la zona interior (Fig.3g). Lo cual sugiere la máxima influencia costera del evento el Niño frente a Bahía Magdalena desde finales de verano a otoño de 1997, como es indicado por los valores de las anomalías térmicas. Al igual que coincide con el periodo de máxima influencia del calentamiento en la costa occidental de Baja California en octubre de 1997 (Durazo y Baumgartner, 2002). Sin embargo, también es posible que la diferencia de temperatura entre el interior y la boca, sea debida efectos combinados de una disminución en la incidencia luminosa e incremento de los vientos durante el otoño, como corresponde a la transición de cálido a frío; en combinación con la presencia de agua anormalmente cálida al exterior del sistema (Lluch *et al.*, 2000).

9.2. Variación temporal y espacial de la biomasa del zooplancton

La variación temporal de la biomasa del zooplancton sigue la misma tendencia que la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena. Los valores bajos de biomasa se registran durante la primera mitad del año, con un incremento y abundancia máxima durante el verano y disminuyen durante el otoño como ha sido observado en otros estudios realizados en bahía Magdalena (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; 2001; Palomares-García-Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996). Este mismo patrón de variación de la biomasa fue observado durante 1997, sin embargo, los valores que usualmente son altos en verano y principios de otoño, fueron reducidos a más de la mitad durante 1998, al parecer relacionado con la persistencia del evento de calentamiento y probablemente una disminución del aporte de nutrientes desde la zona nerítica como ocurre durante los evento El Niño (Chavez *et al.*, 2002; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2003).

En la zona nerítica adyacente a Bahía Magdalena se presentan altos índices de surgencia en primavera, que son más intensos entre abril y junio (50-300 m³/s), lo que permite el aporte de

nutrientes a la zona eufótica (Huyer, 1983; Zaytsev *et al.*, 2003), siendo el principal responsable de la producción biológica en la zona costera que provee de nutrientes a los diferentes niveles tróficos (McGowan *et al.*, 1996; Sánchez *et al.*, 2000). Las aguas ricas en formas oxidadas son transportadas posteriormente hacia el interior por el intercambio de marea (Guerrero *et al.*, 1988; Zaytsev *et al.*, 2003), siendo entonces cuando ocurre el primer florecimiento de fitoplancton relacionado con el periodo de mezcla en primavera y principios de verano, además de un segundo florecimiento en otoño debido al rompimiento de la estratificación de verano, con un nuevo aporte de nutrientes atrapados en el fondo (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000).

La biomasa del zooplancton de Bahía Magdalena está compuesta principalmente de copépodos que representan del 60 al 90% de la biomasa total del zooplancton, al igual que en otros sistemas lagunares (Palomares-García *et al.*, 2003). Al parecer la variabilidad en la taxocenosis y abundancia de los copépodos está íntimamente ligada a los procesos de fertilización y aumento de la productividad primaria del sistema lagunar. Los resultados del presente estudio coinciden en que la variación temporal de la biomasa del zooplancton está relacionada con los cambios de la temperatura superficial del mar, con bajas densidades durante el invierno, y un incremento máximo de abundancia a finales de primavera y principios del verano, la misma tendencia es observada en 1998, con una reducida biomasa del zooplancton. Al igual que ocurre en la abundancia de los copépodos que responde de manera semejante a los cambios de la temperatura superficial del mar; en una menor diversidad y abundancia en invierno, y una mayor diversidad y abundancia en la época cálida (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1992; Palomares-García, 1992; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Palomares-García *et al.*, 2003).

Los efectos durante los eventos El Niño 1982-1983 y 1997-1998 son reflejados en cambios en la productividad primaria, secundaria y abundancia de larvas de peces de Bahía Magdalena como es señalado por diferentes autores (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez *et al.* 1999; Gárate-Lizárraga *et al.* 2000; Funes-Rodríguez *et al.* 2001).

No obstante, es posible observar una consistencia en la sucesión de especies de copépodos y larvas de peces aún bajo condiciones anómalas; que demuestra la adaptación de las especies a los cambios del ambiente (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). Esto pudiera favorecer la supervivencia de larvas de peces de especies residentes y cumplir su ciclo de vida; mientras que los máximos poblacionales y de reproducción de las especies migratorias pudieran estar localizada en otras latitudes (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001).

La tropicalización del sistema lagunar se denota por el reemplazo de las especies residentes de copépodos por especies de afinidad tropical, que normalmente se encuentran en la zona oceánica (López-Ibarra, 2002), que sugiere el transporte de especies de origen tropical hacia el interior del sistema (Palomares-García *et al.*, 2003). Sin embargo las especies residentes siguen siendo parte importante en la biomasa del zooplancton, a pesar de encontrarse notablemente disminuidas durante la fase del desarrollo El Niño (Este estudio), el incremento en la biomasa del plancton ocurrió cuatro meses después de transcurridos los efectos anómalos del calentamiento. El incremento de la productividad biológica al término del evento de calentamiento El Niño, también ha sido observado en la costa de California, siendo incluso mayor que en años normales de acuerdo con Chávez *et al.* (2002).

La diferencia interanual de la biomasa del zooplancton fue amplia de un año con respecto a otro en Bahía Magdalena. Durante la fase inicial del evento El Niño (verano 1997) los valores de biomasa fueron comparativamente mayores, con respecto al año siguiente; lo cual sugiere que la persistencia de las anomalías térmicas positivas tiene un mayor impacto en las poblaciones de zooplancton, que el mismo efecto causado durante el inicio del evento de calentamiento, ya que incluso una vez transcurrido el evento, las biomásas son reducidas tres meses después como ocurrió en 1998. Al respecto, Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) observan que la producción y tasa de crecimiento de copépodos durante El Niño 1998 en Bahía Magdalena, fue disminuida por el efecto combinado de turbulencia y la persistencia del evento de calentamiento. Esto pudiera

explicar la amplia variación entre los valores registrados en 1997, que son mayores y un año después reducidos. Esta misma secuencia de cambio fue observada durante el evento de calentamiento El Niño 1982-1983, en donde un máximo es registrado previo al evento de calentamiento (1982), seguido de una fuerte disminución durante el máximo impacto del evento (1983), que perduró hasta 1984 (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996).

La variación espacial de la biomasa del zooplancton en Bahía Magdalena sigue una tendencia que es más o menos consistente a lo largo del año, con mayor densidad asociada al norte de la bahía y una menor biomasa asociada al resto de la bahía. Este gradiente puede estar vinculado estrechamente con el aporte de materia orgánica que tiene como principal fuente la zona de manglares y pastos marinos al norte de la bahía. Esta misma tendencia en la distribución del zooplancton fue observada en Bahía Magdalena por Esqueda-Escárcega *et al.* (1984). Lo cual sugiere que, no obstante de ser importante el aporte de nutrientes vía alóctona, la contribución y regeneración autóctona de los nutrientes es mayor. Sin embargo, durante el verano y otoño de 1998 (Fig. 5f,h), bajo condiciones anómalas de calentamiento, la presencia de manchones de alta densidad de biomasa del zooplancton cercanos a la boca de acceso probablemente este relacionado con el transporte de formas tropicales que normalmente se encuentran en la zona oceánica adyacente (López-Ibarra, 2002).

9.3 Variación temporal y espacial de la abundancia de larvas de peces.

La variabilidad temporal de la abundancia de larvas de peces presenta una estrecha relación con los cambios en la temperatura superficial del mar que permite la sucesión de especies a través del tiempo, como es la presencia de formas alóctonas relacionadas con la Corriente de California durante la primera mitad del año y de afinidad tropical durante la segunda parte. En tanto que las especies residentes, presentes a lo largo del año, incrementan su

abundancia durante el periodo de transición de frío a cálido (principios de verano) (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Avendaño-Ibarra *et al.* 2004a).

El ciclo de sucesión e incremento de la abundancia de las especies numéricamente dominantes ha sido relacionado anteriormente con la variabilidad estacional del flujo de la Corriente de California (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2004a). Las formas alóctonas como *Sardinops caeruleus* y *Scomber japonicus* aparecen durante la primera mitad del año, pero su abundancia es más importante durante el invierno (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). Esto puede tener relación con el enfriamiento del sistema relacionado con la presencia de la Corriente de California a principios de invierno; previo al periodo de intensas surgencias y máxima mezcla de la columna de agua en la primavera (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000).

Las especies migratorias de origen tropical (*Opisthonema* spp.) aparecen desde finales de primavera con su mayor abundancia durante el verano (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). El incremento en la abundancia de otras especies de origen tropical-subtropical (Haemulidae, *Etropus crossotus*) es consistente con el incremento de la temperatura superficial del mar y la biomasa del zooplancton. Este periodo es caracterizado por la intrusión de aguas cálidas en la zona nértica adyacente relacionada con la Contracorriente Costera (Lynn y Simpson, 1987; Hickey, 1979); al mismo tiempo que es observada una estratificación de la columna de agua al interior del sistema (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2000).

El ciclo de variación temporal y sucesión de las larvas de peces, también es observado en otros grupos del plancton (copépodos) en Bahía Magdalena. El periodo frío es caracterizado por especies residentes (*Paracalanus parvus*), con la presencia aunque escasa de especies que no son propias del sistema lagunar (*Calanus pacificus*); mientras que el periodo cálido es caracterizado por la presencia abundante de copépodos residentes de pequeño tamaño (*Acartia clausi*, *A. liljeborgii*) (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996; (Palomares-García *et al.*, 2003).

La variación interanual en la abundancia de larvas de peces es considerada también en estrecha correspondencia con los cambios de la temperatura superficial del mar. Esto se debe a que los cambios oceanográficos en el sistema de la Corriente de California pueden modificar los límites en la distribución latitudinal de especies; generalmente asociadas a diferentes masas de agua con características físico-químicas particulares (Moser *et al.*, 1987). Esto es similar a lo observado en larvas y adultos de peces pelágicos menores de afinidad templada de la costa Occidenta y de Bahía Magdalena que disminuyen su abundancia durante los eventos de calentamiento (Félix-Uraga *et al.*, 1996; Funes- Rodríguez *et al.*, 2001; 2002). Sin embargo, a juzgar por la disminución de la densidad de especies residentes y alóctonas, se atribuye que todas son afectadas por la secuencia de cambios ambientales relacionados con el incremento de la temperatura que tuvo lugar desde mediados de 1997 y que persistieron por lo menos hasta finales del verano del año siguiente.

El cambio principal durante el desarrollo del evento de calentamiento El Niño 1997-1998 fue observado en la disminución de la abundancia de las especies, y modificaciones en el tiempo en que se lleva a cabo el periodo de mayor actividad reproductora. Las larvas de peces cuyos adultos son de afinidad templada-subtropical (*S. caeruleus*, *S.japonicus*) con máximos poblacionales durante invierno-primavera fueron las más afectadas; al igual que las especies residentes que disminuyeron notablemente su abundancia (*Q. y-cauda*, *I. gilberti*, *P. nebulifer*, *P. maculatofasciatus*).

El motivo principal de cambio fue evidenciado en las anomalías positivas de temperatura que persistió durante el invierno y primavera de 1998, con respecto al invierno primavera del año anterior (libre de anomalías positivas), por lo que estas especies permanecieron disminuidas. Así también, es posible que el máximo poblacional de las especies con capacidad de emigrar evitaran los efectos del calentamiento (Bailey e Incze, 1985; Moser y Smith, 1993), mediante un desplazamiento poblacional hacia otras latitudes (e. g. Félix-Uraga, *et al.*, 1996; Lluch *et al.*, 1991); mientras que para las especies residentes fue modificar su periodo reproductivo (*P.*

maculatofasciatus, *P. nebulifer*, *Calamus brachysomus*, *C. alepidota*, *Q. y-cauda*, *I. gilbert*), y tal vez, alterar su fecundidad, modificar la temporada de desove y condición de los huevos desovados durante condiciones anómalas como es explicado por Bailey e Incze (1995). Sin embargo, las investigaciones sobre los parámetros reproductivos de las especies de peces durante eventos anómalos El Niño, han sido escasamente documentadas, pero estos incluyen la reabsorción de una gran proporción de la gónada y diámetro de los oocitos que disminuyen de acuerdo a la estacionalidad y las condiciones ambientales (McFarlane y Saunders 1997).

La variabilidad interanual de la composición y abundancia de peces adultos y sus productos del desove en el área de influencia del sistema de la Corriente de California, ha sido reportada anteriormente durante eventos de calentamiento similares (1958-1959; 1991-1992; 1982-1983; 1997-1998) (e. g. Bailey e Incze, 1985; Moser *et al.*, 1987, Moser y Smith, 1993; Funes- Rodríguez *et al.*, 1995 y 2002; Lea y Rosenblatt, 2000). El efecto inmediato puede ser visto en los cambios de distribución de los centros de desove de especies migratorias (sardina, anchoveta y merluza) (Moser y Smith, 1993). Esto es debido a los cambios geográficos de distribución de sus huevos y larvas resultan del desplazamiento de los adultos fuera de su área común de reproducción, o tal vez debido al transporte de corrientes anómalas (Bailey y Incze, 1985).

El impacto potencial de los eventos de calentamiento como es la alteración de la fecundidad, tiempo del desove y condición de los huevos desovados en Bahía Magdalena, es aún poco conocido, ya que este depende de comprender de manera integral los aspectos fisiológicos que afectan a las especies (Bailey e Incze, 1985; Kamler, 1992). No obstante, los efectos directos sobre los huevos y larvas pueden estar relacionados con la tasa de desarrollo, tamaño del huevo, metabolismo, cambios en la abundancia y composición de especies temporales, y mortalidad (Chambers y Trippel, 1997; Kamler, 1992). Por ejemplo, el diámetro de los oocitos de *Opisthonema* spp. pudiera aumentar durante los eventos de calentamiento, aunque

su fecundidad disminuye, lo que significa tener puestas menos abundantes pero huevecillos de mejor calidad (Torres-Villegas *et al.*, 1985).

En especies de escómbridos tropicales existe la posibilidad de una reproducción que combina los beneficios de diferentes estrategias reproductivas (Lauth y Olson, 1996). Una de ellas, conocida como puestas compensatorias que implica desoves múltiples, y la otra como todo a la vez caracterizada por una presencia máxima de larvas en un corto periodo de tiempo (Lambert y Ware, 1984). De tal forma, que las especies residentes presentes a lo largo del año en Bahía Magdalena, con incrementos definidos durante alguna temporada del año, pudieran retardar o adelantar su periodo de mayor actividad reproductiva de acuerdo a las características ambientales que les son óptimas. Esto pudiera ser cierto, en *Paralabrax nebulifer* con un máximo en primavera, asociada con la mayor actividad reproductiva (Avendaño-Ibarra, 2004b), que una vez transcurridos los efectos anómalos del calentamiento fue registrada hasta el otoño de 1998. Al igual que existió una modificación del periodo reproductivo en especies transicionales-templadas (*S. caeruleus* y *S. japonicus*) que son abundantes en invierno de 1997, incrementaron su abundancia hasta el otoño 1998.

Por el contrario, los cambio en la abundancia de las especies típicamente tropicales, y algunas de ellas migratorias (*Opisthonema* spp., Mullidae, Haemulidae y *E. crossotus*) no fue alterada. Lo cual era de esperarse por su afinidad tropical, ya que estas especies presentan un ciclo estacional con incrementos en su abundancia durante la segunda mitad del año; aunado al evento de calentamiento que trae como consecuencia el corrimiento latitudinal de la masa de agua Tropical y por ende, de su frontera biogeográfica que alcanzó su posición más norteña. En cambio las especies residentes de afinidad tropical-subtropical, que son residentes del sistema lagunar (*I. gilberti*, *Q. y-cauda*, Gerreidae) fueron disminuidas notablemente por el evento de calentamiento durante 1998. Al respecto se infiere, que no solamente el incremento en la temperatura afectó su densidad, sino también, la persistencia de este fenómeno en el ecosistema

afectando la productividad primaria (Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998), biomasa del zooplancton y larvas de peces.

La variación espacial de la abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena muestra una estrecha relación con las estrategias reproductivas y el área de distribución de los adultos. Esto es importante debido a la coexistencia de larvas de especies residentes, y larvas de peces cuyos adultos habitan la zona nerítica adyacente (Avendaño-Ibarra, 2004a). De acuerdo a estas características, las larvas presentan dos esquemas básicos de distribución: las larvas que corresponden a especies propias de la zona nerítica son capturadas principalmente en la zona de mayor influencia oceánica; al oeste de Bahía Magdalena y sobre el canal de navegación, y las larvas de especies cuyos adultos habitan las aguas someras sobre playas arenosas son recolectadas en las aguas poco profundas al este y el norte de la bahía.

Los estuarios y lagunas costeras son áreas importantes que sirven como complemento del ciclo de vida de algunas especies estuarino dependientes (Yañez-Arancibia, 1985; Krygier y Pearcy, 1986). La presencia de larvas de especies pelágico-costeras en Bahía Magdalena es evidencia de que estas especies pueden ingresar al sistema como adultos para efectuar la reproducción, ya que como adultos se encuentran principalmente en la zona nerítica durante la temporada de reproducción (Moser y Smith *et al.*, 1993). Esto mismo es observado en la distribución de sus primeros estadios que están distribuidos principalmente entre la boca de acceso y el canal de navegación (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998). En apoyo a este resultado, se conoce que la mayor abundancia de larvas de *S. caeruleus* es durante el refluo, lo que permite suponer que los desoves se realizan dentro del sistema lagunar, a diferencia de otras especies de afinidad nerítica con mayor abundancia durante el flujo (Aceves-Medina *et al.*, 1992). Además, del intercambio de larvas de peces que pudiera existir en la inmediaciones de la boca de acceso al sistema lagunar, como ha sido también comprobado en especies de copépodos (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001), fitoplancton (Garate-Lizárraga *et al.*, 2000), y en peces (Aceves-Medina *et al.*, 1992).

En cambio las especies residentes se encuentran principalmente confinadas a los márgenes interiores, y particularmente asociadas a la zona norte rodeada de canales poco profundos cubiertos por manglares y pastos marinos. Este patrón es consistente a lo largo del año, e incluso durante el desarrollo del evento El Niño, lo que sugiere que estas especies están relacionadas directamente con las características topográficas del área y el hábitat preferencial del adulto. Esto también ocurre en especies de copépodos residentes (Palomares-García, 1992); al igual que es observado en especies de quetognatos que predominan durante todo el año; mientras que especies que habitan la zona nerítica se restringen a la boca de acceso (Cota-Meza *et al.*, 1992). Una estrategia en copépodos para resistir el transporte durante el reflujo, es probablemente cambiar su posición y velocidad de nado en la columna de agua y de esta manera, evitar ser llevadas fuera de la bahía (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001); al igual que pudiera ocurrir en las larvas de peces residentes y evitar la dispersión hacia áreas menos propicias. Por el contrario, las larvas de jaibas pueden usar la marea para ser dispersados hacia la región oceánica, antes de invadir nuevamente el sistema (Gómez-Gutiérrez y Sánchez-Ortiz 1992).

9.4. Asociación temporal y espacial de larvas de peces

El resultado de los agrupamientos temporal (meses) y espacial (estaciones) fue muy similar a otros estudios realizados en la zona de estudio (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2004a). Las asociaciones de larvas de peces responden a variables ambientales causadas por diferentes procesos de mesoescala (e. g. corrientes oceánicas, El Niño Oscilación del Sur, giros y frentes) (Moser y Smith, 1993; Sánchez-Velasco y Flores-Coto, 1994; Funes-Rodríguez *et al.*, 2002; Aceves-Medina, 2003). Estos cambios incluyen procesos de transporte latitudinal de masas de agua, que permiten modificar los límites biogeográficos de las especies, o de transporte hacia a la costa que origina una mezcla de comunidades costeras y oceánicas (Moser *et al.*, 1987; Moser y Smith, 1993; Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). Al igual que

ocurren cambios en la localización del desove, y de la duración e intensidad del desove durante eventos de calentamiento (Bailey e Incze, 1985).

En los estuarios y lagunas costeras donde las condiciones ambientales suelen ser extremas, la variabilidad de la abundancia de las especies puede ser muy amplia (McHugh, 1985); de manera tal que los individuos deben ser lo suficientemente aptos para enfrentar las presiones del ambiente y sobrevivir hasta alcanzar la reproducción. Es por ello que muchas especies presentan máximos comunes de desove, y de esta manera, es como se forma una asociación; sin que esto implique una relación ecológica (McGowan, 1993).

Bahía Magdalena es reconocida como un sistema muy estable a pesar de su amplia variabilidad estacional ambiental, y de los cambios oceanográficos en la zona nerítica durante los eventos El Niño. Esto se debe a que las especies residentes presentan una fuerte adaptabilidad a los cambios extremos de ambiente, lo cual ha sido comprobado en la estructura de las asociaciones de los diferentes grupos del plancton, que exhiben un patrón similar definido. A pesar de que los cambios en la abundancia de los grupos de especies de afinidad cálida o templada difieren en su abundancia durante los eventos El Niño (López-Ibarra, 2002; Avendaño-Ibarra, 2003b; Palomares-García *et al.*, 2003).

La variabilidad temporal de las asociaciones de larvas de peces identificó a cuatro grupos que son consistentes con la variabilidad estacional de Bahía Magdalena. Un grupo en invierno (frío), y otro de transición (frío-cálido) desde finales de primavera y principio de verano que incluye meses de ambos años. El grupo de invierno (frío) fue caracterizado por una asociación de especies de peces pelágico-costeros de afinidad templada-subtropical (*S. caeruleus* y *S. japonicus*), y por especies residentes de afinidad subtropical-tropical (*P. maculatofasciatus*, *P. nebulifer*, *C. alepodita*, *Q. y-cauda*, *I. gilberti*) que son características de ambos periodos (frío y transicional). No obstante, la asociación de larvas de *P. nebulifer*, *P. maculatofasciatus* y *C. alepidota*, también en el periodo de transición de cálido-frío pudiera deberse a una modificación del periodo reproductivo, por el evento de calentamiento El Niño.

El grupo de verano (cálido) fue conformado por una asociación de larvas de especies tropicales (Gerreidae, *Opisthonema* spp., *E. crossotus*, *C. brachysomus* y Mullidae). Sin embargo, en el grupo de otoño (transición cálido- frío), fue posible observar el incremento de especies que difiere de los antecedentes (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998; 2002), por dar inicio la reproducción de especies pelágico costeras de afinidad templada, en coincidencia con el debilitamiento del evento de calentamiento.

La variabilidad espacial de las asociaciones de larvas de peces fue conformada por cuatro grupos que separa las estaciones de muestreo de 1997, de aquellas efectuadas en 1998. Las principales diferencias de los grupos Norteño e Insular-interior entre 1997 y 1998, son la abundancia de larvas que fue notablemente menor durante 1998. Los grupos de estaciones mantienen una estrecha relación con la batimetría del área, pero también son vinculados con el hábitat del adulto: el grupo Norteño incluye estaciones ubicada en la zona de manglar y la parte oriental peninsular, y el segundo Insular-interior incluye el resto del área, entre la boca de acceso, parte central y el sur del sistema lagunar. Los grupos de estaciones determinados son similares a los encontrados anteriormente (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998), mismos que persisten a lo largo del año, indicando una separación de ambientes, uno con influencia oceánica y el otro propiamente lagunar, que se explica por la preferencia del hábitat de desove de las distintas especies.

Las asociaciones de larvas de peces representadas por las especies residentes (*Anchoa* spp., Gerreidae, *Ilypnus gilberti* y *Quietula y-cauda*) fueron numéricamente dominantes en el grupo Norteño de ambos años; mientras que un tipo de asociación integrada por una mezcla de especies aloctonas y residentes estuvieron principalmente asociadas al grupo Insular-interior que incluye estaciones de mayor profundidad alrededor de la boca de acceso y la parte central (*S. caeruleus*, *P. nebulifer*, *Opisthonema* spp., Haemulidae, *C. alepidota*). La mezcla de especies en este grupo puede ser relacionada con las corrientes durante el flujo y el refluo de la marea, como ha sido indicado anteriormente en la boca de acceso y sus inmediaciones (Aceves-Medina *et al.*,

1992; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001); y finalmente una asociación de larvas constituida por especies de diferente hábitat (*Etropus crossotus*, Mullidae, *S. japonicus*, *P. maculatofasciatus*, *C. brachysomus*), que fue el más variable entre ambos años, ya que durante 1997 su mayor abundancia se restringe al norte del área, y durante 1998, se extiende prácticamente en todo el sistema.

9.5. RELACION ENTRE LA ABUNDANCIA DE LARVAS Y LAS VARIABLES AMBIENTALES

Los primeros estadios de vida de los organismos determinan el vigor de la clase anual, pero también, son más susceptibles que los adultos a cambios del ambiente que determinan su desarrollo y supervivencia (Fuiman y Werner, 2001). De acuerdo con esto, la exploración realizada mediante el análisis de CCA y Bray Curtis mostró que las especies presentan una distribución en estrecha correspondencia con la topografía del sistema lagunar, y las variables ambientales. Esto significa que la distribución de las especies residentes es determinada por la latitud, temperatura y biomasa del zooplancton. Como era de esperar por la distribución que presentan principalmente en la zona norteña y oriental del sistema; caracterizada por fondos someros y alta productividad secundaria, además de un mayor calentamiento y evaporación (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Lluch-Belda *et al.*, 2000).

Por otro lado, la distribución de las especies alóctonas está determinada por la batimetría y longitud geográfica, lo cual tiene relación con la distribución de los adultos que es principalmente sobre estaciones profundas del margen occidental insular. Las similitudes entre los sitios de muestreo son consistentes de un año a otro de estudio, indicando una separación de ambientes, uno con influencia oceánica y el otro propiamente lagunar, que se explica por la preferencia del hábitat del adulto de las distintas especies. De esta forma, la distribución diferencial de las especies da indicaciones del espacio ecológico que origina la conformación y cambios en la distribución de especies. No obstante, es evidente que los cambios en la

abundancia durante el desarrollo del evento El Niño son determinados por la temperatura, como se observa en la modificación de la similitud entre la agrupación de estaciones de la boca y el sur de Bahía Magdalena. Durante 1997, la agrupación de especies de pelágico costeros y algunas especies residentes, se identifican por separado de un grupo aislado, donde las especies analizadas no están relacionadas (M2, N1, N2, y O). Sin embargo durante 1998, el grupo aislado con poca relación, se amplía e incluye estaciones de la boca (M1 y L1).

La abundancia y frecuencia de ocurrencia de las larvas de peces tiene relación con el acoplamiento entre la estacionalidad de la actividad reproductiva y los ciclos térmicos en Bahía Magdalena. Lo anterior es importante debido a que esta variable es el principal factor que determina la distribución y abundancia de los organismos (Hedgepeth, 1957), generalmente asociada con gradientes latitudinales que afectan las tasas metabólicas (Hochachka, 1969), y el desarrollo embrionario y de sus larvas de peces (Kamler, 1992).

La sardina Monterrey es considerada euritérmica debido a su amplio intervalo de distribución del desove (13.0-25.0 °C), en comparación con la anchoveta Nortea (11.5-16.5 °C) (Lluch-Belda *et al.*, 1991). Sin embargo, esto puede deberse a la existencia de diferentes stocks de *Sardinops caeruleus* en el Pacífico Nororiental determinados mediante el análisis de datos de captura mensual, la temperatura y morfometría de otolitos (Félix-Uraga *et al.*, 2005). Esta hipótesis contempla la existencia de tres grupos poblacionales: un stock frío adaptado a temperaturas menores de 17°C, un stock templado entre 17 y 22 °C, y uno cálido a temperaturas mayores de 22 °C. En Bahía Magdalena se presentan dos de los stocks antes mencionados, uno que corresponde con el stock cálido que se reproduce en invierno, que es similar al registrado en Bahía de La Paz y el Golfo de California (Aceves-Medina *et al.*, 2003; Hinojosa-Medina, 2004); y el otro, perteneciente al stock templado que es capturado comercialmente durante la primavera y verano. Sin embargo, este último no se reproduce al interior de Bahía Magdalena debido a las altas temperaturas, pero los productos del desove son reportados durante esta temporada en la zona nerítica (Moser *et al.*, 1993; Hernández-Vázquez, 1995).

En este sentido, es posible observar diferencias temporales de reproducción donde ocurre la mayor abundancia de los productos de larvas de sardina Monterrey, que son consistentes con el origen de los reproductores. Los desoves entre el Golfo de California y el interior de Bahía Magdalena ocurren principalmente durante el invierno como a continuación se describen: Golfo de California de diciembre a febrero (Moser *et al.*, 1974; Nevárez-Martínez, 1990; Hammann *et al.*, 1998); Bahía de La Paz en febrero (Hinojosa-Medina, 2004); San Lucas de enero a febrero (Kramer, 1970); Bahía Magdalena en febrero (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987; Vera-Alejandre, 1993, Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). En cambio los desoves registrados al exterior de Bahía Magdalena son identificados en invierno y probablemente corresponden al stock cálido descrito por Félix-Uraga *et al.* (2005); del cual los adultos probablemente ingresan para desovar como es comprobado por la presencia abundante de huevos y larvas (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001), mientras que los individuos del stock templado descrito por Félix-Uraga *et al.* (2005), no se reproducen en Bahía Magdalena durante el verano; probablemente debido a las altas temperaturas, a pesar de ser capturados comercialmente con mayor intensidad durante el verano. Este es comprobado por la ausencia de sus primeros estadios en Bahía Magdalena durante el verano, sin embargo, sus larvas pueden ser recolectadas en la zona nerítica (Moser *et al.*, 1993; Hernández-Vázquez, 1995), similar al de Punta Eugenia con un máximo en verano.

Scomber japonicus responde de manera semejante a los cambios de temperatura superficial del mar que *Sardinops caeruleus*. De tal forma que esta especie desova principalmente en invierno cuando la temperatura oscila entre los 19.8- 21.0 °C (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001), y es posible distinguir a dos grupos poblacionales: uno en el Golfo de California; otro en la costa occidental de Baja California; y una zona de mezcla en Bahía Magdalena (Gluyas-Millán, 2005). Sin embargo, las larvas de macarela presentan una moda en invierno y aunque escasas se presentan también a finales de primavera y otoño.

Las larvas de *Opisthonema* spp., con afinidad tropical, se distribuyeron en un intervalo de temperatura superficial preferentemente cálido (21-30 °C). Sin embargo, podemos observar dos

modas (23.0-26.0 °C y 29°-31°C) durante 1997, que implicaría la presencia de dos grupos de reproductores. Esta separación térmica también es evidente en la literatura donde es posible observar la presencia de huevos y larvas en primavera y verano en el Golfo de California (Gutiérrez y Padilla, 1974; De la Campa y Gutiérrez, 1974; Acal, 1990). En este sentido, Hinojosa-Medina (2004) señala la posibilidad de una actividad reproductora de dos de las especies del género *Opisthonema*, cada una bajo condiciones ambientales diferentes (abril-mayo, 22.0-26.0 °C; verano, 28.5-30.0 °C). Sin embargo durante 1998, una vez transcurridos los efectos más notables de calentamiento, no se observa una separación evidente como en 1997. Lo que sugiere la reproducción de una sola especie como ha sido observado en la morfometría y pigmentación de las larvas que son similares entre si, con respecto de aquellas recolectadas en Bahía de la Paz y el Golfo de California, donde es posible observar a dos tipos larvales con características diferentes (Hinojosa-Medina, 2004 y Funes-Rodríguez *et al*, 2004).

Las especies autóctonas habitan generalmente las áreas internas del sistema lagunar donde la temperatura suele presentar un amplio intervalo de variación estacional y diurna, que es posible debido a su alta tolerancia y adaptación al estrés que impone el ambiente. Esto ha sido reportado en la literatura con *Paralabrax maculatofasciatus* y *P. nebulifer* (16.5 °C-28.0 °C) (Avendaño-Ibarra, 2004b), y en otras especies muy numerosas cuyos adultos habitan sobre fondos someros (*Ilypnus gilberti*, *Quietula y-cauda*, *Calamus brachysomus*, *Chaenopsis alepidota*) (Funes-Rodríguez *et al.*, 1998 y 2001; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2004a). La estrategia que implica desoves múltiples (Lauth y Olson, 1996), y máximos definidos pudiera ser utilizada para garantizar la supervivencia de los organismos de especies que toleran una amplia variedad de características ambientales, ya que si el desove ocurre en sincronía con el alimento se debiera esperar una mayor supervivencia, pero si este desove llegase a fracasar, los desoves alternos (extremos de la moda), pudieran tener mayor éxito. Por otro lado, las especies residentes con periodos definidos de reproducción (*Etropus crossotus*, Haemulidae, Gerreidae, Mullidae *Anchoa*

spp.), pudieran tener como estrategia el retardar o adelantar su periodo de mayor actividad reproductiva cuando las características ambientales sean las apropiadas.

La distribución específica de las larvas de peces y su relación con los centros de mayor abundancia del zooplancton indican dos tipos de asociaciones que pueden deberse a la preferencia de hábitat del adulto. Por ejemplo, las especies residentes que habitan las zonas someras, cerca de los esteros rodeados por manglares, son por lo general más abundantes en coincidencia una alta biomasa del zooplancton. Sin embargo, esta función disminuye hacia la parte central y oriental del sistema. Por el contrario, la mayor densidad de larvas de especies aloctonas se localiza sobre el margen occidental insular donde las profundidades son mayores, pero la biomasa del zooplancton es comparativamente menor; aunque esto también ocurre con las especies templadas y subtropicales-tropicales durante los diferentes periodos del año relacionados con los ciclos de producción del sistema (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001).

La sincronía entre la presencia de larvas de sardina y macarela cuando la biomasa del zooplancton es baja sugiere que no es dependiente de la biomasa del zooplancton, si no de la calidad del alimento. Durante invierno y primavera, los estadios de copepoditos y adultos de *Paracalanus parvus* son dominantes, y están ampliamente distribuidos en la bahía (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999), con alta densidad en la parte norte y central, que es similar a la distribución de estas especies (Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). En contraste durante el verano los copépodos del género *Acartia* son dominantes y tienen una alta producción de huevos (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999). Desafortunadamente no se conoce la dieta preferida de las larvas de clupeidos y de otras especies de la región. No obstante, es conocido que los nauplio de copépodos son comidos por todos los clupeiformes, particularmente por larvas tempranas, pero además se sabe que muchas larvas de clupeiformes se alimentan directamente del fitoplancton, por lo que no es sorprendente que se alimenten de formas pequeñas como nauplios de copepodos y tintínidos (Turner, 1984). El patrón de los zooplanctofagos incluyendo las larvas de peces puede ser el comer su alimento favorito; si este se encuentra presente y abundante, de lo

contrario deberán alimentarse de algo más (Turner, 1984). De tal forma que el hecho de encontrar una escasa biomasa del zooplancton, no es un impedimento para las larvas, ya que es probable contenga las partículas de alimento necesarias para satisfacer sus necesidades alimentarias (copepoditos y adultos de *Paracalanus parvus*). Sin embargo, al respecto hacen falta estudios sobre los ciclos de acoplamiento entre los productores y los consumidores.

10. CONCLUSIONES

1. La variación temporal de la composición y abundancia de las larvas de peces se presenta en cuatro periodos que corresponden a la época de reproducción de adultos: invierno, transición de primavera, verano y transición de otoño. Sin embargo, es notable una disminución de la abundancia y cambios en la temporalidad de algunas especies durante el evento El Niño.
2. La distribución de las larvas de peces corresponde a dos zonas que son consistentes con el hábitat del adulto. Una zona Norteña caracterizada por las zonas someras y canales poco profundos donde las especies residentes son principalmente abundantes; y una zona Insular-interior entre la boca de acceso y el canal de navegación, donde las especies alóctonas son más abundantes. La distribución de estos grupos se conserva a pesar de las alteraciones producto del evento de calentamiento.
3. La distribución espacio-temporal de la abundancia de larvas de *Sardinops caeruleus*, *Scomber japonicus*, *Opisthonema* spp., Gerreidae y Haemulidae es determinada por la temperatura, batimetría y longitud geográfica.

4. La distribución espacio-temporal de la abundancia de larvas de *Ilypnus gilberti*, *Quietula y-cauda*, *Anchoa* spp., Gerreidae y Haemulidae es relacionada con la temperatura, biomasa del zooplancton y latitud geográfica.

11. LITERATURA CITADA

- Acal, D. E. 1990. Biomasa y rendimiento potencial de la sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) en las costas de Sinaloa y Nayarit. *Cienc. Mar.* 16: 61-73
- Aceves-Medina, G., R. J. Saldierna M. y M. E. Hernández R. 1992. Variación diaria de la abundancia de larvas de peces en la boca de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Rev. Inv. Cient.* 3 (1): 61-70.
- Aceves-Medina, G. 2003. Grupos de larvas recurrentes en la costa occidental de Baja California Sur y región central del Golfo de California. Tesis doctoral, CICIMAR-IPN., México. 132 pp.
- Aceves-Medina G., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Funes-Rodríguez, R. J. Saldierna-Martínez, D. Lluch-Belda, E. P. Smith y W. Watson. 2003. Fish larvae the Gulf of California. *Sci. Mar.* 67 (1): 1-11
- Acosta-Ruíz, M. J. y J. R. Lara-Lara. 1978. Resultados físico-químicos de un estudio de variación diaria en el área central de Bahía Magdalena, B. C. S. *Cienc. Mar.* 5 (1): 37-46.
- Allen, M. J., Smith, G. B. 1988. Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering sea and Northeastern Pacific. NOAA Tech Rep. NMFS 66. 151 pp.
- Alvarez-Borrego, S., L. A. Galindo Bect. y A. Chee Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. *Cienc. Mar.* 2 (2): 94-109.
- Anónimo. 2001. Surfer 7.0 Golden, Co, Golden Software, Inc.
- Avendaño-Ibarra, R. Funes-Rodríguez, A. Hinojosa-Medina, R. González-Armas, R. y G. Aceves-Medina. 2004. Seasonal abundance of fish larvae in a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 61: 125-135.
- Avendaño-Ibarra, R. 2004. Cambios en la abundancia larval del genero *Paralabrax* (Piscies: Serranidae) en Bahía Magdalena durante 1982-1986. Tesis de maestría CICIMAR-IPN., México. 103 pp.
- Bailey, K.M. e Incze, I. S. 1985. El Niño and the early life history and recruitment of fishes in temperate marine waters. En: *El Niño North effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean* (Wooster, W.S. y Fluharty, D. L., eds.). University of Washigton. Seattle: 143-165.
- Beers, J, R. 1976. Volumetric methods. En: *zooplakton fixation and preservation* (Steedmann, H.F., ed.). Monographs on oceanographig methodology (4). UNESCO press, París: 56-50.
- Bray, J. R. y J. T. Curtis. 1957. Ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monograph* 7: 325-349.

Briggs, J.C. 1974. Marine zoogeography. McGraw Hill Book Co. EUA. 475 pp.

Castro-Aguirre, J. L. y R. Torres O. 1993. Consideraciones acerca del origen de la ictiofauna de Bahía Magdalena-Almejas, un sistema lagunar de la Costa Occidental de Baja California Sur, México. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. 38 (1-4): 67-73.

Chambers, R. C y E. A. Trippel. Early life history and Recruitment in fish populations. Chapman y Hall, London. 596 pp.

Chavez, F. P., J. Pennington, C. Castro, J. Ryan, R. Michisaki, B. Schlining, P. Walz, K. Buck, A. McFadyen, y C. Collins, 2002: Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in central California waters. Prog. Oceanog., 54 (1): 205-232.

Cota-Meza, M. S., M. J. Haro-Garay. y R. V. Massé-Zendejas. 1992. Distribución y abundancia de quetognatos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena Baja California Sur, México durante el ciclo estacional 1988-1989. Inv. Mar. CICIMAR. 7 (2): 47-59.

Dale V. H. Beyeler S.C. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. Ecol. Indie. 1:3-10.

De la Campa, S. y C. Gutiérrez. 1974. Distribución horizontal de huevos y larvas de sardina monterrey y larvas de sardina crinuda y bocona en el Golfo de California, en abril de 1972. Ser. Cient. IPN/Méx.2

De la Cruz-Aguero, J., F. Galván-Magaña, L. Abitia-Cárdenas, J. Rodríguez-Romero y F. J. Gutiérrez-Sánchez. 1994. Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc. Mar. 20 (1): 17-31.

Doyle, M. J. 1992. Patterns in distribution and abundance of ichthyoplankton off Washigton, Oregon and northern California (1980-1987). Alaska Fish. Sci. Center. NMFS. U.S. Departament of Commerce., Proc. Rep., 92-14: 344pp.

Doyle, M. J., W.W. Morse y A.W. Kendall. 1993. A comparison of larval fish assemblages in the temperate zone of the northeast Pacific and northwest Atlantic oceans. Bull. Mar. Sci. 53 (2): 588-644.

Durazo, R. y T. R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. Prog. Oceanog. 54: 7-31.

Esqueda-Escárcega, G. M., A. Esquivel-Herrera, R. Funes-Rodríguez, Y. A. Green-Ruiz , R. González-Armas, M. J. Haro-Garay, M. E. Hernández-Rivas, S. Hernández-Trujillo, R. J. Saldierna-Martínez, M. SánchezHidalgo-y Anda, C. A. Sánchez-Ortíz, y G. R. Vera-Alejandre. 1984. Atlas de distribución y densidad de huevos y larvas de clupeidos y engráulidos en el complejo Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur. 1981-1983. Atlas CICIMAR 2. 121 p.

Eschmeyer, W. N., E. S. Herald y H. Hammann. 1983. A field guide to pacific coast fishes, North America. Houghton Mifflin Comp., Boston. 336 pp.

Félix-Uraga, R., F. N. Neri-Melo, K. T. Hill, W. García-Franco, y C. Quiñonez-Velázquez. 2005. Importancia relativa de los stocks de sardina del Pacífico en las pesquerías de Bahía Magdalena, Ensenada y el sur de California. XIII Taller de Pelágicos menores, Ensenada, B.C., México, junio 2005.

Félix-Uraga, R., R. M. Alvarado-Castillo y R. Carmona. 1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. Calif. Coop. Ocean. Fish Invest. 37: 188-192.

Field, J.G., K. R. Clarke., R.M. Warwick. 1982. A practical strategy for Analysing multispecies distribution patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser. 8:37-52.

Fishbase. 2004. (<http://www.fishbase.org/search.cfm>).

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Nields (eds.). 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca Vol. I-III. O.N.U. FAO. Roma.

Flores-Coto, C. 1988. Estudio comparativo de la estructura de la comunidad ictioplanctónica de tres lagunas costeras del sur del Golfo de México. An. Inst. Biól., Univ. Nac. Autón. Méx., Zool. (2): 707-726.

Fuiman, I. A. y R. G. Werner. 2001. Fishery science. The unique contributions of early life stages. Blackwell Science, Oxford. 324 pp.

Funes-Rodríguez, R., R. González-Armas., A. Esquivel-Herrera. 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. Hidrobiól. 5 (1-2): 113-125.

Funes-Rodríguez, R. R. González-Armas R. Y R. Avendaño-Ibarra. 1998. Distribución y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Hidrobiól. 8 (1): 55-66.

Funes-Rodríguez, R., A. Hinojosa-Medina, R. Avendaño-Ibarra, M. E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez y W. Watson. 2001. Spawning of small pelagic fish in Magdalena, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. Estuar. Coast. Mar. Sci. 53 (5): 653-664.

Funes-Rodríguez, R., C. Flores-Coto, A. Esquivel-Herrera, M. A. Fernández-Alamo y A. Gracia-Gásca. 2002. Larval fish community structure along the west coast of Baja California during and after the El Niño event (1983). Bull. Mar. Sci 70 (1): 41-54.

Galván-Magaña, F., F. Gutiérrez-Sánchez, L. A. Abitia-Cárdenas, J. Rodríguez-Romero. 2000. The distribution and affinities of the shore fishes of the Baja California Sur Lagoons. En: Munawar, M., Lawrence, S.G., Munawar, I. F. y Malley, D.F. (Eds.), Aquatic Ecosystem of México: Status and Scope, Backhuys Pub., Leiden, The Netherlands. 383-398 pp.

Gárate-Lizárraga, I. y D.A Siqueiros-Beltrones. 1998. Time variation in phytoplakton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 El Niño event (1984 to 1986). Pacif. Sci. 52. 79-97.

Gárate-Lizárraga, I., D. A. Siqueiro-Beltrones., G. Verdugo-Díaz y R. Guerrero-Caballero 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: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. (10):143-155.

Gómez-Gutiérrez, J., R., y C. Sánchez-Ortíz. 1997. Larval drift and population structure of *Pleurocodes planipes* (Simpson) (Crustacea: Galatheidae) along the west coast off Baja California, México. *Bull. Mar. Sci.* 61: 305-325.

Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, y D. Gendron. (1995) Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, México, during the weak ENSO 1986-1987. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 120: 41-51.

Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, R. De Silva-Dávila, M.A. Carballido-Carranza y A. Martínez-López. 1999. Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. *J. Plank. Res.* 21 (12): 2227-2244.

Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, R. S. Hernández Trujillo, y M.A. Carballido-Carranza. 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Rev. Biol. Trop.* 49 (2): 545-558.

Guerrero-Godínez., R., R. Cervantes-Duarte. y A. Jiménez-Illescas. 1988. Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the Northwest of México. *Indian J. Mar. Sci.* 17: 235-237.

Glantz, M. H. 1996. Current of the changes; El Niño's impact on climate and society. Cambridge Univ. Press. 194 pp.

Gluyas-Millán, M. G. 2005. Grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. XIII Taller de Pelágicos menores, Ensenada, B.C., México, junio 2005.

Grioche, A., P. Koubbi y X. Harlay. 1999. Spatial patterns of ichthyoplankton assemblages along the eastern English Channel french coast during spring 1995. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 49: 141-152.

Hammann, M.G., M. O. Nevárez-Martínez y Y. Green-Ruiz. 1998. Spawning habitat of pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California: egg and larval distribution 1956-1957 and 1971-1991. *Calif. Coop. Ocean Fish. Invest.* 37: 169-179.

Hedgepeth, J.W. 1957. Marine Biogeography En: Treatise on marine ecology and paleoecology. J.W. Hedgepeth, Geol. Soc. Amer. Mem. 67 (1): 359-382.

Hernández-Trujillo, S. (1999) Variability of community structure of copepoda related to El Niño 1982-1983 and 1987-1988 along the west coast of Baja California Peninsula, México. *Fish. Oceanogr.* 8:284-295.

Hernández-Vázquez, S. 1995. Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-89. Tesis doctoral C.I.C.E.S.E. México. 178 pp.

Hickey, B.M. 1979. The California current system-hypothesis and facts. *Prog. Oceanog.* 8: 191-279.

- Hinojosa-Medina A. 2004. Bahía de la Paz; Hábitat de desove de peces de la familia clupeidae. Tesis de maestría CICIMAR-IPN., México. 107 pp.
- Hochachka, P. W. 1969. Intermediary metabolism in fishes. En: Fish physiology. W.S. Hoar y D. J. Randall. Academ. Press, New, York: 351-383.
- Horn, M. H. 1980. Diversity and ecological roles of non-commercial fishes in California marine habitats. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. 21: 37-473.
- Huyer, A. 1983. Coastal upwelling in the California Current system. Prog. Oceanogr. 12:259-284.
- Kamler, E. 1992. Early life history of fish, an energetics approach. Chapman & Hall, London. 267 pp.
- Kramer, D. 1970. Distributiional atlas of fish eggs and larvae in the California Current region: Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard), 1951 through 1966. Calif. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Atlas 12. 269 pp.
- Krebs, C.H. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. Segunda Edición, Editorial HARLA, México.753 pp.
- Krygier, E. E. y W. G. Pearcy. 1986. The role of estuarine and offshore nursery areas from young English sole, *Parophrys vetulus* Girard, of Oregon. Fish Bull. 84: 119-132.
- Lambert, T. C. y D. M. Ware. 1984. Reproductive strategies of demersal and pelagic spawning fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41 (11): 1565-1569.
- Lauth, R. R y R. J. Olson. 1996. Distribución y abundancia de escómbridos larvales en relación con el ambiente físico en el noroeste del Recodo de Panamá. Int. Amer. Trop. Tuna Comm. 21 (3): 127-167.
- Lavaniegos-Espejo, B., G. Gaxiola-Castro., L. C. Jiménez-Pérez., M. R. González-Esparta, T. Baumgartner y J. García-Cordova. 2003. 1997-1998 El Niño effects on the pelagic ecosystem of the California current off Baja California, México. Geofis. Int. 42 (3): 483-494.
- Lea, R.N. y R. H. Rosenblatt 2000. Observations on fishes associated with the 1997-1998 El Niño off California. Calif. Coop. Ocean Fish. Invest. 41: 117-119.
- López-Ibarra, G. A. 2002. Estructura de la taxocenosis de copépodos en Bahía Magdalena Baja California Sur, México, durante El Niño 1997/1998. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 65 pp.
- Loya-Salinas, D. H. y Escofet, A. 1990. Contribution to the calculation of the biological value index (Sanders, 1960). Cienc. Mar. 16 (2): 97-115.
- Lluch-Belda, D., M. Hernández-Rivas y R. Guerrero-Caballero 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. Océánides 15 (1) 1-23.
- Lluch-Belda D., D. B. Lluch Cota., S. Hernández Vázquez, C. Salinas-Zavala. y R. A. Schawartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. 32: 105-111.

- Lynn, R. J. y J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.* 92: 12947-12966
- Makridakis, S. y C. Wheelwright. 1978. *Forecasting methods and application*. Wiley, New York.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer. Res.* 27: 209-220.
- Mathews C., P. 1975. El desarrollo de la zona de Bahía Magdalena. Un panorama bio-socioeconómico en una región en pleno desarrollo. *Cienc. Mar.* 2 (1): 47-49.
- McHugh. J. L. 1985. The estuarine ecosystem integrated. Foreword. En: A. Yañez-Arancibia (Eds.) *Fish Community Ecology in estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. 2: 9-16.
- McCuen, B. y M. J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Ver. 4.33. MjM software, Eleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- McCune, B. y J. M. Grace. 2002. Canonical Correspondence analysis En: *Analysis of ecological communities*. With a contribution from Dean L. Urban Duke University, U.S.A 21: 164-177.
- McFarlane, G. y M. Saunders. 1997. Fecundity of Pacific hake. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.* 38:
- McGowan J. A. 1971. Ocean biogeography of the Pacific. En: B.H. Funell y W. R. Riedel. (Eds.) *The micropaleontology of the oceans*. Cambridge University Press: 3-74.
- McGowan. J.A. y P.W. Walker. 1993. Pelagic diversity patterns. En: *Species diversity in ecological communities*, R.E. Ricklefs y D. Schulters (Eds.) Chicago: Univ. Chicago Press: 203-214.
- McGowan J. A., D.B. Chelton y A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate, and change in the California current. *Calif. Coop. Fish. Invest.* 37: 45-68.
- McPhaden, M. J. 1999. Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño. *Sci.* 283: 950-954.
- Miller, D. J. y R. N. Lea. 1972. *Guide to the coastal marine fishes of California*. Calif. Fish Bull. 157: 249 p
- Moser, H.G. ed. 1996. *The early Stages of Fishes in the California Current Region*. Calif. Coop. Fish Invest. Atlas 33, Allen Press, Inc., Lawrence, KS. 1505 pp.
- Moser, H. G., y P. E. Smith. 1993. Larval assemblages of the California current region and their horizontal and vertical distributions across front. *Bull. Mar. Sci.* 53 (2): 645-691.
- Moser, H.G., P. E. Smith y L. E. Eber. 1987. Larval fish assemblages in the California current region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.* 28: 97-127.
- Moser, H. G., E. H. Ahlstrom, D. Kramer y E. G. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. *Calif. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Rep.* 17: 112-130.

- Moser, H.G. W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W Kendall, Jr. y S. L. Richardson. 1984. Ontogeny and systematics of fishes. *Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Spec. Publ.* 1, 760 p.
- Moser, H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, S. R. Charter, C. A. Meyer, E. M. Sandknop y W. Watson. 1993. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas* 31. 233 p.
- Murphree, T., y C. Reynolds. 1995. El Niño and La Niña effects on the northeast pacific: the 1991-1993 and 1988-1989 events. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.* 36: 45-56.
- Nevárez-Martínez, M. O. 1990. Producción de huevos de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) en el Golfo de California: Una evaluación y crítica. Tesis de maestría C.I.C.E.S.E. México. 144 pp.
- Nicholls, N. 1987. The El Niño/Southern oscillation phenomenon. En: *Climate crisis*. (Eds.) M. H. Glantz, R. W. Katz y M. E. Krenz. New York: UN. Publications: 2-10.
- Niemi J.G. y M.E. McDonald. 2004. Application of ecological indicators. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35:89-111.
- Norton, J., D. McLain, R. Brainard y D. Husby. 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 y D.L. Fluharty. Washington Sea Grant Program, Univ. of Washington: 44-71.
- Obeso-Nieblas, M., J. H. Gaviño-Rodríguez y R. Jiménez-Illescas. 1999. Modelación de la marea en el sistema lagunar Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Oceánides*. 14 (2): 79-88.
- Olivar, M. P. y P.A. Shelton. 1993. Larval fish assemblages of the Benguela current. *Bull Mar. Sci.* 53 (2): 450-471.
- Palomares-García, J. R. 1992. Análisis de la taxocenosis de los copépodos en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., durante 1985-1986. *Cienc Mar.* 19 (3): 71-92.
- Palomares-García, J. R. y J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during EL NIÑO 1983-1984. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 43: 583-595.
- Palomares-García R., A. Martínez-López, R. De Silva-Davila, R., Funes-Rodríguez, A. Carballido-Carranza, R. Avendaño-Ibarra, A. Hinojosa-Medina y G. A. López-Ibarra. 2003. Biological effects of El Niño 97-98 in a shallow subtropical ecosystem. *Geofís. Int.* 42 (3): 455-466.
- Palomares-García R., R. de Silva-Dávila, A. Martínez-López, A. Hinojosa-Medina, R. Avendaño-Ibarra y R. Funes-Rodríguez. 2001. El evento El Niño y 1997-1998 y su impacto sobre el zooplancton en Bahía Magdalena B.C.S. En: E. Escobar B., M. Bonilla, A. Badan, M. Caballero y A. Winckell. (Eds.) *Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998*. CONACYT: 192-205.
- Richardson, S. L. y Stephenson, W. 1978. Larval fish data: a new approach to analysis. *Oregon State Univ. Grant College Program Pub.*: 16 p.

- Richardson, S. L., J. L. Laroche y M. D. Richardson. 1980. Larval Assemblages and associations in the north-east Pacific Ocean along the Oregon coast, winter-spring 1972-1975. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* II: 671-699.
- Roux, M. 1993. "Classification des données d'enquêtes", En: Grangé, D. y Lebart L. "Traitement statistiques des enquêtes", Dunod, París. 55-62.
- Sabatés, A. 1990. Distribution pattern of larval fish populations in the northwestern Mediterranean. *Mar.Ecol. Prog. Series.*, 59: 75-82.
- Sánchez-Ortiz y Gómez-Gutiérrez. 1992. Distribución y abundancia de los estadios planctónicos de la jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae), en el complejo lagunar Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Rev.Inv.Cient.* 3 (1): 47-58.
- Sánchez-Velasco, L., y C. Flores-Coto. 1994. Larval fish assemblages at the Yucatan shelf and in the Mexican Caribbean sea during the upwelling period (Spring, 1985). *Sci. Mar.* 58 (4): 289-297.
- Sánchez G., R. Calienes y S. Zuta. 2000. The 1997-1988 El Niño and its effects on the coastal marine ecosystem off Peru. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.* 41: 62-86
- Sánchez-Motante O. 2004. Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, B.C. S. México, modelación y experimentación. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 237 pp.
- Saldierna-Martínez, R. J., C. A. Sánchez O. y G. R. Vera A. 1987. Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinias crinuda *Opisthonema libertate*, y monterey, *Sardinops sagax*, en Bahía Magdalena, B. C. S. Tesis profesional. Univ. Autón. Baja Cal. Sur. 217 pp.
- Sanvicente, A. L., C. Flores-Coto. y L. Sánchez-Velasco. 1998. Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of México. *Bull. Mar. Sci.* 62: 17-30.
- Schwing B. F., T. L. Hayward, K.M. Sakuma, T. Murphree, A. S. Mascarenas Jr., S. I. L. Castillo, A. W. Mantyla, S. L. Cummings., F. P. Chávez., K. Baltz. y D. G. Ainley. 1997. The state of California current, 1996-1997: Mixed signals from the tropics. *Calif.Coop. Ocean. Fish. Invest.* 38: 22-47.
- Schwing, B. F., T. Murphree, L. de Witt, y Ph. M. Green. 2002. The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995-2001. *Prog. Oceanogr.* 54: 459-491.
- Sokal, R. R. 1979. Testing statistical significance of geographic variation patterns. *Systematic Zoology* 28: 627-632.
- Smith, P. E. y S. L. Richardson. 1977. Standard techniques for pelagic fish and larvae surveys. *FAO Technical Paper* 175. 99 pp.
- Sverdrup, H. V, M. W. Johnson, y R. H. Fleming. 1942. The oceans; their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N. J. 1087 pp.
- Ter Braak, C. J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.

- Torres-Villegas, J. R., C. G. García-Melgar, R. I. Ochoa-Báez, y V. A. Levy-Perez. 1985. Parámetros reproductivos de las poblaciones de *Opisthonema libertate* (Gunter) (Pisces; Clupeidae) y discusión sobre su evaluación por producción de huevos, en Bahía Magdalena. Invest. Mar. CICIMAR. 2 (2): 23-44
- Turner, T. J. 1984. The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. NOAA Tech. Rep. NMFS 7. 28 pp.
- Vera A., R. 1993. El desove de las sardinas crinuda y monterrey en Bahía Magdalena: un análisis a corta escala de tiempo. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN., México. 118 pp.
- Yañez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez y H. Alvarez-Guillen. 1985. Fish community ecology and dynamic in estuarine inlets. En: A. Yañez-Arancibia (Ed.) Fish Community Ecology in estuaries an Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration. 7: 127-168.
- Walker, Jr. H. J., W. Watson. y A.M. Barnett. 1987. Seasonal occurrence of larval fishes in the nearshore southern California bight off San Onofre, California. Estuar. Coast. Shelf. Sci. 25: 91-109.
- Whitehead, P. J. P. y R. Rodríguez S. 1995. Engraulidae: Anchoas, anchovetas. En: Fisher, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem, (Eds.) 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro Oriental. FAO Rome: 1067-1087.
- Zaytsev O., R. Cervantes-Duarte., O. Motante y A. Gallegos-García. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. Journal Oceanography 59: 489-502.