



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



# HÁBITATS DE LARVAS DE PECES EN UN DIPOLO DE MESOESCALA EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA (JULIO 2010)

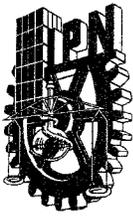
TESIS

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

PRESENTA

ETHEL ALEJANDRA APANGO FIGUEROA

LA PAZ, B. C. S., DICIEMBRE DE 2013



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 05 del mes de Noviembre del 2013 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 titulada:

**"HÁBITAT DE LARVAS DE PECES EN UN DIPOLO DE MESOESCALA  
EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA ( JULIO 2010 )"**

Presentada por el alumno:

**APANGO**

Apellido paterno

**FIGUEROA**

materno

**ETHEL ALEJANDRA**

nombre(s)

Con registro: 

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|

Aspirante de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

**DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO**  
Directora de Tesis

**DR. MIGUEL FERNANDO LAVÍN PEREGRINA**  
2º. Director de Tesis

**DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ**

**DRA. SYLVIA PATRICIA ADELHEID JIMÉNEZ ROSENBERG**

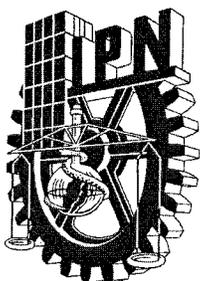
**MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO**

**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

**DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ**



**IPN  
CICIMAR  
DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes Noviembre del año 2013  
el (la) que suscribe BIÓL. ETHEL ALEJANDRA APANGO FIGUEROA alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro A120339 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO Y DR. MIGUEL FERNANDO LAVÍN PEREGRINA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"HÁBITAT DE LARVAS DE PECES EN UN DIPOLO DE MESOESCALA

EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA (JULIO 2010)"

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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: ethelapango@gmail.com - lsvelasc@gmail.com - mlavin@cicese.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. ETHEL ALEJANDRA APANGO FIGUEROA

*nombre y firma*

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Agradezco al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas y al Instituto Politécnico Nacional por contribuir y formar parte de mi formación académica, moral e intelectualmente.

Al proyecto SEP-CONACyT 0105922 “*Asociaciones de larvas de peces, hábitat trófico y su relación con la estructura física en giros del Golfo de California*” (Dra. Laura Sánchez Velasco-CICIMAR).

AL proyecto individual 20120343 “*Monitoreo de zooplancton, con énfasis en larvas de peces, e hidrografía en el alto Golfo de California y giros oceánicos adyacentes*” (Dra. Laura Sánchez Velasco-CICIMAR).

Al proyecto multidisciplinario 20130252 “*Oceanografía y larvas de peces como indicadores del sistema pelágico del Golfo de California*” (Dra. Laura Sánchez Velasco-CICIMAR).

A la Dra. Laura Sánchez Velasco por todo el tiempo, apoyo, paciencia dedicación y amistad que me brindo desde el inicio de este trabajo al haberme permitido la realización de una estancia de investigación en el laboratorio que ella dirige, la cual dio comienzo a todo este gran trabajo.

Al Dr. Miguel F. Lavín Peregrina, por su amistad, orientación, observaciones y correcciones hechas en la redacción y presentación de este trabajo.

Al Dr. Emilio Beier por el apoyo, atención y observaciones realizadas durante la culminación de este documento.

Al Dr. Víctor M. Godínez del laboratorio de Circulación y Dispersión Costera (CIRCOS) del Departamento de Oceanografía Física, CICESE; por su apoyo y aportaciones hechas al presente estudio.

A la Dra. S. Patricia Jiménez Rosenberg (CICIMAR) por su apoyo brindado en la determinación de las larvas de peces.

A los miembros del comité revisor: Dra. S. Patricia Jiménez Rosenberg, MC. Gustavo de la Cruz, Dr. Jaime Gómez Gutiérrez y al Dr. Bernardo Shirasago Germán por sus aportaciones y cometarios hechos en el presente trabajo.

A la tripulación del Buque Oceanográfico Francisco de Ulloa.

A mis compañeros y amigos del grupo de trabajo y de la maestría Erick, Arturo, Susan, Amaru, Francisco, Mónica, y Adalberto que compartieron conocimientos y aportaciones durante la realización de este estudio.

A mis queridos amigos de la maestría Marina Irigoyen y Jorge Medina, por su amistad, tiempo compartido y por todo su apoyo.

## **DEDICATORIA**

---

Esta tesis se la dedico con todo mi amor, cariño y respeto a mi madre la Lic. Ma. Eugenia Figueroa Santana, por todo el apoyo que me ha brindado a pesar de la distancia y por confiar en mí. A Dios que me ha permitido llegar hasta este punto y me ha regalado una familia maravillosa.

A mi hija Sofía Alejandra quien pone mi mundo de cabeza y con solo una sonrisa basta para robarme el alma y es mi motor para seguir luchando en este largo andar del camino llamado vida y así superarme día a día para ser un buen ejemplo para ella.

A mi esposo Fernando Contreras por apoyarme en todo momento y compartir mis alegrías, mis penas y mis corajes durante este caminar.

A mi abuelita la Mtra. Dolores Santana que se nos adelantó en el camino y aun así, sigue estando presente en cada instante.

A todas mis tías: Lola, Bety, Lety, Marina, Lulis y a mi tío Chuy, a mi prima Faby que es mi ejemplo de hermana mayor, a mis enanas, Itzel, Aranza y Andy porque llenan mi vida de momentos inolvidables.

A mi hermano Daniel Isaac porque me ha enseñado que aunque la vida te golpee lo bastante fuerte para hacerte creer que no hay luz al final del camino, siempre hay que trabajar con esmero, paciencia, dedicación y sacrificio para alcanzar las metas que uno quiera y llegar tan lejos como uno decida, porque todo en esta vida se puede lograr, porque está en el estado mental.

A mis mejores amigas Adriana Castillo y Bibiana Larios porque nunca bajan la guardia y están al pendiente de mí, sin importar la distancia.

***La disciplina es el arte mas importante del éxito.***

---

---

## ÍNDICE

---

---

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Relación de figuras.</b> -----   | I    |
| <b>Relación de tablas.</b> -----  | III  |
| <b>Resumen.</b> -----   | IV   |
| <b>Abstract.</b> -----  | V    |
| <b>I. Introducción.</b> -----   | 1    |
| <b>II. Antecedentes.</b> -----  | 4    |
| II.I Efectos de estructuras hidrográficas de mesoescala (remolinos, frentes) sobre larvas de peces. ----- | 4    |
| II.II Estudios pioneros sobre detección de dipolos. -----   | 6    |
| <b>III. Hipótesis.</b> -----  | 8    |
| <b>IV. Objetivo general.</b> -----  | 9    |
| IV.I Objetivos particulares. -----  | 9    |
| <b>V. Área de estudio.</b> -----  | 10   |
| <b>VI. Materiales y Métodos.</b> -----  | 13   |
| VI.I Trabajo de campo. -----  | 13   |
| VI.II Trabajo de laboratorio. -----   | 14   |
| VI.III Análisis de datos. -----   | 14   |
| VI.III.I Hidrografía. -----   | 14   |
| VI.III.II Imágenes de satélite. -----   | 15   |
| VI.III.III Masas de agua-----   | 15   |
| VI.IV Análisis de datos biológicos.-----  | 15   |
| <b>VII. Resultados.</b> -----   | 20   |
| VII.I Imágenes de satélite-----   | 20   |

|   |           |
|---|-----------|
| VII.I.I. Velocidades geostróficas. -----                              | 22        |
| VII.II Distribución vertical de los parámetros <i>in situ</i> . ----- | 24        |
| VII.II.I Distribución vertical de la biomasa del zooplancton. -----   | 26        |
| VIII Larvas de peces. -----   | 28        |
| VIII.I Composición y distribución de larvas de peces. -----           | 28        |
| VIII.II Hábitat de larvas de peces. -----                             | 28        |
| IX Relaciones observacionales físico-biológicas. -----                | 28        |
| IX.I Análisis Canónico de Correspondencias.-----                      | 40        |
| IX.II Masas de agua y su relación con los hábitats larvarios.-----    | 42        |
| <b>VIII. Discusión.</b> -----   | <b>44</b> |
| <b>IX. Conclusión.</b> -----  | <b>48</b> |
| <b>Literatura citada.</b> -----                                       | <b>49</b> |
| <b>Anexos.</b> -----  | <b>59</b> |

---

## RELACIÓN DE FIGURAS

---

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Diagrama de las características generales de un dipolo. Tomado de Ginzburg y Fedorov (1984) -----   | 2    |
| <b>Figura 2.</b> Localización del área de estudio y red de estaciones de muestreo sobre una imagen satelital de pigmentos de clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> ) superficial (AQUA-MODIS) del 12 de Julio de 2010. Las estaciones <i>situ</i> se realizaron del 13 al 17 de Julio de 2010. -----   | 11   |
| <b>Figura 3.</b> Gráfico de la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1969) modificada por García de León (1988) y adaptada a larvas de peces por Sánchez-Velasco <i>et al.</i> (1994). Se presenta la caracterización de las especies de acuerdo a los valores abundancia y frecuencia relativa. -----  | 18   |
| <b>Figura 4.</b> Historia de vida del dipolo, antes de la realización del crucero (a y b) durante el crucero (c y d) y después del mismo (e y f), según imágenes satelitales. Representada mediante temperatura superficial del mar (°C) y concentración de pigmentos de clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> ); promedio de cuatro días, ambas procedentes del satélite Aqua-MODIS.----- | 21   |
| <b>Figura 5.</b> Velocidades geostróficas (cm/s) (referidas a 1000 m.) obtenidas en el transecto vertical “línea K” paralelo al eje del Golfo de California.-----  | 23   |
| <b>Figura 6.</b> Velocidades geostróficas (cm/s) (referenciadas a 1000 m.) obtenidas en el transecto vertical “línea H” perpendicular al Golfo de California.-----   | 23   |
| <b>Figura 7.</b> Distribución vertical de temperatura [°C] a lo largo de los transectos K a) y H b). -----   | 25   |
| <b>Figura 8.</b> Distribución vertical del oxígeno disuelto [mL/L] a lo largo de los transectos K a) y H b). -----   | 25   |
| <b>Figura 9.</b> Distribución vertical de la salinidad [ups] a lo largo de los transectos K a) y H a). -----   | 25   |
| <b>Figura 10.</b> Distribución vertical de clorofila <i>a</i> [mg/m <sup>3</sup> ] a lo largo de los transectos K a) y H b). -----   | 26   |
| <b>Figura 11.</b> Distribución vertical de la biomasa del zooplancton [mL/1000m <sup>3</sup> ] a) línea K y b) línea H. -----  | 27   |
| <b>Figura 12.</b> Dendrograma generado por el Índice de similitud de Bray-Curtis y el método de ligamiento flexible a partir de muestras obtenidas durante Julio de 2010 en el Sur del Golfo de California. -----  | 29   |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 13.</b> Distribución y abundancia de larvas (larvas/10m <sup>2</sup> ) de peces del “hábitat superficial” sobre datos de temperatura (°C) (en color) con isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y sobre velocidades geostróficas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H.-----  | 30 |
| <b>Figura 14.</b> Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m <sup>2</sup> ) sobre datos de temperatura (°C) (en color) con isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) a) <i>Vinciguerria lucetia</i> b) <i>Auxis</i> sp. y c) <i>Benthosema panamense</i> en el transecto K. -----   | 33 |
| <b>Figura 15.</b> Distribución y abundancia en la vertical larvas (larvas/10m <sup>2</sup> ) del “hábitat convergencia” sobre temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y sobre velocidades geostróficas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H.-----   | 34 |
| <b>Figura 16.</b> Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m <sup>2</sup> ) sobre la temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) a) <i>Diogenichthys laternatus</i> b) <i>Hygophum atratum</i> y c) <i>Bregmaceros</i> sp. en el transecto K.-----  | 36 |
| <b>Figura 17.</b> Distribución y abundancia en la vertical de larvas (larvas/10m <sup>2</sup> ) del “hábitat margen” sobre temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y sobre velocidades geostróficas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H.-----  | 37 |
| <b>Figura 18.</b> Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m <sup>2</sup> ) sobre la temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) a) <i>Batilagoides wesethi</i> y b) <i>Psenes sio</i> en el transecto K. -----   | 39 |
| <b>Figura 19.</b> Diagrama del Análisis Canónico de Correspondencia representando la distribución de los hábitat de larvas de peces (estrato-estación) definidos por el índice de disimilitud de Bray-Curtis. Temperatura (°C); Oxígeno disuelto (mL L <sup>-1</sup> ); Clorofila a (mg/m <sup>-3</sup> ); Salinidad (S) y Biomasa del zooplancton (mL/1000m <sup>3</sup> ).----- | 41 |
| <b>Figura 20.</b> Diagrama (T-S) y hábitat de larvas de peces: “hábitat superficial” ■ “hábitat convergencia” ● y “hábitat margen” ▲ AST: Agua Superficial Tropical, ACC: Agua de la Corriente de California, AIP: Agua Intermedia del Pacífico y AStSs: Agua Subtropical Subsuperficial.-----  | 43 |

---

## RELACIÓN DE TABLAS

---

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación de las masas de agua del Golfo de California tomado Lavín <i>et al.</i> [2009]. -----  | 12   |
| <b>Tabla 2.</b> Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat superficial”. Hábitat del adulto. D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical. -----  | 32   |
| <b>Tabla 3.</b> Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat convergencia”. Hábitat del adulto. D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical. ----- | 35   |
| <b>Tabla 4.</b> Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat margen”. Hábitat del adulto. D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical. -----       | 38   |

## GLOSARIO

**Abundancia:** Número de individuos por unidad de área, distancia o tiempo durante el esfuerzo de observación de recolecta. En esta tesis la abundancia se representa como larvas/10m<sup>2</sup>.

**Anticiclónico:** Se usa para definir el sentido de rotación de fenómenos oceánicos y atmosféricos contrario a la dirección de giro de los ciclones y al de la Tierra, en el mismo sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.

**Batipelágico:** Se denomina batial o zona batipelágica (del griego bath (y)-(bathys) *profundo* + pelag-*alta mar* +ik-os cuyo significado es “profundidades de alta mar”) a uno de los niveles en lo que está dividido el océano según su profundidad. En oceanografía, batial identifica las aguas y fondos marinos situados entre los 1000 y 4000 metros de profundidad.

**Biomasa:** Cantidad de materia orgánica que forma parte de los organismos. Se expresa en unidades de volumen, de peso fresco o seco o en unidades de energía. En esta tesis la biomasa se presenta como mL /1000m<sup>3</sup>.

**Capa de mezcla:** Capa superficial de la masa de agua homogeneizada debido a procesos de turbulencia (p. e. viento).

**Ciclónico:** Es el sentido de giro de un fluido igual al de los ciclones y de la tierra; en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el mismo sentido en el hemisferio sur.

**Clorofila:** Molécula con un anillo de porfirina y un núcleo formado por un átomo de magnesio. Su función en el proceso fotosintético es la absorción de la energía luminosa en banda de los azules.

**Convergencia:** Fenómeno que se presenta cuando aguas de diferente origen tiene una componente de su flujo que se unen en una línea o en un área, la cual es llamada línea o zona de convergencia.

**Correlación:** En estadística y probabilidad, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variable aleatorias; se considera que dos variables cuantitativas están correlacionas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores de la otra. La correlación entre dos variables no implica, por si misma, ninguna relación de casualidad.

**C.T.D.:** (Conductivity, Temperature and Depth). Instrumento oceanográfico para obtener un perfil de temperatura y la conductividad con la profundidad. Con estos datos se puede generar las características T-S (Temperatura-Salinidad) de la columna de agua. Ese instrumento se puede bajar al agua desde un barco con un cable cuyo núcleo contenga conectores eléctricos por lo tanto recibir, observar y almacenar los datos en tiempo real.

**Demersal:** Se refiere a organismos relacionados con el fondo oceánico pero que no viven directamente sobre él.

**Dendrograma:** Diagrama representativo resultado de una clasificación jerárquica, con expresión numérica del grado de similitud entre unidades.

**Diagrama T-S:** Gráfica con datos de temperatura versus salinidad colectados en forma simultánea en cada nivel de una estación oceanográfica. Estos diagramas son muy útiles: permiten identificar las masas de agua, hacer estimaciones de la mezcla relativa entre ellas, relacionar la curva T-S y la salinidad.

**Diversidad:** Número de especies de una comunidad o muestra; riqueza de especies o medida del número de especies y su abundancia relativa en la comunidad.

**Dipolo:** Estructura de mesoescala que tiene forma de hongo o martillo y está formada por dos remolinos uno ciclónico y otro anticiclónico y puede ser simétrica o asimétrica.

**Dominancia:** Medida de la desproporción en la distribución de los individuos o biomasa, entre los taxa de una asociación o comunidad.

**Epipelágico** Se refiere a los organismos que viven en la columna de agua entre la superficie y los 200 m de profundidad, en el océano abierto.

**Geostrofia:** Método para analizar las corrientes en una zona que consiste en asumir que existe un balance entre la fuerza de Coriolis y el gradiente horizontal de presión.

**Hábitat:** Habitat proviene del latín *habitus*, de *habitare* que en español significa “vivir”, se define como cualquier parte en la tierra, donde las especies pueden vivir, sin importar su temporalidad y permanencia, compartiendo características físico-biológicas.

**Larva:** Estadio que precede a la eclosión del huevo; es diferente en forma y pigmentación al juvenil y al adulto, y debe de sufrir una etapa de transformación antes de asumir las características del adulto.

**Masa de agua:** Un gran volumen de agua usualmente identificado por rangos de temperatura y salinidad que permiten distinguirlo de las masas de agua circundantes. Su formación ocurre en contacto con la atmósfera y por la mezcla de dos o más tipos de agua.

**Mesosescala:** Se refiere a la dirección y extensión geográfica de fenómenos marinos, la cual va de decenas hasta cientos de kilómetros.

**Mesopelágico:** Se refiere a los organismos que viven en la columna de agua en la zona entre los 200 m y los 1000 m de profundidad en el océano.

**Oxígeno disuelto:** Es la cantidad de oxígeno presente en el agua.

**Pelágico:** Se refiere a los organismos que viven en la columna de agua independiente del fondo oceánico

**Plancton:** Organismos que no pueden desplazarse en contra de las corrientes “viven a la deriva”.

**Salinidad:** Es la medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de mar. Las unidades por mucho tiempo usadas eran partes por mil (ppm). Actualmente se calcula indirectamente midiendo la conductividad eléctrica y comparándola con la de una muestra estándar. Las nuevas unidades, numéricamente iguales que las anteriores se denominan unidades prácticas de salinidad (ups).

**Taxón:** Cualquier unidad taxonómica definible, por ejemplo la subespecie, la especie, el género, la familia Plural: Taxa

**Termoclina:** Capa que presenta un cambio abrupto de temperatura con la profundidad. En los océanos se pueden encontrar termoclinas temporales, la cual es una variación estacional y termoclinas permanentes (estratificación).

**Transecto:** Diseño de muestreo en el que las observaciones se realizan a intervalos a lo largo de una línea.

**Variable ambiental:** Descriptor físico, químico, geológico y/o biológico que permite identificar una característica del ambiente.

**Zona de hipoxia:** Es una zona o área en que se registran concentraciones de oxígeno por debajo a 1 mL/ L.

## HÁBITAT DE LARVAS DE PECES EN UN DIPOLO DE MESOESCALA EN EL SUR DEL GOFO DE CALIFORNIA (JULIO 2010)

En el Golfo de California se presentan estructuras de mesoescala tales como remolinos, frentes, y dipolos las cuales pueden afectar la distribución de las larvas de peces. El objetivo del presente trabajo es conocer el hábitat de larvas de peces en relación a un dipolo detectado mediante imágenes de satélite en el sur del Golfo de California durante Julio de 2010, ya que hasta el momento no existe ningún trabajo que describa el impacto biológico de estas estructuras. Se realizó un crucero oceanográfico del 7 al 17 de Julio de 2010, durante el cual se obtuvieron datos de CTD y se hicieron arrastres de zooplancton mediante una red multinivel de cierre-apertura-cierre con boca de 60 cm de diámetro y ancho de malla de 505  $\mu\text{m}$ . Los arrastres de zooplancton se realizaron en 6 estratos de profundidad: 0-15, 15-30, 30-45, 50-100, 100-150 y 150- 200. A partir de 114 muestras se obtuvo un total de 6,173 larvas de peces, las cuales fueron identificadas en 51 familias y 117 taxones. El índice de Bray-Curtis definió claramente tres hábitat de larvas de peces asociados al dipolo. Un hábitat superficial ubicado básicamente en los primeros 20 m de profundidad que estuvo dominado por *Vinciguerria lucetia* (80 % de abundancia) y la presencia casi exclusiva de *Auxis* sp. (3.8 %). Un segundo hábitat definido debajo de la termoclina en el centro del dipolo, que llamaremos de convergencia, dominado por *Diogenichthys laternatus* (70 %). Un tercer hábitat definido en la zona marginal del dipolo y por debajo de la termoclina dominado por *Bathylagooides wesethi* (1.99 %) y *Bregmaceros bathymaster* (1.29 %). Un análisis de correspondencias canónicas corroboró la posible existencia de los tres hábitats y sus correlaciones con el ambiente, donde el hábitat superficial se correlacionó con la temperatura, el oxígeno disuelto, la biomasa del zooplancton y la clorofila y los hábitats de convergencia y marginal se correlacionaron con la salinidad. Los resultados muestran que la hidrografía y la dinámica del dipolo definen hábitat larvarios, indicados por la respuesta diferencial de las especies epipelágicas en la superficie y por los gradientes de distribución de especies mesopelágicas a lo largo de la columna de agua.

## LARVAL FISH HABITATS IN A MUSHROOM-LIKE STRUCTURE IN THE SOUTHERN GULF OF CALIFORNIA (July 2010)

The Gulf of California presents mesoscale hydrographic structures such as eddies, fronts and dipoles which can affect the distribution of fish larvae. The aim of this study is to know the relationships between the larval fish habitat and a dipole detected by satellite images in the southern Gulf of California during summer (July 2010). The CTD data and zooplankton samples were collected during an oceanographic cruise on board the B/O Francisco de Ulloa. The zooplankton hauls were made with opening-closing nets with a 60 cm mouth diameter and 505  $\mu\text{m}$  of mesh size. The stratified zooplankton hauls comprised 6 strata (0-15, 15-30, 30-45, 50-100, 100-150 and 150-200 m depth). From 114 samples, there was a total of 6,173 fish larvae, included in 117 taxa and 51 families were identified. The Bray-Curtis index clearly defined three larval fish habitats associated with the mushroom-like structure. A surface habitat located in the surface mixed layer of the dipole, this one was characterized by the abundance of *V. lucetia* (80%) and the almost exclusive presence of *Auxis* sp. with a contribution to 3.8 % for the formation of the habitat. A second habitat was defined under the thermocline in the dipole centre or convergence zone of the dipole dominated for *D. laternatus* that contributed with more than 70 % to the formation the habitat. A third habitat was defined in the marginal zone of the dipole and below the thermocline, and it was represented by *B. wesethi* and *B. bathymaster* which contributed to its formation with 1.99 % and 1.29 %, respectively. The ACC confirmed the definition of the three habitats and their correlations with the environment. The surface habitat was correlated with temperature dissolved oxygen and zooplankton biomass. The convergence and margin habitat were correlated with salinity. The results showed that the hydrography and the dynamics of the dipole defined larval habitats indicating a differential response for epipelagic species at the surface and by gradients of distribution of mesopelagic species throughout the column water.

**Key words:** Hábitat, Fish larvae, Dipole, Mesoscale, Southern Gulf of California.

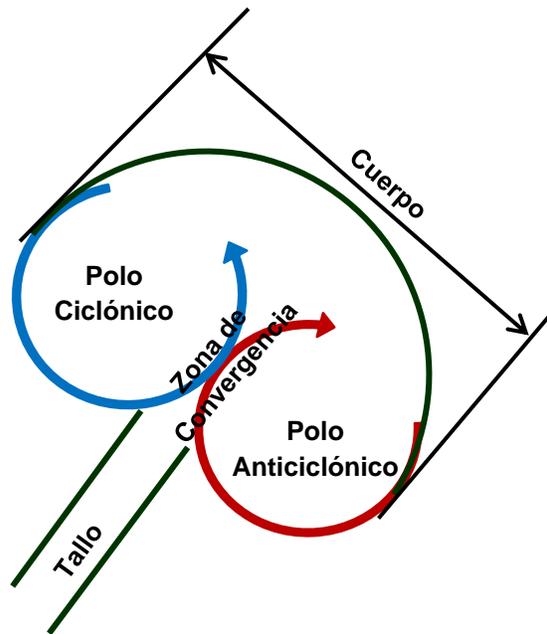
## I. INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios sugieren que la interacción de procesos físico-biológicos a diferentes escalas espacio-temporales afectan el desove de los peces y la supervivencia de sus larvas (Lobel y Robinson, 1986; Piontkovski *et al.*, 1995; Hare *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2004; Sabatés *et al.*, 2007; Sánchez-Velasco *et al.*, 2013).

Las estructuras hidrográficas de mesoescala como frentes y remolinos son unas de las principales promotoras de productividad en el océano (Vaillancourt *et al.*, 2003), las cuales afectan la distribución horizontal y vertical de huevos y larvas de peces y otros grupos del zooplancton (Lasker, 1981; Parrish, 1999; Bakun, 2006). Los gradientes ambientales que se presentan en estas estructuras pueden generar límites hidrográficos y hábitats de larvas de peces contiguos, manteniendo la integridad de las poblaciones hasta que los organismos puedan contrarrestar dichos gradientes ambientales y su circulación asociada (Danell-Jiménez, *et al.*, 2009; Harrison, *et al.*, 2013). Entendiéndose en esta tesis, que un hábitat de larvas de peces, es un área física dentro de una estructura hidrográfica de mesoescala, donde se atrapan o concentran huevos y larvas durante el tiempo de vida de la estructura y/o del tiempo de vida planctónica de la especie. Esto independientemente de si se trata de una sola especie como ocupante de varios hábitats, o de un conjunto de varias especies en cada uno de ellos.

Estructuras más complejas que los frentes y remolinos, son los denominados dipolos los cuales están formados por un cuerpo (C) que tiene dos remolinos o polos encontrados en sentido inverso (ciclónico y anticiclónico) y una zona de convergencia (ZC) donde se encuentran ambos remolinos (Fig. 1) (Ginzburg y Fedorov, 1984a,b). Este tipo de estructura física ha sido detectada mediante imágenes de satélite en diversos mares del mundo (Vastano y Bernstein 1984; Fedorov y Ginzburg 1986; Ginzburg y Fedorov 1984c; Ruijter *et al.*, 2004), sin embargo no existen descripciones de las interacciones físico-biológicas que ocurren en los dipolos. Esto probablemente debido a que la investigación oceanográfica tiene elevados costos de operación y se desarrolló paralelamente al avance en la tecnología satelital, a partir

de los años 80s. Las primeras descripciones de los dipolos fueron realizadas mediante modelos numéricos por autores como Ginzburg (1992) y Ginzburg y Fedorov (1984a). Ellos describen la estructura física del dipolo y mencionan los posibles mecanismos de formación, los cuales sintetizan de la siguiente manera: 1) causados por la interacción de la circulación costera y condiciones de vientos locales (dirección, velocidad, dirección), 2) generados por descargas de ríos y 3) relacionados a las inestabilidades de frentes y corrientes.



**Figura 1.** Diagrama de las características generales de un dipolo. Tomado de Ginzburg y Fedorov 1984.

El Golfo de California es un mar marginal y cuenca de evaporación del Océano Pacífico (Roden, 1958), el cual se caracteriza por una alta productividad biológica y por tener una gran diversidad y abundancia de especies de peces de importancia comercial y ecológica (Sánchez-Velasco *et al*, 2004). En particular, el Sur del Golfo de California es una región donde confluye la biota del Pacífico Oriental Tropical, la región de la Corriente de California y la del Golfo de California, lo cual genera una convergencia de especies de diferentes afinidades y hábitos (Moser *et*

*al.*, 1974; Sánchez-Velasco *et al.*, 2006). En este contexto el estudio de las larvas de peces es un buen indicador de la confluencia de faunas en el medio pelágico.

En el sur del Golfo de California han sido observados numerosos remolinos ciclónicos, anticiclónicos y frentes mediante imágenes de satélite (Emilsson y Alatorre 1997; Hamman *et al.*, 1988; Pegau *et al.*, 2002; Zamudio *et al.*, 2008; Lavín *et al.*, 2009) y mediante observaciones *in situ* (Sánchez-Velasco *et al.*, 2006; Inda-Díaz *et al.*, 2010; Contreras-Catala *et al.*, 2012). Aunque no se ha reportado la presencia de dipolos, es posible que su formación y presencia en la región sea frecuente, ya que como se mencionó anteriormente, la actividad mesoescalar en la región es intensa.

La presencia de remolinos encontrados (ciclónico y anticiclónico) y áreas de máxima energía en la zona de convergencia dentro de un dipolo, permite suponer que su presencia tendrá efectos en el ecosistema pelágico, particularmente en los organismos planctónicos como son las larvas de peces. El presente estudio se generó a partir de la oportunidad de realizar un crucero oceanográfico cuando en un monitoreo previo de imágenes de satélite se observó la presencia de un dipolo. Esto permitió que dicho trabajo sea uno de los pioneros en el mundo que analiza el impacto de un dipolo sobre la comunidad de larvas de peces, en este caso en el sur del Golfo de California, siendo una aportación relevante para el entendimiento de las interacciones físico-biológicas del océano.

## II. ANTECEDENTES

### II.I Efectos de estructuras hidrográficas de mesoescala (remolinos, frentes) sobre lavas de peces

Entre los estudios sobre estructuras hidrográficas de mesoescala y larvas de peces a nivel mundial resalta como pionero el de Fiedler (1986), quien muestra que el desove de anchoa *Engraulis mordax* se extiende al océano abierto debido a la incursión de un remolino anticiclónico hacia mar adentro, frente a las costas de Punta Concepción, California. Así mismo; Sánchez-Velasco y Flores-Coto (1994) encontraron que la composición y la distribución de las asociaciones de larvas de peces en la plataforma de Yucatán en un periodo de surgencia están claramente relacionadas con las estrategias de desove de las especies dominantes y la riqueza biológica generada por la surgencia y remolinos asociados a dicha plataforma.

Logerwell y Smith (2001) examinaron remolinos de mesoescala en la Corriente de California y la distribución de las larvas de sardina del pacífico (*Sardinops sagax*) con el propósito de caracterizar e identificar el hábitat; ellos mencionaron que el remolino fuera de la costa generó un hábitat excepcional para la supervivencia de las larvas, ya que presentó incremento de clorofila y una abundancia relativa del zooplancton.

Rodríguez *et al.* (2006) reportaron la distribución vertical de larvas de peces en un área de remolinos sucesivos durante el verano de 1999 en la zona transicional de las islas Canarias-África. Estos autores describieron que tanto las larvas de peces como el mesozooplancton se concentraron en profundidades intermedias independientemente de la posición de la termoclina en los remolinos, sugiriendo que algunas especies no llevan a cabo la migración vertical.

Muhling *et al.* (2007) describieron y compararon las asociaciones de ictioplancton en dos remolinos contiguos (uno ciclónico y otro anticiclónico) en la Corriente de Leeuwin, en Australia. Estos autores encontraron una relación entre los factores ambientales y las asociaciones de las larvas de peces; por un lado expusieron que en el remolino ciclónico se presentó una baja concentración de

clorofila pero la más alta densidad de larvas de peces siendo especies de las familias Myctophidae y Phosichthyidae las más abundantes. Por el contrario en el remolino anticiclónico, se presentó una mayor concentración de clorofila pero con bajas densidades de larvas de peces. Por otro lado; Landaeta *et al.* (2008) describieron el comportamiento de asociaciones ictioplanctónicas del ecosistema de surgencias en Chile central, mencionaron diferencias espaciales en escalas vertical y horizontal, encontrando que las asociaciones larvarias son más notables en julio, cuando hay baja salinidad, que en octubre que presentan surgencias.

Dentro del Golfo de California se pueden mencionar como ejemplo de estudio sobre estructuras hidrográficas de mesoescala y larvas de peces el de Sánchez-Velasco *et al.* (2006) quienes mencionaron que hay una fuerte relación estacional entre las asociaciones de larvas de peces y la circulación geostrofica alrededor de la Bahía de La Paz y en la parte sur del Golfo de California, ya que en octubre la entrada de un remolino proveniente del golfo a la bahía introduce larvas de especies oceánicas. Posteriormente; Danell-Jiménez *et al.* (2009) analizaron el efecto de un frente permanente que tiene gran influencia sobre la distribución vertical de las asociaciones de larvas de peces, encontrando contrastes ambientales entre los dos lados del frente, generando diferentes habitats con comunidades distintas.

Contreras-Catala *et al.* (2012) describieron las relaciones cualitativas entre asociaciones de larvas y un remolino anticiclónico de mesoescala en el Sur del Golfo de California. Los autores encontraron mayor concentración de larvas de peces en la capa de mezcla y en el centro del remolino con respecto a su periferia, excepto en la zona influenciada por surgencias. Posteriormente; Sánchez-Velasco *et al.* (2013) estudiaron un remolino ciclónico profundo en la parte central del Golfo de California, los autores sugieren que debido a su dimensión éste afecta ambas costas del golfo transportando plancton de una costa a otra, principalmente a la profundidad de la termoclina.

Los ejemplos anteriores muestran un avance en el conocimiento sobre relaciones entre estructuras de mesoescala y la información de habitats planctónicos; sin embargo no hay trabajos enfocados a describir o caracterizar la comunidad pelágica asociada a un dipolo de mesoescala.

## II.II Estudios pioneros sobre la detección de dipolos

El análisis de imágenes de satélite en banda visible de la superficie del océano dio las primeras evidencias de la presencia de estructuras denominadas dipolo o corrientes parecidas a hongos, “mushroom-like-currents” en inglés. La detección del primer dipolo mediante imágenes satelitales fue publicada por Horstmann (1983) y retomada por Ginzburg y Federov (1984a, b). Paralelamente Ikeda y Emery *et al.* (1984a, b) describieron estructuras similares que llamaron “dipole eddies”.

Ahlnäs *et al.* (1987) detectaron e hicieron el seguimiento de una serie de múltiples dipolos observados en la corriente de la costa de Alaska cercana a la Isla de Kayak, por medio de imágenes de satélite en el visible e infrarrojo.

Mied *et al.* (1991) realizaron simulaciones numéricas para entender la generación y evolución de los patrones de dipolos, observados mediante imágenes de satélite. El modelo simuló un proceso geostrófico no lineal con un número de Rossby pequeño.

Kloosterziel *et al.* (1993) desarrollaron la propagación de dipolos barotrópicos sobre topografía, mediante experimentos en un tanque rotativo; sugirieron que la radiación de ondas de Rossby juega un papel importante en la interacción de procesos. Mencionaron que la trayectoria de un dipolo dobla hacia la derecha al ascender y a la izquierda al descender, de acuerdo con lo predicho por simulaciones numéricas y los argumentos analíticos.

Afanasyev y Filippov (1996) mencionaron que dipolos inestables en un flujo equilibrado pueden producir ondas de gravedad de acuerdo al modelo inestable de colisiones de vórtices; por lo cual el carácter dinámico en la estructura dipolo localizada en el Mar Negro fue determinado por imágenes infrarrojo (IR) y velocidades geostróficas obtenidas de CTD (Conductivity Temperature and Depth).

Ivanov y Ginzburg (2002) realizaron diferentes observaciones satelitales usando radar de apertura sintética, visible e infrarrojo para detectar diversas estructuras de mesoescala como remolinos, espirales de remolinos, anillos, remolinos asociados a dipolos en el océano para ver cómo se distribuyen.

Ruijter *et al.* (2004) describieron la formación y el impacto a gran escala que pueden tener remolinos y dipolos alrededor del Sur de Madagascar utilizando datos de CTD y de ADCP. Con excepción de este estudio y el de Afanasyev y Filippov (1996), el resto de los estudios hasta el año 2011 fueron solamente realizados por medio de observación de imágenes de satélite así como modelaciones numéricas.

Pállaz-Sanz y Viúdez (2007) realizaron la simulación tridimensional de un dipolo baroclínico de mesoescala usando un modelo numérico no hidrostático. Por otro lado, Viúdez (2008) mencionó que las estructuras como los dipolos, tripolos y tetrapolos son estructuras de mesoescala, lo cual comprobaron mediante una simulación numérica tridimensional de la rotación, la estática y la inercia estable en un paquete de ondas frontales.

Meunier *et al.* (2012) con ayuda de sensores remotos y datos *in situ*, detectaron remolinos (cyclónicos y anticiclónicos) de un dipolo, el cual se formó por un filamento desprendido de una surgencia, en el Noroeste de África.

Los trabajos mencionados han contribuido al conocimiento sobre la estructura dinámica de los dipolos pero sus efectos sobre el zooplancton son desconocidos.

### III. HIPÓTESIS

En base a los estudios realizados sobre el efecto de estructuras hidrográficas de mesoescala como frentes (Danell-Jiménez *et al.*, 2009), surgencias (Landaeta y Castro, 2002) y remolinos (Contreras-Catala, *et al.*, 2012; Sánchez-Velasco, *et al.*, 2013) se asume que en un dipolo la combinación de los gradientes hidrográficos y la circulación generada por dicha estructura, la profundidad de la piconclina y la de la capa de mezcla, definirán límites hidrográficos horizontales y verticales para diversos organismos del plancton.

Intuitivamente se puede suponer que se encontrarán los siguientes hábitat de larvas de peces: Un hábitat en la zona de convergencia del dipolo con altas abundancias larvarias y de biomasa del zooplancton en relación a la registrada en el margen del dipolo, y un hábitat larvario en cada uno de los polos con diferencias en la composición y distribución de las especies.

#### **IV. OBJETIVO GENERAL**

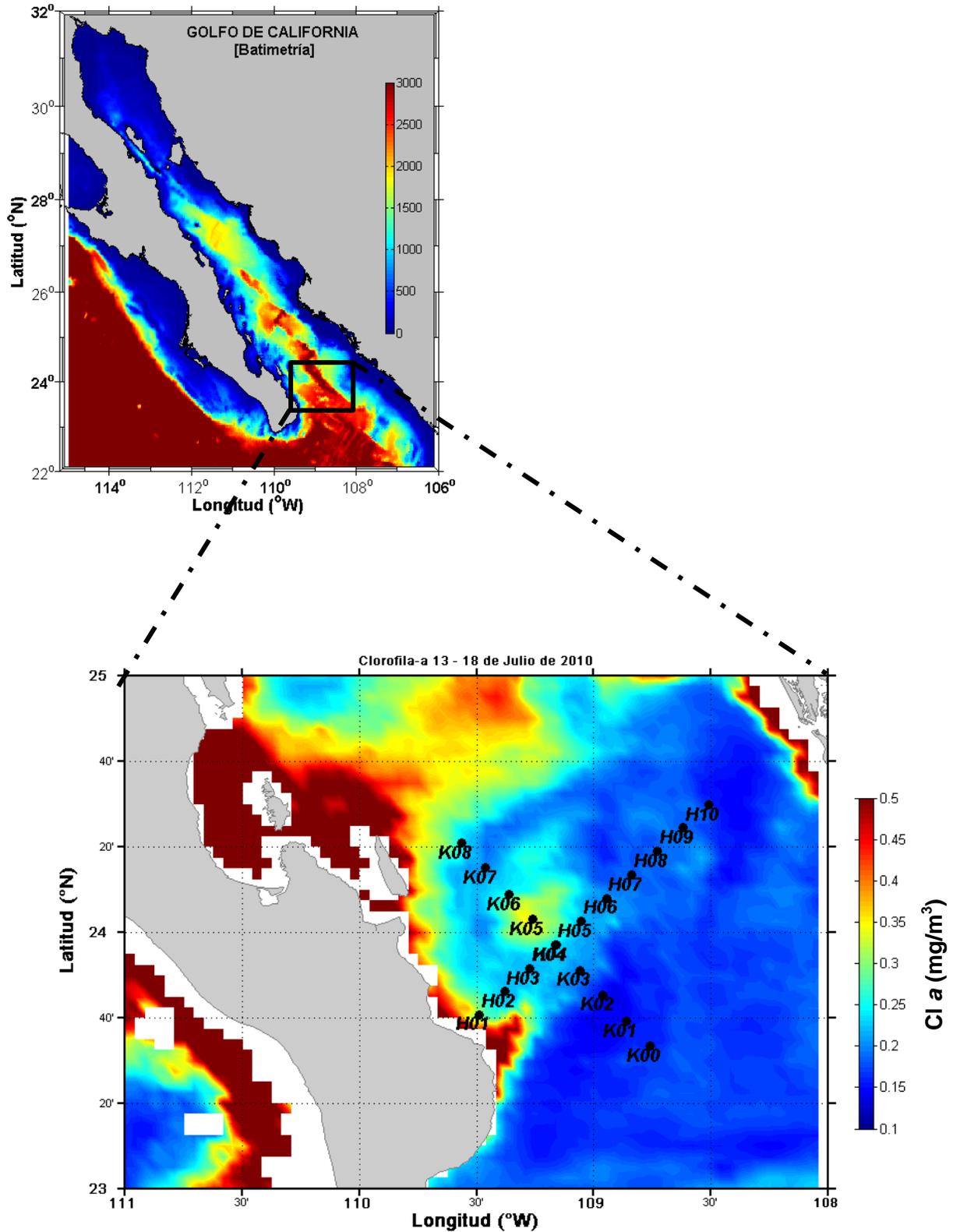
Conocer el hábitat de larvas de peces en relación a la estructura hidrográfica de un dipolo detectado mediante imágenes de satélite en el Sur del Golfo de California durante julio de 2010.

##### **IV.I Objetivos particulares**

1. Conocer la composición de larvas de peces en el área de estudio.
2. Identificar los hábitats con base en la abundancia de larvas de peces y determinar las especies dominantes y su contribución a la formación de éstos.
3. Conocer los gradientes ambientales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y biomasa del zooplancton en el área de estudio.
4. Identificar el efecto del dipolo sobre los hábitats de larvas de peces mediante análisis multivariados y de circulación geostrófica.

## V. AREA DE ESTUDIO

Con base en la fisiografía, el Golfo de California (GC) fue dividido por Lavín y Marinone (2003) en cinco provincias: a) la región de la entrada, la cual está en comunicación con el Océano Pacífico Tropical Oriental, b) el Sur del Golfo de California, que va desde Cabo San Lucas-El Dorado (la boca interna) hasta justo al Sur de las grandes islas; en esta provincia es donde se lleva a cabo el presente estudio (Fig. 2). c) la región del Archipiélago medio (RAM) o la zona de las grandes islas, que tiene canales estrechos en los que se encuentran umbrales cuyas profundidades máximas están entre los 300 y 600 m, d) el Norte del Golfo de California y e) el Alto Golfo de California, el cual presenta profundidades < 30 m. Las propiedades termohalinas de las masas de agua en la colindancia entre la región Sur y la entrada del Golfo se han definido de manera diferente por diversos autores, aquí solo haremos referencia a la clasificación propuesta por Castro *et al.* (2006) y Lavín *et al.* (2009) (Tabla 1). Estos autores mencionan que la estructura termohalina de las capas superiores de la región es muy compleja debido a la confluencia de las aguas superficiales con características disímiles, como es el Agua Superficial Tropical (AST), el Agua de la Corriente de California (ACC) de origen subártico y el Agua del Golfo de California (AGC). En esta misma región hay una presencia continua de remolinos de mesoescala que tienen un importante efecto en la circulación estacional, de acuerdo con las primeras observaciones de remolinos en agosto de 1978 por Emilsson y Alatorre (1997), y posteriormente por observaciones mediante imágenes de satélite y sustentado por modelos numéricos (Beier, 1997; Beier y Ripa, 1999; Marinone *et al.* 2008 y Zamudio *et al.* 2008) los cuales muestran que la interacción de la Corriente Costera Mexicana con circulación hacia el norte con irregularidades de la topografía puede generar remolinos inducidos por inestabilidades baroclínicas. El dipolo se ubicó con sus límites al norte en la Lat. N 24°29.92', Lon. W 109°33.80' y al Sur en la Lat. N 23°40.86' y Lon. W 108°45.57'. La batimetría en esta zona es heterogénea, al NE con ~1000 m de profundidad y al NO con ~1500 m de profundidad; donde se ubica la cuenca de Pescadero con una profundidad ~2000 m (fig. 2).



**Figura 2.** Localización del área de estudio y red de estaciones de muestreo sobre una imagen satelital de pigmentos de clorofila *a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) superficial (AQUA-MODIS) del 12 de julio de 2010. Las estaciones *situ* se realizaron del 13 al 17 de julio de 2010.

**Tabla 1.** Clasificación de las masas de agua del Golfo de California tomado de Lavín *et al.* [2009]

| <b>Masa de Agua</b>                       | <b>Abreviación</b> | <b>S</b>     | <b>T (°C)</b> |
|---|--------------------|--------------|---------------|
| <i>Agua del Golfo de California</i>       | AGC                | 34.9 – 35.35 | 14 – 29.5     |
| <i>Agua Superficial Tropical</i>          | AST                | 34.5 – 34.9  | 18 – 30       |
| <i>Agua de la Corriente de California</i> | ACC                | 34.1 – 34.5  | 16 – 25       |
| <i>Agua Subtropical Subsuperficial</i>    | ASsSt              | 34.5 – 34.9  | 9 – 18        |
| <i>Agua Intermedia del Pacífico</i>       | AIP                | 34.5 – 34.8  | 4 – 9         |
| <i>Agua Profunda del Pacífico</i>         | APP                | 34.5         | < 4           |

## **VI. MATERIALES Y METODOS**

### **VI.I Trabajo de Campo**

Mediante el uso de imágenes de satélite en tiempo casi-real, procesadas en el laboratorio de Circulación Costera (CIRCOS) del Departamento de Oceanografía Física de CICESE, se localizó un dipolo en la región sur del Golfo de California. Para estudiarlo se planteó una red de 19 estaciones oceanográficas, las cuales fueron muestreadas a bordo del B/O Francisco de Ulloa del 13 al 18 de julio de 2010. En el área de estudio las estaciones de muestreo se ubicaron a lo largo de dos transectos en forma de cruz, la línea H ubicada de SO a NE y la línea K de SE a NO (Fig. 2).

Se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia mediante un CTD (Conductivity Temperature and Depth). También se llevó a cabo la medición continua de temperatura y salinidad con un termosalinómetro. Se midieron perfiles de corrientes horizontales mediante un LADCP montado en la roseta del CTD. Asimismo se llevaron a cabo arrastres de zooplancton donde se colectaron muestras con una red multinivel de cierre apertura cierre.

Las muestras de zooplancton se colectaron durante el día y la noche en 6 estratos de profundidad 0-15 m, 15-30 m, 30-45 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-200 m, utilizando una red cónica de 50 cm de diámetro de boca, 250 cm de largo de malla y 505  $\mu\text{m}$  de apertura de malla; los arrastres fueron oblicuos con trayectoria circular navegando a una velocidad de 2.5 nudos. El volumen de agua filtrada se calculó por medio de flujómetros colocados en las bocas de las redes; posteriormente las muestras obtenidas fueron fijadas con una solución de formalina al 4% neutralizada con borato de sodio; después de esto fueron etiquetadas, siguiendo las recomendaciones de Smith y Richardson (1979).

## **VI.II Trabajo de laboratorio**

La biomasa del zooplancton fue estimada mediante la técnica de volumen desplazado descrito por Kramer *et al.* (1972) y Beers (1976). El volumen obtenido se estandarizó a mL/1000m<sup>3</sup> mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa (mL/1000 m}^3\text{)} = \text{volumen de la muestra (mL)} * 1000 / \text{volumen filtrado (m}^3\text{)}$$

Después de la obtención de la biomasa del zooplancton se llevó a cabo la separación y conteo de las larvas de peces del resto del zooplancton de cada una de las muestras obtenidas. Las larvas de peces fueron identificadas utilizando un microscopio Carl ZEISS STEMI 2000-C y con el Atlas CalCOLFI No. 33 (Moser *et al.*, 1996) y literatura especializada para algunos grupos hasta el nivel taxonómico mínimo posible con base a las características merísticas, morfométricas y de pigmentación.

## **VI.III Análisis de datos.**

### **VI.III.I Hidrografía**

Para conocer la estructura hidrográfica del dipolo, se realizaron perfiles verticales y transectos seleccionados con los parámetros hidrográficos de interés (temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia), con apoyo de rutinas en MATLAB desarrollados por el personal del laboratorio CIRCOS-CICESE. Para conocer la circulación del dipolo se calcularon las corrientes geostroficas mediante rutinas desarrolladas en MATLAB (Rutinas no publicadas).

### VI.III.II Imágenes de Satélite

Para tener una visión tanto de la temperatura superficial del mar como de la clorofila en el área de estudio, se hizo uso de imágenes de satélite AquaMODIS/Aqua <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3> de 4 km de resolución para julio de 2010. Estas fueron obtenidas del servidor <ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/MODISA/Mapped/Monthly/4/CHLO>. Las imágenes se procesaron con rutinas de MATLAB 7.0.8 (R2009a).

### VI.III.III Masas de agua

Se realizó un diagrama T-S con los datos de la temperatura (°C) y salinidad (ups) del CTD, los cuales permiten identificar las masas de agua presentes en el área de estudio.

### VI.IV Análisis de datos biológicos

Se creó una matriz de abundancia de los datos conteniendo taxón/estación/estrato de muestreo, y se procedió a la estandarización de la misma en relación al número de larvas con respecto a la superficie marina (m<sup>2</sup>) modificada de Smith y Richardson (1979). Este método se utilizó para tener un valor por unidad de área, mediante la siguiente formula:

$$\frac{\text{No. de larvas}}{10 \text{ m}^2} = \left( \frac{[\text{No. de larvas}][\text{Profundidad maxima de lance}(m)]}{[\text{Volumen de agua filtrado (m}^3\text{)}]} \right) 10$$

Donde el número de larvas se divide entre la profundidad de muestreo, que en este caso a su vez es dividido entre el volumen filtrado y multiplicado por 10. El volumen filtrado se obtiene de:

$$V = a (dr)$$

Donde  $a$  es el área de la boca de la red y  $dr$  la distancia recorrida, siendo esta proporcional al número de revoluciones del flujómetro por el factor de calibración del mismo.

A partir de una matriz de abundancia de larvas de peces por estrato se aplicaron pruebas no paramétricas de rango para muestras independientes conocida como prueba de Kruskal-Wallis (Rohlf y Sokal, 1969; Siegel y Castellan, 1988) para evaluar si había diferencias significativas entre los muestreos realizados durante el día y la noche.

Para la determinación de grupos de estratos y especies que caracterizan a cada hábitat, se realizó una matriz de abundancia de larvas por estrato de muestreo, la cual se transformó a raíz cuarta mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = X_{ij}^{1/4}$$

Donde

$X_{ij}$  = Es el dato de abundancia de la especie  $i$  en la muestra  $j$

$Y_{ij}$  = Corresponde al dato de abundancia transformado para dicha especie en la muestra  $j$ .

Esta transformación se recomienda ampliamente para reducir el peso de las especies más abundantes y homogenizar la varianza (Field *et al.*, 1982).

Tomando en cuenta todos los taxa con un valor  $\geq 0.05$  de abundancia relativa, se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis (1957) el cual no considera las dobles ausencias (Field *et al.*, 1982), y se obtuvo un dendrograma mediante el algoritmo flexible con un  $\alpha = -0.25$ .

La formulación del índice de similitud de Bray Curtis es:

$$\delta_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^S |Y_{ij} - Y_{ik}|}{\sum (Y_{ij} + Y_{ik})}$$

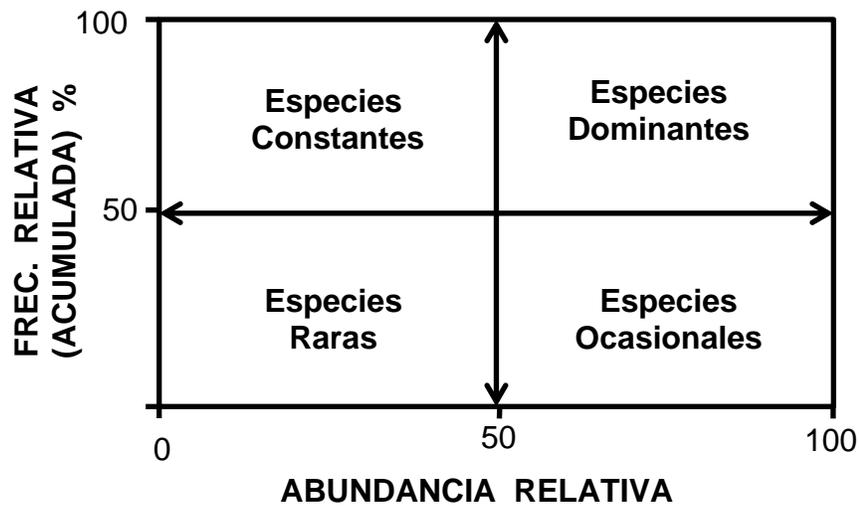
$Y_{ij}$  = Número de la especie  $i$  en la muestra  $j$ .

$Y_{ik}$  = Número de la especie  $i$  en la muestra  $k$ .

$\delta_{jk}$  = La disimilaridad entre las muestras  $j$  y  $k$  sumadas sobre todas las especies. Los rangos de  $\delta_{jk}$  son de 0 (número idéntico para todas las especies) a 1 (sin especies en común) y el complemento de la similitud  $S_{jk}$ :  $S_{jk} = 1 - \delta_{jk}$ .

Una vez definidos los grupos de estaciones afines (hábitats), la ubicación jerárquica de las especies dentro de cada hábitat larvario se definió utilizando la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1985), extrapolada a las comunidades de larvas de peces por Sánchez-Velasco (1994) (Fig. 3).

De acuerdo con ello, las especies dominantes son aquellas cuyos valores tanto de abundancia, como de frecuencia relativa son mayores a la media aritmética. Las especies constantantes son aquellas que su abundancia relativa no rebasa el valor promedio pero si el de su frecuencia relativa de aparición. Las especies ocasionales son las que tuvieron una abundancia relativa mayor al valor promedio de esta variable, pero con valores de aparición inferiores al promedio de la frecuencia relativa. Las especies raras son las que se caracterizan por que sus abundancias y frecuencias relativas de aparición están por debajo de sus respectivas medias aritméticas.



**Figura 3.** Gráfico de la Prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1985) modificada por García de León (1988) y adaptada a larvas de peces por Sánchez-Velasco *et al.* (1994). Se presenta caracterización de las especies de acuerdo a los valores de abundancia y frecuencia relativa.

Se utilizó el programa computacional PRIMER 6.0 para realizar la prueba de ANOSIM (Analysis of similarities), con el fin de corroborar si había diferencias significativas entre los hábitat. Se asume que las distancias deben ser mayores entre los elementos de grupos diferentes que entre los que se encuentran dentro de un mismo grupo (Clarke, 1988; 1993). La fórmula es la siguiente:

$$R = \frac{r_{inter} - r_{intra}}{\frac{1}{4} [N(N - 1)]}$$

Dónde:

$r_{intra}$  = el rango en promedio de todas las similitudes entre muestras de grupos diferentes.

$r_{inter}$  = el rango en promedio de todas las similitudes entre muestras del mismo grupo.

$\frac{1}{4} [N(N - 1)]$  = factor de corrección para el número de combinaciones posibles en el que N es el número total de muestras comparadas.

Se basa en el método de permutaciones en el que se van cambiando las muestras de un grupo a otro de manera aleatoria.

Los rangos para R van de -1.0 a 1.0 y en las comunidades ecológicas raramente se tiene un valor de  $R < 0$ , Si el valor de  $R = 0$  no hay diferencias entre grupos, pero cuando  $R > 0$  los grupos difieren en la composición de la comunidad. Asimismo se llevó a cabo la prueba SIMPER (usando el porcentaje de similitud) para saber cuál fue en porcentaje la contribución de las especies para la formación de cada uno de los hábitats (Clarke y Warwick, 2001) definidos con el índice de Bray-Curtis.

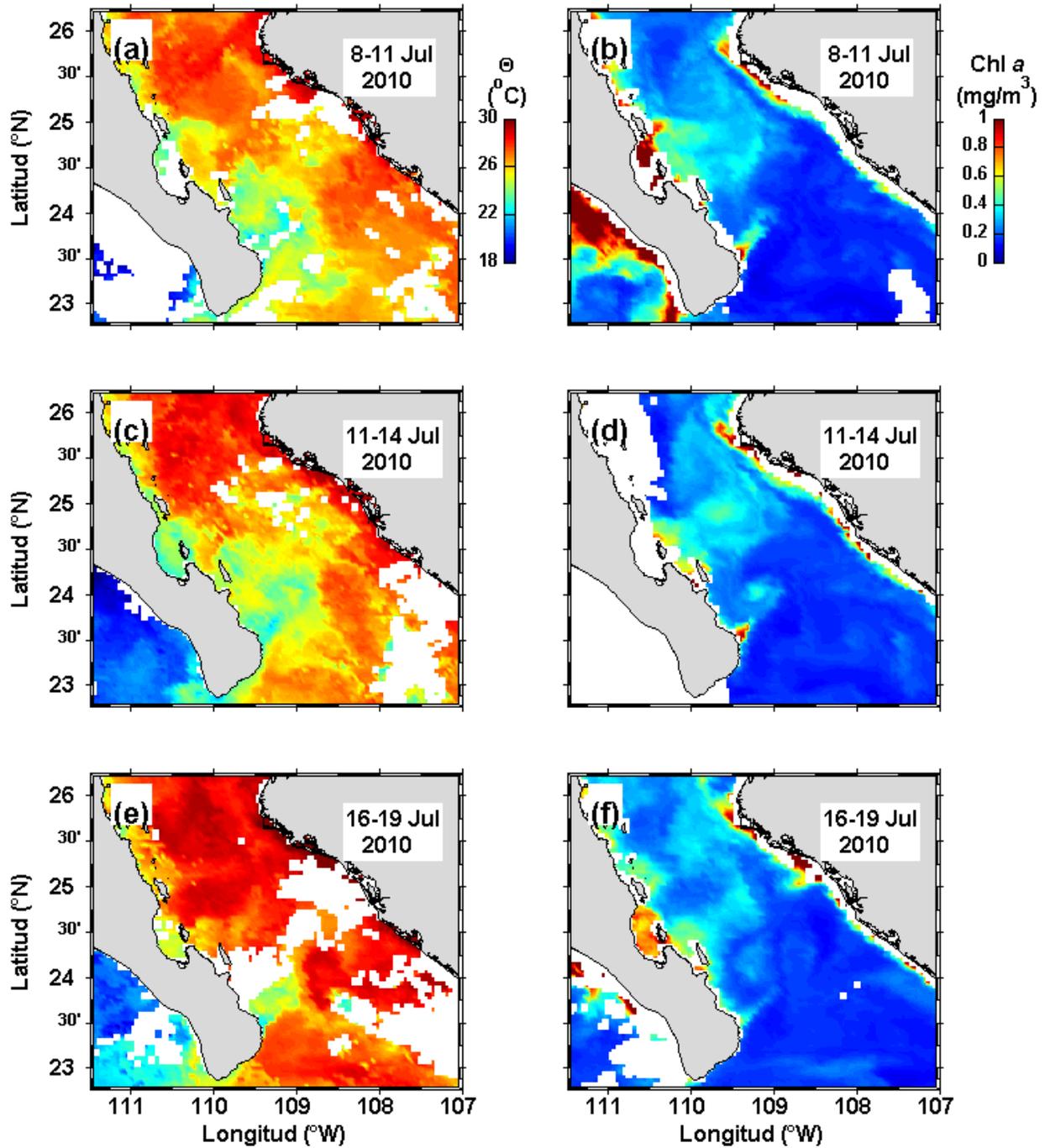
Se aplicó el Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) este es una técnica de ordenación directa y representa además un caso especial de regresión múltiple donde la composición de especies es directamente relacionada con las variables ambientales, en esta tesis se aplicó para conocer la correlación entre los hábitats de larvas encontrados y las variables ambientales del entorno en el momento del estudio. Esto se obtiene mediante el uso de la matriz estandarizada (transformada a raíz cuarta) de abundancia de larvas de peces y con las variables ambientales tomando los promedios por estrato en la columna de agua de: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y biomasa del zooplancton.

Dicho método se basa en un análisis simultáneo que extrae la varianza de dos o más matrices de datos multifactoriales que provee una descripción integrada de las especies por estación de muestreo y las variables ambientales registradas, las cuales responden a la variación de las especies por estación. A estas combinaciones lineales se les llama "ejes ambientales" donde la ordenación del diagrama de las especies por estrato-estación de muestreo son representados por puntos y los parámetros ambientales por vectores; la longitud de dicho vector indica su importancia relativa y el ángulo de separación entre los ejes de ordenación y los vectores indican el sentido y magnitud relativa de la correlación (Braak, 1986).

## **VII RESULTADOS**

### **VII.I Imágenes de satélite**

Con base en una revisión de imágenes de satélite diarias de temperatura y Clorofila *a* (MODIS-Aqua) previas al inicio del crucero se observó una estructura en forma de dipolo que se formó al sur del Golfo de California. El primer indicio de su formación fue el día 8 de julio de 2010 (Figs. 4a y 4b) con la formación de un chorro de agua fría y de alta clorofila, perpendicular a la costa de la península. La estructura dipolar se define por completo el día 11 de julio (Figs. 4c y 4d) y para el día 16 y 19 al final del crucero parece que comenzó a disiparse (Figs. 4e y 4f). Sin embargo se revisaron las imágenes de satélite un mes después y aún seguía presente el polo ciclónico. El remolino ciclónico es más visible que el anticlónico, debido a que el primero contiene alta clorofila y el segundo muy baja. La imagen que mejor muestra los dos remolinos es la de clorofila del 11-14 de Julio 2010 (Fig.4d).



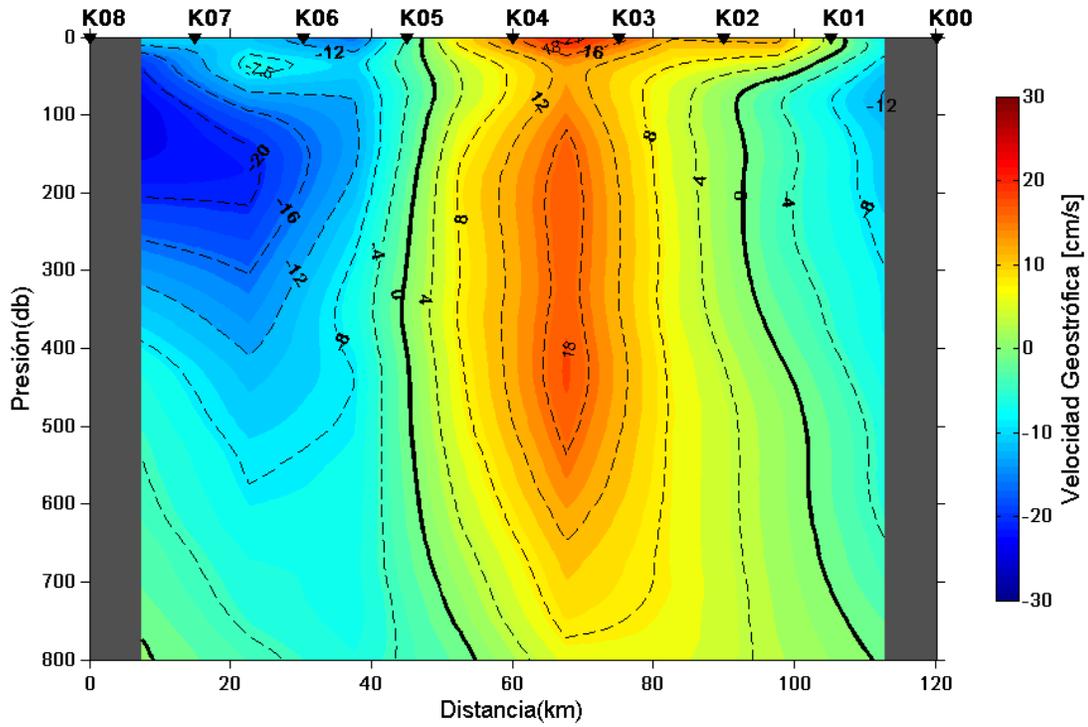
**Figura 4.** Historia de vida del dipolo, antes de la realización del crucero (a y b) durante el crucero (c y d) y después del mismo (e y f) según imágenes satelitales. Representada mediante temperatura superficial del mar (°C) y concentración de pigmentos de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>); promedio de cuatro días, ambas procedente del satélite Aqua-MODIS.

## VII.I.I Velocidades geostróficas

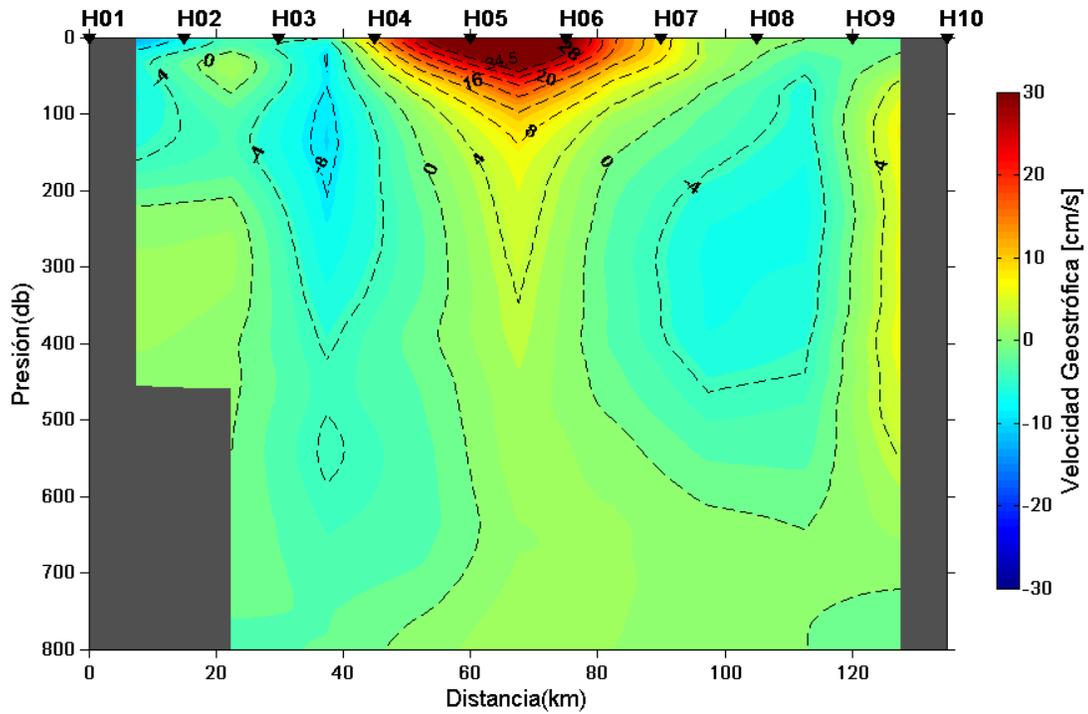
Las principales características del dipolo se pueden apreciar en la distribución de velocidad geostrófica en el transecto K (Fig. 5), ya que de acuerdo a las imágenes de satélite cruzó los dos polos. La estructura llega hasta 800 m, el chorro central con velocidades hasta 0.2 m/s en la superficie y de 150 a 700 m de profundidad. El flujo de retorno del polo ciclónico (al NO) alcanza 0.25 m/s pero hay un núcleo de baja velocidad en los 50 m superiores. Las distribuciones de velocidad de retorno parecen haberse extendido más allá del transecto K; esto significa que no se cruzaron completamente ninguno de los dos polos, especialmente el polo ciclónico (al SE), el cual presenta velocidades de hasta 0.15 m/s.

Como los muestreos biológicos fueron hasta 200 m de profundidad, describiremos en más detalle la velocidad y las variables hidrográficas hasta esa profundidad. En el transecto K, paralelo al eje del Golfo de California (Fig. 5), el fuerte chorro hacia el NE entre las estaciones K03 y K04 representa la corriente en el tallo del dipolo. Allí se observan las velocidades positivas máximas (20 cm/s), lo que la identifica como la zona más energética de la estructura. Las velocidades negativas ubicadas entre las estaciones K08 y K06 (NO del área de estudio) representan el flujo de retorno del remolino ciclónico; el flujo de agua es menos energético que en la zona del tallo hasta los 60 m de profundidad. Hacia el SE las velocidades negativas débiles representan el flujo de retorno del polo anticiclónico; es un área poco energética (K01). Los centros de los polos del dipolo se localizaron donde se presentaron velocidades cero. El polo ciclónico era de ~50 km de diámetro, con su centro en la estación K05, mientras que el polo anticiclónico era de ~40 km de diámetro y presenta su centro entre las estaciones K02 y K01.

En el transecto H (transversal al Golfo Fig. 6) se presenta un chorro de máximas velocidades geostróficas, dirigidas hacia el NW, entre las estaciones H04 y H07 alcanzando velocidades de hasta 28 cm/s; este máximo es parte del remolino ciclónico, cerca de la zona de divergencia en la cabeza del “hongo”. El transecto H es paralelo al tallo del hongo y un poco del lado ciclónico, por lo tanto aparte del chorro mencionado, las corrientes son débiles o cero. (H02-H03 y H09-H10).



**Figura 5.** Velocidades geostróficas (cm/s) (referidas a 1000 m.) obtenidas en el transecto vertical "línea K" paralelo al eje del Golfo de California.



**Figura 6.** Velocidades geostróficas (cm/s) (referidas a 1000 m.) obtenidas en el transecto vertical "línea H" perpendicular al eje del Golfo de California.

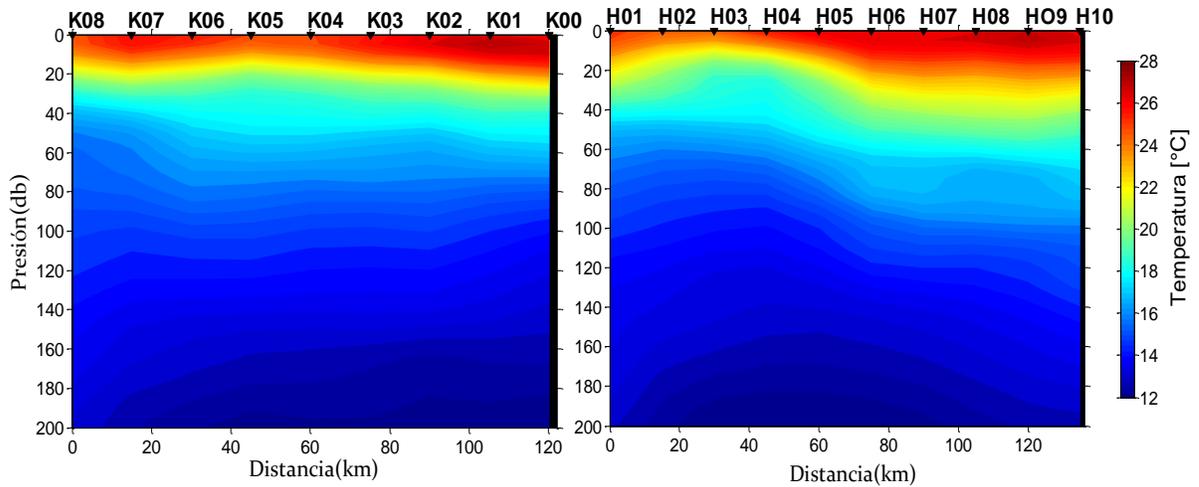
## VII.II Distribución vertical de los parámetros *in situ*

La distribución de la temperatura se muestra en las figuras 7a y 7b. Los mayores valores de temperatura ( $\geq 24$  °C) se registraron en la capa de mezcla con un espesor promedio de 15 m; la termoclina (entre  $\sim 18$  a  $\sim 24$  °C) fluctuó entre los 15 y 50 m de profundidad, presenta elevaciones evidentes en la estación K05, que es el centro del polo ciclónico y entre las estaciones H02 y H04 ubicadas en el tallo del dipolo. En las estaciones H09 y H10 y hacia el centro del polo anticiclónico se observa un hundimiento de la termoclina (50 m de profundidad).

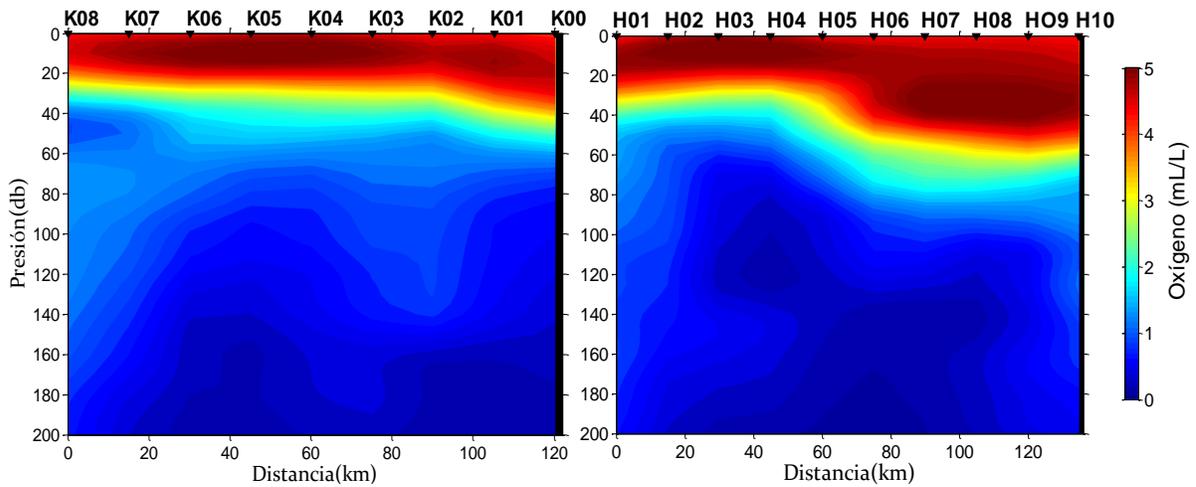
La concentración de oxígeno disuelto (Figs. 8a y 8b) mostró una distribución similar a la temperatura en los primeros metros de la columna de agua. Las aguas más oxigenadas se localizaron en la capa de mezcla ( $\geq 4$  mL/L). La oxípleta de 1mL/L se localizó entre los 40 y  $\sim 80$  m de profundidad, alcanzando su máxima profundidad entre las estaciones H09 y H10, coincidiendo con el hundimiento de la termoclina.

En la distribución de la salinidad (Figs. 9a y 9b), en la capa de mezcla resalta un mínimo salino subsuperficial con valores entre 34.4 y 34.6 su ubicación más superficial se presentó en la estación K05, que es el centro del polo ciclónico, y su localización más profunda fue entre las estaciones H08 y H10, siguiendo el hundimiento de la termoclina.

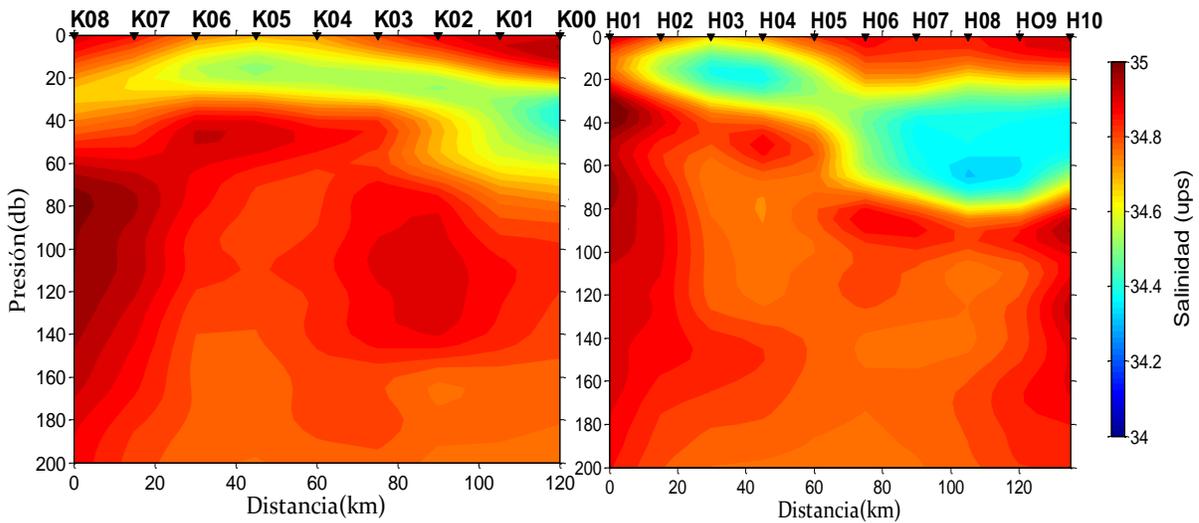
Los máximos de clorofila *a* para ambos transectos (Figs. 10a y 10b) se localizaron a  $\sim 25$  m de profundidad en el polo ciclónico hundiéndose hasta 60 m hacia el polo anticiclónico; esto asociado a la profundidad de la termoclina.



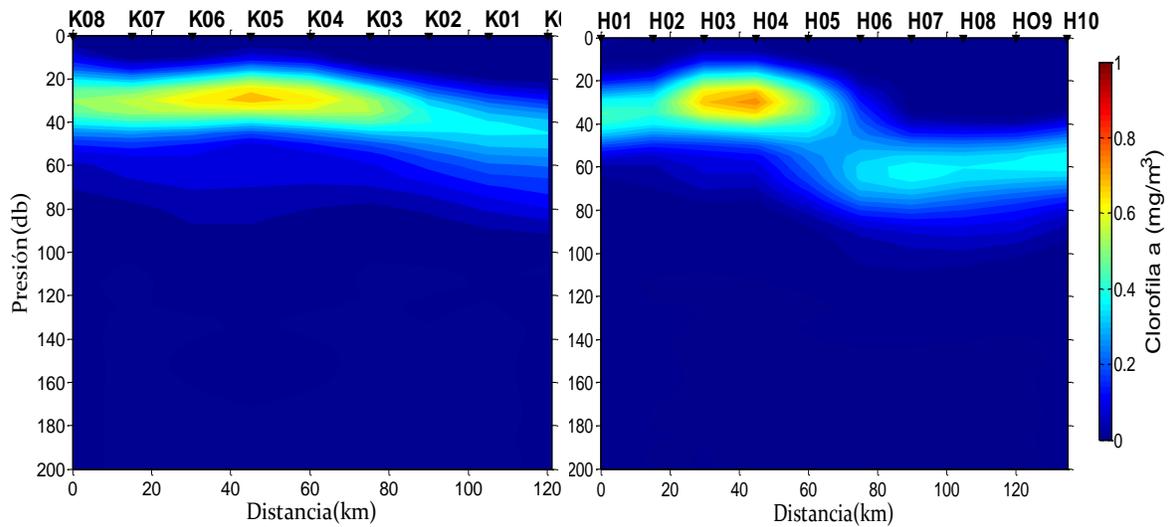
**Figura 7.** Distribución vertical de temperatura [°C] a lo largo de los transectos K a) y H b).



**Figura 8.** Distribución vertical del oxígeno disuelto [mL/L] a lo largo de los transectos K a) y H b).



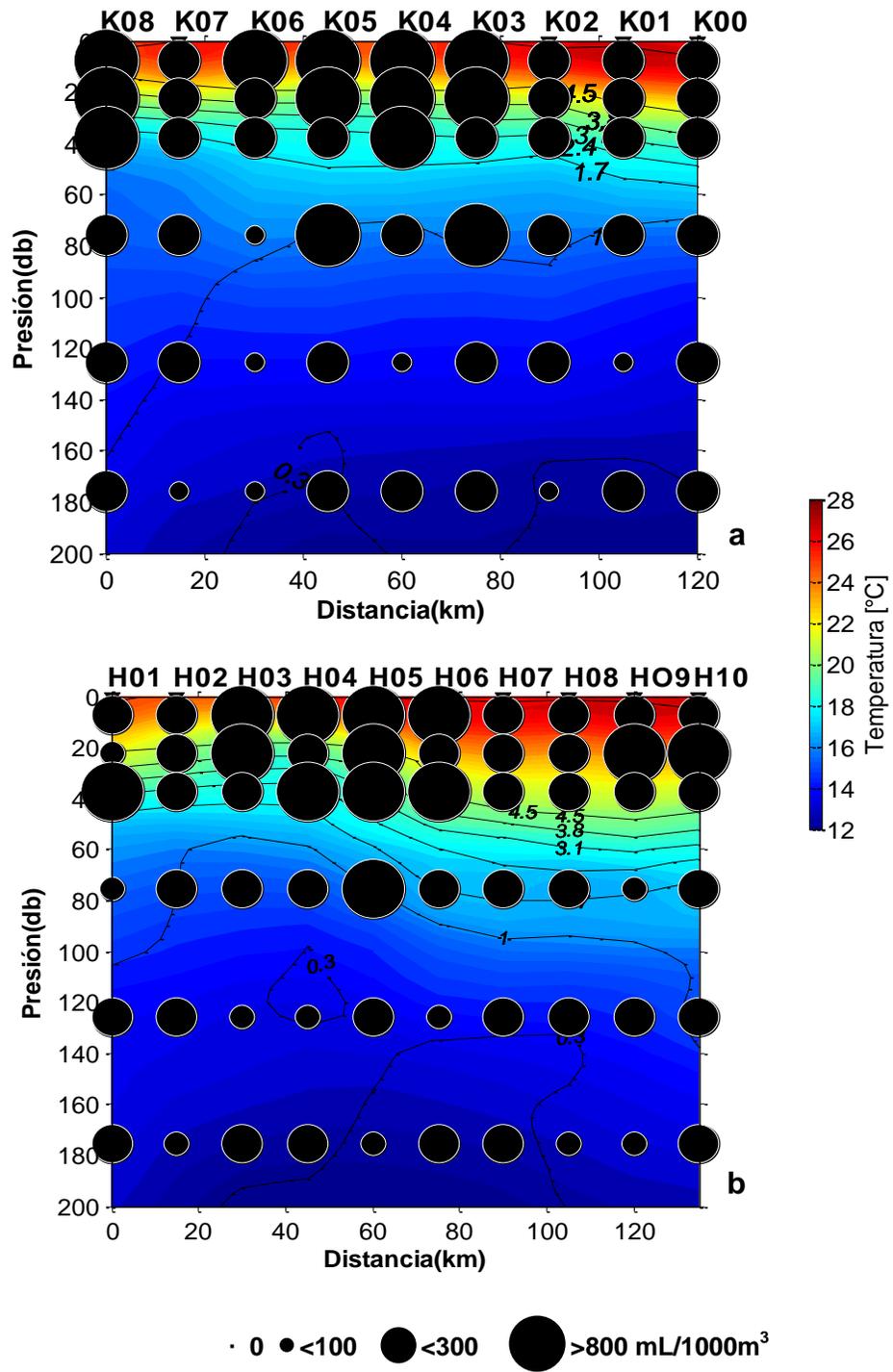
**Figura 9.** Distribución vertical de la salinidad [ups] a lo largo de los transectos K a) y H a).



**Figura 10.** Distribución vertical de clorofila *a* [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] a lo largo de los transectos K a) y H b).

### VII.II.I Distribución de la biomasa del zooplancton

La biomasa del zooplancton presentó valores entre  $15$  y  $1706 \text{ mL}/1000\text{m}^3$  con un promedio de  $226 \pm 23 \text{ mL}/1000\text{m}^3$  ( $n \pm \text{EE}$ ). Se observan las mayores concentraciones de biomasa ( $\geq 100 \text{ mL}/1000\text{m}^3$ ) en la capa de mezcla con máximos en la zona de convergencia; y los menores valores ( $< 100 \text{ mL}/1000\text{m}^3$ ) por debajo de los  $120 \text{ m}$  en zonas poco oxigenadas ( $\leq 1 \text{ mL}/\text{L}$ .) (Fig. 11a y 11 b).



**Figura 11.** Distribución vertical de la biomasa del zooplancton [mL/1000m<sup>3</sup>] a) línea K y b) línea H.

## **VII. Larvas de peces**

### **VIII.I Composición y distribución de larvas de peces**

La comunidad de larvas de peces estuvo compuesta por 6173 larvas de peces, las cuales se encontraron distribuidas en 50 familias, 83 géneros y 110 taxa. Las familias con mayores taxa representados fueron: Myctophidae (8 taxa), Serranidae (9 taxa), Carangidae (5 taxa), Paralichthyidae (7 taxa) y Cynoglossidae (8 taxa) (Anexo I).

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que no existen diferencia significativas de abundancia entre los estratos de muestreo ( $p=0.266$ ;  $p>0.05$ ). Sin embargo si se encontraron diferencias significativas en la abundancia entre los muestreos realizados durante el día y la noche ( $p=0.022$ ;  $p<0.05$ ) siendo mayores durante la noche.

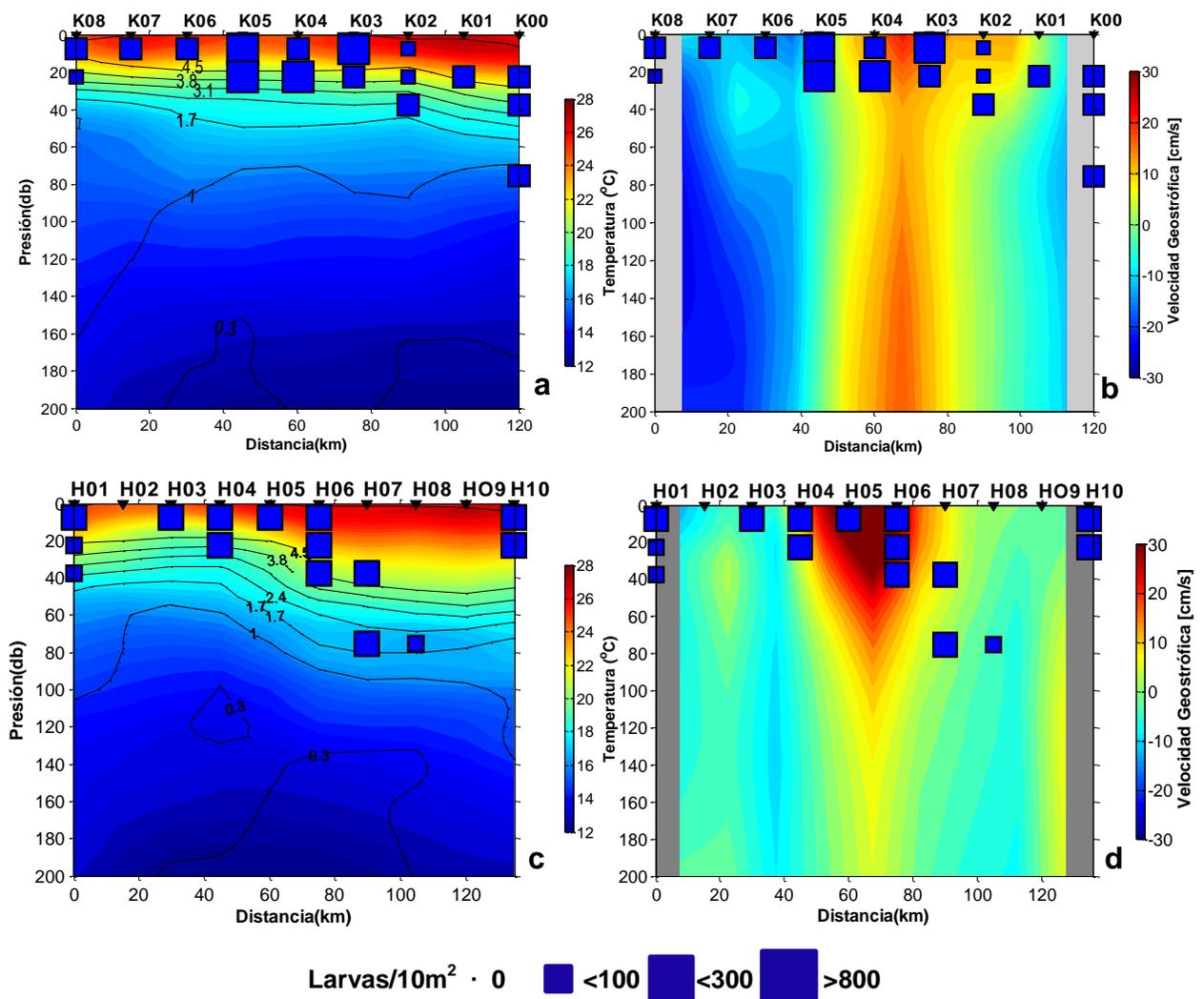
### **VIII.II Hábitat de larvas de peces**

## **IX Relaciones observacionales físico-biológicas**

El dendrograma generado a partir de la matriz de datos de abundancia de larvas de peces por estrato-estación utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis por el método de ligamiento flexible, se definió tres hábitats de larvas de peces a un nivel de corte de 12.5 % de similitud. Los hábitats de acuerdo a su localización fueron denominados como: “hábitat superficial”, “hábitat convergencia” y “hábitat margen” (Fig. 12).



El “hábitat superficial” se localizó sobre la capa de mezcla hasta la termoclina mostrando un hundimiento hacia la parte SE, teniendo la presencia de velocidades máximas (~20 cm/s), altas temperaturas superficiales ( $\geq 26$  °C) y mayor concentración de oxígeno disuelto ( $> 3.1$  mL/L) (Figs. 13a, 13b, 13c y 13d), un volumen promedio de  $357.26 \pm 43$  mL/1000m<sup>3</sup> ( $n \pm EE$ ) de biomasa de zooplancton, así como una abundancia promedio de larvas de peces de 156 larvas/10m<sup>2</sup>. El hábitat se formó con 32 muestras (estrato-estación) y 63 taxa, los cuales en su mayoría son de afinidad tropical y subtropical. (Anexo II).

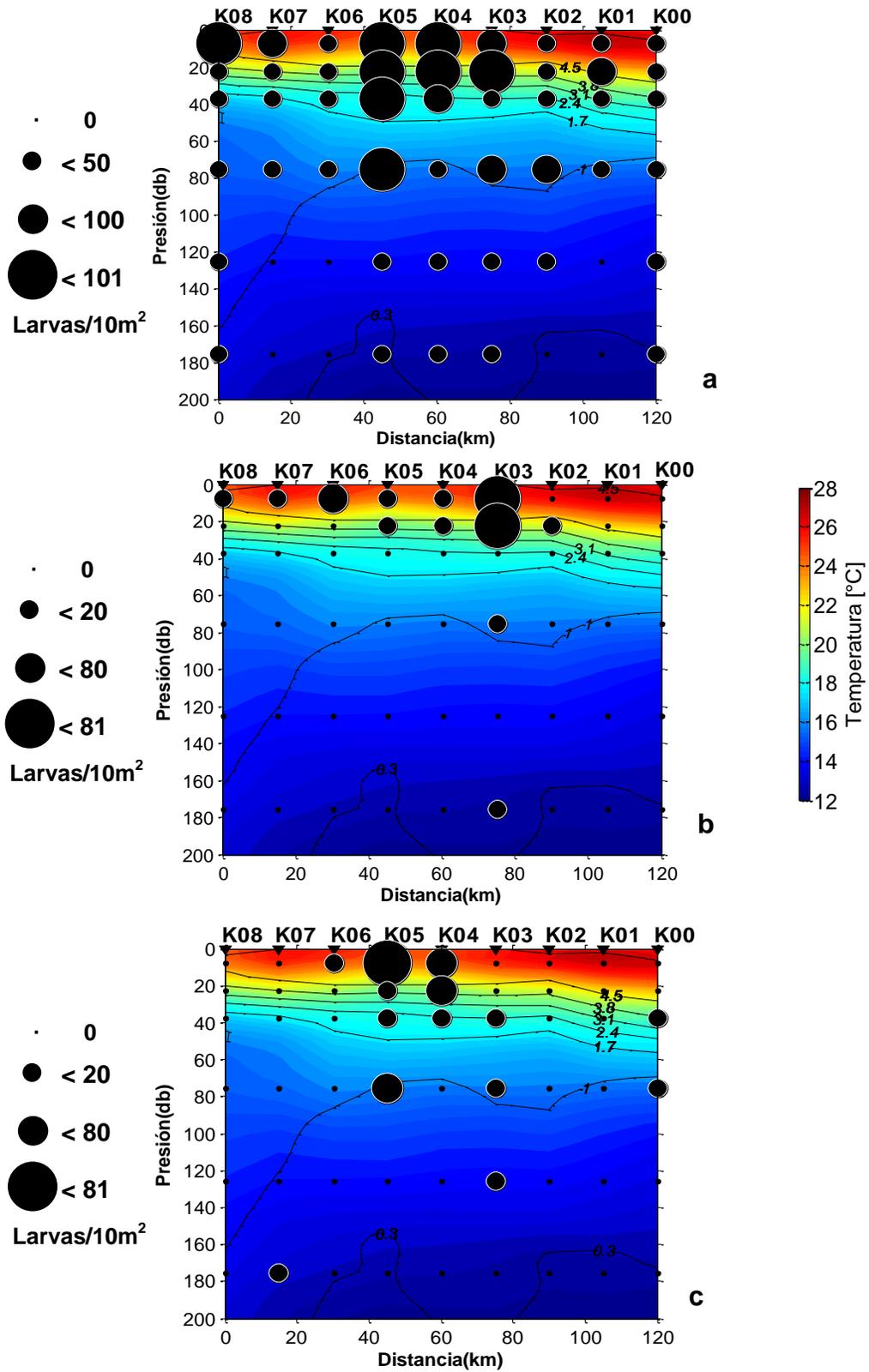


**Figura 13.** Distribución y abundancia de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>) de peces en el “hábitat superficial” sobre datos de temperatura (°C) (en color) con isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y velocidades geostróficas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H respectivamente.

La especie dominante de acuerdo a la prueba de Olmstead-Tukey (Tabla 2; Anexo II), fue el batipelágico *Vinciguerria lucetia* el cual presenta sus mayores abundancias en la termoclina, en el centro del polo ciclónico y hasta la zona de convergencia. Su abundancia; disminuye con la profundidad (Fig.14a). El hábitat contó con la presencia casi exclusiva del epipelágico *Auxis* sp., el cual se distribuyó en la capa de mezcla, presentando sus mayores abundancias en la zona de convergencia (Fig. 14b). El mesopelágico *Benthoosema panamense*, también dominante en este hábitat, presentó su mayor abundancia en el centro del polo ciclónico (Fig.14c). La contribución de estas especies para la formación de este hábitat fue mayor del 90 %.

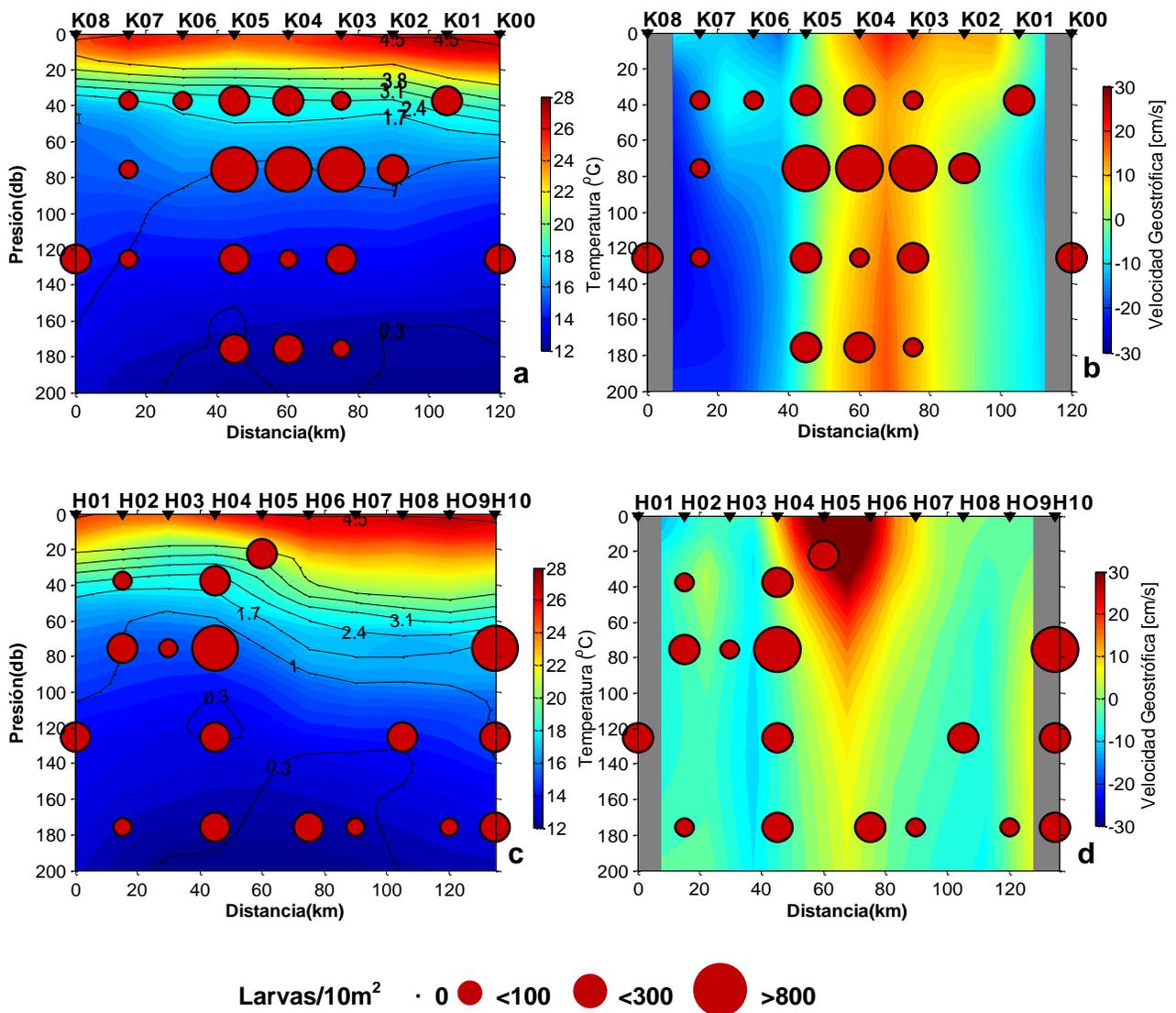
**Tabla 2.** Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat superficial”. Hábitat del adulto: D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical

| TAXONES  | AB. PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO<br>% | JERARQUIA  | HÁBITAT | AFINIDAD | SIMPER<br>(%) |
|--|---|---------|------------|---------|----------|---------------|
| <i>Vinciguerria lucetia</i>                                    | 27.78                                   | 100     | Dominantes | BP-MP   | Tr-Str   | 89.10         |
| <i>Auxis</i> sp.   | 9.31                                    | 56.25   |            | EP      | Tr       | 3.82          |
| <i>Benthoosema panamensis</i>                                  | 5.48                                    | 34.38   |            | MP      | Tr       | 0.69          |
| <i>Diogenichthys laternatus</i>                                | 3.67                                    | 59.38   |            | MP      | Tr       | 3.90          |
| <i>Syacium ovale</i>   | 3.31                                    | 25.00   |            | D       | Tr       | 0.48          |
| <i>Symphurus williamsi</i>                                     | 3.27                                    | 18.75   |            | D       | Tr       | 0.12          |
| <i>Cubiceps pauciradiatus</i>                                  | 1.34                                    | 12.50   | Constantes | BP      | Tr       | 0.05          |
| <i>Pronotogramus multifasciatus</i>                            | 1.34                                    | 31.25   |            | D       | Str      | 0.37          |
| <i>Diplectrum</i> sp.  | 1.21                                    | 15.63   |            | D       | Tr-Str   | 0.05          |
| <i>Lampanyctus parvicauda</i>                                  | 1.17                                    | 37.50   |            | MP      | Tr       | 0.33          |
| <i>Diaphus pacificus</i>                                       | 1.14                                    | 21.88   |            | BP      | Tr       | 0.08          |
| <i>Xyrichtys mundiceps</i>                                     | 0.94                                    | 12.50   |            | D       | Tr       | 0.07          |
| <i>Bothus leopardinus</i>                                      | 0.87                                    | 28.13   |            | D       | Tr       | 0.23          |
| <i>Myctophum aurolaternatum</i>                                | 0.83                                    | 15.63   |            | BP      | Tr       | 0.07          |
| <i>Psenes sio</i>  | 0.81                                    | 28.13   |            | BP      | Tr       | 0.23          |
| <i>Serranus</i> sp.  | 0.72                                    | 12.50   |            | ND      | Tr       | 0.01          |
| <i>Hygophum atratum</i>  | 0.71                                    | 12.50   |            | BP      | Tr       | 0.03          |
| <i>Sinodus lucioceps</i>                                       | 0.65                                    | 12.50   |            | D       | Str      | 0.02          |
| <i>Apogon</i> sp.  | 0.50                                    | 12.50   |            | D       | Str      | 0.02          |
| <b>Número de taxones</b>                                       |   |         |            |         |          | <b>63</b>     |
| <b>Número de estratos</b>                                      |   |         |            |         |          | <b>32</b>     |
| <b>Abundancia promedio de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>  |   |         |            |         |          | <b>156</b>    |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> |   |         |            |         |          | <b>357.26</b> |



**Figura 14.** Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m<sup>2</sup>) sobre datos de temperatura (°C) (en color) con isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) **a) *Vinciguerria lucetia*** **b) *Auxis* sp.** y **c) *Benthosema panamense*** en el transecto K.

El “hábitat convergencia” se encontró ubicado por debajo de la termoclina y en toda la columna de agua muestreada (200 m) (Figs. 15a y 15c), principalmente entre las estaciones de la zona de convergencia de la estructura (Figs. 15b y 15d). Las mayores abundancias estaban concentradas en la zona de hipoxia (<1mL/L), donde los valores de temperatura fueron bajos ( $\leq 18$  °C). El hábitat presentó una abundancia promedio de larvas de peces de 173 larvas/10m<sup>2</sup>, un volumen promedio de biomasa zooplanctónica de  $188 \pm 24$  mL/1000m<sup>3</sup> ( $n \pm EE$ ) y se conformó con 50 muestras (estrato-estación) y 49 taxa, en su mayoría de afinidad biográfica tropical (Tabla 3; Anexo III).

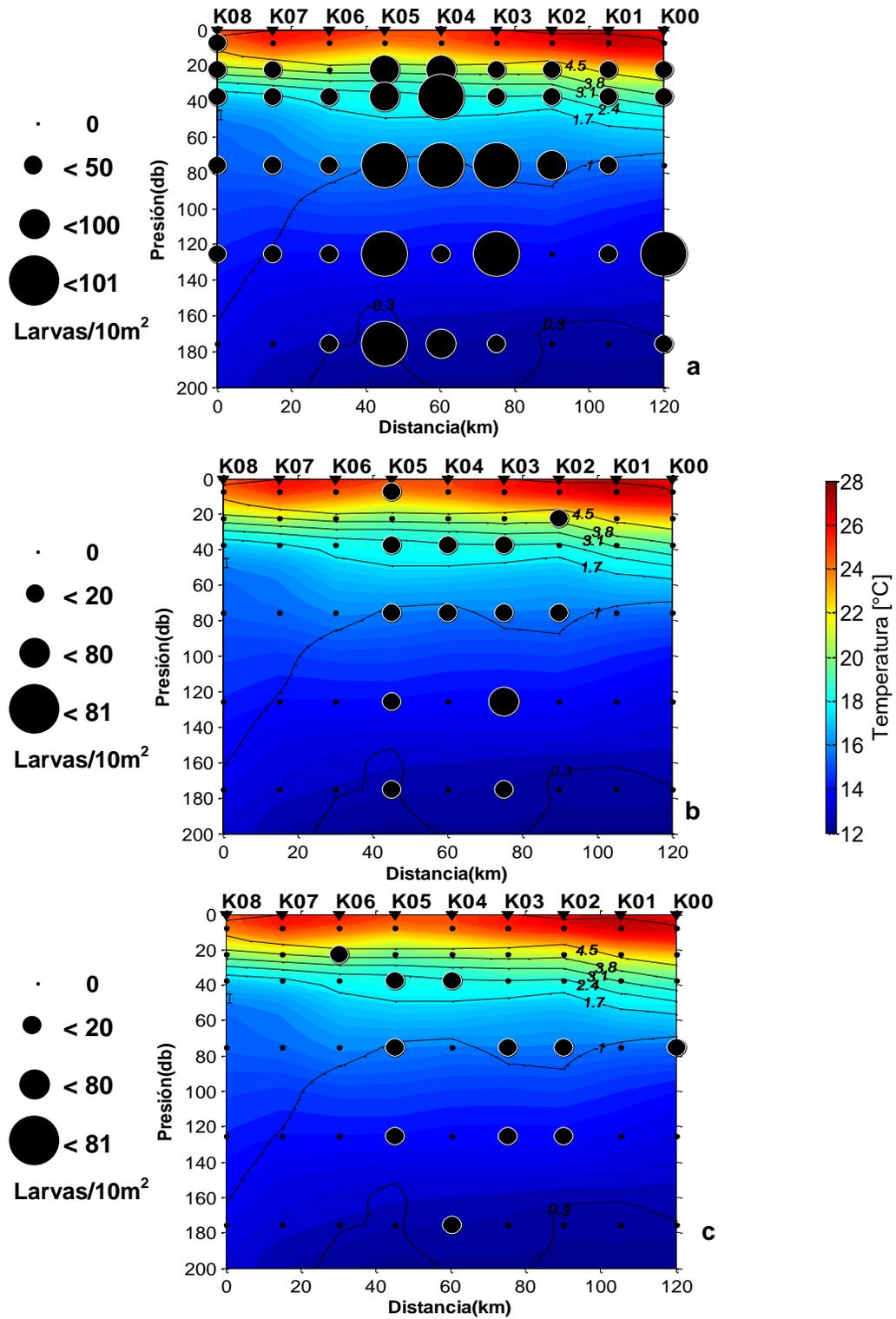


**Figura 15.** Distribución y abundancia en la vertical de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>) de peces del “hábitat convergencia” sobre temperatura (°C) (en color) e isóneas de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y velocidades geostroficadas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H.

Dentro de los taxa dominantes se contó nuevamente con *V. lucetia*, pero con abundancias relativamente bajas (16 %) en relación al hábitat superficial. Otras especies dominantes fueron los mesopelágicos *Diogenichthys laternatus*, que estuvo distribuido a partir de la termoclina hacia el fondo, (Figs. 16a), *Hygophum atratum* el cual se distribuyó en el centro del polo ciclónico sobre la zona de hipoxia y en la convergencia de lado del polo anticlónico (Fig. 16b). Además de las especies anteriores, el pelágico *Bregmaceros* sp. se distribuyó en el centro del polo ciclónico y en la convergencia hasta el límite con el polo anticlónico (Fig. 16c); estas especies estuvieron restringidas a este hábitat, teniendo una presencia y abundancia mayor en comparación con los otros dos hábitat. La contribución de estas especies para la formación de este hábitat fue mayor al 75 %.

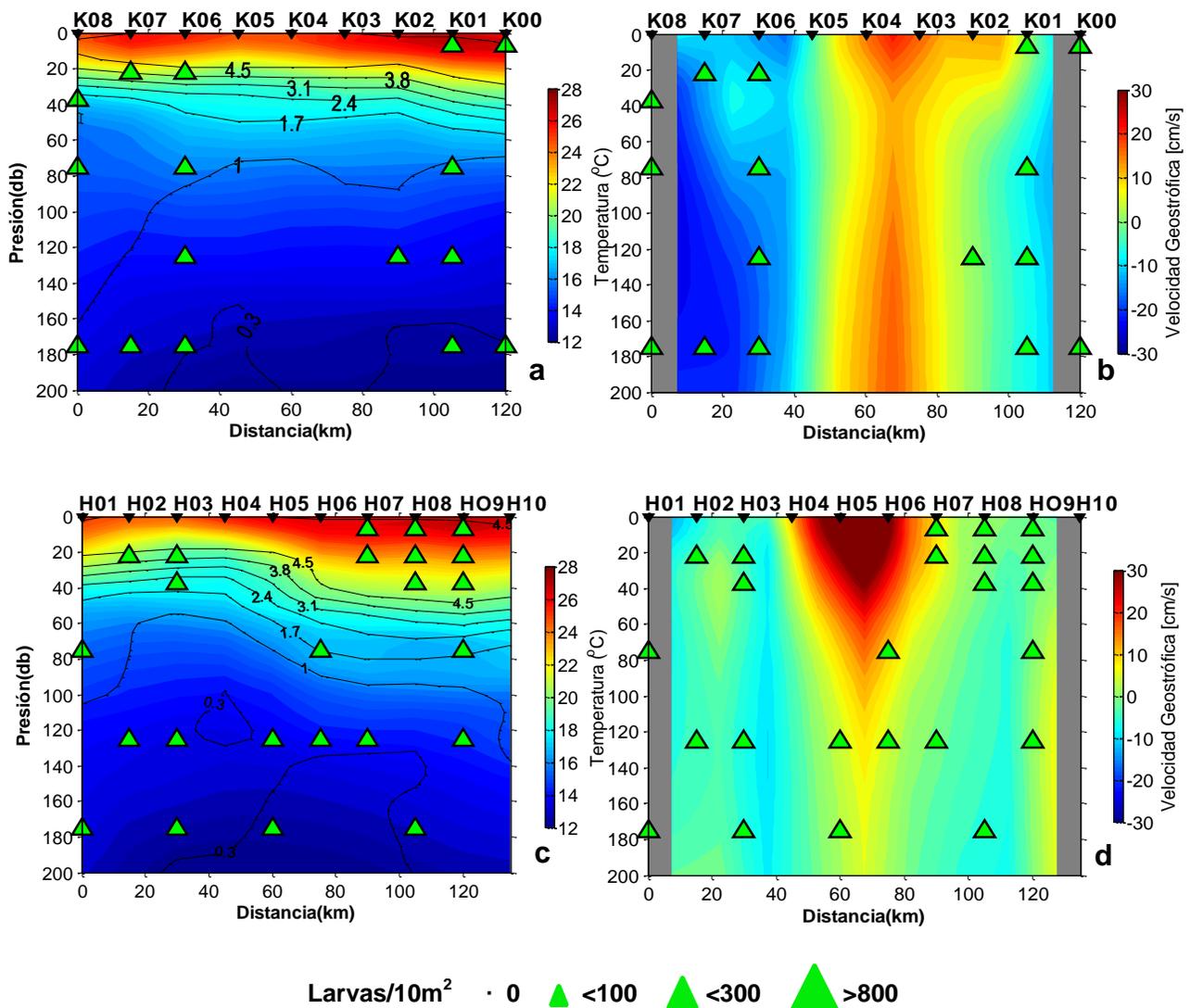
**Tabla 3.** Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat convergencia”. Hábitat del adulto: D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical

| TAXONES  | AB. PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO<br>% | JERARQUIA         | HÁBITAT | AFINI<br>DAD | SIMPER<br>(%) |            |
|--|---|---------|-------------------|---------|--------------|---------------|------------|
| <i>Diogenichthys laternatus</i>                                | 31.77                                   | 100     | <b>Dominantes</b> | MP      | Tr           | 78.36         |            |
| <i>Vinciguerria lucetia</i>                                    | 16.47                                   | 87.18   |                   | BP-MP   | Tr-Str       | 18.10         |            |
| <i>Auxis</i> sp.   | 4.8                                     | 17.95   |                   | EP      | Tr           | 0.19          |            |
| <i>Hygophum atratum</i>  | 2.54                                    | 41.03   |                   | BP      | Tr           | 0.57          |            |
| <i>Benthoosema panamensis</i>                                  | 2.37                                    | 25.64   |                   | MP      | Tr           | 0.18          |            |
| <i>Triphoturus mexicanus</i>                                   | 1.98                                    | 17.95   | <b>Constantes</b> | MP      | Str          | 0.09          |            |
| <i>Symphurus williamsi</i>                                     | 1.96                                    | 15.38   |                   | D       | Tr           | 0.05          |            |
| <i>Myctophum aurolaternatum</i>                                | 1.47                                    | 23.08   |                   | MP      | Tr           | 0.12          |            |
| <i>Diaphus pacificus</i>                                       | 1.35                                    | 25.64   |                   | BP      | Tr           | 0.11          |            |
| <i>Psenes sio</i>  | 1.29                                    | 15.38   |                   | EP      | Tr           | 0.07          |            |
| <i>Scopelarchoides nicholsi</i>                                | 1.17                                    | 33.33   |                   | BP      | Tr           | 0.48          |            |
| <i>Lampanictus parvicauda</i>                                  | 1.11                                    | 20.51   |                   | MP      | Tr           | 0.15          |            |
| <i>Stomias atriventer</i>                                      | 1.07                                    | 17.95   |                   | BP      | Tr           | 0.11          |            |
| <i>Bregmaceros</i> sp.   | 1.06                                    | 46.15   |                   | EP      | Tr-Str       | 0.56          |            |
| <i>Bathylagoides wesethi</i>                                   | 0.97                                    | 35.9    |                   | BP      | Str          | 0.51          |            |
| <i>Sinodus lucioceps</i>                                       | 0.95                                    | 17.95   |                   | D       | Str          | 0.05          |            |
| <b>Número de taxones</b>                                       |   |         |                   |         |              |               | <b>49</b>  |
| <b>Número de estratos</b>                                      |   |         |                   |         |              |               | <b>50</b>  |
| <b>Abundancia promedio de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>  |   |         |                   |         |              |               | <b>173</b> |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> |   |         |                   |         |              | <b>188.28</b> |            |



**Figura 16.** Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m<sup>2</sup>) sobre la temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) a) *Diogenichthys laternatus* b) *Hygophum atratum* y c) *Bregmaceros* sp. en el transecto K.

El “hábitat margen” se consideró en los márgenes del dipolo, desde la capa de mezcla hasta los 200 m de profundidad, restringiéndose a las zonas de máxima energía, con un amplio rango de temperatura y concentración de oxígeno (Figs. 17a, 17b, 17c y 17d). Este hábitat tuvo una abundancia de larvas promedio de peces de 29 larvas /10m<sup>2</sup>, un volumen de biomasa de zooplancton promedio de 160 ± 45 mL/1000m<sup>3</sup> (n ± EE) y se constituyó de 40 muestras (estrato-estación) y 41 taxa de afinidad tropical y subtropical.



**Figura 17.** Distribución y abundancia en la vertical de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>) de peces del “hábitat margen” sobre temperatura (°C) (en color) e isótopos de oxígeno disuelto (mL/L) (a y c) y velocidades geostroficadas (cm/s) (b y d) referidas a 1000 m en los transectos K y H.

Entre los taxa dominantes mostrados por el índice de Olmstead-Tukey (Tabla 4; Anexo IV) se contó nuevamente en los primeros metros de la columna de agua con *V. lucetia* y *Auxis* sp., con menor abundancia en relación al hábitat superficial. En este hábitat se registró el batipelágico *Bathylagoides wesethi*, presentado su mayor abundancia por debajo de la zona de hipoxia y mayor abundancia en el polo anticiclónico (Fig. 18a) y el mesopelágico *Psenes sio* el cual se distribuyó también en el polo ciclónico (Fig. 18b). La contribución de estas especies para este hábitat fue de ~ 2 %

**Tabla 4.** Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat margen”. Hábitat del adulto: DC=Demersal Costero; D=Demersal; PC=Pelágico Costero; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical

| TAXONES  | AB.PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO<br>% | JERARQUIA         | HABÍTAT | AFINIDAD | SIMPER<br>(%) |
|--|--|---------|-------------------|---------|----------|---------------|
| <i>Bathylagoides wesethi</i>                                   | 5.70                                   | 12.20   | <b>Dominantes</b> | BP      | Str      | 1.21          |
| <i>Vinciguerrria lucetia</i>                                   | 7.13                                   | 73.17   |                   | BP-MP   | Tr-Str   | 65.40         |
| <i>Diogenichthys laternatus</i>                                | 4.38                                   | 56.10   |                   | MP      | Tr       | 30.19         |
| <i>Auxis</i> sp.   | 3.86                                   | 12.20   |                   | EP      | Tr       | 0.59          |
| <i>Lutjanus novemfasciatus</i>                                 | 2.59                                   | 2.44    |                   | D       | Tr-Str   | 0.11          |
| <i>Psenes sio</i>  | 2.45                                   | 9.76    |                   | EP-MP   | Tr       | 0.38          |
| <i>Diaphus pacificus</i>                                       | 1.99                                   | 9.76    | <b>Constantes</b> | BP      | Tr       | 0.31          |
| <i>Bregmaceros</i> sp  | 1.38                                   | 12.20   |                   | EP      | Tr       | 0.55          |
| <b>Número de taxa</b>  |  |         |                   |         |          | <b>41</b>     |
| <b>Número de estratos</b>                                      |  |         |                   |         |          | <b>40</b>     |
| <b>Abundancia de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>           |  |         |                   |         |          | <b>29</b>     |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> |  |         |                   |         |          | <b>160.85</b> |

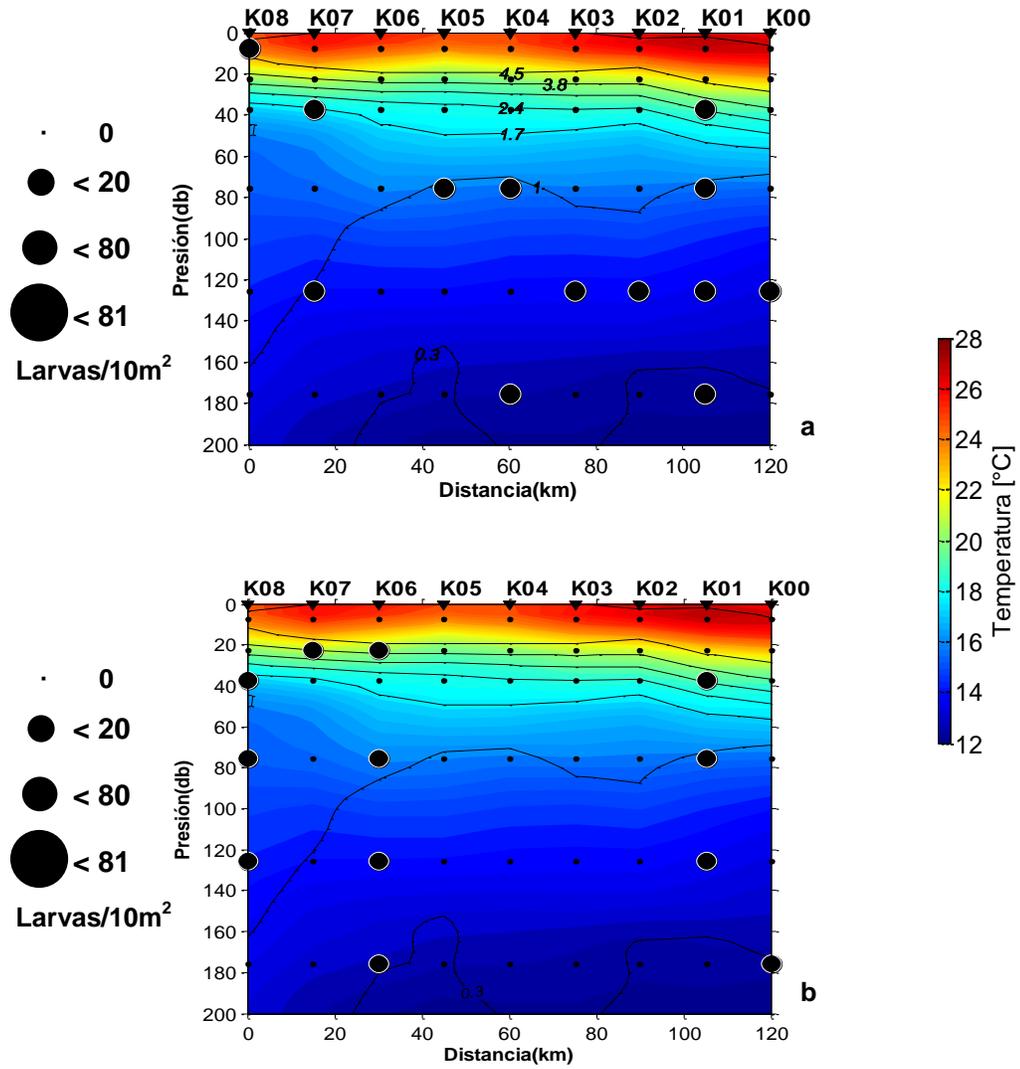
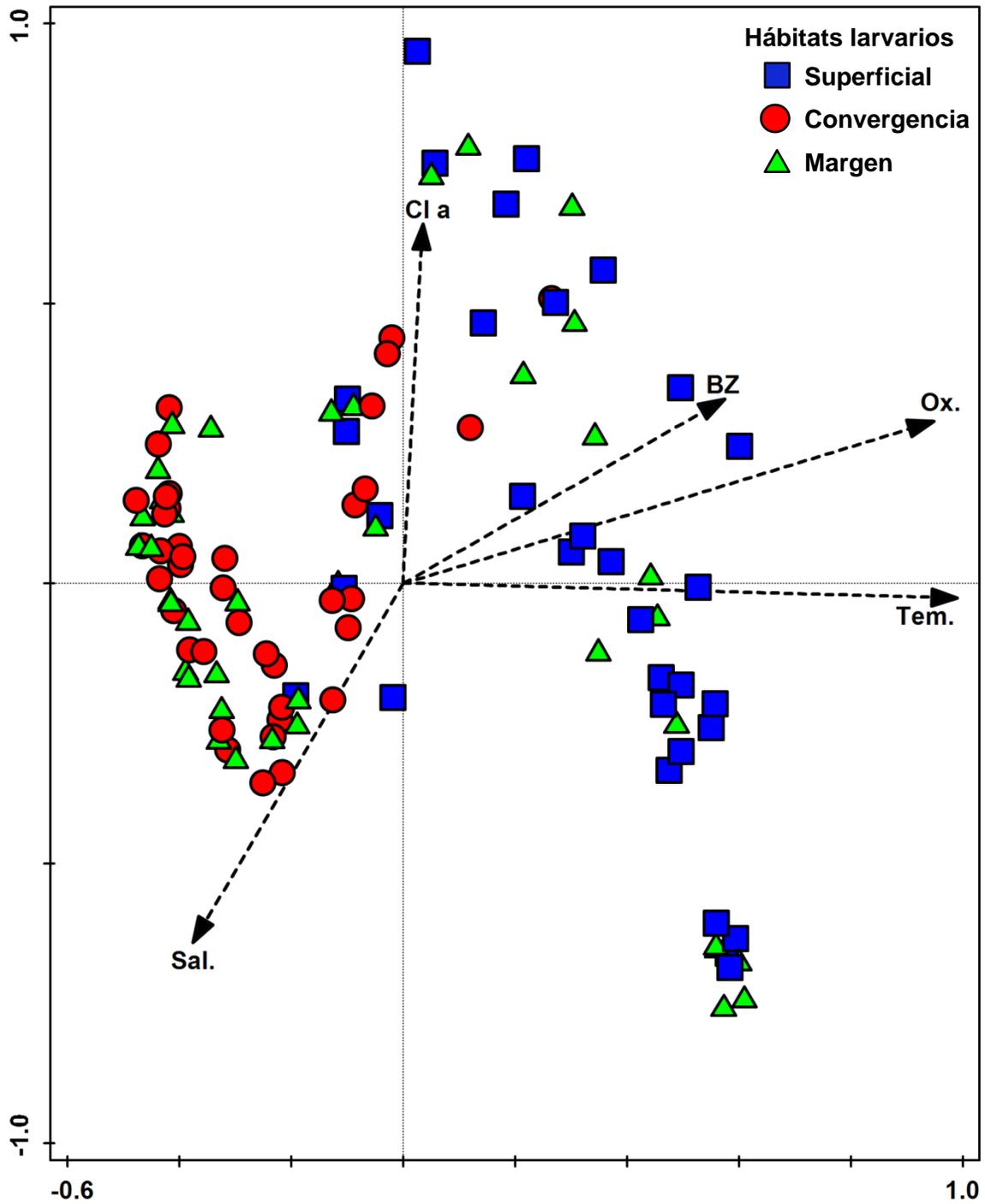


Figura 18. Distribución vertical de la abundancia de las especies dominantes (larvas/10m<sup>2</sup>) sobre la temperatura (°C) (en color) e isolíneas de oxígeno disuelto (mL/L) a) *Batilagoides wesethi* y b) *Psenes sio*. en el transecto K.

## **IX.I Análisis Canónico de Correspondencias**

El Análisis Canónico de Correspondencias (Fig. 19) correlacionó estadísticamente los hábitats larvarios con los parámetros ambientales obtenidos por el CTD, los cuales fueron: temperatura, clorofila *a*, oxígeno disuelto, salinidad y biomasa del zooplancton. Explicando una correlación de Pearson de 0.879

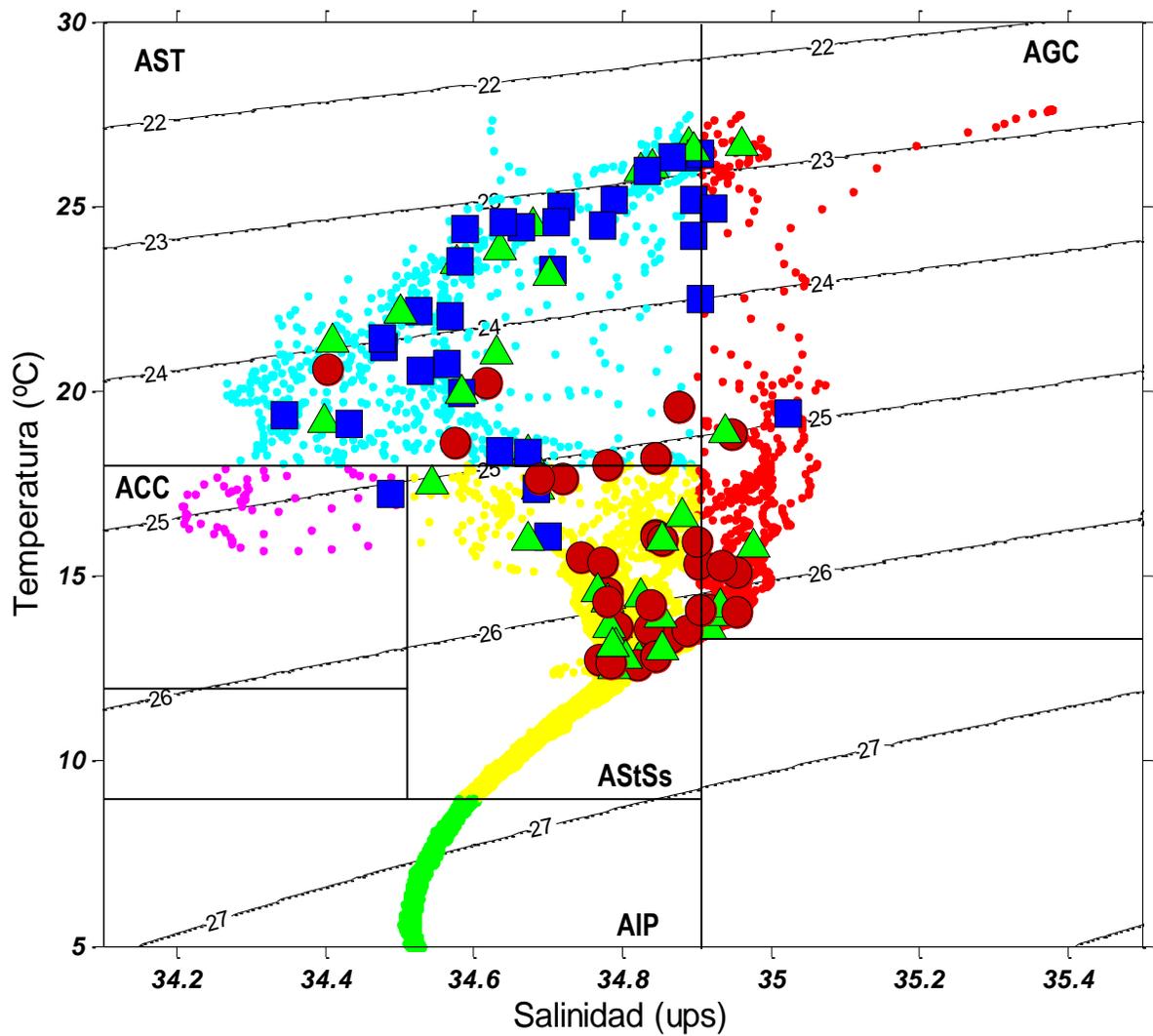
El “hábitat superficial” se encontró distribuido y altamente correlacionado con la temperatura, oxígeno disuelto, clorofila *a* y biomasa del zooplancton, el “hábitat convergencia” se correlación con altas concentraciones de salinidad, por otro lado presentó una correlación baja con la temperatura, oxígeno disuelto, clorofila *a* y biomasa del zooplancton; y el “hábitat margen” el cual estuvo distribuido en los márgenes de la estructura y en la vertical de toda la columna de agua muestreada presenta mayor correlación con la salinidad, no obstante también tiene correlación baja con la temperatura, el oxígeno disuelto, la clorofila *a* y la biomasa del zooplancton.



**Figura 19.** Diagrama del Análisis Canónico de Correspondencia representando la distribución de los hábitats de larvas de peces (estrato-estación) definidos por el índice de disimilitud de Bray-Curtis. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); Oxígeno disuelto ( $\text{mL L}^{-1}$ ); Clorofila *a* ( $\text{mg/m}^3$ ); Salinidad (S) y Biomasa del zooplancton ( $\text{mL}/1000\text{m}^3$ ).

## IX.II Masas de agua y su relación con los hábitats larvarios

En el diagrama T-S se observó la presencia de AGC (Agua del Golfo de California), AST (Agua Superficial Tropical), ACC (Agua de la Corriente de California), AIP (Agua Intermedia del Pacífico) y AStSs (Agua Subtropical Subsuperficial). El hábitat superficial se encontró en agua superficial tropical la cual presenta altas temperaturas y bajas salinidades ( $18 > T > 30$ ;  $34.5 < S < 34.9$ ). El hábitat convergencia está distribuido mayormente en agua subtropical subsuperficial la cual presenta bajas temperaturas y salinidades altas (AStSs [ $9 > T > 18$ ;  $34.5 < S < 34.9$ ]). Y el hábitat margen se encuentra ampliamente distribuido: en agua superficial tropical, agua subtropical subsuperficial y un poco en agua del Golfo de California (AGC [ $14 > T > 29.5$ ;  $34.9 < S < 35.35$ ]). (Fig. 20).



**Figura 20.** Diagrama (T-S) y hábitat de larvas de peces “hábitat superficial” ■; “hábitat convergencia” ● y “hábitat margen” ▲. AST: Agua Superficial Tropical, ACC: Agua de la Corriente de California, AIP: Agua Intermedia del Pacífico y AStSs: Agua Subtropical Subsuperficial

## VIII. DISCUSIÓN

A pesar de las limitaciones del muestreo y de la interpretación biológica observacional de los hábitats de larvas de peces, el presente análisis hidrográfico del dipolo y sus efectos sobre los hábitats de larvas de peces en el sur del Golfo de California ha generado resultados pioneros a nivel mundial ya que a la fecha solo se contaba con los trabajos que identificaron dipolos mediante imágenes de satélite en la costa de Alaska (Ahlén *et al.* 1987), el sur de Madagascar (Ruijter *et al.* 2004), y en el Mar Caspio (Ivanov y Ginzburg, 2002) y con datos físicos *in situ* en el Mar Negro (Afanasyev y Filippov, 1996) y, en el noroeste de África (Meunier *et al.* 2012).

Si bien se muestro ambos polos del dipolo y se cruzó la zona de convergencia, hubiera sido más enriquecedor para el análisis de la estructura muestrear ampliamente la periferia de la misma, para conocer la distribución de las larvas de peces sin la influencia del dipolo y tener una visión general de dichas interacciones.

Con los datos disponibles, en el presente trabajo, las imágenes de satélite de temperatura y clorofila *a* mostraron el posible proceso de formación y la duración del dipolo en la superficie del mar (Figuras 4 y 5). Se observó que la estructura duró ~40 días, lo cual refleja que pudo tratarse de una estructura de sub-mesoescala según la clasificación de Orlandi (1975) o en los límites inferiores de la mesoescala de acuerdo a Ginzburg (1992). Sin embargo los datos *in situ* mostraron una capa de mezcla promedio sobre el cuerpo del dipolo de 15 m de profundidad; y debajo de ésta, el dipolo se detectó bien estructurado hasta los 800 m de profundidad (Fig. 5). Esta situación permite considerar que el dipolo tuvo una mayor duración de la captada por las imágenes de satélite por debajo de la capa de mezcla, lo cual implica un mayor impacto en la distribución del zooplancton tanto horizontal como verticalmente.

El diagrama de masas de agua mostró que el dipolo se formó en aguas del Pacífico adyacentes al Golfo, principalmente por agua Superficial Tropical y Subtropical Subsuperficial (Fig. 20). Asimismo, por la ubicación del dipolo, este pudo haberse generado por efectos de punta en el Sur de la Península de Baja California y las corrientes circundantes, como puede ser la corriente Costera Mexicana sobre la

costa oriental del Golfo de California que generan actividad de mesoescala en toda la boca del Golfo, como fue reportado por Godínez *et al.* (2010) para otras épocas del año. Si bien en este trabajo no se demostró el mecanismo de origen del dipolo, las masas de agua contenidas en dicha estructura dejan claro el lugar donde se formó.

La confluencia de diferentes masas de agua en la región y corrientes asociadas, permite mencionar que aunque este es el primer dipolo detectado mediante satélite y corroborado con datos *in situ* en esta región, es probable que la frecuencia de formación de dipolos o multipolos sea relativamente alta. Estas últimas estructuras han sido ya detectadas y documentadas por Ginzburg y Fedorov (1984) en el Mar Caspio al sur del estuario Volga, Ahlnäs, *et al.* (1987) alrededor de la Isla Kayak y Carton (2001) en el Norte del Océano Atlántico. La detección y caracterización hidrográfica del dipolo nos permitió hipotetizar con base a los estudios realizados sobre el efecto de estructuras hidrográficas de mesoescala como frentes (Danell-Jiménez, *et al.*, 2009); surgencias (Landaeta y Castro, 2002) y remolinos (Contreras-Catala, *et al.* 2012; Sánchez-Velasco, *et al.* 2013) que se encontrarían los siguientes hábitat de larvas de peces: Un hábitat en la zona de convergencia del dipolo con altas abundancias larvárias y de biomasa del zooplancton en relación a la registrada en el margen del dipolo y un hábitat larvario en cada uno de los polos con diferencias en la composición y distribución de las especies. Sin embargo, los resultados obtenidos mostraron variaciones en cuanto a dicho planteamiento. Si bien, el hábitat convergencia se definió con toda claridad en la columna de agua como se había predicho, la profundidad de la capa de mezcla definió un hábitat superficial sobre todo el cuerpo del dipolo que incluyó los dos polos. Además de la definición de un hábitat marginal ubicado en el margen de la estructura. Estas diferencias pueden ser producto de que los polos de la estructura, en particular el anticiclónico, estuvieron poco muestreados.

El hábitat superficial, ubicado en la capa de mezcla a diferencia del hábitat convergencia y margen, presentó la mayor riqueza de especies y biomasa del zooplancton. Para la definición de este hábitat mostraron a la termoclina como el límite vertical en la distribución de larvas de peces que lo conformaron; y que la termoclina fue un límite planctónico más evidente que los gradientes hidrográficos

horizontales del dipolo. Una situación similar fue registrada por Sánchez-Velasco *et al.* (2013) en un remolino ciclónico profundo en equilibrio geostrófico en el sur del Golfo de California. Los autores encontraron que la termoclina fue el hábitat preferencial limitando la distribución vertical de especies mesopelágicas como *D. laternatus* hacia la superficie a pesar del bombeo en el centro del remolino. Por el contrario, especies como el epipelágico *Auxis* sp., restringió su distribución a la capa de mezcla, tanto en el dipolo estudiado en este trabajo como en el remolino ciclónico analizado por Sánchez-Velasco *et al.* (2013).

El hábitat convergencia localizado por debajo de la capa de mezcla se distinguió por presentar la mayor abundancia promedio de larvas (173 larvas/10m<sup>2</sup>) y de biomasa del zooplancton, lo cual se asocia a la zona más energética de la estructura (~26 cm/s) con posibles efectos de retención sobre el zooplancton. Esto coincide con lo registrado en proceso de Ruvalcaba-Aroche (compers.) quién encontró la mayor abundancia de paralarvas de calamar en la zona convergencia de este mismo dipolo. La presencia de alta concentración de larvas de peces y zooplancton en zonas energéticas en estructuras de mesoescala, coincide con los efectos de retención larvarios registrados en trabajos enfocados a frentes (Sabatés y Olivar, 1996; Danell-Jiménez, *et al.* 2009).

Las larvas del mesopelágico *D. laternatus* fue la especie de mayor contribución para este hábitat, presentando sus mayores abundancias en la zona de hipoxia, es decir por debajo de la oxipleta de 1 mL/L. Su preferencia por esta zona coincide con lo registrado por Karuppasamy *et al.* (2011) en el Mar de Arabia, quienes encuentran altas abundancias de larvas de mictófidios como *Benthosema pterotum*, *Diaphus aliciae*, *D. phillipsi*, *D. lucidus* entre otros en la zona de hipoxia a partir de la oxipleta de 1 mL/L. Esta circunstancia permite visualizar una potencial adaptación de especies mesopelágicas a zonas poco oxigenadas.

El hábitat margen se ubicó en la zona marginal de la estructura en zonas donde predominan las velocidades geostróficas negativas (Fig. 6). Este hábitat presentó el menor número de taxones y la abundancia promedio más baja del estudio; contrario a lo registrado en remolinos ciclónicos donde diversos autores reportan al margen como zona de mayor concentración de larvas de peces,

Sánchez-Velasco *et al.*, (2013) en el sur del Golfo de California y Lobel y Robinson (1988) en la costa de Kona Hawaii y Lindo-Atichati *et al.* (2012) en el Norte del Golfo de México. Si bien hacen falta estudios intensivos multidisciplinarios sobre dipolos, se pueden mencionar que el margen de un dipolo funciona diferente al margen de un remolino ciclónico.

Ginzburg y Fedorov (1984a, b) y Fedorov y Ginzburg (1986, 1989) describieron que los dipolos son estructuras complejas e inestables, sin embargo los resultados encontrados en este trabajo muestran que la estructura del dipolo afecta la distribución de las larvas de peces y muy posiblemente la del resto de los organismos del zooplancton con escasa movilidad. Se puede mencionar que en dipolos que se generan por inestabilidad de corrientes costeras, se esperaría encontrar organismos de origen costero y oceánicos concentrados en la zona de convergencia de los polos, y con posible dispersión en la zona marginal de la estructura.

Partiendo de los resultados obtenidos en este trabajo se propone que las siguientes investigaciones multidisciplinarias sobre otros dipolos detectados por satélite, puedan realizarse con énfasis en los polos, es decir incrementar el número de estaciones sobre ellos para analizar un posible efecto diferencial sobre los productos de desove de los peces. Así mismo se propone analizar los mecanismos que generan este tipo de estructuras y el efecto que tienen sobre el ecosistema pelágico, para aumentar el entendimiento de las relaciones físico-biológicas mesoescalares en el océano.

## IX. CONCLUSIONES

Los gradientes hidrográficos y la dinámica del dipolo definieron tres hábitats de larvas de peces en el momento en el que se realizó el crucero.

El “hábitat superficial” ubicado en la capa de mezcla sobre la termoclina, tuvo la mayor riqueza específica del estudio. Este hábitat estuvo representado por el mesopelágico *V. lucetia* y el epipelágico *Auxis* sp., resaltando el hecho de que la termoclina, fue el límite más evidente en la distribución del hábitat.

El “hábitat convergencia” se ubicó por debajo de la termoclina con máximos de abundancia larval y de biomasa de zooplancton, por posibles efectos de retención entre los polos, donde la zona de convergencia presentó las mayores velocidades geostróficas (velocidad geostrófica  $\sim -28$  cm/s). *D. laternatus* fue la especie más abundante del hábitat concentrándose en aguas poco oxigenadas (<1mL/L).

El “hábitat margen” se localizó en los márgenes del dipolo en zonas con velocidades  $< -20$  cm/s, donde se registró la menor abundancia larval y riqueza específica. *Bathylagoides wesethi* y *Bregmaceros* sp. fueron las especies dominantes, que por su distribución, estuvieron también en aguas poco oxigenadas.

## LITERATURA CITADA

Afanasyev, Y. D. & I. A. Filippov. 1996. Generation of intermediate water vortices in a rotating stratified fluid: Laboratory model. J. Geophys. Res. 101(C8):18,167-18,174.

Ahlnäs, K., T. C. Royer, T. H. George. 1987. Multiple Dipole Eddies in the Alaska Coastal Current Detected With Landsat Thematic Mapper Data. J. Geophys. Res. 92(12):13,041-13,047.

Bakun, R. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage, 105-122. In: Olivar, M. P. & J. J. Govoni (eds.) Recent advances in the study of fish eggs and larvae. Scientia Marina. Barcelona (Spain).

Braak, T. C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. Ecol 67:60-71.

Beers, J. R. 1976. Zooplacnton Fixation and Prevention. Determination of zooplacnton biomass. Volumetric methods In: Steed man, H. F. (eds.) UNESCO Paris 35-84.

Beier, J. E., 1997. A Numerical Investigation of the anual variability in the Gulf of California. J Phys Oceanogr. 27:615-632.

Beier, J. E. & p. Ripa. 1999. Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California. NOTES AND CORRRESPONDECE. J. Phys Oceanogr. 29:305-311.

Bray, J. R. & J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol Monogr. 27(4):326-349.

Carton, X. 2001. Hydrodynamical modeling of oceanic vortices Surv. Geophys. 22:179-263

Castro, R., R. Durazo, A. Mascarenhas, C. A. Collins & A. Trasviña. 2006. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. Deep-Sea Res. I(53):188-200.

Clarke, K. R. 1988. Detecting change in benthic community structure. 131-142 in R. Oger (ed.) Proceedings of invited papers, fourteenth international biometric conference, Namour, Belgium. Société Adolphe Quélet, Gembloux, Belgium. [560, 561, 562, 563]

Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. Aust. J. Ecol. 18, 117-143.

Clarke, K. R. & R. M. Warwick. 2001. Change in marine communities: An approach to Statistical Analysis and Interpretation, 2nd edn PRIMER-E Plymouth

Contreras-Catala, F., L. Sánchez-Velasco, M. F. Lavín & V. M. Godínez. 2012. Three-dimensional distribution of larval fish assemblages in an anticyclonic eddy in a semi-enclosed sea (Gulf of California). J. Plankton Res. 35(6):548-562.

Danell-Jiménez, A., L. Sánchez-Velasco, M. F. Lavín, S. G. Marinone. 2009. Three-dimensional distribution of larval fish assemblages across a surface thermal/chlorophyll front in a semienclosed sea. Estuar. Coast. Shelf S. 85:487-496.

Emilsson, I. & M. A. Alatorre. 1997. Evidencias de un remolino ciclónico en la parte sur del Golfo de California, 173-182. En: Lavín, M. F. (ed.) Contribuciones de la Oceanografía en Física en México, Monog. N° 3. Unión Geofísica Mexicana.

Fedorov, K. N. & A. I. Ginzburg. 1986. Mushroom-like currents (vortex dipole) in the ocean and in the Laboratory tank. Ann. Geophys. 4. B. 5. 507-516.

Fedorov, K. N. & A. I. Ginzburg. 1989. Mushroom-like current (vortex dipoles) one of the most widespread forms of non-stationary coherent motions in the ocean. In: Jacques, C. J., Nihoul and M. B. Jamart (eds.) Mesoscale/Synoptic coherent structures in geophysical turbulence. Elsevier Oceanography Series.

Fiedler, P. C. 1986. Offshore entrainment of anchovy spawning habitat, eggs, and larvae by displaced eddy in 1985. CalCOLFI Report. XXVII 144-152.

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

García de León, L. A. 1988. Generalidades del análisis de cúmulos y análisis de componentes principales. Inst. de Geografía. UNAM. 29 p.

Ginzburg, A. I., y K. N. Fedorov. 1984a. The evolution of a mushroom-formed current in the ocean. Dokl. Akad Nauk. SSSR, 274:481-484.

Ginzburg, A. I., y K. N. Fedorov. 1984b. Evolution of mushroom-like current i the ocean, Dokl. Acad. Sci. USSR, 276(2)481-484.

Ginzburg, A. I. y K. N. Fedorov. 1984c. Some consistencies in the development of mushroom-like currents in te ocean revealed by analysis of space imagery. Issled Zemli iz Kosmosa. Earth Res. From Space in Russian 6:3-13.

Ginzburg, A. I. 1992. Nonstationary eddy motions in the ocean. Oceanology 36(6)689-694.

Godínez, V. M., E. Beier, M. F. Lavín y J. A. Kurczyn. 2010. Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observations. J. Geophys. Res. 115:1-15 C04007, doi:10.1029/2009JC005705.

Hamman, M. G., T. R. Baumgartner, & A., Bandan-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. CalCOFI Report. XXIX 102-109.

Hare, J. A., J. H. Churchill, R. K. Cowen, T. J. Berger, P. C. Cornillon, P. Dragos, S. M. Glenn, J. J. Govoni & T. L. Lee. 2002. Routes and rates of larval fish transport from the southeast to the Northeast United Continental Shelf. Limnol. Oceanogr. 47(6):1774-1789.

Harrison, S. C., D. A. Siegel, S. Mitarai. 2013. Filamentation and eddy-eddy interactions in marine larval accumulation and transport. Mar. Ecol. Prog. Ser. 472:27-44.

Horstmann, U. 1983. Distribution patterns of temperature and water colour in the Baltic Sea as recorded in satellite images: indicators for phytoplankton growth. Berich. Inst. Meereskunde. Christian-Albrechts-Universitat (Kiel) 106-147.

Inda-Díaz. E., L. Sánchez-Velasco & M. F. Lavín. 2010. Three-dimensional distribution of small pelagic fish larvae (*Sardinops sagax* and *Engraulis mordax*) in a tidal-mixing front and surrounding waters (Gulf of California). J. Plankton Res. 00(0):1-14.

Ikeda, M. L. & W. J. Emery. 1984a. Satellite observations and modeling of meanders in the California Current system off Vancouver Island. J. Phys. Oceanogr. 14:1434-1450.

Ikeda, M. L. & W. J. Emery. 1984b. Observation and modeling of satellite-sensed meanders and eddies off Vancouver Island J. Phys. Oceanogr. 14:3-21.

Ivanov, A. Y. & A. I. Ginzburg. 2002. Oceanic eddies in synthetic aperture radar images. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.) 111(3):281-295.

Karuppasamy. P. K., C. M. Lalu-Raj, K. R. Maruleedharan y M. Nair. 2011. Myctophid and pelagic shrimp assemblages in the oxygen minimum zone of the Adaman Sea during the winter monsoon. Indian J. Geo-Mar. Sci. 40(4): 535-541.

Kloosterziel, R. C., G. F. Carnevale & D. Philippe. 1993. Propagation of barotropic dipoles over topography in a rotating tank. Dynam Atmos. Oceans. 19:65-100.

Kozlov, V. F., V. G. Makarov. 1985. Hydrodynamic model of the formation of "mushroom-like" currents in the ocean. Dokl Acad. Sci. USSR (in Russian) 281:1213-1215.

Kramer, D.M., J. Kalin, E. G. Stevens, J. R. Trailkill y R. Zweifel. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 370,38 p.

Landaeta, F. F. y R. Castro. 2002. Sprign spawning and early nursery zone of the mesopelagic fish *Maurollicus parvipinnis* at the coastal upwelling zone off Talcahuano, central Chile. Mar Ecol Prog Ser. 226:179-191.

Landaeta, F. F., R. Veas, J. Letelier y L. R. Castro. 2008. Larva fish assemblages off central Chile upwelling ecosystem. Rev. Biol. Mar Oceanog. 43(3):569-584.

Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment, In: R. Lasker (ed.) Marine fish larvae: morphology, ecology and relation to fisheries. Wash. Sea Grant Program, University of Washington Press. 80-80 pp.

Lavín, M. F. y S. G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California, 173-204. In: Velasco-Fuentes et al. (Eds.), Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. Kluwer Academic Publishers.

Lavín, M. F., R. Castro, E. Beier, V. M. Godínez, A. Amador, y P. Guest. 2009. SST, thermohaline structure, and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. J. Geophys. Res. 114:1-22 C02025, doi:10.1029/2008JC004896.

Lindo-Atichati, D., F. Bringas, G. Goni, B. Muhling, f. e. Muller-Karger y S. Habtes. 2012. Varying mesoscale structures influence larval fish distribution in the northern Gulf of Mexico. Mar Ecol Prog Ser. 463:245-257.

Lobel, P. S. y A. R. Robinson. 1986. Transport and entrapment of fish larvae by ocean Mesoscale eddies and currents in Hawaiian waters. Deep-Sea Res. 33(4):483-500.

Lobel, P. S. y A. R. Robinson. 1988. Larval fishes and zooplankton in a cyclonic eddy in Hawaiian waters. J. Plankton Res. 10(6):1209-1223

Logerwell, E. A. y P. E. Smith. 2001. Mesoscale eddies and survival of late stage Pacific sardine (*Sardinops sagax*) larvae. Fish. Oceanogr. 10:1:13-25.

Marinone, S. G., M. L. Ulloa, A. Parés-Sierra, M. F. Lavín y R. Cudney-Bueno. 2008. Connectivity in the northern Gulf of California from particle tracking in a three-dimensional numerical model. J. Marine Syst. 71:149-158.

Meunier, T., E. D. Barton, B. Barreiro y R. Torres. 2012. Upwelling filaments off Cap Blanc: Interaction of the NW African upwelling current and the Cape Verde frontal zone eddy field. J. Geophys Res. 117, C08031. doi:10.1029/2012JC007905.

Mied, R. P., J. C. McWilliams y G. J. Lindemann. 1991. The Generation and Evolution of Mushroom-like Vortices. J. Phys. Oceanogr. 21:489-510.

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. CalCOLFI Report. 17:112-128.

Moser, H. G. 1996. The early stages of fishes in the California Current región. In: California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Atlas no. 33, NOAA-NMF-SFSC. Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas.

Muhling, B. A., L. E. Beckley y M. P. Olivar. 2007. Ichthyoplankton assemblage structure in two meso-scale Leeuwin Current eddies. Eastern Indian Ocean. Deep-Sea Res. II 54:1113-1128.

Orlanski, I., 1975: A rational subdivisión of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteor. Soc. 56:527-530.

Parrish, R., 1999. Marine reserves for fisheries management: Why not. Pacific Fisheries Environmental Laboratory. National Marine Fisheries Service. CalCOFI Rep., 40.

Palláz-Sánchez, E., y A. Viúdez. 2006. Three-Dimensional ageostrophic motion in mesoscale vortex dipoles. J. Phys Oceanogr. (37):84-105.

Pegau, W. S., E. Boss y A. Martínez. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. Geophys. Res. Lett. 29(9):1-3.

Piontkovski, S. A., R. Williamx, W. Peterson y V. K. Kosnirev. 1995. Relationship between oceanic mesozooplankton and energy of eddy field. Mar. Ecol. Prog. Ser. 128:35-41.

Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pac. Sci. XII 21-25.

Rodríguez, J. M., E. D. Barton, S., S. Hernández-León y J. Arístegui. 2004. The influence of Mesoscale physical processes on the larval fish community in the Canaries CTZ, in summer. Prog. in Oceanogr. 62:171-188.

Rodríguez, J. M., S. Hernández-León, E. D. Barton. 2006. Vertical distribution of fish larvae in the Canaries-African coastal transition zone in summer. Mar. Biol. DOI 10.1007/s00227-006-0270-z.

Rohlf, J. K. y R. R. Sokal. 1969. Statistical tables In: Introduction to Biostatistics. New York, W. H. Freeman (ed.) 253 p.

Ruijter, W. P. M., H. M. van Aken, E. J. Beier, J. R. E. Lutjeharms, R. P. Matano y M. W. Schouten. 2004. Eddies and dipoles around South Madagascar: formation, pathways and large-scale impact. Deep-Sea Res. I (51):383-400.

Sabatés, A. y M. P. Olivar. 1996. Variation of larval fish distributions associated with variability in the location of a shelf-slope front. Mar. Ecol. Prog. Ser. 135:11-20.

Sabatés, A., M. P. Olivar, J. Salat, I. Palomera, F. Alemany. 2007. Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. Prog. Oceanogr. 74:355-376.

Sánchez-Velasco, L. & C. Flores-Coto. 1994. Larval fish assemblages at the Yucatán Shelf and in the Mexican Caribbean Sea during the upwelling period (Spring, 1985) Sci. Mar. 58(4):289-297.

Sánchez-Velasco, L., C. Avalos-García, M. Rentería-Cano, B. Shirasago. 2004. Fish larvae abundance and distribution in the central Gulf of California during strong environmental changes (1997-1998 El Niño and 1998-1999 La Niña). Deep-Sea Res. II 51:711-722.

Sánchez-Velasco, L., E. Beier, C. Ávalos-García & M. F. Lavín. 2006. Larval fish assemblages and geostrophic circulation in Bahía de La Paz and the surrounding southwestern región of the Gulf of California. J. Plankton Res. 28(II):1081-1098.

Sánchez-Velasco L., M. F. Lavín, S. P. A. Jiménez-Rosenberg, V. M. Godínez, E. Santamaría-del-Angel, D. U. Hernández-Becerril. 2013. Three-dimensional distribution of fish larvae in a cyclonic eddy in the Gulf of California during summer. Deep-Sea Res. I 75:39-51

Siegel, S. & N. J. Castellan. 1988. Non-parametric Statistics for the Behavioral Sciences. McGraw-Hill International (ed.) Statistics Series.

Smith, P. E. & S. L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para la prospección de huevos y larvas de peces pelágico. FAO. Documentos Técnicos de Pesca N° 175. 107 p.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1985. Biometry. Ed. Blume. Barcelona, España. 587 p.

Vaillancourt, R. D., J. Marra, M. P. Seky, M. L. Parsons & R. R. Bidigre. 2003. Impact of cyclonic eddy on phytoplankton community structure and photosynthetic competency un the subtropical North Pacific Ocean. Deep-Sea Res. I 50:829-847.

Vastano, A. C. & R.L. Bernstein. 1984. Mesoscale features along the first Oyashio intrusion. J. Geophys. Res. 89 C1:587-596.

Viúdez, A. 2008. The stationary frontal wave packet spontaneously generated in mesoscale dipole. J. Phys Oceanogr. 38:243-256.

Zamudio, L., P. Hogan & E. J. Metzger, 2008. Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train. J. Geophys. Res. 113 1-21 C06020, doi:10.1029/2007JC004467.

## ANEXO I

### COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE LARVAS DETERMINADOS EN EL DIPOLO (JULIO 2010)

| Familias               | Géneros      | Taxones   |
|------------------------|--------------|---|
| <b>Ammodytidae</b>     | Ammodytoides | <i>Ammodytoides gilli</i>   |
| <b>Antennariidae</b>   | Antennarius  | <i>Antennarius avalonis</i>   |
| <b>Apogonidae</b>      | Apogon       | <i>Apogon guadalupensis</i><br><i>Apogon sp.</i>  |
| <b>Aulopidae</b>       | Aulopus      | <i>Aulopus bajacali</i>   |
| <b>Bathylagidae</b>    | Bathylagus   | <i>Bathylagus bericoides</i><br><i>Bathylagoides wesethi</i>  |
| <b>Bothidae</b>        | Bothus       | <i>Bothus leopardinus</i>   |
|                        | Engyophrys   | <i>Engyophrys sanctilaurentia</i>   |
|                        | Monolene     | <i>Monolene asaedai</i>   |
| <b>Bregmacerotidae</b> | Bregmaceros  | <i>Bregmaceros bathymaster</i><br><i>Bregmaceros sp.</i>  |
| <b>Carangidae</b>      | Caranx       | <i>Caranx sexfasciatus</i><br><i>Caranx caballus</i>  |
|                        | Selene       | <i>Selene brevoortii</i>  |
|                        | Selar        | <i>Selar crumenophthalmus</i>   |
|                        | Naucrates    | <i>Naucrates sp.</i>  |
| <b>Carapidae</b>       | Echiodon     | <i>Echiodon exsilium</i>  |
|                        | Encheliophis | <i>Encheliophis dubius</i>  |
| <b>Caristiidae</b>     | Caristius    | <i>Caristius maderensis</i>   |
| <b>Chiasmodontidae</b> | Chiasmodon   | <i>Chiasmodon niger</i>   |
| <b>Congridae</b>       | Bathycongrus | <i>Bathycongrus macrurus</i><br><i>Congridae Tipo 1</i>   |
| <b>Coryphaenidae</b>   | Coryphaena   | <i>Coryphaena equiselis</i><br><i>Coryphaena hippurus</i>   |
| <b>Cynoglossidae</b>   | Symphurus    | <i>Symphurus callopterus</i><br><i>Symphurus elongatus</i><br><i>Symphurus gorgonae</i><br><i>Symphurus oligomerus</i><br><i>Symphurus williamsi</i><br><i>Symphurus sp.</i><br><i>Cynoglossidae Tipo 1</i> |

|                        |                 |  |
|------------------------|-----------------|--|
|                        |                 | Cynoglossidae Tipo 1   |
| <b>Eleotridae</b>      |                 | Eleotridae Tipo 1  |
|                        |                 | Eleotridae Tipo 2  |
| <b>Exocoetidae</b>     | Exocoetus       | <i>Exocoetus volitans</i>  |
|                        | Cheilopogon     | <i>Cheilopogon pinnatibarbus</i>   |
| <b>Fistulariidae</b>   | Fistularia      | <i>Fistularia commersonii</i>  |
| <b>Gerreidae</b>       | Diapterus       | <i>Diapterus peruvianus</i>  |
| <b>Gigantactinidae</b> | Gigantactis     | <i>Gigantactis</i> spp.  |
| <b>Gobidae</b>         |                 | Gobidae Tipo 1   |
| <b>Gonostomatidae</b>  | Cyclothone      | <i>Cyclothone acclinidens</i>  |
|                        | Diplophos       | <i>Diplophos proximus</i>  |
| <b>Haemulidae</b>      | Anisotremus     | <i>Anisotremus davidsonii</i>  |
|                        | Haemulon        | <i>Haemulon californiense</i>  |
| <b>Hemiramphidae</b>   | Euleptorhamphus | <i>Euleptorhamphus viridis</i>   |
|                        | Hyporhamphus    | <i>Hyporhamphus rosae</i>  |
|                        | Oxyporhamphus   | <i>Oxyporhamphus micropterus</i><br><i>micropterus</i>                                       |
| <b>Labridae</b>        | Thalassoma      | <i>Thalassoma</i> sp.  |
|                        | Xyrichtys       | <i>Xyrichtys mundiceps</i><br><i>Xyrichtys</i> sp.   |
|                        |                 | Labridae Tipo 1  |
|                        |                 | Labridae Tipo 1  |
| <b>Linophrynidae</b>   | Borophyrne      | <i>Borophyrne apogon</i>   |
| <b>Lophiidae</b>       | Lophiodes       | <i>Lophiodes caulinare</i>   |
| <b>Lutjanidae</b>      | Lutjanus        | <i>Lutjanus argentiventris</i><br><i>Lutjanus guttatus</i><br><i>Lutjanus novemfasciatus</i> |
| <b>Malacosteidae</b>   | Aristostomias   | <i>Aristostomias scintillans</i>   |
| <b>Melamphidae</b>     | Melamphaes      | <i>Melamphaes</i> sp.  |
|                        | Scopelogadus    | <i>Scopelogadus mizolepis</i><br><i>bispinosus</i>   |
| <b>Melanostomiidae</b> | Bathophilus     | <i>Bathophilus filifer</i>   |
| <b>Merlucciidae</b>    | Merluccius      | <i>Merluccius angustimanus</i>   |
| <b>Mugilidae</b>       | Mugil           | <i>Mugil cephalus</i>  |
| <b>Myctophidae</b>     | Diaphus         | <i>Diaphus pacificus</i>   |
|                        | Diogenichthys   | <i>Diogenichthys laternatus</i>  |
|                        | Hygophum        | <i>Hygophum atratum</i>  |
|                        | Benthoosema     | <i>Benthoosema panamense</i>   |
|                        | Lampanyctus     | <i>Lampanyctus parvicauda</i>  |

|                        |                 |                                      |
|------------------------|-----------------|--------------------------------------|
|                        | Myctophum       | <i>Myctophum aurolaternatum</i>      |
|                        | Nannobranchium  | <i>Nannobranchium</i> sp.            |
|                        | Triphoturus     | <i>Triphoturus mexicanus</i>         |
| <b>Nomeidae</b>        | Cubiceps        | <i>Cubiceps pauciradiatus</i>        |
|                        | Psenes          | <i>Psenes pellucidus</i>             |
|                        |                 | <i>Psenes sio</i>                    |
| <b>Ophichthidae</b>    |                 | Nomeidae Tipo 1                      |
| <b>Ophidiidae</b>      | Brotula         | <i>Brotula</i> sp.                   |
|                        | Lepophidium     | <i>Lepophidium negropinna</i>        |
| <b>Paralepididae</b>   | Lestidiops      | <i>Lestidiops neles</i>              |
| <b>Paralichthyidae</b> | Citharichthys   | <i>Citharichthys gordae</i>          |
|                        |                 | <i>Citharichthys plathophrys</i>     |
|                        | Syacium         | <i>Syacium ovale</i>                 |
|                        | Cyclopsetta     | <i>Cyclopsetta panamensis</i>        |
|                        | Etropus         | <i>Etropus crossotus</i>             |
|                        |                 | Paralichthyidae Tipo 1               |
|                        |                 | Paralichthyidae Tipo 1               |
| <b>Phosichthyidae</b>  | Vinciguerria    | <i>Vinciguerria lucetia</i>          |
| <b>Pomacentridae</b>   | Abudefduf       | <i>Abudefduf troschellii</i>         |
|                        | Chromis         | <i>Chromis</i> sp.                   |
|                        | Stegastes       | <i>Stegastes rectifraenum</i>        |
| <b>Scianidae</b>       | Umbrina         | <i>Umbrina roncadorensis</i>         |
| <b>Scombridae</b>      | Auxis           | <i>Auxis</i> sp.                     |
|                        | Scomber         | <i>Scomber japonicus</i>             |
| <b>Scopelarchidae</b>  | Scopelarchoides | <i>Scopelarchoides nicholsi</i>      |
| <b>Scorpaenidae</b>    | Pontinus        | <i>Pontinus</i> sp.                  |
|                        | Scorpaena       | <i>Scorpaena guttata</i>             |
|                        | Scorpaenodes    | <i>Scorpaenodes xyris</i>            |
| <b>Serranidae</b>      | Diplectrum      | <i>Diplectrum</i> sp.                |
|                        | Hemanthias      | <i>Hemanthias signifer</i>           |
|                        |                 | <i>Hemanthias</i> sp.                |
|                        | Paralabrax      | <i>Paralabrax maculatofasciatus</i>  |
|                        | Paranthias      | <i>Paranthias colonus</i>            |
|                        | Pronotogrammus  | <i>Pronotogrammus multifasciatus</i> |
|                        | Pseudogramma    | <i>Pseudogramma thaumasium</i>       |
|                        | Serranus        | <i>Serranus</i> sp.                  |
| <b>Stomiidae</b>       | Stomias         | <i>Stomias atriventer</i>            |
| <b>Synodontidae</b>    | Synodus         | <i>Synodus lucioceps</i>             |

**Trachipteridae**

Zu

*Zu cristatus*

**Trichiuridae**

Lepidopus

*Lepidopus fitchi*

**Triglidae**

Prionotus

*Prionotus ruscarius*

## ANEXO II

### ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA EL HÁBITAT SUPERFICIAL DEL DIPOL

Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat superficial”. Hábitat del adulto: D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical.

| TAXONES                             | AB. PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO    | JERARQUIA | HÁBITAT | AFINIDAD |
|-------------------------------------|---|-------|-----------|---------|----------|
| <i>Vinciguerria lucetia</i>         | 27.78                                   | 100.0 | D         | BP-MP   | Tr-Str   |
| <i>Auxis</i> sp.                    | 9.31                                    | 56.25 | D         | EP      | Tr       |
| <i>Benthoosema panamensis</i>       | 5.48                                    | 34.38 | D         | MP      | Tr       |
| <i>Diogenichthys laternatus</i>     | 3.67                                    | 59.38 | D         | MP      | Tr       |
| <i>Syacium ovale</i>                | 3.31                                    | 25.00 | D         | D       | Tr       |
| <i>Symphurus williamsi</i>          | 3.27                                    | 18.75 | D         | D       | Tr       |
| <i>Cubiceps pauciradiatus</i>       | 1.34                                    | 12.50 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Pronotogramus multifasciatus</i> | 1.34                                    | 31.25 | C         | D       | Str      |
| <i>Diplectrum</i> sp.               | 1.21                                    | 15.63 | C         | D       | Tr-Str   |
| <i>Lampanyctus parvicauda</i>       | 1.17                                    | 37.50 | C         | MP      | Tr       |
| <i>Diaphus pacificus</i>            | 1.14                                    | 21.88 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Xyrichtys mundiceps</i>          | 0.94                                    | 12.50 | C         | D       | Tr       |
| <i>Bothus leopardinus</i>           | 0.87                                    | 28.13 | C         | D       | Tr       |
| <i>Myctophum aurolaternatum</i>     | 0.83                                    | 15.63 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Psenes sio</i>                   | 0.81                                    | 28.13 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Serranus</i> sp.                 | 0.72                                    | 12.50 | C         | ND      | Tr       |
| <i>Hygophum atratum</i>             | 0.71                                    | 12.50 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Sinodus lucioceps</i>            | 0.65                                    | 12.50 | C         | D       | Str      |
| <i>Apogon</i> sp.                   | 0.50                                    | 12.50 | C         | D       | Str      |
| <i>Abudefduf troschelii</i>         | 2.23                                    | 9.38  | O         | D       | Tr       |
| <i>Coryphaena equiselis</i>         | 2.14                                    | 9.38  | O         | MP-BP   | Str      |
| <i>Etropus crossotus</i>            | 1.84                                    | 3.13  | O         | D       | Str      |
| <i>Citharichthys plathophrys</i>    | 1.59                                    | 9.38  | R         | D       | Tr       |
| <i>Euleptorhamphus viridis</i>      | 1.35                                    | 3.13  | R         | D       | Tr       |
| <i>Ammodytoides gilli</i>           | 1.28                                    | 3.13  | R         | D       | Tr       |
| <i>Caranx caballus</i>              | 1.21                                    | 6.25  | R         | EP      | Str      |
| <i>Hemanthias</i> sp.               | 1.09                                    | 6.25  | R         | D       | Str      |
| <i>Paranthias colonus</i>           | 1.09                                    | 6.25  | R         | D       | Tr       |
| <i>Bregmaceros</i> sp.              | 0.96                                    | 6.25  | R         | EP      | Tr-Str   |
| <i>Symphurus</i> sp.                | 0.92                                    | 3.13  | R         | D       | Tr       |

|   |      |      |   |       |        |
|---|------|------|---|-------|--------|
| <i>Bathylagoides wesethi</i>                | 0.90 | 3.13 | R | BP    | Str    |
| <i>Borophryne apogon</i>                    | 0.90 | 3.13 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Serranus</i> sp.                         | 0.79 | 6.25 | R | ND    | Tr     |
| <i>Oxyporhampus micropterus micropterus</i> | 0.79 | 9.38 | R | D     | Tr     |
| <i>Scorpaenodes xyris</i>                   | 0.75 | 9.38 | R | D     | Str    |
| <i>Lestidiops neles</i>                     | 0.75 | 9.38 | R | MP    | Tr     |
| <i>Scopelogadus mizolepis bispinosus</i>    | 0.68 | 6.25 | R | BP    | Tr     |
| <i>Scopelarchoides nicholsi</i>             | 0.68 | 6.25 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Coryphaena hippurus</i>                  | 0.67 | 6.25 | R | EP    | Str    |
| <i>Citharichthys gordae</i>                 | 0.66 | 6.25 | R | D     | Tr     |
| <i>Fistularia commersonii</i>               | 0.65 | 3.13 | R | D     | Tr     |
| <i>Brotula</i> sp.                          | 0.65 | 3.13 | R | BP    | Tr     |
| <i>Lutjanus novemfasciatus</i>              | 0.65 | 3.13 | R | D     | Tr-Str |
| <i>Aristomias scintillans</i>               | 0.65 | 3.13 | R | BP    |        |
| <i>Scorpaena guttata</i>                    | 0.65 | 6.25 | R | D     | Str    |
| <i>Scomber japonicus</i>                    | 0.64 | 3.13 | R | BP    | Str    |
| <i>Symphurus elongatus</i>                  | 0.63 | 9.38 | R | D     | Tr     |
| <i>Hyporhamphus rosae</i>                   | 0.62 | 6.25 | R | EP-BT | Str    |
| <i>Cyclothone acclinidens</i>               | 0.55 | 3.13 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Apogon guadalupensis</i>                 | 0.50 | 6.25 | R | D     | Str    |
| <i>Selar crumenophthalmus</i>               | 0.50 | 3.13 | R | D     | Str    |
| <i>Diplophos proximus</i>                   | 0.46 | 3.13 | R | BP    | Tr     |
| <i>Pontinus</i> sp.                         | 0.46 | 3.13 | R | D     | Tr     |
| <i>Antennarius avalonis</i>                 | 0.45 | 3.13 | R | D     | Str    |
| <i>Symphurus callopterus</i>                | 0.45 | 6.25 | R | D     | Tr     |
| <i>Monolene asaedai</i>                     | 0.43 | 6.25 | R | D     | Tr     |
| <i>Cyclopsetta panamensis</i>               | 0.41 | 9.38 | R | D     | Tr     |
| <i>Mugil cephalus</i>                       | 0.41 | 6.25 | R | EP    | Str    |
| <i>Exocoetus volitans</i>                   | 0.39 | 3.13 | R | EP    | Str    |
| <i>Haemulon californiense</i>               | 0.38 | 3.13 | R | D     | Str    |
| <i>Stomias atriventer</i>                   | 0.36 | 3.13 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Aulopus bajacali</i>                     | 0.30 | 3.13 | R | D     | Str    |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Número de taxa</b>  | <b>63</b>     |
| <b>Número de estratos</b>                                      | <b>32</b>     |
| <b>Abundancia promedio de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>  | <b>156</b>    |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> | <b>357.26</b> |

## ANEXO III

### ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA EL HÁBITAT CONVERGENCIA DEL DIPOLO

Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat convergencia”. Hábitat del adulto: D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical.

| TAXONES                                  | AB. PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO    | JERARQUIA | HÁBITAT | AFINIDAD |
|--|---|-------|-----------|---------|----------|
| <i>Diogenichthys laternatus</i>          | 31.77                                   | 100   | D         | MP      | Tr       |
| <i>Vinciguerria lucetia</i>              | 16.47                                   | 87.18 | D         | BP-MP   | Tr-Str   |
| <i>Auxis</i> sp.                         | 4.8                                     | 17.95 | D         | EP      | Tr       |
| <i>Hygophum atratum</i>                  | 2.54                                    | 41.03 | D         | BP      | Tr       |
| <i>Benthoosema panamensis</i>            | 2.37                                    | 25.64 | D         | MP      | Tr       |
| <i>Triphoturus mexicanus</i>             | 1.98                                    | 17.95 | C         | MP      | Str      |
| <i>Symphurus williamsi</i>               | 1.96                                    | 15.38 | C         | D       | Tr       |
| <i>Myctophum aurolaternatum</i>          | 1.47                                    | 23.08 | C         | MP      | Tr       |
| <i>Diaphus pacificus</i>                 | 1.35                                    | 25.64 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Psenes sio</i>                        | 1.29                                    | 15.38 | C         | EP      | Tr       |
| <i>Scopelarchoides nicholsi</i>          | 1.17                                    | 33.33 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Lampanictus parvicauda</i>            | 1.11                                    | 20.51 | C         | MP      | Tr       |
| <i>Stomias atriventer</i>                | 1.07                                    | 17.95 | C         | BP      | Tr       |
| <i>Bregmaceros</i> sp.                   | 1.06                                    | 46.15 | C         | EP      | Tr-Str   |
| <i>Bathylagoides wesethi</i>             | 0.97                                    | 35.9  | C         | BP      | Str      |
| <i>Sinodus lucioceps</i>                 | 0.95                                    | 17.95 | C         | D       | Str      |
| <i>Hyporhamphus rosae</i>                | 2.29                                    | 2.56  | R         | EP-BP   | Str      |
| <i>Symphurus</i> sp.                     | 2.06                                    | 5.13  | R         | D       | Tr       |
| <i>Lestidiops neles</i>                  | 1.63                                    | 10.26 | R         | MP      | Tr       |
| <i>Aulopus bajacali</i>                  | 1.23                                    | 5.13  | R         | D       | Str      |
| <i>Psenes pellucidus</i>                 | 1.15                                    | 10.26 | R         |         |          |
| <i>Syacium ovale</i>                     | 1.05                                    | 7.69  | R         | D       | Tr       |
| <i>Scopelogadus mizolepis bispinosus</i> | 1.02                                    | 12.82 | R         | BP      | Tr       |
| <i>Ammodytoides gilli</i>                | 1.01                                    | 10.26 | R         | D       | Tr       |
| <i>Echiodon exsiliium</i>                | 0.9                                     | 5.13  | R         | D       | Tr       |
| <i>Zu cristatus</i>                      | 0.86                                    | 2.56  | R         | BP      | Tr       |
| <i>Citharichthys plathophrys</i>         | 0.84                                    | 7.69  | R         | D       | Tr       |
| <i>Bothus leopardinus</i>                | 0.84                                    | 7.69  | R         | D       | Tr       |
| <i>Haemulon californiense</i>            | 0.8                                     | 5.13  | R         | D       | Tr       |
| <i>Chiasmodon niger</i>                  | 0.8                                     | 7.69  | R         | D       | Tr-Str   |

|                                      |      |       |   |    |        |
|--------------------------------------|------|-------|---|----|--------|
| <i>Scorpaenodes xyris</i>            | 0.76 | 5.13  | R | D  | Str    |
| <i>Borophryne apogon</i>             | 0.75 | 2.56  | R | BP | Tr-Str |
| <i>Selar crumenophthalmus</i>        | 0.75 | 2.56  | R | D  | Str    |
| <i>Cubiceps pauciradiatus</i>        | 0.7  | 10.26 | R | BP | Tr     |
| <i>Hemanthias</i> sp.                | 0.69 | 2.56  | R | D  | Str    |
| <i>Citharichthys gordae</i>          | 0.68 | 10.26 | R | D  | Tr     |
| <i>Serranus</i> sp.                  | 0.67 | 2.56  | R | ND | Tr-Str |
| <i>Diplectrum</i> sp.                | 0.63 | 5.13  | R | D  | Tr-Str |
| <i>Engyophrys sanctilaurentii</i>    | 0.59 | 2.56  | R | D  | Tr     |
| <i>Antennarius avalonis</i>          | 0.57 | 2.56  | R | D  | Str    |
| <i>Etropus crossotus</i>             | 0.53 | 5.13  | R | D  | Str    |
| <i>Pronotogrammus multifasciatus</i> | 0.51 | 2.56  | R | D  | Str    |
| <i>Lepophidium negropinna</i>        | 0.49 | 2.56  | R | D  | Tr     |
| <i>Thalassoma</i> sp.                | 0.46 | 5.13  | R | D  | Tr     |
| <i>Monolene asaedai</i>              | 0.43 | 2.56  | R | D  | Tr     |
| <i>Euleptorhamphus viridis</i>       | 0.33 | 2.56  | R | D  | Tr     |
| <i>Fistularia commersonii</i>        | 0.33 | 2.56  | R | D  | Tr     |
| <i>Mugil cephalus</i>                | 0.33 | 2.56  | R | EP | Str    |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Número de taxa</b>  | <b>49</b>     |
| <b>Número de estratos</b>                                      | <b>50</b>     |
| <b>Abundancia promedio de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>  | <b>173</b>    |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> | <b>188.28</b> |

## ANEXO IV

### ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA EL HÁBITAT MARGEN DEL DIPOLO

Jerarquización de los taxones de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (solo dominantes y constantes) para el “hábitat margen”. Hábitat del adulto: D=Demersal; MP=Mesopelágico; BP=Batipelágico; EP=Epipelágico; ND=No determinado. Afinidad zoo-geográfica del Adulto: Tr=Tropical; Str=Subtropical.

| TAXONES                             | AB.PROM.<br>(larvas/10m <sup>2</sup> ) | FO    | JERARQUIA | HÁBITAT | AFINIDAD |
|-------------------------------------|--|-------|-----------|---------|----------|
| <i>Bathylagoides wesethi</i>        | 5.70                                   | 12.20 | D         | BP      | Str      |
| <i>Vinciguerria lucetia</i>         | 7.13                                   | 73.17 | D         | BP-MP   | Tr-Str   |
| <i>Diogenichthys laternatus</i>     | 4.38                                   | 56.10 | D         | MP      | Tr       |
| <i>Auxis</i> sp.                    | 3.86                                   | 12.20 | D         | EP      | Tr       |
| <i>Lutjanus novemfasciatus</i>      | 2.59                                   | 2.44  | D         | D       | Tr-Str   |
| <i>Psenes sio</i>                   | 2.45                                   | 9.76  | D         | EP      | Tr       |
| <i>Diaphus pacificus</i>            | 1.99                                   | 9.76  | C         | BP      | Tr       |
| <i>Bregmaceros</i> sp               | 1.38                                   | 12.20 | C         | EP      | Tr       |
| <i>Pronotogramus multifasciatus</i> | 6.26                                   | 2.44  | O         | D       | Str      |
| <i>Diplophos proximus</i>           | 6.00                                   | 2.44  | O         | BP      | Tr       |
| <i>Syacium ovale</i>                | 4.19                                   | 7.32  | O         | D       | Tr       |
| <i>Simphurus williamsi</i>          | 3.82                                   | 4.88  | O         | D       | Tr       |
| <i>Scomber japonicus</i>            | 3.50                                   | 2.44  | O         | BP      | Str      |
| <i>Benthoosema panamensis</i>       | 2.91                                   | 7.32  | O         | MP      | Tr       |
| <i>Brotula</i> sp.                  | 2.84                                   | 2.44  | O         | MP      |          |
| <i>Coryphaena equiselis</i>         | 2.18                                   | 4.88  | O         | MP-BP   | Str      |
| <i>Myctophum aurolaternatum</i>     | 2.07                                   | 7.32  | O         | BP      | Tr       |
| <i>Cubiceps pauciradiatus</i>       | 2.06                                   | 4.88  | O         | BP      | Tr       |
| <i>Scopelarchoides nicholsi</i>     | 1.51                                   | 4.88  | O         | BP      | Tr-Str   |
| <i>Lestidiops neles</i>             | 1.98                                   | 2.44  | R         | MP      | Tr       |
| <i>Exocoetus volitans</i>           | 1.88                                   | 2.44  | R         | EP      | Str      |
| <i>Hemanthias</i> sp.               | 1.88                                   | 2.44  | R         | D       | Tr       |
| <i>Psenes pellucidus</i>            | 1.84                                   | 7.32  | R         | BP      | Tr       |
| <i>Xyrichtys mundiceps</i>          | 1.83                                   | 2.44  | R         | D       | Tr       |
| <i>Pontinus</i> sp.                 | 1.76                                   | 4.88  | R         | D       | Tr       |
| <i>Hygophum atratum</i>             | 1.75                                   | 2.44  | R         | BP      | Tr       |
| <i>Haemulon californiensis</i>      | 1.59                                   | 2.44  | R         | D       | Str      |
| <i>Zu cristatus</i>                 | 1.56                                   | 2.44  | R         | BP      | Tr       |
| <i>Aulopus bajacali</i>             | 1.55                                   | 2.44  | R         | D       | Str      |
| <i>Engyophrys sanctilaurentii</i>   | 1.55                                   | 2.44  | R         | D       | Tr       |

|  |      |      |   |       |        |
|--|------|------|---|-------|--------|
| <i>Scorpaenodes xyris</i>                | 1.55 | 2.44 | R | D     | Str    |
| <i>Triphoturus mexicanus</i>             | 1.55 | 2.44 | R | MP    | Str    |
| <i>Lepophidium negropinna</i>            | 1.51 | 2.44 | R | D     | Tr     |
| <i>Cyclothone acclinidens</i>            | 1.51 | 2.44 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Lampanictus parvicauda</i>            | 1.26 | 4.88 | R | MP    | Tr     |
| <i>Cyclopsetta panamensis</i>            | 1.17 | 2.44 | R | D     | Tr     |
| <i>Etropus crossotus</i>                 | 1.17 | 2.44 | R | D     | Str    |
| <i>Scopelogadus mizolepis bispinosus</i> | 1.17 | 2.44 | R | BP    | Tr     |
| <i>Abudefduf troschelii</i>              | 1.13 | 2.44 | R | D     | Tr     |
| <i>Aristomias atriventer</i>             | 1.01 | 2.44 | R | BP    | Tr-Str |
| <i>Hyporhamphus rosae</i>                | 1.00 | 2.44 | R | EP-BP | Str    |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Número de taxa</b>  | <b>41</b>     |
| <b>Número de estratos</b>                                      | <b>40</b>     |
| <b>Abundancia de larvas (larvas/10m<sup>2</sup>)</b>           | <b>29</b>     |
| <b>Biomasa del zooplancton promedio (mL/1000m<sup>3</sup>)</b> | <b>160.85</b> |