

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



DISTRIBUCIÓN TRIDIMENSIONAL Y RUTAS DE TRANSPORTE DE ETAPAS PLANCTÓNICAS DE *Litopenaeus stylirostris* EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

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

PRESENTA

FRANCISCO JAVIER BARRÓN BARRAZA

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

SIP-14 BIS



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 07 del mes de Noviembre del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"DISTRIBUCIÓN TRIDIMENSIONAL Y RUTAS DE TRANSPORTE DE ETAPAS PLANCTÓNICAS

DE Litopenaeus stylirostris EN EL	ALTO GOLFO	DE CALIFORNIA

Presentada por el alumno	:								
BARRÓN	BARRAZA	FRANCISCO JA	AVI	ER					
Apellido paterno	materno	nombre(s))						·
		Con registro:	A	1	2	0	3	4	0

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 DR. MANUEL SALVADOR GALINDO BECT DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO 2º. Director de Tesis Director de Tesis MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO DR. IAIME GÓME DR. MIGUEL FERNANDO LAVÍN PEREGRINA PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES DRA. MARIA MARGARITA CASAS VALDEZ IPN CICIMAR DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

 En la Ciudad de
 La Paz, B.C.S.,
 el día
 25
 del mes
 Noviembre
 del año
 2013

 el (la) que suscribe
 BM. FRANCISCO JAVIER BARRÓN BARRAZA
 alumno(a) del

 Programa de
 MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

 con número de registro
 A120340
 adscrito al
 CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

 manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
 DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO
 Y
 DR. MANUEL SALVADOR GALINDO BECT

 y cede los derechos del trabajo titulado:

"DISTRIBUCIÓN TRIDIMENSIONAL Y RUTAS DE TRANSPORTE DE ETAPAS PLANCTÓNICAS

DE Litopenaeus stylirostris EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA"

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: <u>fbarron.uabcs@gmail.com</u> - <u>lsvelasc@gmail.com</u> - <u>salvador@uabc.edu.mx</u> Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. FRANCISCO JAVIER BARRÓN BARRAZA

nombre y firma

ESFUERZO:

Algunos sueñan con alcanzar grandes logros, otros se mantienen despiertos, se esfuerzan y los hacen posibles. Anónimo.

Soy el tipo de persona que si no sabe una respuesta le diré que no la sé. Pero le apuesto a que sé cómo encontrar la respuesta, y la encontraré. Chris Gardner "En busca de la felicidad".

> Nunca dejes que nadie te diga que no puedes hacer algo. Si tienes un sueño debes protegerlo. Si alguien no puede hacer algo te dirá que tú tampoco puedes. Si quieres algo ve tras ello. Punto. Chris Gardner "En busca de la felicidad".

DEDICATORIA

LA PRESENTE TESIS ESTA DEDICADA ESPECIALMENTE A MI FAMILIA Y A MI NOVIA

A MI MAMÁ: María Aurora Barraza, por confiar en mí, por darme ánimos para seguir adelante, por su amor y apoyo incondicional en las buenas y en las malas, gracias por todo, **eres mi súper mamá!!**

A MI PAPÁ: José Guillermo Barrón Guzmán

A MIS HERMANAS: Viridiana, Nereida y Rosario, gracias por preocuparse por mí, aunque no me lo crean **las quiero mucho hermanas!**

A MIS SOBRINOS: Luis Enrique y Christian, espero ser un buen ejemplo para que sigan adelante con sus estudios.

A MI NOVIA: Xchel Aurora Pérez Palafox, por ser mi amiga y confidente en este 2013 tan maravilloso para los dos, por estar conmigo y tenerme paciencia durante mis ratos de estrés con el escrito de la tesis, por ese amor y felicidad que me brindas, lo que me da motivos para seguir superándome, **Te amo Xchel!!**

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por dejarme formar parte de esta institución reconocida en el país y el extranjero. También por brindarme el apoyo durante el tiempo que estuve en la maestría.

Al módulo del proyecto interdisciplinario (1581) "Oceanografía y larvas de peces como indicadores del sistema pelágico del Golfo de California"; Así como al proyecto de ciencia básica SEP-CONACYT (contrato 154919) "Monitoreo ecológico del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado" por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

A mi directora de tesis: Dra. Laura Sánchez Velasco por la confianza depositada en mí y por darme la oportunidad de incorporarme a su equipo de trabajado. Por asesorarme y transmitirme conocimiento con sus comentarios e ideas, por estar al pendiente durante mi periodo estudiantil.

A mi codirector de tesis: Dr. Salvador Galindo Bect, por aceptar la codirección de esta tesis, aún a distancia sus comentarios fueron indispensables y muy enriquecedores en este trabajo.

A los integrantes de mi comisión revisora: Dr. Miguel Lavín Peregrina, Dr. Jaime Gómez Gutiérrez y al M. en C Gustavo de la Cruz Agüero por su tiempo y acertados comentarios, ya que sus ideas en conjunto coincidieron y reforzaron muchísimo este trabajo.

Al Dr. Bernardo Shirasago por sus clases, buenas pláticas y por aceptar ser suplente en la comisión revisora.

A los profesores del Departamento de Plancton y Ecología Marina del CICIMAR, sus buenas críticas durante clases y en el seminario ayudaron a mi formación.

Especial agradecimiento al Dr. Guido Marinone quien tuvo paciencia y nos ayudó con las simulaciones del modelo de circulación HAMSOM.

A mis compañeros y amigos del grupo de trabajo que encabeza la Dra. Laura Sánchez: Fátima, Susan, Ethel, Rosabel, Rocío, Noé, Arturo, Javier, Adalberto, Fernando, Erick, Amaru, gracias por esas reuniones de los lunes donde intercambiamos opiniones e ideas de los diferentes temas de oceanografía y ecología marina para estar actualizados.

Al Dr. Miguel Lavín quien dirige el Laboratorio de Circulación Costera (CIRCOS) del Departamento de Oceanografía Física de CICESE y a su equipo de trabajo: Víctor Godínez, Arturo Ocampo y Carlos Cabrera por su apoyo brindado en campo y por el procesamiento de datos e imágenes de satélite en laboratorio.

A la tripulación del Buque Oceanográfico Francisco de Ulloa: Capitán Pedro, Tavo, Rosario, Ing. Contreras, Román, Julio, Ramón, gracias por la ayuda brindada durante los cruceros, también por esas platicas y convivios, espero podamos compartir más cruceros ahora en el renovado Alpha Helix.

A mis compañeros de generación: Francisco Mendoza, Yazmin Vázquez, Leyberth Fernández, Armando Mendoza, por su amistad e intercambio de ideas en los pasillos y jardineras del Departamento de Plancton.

Al CONACYT por la beca otorgada durante el periodo de maestría 2012-1013.

A la Dra. Patricia Jiménez Rosenberg y al Dr. Noé Díaz Viloria por aceptarme en sus proyectos del programa institucional de formación de investigadores del IPN (Beca "PIFI").

A la comisión de operación y fomento de actividades académicas del IPN (COFAA) por los apoyos otorgados para congresos.

ÍNDICE	Página
RELACIÓN DE FIGURAS	iii
RELACIÓN DE TABLAS	vi
GLOSARIO	vii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ANTECEDENTES	4
2.1 Stocks reproductores de camarón y ambiente	4
2.2 Identificación de larvas de camarón, distribución y abundancia en	
Alto Golfo	5
2.3 Modelos de circulación y trayectoria de partículas aplicados al	
meroplancton	7
3 JUSTIFICACIÓN	9
4 ÁREA DE ESTUDIO	10
5 HIPÓTESIS	13
6 OBJETIVOS	14
6.1 General	14
6.2 Particulares	14
7 MATERIAL Y MÉTODOS	15
7.1 Imágenes de satélite	15
7.2 Registro de las variables ambientales físicas in situ	15
7.3 Recolecta y análisis de muestras de zooplancton	16
7.4 Análisis de datos biológicos y físicos	17
7.5 Modelación de las rutas de transporte larval	18
8 RESULTADOS	21
8.1 Imágenes satelitales de clorofila a	21
8.2 Junio de 2008	22
8.2.1 Distribución de las variables ambientales (datos in situ)	22
8.2.1.1 Temperatura	22
8.2.1.2 Salinidad	23

8.2.1.3 Concentración de oxígeno disuelto	24
8.2.1.4 Clorofila <i>a</i>	25
8.2.1.5 Índice de estratificación (Φ)	26
8.2.2 Estadios planctónicos del camarón azul	27
8.2.3 Asociación de la distribución y abundancia de los estadios	
planctónicos de camarón en función de los gradientes ambientales	32
8.2.3.1 Análisis Canónico de Correspondencias	32
8.2.3.2 Simulación del transporte de estadios planctónicos de	
camarón	34
8.2.3.3 Traslape de estadios planctónicos de camarón de	
diferentes núcleos de abundancia a partir del estadio protozoea	35
8.3 Junio de 2010	38
8.3.1 Distribución de las variables ambientales (datos in situ)	38
8.3.1.1 Temperatura	38
8.3.1.2 Salinidad	39
8.3.1.3 Oxígeno disuelto	40
8.3.1.4 Clorofila <i>a</i>	41
8.3.1.5 Índice de estratificación	42
8.3.2 Estadios planctónicos de camarón	43
8.3.3 Asociación de la distribución y abundancia de los estadios	
planctónicos de camarón en función de los gradientes ambientales	48
8.3.3.1 Análisis Canónico de Correspondencias	48
9 DISCUSIÓN	50
9.1 Abundancia y distribución de los estadios planctónicos de	
camarón en el Alto Golfo de California y su relación con variables	
ambientales	50
9.2 Transporte larval de estadios planctónicos de camarón azul en el	
Alto Golfo de California	53
10 CONCLUSIONES	57
11 LITERATURA CITADA	58

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura

Página

- Batimetría del Alto Golfo de California en metros, incluyendo las zonas
 núcleo (N), zona de amortiguamiento (A), refugio de la vaquita marina
 (V), y estaciones de muestreo durante junio de 2008 (*) y 2010 (*)
 respectivamente.
- Imágenes satelitales de concentración de clorofila *a* (mg/m³) en el 21 norte del Golfo de California y AGC durante el 7 de junio de 2008 (a) y 4 de junio de 2010 (b).
- Distribución de la temperatura (°C) en los diferentes estratos de 22 muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.
- Distribución de la salinidad en los diferentes estratos de muestreo en 23 el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.
- 5 Distribución del oxígeno disuelto en los diferentes estratos de 24 muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.
- Distribución de la clorofila a en los diferentes estratos de muestreo en 25 el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.
- 7 Distribución de los valores del Índice Φ (J/m³) referido a 150 m en el 26 Alto Golfo de California durante junio de 2008. La isolínea gruesa indica la zona frontal.
- Abundancia de los estadios planctónicos de camarón durante junio de 28
 2008: (a) proporción larval, (b) diferencia durante el día y la noche y
 (c) diferencia por estrato de muestreo.
- 9 Distribución y abundancia vertical de larvas protozoea de camarón 29 azul durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5 m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- 10 Distribución y abundancia vertical de larvas mysis de camarón azul 30

durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

- Distribución y abundancia vertical de postlarvas de camarón azul 31 durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados;
 a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- Grafico del Análisis Canónico de Correspondencia (Junio 2008); se 33 muestran las estaciones de muestreo (•), los estadios planctónicos (▲) y las variables ambientales (→).
- Posiciones de lance de las partículas utilizadas en las simulaciones de 36 trayectoria planctónica (protozoea a postlarva l) para *Litopenaeus stylirostris* durante junio de 2008 mediante el modelo número tridimensional Hamsom (Marinone 2003). a) Periodo de mareas vivas y
 b) Periodo de mareas muertas. El color rojo y verde indica el día inicial y final respectivamente; el polígono azul representa el Refugio de la Vaquita. Las isolíneas de color negro muestran el índice de estratificación (Φ, J m³).
- 14 Posiciones de lance de las partículas utilizadas en las simulaciones de 37 trayectoria planctónica (protozoea a postlarva l) para *Litopenaeus stylirostris* durante junio de 2008 mediante el modelo numérico tridimensional Hamsom (Marinone, 2003). a) Periodo de mareas vivas y b) periodo de mareas muertas. ■, ◆ y ★ indican los tres eventos reproductivos; el polígono azul representa el Refugio de la Vaquita. Las isolíneas de color negro muestran el parámetro de estratificación phi (Φ, J m³).
- Distribución de la temperatura (°C) en los diferentes estratos de 38 muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a
 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- Distribución de la salinidad en los diferentes estratos de muestreo en 39 el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- 17 Distribución del oxígeno disuelto en los diferentes estratos de 40

iv

muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

- Distribución de la clorofila α en los diferentes estratos de muestreo en
 el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10
 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- 19 Distribución de los valores del Índice Φ (J/m³) referido a 150 m en el 42 Alto Golfo de California durante junio de 2010; La isolínea gruesa indica la zona frontal.
- Abundancia de los estadios planctónicos de camarón durante junio de 44
 2010: (a) proporción larval, (b) diferencia durante el día y la noche y
 (c) diferencia por estrato de muestreo.
- 21 Distribución y abundancia vertical de larvas protozoea de camarón 45 azul durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- 22 Distribución y abundancia vertical de larvas mysis de camarón azul 46 durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados;
 a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- 23 Distribución y abundancia vertical de postlarvas de camarón azul 47 durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados;
 a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.
- Grafico del Análisis Canónico de Correspondencia (Junio 2010); se 49 muestran las estaciones de muestreo (•), los estadios planctónicos (▲) y las variables ambientales (→).

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla

Página

- Varianza explicada por las variables ambientales del Análisis Canónico
 de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2008).
- II Regresión múltiple entre los sitios de muestreo y variables ambientales 33 del Análisis Canónico de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2008).
- III Matriz de conectividad (% de partículas liberadas) durante periodos de 34 mareas vivas y mareas muertas en el Alto Golfo de California (junio de 2008).
- IV Varianza explicada por las variables ambientales del Análisis Canónico
 48 de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2010).
- V Regresión múltiple entre los sitios de muestreo y variables ambientales
 49 del Análisis Canónico de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2010).

GLOSARIO

AGUA OLIGOTROFICA.- Cuerpos de agua pobres en nutrientes, baja productividad biológica y altas concentraciones de oxígeno disuelto en la capa superficial.

ABUNDANCIA.- Número de individuos por unidad de área, volumen, distancia o tiempo durante el esfuerzo de observación o recolecta.

ADVECCIÓN.- Proceso mediante el cual son transportadas las propiedades inherentes de un fluido en movimiento, como calor o concentración de sal en el océano. En general se usa el termino advección para movimientos horizontales (oceanografía y meteorología).

BATIMETRÍA.- Configuración del fondo marino o mapa en donde esté delineado el perfil de fondo de un cuerpo de agua, por medio de contornos de igual profundidad (isobatas).

CIRCULACIÓN CICLÓNICA.- Es el sentido de giro de un fluido en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur.

CIRCULACIÓN ANITCICLÓNICA.- Es el sentido de giro de un fluido en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio sur.

CORRIENTE.- Movimiento periódico o no periódico de agua temporal o permanente, generalmente en forma horizontal, producido por diversas causas tales como gradientes de presión, flujo geostrófico, efecto de Coriolis, la marea, temperaturas o vientos.

CORRIENTE DE MAREA.- El movimiento de agua alternado asociado con el ascenso y descenso de la marea causado por las fuerzas de atracción gravitacional de la luna y en menor medida del sol.

CORRIENTE RESIDUAL.- Se refiere a la corriente o flujo promedio producido por el forzamiento de la dirección y velocidad del viento en la superficie del mar una vez que se elimina la parte variable o armónica de una serie de datos.

CRUCERO OCEANOGRÁFICO.- Expedición de trabajo que se lleva a cabo en una embarcación para realizar mediciones de variables físicas, químicas, geológicas y biológicas en el mar.

CTD.- Instrumento oceanográfico que sirve para obtener perfiles de la temperatura, conductividad y la profundidad. Con estos datos se calcula densidad y salinidad del agua. Las siglas CTD provienen del Inglés Conductivity, Temperature, Depth.

CUENCA.- Depresión del fondo marino de extensión variable y de forma más o menos equidimensional en un plano horizontal, la cual es relativamente profunda y está aislada de otras depresiones por cordilleras o planicies menos profundas.

DISPERSIÓN.- Es una medida de la separación de las partículas (en suspensión) en un fluido en función del tiempo. Por ejemplo, la distribución de huevos y larvas o un contaminante vertido al mar.

DISTRIBUCIÓN.- Se refiere al espacio que los individuos, poblaciones, especies o comunidades de organismos ocupan en un tiempo determinado, así como a la forma en que lo hacen. La distribución puede variar debido a las características de cada especie, al ambiente y a la geografía de cada lugar.

ESTADIO: En crustáceos se llama así a cada etapa en el desarrollo hasta llegar a la madurez sexual.

ESTRATIFICACIÓN.- Condición de fluido que implica la existencia de dos o más capaz horizontales ordenadas de menor a mayor densidad con la profundidad, de tal manera que las capas menos densas están sobre las más densas.

ESTUARIO.- Cuerpo de agua costero con forma similar al de un embudo y donde desemboca un río y tiene una 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.

FASE: Etapa o estado diferenciado de un proceso, desarrollo o transformación.

FASE LARVARIA: Comprende desde la eclosión del embrión, hasta el momento en que el estadio postlarva adquiere esencialmente todas las características del adulto pero aún no está maduro para la reproducción.

FRENTE.- Región del océano donde se encuentran en contacto aguas de características marcadamente diferente, por ejemplo zonas de diferente temperatura, zonas estratificadas y zonas mezcladas, zonas de diferente concentración de oxígeno, zonas con masas de agua diferentes.

FRENTE DE ESTRATIFICACIÓN: Región del océano donde se separan horizontalmente aguas muy mezcladas de aguas menos mezcladas con base en el índice de estratificación.

ÍNDICE DE ESTRATIFICACIÓN: Índice que evalúa la intensidad de la mezcla vertical estimando la cantidad de energía (J/m³) requerida para mezclar la columna de agua.

ISÓBATAS.- Línea o superficie que conecta todos los puntos de igual profundidad sobre una gráfica en el espacio.

LARVA.- Nombre que se les da a los primeros estadios de desarrollo de numerosas cuando son muy diferentes de los adultos, para alcanzar las características de estos, sufren un cambio (metamorfosis).

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 de la luna nueva, donde el sistema luna-tierra-sol se encuentra sobre una misma línea.

MESOESCALA: Se refiere a la extensión espacial y temporal de fenómenos marinos, la cual va de 5 km a 500 km y de 1 semana a 12 meses de duración.

MYSIS.- Tercer estadio de la fase larvaria de los camarones que presenta los ojos pedunculados y se caracteriza por tener las extremidades del tórax desarrolladas para la natación.

NAUPLIO.- Primer estadio de la fase larvaria de los camarones penaeidos; exhibe el tipo más simple de región anterior con tres pares de apéndices, primera antena unirrama, segunda antena birrama y mandíbulas.

POSTLARVA.- Estado que ocurre después del estadio larvario protozoea y mysis, parecido al juvenil pero que no se puede reproducir. En camarones penaeidos, normalmente se cuentan los días después de la aparición de las características de postlarva. Ej., PL12 indica que la postlarva ha vivido 12 días desde su metamorfosis.

PROTOZOEA.- Segundo estadio larvario de los camarones y otros crustáceos decápodos, caracterizado por una o más espinas en el caparazón y extremidades rudimentarias en el tórax y abdomen.

RETENCIÓN.- Es la capacidad o tendencia de acumulación de partículas (en suspensión) en un fluido en un tiempo dado. Por ejemplo, la acumulación de huevos y larvas o un contaminante vertido al mar.

TURBULENCIA.- Estado del flujo en el cual las velocidades instantáneas muestras fluctuaciones irregulares, caóticas e impredecibles tanto en el tiempo como en

espacio; así que en la praxis solo sus propiedades estadísticas pueden ser analizadas.

VEDA.- Mecanismo de regulación pesquera en donde se define un periodo durante el cual está legalmente prohibido pescar para permitir la reproducción y protección de una especie en particular.

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.

Crespi, V. & A. Coche. 2008. *Glosario de acuicultura*. FAO. Rome. 401p.

RESUMEN

El camarón azul Litopenaeus stylirostris es la especie de mayor importancia comercial, en el Alto Golfo de California (AGC), se reproduce principalmente en la región oceánica frente a Punta Borrascoso y utiliza la zona litoral de entre mareas, hasta el delta del Río Colorado como área de crianza. En este trabajo se describe la abundancia y distribución vertical de los estadios planctónicos del camarón azul en el AGC, su relación con la temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, clorofila a, biomasa zooplanctónica e índice de estratificación, así como las posibles estrategias de transporte durante el periodo larval implementando el modelo de circulación tridimensional baroclinica HAMSOM. Se realizaron dos cruceros oceanográficos en el AGC (junio de 2008 y junio de 2010) en los cuales se tomaron datos ambientales con un CTD y sensores de oxígeno disuelto y fluorescencia. Las muestras de zooplancton fueron recolectadas mediante una red de 505 µm de luz de malla, utilizando un mecanismo apertura-cierre en tres niveles de profundidad (superficie-5 m, 5-10 m, 10-15 m). Los resultados mostraron que en junio de 2008, la abundancia promedio de larvas de camarón azul, principalmente protozoeas (63 larvas/100m³), fue significativamente superior a la de junio 2010 (10 larvas/100m³); que se relaciona con una intrusión de agua oligotrófica y menos salina procedente de la región norte del Golfo de California inferida de imágenes de satélite. Sin embargo, la distribución de las larvas en ambos años se asoció a gradientes hidrográficos similares. Las larvas protozoeas y mysis tendieron a concentrarse frente a Puerto Peñasco y al sur de Punta Borrascoso sobre un frente de estratificación. Las larvas protozoeas se correlacionaron con zonas de altos valores de oxígeno disuelto (>4.8 mL/L) y las mysis con valores intermedios (4.3-4.7 mL/L). Las postlarvas, tuvieron menor abundancia que los estadios larvarios anteriores, distribuyéndose en las zonas con mayor concentración de clorofila α y salinidad entre San Felipe y Punta Borrascoso. Esto implica un desplazamiento de postlarvas hacia sus zonas de crianza (canales y Delta del Río Colorado) donde es conocido que prevalecen las mayores salinidades del AGC. Las simulaciones de rutas de transporte larval se obtuvieron por medio de seguimiento de partículas con las corrientes predichas

por el modelo HAMSOM y fueron realizadas durante mareas vivas y muertas iniciando en las 10 localidades con mayor abundancia larval donde se liberaron 1000 partículas inertes en cada una de ellas. La distribución de las fases larvarias del camarón azul correspondió con los resultados de las simulaciones numéricas de partículas inertes seguidas durante siete días. Estas mostraron que tanto en mareas vivas como muertas, la mayoría de las partículas (70%) fueron retenidas en el frente de estratificación y zona oriental del polígono de la vaquita por 7 días. El resto de las partículas (30%) fueron transportadas hacia zonas poco favorables para su reclutamiento.

ABSTRACT

Blue shrimp Litopenaeus stylirostris is an economically important species in the Upper Gulf of California (UGC), breeds primarily in the oceanic region off Punta Borrascoso and uses intertidal coastal zone to the Colorado River delta as nursery area. This work describes the abundance and vertical distribution of blue shrimp planktonic stages in the UGC, its relation to environmental variables (temperature, salinity, dissolved oxygen concentration, chlorophyll a, zooplankton biomass and stratification index) and possible strategies during larval transport implementing the three-dimensional baroclinic circulation model HAMSOM. Two oceanographic cruises were carried out in the UGC (June 2008 and June 2010) in which we measured environmental data with a CTD, dissolved oxygen and fluorescence sensors. Zooplankton samples were obtained with a 505 µm mesh net using an opening-closing mechanism in three deep strata (surface to 5 m, 5-10 m, and 10-15 m). During June 2008 the mean abundance of blue shrimp larvae, mainly protozoea (63 larvae/100 m³) was higher than June 2010 (10 larvae/100 m³) and related to oligotrophic water and less salty intrusion from north of Gulf California region inferred by satellite images. However, larval distribution was associated with identical hydrographic gradients in both years. Protozoea and mysis larvae were located in front of Puerto Peñasco and south of Punta Borrascoso over a stratification front. Protozoea stages were correlated with higher dissolved oxygen values (>4.8 mL/L) while mysis larvae were associated with intermediate values (4.3-4.7 mL/L). Postlarvae stages were less abundant than zoea and mysis. They were distributed between San Felipe and Punta Borrascoso, in zones with higher chlorophyll a and salinity concentration; these findings may indicate that there is a migration of post larval stages to nursery area (Colorado River Delta) where there are the higher salinity values of UGC. Larval transport routes simulations were obtained with particles-tracking from the currents prediction by model HAMSOM, and were made during spring and neap tides starting on the ten sites with higher larval abundance where we released 1000 inert particles. The distribution of larval stages of blue shrimp concurred with the numerical model simulations of inert particles tracked during seven days. These simulations showed than in spring as

well as neap tides periods, 70 percent of particles were retained over a stratification front, vaquita refuge and meridional zone of Upper Gulf of California for seven days. the remaining particles (30 %) were advected to unfavorable recruitment zones.

1. - INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los recursos pesqueros más redituables en relación al costo-biomasa-ganancia a nivel mundial. Esta pesquería genera el mayor aporte de divisas en México (Grijalva-Chon & Barraza-Guardado, 1992), ascendiendo aproximadamente a 132 millones de dólares por temporada, sustentada por alrededor de 30,000 empleos directos e indirectos a lo largo de las costas del Pacifico mexicano (Instituto Nacional de la Pesca, 2006; Lluch-Cota *et al.*, 2007).

En las costas del Pacifico Mexicano, se distribuyen cuatro especies con valor pesquero: camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874), camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) y camarón rosado *Farfantepenaeus brevirostris* (Kingsley, 1878). Estas especies se registran desde la costa occidental de la Península de Baja California hasta la frontera con Guatemala, incluyendo todo el Golfo de California. En el Alto Golfo de California (AGC), el camarón azul *L. stylirostris* es el recurso pesquero de mayor valor socio-económico. Los organismos adultos se concentran principalmente en dos zonas de la costa de Sonora, al sur de Punta Borrascoso y en El Desemboque (Aragón-Noriega *et al.*, 1999; Galindo-Bect, 2003). Las hembras presentan desoves parciales, con el mayor desove entre los meses de mayo y julio, presentando amplia variabilidad interanual (López-Martínez *et al.*, 2002; Aragón-Noriega & García-Juárez, 2002b; López-Martínez *et al.*, 2005, Aragón-Noriega, 2007, Galindo-Bect *et al* 2007, Galindo-Bect *et al* 2010).

El AGC, es la región más norteña y somera del Golfo de California (promedio de 30 m de profundidad), está caracterizado como un estuario inverso debido a los altos valores de salinidad (> 37), producto de una elevada tasa de evaporación durante todo el año (~1.1 m/año⁻¹) (Álvarez-Borrego *et al*, 1975; Lavín *et al.*, 1998; 1999); y al nulo aporte de agua dulce del Río Colorado ocasionado por la construcción de las presas Hoover en 1935 y Glenn Canyon en 1960, en los Estados Unidos . En esta región se presentan fuertes corrientes de marea que resultan en condiciones de mezcla vertical durante la mayor parte del año (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Lavín *et al.*, 1998). El encuentro del agua bien mezclada del AGC con agua

1

profunda y estratificada procedente de la región norte del Golfo de California, resulta en un intenso frente termohalino, asociado a frentes de concentración de clorofila *a* y oxígeno disuelto, que aunque este frente es permanente, presenta cambios temporales en su posición e intensidad (Argote *et al.*,1995).

Las larvas del camarón azul, de la misma manera que las larvas epipelágicas de invertebrados marinos bentónicos, forman parte del meroplancton, lo cual implica que son organismos que están a expensas de los gradientes ambientales y las corrientes marinas durante sus estadios larvarios (Steidinger & Walker, 1984; Gasca & Suárez, 1996; Levinton, 2001; Harvey *et al.*, 2002). Su migración puede ser de forma "pasiva" o "activa", ello supone que las condiciones hidrográficas y dinámicas del AGC deben tener una relevante influencia en los patrones de la distribución y transporte. Trabajos realizados con anterioridad en el AGC, sugieren que las larvas de camarones en el AGC tienen un comportamiento pasivo y migran con relación a la dirección y velocidad de la corriente residual (Marinone *et al.* 2004), mientras por otro lado, Galindo-Bect *et al.* (2010), consideran que las larvas de camarones en el AGC tienen un comportamiento pasivo y con la corriente y horizontales, que les permita migrar de acuerdo a su ciclo de vida y con la corriente de marea.

A la fecha, los estadios tempranos del camarón están poco documentados en la región del Alto Golfo. Se ha reportado que el desove se presenta principalmente frente a Punta Borrascoso (Aragón-Noriega *et al.* 1999; Galindo-Bect *et al.*, 2010) y que las larvas pueden ser transportadas por corrientes marinas forzadas por el estrés del viento (Calderón-Aguilera *et al.*, 2002) o corrientes de mareas o residuales (Galindo-Bect, 2003; Calderón-Aguilera *et al.*, 2003). Sin embargo, no existen trabajos integrativos con datos biológicos e hidrográficos y modelación numérica que ayuden a explicar los mecanismos de retención y transporte que intervienen en el ciclo de vida de los estadios planctónicos de la fase larvaria del camarón azul en el AGC.

El presente trabajo forma parte del Proyecto PANGAS, *Pesca Artesanal del Norte del Golfo de California: Ambiente y Sociedad* que se ha venido desarrollando desde el 2005 por diversas instituciones de investigación como CICESE, Universidad de Arizona, Universidad de Santa Cruz, California, Universidad Autónoma de Baja California y CICIMAR-IPN. El proyecto pretende generar información biológica de los estadios tempranos del recurso camarón para conocer aspectos de la distribución y estrategias de transporte larval del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* en el AGC.

2.- ANTECEDENTES

2.1 Stocks reproductores de camarón y ambiente

Debido a que el camarón es un recurso de gran importancia para la pesca ribereña e industrial, Aragón-Noriega *et al* 1999 estudiaron la distribución y abundancia del stock de camarones peneidos en el AGC, donde relacionan las variables ambientales que influyen en mayor o menor medida en la variabilidad de su distribución. Otros estudios están relacionados con las fluctuaciones interanuales de las capturas comerciales de esta especie, desembarcadas en el AGC (Galindo-Bect *et al.* 2000), encontraron una estrecha relación entre los desembarques de camarón en el puerto de San Felipe y los excedentes de agua dulce del Río Colorado en el periodo 1979-1989, con relación a los 1850 x 10^6 m³ año, establecidos en el Tratado de Límites y Aguas firmado entre México y Estados Unidos en 1944. Estos autores mencionan que las descargas de agua dulce hacia el AGC, favorecen las condiciones ambientales del área de crianza, incrementando la supervivencia de los estadios tempranos de camarón, lo cual se ve reflejado en las capturas durante las temporadas de pesca.

Aragón-Noriega & Alcántara-Razo (2005) describieron el efecto de la temperatura superficial del mar sobre el periodo reproductivo del camarón café en Mazatlán, Guaymas y Puerto Peñasco. Ellos encontraron diferencias en el periodo reproductivo, doce, seis y cuatro meses de actividad reproductiva para Mazatlán, Guaymas y Puerto Peñasco, respectivamente. Sin embargo, en las tres regiones, el periodo de máxima reproducción fue de mayo a agosto. Posteriormente Aragón-Noriega (2007) mencionó que el camarón azul tiene un periodo reproductivo menos prolongado en Mazatlán, mientras que en Guaymas y Puerto Peñasco es similar a lo que sucede con el camarón café.

Rodríguez-Quiroz *et al.* (2009, 2010), analizaron las tendencias de pesca de camarón azul y peces de importancia comercial en el periodo 1995-2007 y describieron la actividad pesquera dentro del AGC y en el refugio de la vaquita, señalando que las capturas de camarón mantienen un incremento en las áreas

naturales protegidas, lo que ha favorecido el aumento en el número de embarcaciones menores y en los ingresos económicos de los pescadores. Contrario a lo que pasa en zonas sin protección por las autoridades federales.

Santamaría del Ángel *et al.* (2010) sugirieron que los volúmenes de capturas del camarón azul en el AGC aumentan de acuerdo con el Índice de Oscilación del Sur, mientras que las capturas del camarón café lo hacen contrariamente con este índice sugiriendo un desfase temporal entre ambas especies.

Sin embargo, queda en claro que para entender la variaciones en las capturas de pesca, es necesario enfocar los esfuerzos al conocimiento sobre los estadios zooplantónicos del camarón, ya que al identificar correctamente las especies de camarón se tiene un significado biológico pesquero más preciso.

2.2 Identificación de larvas de camarón, distribución y abundancia en el Alto Golfo

La identificación de las especies de camarón a nivel planctónico previos a postlarva es relativamente difícil a partir de muestras de zooplancton, no habiendo dificultad una vez alcanzada la etapa de postlarva. Mair (1979) describió una manera más sencilla para la identificación de las postlarvas de *L. vannamei, L. Stylirostris, F. californiensis y F. brevirostris* capturadas en una laguna costera al sur de Sinaloa utilizando caracteres morfológicos como cromatóforos, longitud del rostro y flagelos antenulares.

Kitani & Alvarado (1982) describieron el desarrollo larval a partir de cultivos en laboratorio de *F. californiensis*, el cual consiste de 6 nauplios, 3 protozoeas y 3 mysis. Kitani (1986a, 1986b) encontraron el mismo número de fases planctónicas para *L. stylirostris* y *L. vannamei* y explican que la principal diferencia entre las tres especies es el número de setas y segmentos presentes en los diferentes estadios larvales.

Calderón-Pérez *et al.* (1989), realizaron una clave de identificación de los estadios postlarvales y primeros juveniles de las cuatros especies de camarón de importancia comercial en el Pacifico Mexicano.

Las investigaciones referentes a la distribución de postlarvas (PL) de camarón en el AGC son diversas, entre las que destacan la realizada por Aragón-Noriega & Calderón-Aguilera (2000). Estos autores recolectaron postlarvas de camarón en el periodo 1993-1997, encontrando que las mayores abundancias postlarvales fueron asociadas a las descargas de agua dulce del Río Colorado que amplió la zona de crianza.

Para este mismo periodo Calderón-Aguilera *et al.* (2002) reportaron que las postlarvas de *L. stylirostris* pueden ser detectadas desde mayo a octubre, con un pico máximo de abundancia en julio. Las abundancias no tuvieron correlación estadística significativa con los ciclos de marea y las fases lunares; sin embargo, los autores indicaron que las variaciones en las abundancias se deben a eventos de corta duración (1-4 hr) como fuertes vientos, los cuales causan una resuspensión de sedimentos en el Alto Golfo.

En el Estuario del Río Colorado, Ramírez-Rojo & Aragón-Noriega (2006), reportaron a *L. stylirostris* con una abundancia media de postlarvas 50 ind/m³, con dos picos de máxima abundancia en mayo-junio y septiembre, presentando una talla promedio de 8 mm, comprobando de esta manera la adaptación de esta especie a condiciones hipersalinas.

Galindo-Bect *et al.* (2007) detectaron que la mayor densidad de postlarvas de camarón azul se registró en el Canal Santa Clara con valores promedio de 17 ind/m⁻³ a principios de junio con una talla promedio de 8 mm de longitud.

De igual forma Galindo-Bect *et al.* (2010) encontraron que la mayor densidad de larvas de camarón (protozoea y mysis) ocurre cerca de la costa de Sonora, al sur de Punta Borrascoso (105 ind/10m³) y frente a Bahía Adahir (123 ind/10m³) con intervalos de talla entre 1.2 y 4.8 mm; mientras que las postlarvas fueron más abundantes y mayores a 5 mm en la zona oeste de Punta Borrascoso.

2.3 Modelos de circulación y trayectorias de partículas aplicados al meroplancton

La aplicación de modelos de circulación hidrodinámica 2D y 3D, simulan la trayectoria de partículas inertes basándose en la circulación histórica de una región en particular y conjunto con datos biológicos colectados *in situ*, para conocer las rutas de transporte larval. Esto permite tener mayores elementos de información biológica para realizar gestión de recursos de relevancia pesquera, como el camarón.

Rothlisberg *et al.* (1983) desarrolló dos modelos uno 2D y uno 3D para inferir la advección de larvas de camarones peneidos en el Golfo de Carpentaria, Australia, encontrando que las larvas son transportadas más de 160 km durante dos a tres semanas que abarca el periodo larval. Esta distancia determina en gran medida la distribución de los adultos sobre la plataforma continental.

Calderón-Aguilera *et al.* (2003) describieron en la parte norte del Golfo de California y AGC la migración de postlarvas de camarón en verano (junio-julio), utilizando el modelo numérico tridimensional Hamburg Shelf Ocean Model (HAMSOM; Marinone, 2003) y mencionaron que las postlarvas pueden venir de diferentes eventos reproductivos fuera de la costa de Sonora, siendo de mayor talla en el Golfo de Santa Clara que en San Felipe; sin embargo, ellos no realizaron arrastres estratificados y no utilizaron datos de estadios protozoea y mysis.

Marinone *et al.* (2004), utilizaron el mismo modelo para determinar las rutas migratorias de los huevos y postlarvas de camarón en el AGC durante un periodo de mareas vivas y muertas por medio de simulación activa y pasiva. Ellos concluyeron que las larvas de San Felipe y Santa clara provienen de diferentes zonas de reproducción; sin embargo no encontraron diferencias entre las mareas vivas y muertas.

Cudney-Bueno *et al.* (2009) monitorearon el área costera de Puerto Peñasco, Sonora durante verano 2002-verano 2004 también con el modelo HAMSOM, demostrando que existe retención de larvas de moluscos en la zonas delimitadas como reservas marinas, considerando que durante el verano ocurre el reclutamiento y asentamiento larval de dichos organismos en esas zonas.

Soria *et al.* (2012) trabajaron con larvas de moluscos bivalvos en junio de 2007 y junio de 2008, aplicando el mismo modelo HAMSOM en periodo de mareas vivas y mareas muertas, encontraron alta retención larval en la zona del AGC así como una alta conectividad demográfica en el corredor costero del norte de Sonora. Ellos sugieren que la escala espacial de la conectividad (~ 100 km) podría ser utilizado como una referencia para la ubicación estratégica de las reservas marinas en el área de estudio al apoyarse en poderosas herramientas complementarias como los modelos de acoplamiento biológico-oceanográfico.

Los trabajos enfocados a los estadios larvarios de camarón han sido por medio de muestreos superficiales de zooplancton y carentes de soporte ambiental, por lo que se requiere definir con precisión las áreas de desove y rutas de transporte mediante muestreos estratificados y con datos hidrográficos *in situ* para generar información que apoye los planes de manejo pesquero en la región del AGC y su evolución en tiempo.

3.- JUSTIFICACIÓN

Debido a que la pesca de camarón azul es una de las actividades económicamente más rentables para las comunidades ribereñas del AGC (Galindo-Bect *et al.* 2000; All, 2006; Rodríguez-Quiróz *et al.* 2009), es necesario ampliar el conocimiento de la ecología larval de *L. stylirostris,* la especie más abundante en la región. Para obtener conocimiento de la ecología de sus larvas, es necesario relacionar la distribución de sus estadios larvarios con factores físicos, químicos y biológicos, así como con la circulación predominante en dicha región. Esta información será fundamental para reorganizar las zonas y temporadas de pesca con fines de protección del recurso (Aragón-Noriega & Calderón-Aguilera, 2000; Aragón-Noriega & García-Juárez, 2002b; Pérez-Arvizu et al. 2009).

La compleja oceanografía que caracteriza al AGC conlleva a la necesidad de plantear estudios multidisciplinarios donde se pueda obtener información conjunta sobre gradientes hidrográficos, químicos y biológicos *in situ*; así como implementar modelos numéricos (e.g. HAMSOM) para conocer las posibles rutas de transporte o en su caso zonas de retención y reclutamiento de las larvas y postlarvas de camarón azul en la zona del AGC.

4.- ÁREA DE ESTUDIO

El AGC (Figura 1) se encuentra ubicado dentro de los límites del área marina protegida de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y delta del Río Colorado, la cual fue decretada en junio de 1993 (Rodríguez-Quiroz *et al.*, 2010). Esta región comprende un área triangular de 5000 km², limitada por una línea imaginaria entre San Felipe, Puerto Peñasco y la antigua desembocadura del Río Colorado (Galindo-Bect, 2003; Galindo-Bect *et al.*, 2010). En el área se encuentran grandes extensiones de planicies bajas en ambas costas, así como las islas Montague y Pelícano, localizadas en la desembocadura del Río Colorado (Galindo-Bect, 2003). La batimetría de la zona es irregular, relativamente somera (máximo de 30 m de profundidad), pero que puede extenderse a 200 m de profundidad hacia Cuenca Wagner (Lavín *et al.*, 1998; Galindo-Bect, 2003).

Los sedimentos característicos de las planicies de inundación situada entre San Felipe y la boca del Río Colorado, son limos, arcillas y evaporitas de edad reciente; mientras que en la parte Noreste, a lo largo de la costa del desierto de Sonora o de Altar, el sedimento está constituido por una planicie aluvial de arenas y gravas estratificadas, las cuales están rodeadas por dunas de arena en la zona costera. Hacia la parte de Puerto Peñasco y zonas aledañas los sedimentos son clásticos de fines del pleistoceno y cenozoico, así como basalto, granito, pergmatita y sedimentos volcánicos del mesozoico (García de Ballesteros & Larroque, 1974).

La región del AGC es cálida y árida; el promedio anual de lluvias es de 68 mm, el aporte de agua dulce a la zona de parte del Río Colorado es virtualmente nulo; la media mensual de la temperatura del aire está entre 14°C y 34°C y la temperatura superficial de las planicies de marea es entre 3.3°C y 40.6°C (Ávila-Serrano *et al.*, 2006). Los altos valores de salinidad (>39) en verano y la tasa de evaporación (~1.1 m/año) caracterizan a esta área como un estuario inverso o estuario negativo (Lavín *et al.*, 1998; Lavín & Sánchez, 1999). La fuerte mezcla vertical causada por las mareas da como resultado una continua re-suspensión de sedimentos dentro de los márgenes continentales y Delta del Río Colorado (Álvarez & Jones, 2002), ocasionando un enriquecimiento elevado de las zonas someras (Millán *et al.*, 1999).

10

Estas condiciones ambientales extremas del AGC lo hacen tener una particularidad a nivel mundial.

Las mareas en el AGC son de tipo semidiurnas (Marinone & Lavín, 1997), presentando un rango máximo de marea de 12 m en la boca del Río Colorado. El amplio rango de marea y la poca pendiente en las planicies de marea generan una planicie expuesta de hasta más de 2 km durante la marea baja (Ávila-Serrano *et al.*, 2006). Debido a esto, en la zona de estudio las corrientes de marea registradas durante mareas vivas es de ~1 m s⁻¹, mientras que en mareas muertas se registran velocidades del orden de 0.1 m s⁻¹ (Álvarez & Jones, 2002; Álvarez & Jones, 2004).

La fuerte mezcla causada por la corriente de marea genera un frente, separando las zonas someras bien mezcladas del AGC, de las zonas profundas y estratificadas del Norte del Golfo (Argote *et al.*, 1995). Este frente de estratificación (con gradientes de temperatura, salinidad, clorofila *a* y concentración de oxígeno disuelto) es una característica permanente y se localiza en el borde sur del AGC y noreste de la plataforma continental de Sonora. Durante el verano este frente se encuentra cerca de la isobata de los 30 m y en invierno se posiciona sobre los 60 m (Argote *et al.*, 1995; Lavín *et al.*, 1998; Sánchez-Velasco *et al.*, 2012; 2013). Estas áreas frontales han sido descritas como de gran riqueza biológica, indicado mediante gradientes de distribución de larvas de peces epipelágicos y demersales costeros (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012; 2013).

El AGC es afectado por la circulación reversible del norte del Golfo (ciclónica en verano y anticiclónica en invierno) que ocasiona inestabilidades como giros y filamentos que interaccionan con el cañón oceánico de Cuenca Wagner (Lavín & Organista, 1988; Lavín *et al.*, 1998, Lavín & Sánchez, 1999), y que pueden tener influencia en la distribución de las especies que ahí coexisten.

La Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y delta del Río Colorado es un área de desove, crianza y pesca para especies con alto valor comercial como lo son el camarón azul, *L. stylirostris* y el camarón café, *F. californiensis*, los cuales sustentan la actividad pesquera en el AGC y tienen una demanda tanto a nivel nacional como internacional (Aragón-Noriega & Calderón-Aguilera, 2000; Ramírez-Rojo & Aragón-Noriega, 2006; Rodríguez-Quiroz *et al.*, 2009).



Figura 1.- Batimetría del Alto Golfo de California en metros, incluyendo las zonas núcleo (N), zona de amortiguamiento (A), refugio de la vaquita marina (V), y estaciones de muestreo durante junio de 2008 (\star) y 2010 (\star) respectivamente.

5.- HIPÓTESIS

La distribución, abundancia y rutas de transporte de los estadios planctónicos del camarón azul se ven influenciadas por la reproducción de los organismos adultos de la especie, así como por las condiciones ambientales de la zona de estudio, por lo que se plantean las siguientes hipótesis.

1.- La mayor abundancia de los estadios larvarios protozoea y mysis, se encontrarán en el frente de estratificación (Φ), con alta concentración de oxígeno disuelto y menor salinidad. Por otro lado se espera encontrar mayor abundancia de postlarvas al norte del frente de estratificación en zonas con alta concentración de salinidad y clorofila *a*.

2.- La mayor retención de larvas en la zona de desove, se desarrollará durante el periodo de marea viva, cuando la corriente residual ciclónica se debilite; por el contrario, durante el periodo de marea muerta, habrá mayor transporte de los estadios larvarios por efecto de la corriente residual y por lo tanto menor retención en el área del desove.

6.- OBJETIVOS

6.1. General:

Conocer la abundancia y distribución de los estadios planctónicos de *L. stylirostris* en el AGC durante junio de 2008 y 2010, su correlación con variables ambientales y sus rutas de transporte, apoyados en experimentos de seguimiento de partículas usando las salidas del modelo numérico tridimensional HAMSOM.

6.1.1 Particulares:

- Cuantificar la abundancia y describir la distribución de larvas y postlarvas de camarón azul en el AGC.
- II. Correlacionar la abundancia de los estadios larvales y postlarvales con la temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, parámetro de estratificación (Φ), concentración de clorofila *a* y volumen del zooplancton.
- III. Identificar las rutas de transporte de los estadios larvales y postlarvales en el AGC mediante experimentos de seguimiento de partículas usando las predicciones del modelo numérico tridimensional HAMSOM.
7.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos cruceros oceanográficos en el AGC, a bordo del B/O Francisco de Ulloa, del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). El primero se llevó a cabo del 6 al 12 de junio de 2008 y el segundo del 1 al 9 de junio de 2010, ambos desarrollados durante periodos de marea muerta. En cada uno de ellos, se cubrió una red de muestreo de 59 estaciones (Fig. 1), en las cuales se midieron variables físicas semicontínuas *in situ* a lo largo de la columna de agua y se colectaron muestras de zooplancton a 3 diferentes profundidades, para su posterior análisis en laboratorio. De cada muestra de zooplancton, se identificaron y cuantificaron larvas y postlarvas de camarones peneidos. La distribución de las variables ambientales y los estadios planctónicos de camarón serán descritos por crucero.

7.1 Imágenes de satélite

Con el fin de obtener una visión sinóptica de la región se eligieron dos imágenes de color del océano generadas a partir de los datos del satélite AQUA-MODIS (resolución de 4 x 4 km) representativas para cada crucero, la primera del día 7 de junio de 2008 y la segunda del día 4 de junio de 2010 (<u>http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl</u>). Estas imágenes se analizaron para evidenciar la intrusión de agua oligotrófica procedente del Norte del Golfo de California hacia el AGC.

7.2 Registro de las variables ambientales físicas in situ

En cada estación de muestreo se realizaron perfiles verticales de variables ambientales por medio de un CTD Sea Bird (Perfilador de conductividad, temperatura y profundidad, Modelo *SBE-911 plus*) provisto de sensores de temperatura (*SBE3*), conductividad (*SBE4*), salinidad y oxígeno disuelto (*SBE43*) y un fluorómetro (WetLab ECO-AFL/FL) para determinar la concentración de clorofila *a*. Los datos oceanográficos fueron reportados por García *et al.*, (2008) y Godínez *et al.*, (2010). Con los datos de cada una de las variables ambientales se elaboraron mapas de

distribución para su análisis en tres estratos de profundidad (0-5 m, 5-10 m y 10-15 m).

Para evaluar la intensidad de la mezcla vertical de la columna de agua se calculó el parámetro de estratificación (Φ) de mediante el método de integración de cuadratura de acuerdo a la ecuación descrita por Simpson (1981):

$$\Phi = \frac{1}{h} \int_{-h}^{0} (\rho - \overline{\rho}) gz dz$$

Donde Φ , es la cantidad de energía (J/m³) requerida para mezclar la columna de agua (cero para una columna bien mezclada y aumenta con la estratificación) y es una medida de la estabilidad; h, es la profundidad máxima de integración de la columna de agua (150 m para c<u>o</u>nsiderar la presencia de cuenca Wagner); $\rho(z)$ es el perfil de densidad potencial; ρ , es la densidad promedio para el intervalo de 0-150 m; *g*, es la aceleración debido a la gravedad; z, es la coordenada vertical o profundidad de la estación; y dz, es el incremento de profundidad, formalmente el intervalo de integración.

7.3 Recolecta y análisis de muestras de zooplancton

La colecta de zooplancton se realizó en tres estratos de muestreo: 0-5 m, 5-10 m y 10-15 m, siempre que la profundidad lo permitió. Las muestras de zooplancton se obtuvieron mediante arrastres oblicuos con una red cilindro-cónica, con una boca de 60 cm de diámetro, 250 cm de largo y 505 micrómetros de luz de malla, acoplada al sistema de cierre-apertura-cierre. Los arrastres se realizaron de forma circular durante cinco minutos tanto de día como de noche a una velocidad aproximada de 4.6 km/h. El volumen filtrado se calculó con un flujómetro colocado a la mitad de la boca de la red y mediante el cálculo de la distancia recorrida por la misma (Smith & Richardson, 1979). La red cerrada se bajó al fondo del estrato de muestreo y se abrió manualmente con un mensajero de bronce para tomar la muestra, cuando la red

llegó al nivel superior del estrato de muestreo se cerró con otro mensajero terminando el muestreo e impidiendo la entrada de organismos de otros estratos. El sistema de cierre es muy preciso, ya que respondió casi instantáneamente para los arrastres superficiales (5 m a superficie), mientras que en los arrastres más profundos (15-10 m) se retrasó un poco más. La profundidad de cada estrato se calculó por el método de coseno del ángulo del cable, siguiendo la metodología estándar propuesta por Smith & Richardson (1979).

Las muestras colectadas se depositaron en frascos de polietileno (PET) de 250 ml, 500 ml y 1000 ml de capacidad, dependiendo de la cantidad de organismos capturados y se fijaron con formaldehido al 4% neutralizado con borato de sodio. Al término del crucero las muestras se trasladaron al Laboratorio de Plancton y Ecología Marina del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) para su posterior análisis.

En el laboratorio se estimó el biovolúmen del zooplancton por medio del método de volumen desplazado y se estandarizó a ml/1000 m³ (Beers, 1976). Las larvas y postlarvas de camarón se separaron y contabilizaron en su totalidad utilizando un microscopio estereoscópico (Zeiss, modelo Stemi SV11); posteriormente se identificaron a nivel especie apoyados con las claves propuestas por Mair (1979), Kitani & Alvarado, 1982; Kitani, 1986a, 1986b y Calderón-Pérez *et al.* (1989). Los datos de abundancia de los estadios protozoea, mysis y postlarva de *L. stylirostris* fueron estandarizados a 100 m³ de agua de mar. Con los datos estandarizados con ayuda del Programa Surfer 10 (Golden Software Inc., 2011), se realizaron mapas de distribución vertical de las larvas y postlarvas.

7.4 Análisis de datos biológicos y físicos

Con el objetivo de conocer si la abundancia de los estadios planctónicos tenía una diferencia estadística entre el día y la noche se realizó la prueba no paramétrica de independencia de Mann-Witney (Sokal & Rohlf, 1995); y para determinar si existía una diferencia estadísticamente significativa de la abundancia larval entre los estratos de muestreo se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1995). Ambas pruebas estadísticas se realizaron con ayuda del programa Statistica 7 (StatSoft, 2006).

También se efectuó el ordenamiento multivariado de Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC; Ter Braak, 1986) de los estadios planctónicos de camarón en función de las variables ambientales (temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, parámetro de estratificación Φ , volumen de zooplancton y concentración de clorofila a). Lo anterior con la intensión de conocer cuál de las variables mencionadas determinaba la distribución de los estadios planctónicos de camarón. Previo al análisis, la matriz de abundancia de estadios planctónicos fue transformada a raíz cuarta (Y_{ij}=X_{ij}^{1/4}), con el objetivo de disminuir la influencia relativa de los estadios más abundantes (Field et al., 1982; McCune & Grace, 2002). El diagrama de ordenación resultante expresa los patrones de variación en la composición de los sitios de muestreo, las principales relaciones entre los estadios planctónicos está dada en función de cada una de las variables ambientales y las estaciones de muestreo (Ter Braak & Verdonshot, 1995). El despliegue de resultados es un triplot de los parámetros (indicadores ambientales) como vectores, los elementos elegidos (estaciones) como puntos y los estadios planctónicos en el espacio de ordenación. El tamaño de cada vector indica el grado de correlación, mientras que el ángulo de cada vector con respecto a cada eje de ordenación, indica la correlación con ellos (Ter Braak, 1986; Ter Braak & Verdonshot, 1995). La ordenación multivariada y el grafico del CCA fueron obtenidos mediante el Programa PC-ORD 6 (MiM Software Design, 2011)

7.5 Modelación de las rutas de transporte larval

A partir de las diez estaciones de máxima abundancia observada durante junio de 2008 se evaluó la deriva de los estadios planctónicos de camarón azul en el AGC, para lo cual se utilizó una descripción aproximada de la circulación del Golfo de California (GC) en el periodo de mareas vivas (3-9 junio) y mareas muertas (10-16 junio). Lo anterior se realizó utilizando el modelo numérico baroclínico tridimensional HAMSOM (Marinone, 2003). El modelo tiene un tamaño de malla de 2.5' x 2.5' (3.9 x 4.6 km) en la horizontal y 12 capas en la vertical (10, 20, 30, 60, 100, 150, 200, 250,

350, 600, 1000 y 4000 m); sin embargo, en el presente trabajo solamente se utilizó el nivel superficial (10 m) por la batimetría del área de estudio. El forzamiento oceanográfico de mayor influencia en el resultado por el modelo es el forzamiento del Océano Pacífico, el cual se aplica especificando la variabilidad hidrográfica anual observada en la boca del GC (campos de temperatura y salinidad, principales componentes de marea M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1; y variaciones del nivel del mar de baja frecuencia). El forzamiento por el patrón monzónico de viento se aplica con una reversión estacional senoidal del estrés del viento previamente observado a lo largo del GC. El forzamiento de flotabilidad se aplica especificando los flujos de calor y humedad. Este modelo ha demostrado dar una descripción de la circulación promedio y estacional (Marinone, 2003) que concuerdan con mediciones *in situ* con 90% de precisión.

Las predicciones de corrientes del modelo de Marinone (2003) han sido utilizados previamente para describir el movimiento de partículas liberadas en el GC, como una aproximación al transporte de larvas de camarón, peces y moluscos de valor comercial a nivel de mesoescala (Calderón-Aguilera *et al.*, 2003; Marinone *et al.*, 2004; Marinone *et al.*, 2008; Cudney-Bueno et al., 2009; Peguero-Icaza *et al* 2011; Soria *et al.*, 2012). Para el presente estudio se liberaron 1000 partículas ("larvas virtuales") en la posición de cada estación de muestreo, donde se registró la mayor abundancia larval. Esto se hizo únicamente para el estrato superficial (0-10m) durante el primer periodo de mareas vivas y muertas del mes de junio de 2008.

Las partículas liberadas a la deriva se siguieron por 7 días, que es el tiempo estimado que las larvas se mantienen en el plancton; 3 días en etapa protozoeas, 3 días en mysis y solamente la primer postlarva, ya que conforme estas se desarrollan van adquiriendo hábitos bentónicos. Se consideró que las protozoeas se colectaron a los 6 días de desovadas ya que el huevo eclosiona alrededor de las 24 horas después de ser fecundado y posteriormente pasa por 6 subestadios del estadio nauplio.

consecutivamente se realizaron las matrices de conectividad para el periodo de mareas vivas y mareas muertas con el propósito de conocer el porcentaje de partículas retenidas en los dos polígonos establecidos en el área de estudio, los cuales fueron denominados: Área frontal y Refugio de la Vaquita.

Finalmente, con el objetivo de distinguir un posible traslape de estadios planctónicos de diferentes núcleos de máxima abundancia a partir de las protozoeas de camarón, se realizó la simulación del transporte larval de tres desoves consecutivos durante periodos de mareas vivas (3-9, 4-10 y 5-11 de junio de 2008) y mareas muertas (10-16, 11-17, 12-18 de junio de 2008).

La simulación para el mes de junio de 2010 no se realizó debido a que el modelo no contiene aun los datos climatológicos de ese año. Además considerando que el modelo hace un promedio histórico de los datos que contiene, la simulación de junio de 2008 puede ser representativa de la climatología del mes junio.

8.- RESULTADOS

8.1 imágenes satelitales de clorofila a

La figura 2 muestra las imágenes de satélite de la concentración de clorofila *a* representativas de las condiciones de biomasa fitoplanctónica de la región norte del Golfo de California y el AGC durante junio de 2008 (Fig. 2a) y junio de 2010 (Fig. 2b), donde se observa que en 2008 existió una mayor abundancia en la zona del AGC (>3 mg/m³), en contraste a lo anterior durante el crucero de 2010 la abundancia fue menor (0–1 mg/m³) y se observó una intrusión de agua oligotrófica hacia el AGC proveniente del remolino ciclónico que se presenta en el norte del Golfo.



Figura 2.- Imágenes satelitales de concentración de clorofila *a* (mg/m³) en el norte del Golfo de California y AGC durante el 7 de junio de 2008 (a) y 4 de junio de 2010 (b).

8.2 Junio de 2008

8.2.1 Distribución de las variables ambientales (datos in situ)

8.2.1.1 Temperatura

Los valores de temperatura en los diferentes niveles de muestreo indican que las mayores temperaturas (25.5 °C) se registraron en la zona costera al norte de San Felipe, B. C., en Bahía Adaír y en la zona costera frente a Puerto Peñasco, Sonora, coincidiendo con las zonas más someras del área de estudio. Las menores temperaturas (21.3 °C) se registraron en la parte central y sur del área de estudio donde existe una mayor profundidad. (Fig. 3a, b, c). La media y la desviación estándar en el estrato 0-5 m fue de 23.71 \pm 0.71°C, para los estratos 5-10 m y 10-15 m fue de 23.48 \pm 0.81°C y 23.18 \pm 1.0 °C respectivamente.



Figura 3.- Distribución de la temperatura (°C) en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.2.1.2 Salinidad

Al igual que la temperatura, la salinidad en los tres niveles de muestreo se presentó con relación a la topografía del área, con valores mayores hacia las regiones someras del área de estudio y un máximo de 37 al norte de San Felipe; mientras que la menor salinidad de 35.3 se registró en la zona central del AGC y en la costa continental frente a Puerto Peñasco, debido al influencia de aguas de origen oceánico del norte del Golfo de California (Fig. 4a, b, c). La salinidad promedio fue igual en los tres estratos de muestreo (35.7 ± 0.3).



Figura 4.- Distribución de la salinidad en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.2.1.3 Concentración oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto mostró un comportamiento con relación al patrón de circulación del AGC, con valores mayores de hasta 6.5 mL/L hacia la costa de Sonora, considerando la parte central y sureste del AGC. Las menores concentraciones de oxígeno disuelto se registraron hacia la costa de Baja California, con un mínimo de 4.3 mL/L hacia las zonas someras del área de estudio (Fig. 5a, b, c). La concentración del oxígeno disuelto disminuyo ligeramente de la superficie al fondo, de 5.43 \pm 0.38 mL/L, 5.41 \pm 0.44 mL/L hasta 5.33 \pm 0.5 mL/L en los estratos 0-5 m, 5-10 m y 10-15 m respectivamente.



Figura 5.- Distribución del oxígeno disuelto en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.

8.2.1.4 Clorofila a

En las figuras 6a, b y c, se observa que la concentración de clorofila *a* aumenta con la profundidad registrando un máximo de 0.73 µg/L en el área comprendida entre San Felipe y Punta Borrascoso, coincidiendo con zonas de baja profundidad y alta resuspensión de sedimentos. La menor concentración de clorofila *a* (0.04 µg/L) se registró superficialmente en la parte central del Alto Golfo y en la costa continental frente a Puerto Peñasco. La media de la concentración de clorofila *a* en el estrato 0-5 m fue 0.25 \pm 0.15 µg/L, y aumentó en los estratos 5-10 m (0.30 \pm 0.15 µg/L) y 10-15 m (0.37 \pm 0.15 µg/L) consecutivamente.



Figura 6.- Distribución de la clorofila *a* en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2008; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.

8.2.1.5 Índice de estratificación (Φ)

El índice de estratificación (Φ) estima la cantidad de energía (J/m³) requerida para mezclar la columna de agua. La figura 7 muestra la distribución de dicho índice referido a 150 m, o hasta el fondo si es más somero. Se observa que en las zonas someras de ambas costas se encuentra una columna de agua más mezclada ($\Phi = 0$ - 4 J/m³). En contraste, entre la isobata de los 30 y 40 m de profundidad se presentó un frente de estratificación con valores de Φ de 5 - 50 J/m³. En la parte central del área de estudio sobre Cuenca Wagner los valores del Φ fueron de 51 - 150 J/m³ indicando una disminución en la intensidad de la mezcla vertical de la columna de agua por la profundidad de la zona.



Figura 7.- Distribución de los valores del parámetro Φ (J/m³) referido a 150 m en el Alto Golfo de California durante junio de 2008. La isolínea gruesa indica la zona frontal.

8.2.2 Estadios planctónicos del camarón azul

Durante junio de 2008 se contabilizaron un total de 9315 larvas de camarones peneidos. El estadio protozoea representó el 75% del total de larvas, mientras que, los estadios mysis y postlarva se presentaron en menor proporción, aportando el 22.6% y 2.9% respectivamente (Fig. 8a).

La figura 8b muestra la comparación de la prueba de independencia de Mann-Witney, la cual indicó que no hubo diferencias estadísticas (P>0.1) entre la colecta de los diferentes estadios planctónicos de camarón durante el día y la noche; Por otra parte, la prueba de Kruskal-Wallis reveló que la abundancia larval entre los estratos de muestreo fue estadísticamente diferente (P<0.05), siendo el estrato de 0-5m el de mayor abundancia (Fig. 8c). Se observó que la abundancia por estadio de desarrollo, disminuyó considerablemente desde la superficie hasta los 15m de profundidad.

La figura 3 muestra los mapas de distribución de abundancia de los estadios protozoea en los tres estratos de profundidad, donde se observa que los núcleos de mayor abundancia (>171 larvas/100 m³) se encontraron en el nivel de 0-5m de profundidad (Fig. 9a) distribuyéndose al sur de punta Borrascoso y frente a Puerto Peñasco, Sonora, con un promedio de 106 \pm 277 larvas/100 m³, con los valores disminuyendo en los niveles de 5-10m (29 \pm 50 larvas/100 m³) y 10-15 (29 \pm 29 larvas/100 m³) (Fig. 9b y 9c respectivamente).

El patrón de distribución del estadio mysis fue similar al estadio protozoea en los tres niveles de muestreo (Fig. 10a, b, c), aunque con núcleos de menor abundancia (1-170 larvas/100 m³). Un promedio de 29 \pm 62 larvas/100 m³ en el estrato 0-5 m, disminuyendo en los estratos 5-10 m (12 \pm 29 larvas/100 m³) y 10-15 m (9 \pm 15 larvas/100 m³). En contraparte a lo anterior, la abundancia del estadio postlarva (Fig. 11a, b, c) fue menor (1-20 larvas/100 m³) y estuvo presente en la zona comprendida entre San Felipe y Punta Borrascoso, con núcleos aislados frente a Puerto Peñasco.



Figura 8.- Abundancia de los estadios planctónicos de camarón durante junio de 2008: (a) proporción larval, (b) diferencia durante el día y la noche y (c) diferencia por estrato de muestreo.



Figura 9.- Distribución y abundancia vertical de larvas protozoea de camarón azul durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5 m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.



Figura 10.- Distribución y abundancia vertical de larvas mysis de camarón azul durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.



Figura 11.- Distribución y abundancia vertical de postlarvas de camarón azul durante junio de 2008 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.2.3 Asociación de la distribución y abundancia de los estadios planctónicos de camarón en función de los gradientes ambientales

8.2.3.1 Análisis Canónico de Correspondencias

El ACC de 2008 mostró una correlación de Pearson de 0.66 en el eje de ordenación 1, con una varianza explicada de 16.2%. El eje de ordenación 2 mostró una correlación de Pearson de 0.51 y una varianza explicada de 6.2%. La Varianza acumulada entre los ejes 1 y 2 fue de 22.4% (Tabla I). La concentración de oxígeno disuelto fue la variable mejor relacionada (-0.907) mientras que el volumen del zooplancton fue la de menor correspondencia (0.002) (Tabla II).

El triplot originado a partir del ACC se presenta en la figura 12, se observa que los indicadores de mayor importancia en la ubicación de las estaciones son el oxígeno disuelto (OD) y la temperatura (T°C). Sobre el gráfico se señalan los estadios planctónicos del camarón azul, y se observa que el estadio protozoea se relacionó con mayores valores de concentraciones de OD y parámetro de estratificación (Φ). En tanto que el estadio mysis tuvo correspondencia con temperaturas elevadas. El estadio postlarva tuvo mayor afinidad con altas salinidades (SAL) y alta concentración de clorofila *a* (Chl *a*).

Galifornia (junio 2000).			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigenvalor	0.159	0.061	0.012
Varianza en datos de especies			
% de varianza explicada	16.2	6.2	1.2
% acumulado	16.2	22.4	23.6
Correlación de Pearson, Est-Var	0.66	0.51	0.31
Correlación de Kendall, Est-Var	0.49	0.35	0.20

Tabla I \	Varianza	exp	licada	por	las	var	iable	es	ambie	ntales	del
Análisis C	anónico	de	Corre	spon	den	cia	en	el	Alto	Golfo	de
California (junio 200	8).									

Variable	Сс	orrelacion	es	Coordenadas				
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3		
Temperatura	0.817	0.267	-0.291	0.299	0.064	-0.032		
Salinidad	0.795	-0.581	-0.106	0.291	-0.139	-0.012		
Oxígeno Disuelto	<u>-0.907</u>	-0.059	-0.048	-0.332	-0.014	-0.005		
Clorofila a	0.234	-0.665	0.192	0.086	-0.159	0.021		
Volumen Zooplancton	0.002	0.354	0.099	0.001	0.085	0.011		
Índice de estratificación	-0.601	-0.209	0.576	-0.220	-0.050	0.063		

Tabla II.- Regresión múltiple entre los sitios de muestreo y variables ambientales del Análisis Canónico de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2008).



Figura 12.- Grafico del Análisis Canónico de Correspondencia (Junio 2008); se muestran las estaciones de muestreo (•), estadios planctónicos (\blacktriangle) y variables ambientales (\rightarrow).

8.2.3.2 Simulación del transporte de estadios planctónicos de camarón

Con el objetivo de detectar la permanencia y patrones de deriva larval, es necesaria una descripción lagrangeana de la circulación oceánica del Alto Golfo. El campo de corriente eureliano instantáneo durante junio de 2008 fue utilizado para simular el movimiento de partículas inertes. En la figura 13 se muestran las trayectorias de las partículas liberadas en cada estación (cruces negras en las gráficas), correspondientes al periodo de mareas vivas del 3 al 9 de junio (Fig. 13a). Se observa que las partículas siguieron la circulación ciclónica de la zona, posicionándose un 23% sobre el frente de estratificación y 42% sobre el polígono de la vaquita, donde fueron retenidos por aproximadamente 7 días. Solamente el 4.5% de las partículas se transportaron a través de estas áreas (Tabla III).

Por otro lado las trayectorias correspondientes al periodo de mareas muertas del 10 al 16 de junio (Fig. 13b), mostraron un patrón de trasporte similar al de mareas vivas. Sin embargo, en mareas muertas existe menor retención de las partículas que en mareas vivas; 22.3 % y 30.7 % de las partículas fueron retenidas en el área del frente y polígono de la vaquita respectivamente, alrededor del 15% de las partículas fueron trasportadas a través del frente dirigiéndose hacia la parte meridional del AGC (Tabla III).

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Área	Periodo de mareas vivas	Periodo de mareas vivas
, ou	(3-9 de junio)	(10-16 de junio)
Frente	23.1	22.3
Vaquita	42.0	30.7

Tabla III.- Matriz de conectividad (% de partículas liberadas) durante periodos de mareas vivas y mareas muertas en el Alto Golfo de California (junio de 2008).

8.2.3.3 Traslape de estadios planctónicos de camarón de diferentes núcleos de abundancia a partir del estadio protozoea

La figura 14 se realizó mediante la simulación del transporte larval durante mareas vivas y mareas muertas, esto con el propósito de distinguir un posible traslape de estadios planctónicos de diferentes núcleos de abundancia a partir de las protozoeas de camarón, tanto en el periodo de mareas vivas como en mareas muertas. En la figura 14a se muestra la posición (después de 7 días) de las partículas liberadas en cada estación para tres eventos de alta densidad de protozoeas consecutivos (3-9, 4-10 y 5-11 de junio) durante mareas vivas. Se observa que existe una alta retención de estadios planctónicos de camarón sobre el frente, así como un traslape de los diferentes estadios de los desoves simulados. Por otro lado en la representación de los núcleos de abundancia de protozoeas en mareas muertas durante los días 10-16, 11-17, 12-18 de junio de 2008 (Fig. 14b), se pudo observar que sigue existiendo una retención de los estadios planctónicos, aunque en menor proporción que en mareas vivas; a pesar de lo anterior se sigue observando un traslape de los estadios de camarón de los diferentes periodos de alta densidad de protozoeas. El tiempo transcurrido entre huevos y nauplio VI es de aproximadamente 6 días, un modelo de simulación inverso podría decidir la probabilidad de donde provienen o se producen los desoves pero esto no fue evaluado en la presente tesis.



Figura 13.- Posiciones de lance de las partículas utilizadas en las simulaciones de trayectoria planctónica (protozoea a postlarva I) para *Litopenaeus stylirostris* durante junio de 2008 mediante el modelo número tridimensional Hamsom (Marinone 2003). a) Periodo de mareas vivas y b) Periodo de mareas muertas. El color rojo y verde indica el día inicial y final respectivamente; el polígono azul representa el Refugio de la Vaquita. Las isolíneas de color negro muestran el índice de estratificación (Φ , J m³).



Figura 14- Posiciones de lance de las partículas utilizadas en las simulaciones de trayectoria planctónica (protozoea a postlarva I) para *Litopenaeus stylirostris* durante junio de 2008 mediante el modelo numérico tridimensional Hamsom (Marinone, 2003). a) Periodo de mareas vivas y b) periodo de mareas muertas. • y \star indican los tres eventos reproductivos; el polígono azul representa el Refugio de la Vaquita. Las isolíneas de color negro muestran el parámetro de estratificación phi (Φ , J m³).

8.3 Junio de 2010

8.3.1 Distribución de las variables ambientales (datos in situ)

8.3.1.1 Temperatura

Los valores de temperatura en los diferentes niveles de muestreo indican que las mayores temperaturas se registraron en las zonas someras de las costas de Baja California, de Sonora, en Bahía Adaír y frente a Puerto Peñasco, con un máximo de 25.9 °C al sur de San Felipe. Algo singular ocurrió en la zona aledaña a Punta Borrascoso, ya que siendo una zona somera se registraron las menores temperaturas (21.6 °C), las cuales se extendieron hacia la parte central del área de estudio (Fig. 15a, b, c). La media y la desviación estándar en el estrato 0-5 m, 5-10 m y 10-15 m fue de 24.4 \pm 0.7°C, 24.0 \pm 0.7°C y 23.6 \pm 0.8 °C respectivamente.



Figura 15.- Distribución de la temperatura (°C) en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.3.1.2 Salinidad

En los tres niveles de muestreo la salinidad (Fig. 16a, b, c) presentó los mayores valores (37.4) en las zonas someras de la costa peninsular al norte de San Felipe. La menor salinidad (35.5) se registró en la zona central del Alto Golfo y en la costa continental frente a Puerto Peñasco debido a la influencia de aguas más oceánicas. La salinidad promedio fue igual en los tres estratos de muestreo (36.1 \pm 0.4).



Figura 16.- Distribución de la salinidad en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.3.1.3 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto fue mayor (5.2 mL/L) en la parte central y sur del Alto Golfo, así como en la costa continental de Sonora; la menor concentración de oxígeno disuelto (3.8 mL/L) se observó en la costa peninsular, en las zonas someras cercanas a San Felipe (Fig. 17a, b, c). La concentración del oxígeno disuelto disminuyo ligeramente en algunas estaciones de la superficie al fondo; sin embargo, la media en los tres estratos fue igual 4.7 \pm 0.4 mL/L.



Figura 17.- Distribución del oxígeno disuelto en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.

8.3.1.4 Clorofila a

En las figuras 18a, b y c, se muestra la mayor concentración de clorofila *a* (0.81 μ g/L) aumentando en área de 0 a 15 m en la parte noroeste del área de estudio, principalmente entre San Felipe y Punta Borrascoso, disminuyendo hacia la zona sur del lado peninsular. Los valores mayores coinciden con las zonas de baja profundidad y alta resuspensión de sedimentos; mientras que la menor concentración de clorofila *a* (0.01 μ g/L) se registró en la parte central del Alto Golfo y en la costa continental frente a Puerto Peñasco. La concentración de clorofila *a* aumentó en algunas estaciones de la superficie al fondo; sin embargo, la media en los tres estratos fue igual 0.2 <u>+</u> 0.24 μ g/L.



Figura 18.- Distribución de la clorofila *a* en los diferentes estratos de muestreo en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m de profundidad.

8.3.1.5 Índice de estratificación (Φ)

Durante junio de 2010 la distribución espacial del índice de estratificación Φ (Fig. 19), tendió a cero en las zonas someras de la costa peninsular cercanas a la antigua desembocadura del Río Colorado y en la costa continental comprendida entre Punta Borrascoso y Puerto Peñasco; entre las isobatas de los 30 a 40 m se presentó el frente de estratificación donde el Φ fue de 5 – 50 J/m³, ubicándose al norte en comparación con junio de 2008. Hacia la parte central del área de estudio, sobre el borde de cuenca Wagner, los valores del Φ fueron de 51 - 150 J/m³ indicando una disminución en la intensidad de la mezcla vertical de la columna de agua debido a la profundidad de la zona.



Figura 19.- Distribución de los valores del índice Φ (J/m³) referido a 150 m en el Alto Golfo de California durante junio de 2010; La isolínea gruesa indica la zona frontal.

8.3.2 Estadios planctónicos de camarón

En el muestreo realizado en junio de 2010 se cuantificaron un total de 1,992 larvas de camarones peneidos, donde los estadios protozoea y mysis tuvieron proporciones similares, 50% y 46% respectivamente, mientras que las postlarvas representaron solo el 4% (Fig. 20a).

La prueba de independencia de Mann-Witney (Fig. 20b), realizada a los datos de abundancia de junio de 2010, no mostró diferencias significativas (P>0.1) entre la colecta de los diferentes estadios planctónicos de camarón durante el día y la noche. La prueba de Kruskal-Wallis reveló que la abundancia larval entre los estratos de muestreo fue significativamente diferente (P<0.05), siendo el estrato de 0-5m el de mayor abundancia. Se observó que la abundancia por estadio de desarrollo durante este muestreo disminuyó desde la superficie hasta los 15m de profundidad (Fig. 20c).

Durante junio de 2010, los núcleos de mayor abundancia (21-170 larvas/100 m³) del estadio protozoea (Fig. 21a, b, c) se presentaron en la costa continental frente a Punta Borrascoso y Puerto Peñasco, extendiéndose hacia la porción central y sur del AGC; la abundancia larval promedio por estrato fue de 27 ± 38 , 10 ± 12 y 4 \pm 4 larvas/100 m³, en los niveles 0-5 m, 5-10 m y 10-15 m consecuentemente. El estadio mysis (Fig. 22a, b, c) tuvo un patrón de distribución similar al estadio protozoea, con un núcleo de mayor abundancia (>170 larvas/100 m³) en la parte central del área de estudio. La abundancia promedio en los niveles 0-5 m, 5-10 m y 10-15 m fue de 23 \pm 44, 8 \pm 8 y 9 \pm 11 larvas/100 m³ respectivamente. El estadio postlarva (Fig. 23a, b, c) se presentó en pocas estaciones del área de estudio; sin embargo, el núcleo de abundancia con mayor densidad se registró en la zona costera de Punta Borrascoso con 21-170 larvas/100 m³. La abundancia promedio de postlarvas fue 9 \pm 10 larvas/100 m³ en el estrato 0-5 m y disminuyó en los niveles 5-10 m (3 \pm 3 larvas/100 m³) y 10-15m (3 \pm 0 larvas/100 m³).



Figura 20.- Abundancia de los estadios planctónicos de camarón durante junio de 2010: (a) proporción larval, (b) diferencia durante el día y la noche y (c) diferencia por estrato de muestreo.



Figura 21.- Distribución y abundancia vertical de larvas protozoea de camarón azul durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.



Figura 22.- Distribución y abundancia vertical de larvas mysis de camarón azul durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c)10 a 15 m.



Figura 23.- Distribución y abundancia vertical de postlarvas de camarón azul durante junio de 2010 en los tres niveles de profundidad muestreados; a) 0 a 5m, b) 5 a 10 m y c) 10 a 15 m de profundidad.

8.3.3 Asociación de la distribución y abundancia de los estadios planctónicos de camarón en función de los gradientes ambientales

8.3.3.1 Análisis canónico de correspondencias

El ACC de 2010 expresó una correlación de Pearson de 0.59 en el eje de ordenación 1, con una varianza explicada de 9.2%. El eje de ordenación 2 mostró una correlación de Pearson de 0.36 y una varianza explicada de 2.3%. La Varianza acumulada entre los ejes 1 y 2 fue de 11.5% (Tabla IV). El parámetro de estratificación Φ fue la variable mejor correlacionada (0.724) mientras que la clorofila *a* fue la de menor correlación (-0.022) (Tabla V).

A partir del ACC se observó que los indicadores de mayor importancia en la ubicación de las estaciones en el espacio de ordenación son el parámetro Φ (Phi) y la temperatura (T°C). En la figura 24 se señalan los estadios planctónicos del camarón azul; se puede observar que el estadio protozoea tuvo una mayor correspondencia con altos valores de temperatura (T°C) y menores valores de salinidad (SAL), mientras que el estadio mysis se relacionó con altos valores del parámetro de estratificación Φ (Phi). Sin embargo ambos estadios, protozoea y mysis, se relacionaron con altos valores de oxígeno disuelto, en tanto que el estadio postlarva tuvo mayor afinidad con valores de alta concentración de salinidad (SAL) y clorofila *a* (Chl *a*), similar al muestreo del 2008.

Tabla IV	Varianza	ex	plicada	por	las	va	riabl	es	ambie	entales	del
Análisis	Canónico	de	Corres	spone	denc	sia	en	el	Alto	Golfo	de
California	a (junio 201	0).									

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigenvalor	0.171	0.043	0.014
Varianza en datos de especies			
% de varianza explicada	9.2	2.3	0.8
% acumulado	9.2	11.5	12.2
Correlación de Pearson, Esp-Var	0.595	0.360	0.223
Correlación de Kendall, Esp-Var	0.319	0.230	0.117

Analisis Canonico de Correspondencia en el Alto Gono de California (junio 2010).								
Variable	Co	orrelacion	es	Coordenadas				
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3		
Temperatura	-0.571	-0.560	-0.434	-0.215	-0.114	-0.052		
Salinidad	-0.460	-0.031	0.795	-0.173	-0.006	-0.095		
Oxígeno	0.046	-0.353	-0.229	0.017	-0.072	-0.027		
Clorofila <i>a</i>	-0.022	0.402	0.156	-0.008	0.082	0.019		
Volumen Zooplancton	0.452	-0.093	-0.096	0.170	-0.019	-0.011		
Índice de estratificación	<u>0.724</u>	-0.677	-0.071	0.273	-0.137	-0.009		

J09c 0 Ð ш Postlar va R02 R01a BCO B03b BC01a G06a DCBa C016 🛉 mψ GO7b E03c Ch JOGP J01a Eje 1 H08a J01b F02b F04c BZ F050 G01b Sal E01a F080 F030 OD Mysis HO9b J09a G05c G08a Protozoea F02a T[°]C F04a ^{G04c} G03b ٠ G09b F03a Phi HN3: ٠ F03b J110 H06a H07b GIG ٠ **G05a** HOGo H07a J07a J10b ٠ +H10a J10a H06b J070

Figura 24.- Grafico del Análisis Canónico de Correspondencia (Junio 2010); se muestran las estaciones de muestre (•), los estadios planctónicos (▲) y las variables ambientales (→).

Tabla V.- Regresión múltiple entre los sitios de muestreo y variables ambientales del Análisis Canónico de Correspondencia en el Alto Golfo de California (junio 2010).

9.- DISCUSIÓN

9.1 Abundancia y distribución de los estadios planctónicos de camarón en el Alto Golfo de California y su relación con variables ambientales

El presente trabajo aporta información sobre la distribución y abundancia de los estadios planctónicos del camarón azul Litopenaeus stylirostris, así como su correspondencia con variables ambientales y procesos físicos de mesoescala que puedan estar influenciando en el transporte larval durante junio; siendo ésta la temporada de máxima reproducción de la especie (Lluch-Belda et al., 1982; Aragón-Noriega et al., 1999; Aragón-Noriega, 2007, Galindo Bect et al. 2007, Galindo Bect et al. 2010). Lo anterior es relevante ya que con base en los antecedentes en la última década, la mayoría de los trabajos sobre estadios planctónicos del camarón en el AGC se dirigieron hacia la distribución de postlarvas y juveniles (Aragón-Noriega et al., 2000; Calderón-Aguilera et al., 2002, 2003; Aragón-Noriega & García-Juárez, 2002b; Ramírez-Rojo & Aragón-Noriega, 2006; Galindo-Bect et al., 2007),) y adultos (Lluch-Belda et al., 1982; Aragón-Noriega et al., 1999; López-Martínez et al., 2005; Aragón-Noriega, 2007); excepto el trabajo de Galindo-Bect et al. (2010) guienes se enfocaron a la ecología de los estadios larvales del camarón azul en el AGC, aunque carente de soporte con variables ambientales y simulaciones numéricas de transporte de partículas.

Los resultados de este trabajo mostraron que en junio de 2008, la abundancia de larvas de camarón azul, principalmente protozoeas (abundancia promedio 63 larvas/100m³), fue notablemente superior a la de junio 2010 (10 larvas/100m³); ésta disminución pudiese estar relacionada con una intrusión de agua oligotrófica y menos salina en el 2010, procedente de la región norte del Golfo de California y que se refleja en una disminución en la abundancia de clorofila *a*, que puede ser resultado de la interanualidad oceanográfica que se ha descrito para el Golfo de California (Lavín & Marinone, 2003).

En particular, las larvas protozoeas fueron el estadio plantónico más abundante en ambos cruceros con 75% y 50% en junio del 2008 y junio del 2010,
respectivamente. En ambos casos esta proporción de protozoeas fue mayor que lo registrado en junio de 1999 por Galindo-Bect *et al.* (2010), quien reportó el 39% de ellas. La variación entre la proporción larval de los estadios planctónicos de este trabajo con lo que reporta Galindo-Bect *et al.* (2010), podría deberse a los años y fechas de muestreo, ya que este trabajo se realizó a principios de junio en ambos años (2008 y 2010), mientras que el autor antes mencionado, realizó sus muestreos a finales de junio, siendo casi cuatro semanas después del inicio del periodo de reproducción de la especie; periodo de reproducción registrado por Aragón-Noriega *et al.* (1999) y Aragón-Noriega (2007). Aunque también hay que considerar el elevado índice de mortalidad natural característico de la especie (Rumrill, 1997; Pineda *et al.* 2007).

En relación a las variaciones circadianas, en este estudio se observó que la abundancia de los estadios planctónicos del camarón azul no presentaron diferencia significativa (P>0.05) entre los individuos capturados de día y de noche en ambos cruceros. Esto coincidió con los resultados de Galindo-Bect et al. (2010) enfocados a larvas y postlarvas de camarón; y con los de Sánchez-Velasco et al. (2012) para larvas de peces en la misma región de estudio (AGC) lo que indica que este hábitat es altamente mezclado en junio. El hecho de no encontrar diferencias significativas en la abundancia de larvas de camarón entre los periodos de luz y obscuridad, es posible que esos factores no sean tan importantes para la migración de las larvas, ya que en realidad el mecanismo de retención está permitiendo encontrar abundancias similares tanto de día como de noche, causado por la intensa mezcla vertical generada por las corrientes de marea y vientos (Argote et al., 1995; Álvarez & Jones, 2002; Álvarez & Jones, 2004) y a la escasa profundidad de la región (15 m de profundidad promedio). Condiciones similares a lo que reporta Price (1979) para los estadios planctónicos del camarón Penaeus latisulcatus en el Golfo de Arabia, justificando que no hubo diferencias significativas entre el día y la noche debido a que la zona de muestreo es somera ~10 m y bien mezclada por las fuertes corrientes de marea.

A pesar de lo anterior, si se observó diferencia significativa (P<0.05) en la distribución vertical de estadios planctónicos del camarón en ambos periodos, siendo el estrato superficial (0-5 m) el de mayor abundancia, con disminución de los tres estadios de la superficie al fondo. Esto puede implicar que las larvas de camarón tienen flotabilidad, lo que supondría la búsqueda de la luz en la capa superficial, así como la búsqueda de alimento a pesar de la intensa mezcla vertical que caracteriza la región (Argote *et al.*, 1995; Álvarez & Jones, 2002; Álvarez & Jones, 2004). El único antecedente sobre estadios larvales del camarón en el AGC es el de Galindo-Bect *et al.*, 2010, quienes colectaron zooplancton con arrastres oblicuos, por lo que es recomendable realizar ciclos diarios para conocer más sobre la ubicación de las etapas planctónicas en la columna de agua en el AGC.

Si bien hubo variación entre la abundancia larval y la proporción por estadios de desarrollo entre los cruceros del estudio, la distribución de las larvas en ambos años se asoció a gradientes hidrográficos relativamente similares. Las larvas protozoeas y mysis tendieron a ubicarse al sur de Punta Borrascoso y en la zona costera frente a Puerto Peñasco, la distribución de las larvas protozoeas correspondió con altas concentraciones de oxígeno disuelto (>4.8 mL/L) y las mysis con concentraciones intermedias (4.3-4.7 mL/L). La distribución de estos dos estadios tendió a ubicarse sobre un frente permanente de estratificación, aunque con variación temporal en su ubicación; frente que describieron Argote et al. (1995). Las mayores abundancias de larvas protozoeas y mysis coincidieron con altos valores del parámetro de estratificación Φ (>.60), lo que podría indicar que en la zona frontal hay condiciones favorables para el desarrollo larval del camarón, tales como concentración de alimento. Sánchez-Velasco et al. (2012, 2013) encontraron la mayor densidad y diversidad de larvas de peces en dicha zona frontal en el AGC. Por lo tanto se puede mencionar que este frente es una zona de alta retención larval para más especies que habitan el AGC.

La mayor abundancia de las postlarvas en junio de 2008 se encontraron principalmente en la franja costera entre Punta Borrascoso y Puerto Peñasco, mientras que en junio de 2010 se encontraron al norte de Punta Borrascoso, en ambos cruceros las postlarvas tuvieron afinidad con zonas de mayor concentración de clorofila y salinidad. Lo mencionado anteriormente es semejante a lo reportado por Galindo-Bect *et al.* (2010), quien planteó que cuando las larvas se transforman en postlarvas, estas se acercan principalmente a la costa de Sonora, para iniciar su migración hacia las zonas del Delta y canales del Rio Colorado que sirven para su de crianza y asentamiento a pesar de ser las áreas que presentan los mayores valores de salinidad del AGC; Aunque las postlarvas del 2010 si tuvieron ese comportamiento, en las del 2008 no se ve tan claro esa estrategia de migración, finalmente las mayores abundancias se encuentran asociadas a la costa de Sonora.

9.2 Transporte larval de estadios planctónicos de camarón azul en el Alto Golfo de California

Galindo-Bect *et al.* (2010), encontraron una heterogeneidad en la distribución de larvas de camarones peneidos en el AGC, lo que indica la presencia de larvas producto de diferentes desoves y sugieren que esa heterogeneidad podría ser producto de algún tipo de proceso de retención en el área del desove, ya sea por estrategia biológica de migración vertical o por algún tipo de proceso físico. En este trabajo, se hicieron muestreos a tres diferentes profundidades, utilizando la misma malla de estaciones de Galindo-Bect *et al.* (2010), con el propósito de dilucidar la posible migración vertical de las larvas, encontrándose que también presentaron una distribución heterogénea de los diferentes estadios larvales, pero sistemáticamente con una mayor abundancia en la capa superficial, lo que nos indica que posiblemente el proceso de retención no sea debido a estrategias de migración vertical, sino a algún tipo de proceso físico oceanográfico en el área del desove.

Para entender la posible influencia de los procesos físicos en la retención de larvas en el área del desove, se realizaron simulaciones numéricas de partículas inertes, mediante el modelo HamSOM, durante siete días, periodo que cubre el desarrollo planctónico de la especie. Los resultados del modelo muestran una retención de partículas ligeramente mayor durante el periodo de mareas vivas que en el de mareas muertas. Aunque la mayoría de las partículas (60%) en ambos periodos fueron retenidas en el frente de estratificación, frente registrado en este trabajo y por Argote *et al.* (1995), así como en la zona de no pesca del refugio de la vaquita. Alrededor del 10% de las partículas liberadas fueron transportadas a través del frente y del refugio de la vaquita hacia la zona meridional del AGC, donde teóricamente las postlarvas podrían reclutarse; por otra parte, ~30% de las partículas restantes se sale del área de estudio, lo que descarta la posibilidad de que el transporte de las larvas se desarrolle en forma pasiva y que la migración hacia el área de crianza (delta del río), se realice en forma activa. Lo anterior, fortalece lo reportado por Galindo-Bect *et al.* (2010).

De forma general, los resultados del modelo para el transporte de partículas en este trabajo, coinciden con trabajos previos como el de Calderón-Aguilera *et al.* (2003), quienes analizaron el transporte y reclutamiento de postlarvas del camarón azul utilizando el mismo modelo en el AGC y tomando en cuenta la distribución de los camarones adultos en la costa de sonora durante el periodo de máxima reproducción de la especie, pero esos autores no contaban con datos de la distribución de larvas y tampoco con datos oceanográficos *in situ* (físicos y biológicos). Ellos señalan en su modelo el transporte pasivo, de la costa continental hacia la costa peninsular, pero no detectan el papel del frente de estratificación en el AGC ni su posible función en la concentración de zooplancton y larvas de camarón.

Las simulaciones realizadas en este trabajo, mostraron ligeras diferencias en la proporción de partículas retenidas en el frente, entre el periodo de mareas vivas y muertas, como se mencionó anteriormente. En el periodo de mareas vivas, a pesar de tener mayores velocidades de corrientes, existió una mayor retención de partículas en la zona frontal, cuando la corriente residual ciclónica se debilita con relación a la energía de la marea; por lo que se podría asumir que las larvas se mantienen cerca de las zonas de alta densidad de protozoeas y en un contexto general las áreas de desove de las hembras. En cambio, cuando la corriente residual se intensifica durante el periodo de mareas muertas (a pesar de que la velocidad promedio de corriente es del orden de 0.1 ms⁻¹), disminuye la retención de partículas en la zona frontal y aumenta la deriva larval hacia zonas poco favorables para su reclutamiento, como lo reporta Marinone *et al.* (2008). Si bien, Marinone *et al.* (2004)

utilizando el mismo modelo, simularon la trayectoria de partículas en el AGC para determinar la migración activa y pasiva de las larvas de camarón durante un periodo de mareas vivas y muertas; ellos no encontraron diferencias entre las mareas vivas y muertas. Esto pudo ser debido a que no contaron con datos *in situ* que funcionaran como punto de referencia para ubicar las zonas de desove reales y elevada densidad de protozoeas del camarón. En el estudio de Sánchez-Velasco *et al.* (2013), aunque realizado con larvas de peces, mencionaron que durante los periodos de mareas vivas y muertas, las larvas pueden ser transportadas por la corriente residual o retenidas por el frente de estratificación, lo cual dependerá del área de desove, de la fase de desarrollo de la larva y del periodo de marea en el que se encuentre el sistema.

Por otra parte, Aragón Noriega & Calderón Aguilera (2001) al estudiar el desarrollo larval de *L. stylirostris* en laboratorio, encontraron que la transformación desde el desove a postlarva I (PL1) se realizó en un tiempo de 12 días, por lo que si encontramos todos los estadios larvales en el área del desove, la migración no podría ser en forma pasiva, lo que indica que al iniciar su transformación a postlarvas, se desplazan hacia la zona litoral, para migrar al área de crianza (delta del río) mediante las corrientes de marea.

En otras regiones del mundo, como en el Golfo de Carpentaria, Australia, Rothlisberg (1982), mencionó las larvas de camarón pueden derivar con las corrientes marinas hasta 160 km durante dos a tres semanas. Así mismo, Rothlisberg *et al.* (1983, 1996) mencionaron que efectos de la interacción de la migración-marea no pueden ser aislados de otros procesos de dispersión tales como las corrientes de mareas, el forzamiento del viento y la circulación de flujo geostrófico, así como de los remolinos turbulentos horizontales y la difusión. Es claro considerar que en el AGC debe haber una combinación de factores como las corrientes de marea, la corriente residual, el frente de estratificación, las variaciones del viento, así como la distribución de los adultos reproductores, lo que influye en los eventos reproductivos y la dispersión de las larvas del camarón.

55

En México, el esquema de manejo más utilizados en recursos pesqueros para especies de ciclo de vida corto como los camarones peneidos, es la veda estacional (un periodo sin pesca), la cual fue creada y dirigida hacia dos objetivos, el primero proteger al camarón durante sus primeras etapas del ciclo de vida (estadio de postlarva hasta juveniles) dentro de bahías y lagunas costeras; el segundo, para proteger los periodos de reproducción masiva de este tipo de especies que se lleva a cabo característicamente sobre la plataforma continental (Alcántara-Razo, 2005). De esta forma también se controla el esfuerzo protegiendo los desoves y maximizando el rendimiento que puede obtenerse de las diferentes cohortes que se reclutarán a la fase explotable (Instituto Nacional de la Pesca, 2006). Sin embargo, el monitoreo de la abundancia de los estadios planctónicos del camarón azul, su relación con la variabilidad ambiental y la influencia de la hidrografía en la dispersión larval en el AGC durante la temporada reproductiva, debe considerarse para predecir si habrá mayores o menores capturas del recurso cuando ocurra una alta o una baja productividad en la zona.

10.- CONCLUSIONES

1.- Los resultados de este trabajo muestran que las abundancias de las larvas protozoea y mysis correspondieron con zonas donde se registró una alta concentración de oxígeno disuelto y menor salinidad coincidiendo con la posición del frente de estratificación que también ha sido reportado para el área de estudio en otros trabajos y que pudiera estar actuando como una barrera para las larvas y siendo transportadas por la corriente residual hacia zonas no muy favorables.

2.- La abundancia de postlarvas fue mayor en las áreas más someras y bien mezcladas del AGC, principalmente por la costa de Sonora, en donde se presenta una alta concentración de salinidad y clorofila *a*, lo cual muestra que estas salen del frente de estratificación hacia la zona del Delta y canales del Rio Colorado.

3.- La simulación del transporte larval por medio del modelo tridimensional HAMSOM, mostró que el proceso de retención de larvas en el área del desove durante todo el periodo larval, puede ser debido a que durante el periodo de mareas vivas existió una mayor retención de partículas en la zona frontal y polígono de la vaquita (cerca de las zonas de posibles desoves de los reproductores y alta densidad de protozoeas de camarón), cuando la corriente residual ciclónica se debilita en relación a la energía de la marea. Por otro lado, cuando esta corriente residual se intensifica durante el periodo de mareas muertas, disminuye la retención de partículas en la zona frontal y las transporta hacia zonas no reportadas como de reclutamiento de la especie.

11.- LITERATURA CITADA

- Alcántara-Razo, E. 2005. Índice de producción de huevos, reclutamiento reproductor y distribución de la biomasa de camarón azul Litopenaeus stylirostris en el frente costero de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, México. Tesis de Doctorado, CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. 70 p.
- All, J. D. 2006. Colorado River Floods, Droughts, and Shrimp Fishing in the Upper Gulf of California, Mexico. *Eviron. Manag.*, 37(1): 111-125.
- Alvarez-Borrego, S., B. P. Flores Báez & L. A. Galindo Bect. 1975. Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas*, 2(1): 21-36 p.
- Álvarez, L. G. & S. E. Jones. 2002. Factors influencing suspended sediment flux in the Upper Gulf of California. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 54(4): 747-759.
- Álvarez, L. G. & S. E. Jones, 2004. Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: the Upper Gulf of California. *J. Coast. Res.*, 20(3): 645-654.
- Aragón-Noriega, E. A. & L. E. Calderón-Aguilera. 2001. Age and growth of shrimp (Decapoda: Penaeidae) postlarvae in the Upper Gulf of California. Journal of Ichthyology and Aquatic Biology, 4(3):99-104 p.
- Aragón-Noriega, E. A., C. Cervantes-Valle, A. R. García Juárez & L. E. Calderón-Aguilera. 1999. Distribución y abundancia de la población desovante de camarones del norte del Golfo de California durante el verano de 1996. *Ciencia y Mar*, 3(9):37-48.
- Aragón-Noriega, E. A. & L. E. Calderón-Aguilera. 2000. Does damming of the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California?. *Rev. Biol. Trop.*, 48(4):867-871.
- Aragón-Noriega, E. A. & A. R. García-Juárez. 2002b. Reclutamiento de postlarvas de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) a condiciones antiestuarinas provocadas por actividades antropogénicas. *Hidrobiológica*, 12(1):37-46.

- Aragón-Noriega E. A. 2005. Dorsal rostral spines as a hard structure to determine age of blue shrimp postlarvae *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda, penaeidae). *Crustaceana*, 77(10): 1193-1202.
- Aragón-Noriega, E. A. 2007. Coupling the reproductive period of blue shrimp Litopenaeus stylirostris Stimpson, 1874 (Decapoda:Penaeidae) and sea surface temperature in the Gulf of California. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 42(2):167-175.
- Argote, M. L., A. Amador, M. F. Lavín & J. R. Hunter. 1995. Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 100(C8): 16,103-16,118.
- Avila-Serrano, G. E., K. W. Flessa, M. A. Téllez-Duarte & C. E. Cintra-Buenrostro. 2006. Distribución de la macrofauna intermareal del Delta del Río Colorado, norte del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 32:649-661.
- Beers, J.R. 1976. Volumetric methods, 56-60. En: Steedman, H.F. (Ed.) Zooplankton Fixation and Preservation. Monographs on Oceanographic Methodology. No. 4.UNESCO Press, París. 84 pp.
- Calderón-Aguilera, L. E., E. A. Aragón-Noriega, H. A. Licon, G. Castillo-Moreno & 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, UNAM. 338 pp.
- Calderón-Aguilera, L. E., S. G. Marinone & E. A. Aragón-Noriega. 2003. Influence of oceanografic proceses on the early life stages of the blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) in the Upper Gulf of California. *J. Marine Syst.*, 39: 117-128.
- Calderón-Pérez, J. A., E. Macías-Regalado & S. Rendón-Rodríguez. 1989. Claves de identificación para los estadios de postlarvas y primeros juveniles de camarón del género *Penaeus* (Crustacea: Decapoda) del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 15(3):57-70.

Crespi, V. & A. Coche. 2008. *Glosario de acuicultura*. FAO. Rome. 401p.

- Cudney-Bueno, R., M. F. Lavín, S. G. Marinone, P. T. Raymondi & W. W. Shaw. 2009. Rapid Effects of Marine Reserves via Larval Dispersal. *Plos ONE*, 4(1): e4140.
- De la Cruz-Agüero, G. 1994. *ANACOM: sistema para el análisis de comunidades.* Ver 3.0. Manual del Usuario. CICIMAR-IPN. La Paz. B. C. S. 99 pp.
- Field, J. G., K. R. Clarke & R. M. Warwick. 1982. A practical strategy for analysis multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 37-57.
- Galindo-Bect, M. S., E. P. Glenn, H. M. Page, K. Fitzsimmons, L. A. Galindo-Bect, J.
 M. Hernández-Ayón, R. L. Petty, J. García-Hernández & D. Moore. 2000.
 Penaeid shrimp landings in the Upper Gulf of California in relation to Colorado River freshwater discharge. *Fish. Bull.*, 98: 222–225.
- Galindo-Bect, M. S. 2003. Larvas y postlarvas de camarones peneidos en el Alto Golfo de California y capturas de camarón con relación al flujo del Rio Colorado. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B. C. 146 pp.
- Galindo-Bect, M. S., H. M. Page, R. L. Petty, J. M. Hernández-Ayón, E. A. Aragón-Noriega & H. Bustos-Serrano. 2007. Variación temporal en la abundancia de postlarvas y juveniles de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del Río Colorado. *Ciencias Marinas*, 33(3): 247-258.
- Galindo-Bect, M. S., E. Aragón-Noriega, J. M. Hernández-Ayón, M. F. Lavín, M. A. Huerta-Díaz, F. Delgadillo-Hinojosa & J. A. Segovia-Zavala. 2010. Distribution of penaeid shrimp larvae and postlarvae in the Upper Gulf of California. *Crustaceana*, 83(7): 809-819.
- García de Ballesteros, M. G. & M. Larroque. 1974 Elementos sobre la turbidez en el Alto Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 1(2): 1–30.
- García, C. J., M. S. Galindo-Bect, L. Sánchez-Velasco, E. Inda-Díaz, V. M. Godínez,
 M. F. Lavín, A. Ocampo-Torres & 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, CICESE. 152 p.

- Gasca, R. & E. Suarez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino. ECOSUR-CONACYT. Mexico, D. F. 711 pp.
- Godínez, V. M., M. F. Lavín, L. Sánchez-Velasco, A. I. Ocampo-Torres & C. E. Cabrera-Ramos. 2010. Datos hidrográficos en el Alto Golfo de California: Campaña PANGAS 1006 (1 al 9 de junio del 2010). Departamento de Oceanografía Física, CICESE. 102 pp.
- Grijalva-Chon, J. M. & R. H. Barraza-Guardado. 1992. Distribución y abundancia de las postlarvas y juveniles de los camarones del genero *Penaeus* en Bahía Kino y Laguna La Cruz, Sonora, México. *Ciencias Marinas*, 18(3): 153-169.
- Harvey, A. W., J. W. Martin & R. Wetzer. 2002. Phylum Arthropoda: Crustacea,337-369. En C. M. Young (Ed.) Atlas of Marine Invertebrate Larvae. Academic Press. London. 626 p.
- Instituto Nacional de la Pesca. 2006. *Plan de Manejo para la pesquería de camarón en el litoral del océano Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Acuacultura. México, D. F. 76 p.
- Kitani, H. 1986a. Larval development of the blue shrimp *Penaeus stylirostris* Stimpson reared in the laboratory. *Bull. Jpn. Soc. Sci.*, 52(7):1121-1130.
- Kitani, H. 1986b. Larval development of the white shrimp *Penaeus vannamei* Boone reared in the laboratory and the statistical observation of its naupliar stages. *Bull. Jpn. Soc. Sci.*, 52(7):1131-1139.
- Kitani, H. & J. N. Alvarado. 1982. The larval development of the pacific brown shrimp *Penaeus californiensis* Holmes reared in the laboratory. *Bull. Jpn. Soc. Sci.*, 48 (3): 375-389.
- Lavín, M. F. & S. Organista. 1988. Surface heat flux in the Northern Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 93(C11): 14,033-14,038.

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

Lavín, M. F., V. M. Godínez & L.G. Alvarez.1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 47: 769-795.

- Lavín, M. F. & S. Sánchez. 1999. On how the Colorado River affected the hydrography of the Upper Gulf of California. *Cont. Shelf Res.*, 19: 1545-1560.
- Lavin, M. F. & S. G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California, 173-204. En: O.U. Velasco Fuentes, J. Sheinbaum & J.L. Ochoa de la Torre (Eds). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 376 p.
- Levinton, J. 2001. *Marine Biology: function, biodiversity, ecology*. 2^a ed. New York. 515 p.
- Lluch-Belda, D., F. Magallón-Barajas, X. Murrieta, G. M. Ojeda-Gonzáles, M. C. Rodríguez de la Cruz, P. G. Saenz-Martínez & A. Sepúlveda-Medina. 1982. *La pesquería del camarón del Pacifico*. Secretaría de Pesca, CICIMAR-IPN, DGINP, SEPES, CICTUS, UAS. Cocoyoc, Morelos. 419 p.
- Lluch-Cota, S. E., A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurioles-Gambóa, J. J. Bautista-Romero, R. Brusca, R. Cervantez-Duarte, R. Cortéz-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S. G. Marione, M. Neváres-Martínez, S. Ortega-Garcia, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramirez-Rodriguez, C. A. Salinas-Zavala, R. A. schwartzlose & P. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.*, 73: 1-26.
- López-Martínez, J., F. Sánchez, S. Hernández-Vázquez, E. Herrera-Valdivia & A. R. García-Juárez. 2002. Dinámica poblacional del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) en el Golfo de California: Variabilidad interanual, 209-219. En M. E. Hendrickx (Ed). *Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacifico Este [Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans 3]*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 383 p.
- López-Martínez, J., C. Rábago-Quiroz, M. O. Nevárez-Martínez, A. R. García-Juárez, G. Rivera-Parra, & J. Chávez-Villalba. 2005. Growth, reproduction, and size at first maturity of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) along the east coast of the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 71: 93-102.

- Mair, J. 1979. The identification of postlarvae of four species of *Penaeus* (Crustacea: Decapoda) from the Pacific coast of Mexico. *J. Zool. Lond.* 188: 347-351.
- Marinone, S. G. & M. F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, 113-140. En: Lavín, M. F. (Ed.) Contribuciones a la oceanografía Física en México. Union Geofísica Mexicana. Monografía No. 3. 272 p.
- Marinone, S. G. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *J. Geophys. Res. Oceans.*. 108(C10): 3325, doi: 10.1029/2002JC001720.
- Marinone, S. G., O. Q. Gutiérrez & A. Parés-Sierra. 2004. Numerical simulation of larval shrimp dispersion in the Northern Region of the Gulf of California. *Estuar. Coast.Shelf Sci.*, 60: 611-617.
- Marinone, S.G., M.J. Ulloa, A. Parés-Sierra, M.F. Lavín & R. Cudney-Bueno. 2008. Connectivity in the northern Gulf of California from particle tracking in a threedimensional numerical model. *J. Marine Syst.*, 71: 149–158.
- McCune, B. & J. B. Grace. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, USA. 304 p.
- Millán-Núñez, R., E. Santamaria del Angel, R. Cajal-Medrano & O. A. Barocio-León. 1999. El delta de Río Colorado: un ecosistema con alta productividad primaria. *Ciencias Marinas*, 25(4): 509-524.
- 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. UNAM. 98 p.
- Peguero-Icaza, M., L. Sánchez-Velasco, M. Lavín, G. Marinone & 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 & L. Espinosa-Carreón. 2009. Response of the shrimp population in the upper Gulf of California to fluctuations in discharges of the Colorado River. *Crustaceana*, 82(5): 615-625.
- Pineda, J., J. A. Hare & Sponaungle, S. (2007). Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. *Oceanography*, 20(3): 22-39.

- Ramírez-Rojo, R. A. & E. A. Aragón-Noriega. 2006. Ecología de postlarvas de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del Río Colorado. *Ciencias Marinas*, 32(1A): 45-52.
- Rodriguez-Quiroz, G., E. A. Aragón-Noriega & A. Ortega-Rubio. 2009. Artisanal shrimp fishing in the Biosfere Reserve of the Upper Gulf of California. *Crustaceana*, 82(12): 1481-1493.
- Rodriguez-Quiroz, G., E. A. Aragón-Noriega, W. Valenzuela-Quiñónez & H. M. Esparza-Leal. 2010. Artisanal fisheries in the conservation zones of the Upper Gulf of California. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 45(1): 89-98.
- Rothlisberg, P. C. 1982. Vertical migration and its effects on dispersal of penaeid shrimp larvae in the Gulf of Carpentaria, Australia. *Fish. Bull.*, 80: 541-554.
- Rothlisberg, P. C., J. A. Church & A. M. G. Pendrey. 1983. Modelling the advection of vertically migrating shrimp larvae. *J. Mar. Res.*, 41: 511-538.
- Rumrill, S. S. 1990. Natural mortality of marine invertebrate larvae. *Ophelia*, 32(1-2): 163-198.
- Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, S. P. A. Jiménez-Rosenberg, J. M. Montes & P. J. Turk-Boyer. 2012. Larval fish habitats and hydrography in the Biosphere Reserve of the Upper Gulf of California (June2008). *Cont. Shelf Res.*, 33: 89-99.
- Sánchez-Velasco, L., M. F. Lavín, S. P. A. Jiménez-Rosenberg & V. M. Godínez. 2013. 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.*, (Articulo en prensa).
- Santamaría-del-Ángel, E., R. Millán-Núñez, A. González-Silvera, M. Callejas-Jiménez, R. Cajal-Medrano, & M. S. Galindo-Bect. The response of shrimp fisheries to climate variability off Baja California, México. *ICES J. Mar. Sci.*, 68: 766–772.
- Simpson, J.H., 1981. The shelf-sea fronts: implications of their existence and behavior. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 302: 531–546.

- Smith, P. E. & S. L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospección de huevos larvas y larvas de peces pelágicos. FAO (Food Agriculture Organization of the United Nations), Documentos Técnicos de Pesca, 175: 1-107.
- Sokal, R.R., & F.J. Rohlf. 1995. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W.H. Freeman and Co., New York. 887 p.
- Soria, G., A. Munguía-Vega, S. G. Marinone, M. Moreno-Báez, I. Martínez-Tovar & R. Cudney-Bueno. 2012. Linking bio-oceanography and population genetics to assess larval conectivity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 463: 159-175.
- Steidinger, K. A. & L. M. Walker. 1984. *Marine plankton life cycle strategies*. Boca Ratón, Fla. CRC Press. 158 p.
- Ter Braak, C. J. F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67: 1167–1179.
- Ter Braak, C.J.F. / F.M. Verdonshot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in Aquatic Ecology. *Aquat. Sci.*, 57: 255-28.