



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



HÁBITATS DE LARVAS DE PECES EN EL  
ALTO GOLFO DE CALIFORNIA EN DOS  
ÉPOCAS CLIMÁTICAS  
JUNIO 2010 Y MARZO 2011

TESIS

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

PRESENTA

FÁTIMA EDITH ORDÓÑEZ GUILLÉN

LA PAZ, B.C.S, JUNIO DEL 2014.



**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 27 del mes de Mayo del 2014 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:

"HÁBITATS DE LARVAS DE PECES EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA  
EN DOS ÉPOCAS CLIMÁTICAS JUNIO 2010 Y MARZO 2011"

Presentada por el alumno:

**ORDÓÑEZ**

Apellido paterno

**GUILLÉN**

materno

**FÁTIMA EDITH**

nombre(s)

Con registro:

A	1	2	0	3	3	7
---	---	---	---	---	---	---

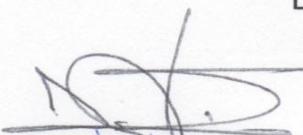
Aspirante de:

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

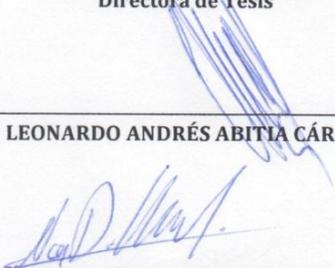
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

  
DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO  
Directora de Tesis

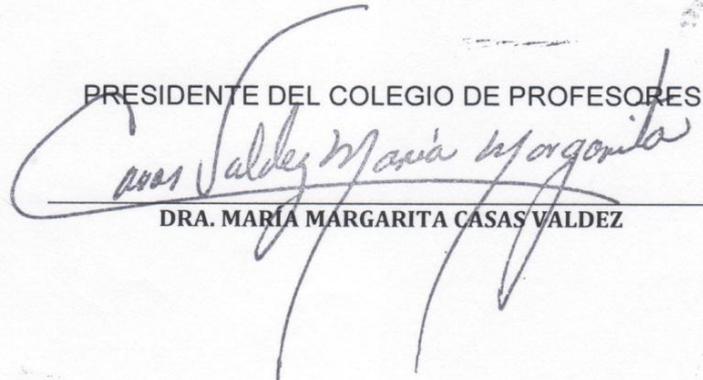
  
DRA. SYLVIA PATRICIA ADELHEID JIMÉNEZ ROSENBERG  
2ª. Directora de Tesis

  
DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS

  
MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

  
DR. NOÉ DÍAZ VILORIA

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 03 del mes Junio del año 2014  
el (la) que suscribe BIÓL. FÁTIMA EDITH ORDÓÑEZ GUILLÉN alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro A120337 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 DRA. SYLVIA PATRICIA ADELHEID JIMÉNEZ ROSENBERG  
y cede los derechos del trabajo titulado:

"HÁBITATS DE LARVAS DE PECES EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA  
EN DOS ÉPOCAS CLIMÁTICAS JUNIO 2010 Y MARZO 2011"

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: feog2704@hotmail.com - lvelasc@ipn.mx - srosenbe@ipn.mx

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

**FATIMA ORDÓÑEZ GUILLÉN**

BIÓL. FÁTIMA EDITH ORDÓÑEZ GUILLÉN

*nombre y firma*

*Dedico esta tesis a los tres hombres de mi vida:*

*A mi papá Pedro Ordóñez Ríos*

*Y a mis dos corazones César (Big Heart) y Lenin (Little Heart)*

*Y como siempre estará implícita en mi vida, Ofelia Guillen*

*Por ustedes y por más...**Aún tengo los sueños INTACTOS.***

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta tesis.

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de la Fundación David y Lucile Packard (contrato no. 2010-36137) y el proyecto de SEP-CONACYT "Asociaciones de larvas de peces, hábitat trófico y su relación con la estructura física en giros del Golfo de California" (No. 105922).

A mis directoras de tesis, Dra. Laura Sánchez Velasco y Dra. Sylvia Patricia Adelheid Jiménez Rosenberg por la confianza depositada en mí, por su paciencia y por el conocimiento transmitido en esta travesía.

A los integrantes de mi comisión revisora: Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas, M. C. Gustavo de la Cruz Agüero y Dr. Noé Díaz Viloría, por el tiempo y acertados comentarios en pro del enriquecimiento de este trabajo.

A los profesores del Departamento de Plancton y Ecología Marina, por transmitir su conocimiento durante las clases y fuera de ellas.

Reitero mi agradecimiento a la Dra. Sylvia Patricia Adelheid Jiménez Rosenberg por su apoyo con los proyectos PIFI: "Larvas de peces de Bahía Vizcaíno durante un evento de intrusión de agua subártica" (No. 20121244) y "Larvas de peces como indicadores de variabilidad ambiental en ecosistemas pelágicos del Pacífico Mexicano" (No. 20131309).

A mis compañeros y amigos del grupo de trabajo: Francisco, Susan, Alicia, Arturo, Rosabel, Amaru, Adalberto, Erick, María José, Javier, Noé e indudablemente a mi maestra querida Rocío, quien siempre mostró disposición para ayudar.

Alguien particularmente importante, que es parte medular de este trabajo: Dr. Miguel Lavín Peregrina que estuvo a cargo del Laboratorio de Circulación Costera del CICESE y del proyecto PANGAS, y a su equipo de trabajo, de manera especial al Dr. Víctor Godínez y Arturo Iván Ocampo ya que de su esfuerzo se derivó la información ambiental reflejada en este estudio.

A la tripulación del buque oceanográfico Francisco de Ulloa, Capitán Pedro, Rosario, Román, Julio, Ramón y a mis inolvidables Ing. Contreras y Tavo "peleonero", por esas pláticas y anécdotas transmitidas para amenizar el tiempo de crucero.

Además, no puedo soslayar el invaluable apoyo del C.P. Humberto Ceseña y César Casas, con los trámites administrativos durante el principio, desarrollo y fin de esta meta personal.

A mis entrañables amigos del CICIMAR: Alicia, Susan, Nidia, Francisco, Jessica N., Anhel, Ivonne, Leyberth, Jatziry, Isabel, Mariana, Carlos, Jessica Chrys, Lizbeth y de forma más cercana a Ulianov y Marisol, y a los de fuera de CICIMAR: Cinthia e Ivan todos ellos en etapas diferentes de mi paso por la maestría sirvieron de aliciente para continuar.

Como siempre quiero agradecer a mi familia, particularmente a mi familia chiquita que es Lenin, hijo querido, tu estuviste desde el comienzo de todo esto, estando dentro de tu cascaron protector llamado barriga de mamá, este logro es 50% tuyo, lo gozaste, lo sufriste TODO conmigo,, de hecho hasta deberías de aventarte el examen de grado ¿no?. Es broma, esto fue, es y será siempre por ti y para ti. Como ejemplo de vida, mi herencia más valiosa, Te Amo Pecaroshi.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
RELACIÓN DE FIGURAS	ii
RELACIÓN DE TABLAS	iv
GLOSARIO	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. HIPÓTESIS	8
4. JUSTIFICACIÓN	8
5. OBJETIVOS	9
5.1 General	9
5.2 Específicos	9
6. ÁREA DE ESTUDIO	10
7. MATERIALES Y MÉTODOS	13
7.1 Trabajo de campo	13
7.2 Trabajo de laboratorio	15
7.3 Análisis estadísticos	16
8. RESULTADOS	21
8.1 Condiciones del ambiente durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California	21
8.2 Distribución y composición de la comunidad de larvas de peces durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California	29
Distribución de la abundancia larval	29
Distribución de los estadios de desarrollo.	29
Composición de la comunidad de larvas de peces	32
Composición taxonómica	34
Composición por familia	34
Composición específica	35
8.3 Determinación de hábitats larvarios	38
Análisis de datos estadísticos	38
Pruebas <i>a priori</i>	38
Prueba U de Mann-Whitney	38
Prueba de Kruskal-Wallis	39
Pruebas <i>a posteriori</i>	40
Índice de similitud de Bray-Curtis	40
MRPP (Multi Response Permutational Procedure)	43
Hábitats larvarios	47
8.4 Relación de los hábitats larvarios del Alto Golfo de California con las condiciones ambientales durante junio del 2010 y marzo del 2011.	52
9. DISCUSIÓN	56
10. CONCLUSIONES	65
11. LITERATURA CITADA	67
12. ANEXOS	76
13. APÉNDICES	79

**RELACIÓN DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Área de estudio. Las líneas transversales muestran los límites de las zonas en las que se divide la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Rio Colorado. N: zona núcleo, A: Zona de amortiguamiento y V: polígono que delimita la zona de refugio de la vaquita marina. Las isolíneas muestran la profundidad en metros. Las estrellas indican la ubicación de las principales poblaciones en el Alto Golfo de California.	12
<b>Figura 2.</b> Red de estaciones de muestreo de los cruceros PANGAS 1006 y PANGAS 1103, realizados a bordo del B/O Francisco de Ulloa.	14
<b>Figura 3.</b> Grafico teórico de la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1969), modificada por García de León (1988), donde se determina la separación de las especies de acuerdo a los valores de abundancia y frecuencia relativas. Tomado de González-Acosta (1998).	19
<b>Figura 4.</b> Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	22
<b>Figura 5.</b> Distribución de la salinidad en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	24
<b>Figura 6.</b> Distribución del oxígeno disuelto en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	25
<b>Figura 7.</b> Distribución de la clorofila a en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	27
<b>Figura 8.</b> Distribución de la biomasa zooplanctónica en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	28
<b>Figura 9.</b> Abundancia larval (larvas/10 m <sup>2</sup> ) en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	30
<b>Figura 10.</b> Proporción de larvas por estadio de desarrollo en los estratos superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011	31
<b>Figura 11.</b> Porcentajes de abundancia larval de acuerdo al ambiente de los adultos en los estratos	33

superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.	
<b>Figura 12.</b> Porcentajes de contribución en la abundancia larval por familia en la columna de agua durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	36
<b>Figura 13.</b> Taxa más abundantes en la columna de agua de los 0 a los 15 m durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	37
<b>Figura 14.</b> Grupos (números romanos) formados durante junio del 2010 en el estrato superficial (0-5 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 10% de frecuencia de aparición.	42
<b>Figura 15.</b> Grupos (números romanos) formados durante marzo del 2011 en el estrato superficial (0-5 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 5% de frecuencia de aparición.	44
<b>Figura 16.</b> Distribución horizontal de los grupos obtenidos a partir del índice de similitud de Bray-Curtis en el estrato superficial (0-5 m) en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	45
<b>Figura 17.</b> Ubicación de hábitats larvarios en el estrato superficial (0-5 m) durante junio del 2010 en el Alto Golfo de California.	48
<b>Figura 18.</b> Ubicación de hábitats larvarios en el estrato superficial (0-5 m) durante marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	49
<b>Figura 19.</b> Distribución de larvas de especies dominantes en el estrato superficial (0-5 m) en junio del 2010 en el Alto Golfo de California.	51
<b>Figura 20.</b> Distribución de larvas de especies dominantes en el estrato superficial (0-5 m) en marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	52
<b>Figura 21.</b> Diagrama del análisis canónico de correspondencias entre la distribución de los hábitats larvarios y las variables ambientales medidas durante junio del 2010 en el Alto Golfo de California. Hábitats larvarios: Mezcla= círculos, Frente= triángulos, Delta= cuadrados. Variables: BZ= biomasa zooplanctónica (mL/1000 m <sup>3</sup> ), Cl a= clorofila a (µg/L), Temperatura superficial del mar= TSM (°C).	54
<b>Figura 22.</b> Diagrama del análisis canónico de correspondencias entre la distribución de los hábitats larvarios y las variables ambientales medidas durante marzo del 2011 en el Alto Golfo de California. Hábitats larvarios: Mezcla= círculos,	56

Frente= triángulos, Delta= cuadrados. Variables: BZ= biomasa zooplanctónica (mL/1000 m<sup>3</sup>), oxígeno disuelto (mL/L), Temperatura superficial del mar= TSM (°C) y salinidad.

## RELACIÓN DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla I.</b> Resultados de la prueba U de Mann-Whitney ( $p=0.05$ ) aplicada a la abundancia larval obtenida en las estaciones muestreadas durante el día y la noche en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	37
<b>Tabla II.</b> Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis ( $p=0.05$ ) aplicada a la abundancia larval obtenida en cada uno de los estratos de las estaciones muestreadas en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	38
<b>Tabla III.</b> Lista de taxa con más del 10% de frecuencia de aparición en junio del 2010 y 5% en marzo del 2011.	41
<b>Tabla IV.</b> Valores obtenidos a partir del MRPP en el estrato superficial, intermedio y profundo (0-5, 5-10 y 10-15 m) en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	45
<b>Tabla V.</b> Valores obtenidos a partir del MRPP en una comparación múltiple entre los estratos superficial, intermedio y profundo en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.	46
<b>Tabla VI.</b> Jerarquización de los taxa de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (dominantes) para cada uno de los hábitats larvarios (Frente, Mezcla y Delta) durante junio del 2010 en el Alto Golfo de California. %F= porcentaje de frecuencia, %AP= porcentaje de abundancia promedio, %SIM= porcentaje de contribución de cada especie determinado por SIMPER (Similarity Percentage).	50
<b>Tabla VII.</b> Varianza explicada del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (junio 2010).	53
<b>Tabla VIII.</b> Regresión múltiple del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (junio 2010).	54
<b>Tabla IX.</b> Varianza explicada del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California	55

(marzo 2011).

**Tabla X.** Regresión múltiple del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (marzo 2011). 55

**Tabla XI.** Condiciones físico-químicas del ambiente en el estrato superficial (0-5 m) y parámetros biológicos observados durante cuatro campañas oceanográficas realizadas en el Alto Golfo de California. 59

**Tabla XII.** Taxa dominantes registrados en cuatro campañas oceanográficas realizadas en el Alto Golfo de California. Se registra la abundancia total (larvas/10 m<sup>2</sup>) por crucero en el estrato superficial (0-5 m). 60

## GLOSARIO

**Abundancia:** Número de individuos por unidad de área, distancia o tiempo durante el esfuerzo de observación o recolecta.

**Abundancia relativa:** Número de organismos de un taxón, con respecto al número total de individuos de todos los demás taxa.

**Afinidad zoogeográfica:** Es el rango de distribución geográfica de la especie.

**Ambiente:** Es el conjunto de elementos físico-químicos, geológicos y biológicos interrelacionados que producen los diferentes recursos que requieren los organismos para perpetuarse a través del tiempo.

**Biomasa:** Cantidad de materia orgánica que forma parte de los organismos. Se expresa en unidades de volumen, de peso fresco o peso seco o en unidades de energía.

**Capa de mezcla:** Es la capa donde hay activa turbulencia que homogeniza algunos rangos de profundidades.

**Clorofila-a:** Es el pigmento común presente en los organismos que realizan fotosíntesis, cuyo resultado es la liberación de oxígeno. Este es un estimador de la biomasa fitoplanctónica o algal que se presenta en un ecosistema.

**Crucero oceanográfico:** Expedición de trabajo que se lleva a cabo en una embarcación para realizar mediciones oceanográficas.

**Comunidad:** Grupo de organismos pertenecientes a taxa distintos que ocurren en el mismo hábitat o área, que interactúan mediante relaciones tróficas y espaciales. Típicamente está caracterizado por la referencia de una o más especies dominantes.

**C.T.D.:** Instrumento oceanográfico empleado para medir perfiles de temperatura y conductividad en la columna de agua. Las siglas C.T.D. provienen del inglés conductivity, temperature, depth.

**Demersal:** Se refiere a los organismos dependientes del fondo oceánico, ya sea en la zona costera o mar abierto.

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

**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.

**Estratificación:** Condición del fluido que implica la existencia de dos o más capas horizontales arregladas según su densidad, de tal manera que las capas menos densas están sobre las más densas.

**Estuario:** Cuerpo de agua costero con forma similar a la de un embudo y donde desemboca un río y tiene conexión libre con el mar.

**Estuario inverso:** Estuario donde la tasa de evaporación excede a la tasa de precipitación causando condiciones hipersalinas. Por ejemplo el Alto Golfo de California, el Golfo de Arabia y el Golfo de Spencer, Australia.

**Flexión:** Etapa del desarrollo larvario que inicia con la flexión del notocordio y termina con la formación de la placa hipúrica.

**Frente:** Región del océano que separa parcelas o masas de agua de características marcadamente diferentes, como zonas de diferente temperatura, zonas estratificadas de zonas mezcladas, etc.

**Hábitat:** Espacio que reúne las características físicas y biológicas necesarias para la supervivencia y reproducción de una o varias especies.

**Hábitat larvario:** Es un área física delimitada por gradientes ambientales, donde se concentran huevos y larvas de peces durante el tiempo que dura la estructura, independientemente si se trata de una sola especie como ocupante de varios hábitats o de un conjunto de varias especies en cada uno de ellos.

**Ictioplancton:** La fase planctónica de la mayoría de los peces; comprende tanto a los huevos como a las larvas de éstos. Sus desplazamientos dependen principalmente de las corrientes de agua.

**Indicadores biológicos:** Son las plantas o animales que aportan información fidedigna sobre el estado de conservación o características físicas, químicas y/o biológicas de un ecosistema particular.

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

**Marea:** Variación periódica (ascenso y descenso) del nivel del mar debido al movimiento relativo y a la atracción gravitacional entre el sol, la luna y la tierra. Esta variación del nivel del mar se propaga como una onda a través de las cuencas oceánicas.

**Mareas muertas:** Llamadas también mareas de cuadratura. Son las mareas de menor amplitud que se producen cuando la luna está en cuarto creciente o cuarto menguante formando un ángulo de 90° entre el sistema luna-tierra-sol.

**Mareas vivas:** Llamadas también mareas de sicigia. Son las mareas de máxima amplitud, que se producen alrededor de la luna llena o luna nueva donde el sistema luna-tierra-sol se encuentra sobre una misma línea.

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

**Postflexión:** Etapa del desarrollo larvario que inicia con la osificación de la placa hipúrica y termina antes de que se complete el número de elementos de aletas pares e impares.

**Preflexión:** Fase en la que se da la absorción del saco vitelino, la apertura de la boca y el ano, la pigmentación de los ojos y el notocordio está en línea recta.

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

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

**Zooplancton:** Animales que forman parte del plancton. Comunidad de animales que flotan libremente en el agua, incapaces de moverse en contra de las corrientes.

Las referencias de los términos incluidos en el glosario anterior son las siguientes:

Lavín, M. F. 1997. *Contribuciones a la oceanografía física en México*. Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 3. 272 p.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., 2008. *Asociaciones de larvas de peces por estadio de desarrollo en la costa noroccidental de la península de Baja California*. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. 223 p.

## RESUMEN

La región del Alto Golfo de California (AGC) se caracteriza por la presencia de intensa mezcla vertical durante todo el año; sin embargo, presenta fluctuaciones estacionales en su estructura hidrográfica (temperatura-salinidad) y corrientes residuales. Esta variación ambiental debe tener influencia en el desove del alto número de especies de peces que se han registrado como habitantes de la región. En este contexto el objetivo del presente trabajo fue definir hábitats de larvas de peces en el AGC y su relación con variaciones ambientales durante junio 2010 y marzo 2011, cuya homogenización o estratificación es en función del grado de intensidad de la mezcla vertical. Se obtuvieron muestras de zooplancton en 3 estratos de profundidad (0-5, 5-10 y 10-15 m) con una red cónica de luz de malla de 505  $\mu\text{m}$ . En cada estación se obtuvieron datos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a*. Las larvas de peces se identificaron y contabilizaron, estandarizando su número a larvas/10m<sup>2</sup>. Analizando la composición de la comunidad de larvas de peces se observó que las especies con mayor abundancia durante junio fueron *Opisthonema* sp. 1 (40%) *Anchoa* spp. (31%), *Gobulus crescentalis* (13%), mientras que durante marzo fueron *Engraulis mordax* y *G. crescentalis* (19%) e *Ilypnus gilberti* (12%) durante marzo. Las larvas de las especies pelágico-costeras como *Anchoa* spp., *Opisthonema* sp. 1 y *E. mordax* dominaron la región, con una tendencia a mostrar mayor abundancia en los estratos superficiales de la columna de agua. Un análisis canónico de correspondencias permitió definir tres hábitats larvarios: Mezcla, Frente y Delta, en las dos épocas, pero con variación en su ubicación. El hábitat Delta ubicado en la zona noroeste y costera que durante junio fue más cálido y salino y con bajos valores de clorofila *a* y oxígeno disuelto con especies dominantes como *Anchoa* spp. y *G. crescentalis*; contrario a marzo, donde se observaron valores bajos de temperatura, menos salinos, bajos en oxígeno disuelto y clorofila *a*, dominado por *G. crescentalis*. El hábitat Mezcla presentó en ambas épocas gradientes ambientales, dominado en junio por *Anchoa* spp., *G. crescentalis*, *Opisthonema* sp. 1 y Sciaenidae tipo 1; mientras que en marzo dominó *Xystreurys liolepis*. En ambos casos, con la mayor abundancia de larvas de peces. El hábitat Frente es un ambiente más frío y oxigenado en marzo, con valores bajos de salinidad y clorofila *a* en ambas épocas, dominando los epipelágicos *Anchoa* spp. y *Opisthonema* sp. 1 en junio y *E. mordax* e *Ilypnus gilberti* en marzo. Se reconoce al hábitat Frente como una importante área de desove y crianza para especies epipelágicas costeras y demersales, basado en el disparo en el desove de estas especies a pesar del contraste ambiental entre épocas.

## ABSTRACT

The Upper Gulf of California (UGC) region is characterized by the presence of intense vertical mixing throughout the year, and presents seasonal fluctuations on its hydrographic structure (temperature-salinity) and residual currents. This environmental variation should influence the spawning of a high number of fish species that have been recorded in the region. The aim of this study was to define larval fish habitats in the UGC and its relation to environmental variations during June 2010 and March 2011, whose homogenization or stratification is based on the intensity of vertical mixing. Zooplankton samples were obtained in three depth strata (0-5, 5-10 and 10-15 m) with a conical net mesh size of 505 $\mu$ . In each station was obtained hydrographic data by a CTD (temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll *a*). Fish larvae were identified and counted, standardizing their number to larvae/10m<sup>2</sup>. *Opisthonema* sp. 1 (40 %) *Anchoa* spp. (31%), *Gobulus crescentalis* (13 %) were the most abundant during June; *Engraulis mordax* and *G. crescentalis* (19%) and *Ilypnus gilberti* (12 %) during March. A canonical correspondence analysis defined three larval fish habitats: Mixed, Front and Delta, in both periods with variation in their extension. The Delta habitat located in the northwest and coastal area during June was warmer and saline and with low values of chlorophyll *a* and dissolved oxygen with dominant species such as *Anchoa* spp. and *G. crescentalis*; opposite to March, where low values of temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll *a* were observed, dominated by *G. crescentalis*. The Mixed habitat showed environmental gradients in both periods with the highest abundance of fish larvae, dominated in June by *Anchoa* spp. *G. crescentalis*, *Opisthonema* sp. 1 and Sciaenidae type 1; while in March dominated by *Xystreurys liolepis*. The Front habitat is a colder and oxygenated environment in March, with low salinity and chlorophyll *a* in both seasons, dominated by epipelagic species as *Anchoa* spp. and *Opisthonema* sp. 1 (June) and *E. mordax* and *Ilypnus gilberti* (March). The Front habitat is recognized here as an important spawning and nursery area for coastal epipelagic and demersal species, based on the triggered spawning of these species despite the environmental contrast between seasons.

## 1. INTRODUCCIÓN

La región que comprenden la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y el Delta del Río Colorado (AGC) es considerada un estuario inverso, debido al escaso o nulo aporte de agua dulce y elevada tasa de evaporación, que provocan que la salinidad se incremente de sur a norte, con cambios estacionales que van desde 35.4 a 37.0 en invierno y 39.0 en verano (Lavín *et al.*, 1998; Lavín y Sánchez, 1999). Otra característica del AGC es la amplitud de sus mareas que provocan una gran turbidez del agua por resuspensión de sedimentos (Hernández-Ayón *et al.*, 1993), manteniéndose una homogeneidad vertical de la columna de agua durante mareas vivas y una mezcla parcial durante mareas muertas (Álvarez y Jones, 2002, 2004).

A pesar de ser considerado un ambiente extremo, el AGC ha sido reportado como área importante de reproducción y crianza para diversas especies de interés pesquero, como la jaiba (*Callinectes* spp.) y la langosta (*Panulirus* spp.), el camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y otras especies de peces que aportan menores capturas a la pesquería de la región tales como la curvina golfinia (*Cynoscion othonopterus*), el chano norteño (*Micropogonias megalops*), la sierra (*Scomberomorus sierra*), la lisa (*Mugil curema*, *M. cephalus*) y los túnidos (*Auxis thazard*, *Katsuwonus pelamis*, *Sarda chiliensis*), elasmobranquios como la manta (*Mobula* spp.) y el pez guitarra (*Rhinobatos* spp.) (CONAPESCA, 2012). Lo anterior, así como el gran número de especies endémicas (29 especies de peces) y en peligro de extinción como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldii*) (Fischer *et al.*, 1995), le confieren al AGC su estatus de Reserva de la Biósfera (Diario Oficial de la Federación, 1993).

Estudios previos sobre la hidrografía y geología del AGC (Lavín *et al.*, 1998; Carriquiry y Sánchez, 1999), muestran una clara zonificación de la región con fuertes gradientes en temperatura y salinidad que distinguen dos zonas: una zona norte, con condiciones hiperhalinas y altos valores de temperatura, y una zona sur, con valores más bajos de temperatura y salinidad. El análisis de la distribución de sedimentos muestra una zona oeste, con sedimentos más

finos, y una zona este con sedimentos más gruesos, evidenciados por el patrón de dispersión inferido a partir de un modelo vectorial de transporte.

La caracterización de zonas en el AGC, permite suponer la existencia de diferentes hábitats que influyen en la distribución de especies en sus estadios tempranos de vida, como se ha visto en crustáceos (Galindo-Bect *et al.*, 2010) y peces (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012, 2014). Sin embargo, a pesar de la importancia ecológica de la región al aportar áreas propicias para el desove y crianza, el conocimiento sobre estos hábitats es escaso, limitándose a algunos estudios realizados durante la época de verano (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012, 2014).

En el presente estudio se pretende ampliar el conocimiento sobre la definición de hábitats de larvas de peces en dos épocas con condiciones hidrográficas diferentes, para tener una visión mayor sobre el funcionamiento de la Reserva de la Biósfera en el AGC.

## 2. ANTECEDENTES

Los estudios dirigidos a analizar la compleja dinámica de los estuarios inversos son escasos, muy localizados y en la gran mayoría su enfoque consiste en descripciones de aspectos físicos y físico-químicos que destacan los marcados gradientes de salinidad y la circulación influenciada principalmente por el gradiente de densidad (Nidzieko y Monismith, 2013), al efecto de la marea y a la estructura termohalina (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2004; Vethamony *et al.*, 2007). La conectividad con los cuerpos de agua adyacentes a los estuarios inversos, establece dos regímenes distintos con flujo advectivo y procesos difusivos (Kaempf *et al.*, 2010), incluyendo una zona de transición que oscila con las mareas y actúa como una barrera dinámica (Álvarez y Jones, 2002, 2004; Vethamony *et al.*, 2007; Nidzieko y Monismith, 2013). Debido a estas características, en los estuarios inversos se generan condiciones de zonación con distintos hábitats biológicos (Gning *et al.*, 2010; Kaempf *et al.*, 2010).

Los trabajos que describen la hidrografía en el AGC y su cualidad como estuario inverso son limitados. Lavín *et al.* (1998), a través de datos hidrográficos históricos y recientes describieron la hidrografía del AGC evidenciando una fuerte modulación anual, con la presencia de una mezcla vertical intensa en la región que afecta la distribución horizontal de las propiedades físicas y químicas, que además está determinada por un gradiente batimétrico. En el AGC la salinidad se incrementa hacia la cabeza a pesar del gradiente de temperatura que es inverso estacionalmente, con un incremento de la temperatura hasta 32°C en verano y una disminución que alcanza los 8°C en invierno. Existe también un gradiente de presión que origina masas de agua y fuertes corrientes de gravedad en invierno y verano (Lavín *et al.*, 1998).

En el contexto geológico, el AGC ha recibido mayor atención con base en el número de trabajos que lo describen y que enfatizan que además del impacto antropogénico, existen otros procesos hidrográficos que lo afectan y le confieren su naturaleza altamente dinámica. Carriquiry y Sánchez (1999) en una descripción con base en análisis texturales y mineralógicos mencionaron que el delta del Río Colorado se encuentra totalmente expuesto a las fuerzas

hidrodinámicas en su cuenca. Estos autores resaltaron que el patrón de circulación de la región tiene inferencia en la distribución de los sedimentos lo que sugiere una ruta en sentido contra reloj de intercambio de materiales entre la cuenca estuarina del Río Colorado y la región Norte del Golfo de California (NGC).

Sobre sus comunidades biológicas, Farfán y Álvarez (1992) estudiaron las fluctuaciones espaciales y temporales de la biomasa del zooplancton en el AGC, determinando que no existe un ciclo estacional que influya en la distribución de la biomasa zooplanctónica, aunque si registraron algunas características persistentes (altos valores de biomasa alrededor de isla Montague) y la dominancia del grupo taxonómico de los copépodos calanoideos. Mediante análisis de componentes principales determinaron que estas abundancias elevadas al norte pueden atribuirse a los mayores valores de salinidad prevalecientes.

Estudios sobre el plancton, particularmente sobre larvas de peces, en el Golfo de California (GC) se han realizado desde 1956, de los que se destaca la escasez de prospecciones realizadas en el AGC, con solo una estación muestreada en esta región, resaltando la zona como importante para el desove de especies como *Scomber japonicus*, *Merluccius* spp. y *Opisthonema* spp. (Moser *et al.*, 1974).

Los trabajos sobre larvas de peces en el GC son diversos, entre los que se encuentran estudios taxonómicos como el de Moser *et al.* (1974) quienes detectaron áreas de distribución de larvas de peces desde la región norte hasta la región sur del Golfo; registrando 76 taxa con dominancia de organismos de hábitat mesopelágico y afinidad tropical.

Entre los trabajos enfocados en la ecología de larvas de peces destacan los de Sánchez-Velasco *et al.* (2000, 2002) quienes señalaron a la zona de las Grandes Islas como una zona de desove de pelágicos costeros como *Engraulis mordax* y *Sardinops sagax*, lo cual se atribuyó a los mecanismos de enriquecimiento que contribuyen a generar condiciones favorables para la crianza de larvas de estas especies. Aceves-Medina *et al.*

(2003) registraron para la región central y norte del GC un total de 283 taxa con variación estacional e interanual en su abundancia. Aceves-Medina *et al.* (2004) caracterizaron tres asociaciones de larvas de peces principales para el norte y centro del GC, que presentaron una variabilidad estacional e interanual representada por la expansión y contracción de la distribución latitudinal de sus asociaciones norteñas (taxa de afinidad templada) y sureñas (taxa tropicales y subtropicales). Ávalos-García *et al.* (2003), mediante un análisis de las asociaciones de larvas de peces de la región central del GC y de su relación con la variabilidad hidrográfica, describieron tres asociaciones presentes de otoño a verano que variaron en distribución y composición de especies: una asociación presente en las Grandes Islas, dominada por especies pelágico-costeras relacionadas con las bajas temperaturas de la zona; una asociación oceánica, dominada por especies mesopelágicas, y una asociación nerítica, con gran variabilidad de especies demersales costeras pero dominada por una especie mesopelágica (*Benthosema panamense*), presente durante el verano.

Peguero-Icaza *et al.* (2008), realizaron un estudio para ver la relación de la circulación sobre la distribución de las asociaciones de larvas de peces en donde se observó que las áreas geográficas ocupadas por estas asociaciones presentaron condiciones ambientales diferentes y la actividad de esta circulación las mantuvo en estos ambientes favorables durante el desarrollo de las larvas. La conectividad basada sobre dicha circulación fue deducida mediante un modelo numérico 3D, el cual mostró que dentro de una escala de tiempo de 30 días, un 60-70% de las partículas se mantienen dentro de las asociaciones mientras que el 26% fueron exportadas a otros lugares. Los mismos autores, realizaron un estudio de conectividad mediante modelos de dispersión de partículas inertes en la región norte del Golfo, en la fase ciclónica reportan alta retención de partículas en las áreas de las asociaciones hasta los 30 días, es decir, la mayoría de las larvas de peces que habitan en el norte del golfo se mantuvieron cerca de sus zonas de desove. Por lo contrario en la fase anticiclónica, la retención de las partículas es baja, es decir el reclutamiento de las larvas de peces podría ocurrir muy lejos de las zonas de desove (Peguero-Icaza *et al.*, 2011).

Sánchez-Velasco *et al.* (2009), estudiaron los cambios en las asociaciones de larvas de peces en relación con la circulación (ciclónica y anticiclónica) e hidrografía estacional en la parte norte del GC como indicador del cambio del ecosistema pelágico, encontrando que en la fase ciclónica inicial dominaron las larvas de las especies de peces demersales y mesopelágicas, mientras que en la fase ciclónica madura y anticiclónica aumentó la abundancia larval de especies epipelágicas características de sistemas de corrientes de borde oriental.

Contreras-Catala *et al.* (2012) realizaron un estudio de un remolino ciclónico en el sur del Golfo de California para determinar su influencia sobre la distribución tridimensional de larvas de peces, registrando diferencias en la distribución de los hábitats de estos organismos. Las diferencias tridimensionales en la distribución fueron atribuidas a la hidrodinámica de mesoscala (características e historia de vida del remolino) y a los procesos locales como surgencias costeras, que promovieron la retención larvaria de una mezcla de especies cuyos adultos tienen distintas afinidades de hábitat.

Sánchez-Velasco *et al.* (2013), estudiaron la distribución tridimensional de larvas de peces en un remolino ciclónico de mesoscala en verano (julio del 2011, un periodo de fuerte estratificación) en la parte central del GC, definiendo dos hábitats: hábitat Margen y hábitat Centro del remolino; el primero con la más alta abundancia larval y riqueza específica, con dominancia de especies pelágico- costeras y demersales y el segundo hábitat con especies predominantemente mesopelágicas. Con estos resultados los autores sugirieron que la fuerte estratificación y la ausencia de surgencias costeras durante el periodo muestreado en conjunción promovieron el desarrollo de hábitats de algunas especies y limitaron el de otras.

Sin embargo, a pesar de los avances en investigación en la mayor parte del GC, la región del AGC (con características de estuario inverso, como se documentó anteriormente) continúa aun sin ser ampliamente entendido, existiendo solo dos trabajos de referencia que establecen distintos hábitats de larvas de peces en esta región durante el verano.

Sánchez-Velasco *et al.* (2012) realizaron un estudio durante verano del 2008, encontrando tres hábitats de larvas de peces claramente diferenciados por factores físicos y composición de especies; uno asociado a la plataforma continental de Sonora, el más profundo y salino, cuyas especies dominantes fueron de hábitat pelágico-costero y epipelágico, otro en la zona comprendida como refugio de la vaquita marina caracterizado por su fuerte mezcla vertical con dominancia de especies pelágico-costeras y demersales y otro a la influencia del agua oceánica proveniente del NGC, con las características físico-químicas de la zona frontal entre el AGC y NGC cuyas especies dominantes pertenecen a hábitats pelágico-costeros. En este estudio los autores documentaron un completo cambio del sistema durante el invierno.

Sánchez-Velasco *et al.* (2013), en un reciente análisis de los hábitats de larvas de peces compararon el AGC con el NGC en verano, reportaron la presencia de un hábitat localizado en el área verticalmente bien mezclada y más salina del AGC que estuvo dominado por especies demersales costeras, un segundo hábitat situado en el área frontal de mezcla mareal en el extremo sur del AGC con dominancia de especies pelágico-costeras y demersales cuya distribución sugiere retención asociada al frente. Un tercer hábitat en el área profunda adyacente al frente de mezcla mareal el cual estuvo influenciado por el incipiente remolino ciclónico. Un cuarto hábitat fue observado en el sur, la porción más profunda del NGC. Estos dos últimos con dominancia de especies pelágico-costeras y demersales aunque con menor abundancia y frecuencia que el hábitat anterior. Los autores resaltaron al área frontal de mezcla mareal como el hábitat preferencial para el desove y crianza de los peces que habitan la región.

### **3. HIPÓTESIS**

Se esperan encontrar diferentes hábitats de larvas de peces entre marzo y junio debido al contraste ambiental entre ambas temporadas.

En junio se definirán hábitats con límites hidrográficos relacionados a los gradientes de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a* versus marzo donde los límites hidrográficos se debilitan por el incremento en la mezcla vertical.

### **4. JUSTIFICACIÓN**

La mayor parte de los trabajos realizados sobre la comunidad de larvas de peces en el GC han estado dirigidos hacia las porciones norte, centro y sur, sin embargo, específicamente la región del AGC ha recibido poca atención.

Al ser señalado el AGC como una Reserva de la Biósfera por ser un área de refugio y protección de especies endémicas y/o amenazadas y una importante zona de crianza de varias especies de importancia comercial, es imperativo conocer más sobre su estructura y ecología. Para ello, es necesario tener una comprensión más amplia de las comunidades biológicas que habitan la región, sobre todo de aquellas que han demostrado ser indicadores de la dinámica ambiental.

Conociendo el valor de las larvas de peces como indicadores ambientales y el contraste entre los periodos climáticos registrados en el AGC, un análisis de la composición de esta comunidad y su hábitat proporcionará información importante sobre la dinámica del ambiente en este ecosistema.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General:**

Identificar hábitats de larvas de peces en el Alto Golfo de California y su relación con la variación del ambiente en junio del 2010 y marzo del 2011.

### **5.2 Específicos:**

- Conocer las condiciones del ambiente durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.
- Conocer la composición y distribución de la comunidad de larvas de peces durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.
- Determinar los hábitats larvarios presentes durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.
- Determinar la relación de los hábitats larvarios del Alto Golfo de California con las condiciones ambientales presentes durante junio del 2010 y marzo del 2011.

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El AGC (Fig.1) es la región más norteña del GC ubicada entre los 31°00' y 31°36' N y los 114°50' y 113°48' O. Tiene una forma triangular, limitada al norte por el vértice donde convergen las costas de Baja California y Sonora y al sur por la isobata de los 30 m, en concordancia con una línea imaginaria de aproximadamente 70 km entre San Felipe, B. C. y Puerto Peñasco, Son. (Lavín *et al.*, 1998). Tiene plataformas relativamente someras con batimetría irregular hacia ambas costas: la peninsular, caracterizada por una planicie somera (< 40 m) cuya profundidad se incrementa hacia la Cuenca Wagner (Fig. 1), y la costa sonorenses, caracterizada por cambios de profundidad abruptos con profundidades máximas de hasta 120 m (Godínez-Sandoval *et al.*, 2008).

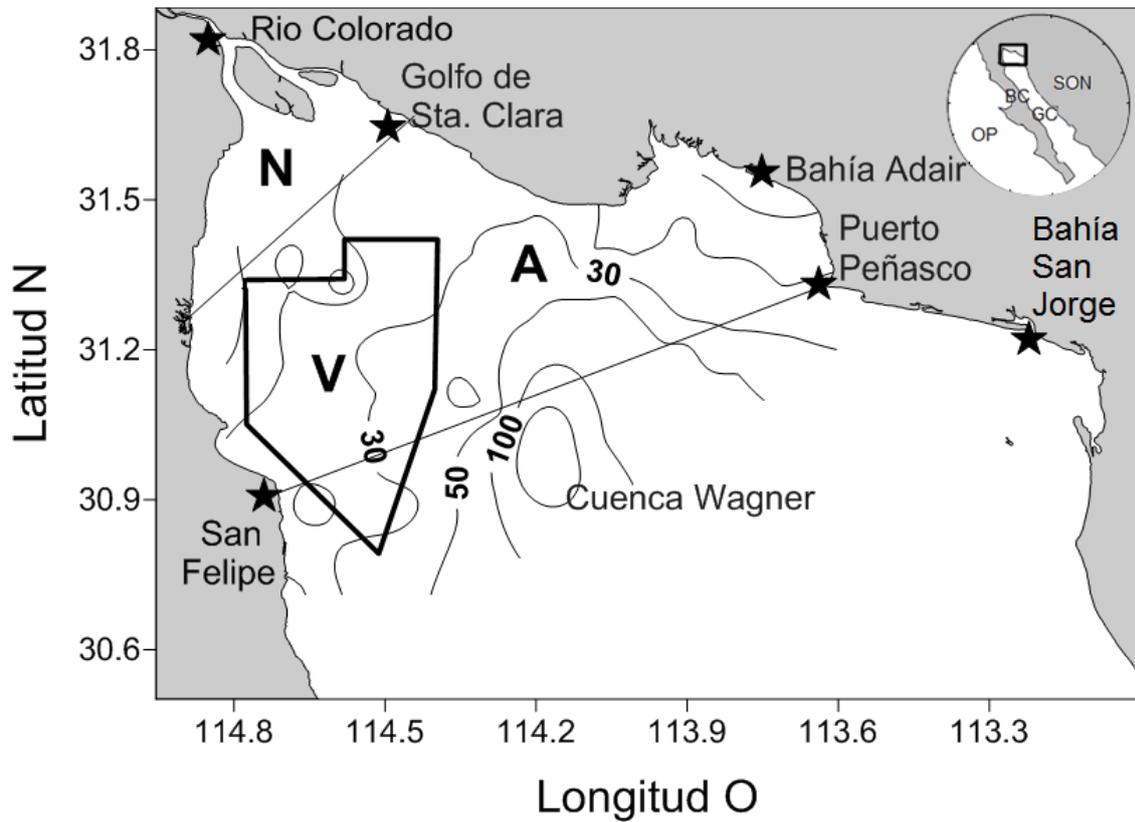
La temperatura y salinidad superficial del mar contrastan estacionalmente, oscilando respectivamente entre 10°-32°C y 35.0-39.0 durante invierno y verano (Sverdrup, 1940). Esto concuerda con lo descrito por Álvarez-Borrego (1983) y Emilsson y Alatorre (1997), quienes han caracterizado climatológicamente al Golfo de California en dos principales estados y dos periodos transicionales asociados con cambios en la temperatura superficial del mar congruentes con ciclos estacionales de calentamiento solar, patrones de circulación de viento y agua y procesos de surgencia. El primero es el periodo invierno-primavera, cuando el agua tropical es confinada a la porción sureste de la boca del Golfo y los procesos más intensos de surgencia se llevan a cabo, principalmente en la costa continental y el área de las Grandes Islas. El segundo periodo es verano cuando el agua tropical invade el golfo y alcanza la región de las Grandes Islas.

Anteriormente la región del AGC era considerada un estuario típico ya que recibía descargas del Río Colorado. A partir de la construcción de algunas presas en E.U, se limitaron los aportes de agua dulce superficial ( $1,850 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ) (Lavín *et al.*, 1998). En la actualidad, el AGC es considerado un estuario inverso debido principalmente a dos factores: una alta evaporación debida a la radiación solar que, junto con la escasez del aporte pluvial, provoca un incremento de salinidad y densidad del agua del sur del AGC (~35.4) hacia

la cabecera (39.0 en verano, 37.0 en invierno), y a una fluctuación mareal intensa, cuya amplitud es de 6.4 m, con velocidades de  $1 \text{ ms}^{-1}$  (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2001).

La mezcla generada por las intensas mareas mantiene la homogeneidad vertical de la columna de agua durante mareas vivas, creando un perfil isotérmico/isohalino. Durante las mareas muertas sin embargo, hay una disminución en la mezcla por marea. La alta evaporación y mezcla disminuida causan una estratificación temporal de la columna de agua (Álvarez y Jones, 2002).

Adicionalmente, la amplitud de las mareas provoca una gran turbidez del agua por resuspensión de sedimentos (Hernández-Ayón *et al.*, 1993). La conformación de los sedimentos de la zona es derivada de las descargas del Río Colorado (Carrquiry y Sánchez, 1999; Lavín y Sánchez, 1999) ya que son transportados y dispersados a lo largo del margen occidental (Carrquiry y Sánchez, 1999; Shumilin *et al.*, 2002) y finalmente depositados en la región profunda del Norte del Golfo (Carrquiry *et al.*, 2001; Daesslé *et al.*, 2002). Esto sugiere que las corrientes de gravedad generadas en el Alto Golfo, son el mecanismo dominante que ocasiona la dispersión de sedimentos hacia las partes profundas del NGC, al menos para las condiciones de verano (Carrquiry *et al.*, 2001; Daesslé *et al.*, 2002).



**Figura 1.** Área de estudio. Las líneas transversales muestran los límites de las zonas en las que se divide la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y delta del Río Colorado: N: zona núcleo, A: zona de amortiguamiento y V: polígono que delimita zona de refugio de la vaquita marina. Las isolíneas muestran la profundidad en metros. Las estrellas indican la ubicación de las principales poblaciones en el Alto Golfo de California.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

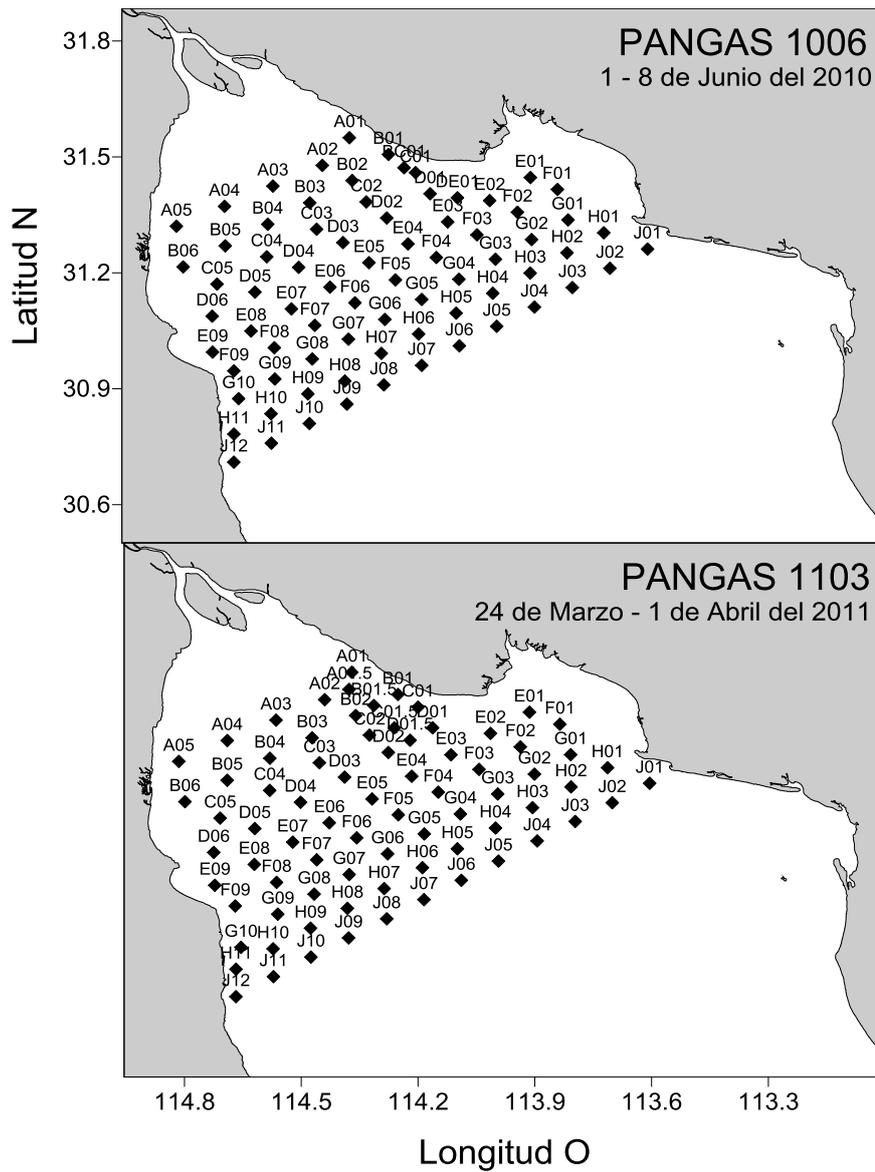
### 7.1 Trabajo de campo

Dentro del marco del Programa Oceanográfico PANGAS (Pesca Artesanal en el Norte del Golfo de California – Ambiente y Sociedad), se realizaron dos campañas oceanográficas en el AGC durante periodos de mareas muertas, uno en la época de verano (del 1 al 8 de junio de 2010– PANGAS 1006) y otro en el invierno (del 24 de marzo al 1 de abril de 2011 – PANGAS 1103). Se cubrieron un total de 75 y 77 estaciones respectivamente (Fig. 2).

En cada estación se realizaron colectas de zooplancton mediante arrastres oblicuos realizados en una trayectoria circular navegando a una velocidad de 2.5 nudos y realizados desde la popa. Se emplearon redes cónicas de cierre-apertura-cierre con boca de 60 cm de diámetro, manga de 250 cm y apertura de malla de 505  $\mu\text{m}$ . Las colectas se realizaron en tres estratos de profundidad: de superficie a 5 m, 5 a 10 m y 10 a 15 m. La profundidad de cada estrato fue calculada mediante el método del coseno del ángulo del cable siguiendo las recomendaciones de Smith y Richardson (1979). La profundidad del fondo varió entre 6 y 40 m, por lo que no en todas las estaciones fue posible obtener las muestras de los tres estratos mencionados. Para el cálculo del volumen de agua filtrada, se instalaron flujómetros en la boca de cada una de las redes.

Las muestras de zooplancton obtenidas fueron almacenadas en frascos de 250 ml con tapa de rosca debidamente etiquetados y fijadas con una solución de formaldehído al 4% neutralizada con borato de sodio.

Adicionalmente, en cada estación de colecta se obtuvo la profundidad, así como perfiles verticales de conductividad, temperatura y profundidad, registrados con un CTD (Conductivity, Temperature and Depth) SBE-11 plus con sensores calibrados para medir concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia, éstos últimos fueron convertidos a valores de clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) por el sensor siguiendo la metodología de García-Córdova *et al.* (2008).



**Figura 2.** Red de estaciones de muestreo de los cruceros PANGAS 1006 y PANGAS 1103, realizados a bordo del B/O Francisco de Ulloa.

La información registrada por el CTD fue procesada por el grupo de Oceanografía Física del Laboratorio de Circulación Costera (CIRCOS) del Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) encabezado por el Dr. Miguel Lavín.

## 7.2 Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se realizó la determinación de la biomasa del zooplancton de cada una de las muestras. Se utilizó el método de volumen desplazado, descrito por Kramer *et al.* (1972) y Beers (1976) que consistió en retirar de la muestra el material extraño y organismos considerados de captura incidental (ej. peces juveniles y adultos, medusas y tunicados de gran tamaño cuyo volumen individual fue  $> 5$  mL). El volumen obtenido de cada muestra se estandarizó a mL/1000 m<sup>3</sup> mediante la siguiente fórmula propuesta por Smith y Richardson (1979):

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

Después de la medición de la biomasa se separaron las larvas de peces en su totalidad de cada una de las muestras. Éstas se contabilizaron e identificaron, con ayuda de un microscopio estereoscópico. La identificación taxonómica se realizó hasta especie o hasta el mínimo nivel taxonómico posible con base en las características merísticas, morfométricas y de pigmentación de grupos de larvas de peces recolectadas en el Pacífico Noroccidental y detalladas principalmente en Moser (1996) y otra literatura para taxa específicos (ej: Jiménez-Rosenberg 1998, 2006 para Gerreidae). Aquellas especies que no se encontraron descritas en la literatura, se determinaron a nivel de género o familia distinguiéndose como morfotipos, siendo entonces aquellos organismos diferenciados por sus características como una unidad taxonómica o taxa independiente.

El número de larvas se estandarizó de acuerdo a procedimientos establecidos por Smith y Richardson (1979) a número de larvas por 10 m<sup>2</sup>; la fórmula es la siguiente:

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

El volumen filtrado se obtiene de:  $V = a \text{ (dr)}$

Donde:

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

A la par de la identificación de las larvas, se registró el estadio de desarrollo de cada una de ellas (preflexión, flexión y postflexión; Kendall *et al.*, 1984), y para cada taxa identificado se consideraron las características del hábitat, reproducción y distribución correspondiente a los adultos.

### 7.3 Análisis estadísticos

A partir de una matriz de abundancia de larvas de peces por estrato/estación se aplicaron *a priori* pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para probar si había diferencias significativas en la abundancia larval entre el día y la noche y entre cada estrato muestreado. Estas diferencias pueden atribuirse a aspectos ecológicos como estratos preferenciales para desove de adultos y zonas de crianza y a la migración vertical diurna de los organismos planctónicos y/o a aspectos metodológicos. La existencia de diferencias significativas condiciona el número de matrices de datos para su tratamiento estadístico, ej.: de existir diferencias significativas entre las colectas realizadas durante el día y la noche, existirá una matriz para cada grupo de datos.

Para obtener grupos de estrato/estación de cada crucero, se aplicó un análisis de clasificación numérica utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis. (Bray y Curtis, 1957) Éste índice es comúnmente empleado debido a que se considera suficientemente robusto para el análisis ya que no es afectado por las múltiples ausencias y enfatiza a las especies abundantes sobre las raras (Field *et al.*, 1982). Antes de la aplicación del índice se consideró lo siguiente:

1) En cada crucero la matriz de datos incluyó a aquellas taxa que presentaran al menos el 10 y 5% de frecuencia de aparición durante el muestreo en cada estrato en junio y marzo respectivamente con la finalidad de suprimir las especies numéricamente poco representativas.

La diferencia de criterio de selección entre las muestras de junio y marzo, se debió a que durante marzo se presentaron prácticamente la mitad de los taxa que se registraron durante junio (46 vs. 88 taxa); de estos taxa, en marzo solo seis aportaron más del 10% de la frecuencia de aparición, por lo que el análisis estadístico usando este criterio resultaba poco representativo de la comunidad que se presentó durante esta temporada, de tal manera que se decidió incrementar el criterio hacia los taxa que presentaron al menos el 5% de frecuencia de aparición.

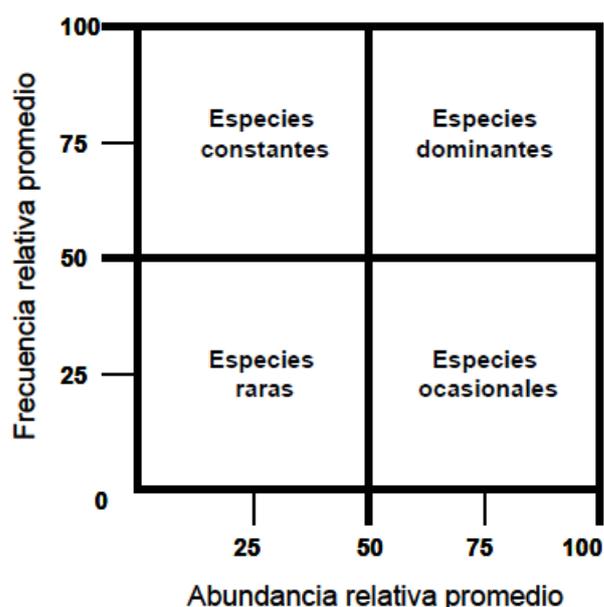
2) La matriz de datos de cada crucero se transformó a raíz cuarta siguiendo las recomendaciones de Field *et al.* (1982). Se empleó este tipo de transformación ya que reduce el peso de los más abundantes y atenúa el sesgo en el grupo de datos.

Con base en el índice, se obtuvo un dendrograma por cada crucero, empleando el método de unión flexible con una  $\alpha = -0.25$  (Lance y Williams 1967 a, b). Para la aplicación del índice y la obtención de dendrogramas se usó el programa PC-ORD 6.0 (Mc Cune y Metford, 2011).

Para corroborar la formación de cada uno de los grupos obtenidos a partir de la clasificación y usando el mismo índice de Bray-Curtis se realizó una prueba de MRPP (Multi Response Permutational Procedure), que es un método no paramétrico que se utiliza para probar la hipótesis nula de que no hay

diferencias significativas entre dos o más grupos o entidades basado en las distancias entre los puntos de datos dentro de los grupos (McCune y Grace, 2002). Para ello se usó el programa PC ORD 6.0. El MRPP provee los estadísticos T con su  $p$ -valor y A. T es un descriptor de la separación entre los grupos, mientras más negativo es este descriptor mayor es la separación entre los grupos. Este descriptor tiene asociado un valor de probabilidad ( $p$ -valor) que evalúa la probabilidad de que las diferencias observadas sean producto del azar. A, es el descriptor de la homogeneidad entre grupos comparada con lo esperado por el azar.  $A= 1$  cuando todas las especies en el espacio de las estaciones de muestreo son idénticas entre los grupos comparados,  $A= 0$  cuando la heterogeneidad dentro de los grupos es igual a la esperada por el azar y  $A$  es  $< 0$  cuando la heterogeneidad dentro de los grupos es menor a la esperada por el azar. En ecología de comunidades los valores de A son comúnmente inferiores a 0.1, un valor de  $A > 0.3$  es considerado elevado (McCune y Grace, 2002).

Una vez definidos los grupos por estrato/estación de cada crucero, se le aplicó la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1985; modificada por García de León, 1988; González-Acosta, 1998) para definir a los taxa dominantes que conformaron cada grupo larvario. Esta prueba clasifica jerárquicamente a las especies de la siguiente forma; D = dominantes (especies que tienen valores relativos de frecuencia y abundancia por arriba de la media aritmética); O = ocasionales (especies con una abundancia relativa que está por arriba de su valor promedio, y con una frecuencia relativa debajo de su media aritmética); C = constantes (especies que tienen valores de frecuencia relativa por arriba de su promedio y una abundancia relativa por debajo de su media aritmética); R = rara (los valores relativos tanto de la frecuencia como de la abundancia se encuentran por debajo de su media aritmética. (Fig.3).



**Figura 3.** Gráfico teórico de la prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1969), modificada por García de León (1988), donde se determina la separación de las especies de acuerdo a los valores de abundancia y frecuencia relativas. Tomado de González-Acosta (1998).

Para las especies dominantes de cada grupo se graficaron mapas de distribución horizontal por estrato con ayuda del programa Surfer versión 10, esto para representar los gradientes de abundancia de estas especies dentro de cada grupo.

Simultáneamente a la prueba de Olmstead-Tukey, se realizó una prueba de SIMPER (Similarity Percentage) que consistió en extraer la contribución de cada especie a la similitud observada (o disimilitud) entre las muestras. Esto permitió identificar las especies que fueron más importantes en la creación del patrón observado de similitud. El método utilizó la medida de Bray-Curtis, comparando a su vez, cada muestra en el Grupo 1 con cada muestra en el Grupo 2. El método de Bray-Curtis opera a nivel de especie y por lo tanto 1 y 2 se pueden obtener la similitud media entre los grupos para cada especie. Se utilizó el software PRIMER 6 (Clarke y Warwick, 2001).

Para relacionar la distribución de los grupos larvarios con respecto a las variables ambientales registradas en cada periodo de muestreo, se aplicó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC; Ter Braak, 1986) empleando el programa PC-ORD 6.0. Para ello, se construyó una matriz de datos de variables ambientales como temperatura superficial del mar (°C), salinidad, oxígeno disuelto (mL/L) y clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ) considerando el promedio de cada uno de los estratos por estación de muestreo y biomasa zooplanctónica ( $\text{mL}/1000 \text{ m}^3$ ). Y una segunda matriz correspondiente a la abundancia estandarizada de larvas de peces (transformadas a raíz cuarta y considerando solo aquellos taxa con frecuencia de aparición mayor al 10% en junio y al 5 % en marzo).

## 8. RESULTADOS

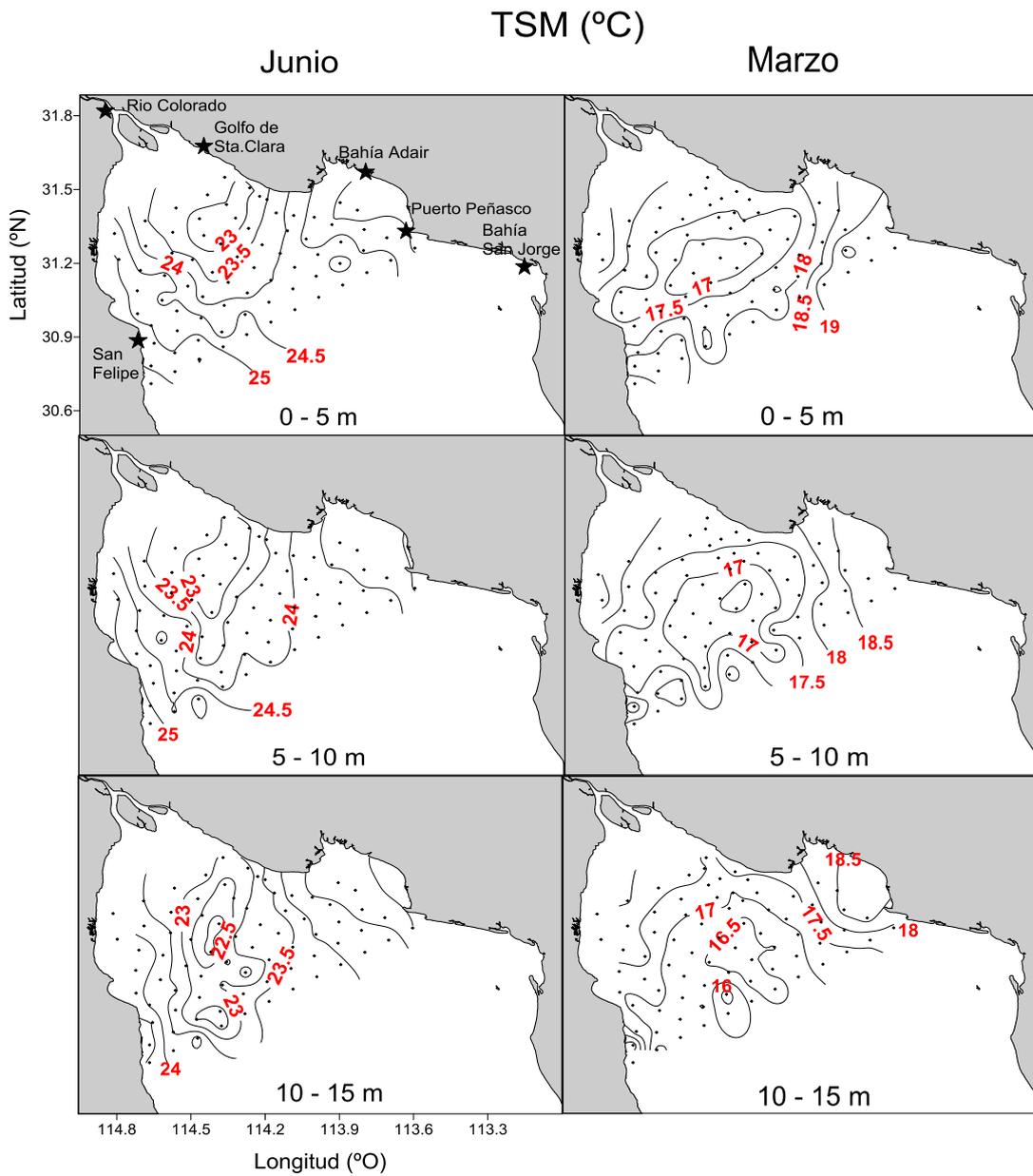
### 8.1 Condiciones del ambiente durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

La distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) mostró un fuerte comportamiento estacional entre las dos épocas analizadas, con valores que oscilan de los 22-25 °C en junio y 16-19 °C en marzo.

En junio, los valores de TSM en la columna de agua de la superficie a los 15 m indican que las mayores temperaturas (25 °C) se registraron en las zonas costeras de San Felipe B.C., Bahía Adair y Puerto Peñasco coincidiendo con las zonas más someras del área de estudio (Fig. 4). Las menores temperaturas (23 °C) se registraron al sur del Golfo de Santa Clara, extendiéndose hacia la parte central del área de estudio (Fig. 4). La media y desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $24.2 \pm 0.7$  °C,  $23.9 \pm 0.6$  °C,  $23.5 \pm 0.7$  °C respectivamente.

En marzo, la distribución de la TSM en los diferentes estratos muestra los valores mayores (19 °C) se localizan en las zonas costeras del área de estudio frente a Bahía Adair, Puerto Peñasco y San Felipe (Fig. 4). Las menores temperaturas (16 °C) se localizaron en la parte central del área de estudio (Fig. 4). La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $17.8 \pm 0.7$  °C,  $17.5 \pm 0.6$  °C,  $17.1 \pm 0.5$  °C respectivamente.

En ambas épocas fue evidente el gradiente térmico latitudinal que generó condiciones de frente que a su vez delimitaron a la zona bien mezclada y somera del AGC de la zona más profunda y estratificada del NGC.



**Figura 4.** Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.

La distribución de la salinidad en todo el AGC presentó menor variabilidad entre ambas épocas; así como valores altos que oscilaron entre 35.8 y 36.4.

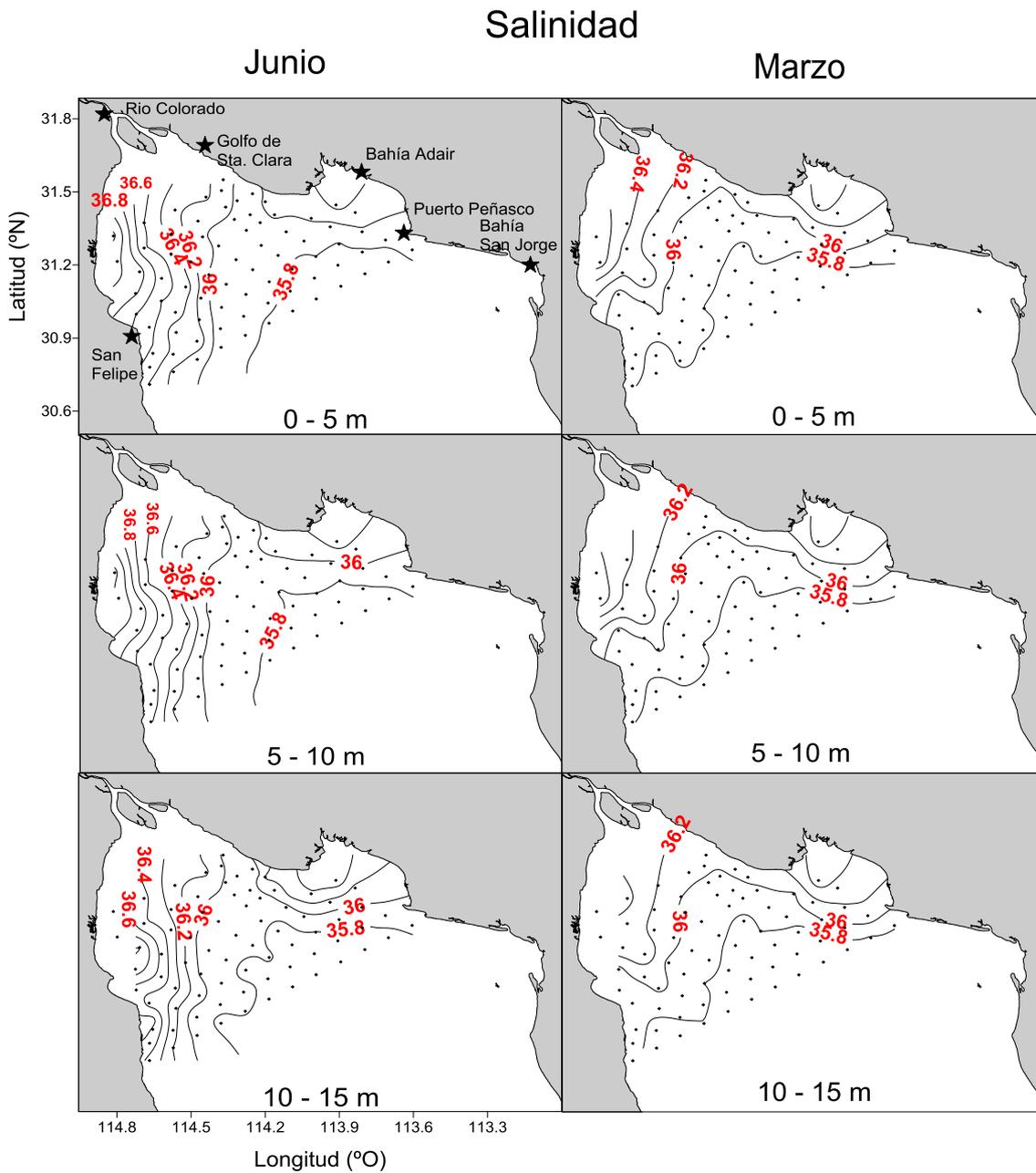
En junio la distribución de la salinidad en todos los estratos indicó que los valores mayores (36.4) se localizaron hacia la parte norte del área de estudio adyacente al delta del Río Colorado y hacia la zona costera al norte de San Felipe, ambas caracterizadas por su escasa profundidad, mientras que los valores menores (35.8) se observaron hacia el sur del área, una región con mayor influencia oceánica (Fig. 5). La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $36.1 \pm 0.3$ ,  $36.1 \pm 0.4$ ,  $36.0 \pm 0.3$  respectivamente.

En marzo la condición fue muy similar con respecto a junio, nuevamente los valores mayores (36) se localizaron hacia la parte norte cercana al delta y disminuyeron hacia el sur, con valores de salinidad de 35.8 (Fig. 5). La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $35.9 \pm 0.2$ ,  $35.9 \pm 0.2$ ,  $35.9 \pm 0.1$  respectivamente.

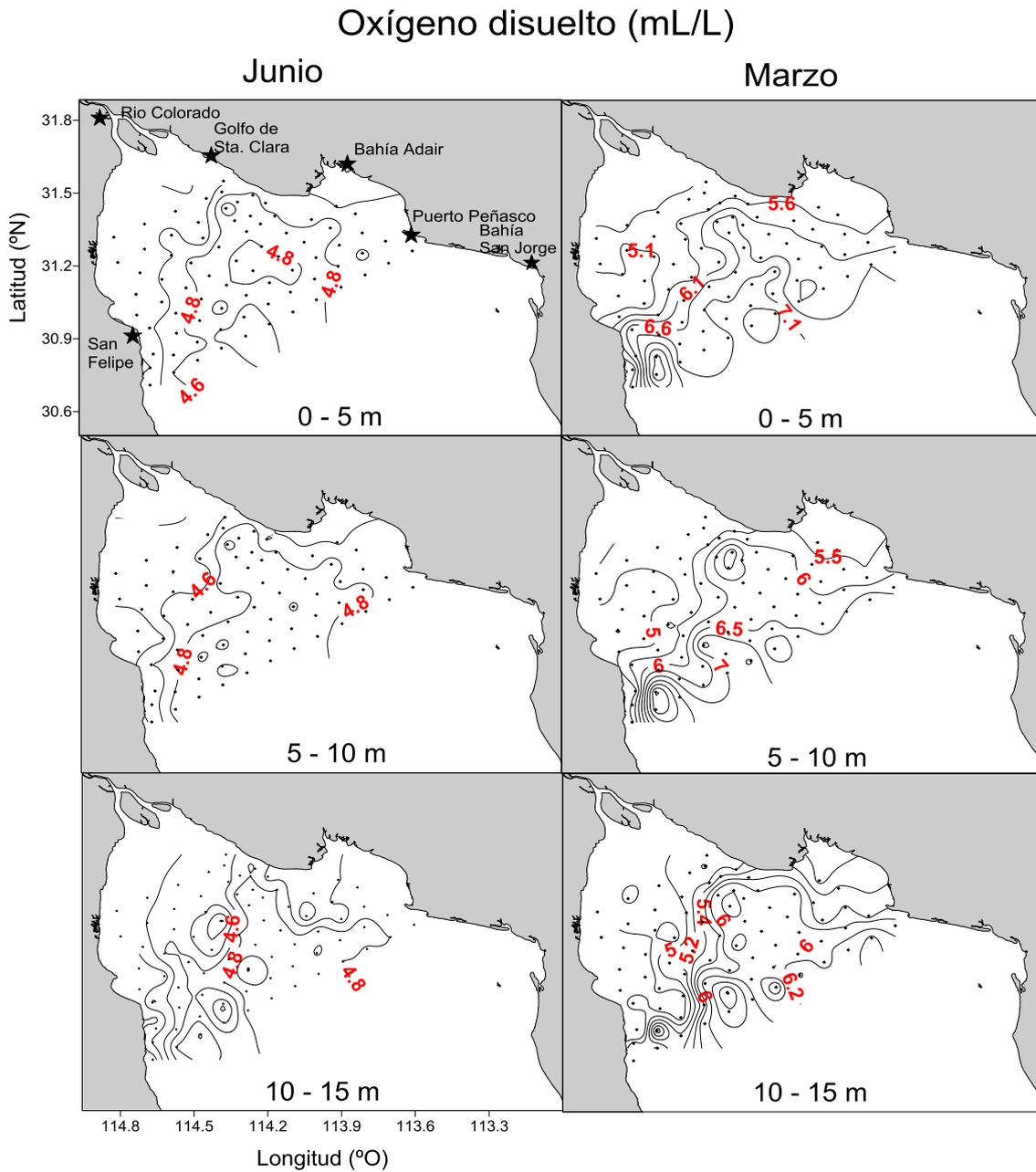
Durante junio la distribución del oxígeno disuelto fue más uniforme (Fig. 6), con valores de 4.8 mL/L casi en la totalidad del AGC en los tres estratos analizados, que disminuyen ligeramente hacia la zona norte (4.6 mL/L) en el estrato superficial. La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $4.7 \pm 0.1$ ,  $4.7 \pm 0.1$ ,  $4.6 \pm 0.2$  respectivamente.

En marzo se registró una mayor variación en la distribución del oxígeno, los valores altos (7 mL/L) se registraron hacia el sur en los tres estratos (Fig. 6), aunque cabe resaltar que los valores más altos estuvieron en los estratos superficial e intermedio. Los valores menores (5.1 mL/L) se observaron en la región norte del área de estudio, cercana al delta del Río Colorado, ambos valores contrastantes resaltan la formación de un frente de oxígeno disuelto que sirve como delimitación para la zona norte menos oxigenada y sur más oxigenada del AGC (Fig. 6).

La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $6.1 \pm 0.8$ ,  $5.9 \pm 0.9$ ,  $5.5 \pm 0.6$  respectivamente.



**Figura 5.** Distribución de la salinidad en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.



**Figura 6.** Distribución del oxígeno disuelto en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.

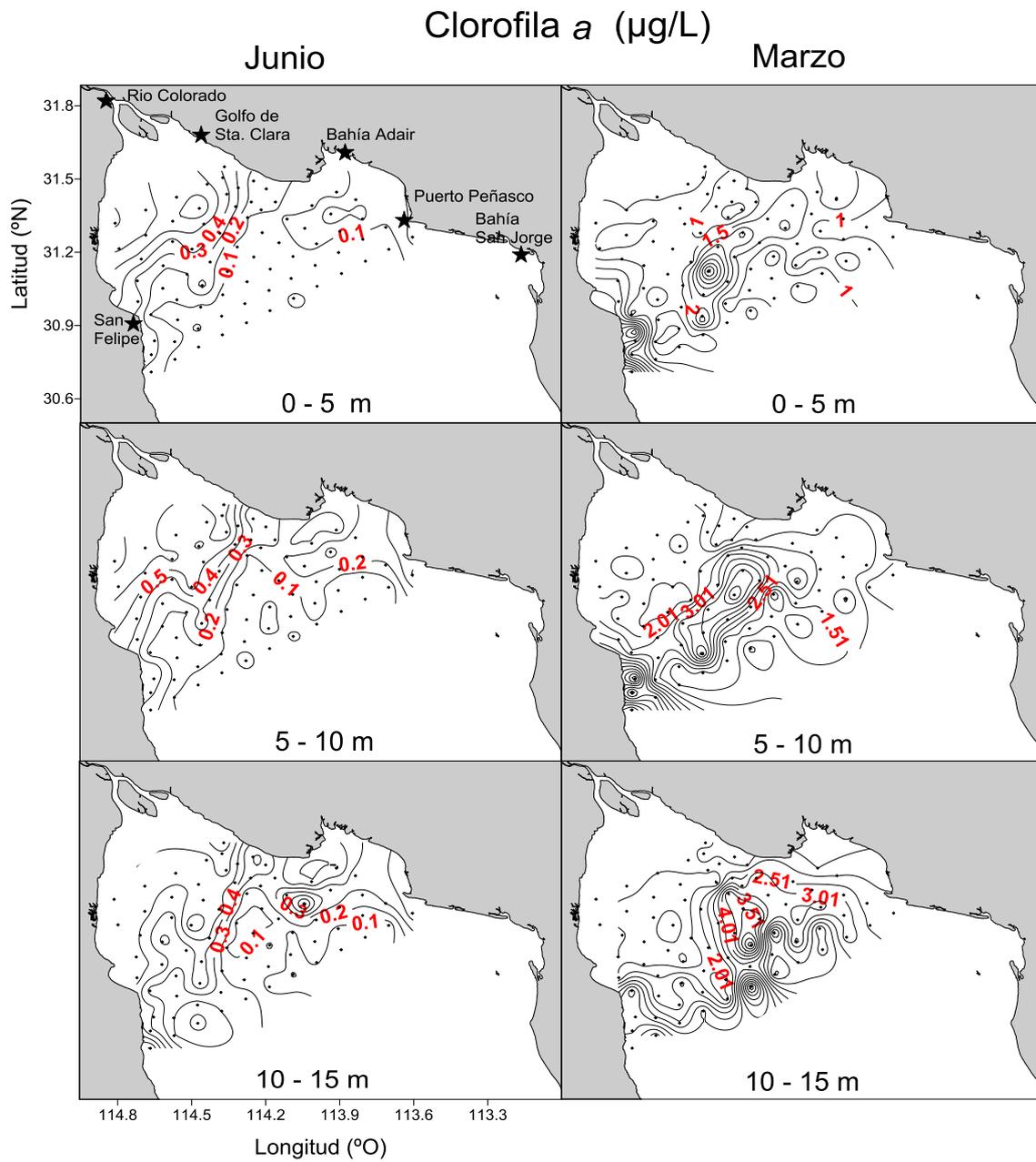
En cuanto a variables biológicas, se presentan los resultados de la concentración de clorofila-*a* (Cl-*a*) y de la biomasa zooplanctónica en los tres estratos muestreados.

La distribución de Cl-*a* en junio mostró mayor concentración (0.4 µg/L) en la zona norte, frente al Delta del Río Colorado, con tendencia a disminuir hacia el sureste, observándose las menores concentraciones (0.1 µg/L) frente a la región sur del AGC, extendiéndose hacia la zona con mayor influencia oceánica (Fig. 7). La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $0.1 \pm 0.1$ ,  $0.2 \pm 0.1$ ,  $0.3 \pm 0.2$  respectivamente.

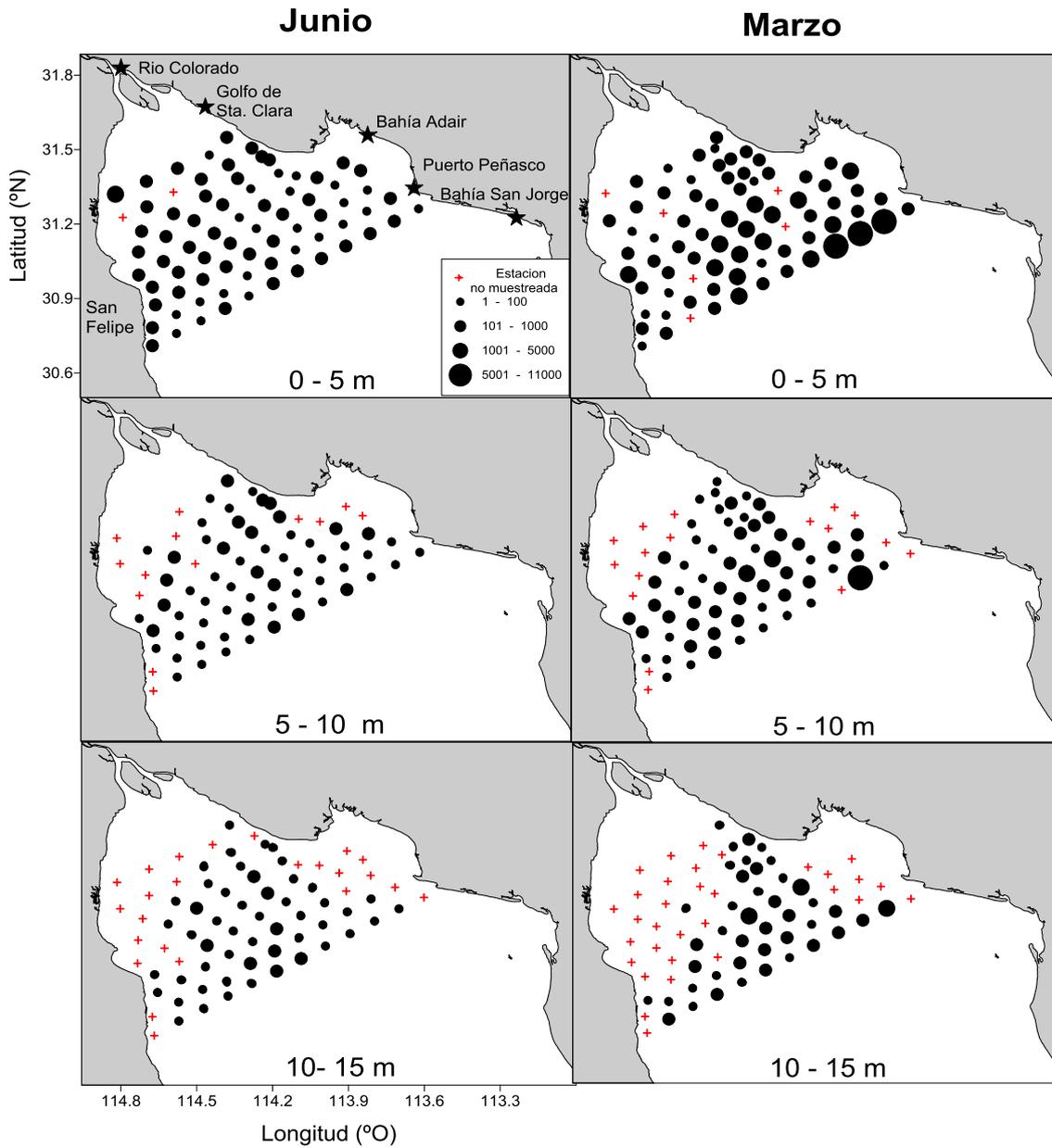
Durante marzo el patrón de distribución de la (Cl-*a*) fue más uniforme que durante junio, con valores bajos (1 µg/L) casi en la totalidad del área de estudio, en el estrato superficial, con valores que aumentan (4.01 µg/L) hacia los estratos intermedio y profundo, en la parte central del AGC (Fig. 7). La media y la desviación estándar en los estratos 0 – 5, 5 - 10 y 10 – 15 m fue de  $1.4 \pm 1.1$ ,  $2.2 \pm 1.4$ ,  $2.5 \pm 1.5$  respectivamente.

Con respecto a la biomasa zooplanctónica (BZ), durante junio sus valores fueron en general menores con respecto a los de marzo (promedio 192 mL/1000 m<sup>3</sup>) y su distribución fue bastante uniforme en el área de estudio. Los valores más elevados se distribuyeron hacia las zonas costeras, al norte de Puerto Peñasco y entre Bahía Adair y San Felipe, Sonora, y en las estaciones oceánicas asociadas a la Cuenca Wagner (Fig. 8). Una estación sobresalió por su elevada BZ, fue la estación más somera hacia el noroeste, asociada directamente al Delta del Río Colorado (Fig. 8).

Durante marzo, la BZ mostró valores mayores que durante junio (promedio 1022 mL/1000 m<sup>3</sup>), con una tendencia a incrementarse hacia el sur y la zona más profunda del área de estudio (Fig. 8).



**Figura 7.** Distribución de la clorofila a en los estratos superficial, intermedio y profundo (0.-.5, 5.-.10, 10.-.15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.



**Figura 8.** Distribución de la biomasa zooplanctónica (mL/1000 m<sup>3</sup>) en los estratos superficial, intermedio y profundo (0.-.5, 5.-.10, 10.-.15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011

## **8.2 Distribución y composición de la comunidad de larvas de peces durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.**

### **Distribución de la abundancia larval**

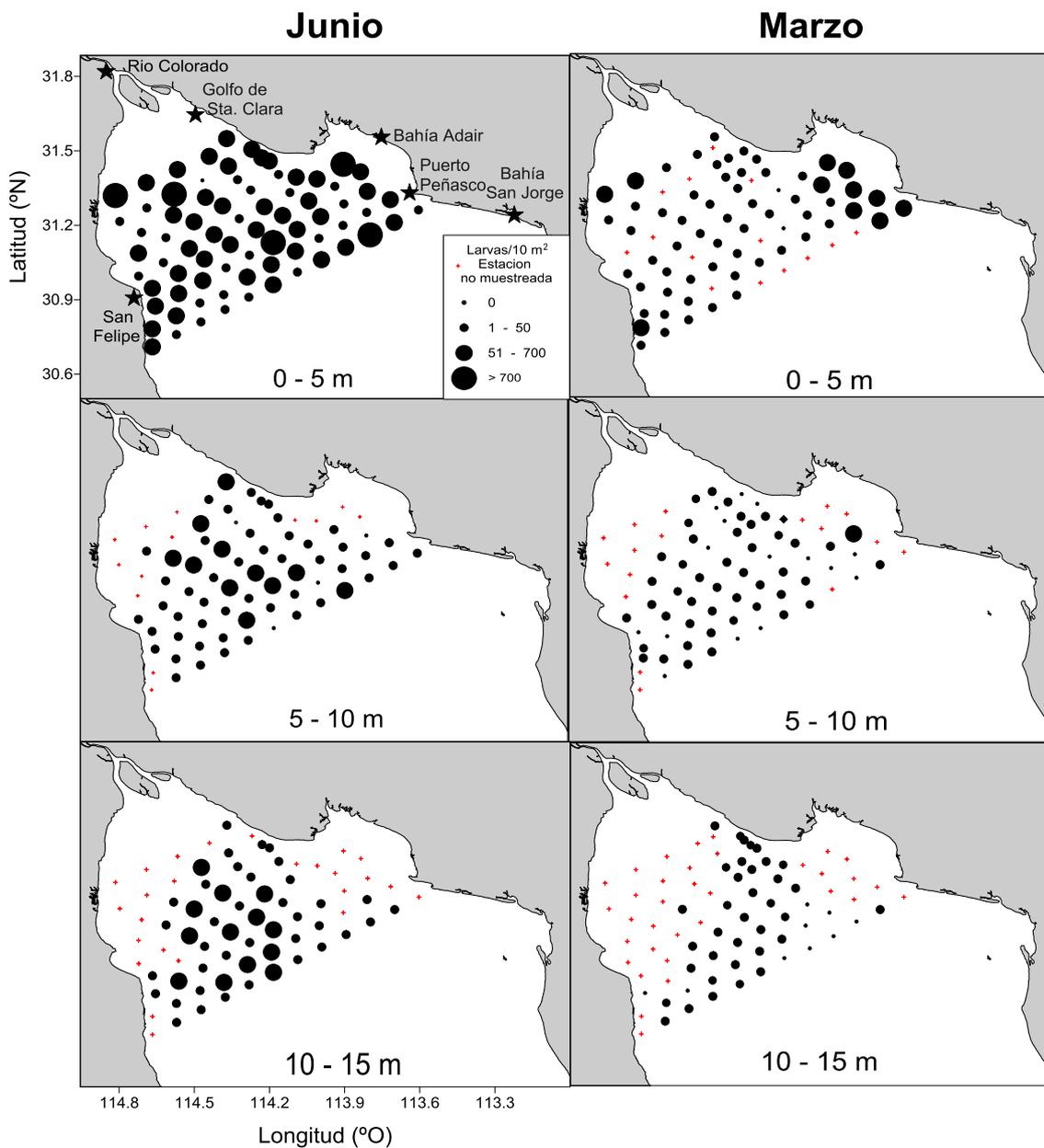
En junio los valores de abundancia larval fluctuaron entre 1 y 1906 larvas/10 m<sup>2</sup> por estación por estrato en la columna de agua. En el estrato superficial (0 - 5 m) las abundancias más altas estuvieron concentradas en estaciones ubicadas al norte del área de estudio, Bahía Adair, Puerto Peñasco y San Felipe y en tres estaciones localizadas en la zona más profunda adyacente a Cuenca Wagner. En los estratos intermedio y profundo (5 - 10 y 10 - 15 m) las abundancias larvales estuvieron distribuidas más uniformemente con valores que no sobrepasan a 260 larvas/10 m<sup>2</sup>.

En marzo los valores de abundancia larval oscilaron de 1 a 694 larvas/10 m<sup>2</sup> por estación por estrato en la columna de agua. En el estrato superficial las abundancias más altas estuvieron concentradas al norte de San Felipe y en las estaciones costeras de Bahía Adair y Puerto Peñasco. En los dos estratos inferiores, las abundancias larvales no fueron de más de 65 larvas /10 m<sup>2</sup> con las abundancias larvales mayores al sur del Golfo de Santa Clara, San Felipe y Puerto Peñasco (Fig. 9).

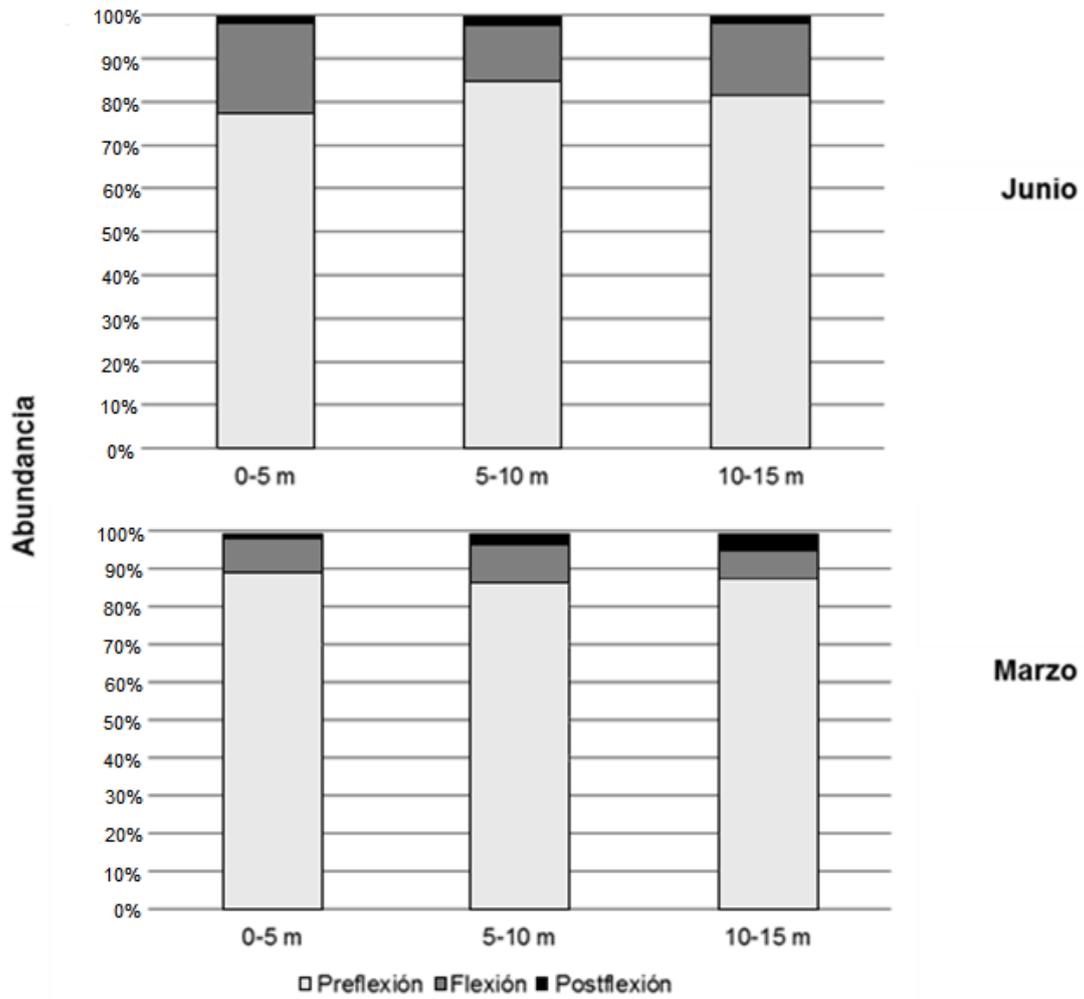
### **Distribución de los estadios de desarrollo**

En junio, se identificó un total de 10,851 larvas de peces con una abundancia estandarizada de 109 larvas/10m<sup>2</sup>, representando un incremento en la abundancia de aproximadamente cinco veces respecto a la de marzo (26 larvas/10 m<sup>2</sup>). La mayor abundancia se observó en el estrato superficial, siendo las larvas en estadio de preflexión las más abundantes en los tres estratos muestreados.

En marzo, un total de 2,191 organismos fueron identificados. La mayor abundancia estuvo nuevamente en el estrato superficial y, al igual que en junio, el estadio de preflexión fue el más abundante en la columna de agua (Fig. 10).



**Figura 9.** Abundancia larval (larvas/10 m<sup>2</sup>) en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.

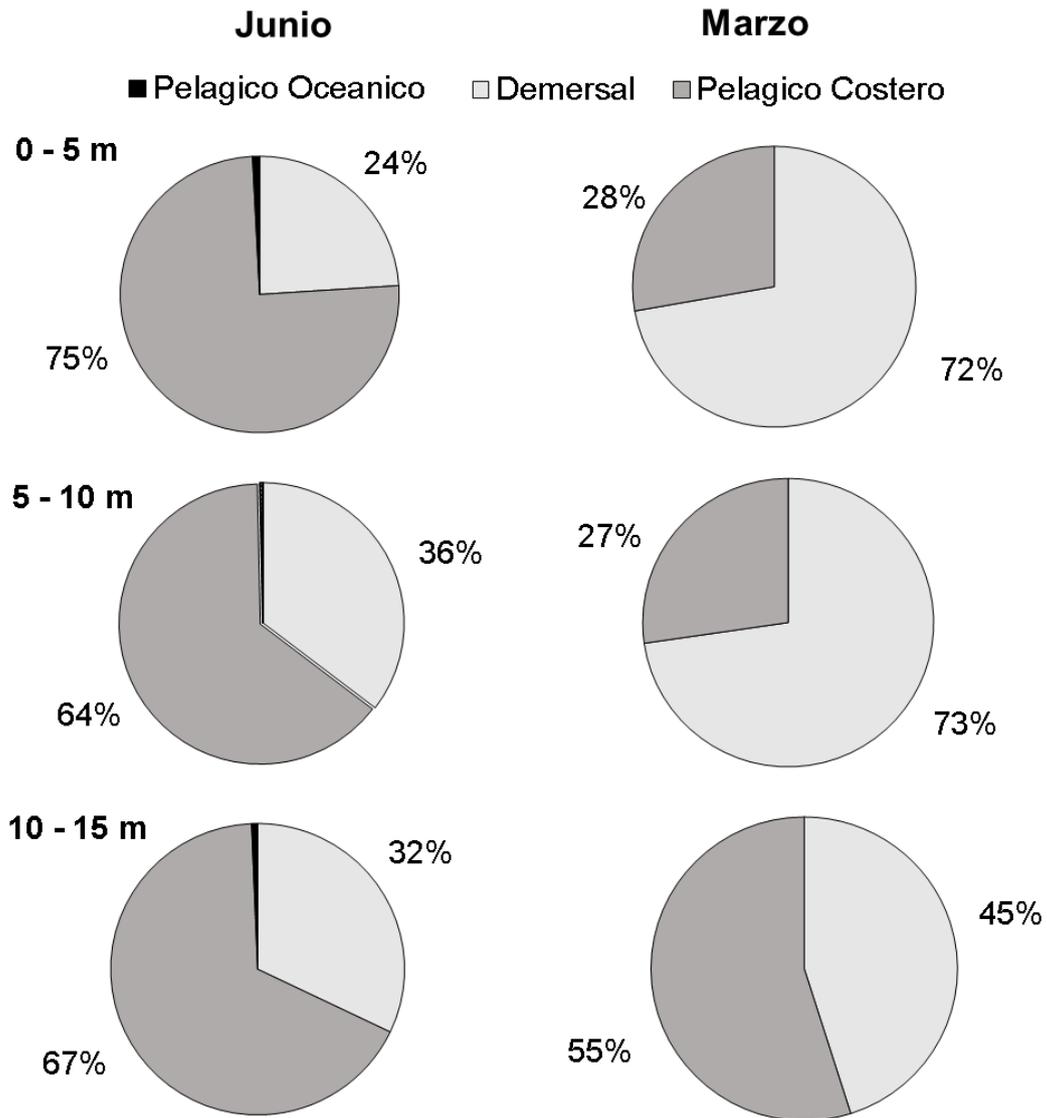


**Figura 10.** Proporción de larvas por estadio de desarrollo en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) en el Alto Golfo de California en junio del 2010 y marzo del 2011.

### **Composición de la comunidad de larvas de peces.**

De acuerdo a las afinidades de los adultos, los taxa encontrados representaron principalmente dos grupos: el demersal y el pelágico-costero. En junio se presentó además un bajo porcentaje (1%) de larvas de adultos de ambiente pelágico-oceánico con una sola especie, *Auxis* spp. En este mes, las larvas de peces pelágico-costeros fueron las más abundantes, representando en los estratos inferiores más del 60% del total, siendo estrato superficial el mejor representado con un 75%. (Fig. 11)

Durante marzo, las larvas de las especies de ambiente demersal fueron las más abundantes que las de los pelágico-costeros, representando en los dos primeros estratos más del 70%, bajando notablemente el porcentaje de la abundancia (45%) en el estrato profundo (Fig. 11).



**Figura 11.** Porcentajes de abundancia larval en la columna de agua de acuerdo al ambiente de los adultos en los estratos superficial, intermedio y profundo (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 m) durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

## **Composición taxonómica**

Se identificaron un total de 13, 042 larvas de peces (10,851 en junio - 2191 en marzo), que representaron a 110 taxa cuyos adultos ocupan los ambientes demersal, pelágico-costero y pelágico-oceánico. Del total de taxa, 26 se identificaron a nivel de familia, 28 a género y 56 a especie. En junio se registró un total de 88 taxa (21 familias, 19 géneros y 48 especies). En marzo, fueron 46 los taxa registrados (10 a nivel de familia, 12 a nivel de género y 24 a nivel de especie) (Anexo 1).

La lista de especies identificadas (Anexo 1) incluye: los nombres específicos de aquellas larvas que fueron identificadas al nivel de especie; al de género tipo precedido por la notación sp., para aquellas larvas identificadas solo al nivel de género, o spp., cuando un número más grande de morfotipos fueron reconocidos para un género. Con el fin de distinguir a los organismos en varios tipos de acuerdo a su patrón de pigmentación y caracteres merísticos, los taxa precedidos por la notación tipo fueron aquellas larvas en las cuales solo las características a nivel de familia fueron reconocidas, se registraron varios tipos de acuerdo a su pigmentación y caracteres merísticos. Para poder identificar todas las larvas al nivel de especie, se requiere un mayor y más complejo análisis taxonómico (morfométrico y/o molecular).

## **Composición por familia**

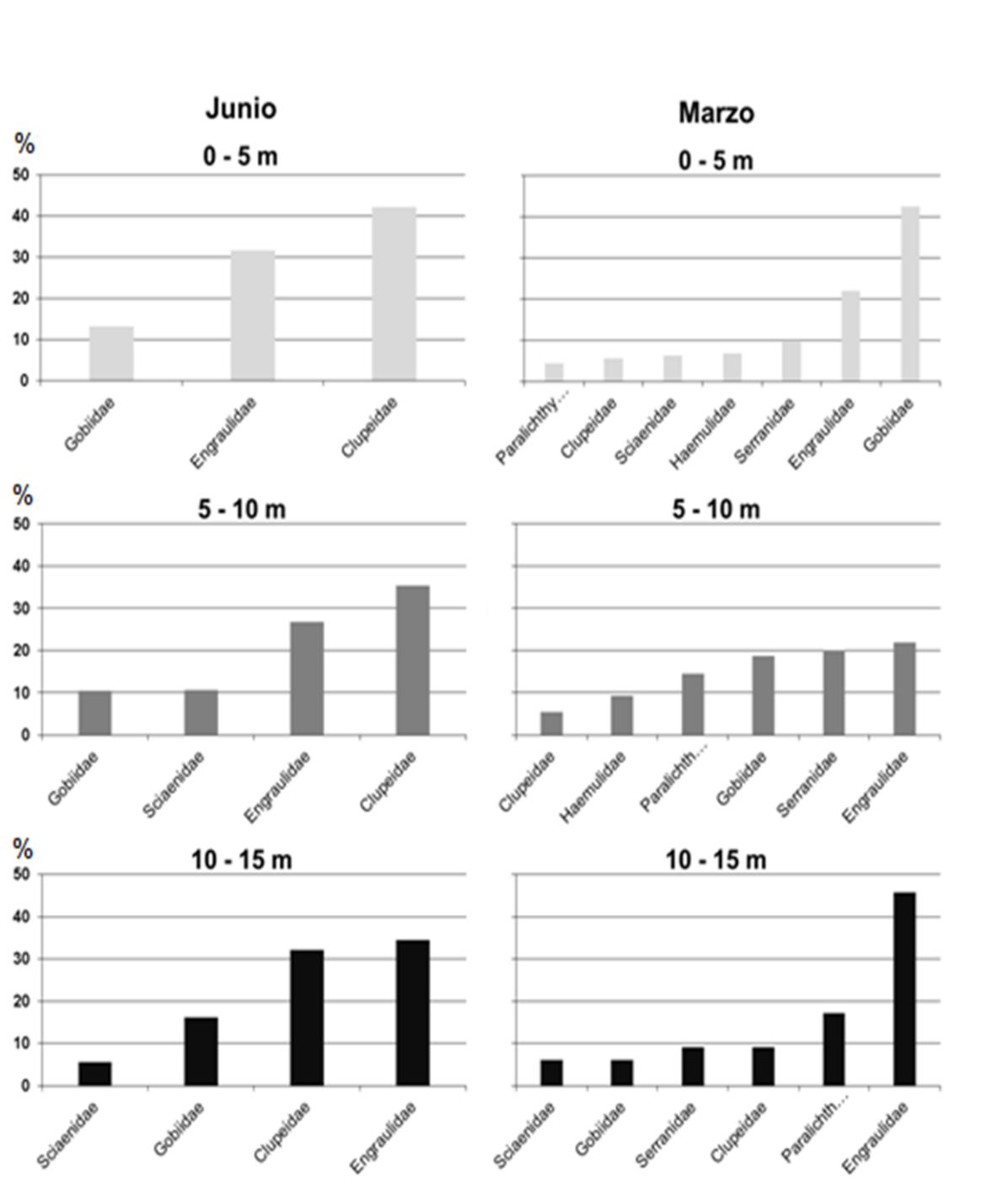
Durante junio del 2010, principalmente cuatro familias contribuyeron con la abundancia larval en la columna de agua: Clupeidae, Engraulidae, Gobiidae y Sciaenidae, contribuyendo con el 10% o más de la abundancia en los dos primeros estratos. En marzo la distribución de las abundancias larvales por familia fue más variable, y las principales fueron Engraulidae con aproximadamente el 20% en los dos primeros estratos y más del 40% en el estrato inferior; Gobiidae, con más del 40 % en el estrato superficial, y otras familias como Serranidae, Clupeidae y Paralichthyidae, aportando menos del 20% de la abundancia en los tres estratos muestreados (Fig. 12).

## Composición específica

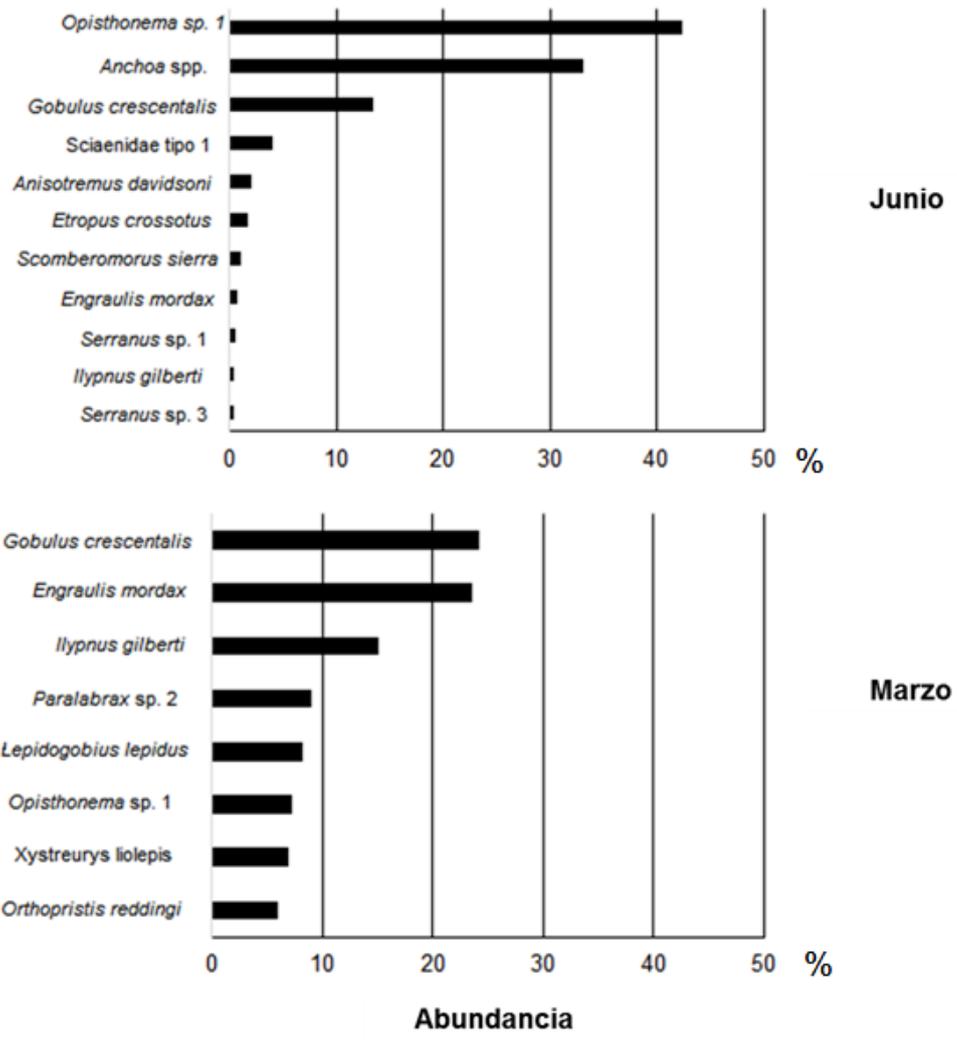
De los 88 taxa identificados en junio, 11 se distinguieron por su contribución a la abundancia larval total (más del 1%) o bien por estar presentes en más del 50% de las estaciones muestreadas en el área de estudio (Fig. 13). Sin embargo, la abundancia y frecuencia de estos taxa por estrato varió. La mayoría de los taxa estuvieron distribuidos con altas abundancias entre la superficie y los 10 m, con excepción de *Serranus* sp. 1 y *Serranus* sp. 3, cuyas abundancias más altas estuvieron debajo de los 10 m de profundidad. *Opisthonema* sp. 1 (42.3%), *Anchoa* spp. (33.1%) y *Gobulus crescentalis* (13.4%) fueron los taxa principales en esta época.

En marzo, de los 46 taxa identificados, 8 fueron los que contribuyeron con más del 5 % de la abundancia larval total y estuvieron presentes en más del 50% de las estaciones muestreadas en el área de estudio; la mayoría de estos fueron taxa demersales, aunque también se registró un clupéido (*Opisthonema* sp. 1) y dos engráulidos (*Engraulis mordax* y *Anchoa* spp.) como representantes de los pelágico-costeros (Fig. 13). *Gobulus crescentalis* (24.1%), *Engraulis mordax* (23.4%) e *Ilypnus gilberti* (15%) fueron los taxa principales.

ABUNDANCIA



**Figura 12.** Porcentajes de contribución en la abundancia larval por familia en la columna de agua durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.



**Figura 13.** Taxa más abundantes en la columna de agua de los 0 a los 15 m durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

### 8.3 DETERMINACIÓN DE HÁBITATS LARVARIOS

#### Análisis de datos estadísticos

#### Pruebas *a priori*

#### Prueba U de Mann-Whitney

La prueba U de Mann-Whitney se realizó sobre las matrices de datos de las estaciones muestreadas en ambas épocas climáticas, con el fin de determinar si existían diferencias significativas en la abundancia larval durante el día y la noche. Durante junio, no se observaron diferencias significativas (Tabla I). En marzo, se encontraron diferencias significativas en las muestras durante el día y la noche en el estrato de profundo (10 - 15 m) (Tabla I).

**Tabla I.** Resultados de la prueba U de Mann-Whitney ( $p= 0.05$ ) aplicada a la abundancia larval obtenida en las estaciones muestreadas durante el día y la noche en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

JUNIO						
Estrato	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Suma de rangos	Valores de U	Valor de U utilizado	Resultado
0 - 5	41	33	786 - 1044	449 - 435	435	Se acepta H <sup>0</sup>
5 - 10	31	30	250 - 246	93 - 145	93	Se acepta H <sup>0</sup>
10 - 15	22	28	208 - 319.5	109 - 130.5	109	Se acepta H <sup>0</sup>

MARZO						
Estrato	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Suma de rangos	Valores de U	Valor de U utilizado	Resultado
0 - 5	26	34	1568 - 1207	646 - 707	646	Se acepta H <sup>0</sup>
5 - 10	14	17	1012 - 879	414 - 516	414	Se acepta H <sup>0</sup>
10 - 15	12	20	663 - 612	206 - 410	206	Se rechaza H <sup>0</sup>

## Prueba de Kruskal-Wallis

El análisis exploratorio de Kruskal-Wallis se realizó sobre los datos de abundancia larval de ambos cruceros con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las muestras obtenidas en cada estrato. Durante junio, el análisis muestra diferencias significativas entre el estrato superior (0 – 5 m) y el estrato intermedio (5 – 10 m). En el análisis realizado sobre las muestras colectadas durante marzo, no se establecieron diferencias significativas en la abundancia larval en ninguno de los estratos (Tabla II).

**Tabla II.** Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis ( $p= 0.05$ ) aplicada a la abundancia larval obtenida en cada uno de los estratos de las estaciones muestreadas en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

JUNIO		
Estrato	Estadístico de prueba/Valor crítico	Resultado
0-5 vs 5-10	21.0657 > 18.1730	Se rechaza $H^0$
0-5 vs 10-15	8.4497 < 19.2376	Se acepta $H^0$
5-10 vs 10-15	12.6160 < 20.0471	Se acepta $H^0$

MARZO		
Estrato	Estadístico de prueba/Valor crítico	Resultado
0-5 vs 5-10	10.1798 < 15.6008	Se acepta $H^0$
0-5 vs 10-15	4.8406 < 15.4392	Se acepta $H^0$
5-10 vs 10-15	5.3392 < 17.7745	Se acepta $H^0$

## **Pruebas *a posteriori***

### **Índice de similitud de Bray-Curtis**

Este índice se empleó para la detección de grupos por estación/estrato y su distribución en el área de estudio para cada uno de los cruceros. En un análisis que involucró a las abundancias larvianas de aquellos taxa que representaron al menos el 10% de la frecuencia de aparición en junio y 5 % en marzo (Tabla III).

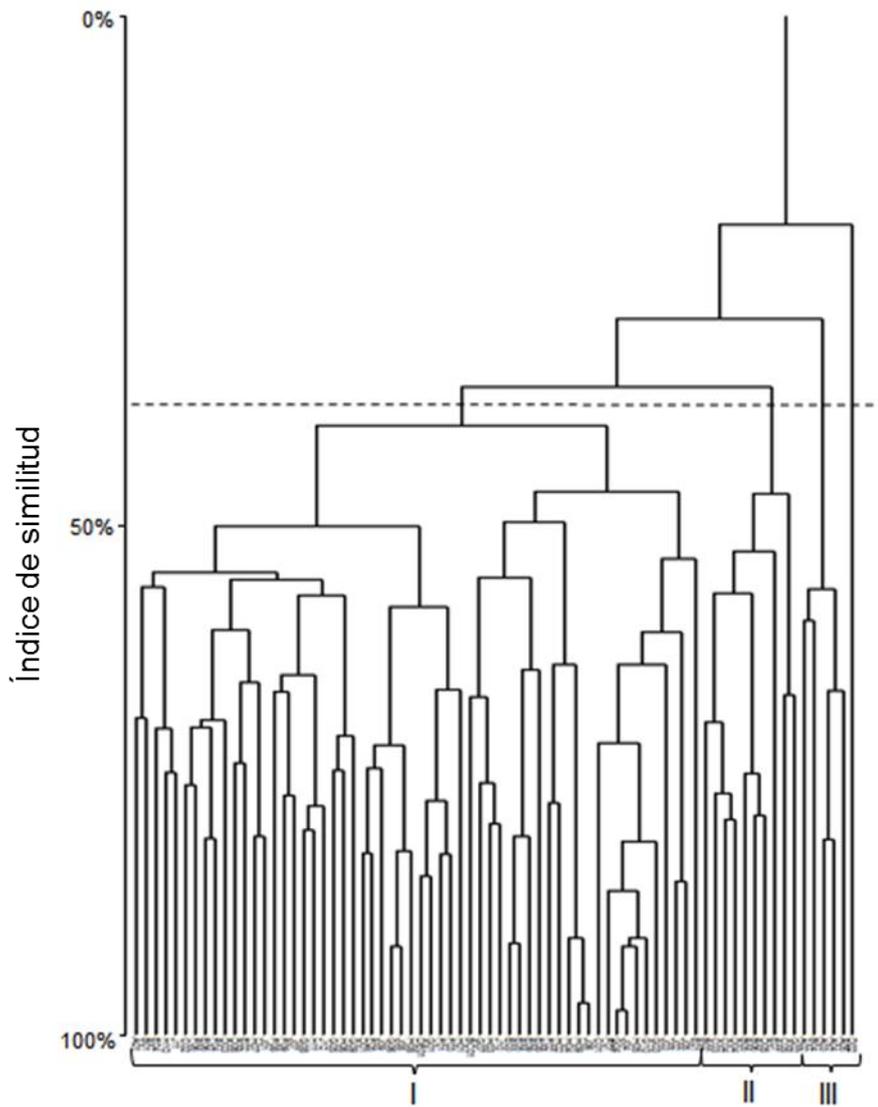
Derivado del análisis de la comunidad de larvas de peces (abundancia y composición taxonómica) y de la distribución de las variables ambientales, se observó que en cuanto a diversidad, distribución de la abundancia y frecuencia de las especies, y en cuanto a su concordancia con relación a las variables ambientales; el estrato más representativo para la determinación de hábitats larvianos fue el estrato superficial (0 a 5 m).

En junio en el estrato superficial, el análisis indicó la presencia de tres grupos (Fig. 14). En los estratos más profundos se redujo a dos grupos en cada uno, con distribución distinta a los grupos del estrato superficial (Apéndices 1, 2, 5).

En el estrato superficial, el grupo I (58 estaciones; Figs. 14 y 16) se conformó por 12 taxa y una abundancia promedio de 164 larvas/ 10 m<sup>2</sup>. Las 58 estaciones muestreadas ocuparon la mayor parte hacia el sur del área de estudio con un gran número agrupadas en el área entre Puerto Peñasco y Bahía Adair y con un menor número hacia la costa peninsular (Fig. 16). El grupo II (10 estaciones; Figs. 14 y 16) se conformó por 9 taxa y una abundancia promedio de 130 larvas/ 10 m<sup>2</sup>; las estaciones estuvieron ubicadas entre la zona más somera y la zona de influencia oceánica en el área de estudio (Fig. 16). El grupo III (5 estaciones; Figs. 14 y 16) ubicó a 7 taxa con una abundancia promedio de 563 larvas/ 10 m<sup>2</sup>; la totalidad de las estaciones estuvieron ubicadas en coincidencia con la zona más somera anexa al delta del Río Colorado (Fig. 16).

**Tabla III.** Lista de taxa con más del 10% de frecuencia de aparición en junio del 2010 y 5% en marzo del 2011.

	Junio		Marzo	
	%Frecuencia	Abundancia	%Frecuencia	Abundancia
<i>Opisthonema</i> sp. 1	93	7826	12	210
<i>Anchoa</i> spp.	91	6126	5	164
<i>Etropus crossotus</i>	63	333		
Sciaenidae tipo 1	53	750		
<i>Gobulus crescentalis</i>	51	2483	15	704
<i>Anisotremus davidsoni</i>	48	370		
<i>Scomberomorus sierra</i>	32	191		
<i>Eucinostomus gracilis</i>	29	171		
<i>Ilypnus gilberti</i>	28	84	18	438
<i>Engraulis mordax</i>	24	129	64	684
<i>Serranus</i> sp. 3	23	84		
<i>Serranus</i> sp. 1	21	99		
<i>Synodus lucioceps</i>	21	37		
<i>Diapterus peruvianus</i>	19	138		
<i>Eucinostomus dowii</i>	17	77		
<i>Calamus brachysomus</i>	17	29		
<i>Haemulon californiense</i>	15	48	5	71
<i>Oligoplites saurus inornatus</i>	15	43		
<i>Oligoplites</i> sp. 1	15	38		
<i>Achirus mazatlanus</i>	13	20		
<i>Serranus</i> sp. 2	13	24		
<i>Auxis</i> spp.	11	148		
<i>Halichoeres semicinctus</i>	11	14		
<i>Xystreureys liolepis</i>			45	203
<i>Hypsoblennius gentilis</i>			19	34
<i>Paralabrax</i> sp. 1			15	263
<i>Cheilotremma saturnum</i>			14	43
<i>Hypsoblennius</i> sp.			14	24
Sciaenidae tipo 3			12	24
<i>Paralabrax</i> sp. 2			12	50
<i>Hippoglossina stomata</i>			11	10
<i>Orthopristis reddingi</i>			8	172
<i>Prionotus ruscarius</i>			7	7
<i>Lepidogobius lepidus</i>			7	238
<i>Paralabrax clathratus</i>			5	13



**Figura 14.** Grupos (números romanos) formados durante junio de 2010 en el estrato superficial (0–5 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 10% de frecuencia de aparición.

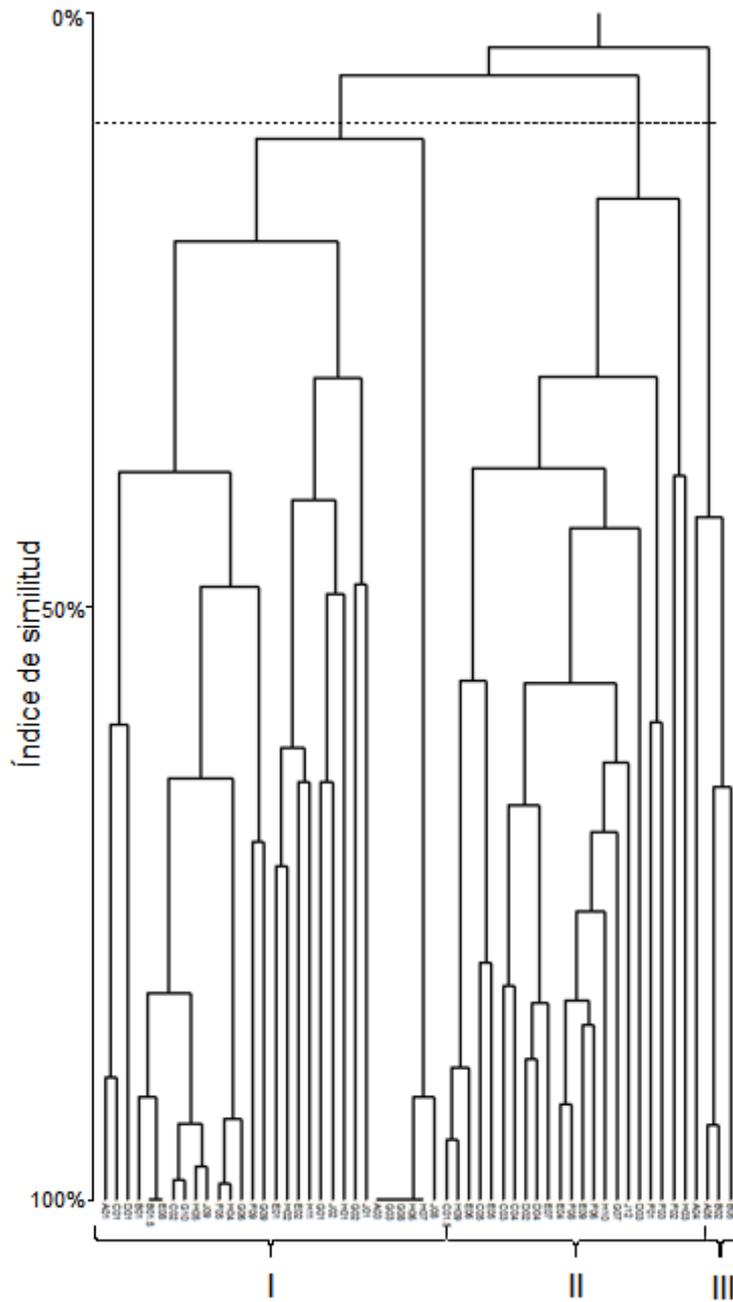
En marzo en el estrato superficial el análisis indicó también la presencia de tres grupos (Fig. 15), mientras que en los estratos más profundos el número de grupos y la complejidad en su distribución aumentaron (Apéndices 3, 4, 5).

En el estrato superficial el grupo I (30 estaciones; Fig. 15 y 16) se conformó por 7 taxa con una abundancia promedio de 36 larvas/ 10 m<sup>2</sup>. Este grupo ocupó una franja horizontal desde San Felipe y Bahía Adaír en la porción sureste del área (Fig. 16). El grupo II (22 estaciones; Figs. 15 y 16) se conformó por 6 taxa y una abundancia promedio de 11 larvas/ 10 m<sup>2</sup>, las estaciones estuvieron orientadas al noroeste del área entre las estaciones más someras y más profundas del área de estudio (Fig. 16). El grupo III (4 estaciones; Figs. 15 y 16) con 2 taxa con una abundancia promedio de 167 larvas/ 10 m<sup>2</sup>, la totalidad de las estaciones estuvieron en la zona más somera del área de estudio (Fig. 16).

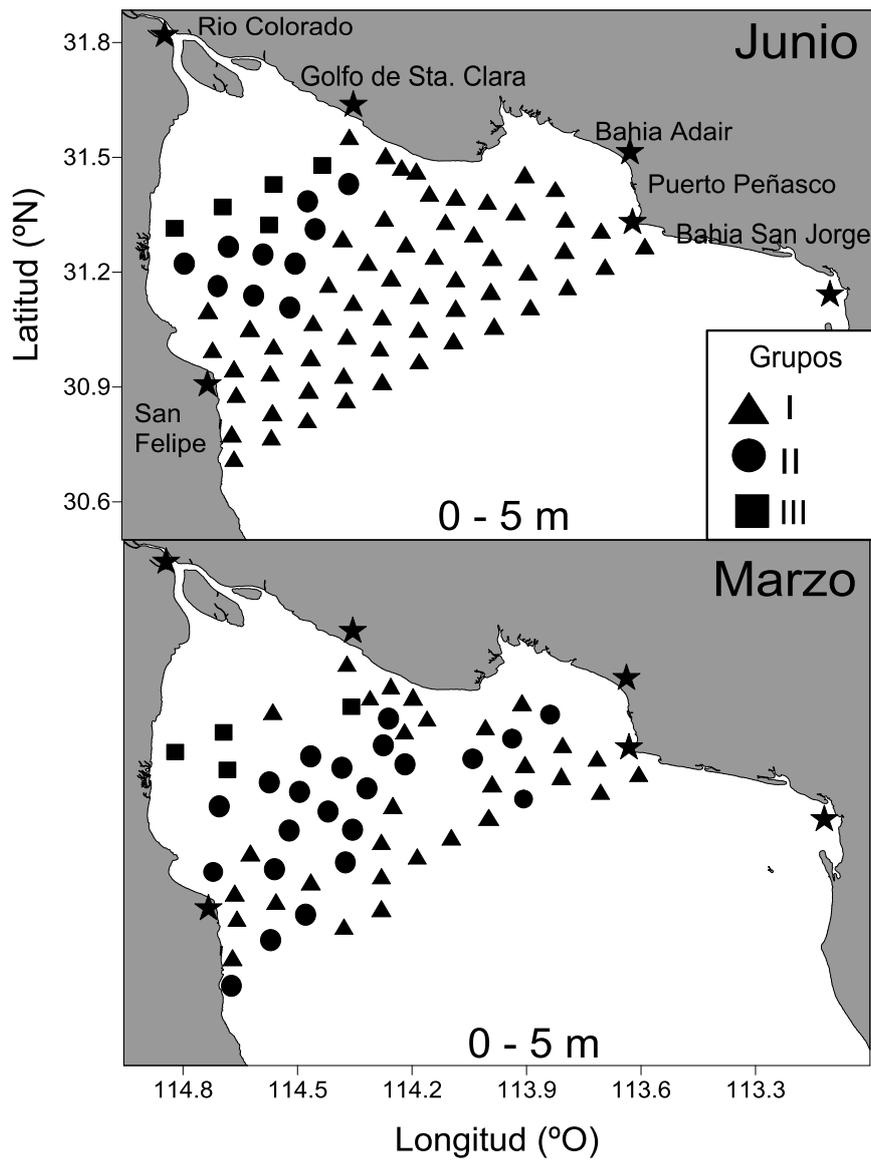
### **MRPP (Multi Response Permutational Procedure)**

El análisis MRPP mostró diferencias significativas en la distribución de los grupos larvarios obtenidos a partir del índice de similitud de Bray Curtis, entre ambas épocas y entre estratos (demostrando distintas comunidades de larvas de peces en junio y en marzo) en el AGC. Confirmando cuantitativamente la diferencia existente entre el estrato superficial y el resto de los estratos. (Tabla IV).

Al realizar la comparación múltiple entre estratos en las dos épocas analizadas las diferencias significativas entre estratos fueron observadas con excepción del estrato profundo en marzo el cual no mostró diferencias significativas. (Tabla V).



**Figura 15.** Grupos (números romanos) formados durante marzo de 2011 en el estrato superficial (0–5 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 5% de frecuencia de aparición.



**Figura 16.** Distribución horizontal de los grupos obtenidos a partir del índice de similitud de Bray Curtis en el estrato superficial en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

**Tabla IV.** Valores obtenidos a partir del MRPP en los estratos superficial, intermedio y profundo en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

<b>Junio</b>			
<b>Estrato</b>	<b>0 - 5 m</b>	<b>5 - 10 m</b>	<b>10 - 15 m</b>
Delta observado =	209.79444	27.457764	44.918653
Delta esperado =	219.45294	27.974922	48.004179
Varianza de delta =	4.8165523	0.59963570	0.16914668
Simetría de delta =	-2.4252578	-1.8372284	-1.8121012
Estadístico de prueba T =	-4.4008986	-2.1119276	-7.5023517
$p =$	0.00595548	0.04377313	0.00013695
$A =$	0.04401170	0.01848647	0.06427619

<b>Marzo</b>			
<b>Estrato</b>	<b>0 - 5 m</b>	<b>5 - 10 m</b>	<b>10 - 15 m</b>
Delta observado =	54.249930	4.4666175	7.9313526
Delta esperado =	56.116387	6.3611726	8.2561779
Varianza de delta =	0.53240603	0.22300635	0.91402944
Simetría de delta =	-2.7188470	-1.9314649	-1.4840350
Estadístico de prueba T =	-2.5579761	-12.686699	-1.0744093
$p =$	0.03137553	0.00000085	0.13295579
$A =$	0.03326046	0.29783111	0.03934330

**Tabla V.** Valores obtenidos a partir del MRPP en una comparación múltiple entre los estratos superficial, intermedio y profundo en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.

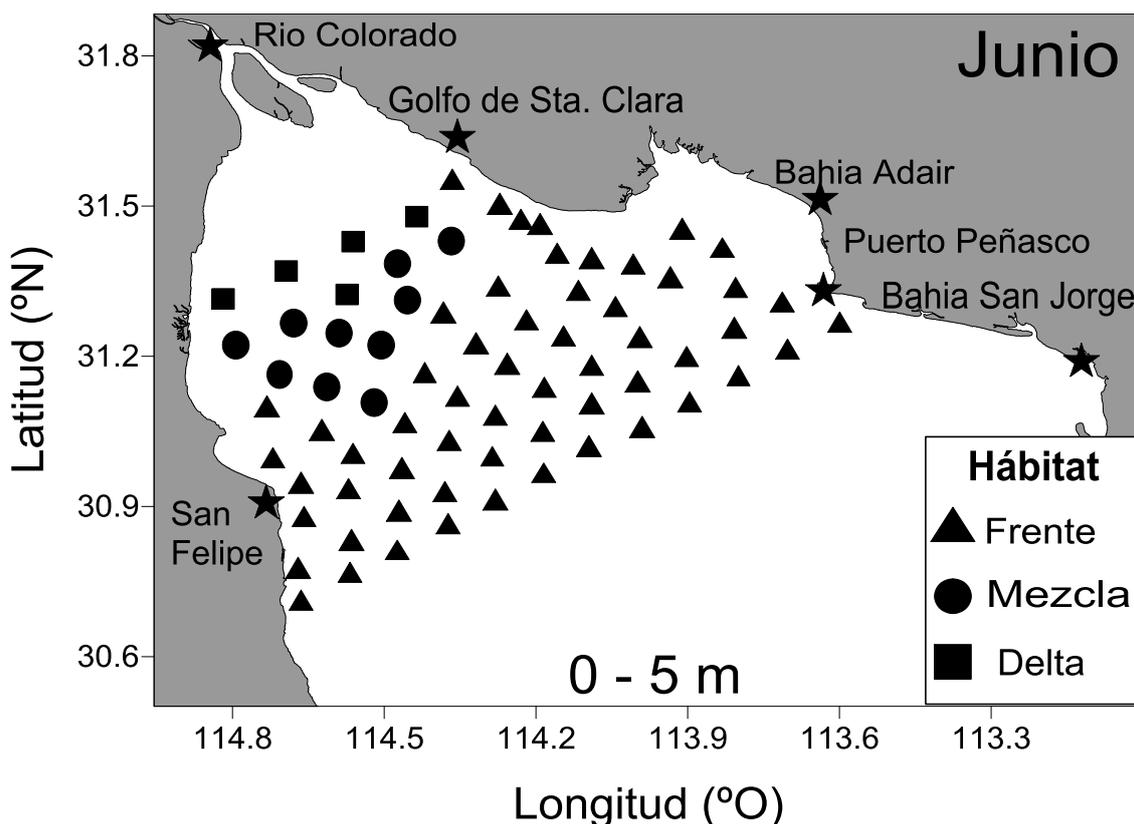
<b>Junio</b>			
<b>Comparación entre estratos</b>			
<b>Estratos</b>	<b>0-5 vs 5-10 m</b>	<b>0-5 vs 10-15 m</b>	<b>5-10 vs 10-15 m</b>
<b>Estadístico de prueba T</b>	-16.71460466	-12.72831415	-1.87699867
$p=$	0.00000000	0.00000001	0.05181613
$A=$	0.04262114	0.03159185	0.00524909

<b>Marzo</b>			
<b>Comparación entre estratos</b>			
<b>Estratos</b>	<b>0-5 vs 5-10 m</b>	<b>0-5 vs 10-15 m</b>	<b>5-10 vs 10-15 m</b>
<b>Estadístico de prueba T</b>	-1.74378107	-1.89959902	0.45665474
$p=$	0.06195582	0.04936008	0.61609127
$A=$	0.00625783	0.00715954	-0.00208500

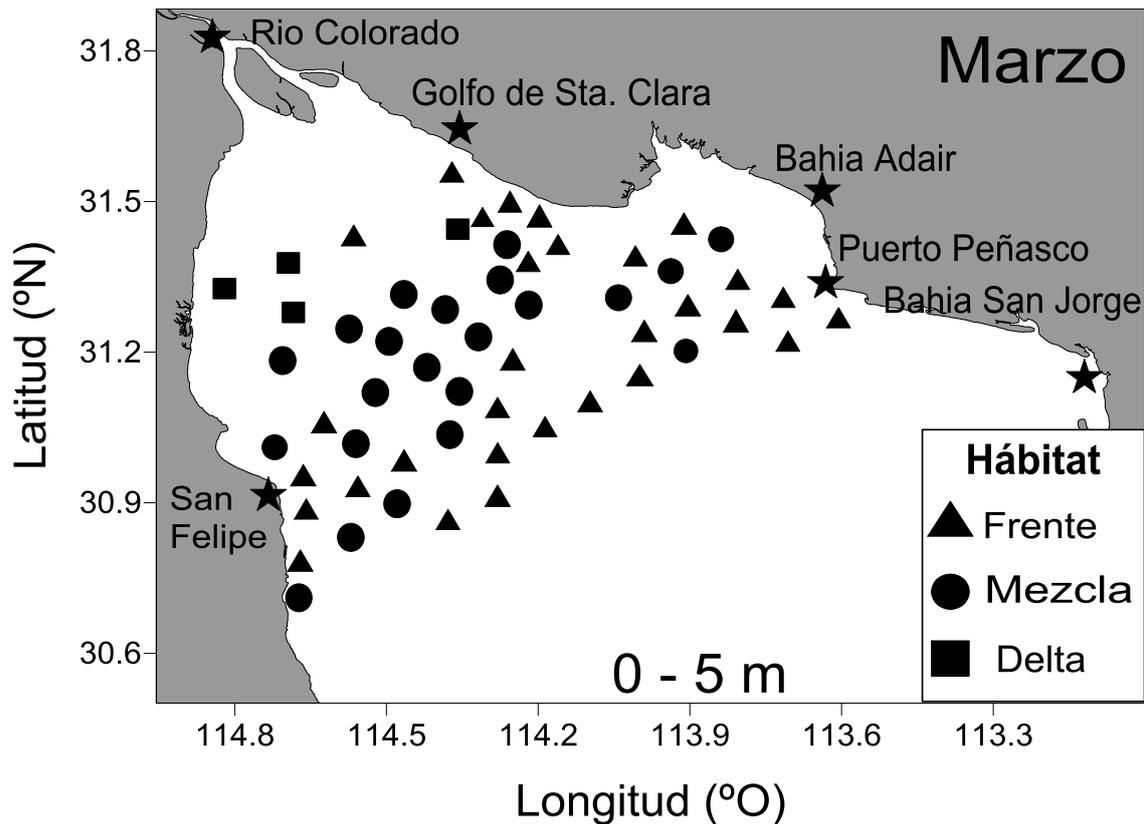
## Hábitats larvarios

Con base en el análisis anterior, se definieron tres hábitats de larvas de peces en el Alto Golfo de California, tanto en junio (Fig. 17) como en marzo (Fig. 18).



**Figura 17.** Ubicación de hábitats larvarios en el estrato superficial durante junio de 2010.

El hábitat Delta, antes llamado Grupo III, ubicado en la zona noroeste coincidió con las estaciones más someras y frente al delta del Río Colorado. En éste hábitat se presentaron en ambas épocas los valores más elevados de temperatura y salinidad superficiales y los menores valores de oxígeno disuelto así como concentraciones de clorofila *a* y biomasa zooplanctónica. Fue dominado por *Anchoa* spp. y *G. crescentalis* en junio y solo por *G. crescentalis* en marzo (Tabla VI). Este hábitat se caracterizó por presentar el menor número de especies en ambas épocas y la mayor abundancia larval promedio.



**Figura 18.** Ubicación de hábitats larvarios en el estrato superficial durante marzo de 2011.

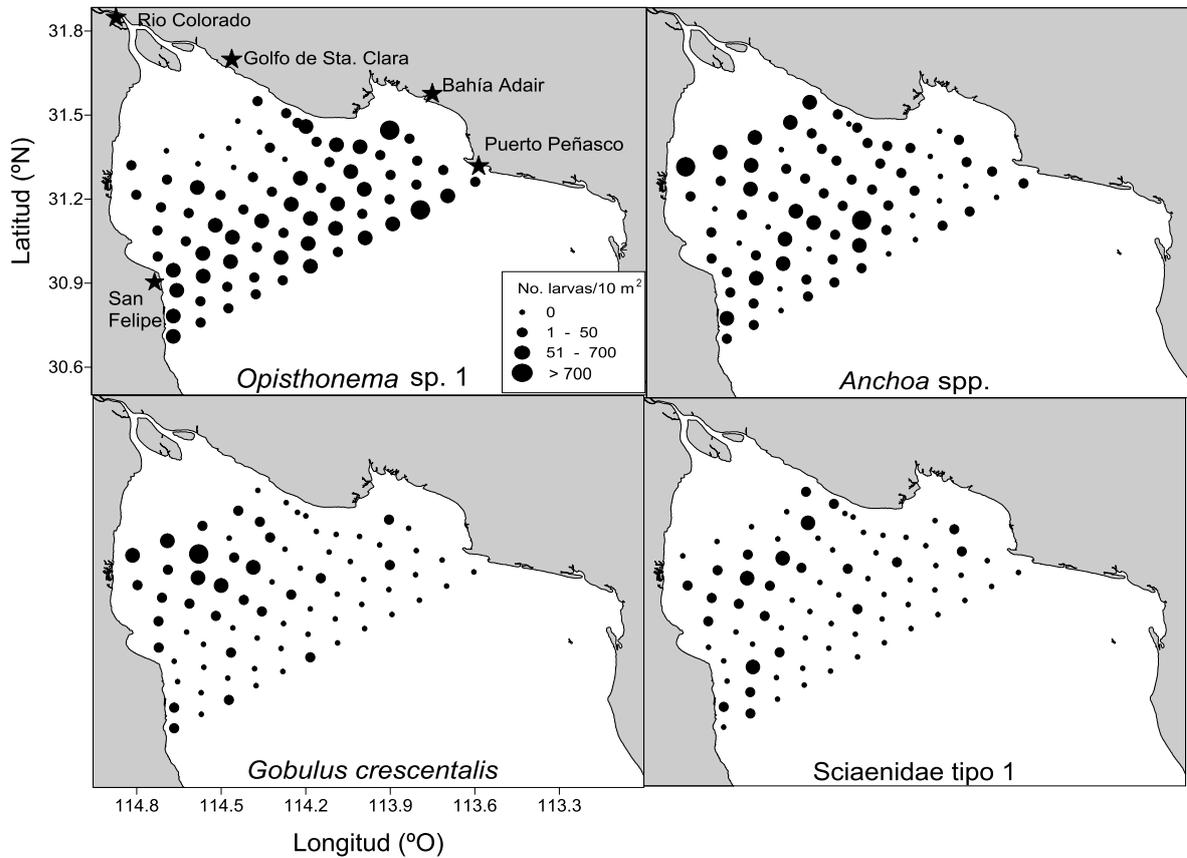
El hábitat Mezcla, antes Grupo II, ubicado con la mayoría de sus estaciones en la parte central del área de estudio, como un intermedio entre los hábitats Delta y Frente. Presentó en ambas épocas gradientes de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, así como valores bajos de clorofila *a* y biomasa zooplanctónica. Fue dominado en junio por *Anchoa* spp., *G. crescentalis*, *Opisthonema* sp. 1 y Sciaenidae tipo 1 (Tabla VI; Fig. 19), mientras que en marzo fue dominado por *E. mordax* y *Xystreurys liolepis*) (Tabla VI; Fig. 20). En ambas temporadas es el hábitat con menor abundancia larval promedio (Tabla VI).

El hábitat Frente, antes Grupo I, con sus estaciones ubicadas principalmente al sur del área de estudio y hacia la zona más oceánica. Su distribución coincide con valores bajos de salinidad y clorofila *a* en ambas épocas y con un ambiente más frío y oxigenado en marzo que en junio. Fue

dominado por los pelágico-costeros *Anchoa* spp. y *Opisthonema* sp. 1 en junio (Tabla VI; Fig. 19) y en marzo por *E. mordax* y por larvas de la especie demersal *Ilypnus gilberti* (Tabla VI; Fig. 20). Tanto en junio como en marzo presenta el mayor número de taxa.

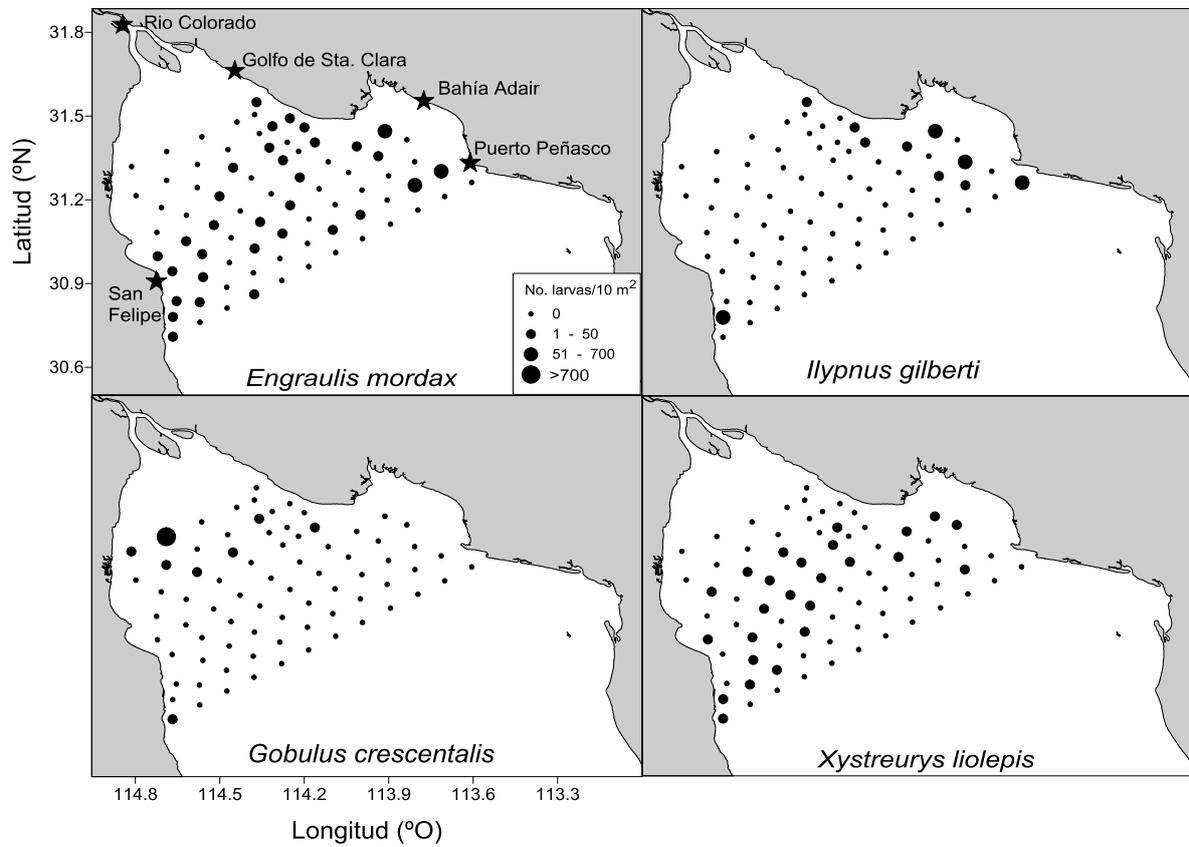
**Tabla VI.** Jerarquización de los taxa de acuerdo al índice de Olmstead-Tukey (dominantes) para cada uno de los hábitats larvarios (Frente, Mezcla y Delta) durante junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California. % F= porcentaje de frecuencia, % AP.=porcentaje de abundancia promedio %SIM = porcentaje de contribución de cada especie determinado por SIMPER (Similarity Percentage).

JUNIO									
HÁBITATS									
	FRENTE			MEZCLA			DELTA		
	% F	% AP	% SIM	% F	% AP	% SIM	% F	% AP	% SIM
<i>Opisthonema</i> sp. 1	98	65	81.3	78	13	25			
<i>Anchoa</i> spp.	78	24	13.5	67	17	11.2	100	88	85.2
<i>Gobulus crescentalis</i>				100	36	37.1	100	11	13.9
Sciaenidae tipo I				89	20	21.9			
No. de estaciones		58			10			5	
No. de taxa		12			9			7	
Abundancia larval promedio		164			130			563	
MARZO									
HÁBITATS									
	FRENTE			MEZCLA			DELTA		
	% F	% AP	% SIM	% F	% AP	% SIM	% F	% AP	% SIM
<i>Engraulis mordax</i>	69	41	61.9	57	11	18.9			
<i>Ilypnus gilberti</i>	34	24	9.8						
<i>Xystreurys liolepis</i>				90	9	75.8			
<i>Gobulus crescentalis</i>							100	100	100
No. de estaciones		30			22			4	
No. de taxa		7			6			2	
Abundancia larval promedio		36			11			167	



**Junio del 2010**

**Figura 19.** Distribución de las larvas de especies dominantes en el estrato superficial (0 - 5 m) en junio en el Alto Golfo de California.



**Marzo del 2011**

**Figura 20.** Distribución de las larvas de especies dominantes en el estrato superficial (0 - 5 m) en marzo en el Alto Golfo de California.

#### 8.4 Relación de los hábitats larvarios del Alto Golfo de California con las condiciones ambientales durante junio del 2010 y marzo del 2011

La correlación de la abundancia de larvas de peces con base en los grupos obtenidos por el análisis de Bray Curtis y las variables ambientales mostraron lo siguiente:

La abundancia de las larvas en el estrato de 0 – 5 m en junio, mediante el análisis canónico de correspondencias, muestra que el hábitat Mezcla en su mayoría está correlacionado con valores de temperatura elevados, bajos valores de biomasa zooplanctónica y clorofila *a*. Los hábitats Delta y Frente están correlacionados con bajos valores de temperatura y altas concentraciones de biomasa zooplanctónica y clorofila *a* (Fig. 21).

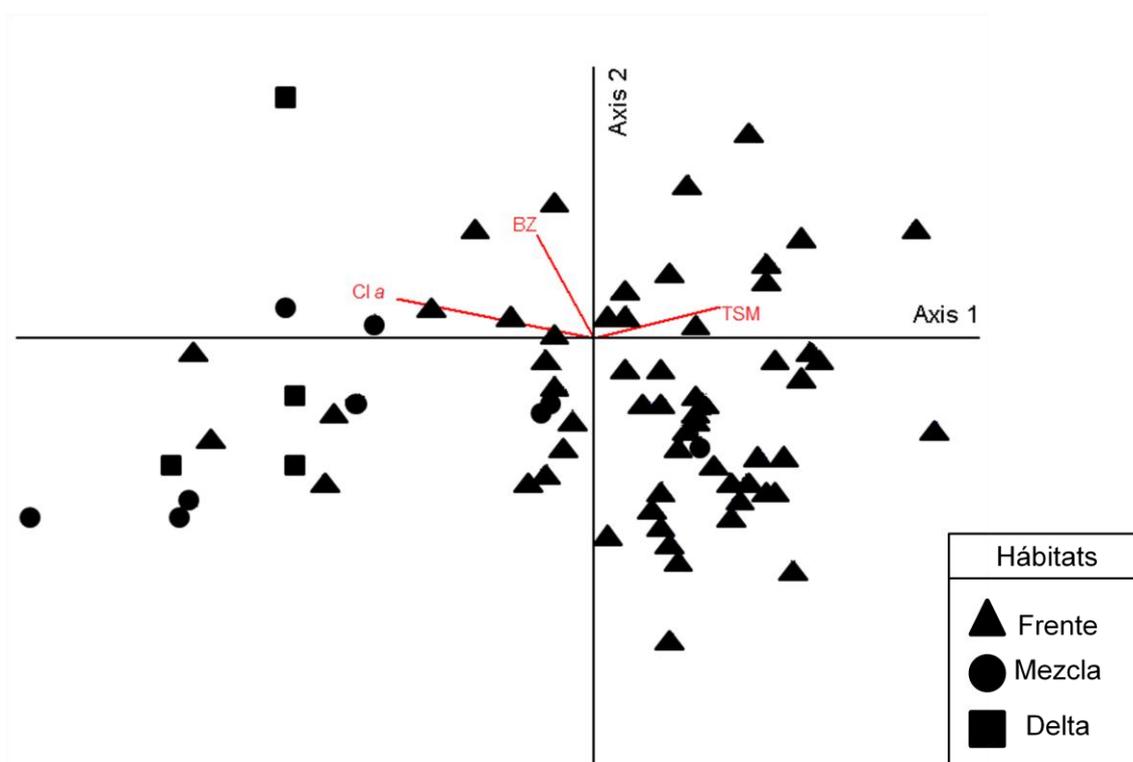
En la tabla VII se observa que el eje 1 explicó la mayor parte de la variación (21.9%), la variable que presentó mayor correlación con este eje fue la clorofila *a* y el oxígeno disuelto fue la menor correlacionada (Tabla VIII).

**Tabla VII.** Varianza explicada del análisis canónico de correspondencia de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (junio 2010).

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
<b>Eigenvalor</b>	0.483	0.133	0.048
<b>Varianza en datos</b>			
<b>% de varianza explicada</b>	21.9	6.0	2.2
<b>% acumulado explicado</b>	21.9	27.9	30.1
<b>Correlación de Pearson</b>	0.861	0.538	0.528
<b>Correlación de Kendall (rango)</b>	0.470	0.226	0.241

**Tabla VIII.** Regresión múltiple del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (junio 2010).

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Temperatura	0.465	0.136	-0.380
Salinidad	-0.409	0.293	-0.313
Oxígeno disuelto	-0.043	-0.237	0.335
Clorofila a	-0.724	0.172	-0.222
Biomasa zooplanctónica	-0.209	0.456	-0.187



**Figura 21.** Diagrama del análisis canónico de correspondencias entre la distribución de los hábitats larvarios y las variables ambientales medidas durante junio del 2010 en el Alto Golfo de California. Hábitats larvarios: Mezcla= círculos; Frente= triángulos; Delta= cuadrados. Variables: BZ = Biomasa zooplanctónica (mL/1000 m<sup>3</sup>); Cl a = Clorofila a (µg/L); Temperatura superficial del mar = TSM (°C).

La abundancia de las larvas en el estrato de 0 – 5 m en marzo, mediante el análisis canónico de correspondencias, muestra que el hábitat Mezcla en su mayoría está correlacionado con valores altos de temperatura,

oxígeno disuelto y biomasa zooplanctónica y bajos valores de salinidad. El hábitat Delta se correlacionó con bajos valores de temperatura, salinidad y altos valores de oxígeno disuelto, clorofila *a* y biomasa zooplanctónica. Por último el hábitat Frente, mostro correlación con bajos valores de temperatura, oxígeno disuelto, clorofila *a* y biomasa zooplanctónica, así como altos valores de salinidad. (Fig. 22).

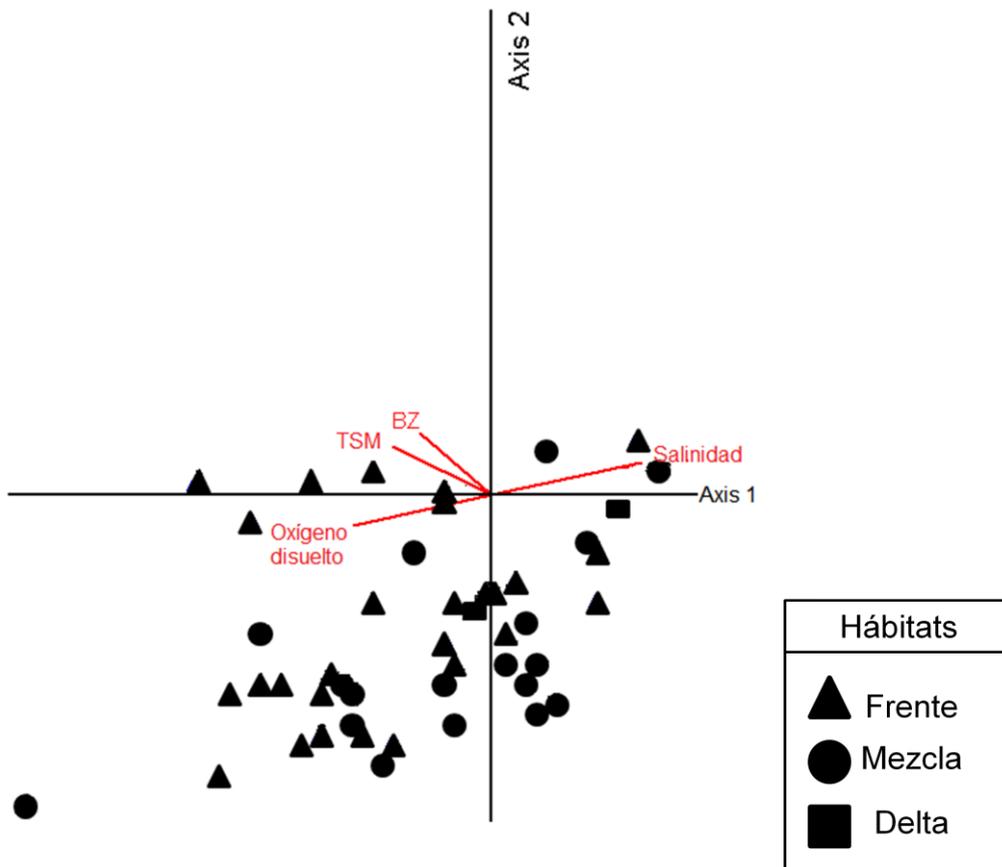
En la tabla IX se observa que el eje 1 explicó la mayor parte de la variación (23.0%), siendo la salinidad la que estuvo mayor correlacionada con este eje y la clorofila *a* fue la menor correlacionada (Tabla XI).

**Tabla IX.** Varianza explicada del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (marzo 2011).

	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>
<b>Eigenvalor</b>	0.618	0.260	0.133
<b>Varianza en datos</b>			
<b>% de varianza explicada</b>	23.0	9.7	5.0
<b>% acumulado explicado</b>	23.0	32.7	37.6
<b>Correlación de Pearson</b>	0.836	0.728	0.585
<b>Correlación de Kendall (rango)</b>	0.371	0.417	0.213

**Tabla X.** Regresión múltiple del análisis canónico de correspondencias de la distribución de los hábitats larvarios en el estrato de 0-5 m y de las variables ambientales en el Alto Golfo de California (marzo 2011).

<b>Variable</b>	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>
<b>Temperatura</b>	-0.509	0.338	0.358
<b>Salinidad</b>	0.770	0.221	0.058
<b>Oxígeno disuelto</b>	-0.710	-0.212	-0.132
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0.169	-0.217	-0.017
<b>Biomasa zooplanctónica</b>	-0.367	0.430	-0.351



**Figura 22.** Diagrama del análisis canónico de correspondencias entre la distribución de los hábitats larvarios y las variables ambientales medidas durante marzo del 2011 en el Alto Golfo de California. Hábitats larvarios: Mezcla= círculos; Frente = triángulos; Delta = cuadrados. Variables: BZ = Biomasa zooplanctónica (mL/1000 m<sup>3</sup>); Oxígeno disuelto (mL/L); Temperatura superficial del mar = TSM (°C) y Salinidad.

## 9. DISCUSIÓN

El AGC ha sido una zona pobremente muestreada en cuanto a organismos planctónicos se refiere (Sánchez-Velasco, *et al.*, 2011, 2012; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2012 a, b; 2013), a pesar de ser reconocida por su importancia como zona de desove y crianza de varias especies de importancia comercial (Aragón-Noriega *et al.*, 2002; Calderón-Aguilera, 2002, 2003; Galindo-Bect *et al.*, 2010; Rodríguez-Quiroz *et al.*, 2002; Ramírez-Rojo *et al.*, 2006; Pérez-Arvizu *et al.*, 2009).

A partir de la implementación del Programa Internacional PANGAS (*Pesca Artesanal en el Norte del Golfo Ambiente y Sociedad*) en el 2004, que tiene como objetivo desarrollar y poner a prueba un marco de trabajo interdisciplinario para la investigación y el manejo basado en el ecosistema de las pesquerías artesanales en el Norte del Golfo de California, para lo cual se han implementado muestreos estacionales en el AGC y la zona oceánica adyacente del norte del Golfo de California. A la fecha se han llevado a cabo un total de cuatro cruceros en donde se realizaron arrastres zooplanctónicos en distintos estratos de la columna de agua, dos en verano (junio 2008 y junio 2010) uno durante primavera (marzo 2011) y uno a principios del otoño (septiembre 2012) (Sánchez-Velasco *et al.*, 2011; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2012 a, b; 2013).

Al comparar los resultados de los años 2008 y 2010, se observó que prácticamente no hubo diferencias en los parámetros muestreados en el ambiente físico y químico (Tabla XI). A pesar de las semejanzas en el ambiente en el AGC durante los dos periodos analizados, durante junio de 2008 se registró que la biomasa zooplanctónica y la abundancia larval promedio era más del doble de lo encontrado para junio del 2010 (Tabla XI), mientras que el cambio en el número y la composición de taxa entre ambos periodos no fue significativo (Tabla XII). La diferencia entre ambos periodos de verano en cuanto a las elevadas abundancias zooplanctónica y larval en el 2008, y el patrón inverso encontrado en 2010, podría estar propiciado por la presencia de un evento climatológico de mayor escala como lo fue el evento El Niño en 2010, que generó la entrada de aguas oligotróficas al AGC (Santamaría-del Ángel *com. pers.*) que podría haber desfavorecido la disponibilidad de alimento

y supervivencia larval, sin embargo, sería prematuro establecer conclusiones ya que se cuenta únicamente con la información correspondiente a dos años por lo que cualquiera de los dos veranos podría ser considerado como anómalo.

En el periodo de primavera (marzo del 2011), se presentó un contraste ambiental con respecto al de verano en el AGC (Tabla XI). La abundancia larval y número de taxa fueron visiblemente menores con respecto a los muestreos de verano (Tabla XI), lo cual coincide con lo propuesto por Sánchez-Velasco *et al.* (2012) sobre la importancia del periodo de verano en el AGC para la abundancia larvaria y riqueza específica de los peces que ahí habitan.

La diferencia en la abundancia larval, el número de taxa y la composición de especies (Tabla XII) entre primavera y verano podría estar dada por los periodos reproductivos de las especies pelágico-costeras, que para el AGC registran preferencia por las épocas cálidas (Aceves-Medina *et al.*, 2003). El periodo de otoño (septiembre del 2009) reflejó una mayor similitud con el periodo de verano basado en los valores de biomasa zooplanctónica y abundancia larval (Tabla XI), aun cuando la temperatura superficial del mar fue notablemente más elevada, al igual que los valores de productividad primaria. En cuanto a composición de especies, el periodo de verano y el de otoño mostraron semejanza en cuanto a especies dominantes, si bien, durante verano se presentó una mayor diversidad (Tabla XII). Aceves-Medina *et al.* (2003) y Sánchez-Velasco *et al.* (2009) resaltan la importancia del periodo de verano a escala anual con base en la alta riqueza específica dentro del GC. Lo mismo se observó en el AGC, la alta riqueza específica registrada en verano, en contraste con la primavera y el otoño, resaltando el estrato superficial (0-5 m) en el cual se localiza la mayor abundancia larvaria y riqueza específica.

**Tabla XI.** Condiciones físico-químicas del ambiente en el estrato superficial (0-5 m) y parámetros biológicos observados durante cuatro campañas oceanográficas realizadas en el AGC.

Crucero	AGC	Datos del presente estudio		AGC
	Junio 2008 Sánchez-Velasco, <i>et al.</i> 2012	Junio 2010	Marzo 2011	Septiembre 2012 Jiménez-Rosenberg, <i>et al.</i> (Datos no publicados)
Estaciones muestreadas	52	75	77	71
Abundancia larval promedio (larvas/10 m <sup>2</sup> )	581	156	51	214
No. de taxa	99	88	46	47
Biomasa zooplanctónica promedio (mL/1000 m <sup>3</sup> )	408	157	1094	304
TSM promedio (°C)	24	24	18	31
Oxígeno disuelto promedio (mL/L)	5	5	6	4
Clorofila <i>a</i> promedio (µg/L)	0.2	0.2	1	1

**Tabla XII.** Taxa dominantes registrados en cuatro campañas oceanográficas realizadas en el AGC. Se registra la abundancia total (larvas/10 m<sup>2</sup>) por crucero en el estrato superficial (0 - 5 m).

<b>Taxa</b>	<b>Junio 2008</b>	<b>Junio 2010</b>	<b>Marzo 2011</b>	<b>Septiembre 2012</b>
<i>Anchoa</i> spp.	16329	4856		11992
<i>Opisthonema</i> sp. 1	10991	6382	131	587
<i>Eucinostomus dowii</i>	1034			
<i>Gobulus crescentalis</i>	953	1954	696	
<i>Anisotremus davidsoni</i>	806	308		
Sciaenidae tipo 1	776	427		867
<i>Diapterus peruvianus</i>	504			
<i>Haemulon californiensis</i>	418			
<i>Etropus crossotus</i>	411			
<i>Engraulis mordax</i>			535	
<i>Ilypnus gilberti</i>			394	
<i>Paralabrax</i> sp.2			208	
<i>Orthopristis reddingi</i>			150	
<i>Xystreurys liolepis</i>			127	
<i>Eucinostomus gracilis</i>				651
Abundancia larval total	32223	13928	2241	14096

En el AGC se registró una sucesión en el ambiente de los organismos, en junio dominaron los pelágico-costeros, mientras que en marzo los dominantes fueron los organismos de ambiente demersal, lo que se contrapone a lo registrado por Aceves-Medina *et al.* (2003), quienes registran un patrón inverso al anterior, para los organismos que residen en la zona del norte y centro del GC. Mencionan que la variabilidad estacional muestra cambios contrastantes entre una comunidad larvaria de afinidad tropical bien definida en verano dominada por taxa demersales, cuya abundancia es atribuida a su vez por la estabilidad (estratificación) en la columna de agua y a una influencia del Agua del Pacífico Tropical proveniente de la región sur del GC y en contraste, una comunidad de afinidad más templada durante invierno dominada por taxa pelágico-costeros, debido a un retraimiento del Agua del Pacífico Tropical hacia

el sur durante esta época. En particular en este estudio, este comportamiento inverso, puede ser atribuido, a la batimetría de la zona, siendo tan somera, la influencia de la variabilidad estacional atribuida a la presencia del Agua del Pacífico Tropical parece no ser tan notable.

En cuanto a los taxa con mayores abundancias larvales y/o frecuencia de aparición, los taxa pelágico-costeros han sido reportados como los más abundantes en el AGC en épocas de verano-otoño (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2013). En el presente estudio, durante verano, *Anchoa* spp. y *Opisthonema* sp. 1 fueron los taxa que representaron la mayor abundancia larval al igual que lo observado durante otoño (Tabla XI; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2013). En este estudio, durante marzo, se observa que también dentro de los taxa dominantes se encuentran las larvas de un pelágico-costero, *Engraulis mordax*. Estas tres especies tienen en común el ser desovadores masivos con abundancias larvales más elevadas en el estrato superficial (0-5 m) (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2013). Se ha registrado la preferencia de estas especies por ambientes estuarinos o lagunas costeras que poseen las características ambientales óptimas para su reclutamiento (Watson y Sandknop, 1996 a, b; Sánchez-Velasco *et al.*, 2014). Existe también concordancia con la época de desove de estas especies regiones aledañas del GC, Aceves-Medina (2003) y Sánchez-Velasco *et al.* (2009) mencionan la dominancia de estas especies durante la fase ciclónica evidente durante el verano en el norte del GC, en donde en junio larvas de *Anchoa* spp. se encuentran asociadas con larvas del mesopelágico *Benthoosema panamense* y en agosto además con larvas de *Opisthonema libertate*.

En cuanto a los taxa demersales, en verano-otoño en el AGC se reporta como dominantes a especies de góbidos, gerréidos y haemúlidos (Tabla XII; Sánchez-Velasco *et al.*, 2011; Jiménez-Rosenberg *et al.*, 2013). Éstos son taxa cuyas zonas preferenciales de desove y/o crianza se encuentran asociadas a estuarios costeros de ambiente subtropical, y que se reproducen generalmente durante todo el año (Watson, 1996 a, b, c). En

marzo, los taxa demersales estuvieron representados por *Ilypnus gilberti* y *G. crescentalis*, este último ya ha sido registrado como abundante en el AGC en la zona de refugio de la vaquita marina por Sánchez-Velasco *et al.*, (2012).

Se definieron tres hábitats larvarios en junio y marzo en el AGC. La ubicación geográfica de los hábitats en ambos meses es coincidente, sin embargo durante junio, cuando el ambiente presenta condiciones de estratificación de la columna de agua (Lavín *et al.*, 1998), los hábitats muestran límites mejor definidos, mientras que en marzo, cuando se presenta una mezcla vertical más intensa (Argote *et al.*, 1995; Lavín *et al.*, 1998), los límites de los hábitats larvarios son menos definidos. El hábitat Delta se caracteriza por ubicarse en la zona norte del área de estudio, en las estaciones más someras y directamente relacionadas con el delta del Río Colorado. Sánchez-Velasco *et al.* (2012) ya detectan este hábitat durante junio del 2008, solo que en esa ocasión el área donde se ubica se consideró sub-muestreada, por lo que no se realiza un análisis profundo de este hábitat larvario. En junio de 2010 y marzo de 2011 el hábitat Delta es consistente en cuanto a su ubicación y a que en él se manifiestan los valores más elevados de temperatura (TSM) y salinidad (SSM) superficial del mar, al igual que el hábitat Delta de junio del 2008 (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012). En cuanto a la comunidad larvaria, tanto en junio de 2008 como en junio de 2010 las especies dominantes son *Anchoa* spp. y *G. crescentalis* (Sánchez-Velasco *et al.*, 2011), mientras que en marzo, solo *G. crescentalis* es dominante. El cambio en la dominancia entre junio y marzo está directamente relacionado con las estrategias reproductivas de las especies, ya que mientras los pelágicos-costeros como *Anchoa* spp. tienen periodos reproductivos estacionales dentro del GC (Watson y Sandknop, 1996 a, b), demersales de la familia Gobiidae tienden a reproducirse durante todo el año en latitudes subtropicales (Watson, 1996). Aun cuando en junio de 2008 este hábitat se considera sub-muestreado (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012), en junio de 2010 y marzo de 2011 el hábitat Delta presenta las mayores abundancias larvales representadas por *Anchoa* spp. y *G. crescentalis* respectivamente. En el norte del GC altas abundancias larvales han sido registradas en zonas someras como resultado de 1) incremento en la productividad y 2) retención causada por el efecto de frentes oceánicos

(Sánchez-Velasco *et al.*, 2014). Ambas condiciones se aplican a la región costera del AGC (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012, 2014). A pesar de la elevada abundancia larval, en éste hábitat se registra el menor número de taxa. Esto ha sido atribuido al efecto negativo que representa un ambiente hiperhalino para especies que no tienen tolerancia a altos valores de salinidad, restringiendo sus áreas de reproducción y crianza a ambientes más favorables (Sánchez-Velasco *et al.*, 2014). En la región han sido registrados cambios en las zonas de reproducción de especies de importancia comercial, a raíz del cese de descargas de agua dulce proveniente del Río Colorado (Rodríguez *et al.*, 2001; Rowell *et al.*, 2005, 2008); este efecto podría reflejarse en la baja diversidad de la zona donde se ubica el hábitat Delta, aunque esto es difícil de probar ya que no se tienen estudios de diversidad previos a esta modificación (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012).

En el hábitat Mezcla se registran los mayores gradientes de TSM, SSM y oxígeno disuelto en la capa superficial. Al igual que el hábitat Mezcla que se presenta en junio de 2008, se encuentra en una ubicación intermedia entre los hábitats Delta y Frente, y tanto en junio de 2010 como en marzo de 2011 presenta los menores valores de abundancia larval. En este hábitat, así como en el hábitat Frente, se observa el efecto de la estacionalidad en la reproducción de las especies pelágico-costeras, ya que en junio de 2008 y 2010 las especies dominantes incluyen a dos especies *Anchoa* spp., *Opisthonema* sp. 1, cuyas mayores abundancias larvales han sido registradas durante el verano (Watson y Sandknop, 1996 a, b), mientras que durante marzo de 2011 esta dominancia es reemplazada por la de las larvas de otro pelágico-costero, *Engraulis mordax*, que desova durante todo el año en el Pacífico noroccidental, pero con picos durante los meses de invierno y primavera (Hunter y Goldberg, 1980).

La dominancia de especies templadas como *E. mordax* e *Ilypnus gilberti* en los hábitats Mezcla y Frente durante marzo, es evidencia del cambio estacional en el AGC, además de la intrusión de agua con condiciones más

oceánicas proveniente del GC, producto de la intensa mezcla mareal en esta época. (Lavín *et al.*, 1998).

El hábitat Frente presenta la mayor riqueza específica tanto en junio de 2010 como en marzo de 2011, al igual que el hábitat Frente que se registró en junio de 2008, aun cuando éste último tuviera un menor número de estaciones muestreadas (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012). La zona en la que se ubica el hábitat Frente en el AGC está asociada al frente físico-químico que se observa durante verano entre el AGC y el NGC, cuya posición está en función de la mezcla y estratificación inducida por la radiación solar (Argote *et al.*, 1995; Lavín *et al.*, 1998) y se considera altamente favorable para la comunidad planctónica al registrarse aquí las más altas biomásas zooplanctónicas (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012). Los bajos valores de salinidad y clorofila a registrados en este hábitat son propiciados por su amplia conexión hacia el sur con aguas oceánicas del NGC. Acorde con la estacionalidad física registrada para esta zona (Sánchez-Velasco *et al.*, 2009), el hábitat Frente durante marzo presentó un ambiente más frío y oxigenado.

Calderón-Aguilera *et al.* (2002) y Galindo-Bect *et al.* (2010) ya consideran esta zona como importante en la reproducción y exportación hacia otras regiones del camarón azul. Al observar la distribución de las larvas de peces de importancia comercial, se observa que el hábitat Frente puede ser considerado una zona preferencial de desove de *Opisthonema* sp. 1 durante junio y de *E. mordax* durante marzo. Sánchez-Velasco *et al.* (2012) encuentran en el límite sureste del AGC que larvas de *Opisthonema* sp. 1 son dominantes exclusivas del hábitat Plataforma durante junio de 2008, lo que indica una continuidad de la zona de desove preferencial de esta especie hacia el NGC.

Es difícil comparar este trabajo con otros estuarios inversos como son los del Golfo de Arabia (Vethamony *et al.* 2007), Sur de Australia (Kämpf *et al.* 2010) y California (Nidzieko y Monismith, 2013), ya que son escasos los estudios relacionados al ictioplancton. Sin embargo, estos estuarios inversos son reconocidos como zonas de crianza de peces. Por ejemplo, en el estuario-

inverso de Sine Saloum en Senegal, se registraron 59 taxones de los cuales los más abundantes fueron las especies de gerreidos y mugílidos; los cuales utilizan el estuario inverso como área de crianza (Gning *et al.* 2010).

## 10. CONCLUSIONES

- Este trabajo presenta la primera evidencia, sobre la variación de la comunidad de larvas de peces entre épocas distintas en el AGC, tanto en su composición específica como en su dominancia. Se encontró a *Anchoa* spp., *Opisthonema* sp.1, *Gobulus crescentalis* y Sciaenidae tipo 1 en verano y a *Engraulis mordax*, *Ilypnus gilberti*, *Xystreurys liolepis* y *Gobulus crescentalis* en primavera; lo que está en función de la estacionalidad de los periodos reproductivos de las especies dominantes registradas en la región.
- Se definieron tres hábitats larvarios con límites definidos que coinciden con los gradientes ambientales e hidrográficos en el AGC. Durante junio estos límites están mejor definidos que durante marzo, con lo cual se evidencia el cambio estacional provocado por la condición de estratificación presente durante verano y la mezcla intensa en invierno.
- El hábitat Delta ubicado en la zona noroeste más somera frente al delta del Río Colorado. En éste hábitat se presentaron en ambas épocas los valores más elevados de temperatura y salinidad superficiales y los menores valores de oxígeno disuelto así como concentraciones de clorofila *a* y biomasa zooplanctónica. Fue dominado por *Anchoa* spp. y *G. crescentalis* en junio y solo por *G. crescentalis* en marzo. Este hábitat se caracterizó por presentar el menor número de especies en ambas épocas y la mayor abundancia larval promedio.
- El hábitat Mezcla ubicado en la parte central del área de estudio, considerado un intermedio entre los hábitats Delta y Frente. Presentó en ambas épocas gradientes de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, así como valores bajos de clorofila *a* y biomasa zooplanctónica. Fue dominado en junio por *Anchoa* spp., *G. crescentalis*, *Opisthonema* sp. 1 y Sciaenidae tipo 1, mientras que en marzo fue dominado por *E. mordax*

y *Xystreurys liolepis*. En ambas temporadas es el hábitat con menor abundancia larval promedio.

- El hábitat Frente ubicado en la zona con mayor influencia oceánica. Su distribución coincide con valores bajos de salinidad y clorofila *a* en ambas épocas y con un ambiente más frío y oxigenado en marzo que en junio. Fue dominado por los pelágico-costeros *Anchoa* spp. y *Opisthonema* sp. 1 en junio y en marzo por *E. mordax* y por *Ilypnus gilberti*. Tanto en junio como en marzo presenta el mayor número de taxa.

## 11. LITERATURA CITADA.

Aceves-Medina, G. 2003. *Grupos de larvas de peces recurrentes en la costa occidental de Baja California Sur y región central del Golfo de California*. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. 132 p.

Aceves-Medina, G., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Fúnes-Rodríguez, R. J. Saldierna-Martínez y P. E. Smith. 2004. Fish larvae assemblages in the Gulf of California. J. Fish Biol. 65: 832-847.

Álvarez-Borrego, S., B. P. Flores-Báez y L. A. Galindo-Bect. 1975. Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. Cienc. Mar. 2(1): 21-36.

Alvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, 427-449. En: Ketchum, B. H. (Ed). *Ecosystems of the world: Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publications House. 758 p.

Álvarez, L. G. y S. E. Jones. 2002. Factors influencing suspended sediment flux in the Upper Gulf of California. Estuar. Coast. Shelf. S. 54: 747-759

Álvarez, L. G. y S. E. Jones. 2004. Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: the Upper Gulf of California. J. Coastal. Res. 20(3): 645-654.

Aragón-Noriega, E. A. y A. R. García-Juárez. 2002. Reclutamiento de postlarvas de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) a condiciones antiestuarinas provocadas por actividades antropogénicas. Hidrobiológica. 12 (1): 37-46.

Argote, M. L., A. Amador, M. F. Lavín y J. R. Hunter. 1995. Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California. J. Geophys. Res. 100 (C8): 16, 103-16,118.

Ávalos-García, C., L. Sánchez-Velasco y B. Shirasago. 2003. Larval fish assemblages in the Gulf of California and their relation to hidrography variability (Autumn 1997- Summer 1998). B. Mar. Sci. 72 (1), 63-76.

Beers, J. R. 1976. Volumetric methods. In: Steedmann, H. F. (Ed) Zooplankton, fixation and preservation. Mon. Ocean Meth. Abund. No. 4 UNESCO Press Paris: 56-60.

Bray, J. R. y J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27: 235-249.

Calderón-Aguilera, L. E., E. A. Aragón-Noriega, H. A. Licon, G. Castillo-Moreno y A. Maciel-Gómez. 2002. Abundance and composition of penaeid shrimp postlarvae in the Upper Gulf of California, 281-291. En: M. E. Hendrickx (Ed.). *Contributions to the study of East Pacific Crustaceans* (Contribuciones al estudio de los crustáceos del Pacífico Este). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 338 p.

Calderón-Aguilera, L. E., S. G. Marinone y E. A. Aragón-Noriega. 2003. Influence of oceanographic processes on the early life stages of the blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) in the Upper Gulf of California. J. Marine Syst. 39: 117-128.

Carriquiry, J. D. y A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. Mar. Geol. 158: 125-145.

Carriquiry J. D., A. Sánchez, V. F. Camacho-Ibar. 2001. Sedimentation in the Northern Gulf of California after cessation of the Colorado River discharge. Sediment. Geol. 144(1-2):37-62.

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

CONAPESCA 2012. Anuario Estadístico de Pesca. Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural. Pesca y Acuicultura. México, D. F. 79 p

Contreras-Catala F., L. Sánchez-Velasco, M. F. Lavín y 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. 34 (6): 548-562.

Daesslé, L. W., S. E. Ramos, J. D. Carriquiry, V. F. Camacho-Ibar. 2002. Clay dispersal and the geochemistry of manganese in the Northern Gulf of California. Cont. Shelf. Res. 22: 1311–1323

Diario Oficial de la Federación. 1993. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la región conocida como Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, ubicada en aguas del Golfo de California y los municipios de Mexicali, Baja California, Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado, Sonora. Diario Oficial de la Federación, jueves 10 de junio de 1993, México, D. F. 24-28.

Emilsson. I. y 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 a la Oceanografía Física en México*. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. 272 p.

Eschmeyer W. M., H. Hamman y K. P. Smith. 1983. *Pacific coast fishes*. Houghton Mifflin Co. New York.

Farfán C. y S. Álvarez-Borrego. 1992. Biomasa de zooplancton del Alto Golfo de California. Cienc. Mar. 18 (3): 17-36.

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

Fisher, W., F. Krupp, W. Schneider, D. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico Centro-Oriental*. Vol. III, NORAD. 1811 p.

Galindo-Bect, M. S., E. Aragón-Noriega, J. M. Hernández-Ayón, M. F. Lavín, M. A. Huerta-Díaz, F. Delgadillo-Hinojosa y J. A. Segovia-Zavala. 2010. Distribution of penaeid shrimp larvae and postlarvae in the Upper Gulf of California. Crustaceana. 83 (7): 809-819.

García-Córdova, J., M. S. Galindo-Bect, L. Sánchez-Velasco, E. Inda-Díaz, V. M. Godínez, M. F. Lavín, A. Ocampo-Torres y C. Cabrera-Ramos. 2008. Datos hidrográficos en el Golfo de California durante junio de 2008. Campaña GOLCA 0806. B/O Francisco de Ulloa. Informe Técnico. Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada. 152 p.

García de León, L. A. 1988. Generalidades del Análisis de cúmulos y Análisis de Componentes Principales. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 29 p.

Gning N., F. Le Loc'h, O. T. Thiaw, C. Aliaume y G. Vidy. 2010. Estuarine resources use by juvenile flagfin mojarra (*Eucinostomus melanopterus*) in an inverse tropical estuary (Sine Saloum, Senegal). Estuar. Coast. Shelf S. 86: 683-691

Godínez-Sandoval, V. M., L. Sánchez-Velasco, M. Peguero-Icaza, M. F. Lavín, A. I. Ocampo-Torres, A. Danell-Jiménez, C. E. Cabrera-Ramos, R. Cervantes-Duarte y S. Futema-Jiménez. 2008. Hidrografía, nutrientes y clorofila-a en un giro anticiclónico en el Golfo de California durante octubre del 2007. Campaña GOLCA-0710, 24(4):303-317 Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada. 69 p.

González-Acosta, A. F. 1998. *Ecología de la comunidad de peces asociada al manglar del estero El Conchalito, Ensenada de la Paz, B. C. S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S.126 p.

Hernández-Ayón, J. M., M. S. Galindo-Bect, B. P. Flores Báez y S. Álvarez-Borrego. 1993. Nutrient concentrations are high in the turbid waters of the Colorado River Delta. Estuar. Coast. Shelf S. 37: 593-602

Hunter, J. R. y S. R. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. B. NOAA. 77(3):641-652.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A. 1998. *Descripción del desarrollo larvario de Eucinostomus gracilis y larvario y juvenil de Eucinostomus dowii y Diapterus peruvianus*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. México. 98 p.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., E. A. González-Navarro y R. J. Saldierna-Martínez. 2006. Larval, prejuvenil and juvenil development of *Eucinostomus currani*. J. Fish. Biol. 69: 28-37.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Sánchez-Velasco L., F. E. Ordóñez-Guillén y M. F. Lavín. (2012 a). Identification of fish larvae from the Upper Gulf of California, Cruise GOLCA-1006 (June 1-9, 2010), Informe Técnico 103574, Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada, 38 p.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Sánchez-Velasco L., F. E. Ordóñez-Guillén y M. F. Lavín. 2012 b. Fish larvae from the Upper Gulf of California, Cruise PANGAS-1103 (March 25 to April 2, 2011), Informe Técnico 104372, Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada, 46 p.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Sánchez-Velasco L. y M. F. Lavín. 2013. Identification of fish larvae from the Upper Gulf of California, Cruise PANGAS-1209 (September 4-20, 2012), Informe Técnico 105879, Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada, 33 p.

Kaempf, J., Payne, N. y Malthouse, P. 2010. Marine connectivity in a large inverse estuary. J. Coastal. Res. 26(6) 1047-1056.

Kendall, A. W. Jr., E. H. Ahlstrom y H. G. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters, 11-23. En: H. G. Moser, W. J. Richards, D. M.

- Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall, Jr. y S. L. Richardson (Eds). *Ontogeny and systematic of fishes*. Am. Assoc Ichthyol. Herpet. Spec. Pub. 1306 p
- Kramer, D. M., J. Kalin, E. G. Stevens, J. R. Thraikill y R. Zweifel. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current. 167: 191–194 NOAA Tech. Rep. NMFS Circ., 370, 38 p.
- Lance G.N. y W.T. Williams. 1967 a. A general theory of classificatory sorting strategies, I. Hierarchical systems. Comput. J. (9) 373.
- Lance G.N. y W.T. Williams. 1967 b. A general theory of classificatory sorting strategies, II. Hierarchical systems. Comput. J. (10) 271.
- Lavín, M. F., V. M. Godínez y L. G Álvarez. 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. Estuar. Coast. Shelf S. 47, 769-795.
- Lavín, M. F. y S. Sánchez. 1999. On how the Colorado River affected the hydrography of the Upper Gulf of California. Cont. Shelf Res. 19, 1545-1560.
- Mc Cune, B. y J. B. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, USA. 304 p.
- Moser, H. G., E. H. Ahlstrom, D. Kramer, & E. G. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. Cal. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep. 17:112-128.
- Moser, H. G. (Ed.). 1996. The Early Stages of Fishes in the California Current Region. CalCOFI Atlas No. 33. Allen Press, Lawrence, KS.
- Nidziecko N. J. & Monismith S. G. 2013. Contrasting seasonal and fortnightly variations in the circulation of a seasonally inverse estuary: Elkhorn Slough, California. Estuar Coasts. (36) 1-17.
- Peguero-Icaza M. 2008. *Relaciones entre la distribución de las asociaciones de larvas de peces y la hidrografía y circulación en el Golfo de California*. (diciembre 2002 y agosto 2003). Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 p.

Peguero-Icaza, M., L. Sánchez-Velasco, M. Lavín, G. Marinone y E. Beier. 2011. Seasonal changes in connectivity routes among larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). J. Plankton Res. 33 (3): 517-533.

Pérez-Arvizu. E. M., A. Aragón-Noriega y L. Espinoza-Carreón. 2009. Response of the shrimp population in the Upper Gulf of California to fluctuations in discharge of the Colorado River. Crustaceana. 82 (5): 615-625.

Ramírez-Rojo, R. A. y E. A. Aragón-Noriega. 2006. Ecología de postlarvas de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del Rio Colorado. Cienc. Mar. 32(1A): 45-52.

Rodríguez, C., Flessa, K., Dettman, D., 2001. Effects of upstream diversion of Colorado River water on the estuarine vivale mollusc *Mulinia coloradoensis*. Conserv. Biol. 15(1), 249–258.

Rodríguez-Quiroz, G., E. A. Aragón-Noriega y A. Ortega-Rubio. 2009. Artisanal shrimp fishing in the Biosphere Reserve of the Upper Gulf of California. Crustaceana. 82 (12): 1481-1493.

Rowell, Flessa, K., Dettman, D., Roman, M. 2005. The importance of Colorado River flow to nursery habitats of the Gulf corvine (*Cynoscion othonopterus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62 (12), 2874–2885.

Rowell, Flessa, K., Dettman, D., Roman, M., Gerber, L., Findley, L. 2008. Diverting the Colorado River leads to a dramatic life history shift in an endangered marine fish. Biol. Cons. 131: 1138–1148.

Sánchez-Velasco, L., B. Shirasago, M. A. Cisneros-Mata. 2000. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997–1998. J. Plankton Res. 22:1–8.

Sánchez-Velasco, L., E. Valdéz-Holguín, B. Shirasago, M. A. Cisneros-Mata. 2002. Changes in the spawning environmental of *Sardinops caeruleus* in the Gulf of California during El Niño 1997-1998. Estuar. Coast. Shelf S. 54: 207–217.

Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, M. Peguero-Icaza. 2009. Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). Cont. Shelf Res. 29:1697-1710.

Sánchez-Velasco, L., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Sánchez-Uvera, M. F. Lavín, M. R. Pacheco-Chávez. 2011. Fish larvae from the Upper Gulf of California, Cruise GOLCA-0806 (June 2-17, 2008), Informe Técnico 100281, Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, 27 p.

Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, S. P. A. Jiménez-Rosenberg, J. M. Morales, P. J. Turk-Boyer. 2012. Larval fish habitats and hydrography in the Biosphere Reserve of the Upper Gulf of California (junio 2008) Cont. Shelf Res. (33) 89-99.

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

Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, S.P.A. Jiménez-Rosenberg y V. M. Godínez. 2014. Preferred larval fish habitat in a frontal zone of the northern Gulf of California during the early cyclonic phase of the seasonal circulation. (June 2008). J. Marine Syst. (129) 368-380.

Shumilin, E. N., Carriquiry J. D., Camacho-Ibar V. F. 2002 Spatial and vertical distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California. Mar. Chem. 79:113–131.

Smith, P. E. y S. L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO (Food Agriculture Organization of the United Nations. Documentos Técnicos de Pesca. ,(175) 1-107

Sokal, R. R. y P. H. Sneath. 1963. *Principles of numerical taxonomy.* W. H. Freeman and Co. San Francisco. 832 p.

- Sokal, R. R., y F. J. Rohlf. 1985. *Biometría*. Blume. Barcelona.354 p.
- Sverdrup, H. U. 1940. *The Gulf of California*. In: Proc. Sixth Pac. Sci. Congr. Berkeley, Calif. 1939. 3:161-166.
- Ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67(5):60-71.
- Vethamony P., M. T. Babu, Ramanamurty M. V., Saran A., K. Joseph A., Sudheesh K., Padgaonkar R. S., Jayakumar S. 2007. Thermohaline structure of an inverse estuary: The Gulf of Kachchh measurements and model simulations. *Mar. Pollut. Bull.* 54(6): 697-707.
- Watson, W. 1996(a). Gerreidae: Mojarras. p. 998-1001. In H. G. Moser (ed.) *The early stages of fishes in the California Current Region*. CalCOFI Atlas No. 33. Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.
- Watson, W. 1996(b). Haemulidae: Grunts. p. 1002-1011. In H. G. Moser (ed.) *The early stages of fishes in the California Current Region*. CalCOFI Atlas No. 33, Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.
- Watson, W. 1996(c). Gobiidae: Gobies. p. 1214-145. In H. G. Moser (ed.) *The early stages of fishes in the California Current Region*. CalCOFI Atlas No. 33, Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.
- Watson, W. y E. M. Sandknop, 1996 (a). Clupeidae: herrings. p. 159-171. In H.G. Moser (ed.) *The early stages of fishes in the California Current Region*. CalCOFI Atlas No.33, Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.
- Watson, W. y E. M. Sandknop, 1996 (b). Engraulidae: anchovies. p. 173-183. In H. G. Moser (ed.) *The early stages of fishes in the California Current Region*. CalCOFI Atlas No. 33. Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.

## 12. ANEXOS

**Anexo 1.** Listado taxonómico de larvas de peces en el Alto Golfo de California en junio del 2010 (•) y marzo del 2011(Δ). El orden sistemático de las especies es según Eschmeyer (1983) y Moser (1996).

Orden	Suborden	Familia	Taxa
Clupeiformes		Clupeidae	Clupeidae tipo 1•
			Clupeidae tipo 2•
			<i>Etrumeus teres</i> •
			<i>Harengula thrissina</i> •
			<i>Opisthonema</i> sp. 1•Δ
		Engraulidae	<i>Sardinops sagax</i> •Δ
			<i>Anchoa</i> spp. •Δ
			<i>Cetengraulis mysticetus</i> •Δ
			Engraulidae tipo 1•
			Engraulidae tipo 2•
Aulopiformes	Alepisauroides	Synodontidae	Engraulidae tipo 3Δ
			<i>Engraulis mordax</i> •Δ
Myctophiformes		Myctophidae	<i>Synodus lucioceps</i> •
			<i>Synodus</i> sp. 1•
Ophidiiformes	Ophidioidei	Ophidiidae	<i>Hygophum atratum</i> •
Atheriniformes		Atherinidae	<i>Lepophidium negropinna</i> •Δ
			Atherinidae tipo 1Δ
Syngnathiformes		Syngnathidae	Atherinidae tipo 2Δ
			<i>Atherinops</i> sp. 1Δ
Scorpaeniformes	Scorpaenoidei	Scorpaenidae	<i>Syngnathus californiensis</i> •
			<i>Pontinus</i> sp. 1•
			<i>Scorpaena guttata</i> •
		Triglidae	Scorpaenidae tipo 1•
			<i>Bellator loxias</i> •
Perciformes	Percoidei	Serranidae	<i>Prionotus ruscarius</i> •Δ
			<i>Prionotus</i> sp.Δ
			<i>Diplectrum</i> sp. 1•
			<i>Paralabrax clathratus</i> •Δ
			<i>Paralabrax maculatofasciatus</i> •
			<i>Paralabrax</i> sp. 1•Δ
			<i>Paranthias</i> sp. 1•
			<i>Pronotogrammus multifasciatus</i> •
			<i>Serranus</i> sp. 1•Δ
			<i>Serranus</i> sp. 2•
<i>Serranus</i> sp. 3•			
<i>Serranus</i> sp. 4•			
<i>Serranus</i> sp. 5•			

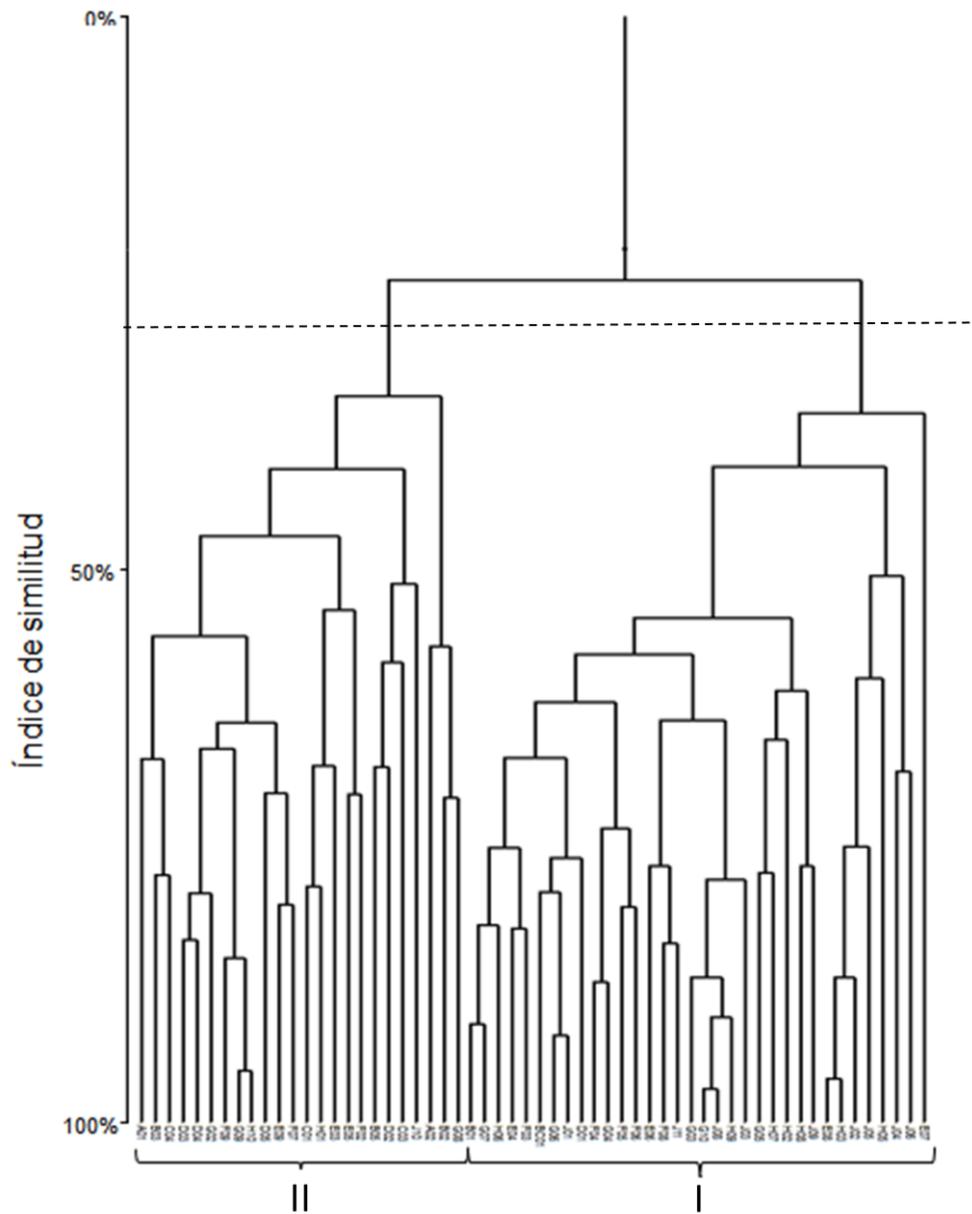
**Anexo 1.** (Cont.) Listado taxonómico de larvas de peces en el Alto Golfo de California en junio del 2010 (•) y marzo del 2011(Δ). El orden sistemático de las especies es según Eschmeyer (1983) y Moser (1996).

Orden	Suborden	Familia	Taxa
		Apogonidae	<i>Apogon</i> sp. 3•
		Carangidae	Carangidae tipo 1•Δ <i>Caranx</i> sp. 1• <i>Gnathonodon speciosus</i> • <i>Oligoplites saurus inornatus</i> • <i>Oligoplites</i> sp. 1• <i>Seriola lalandi</i> • <i>Trachurus symmetricus</i> •
		Gerreidae	<i>Diapterus peruvianus</i> • <i>Eucinostomus currani</i> • <i>Eucinostomus dowii</i> •Δ <i>Eucinostomus gracilis</i> • Gerreidae tipo 1•
		Haemulidae	<i>Anisotremus davidsoni</i> •Δ Haemulidae tipo 1• Haemulidae tipo 2• <i>Haemulon californiense</i> •Δ <i>Orthopristis reddingi</i> Δ
		Sparidae	<i>Calamus brachysomus</i> •Δ
		Sciaenidae	<i>Atractoscion nobilis</i> Δ <i>Cheilotremma saturnum</i> •Δ Sciaenidae tipo 1•Δ Sciaenidae tipo 14• Sciaenidae tipo 15• Sciaenidae tipo 16• Sciaenidae tipo 2•Δ Sciaenidae tipo 3•Δ Sciaenidae tipo 4• Sciaenidae tipo 8• <i>Seriphus politus</i> •Δ <i>Umbrina roncadore</i> •Δ
		Mullidae	Mullidae spp. •
		Chaetodontidae	<i>Chaetodon humeralis</i> Δ
		Pomacentridae	<i>Abudefduf troschelli</i> •Δ <i>Hypsipops rubicundus</i> • Pomacentridae tipo 1Δ
		Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i> •

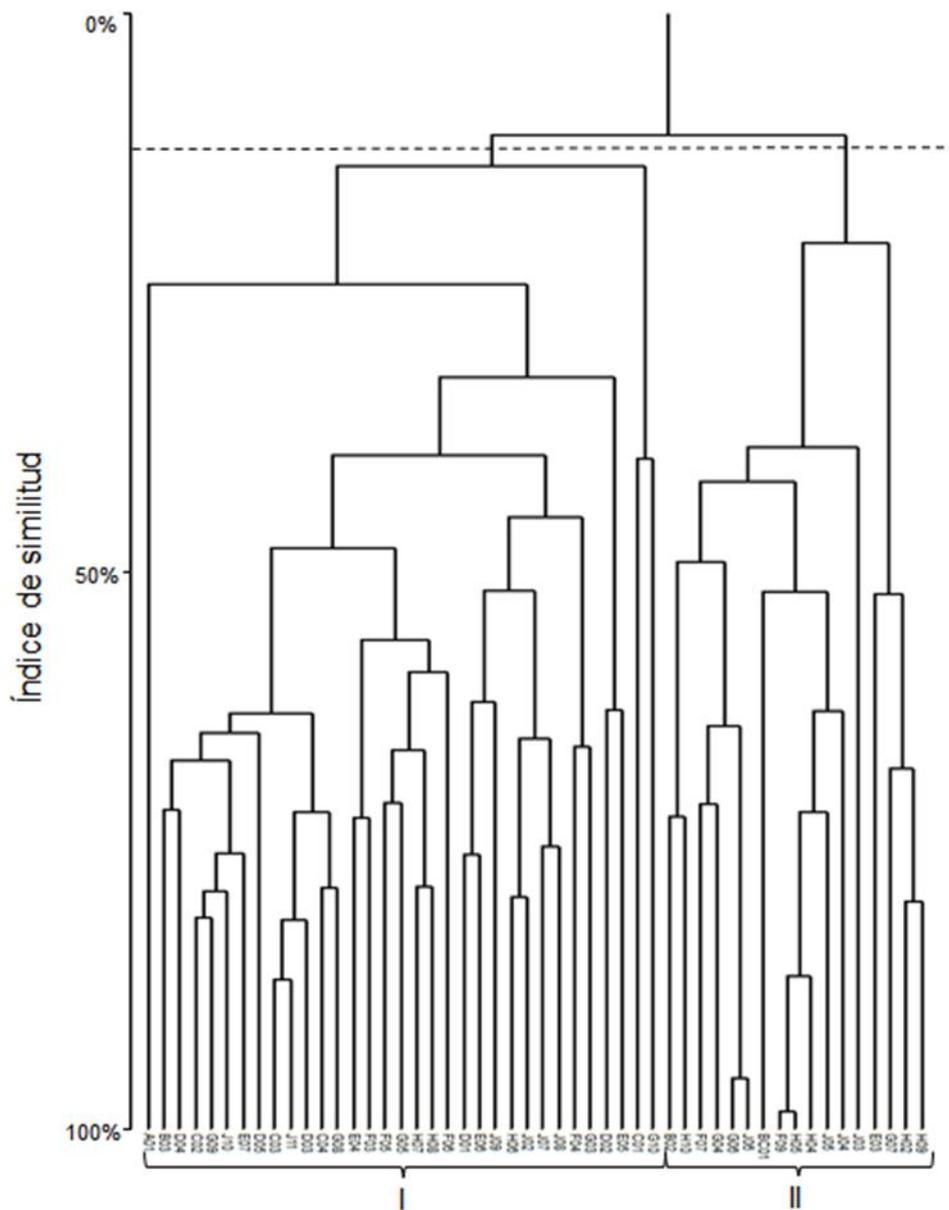
**Anexo 1.** (Cont.) Listado taxonómico de larvas de peces en el Alto Golfo de California. (junio del 2010 (•) y marzo del 2011(Δ). El orden sistemático de las especies es según Eschmeyer (1983) y Moser (1996).

Orden	Suborden	Familia	Taxa
	Labroidei	Labridae	<i>Halichoeres semicintus</i> •Δ <i>Halichoeres</i> sp. 1Δ <i>Labrisomus</i>
	Blennioidei	Labrisomidae	<i>multi porosus</i> •
		Blennidae	<i>Hypsoblennius gentilis</i> Δ <i>Hypsoblennius jenkinsi</i> Δ <i>Hypsoblennius</i> sp. 1Δ <i>Hypsoblennius</i> sp. 2Δ <i>Hypsoblennius</i> sp. 3Δ
	Gobioidei	Clinidae	Clinidae tipo 1Δ
		Gobiidae	<i>Erotelis armiger</i> • Gobiidae tipo 1•Δ Gobiidae tipo 2•Δ Gobiidae tipo 3• <i>Gobulus crescentalis</i> •Δ <i>Ilypnus gilberti</i> •Δ <i>Lepidogobius lepidus</i> •Δ <i>Lythrypnus dalli</i> • <i>Lythrypnus</i> sp. 1• <i>Quietula y-cauda</i> • <i>Rhynogobius nicholsii</i> •
	Scombroidei	Scombridae	<i>Auxis</i> spp. • <i>Euthynnus lineatus</i> • <i>Sarda chiliensis</i> • <i>Scomberomorus sierra</i> •
	Stromateoidei	Stromateidae	<i>Peprilus similimus</i> Δ
Pleuronectiformes	Pleuronectoidei	Paralichthyidae	<i>Etropus crossotus</i> • <i>Hippoglossina stomata</i> •Δ <i>Xystreurus liolepis</i> Δ
	Soleoidei	Achiridae	<i>Achirus mazatlanus</i> •
		Cynoglossidae	<i>Symphurus oligomerus</i> • <i>Symphurus</i> sp. 1• <i>Symphurus</i> sp. 4•
Tetraodontiformes	Tetradontoidei	Tetraodontidae	<i>Sphoeroides lobatus</i> •

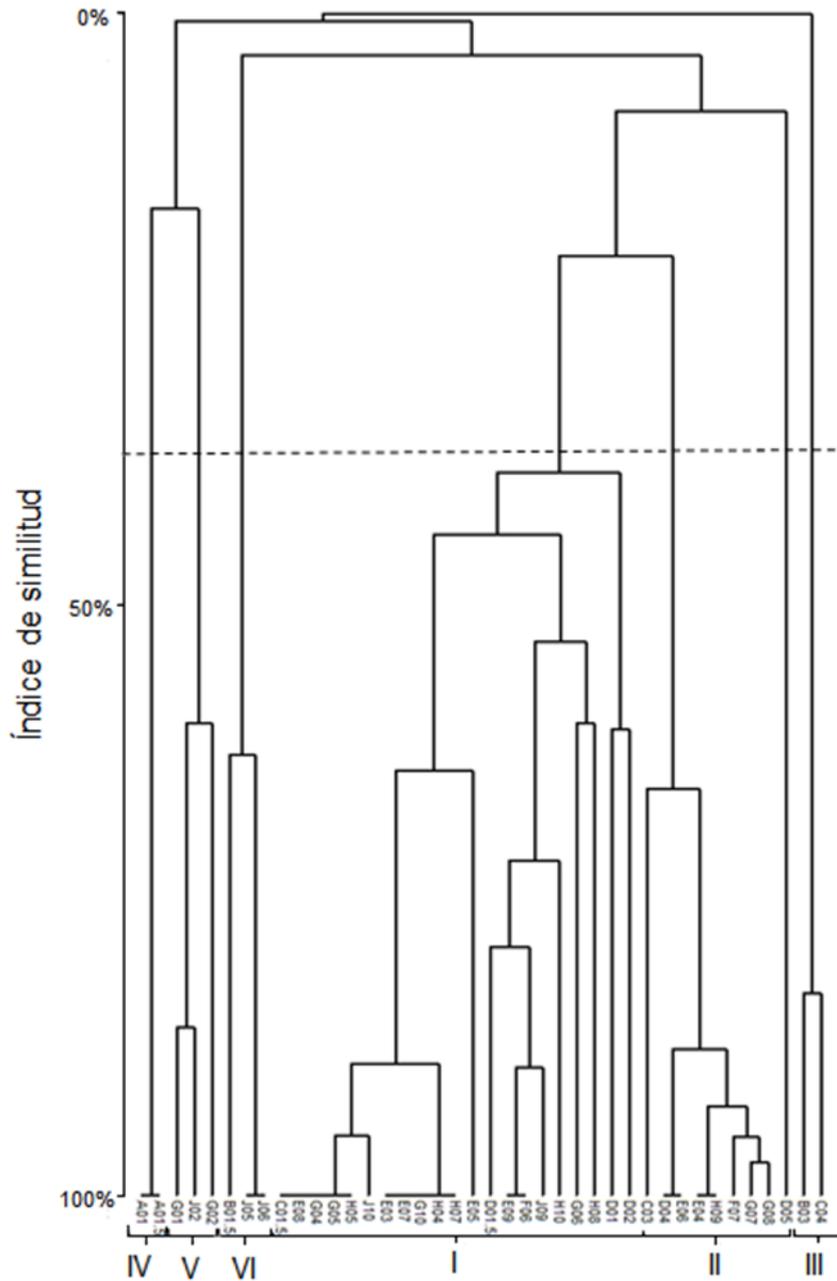
### 13. APÉNDICES



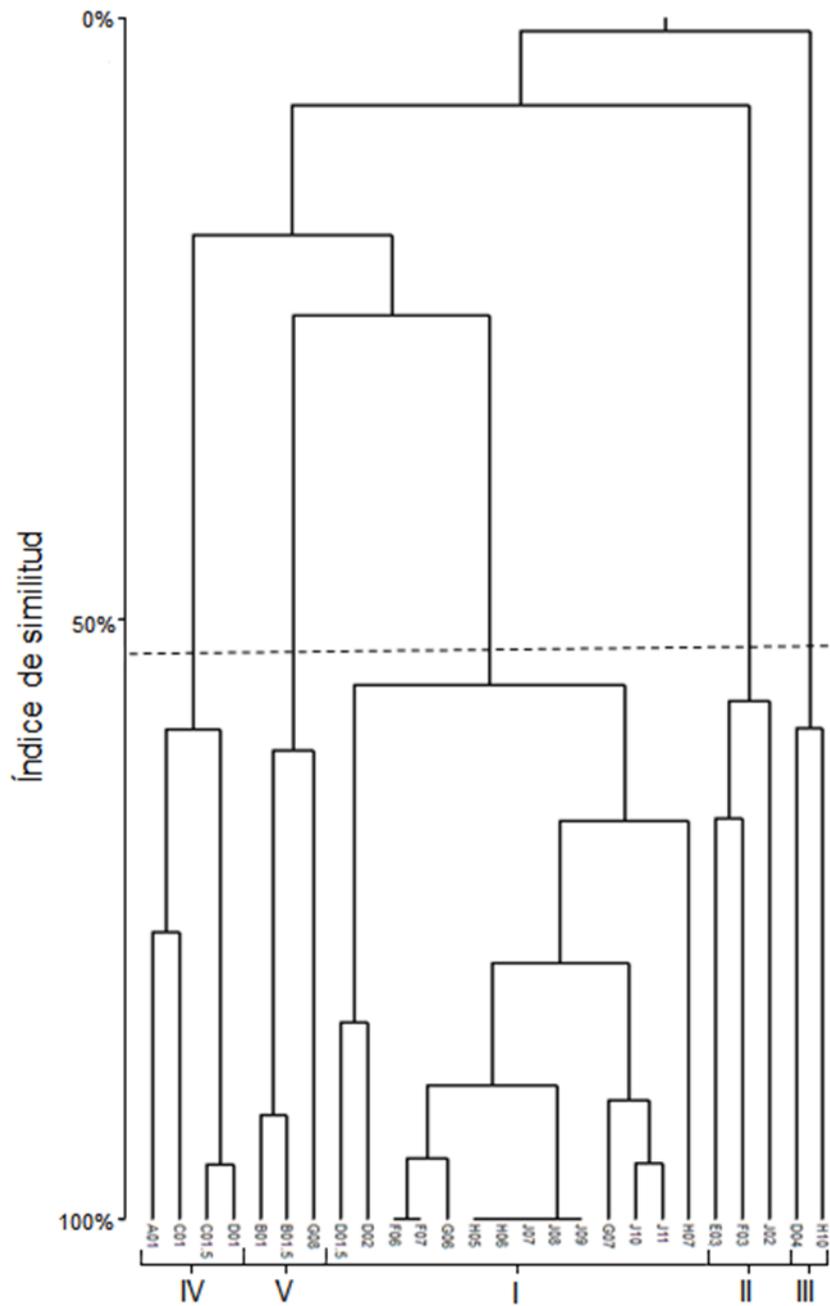
**Apéndice 1.** Grupos (números romanos) formados durante junio de 2010 en el estrato intermedio (5–10 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 10% de frecuencia de aparición.



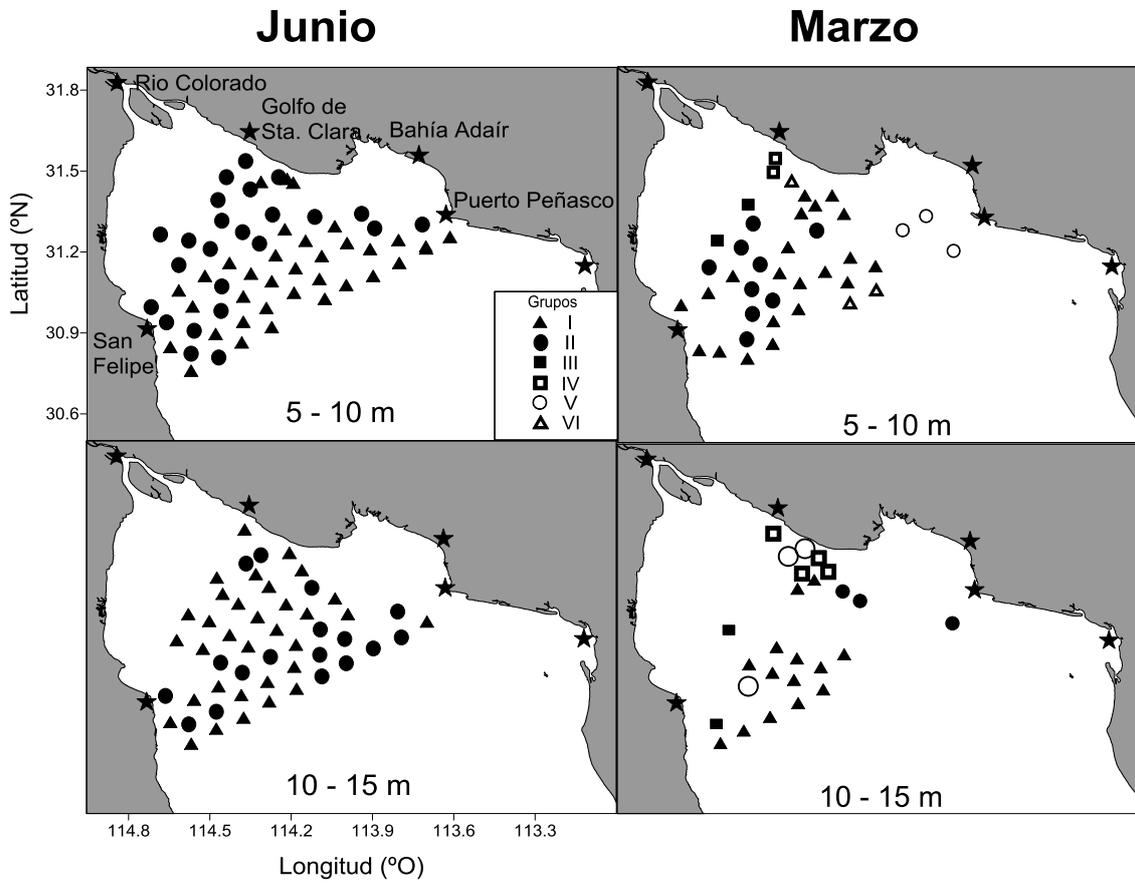
**Apéndice 2.** Grupos (números romanos) formados durante junio de 2010 en el estrato profundo (10–15 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 10% de frecuencia de aparición.



**Apéndice 3.** Grupos (números romanos) formados durante marzo de 2011 en el estrato intermedio (5–10 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 5% de frecuencia de aparición.



**Apéndice 4.** Grupos (números romanos) formados durante marzo de 2011 en el estrato profundo (10–15 m) en el Alto Golfo de California. Este análisis fue a partir de una matriz de larvas de peces con más del 5% de frecuencia de aparición.



**Apéndice 5.** Distribución horizontal de los grupos obtenidos a partir del índice de Bray Curtis en los estratos intermedio y profundo (5-10, 10-15 m) en junio del 2010 y marzo del 2011 en el Alto Golfo de California.