

Efectos de un remolino de mesoescala sobre la distribución de larvas de peces mesopelágicos en el Golfo de California

Effects of a mesoscale eddy on the distribution of mesopelagic fish larvae in the Gulf of California

Fernando Contreras-Catala¹, Laura Sánchez-Velasco¹,
Emilio Beier² y Victor M. Godínez³

¹Departamento de Plancton y Ecología Marina, CICIMAR-IPN, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, C.P. 23096, La Paz, B.C.S. México. fcontrerascatala@gmail.com

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, Miraflores 334 E/ Mulegé y La Paz, Col. Bella Vista, La Paz, B.C.S. 23050, México

³Departamento de Oceanografía Física, CICESE, Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Zona Playitas, Ensenada, Baja California, 22860, México

Abstract. We examined the effect of a mesoscale cyclonic eddy on the three-dimensional distribution of *Vinciguerria lucetia* and *Diogenichthys laternatus* in southern Gulf of California during July 2010. CTD data and zooplankton samples collected with a closing-opening net (505 µm), were obtained on 2 transects across the eddy, and on a transect outside of the mesoscale structure. In the later the thermocline depth was at ~40 m where larvae *V. lucetia* dominated. Opposite to *V. lucetia* distribution, *D. laternatus* larvae was the dominant species in the deepest strata. In the area influenced by the cyclonic eddy (~350 m depth and ~60 km diameter), the thermocline was sunk from ~25 m (eddy edge) to ~50 m depth (eddy center). The isotherms below the thermocline formed a dome from ~350 m to ~100 m depth in the eddy center. This upwelling coincided with an increase of *D. laternatus* larvae in the water column. Compared with the transect outside of the cyclonic eddy, the shoaling of the isotherms inside the eddy produced not only an increase of *D. laternatus* larvae, also decreased the *V. lucetia* abundance. These variations in larval distribution of both mesopelagic species are closely correlated with the mesoscale cyclonic eddy.

Key words: Three-dimensional distribution, *Vinciguerria lucetia*, *Diogenichthys laternatus*, cyclonic eddy

INTRODUCCIÓN

Los peces mesopelágicos *Vinciguerria lucetia* (Garman, 1899) y *Diogenichthys laternatus* (Garman, 1899), especies de afinidad tropical-subtropical, son importantes componentes del océano Pacífico Oriental debido a su gran abundancia y amplia distribución (Ahlstrom 1959, McClatchie & Dunford 2003, Sassa *et al.* 2007, Rodríguez & Castro 2010, Landaeta *et al.* 2015). En el Pacífico Tropical frente a México, larvas de *V. lucetia* y *D. laternatus* han sido registradas desde el sur del archipiélago central del Golfo de California (GC) hasta el Golfo de Tehuantepec (Sánchez-Velasco *et al.* 2007, Danell-Jiménez *et al.* 2009, León-Chávez *et al.* 2010, López-Chávez 2010, Contreras-Catala *et al.* 2012), aunque con fuerte heterogeneidad en su distribución espacial, probablemente asociada a los procesos de mesoescala que se generan en la región (Godínez *et al.* 2010b, Lavín *et al.* 2014).

Si bien las larvas de estas especies coexisten en el Pacífico Tropical Nororiental (Ahlstrom 1959, Loeb 1979)

y el Pacífico Subtropical Suroriental (Rodríguez & Castro 2010, Rojas & Landaeta 2014, Landaeta *et al.* 2015), estudios recientes con mayor resolución de muestreo en la vertical (Sánchez-Velasco *et al.* 2013, Apango-Figueroa *et al.* 2014) han registrado una tendencia vertical inversa entre ambas especies, donde las larvas de *V. lucetia* decrecen en abundancia con la profundidad, contrario a las de *D. laternatus*, que incrementan su abundancia por debajo de la termoclina. Aunque en la Corriente de Humboldt, Rojas & Landaeta (2014) registraron que larvas de *V. lucetia* y *D. laternatus* se encontraron asociadas a la termoclina.

El Golfo de California (GC) es un mar semicerrado altamente productivo (Peguero-Icaza *et al.* 2008, Sánchez-Velasco *et al.* 2009, Álvarez-Borrego 2012) donde se han registrado la presencia recurrente de remolinos de mesoescala (Pegau *et al.* 2002, Lavín *et al.* 2013, 2014). Dichas estructuras tienen fuerte influencia en la distribución tridimensional de las larvas de peces y del

zooplancton en general, debido a que por un lado los organismos pueden ser advectados, dispersados y/o concentrados y retenidos según la naturaleza de los remolinos (*i.e.*, ciclónicos o anticiclónicos) (Contreras-Catala *et al.* 2012, Sánchez-Velasco *et al.* 2013).

El estudio de las interacciones físico-biológicas en remolinos de mesoescala y su efecto en el ecosistema pelágico es complejo por la variación en el origen, la dinámica y la constante evolución de los remolinos que genera variabilidad en la respuesta biológica (Eden *et al.* 2009). Los remolinos ciclónicos se caracterizan por presentar la picnoclina en forma de domo en su centro; esto se debe al afloramiento de aguas subsuperficiales, así como a un patrón de flujo divergente en la superficie (Bakun 2006). Se ha sugerido que los remolinos ciclónicos generan grandes pulsos de productividad en el océano abierto, especialmente en zonas poco productivas (Siegel *et al.* 1999, Huntley *et al.* 2000, Feng *et al.* 2007). De manera general, este patrón divergente tiene como consecuencia la dispersión hacia los márgenes del remolino de organismos planctónicos (Bakun 2006). Por el contrario, los remolinos anticiclónicos se caracterizan por que la picnoclina se observa en forma de valle en su centro, debido a este flujo convergente se produce el hundimiento de la picnoclina (Bakun 2006, Muhling *et al.* 2007). Estos remolinos estimulan la productividad en sus bordes debido a los procesos de mezcla y advección y su efecto en los organismos es convergente hacia el centro del remolino (Crawford *et al.* 2005).

Son pocos los estudios donde se observan las relaciones entre la distribución del zooplancton y los procesos de mesoescala, aunque recientemente se ha incrementado el esfuerzo por describir este tipo de interacciones. En el Atlántico norte, Govoni *et al.* (2010) observaron que los remolinos ciclónicos generan hábitats favorables para la reproducción de larvas de peces. En particular en el GC, Contreras-Catala *et al.* (2012), observaron una mezcla de especies costeras y oceánicas en el cuerpo de un remolino anticiclónico, el cual pudo haber atrapado especies costeras durante su formación. Los autores reportan que las larvas de *V. lucetia* fueron más abundantes en el centro del remolino a lo largo de la capa de mezcla (de ~80 m de profundidad a superficie) y las mayores abundancias de *D. laternatus* se encontraron por debajo de la termoclina, aumentando con la profundidad en el centro del remolino.

Recientemente, Sánchez-Velasco *et al.* (2013) describieron la distribución de larvas de peces en un remolino ciclónico profundo en el GC, observándose que el remolino capturó larvas cerca de las costas, sobre todo en la termoclina, y las

transportó alrededor del remolino, lo que permitió que las larvas se pudieran reclutar en cualquier costa (continental o peninsular). En particular, las larvas de *V. lucetia* fueron las más abundantes en la termoclina y en el margen, y las larvas de *D. laternatus* en los estratos más profundos en el centro del remolino.

Sin embargo en trabajos previos no hubo la posibilidad de comparar zonas afectadas por estructuras de mesoescala, respecto de zonas no afectadas por estas estructuras, con el fin de detectar cambios en la distribución de las especies. Obtener este tipo de conocimiento, implica mayor predictibilidad de cambios en el ecosistema pelágico en general. En este contexto, y basado en los conocimientos *a priori* sobre la dinámica de los remolinos ciclónicos, se espera encontrar mayor abundancia de larvas de la especie más profunda en estratos superficiales en el centro del remolino por efectos del bombeo de Ekman. El objetivo del presente estudio fue describir el efecto de un remolino ciclónico de mesoescala sobre la distribución tridimensional de las larvas *V. lucetia* y *D. laternatus*, especies mesopelágicas altamente abundantes y frecuentes en el sur del GC durante verano (julio 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

El remolino ciclónico se observó mediante el seguimiento de imágenes de satélite (MODIS/Aqua) y a partir de ello se estableció una red de estaciones sobre 3 transectos con un total de 27 estaciones oceanográficas, de las cuales 2 cruzaron la estructura y otra se realizó al norte de ésta.

Los muestreos se realizaron a bordo del *B/O Francisco de Ulloa* del CICESE del 7 al 17 de julio 2010. En cada estación de muestreo se obtuvieron perfiles verticales de temperatura y conductividad, utilizando un CTD SeaBird 911plus. Los datos se procesaron utilizando el software del fabricante Sea-Bird Electronics versión 5.29a (SBE Data Processing) y fueron promediados a 1 decibar (dbar). La descripción detallada sobre el procesamiento de los datos se encuentra en Godínez *et al.* (2010a). La temperatura conservativa (Θ , °C), salinidad absoluta (S_A , g kg⁻¹) y anomalía de la densidad (δ_θ , kg m⁻³) se calcularon con los datos *in situ* de temperatura y salinidad utilizando el software TEOS-10 (Thermodynamic Equation of Seawater-2010)¹, (IOC *et al.* 2010, Pawlowicz *et al.* 2011). La profundidad de la capa de mezcla superficial, se calculó de acuerdo a la metodología de Kara *et al.* (2000). Esta emplea un criterio basado en la densidad que tiene una

¹<www.TEOS-10.org>

diferencia de temperatura fija de 0,8°C y la salinidad variable.

Se calcularon las velocidades geostróficas a la profundidad mínima común entre pares de estaciones (usualmente 1000 m) a partir de un mapeo objetivo de las distribuciones de la Θ (°C) y SA utilizando el software de TEOS-10. Se empleó una interpolación de mapeo objetivo estándar utilizando la correlación Gaussiana clásica con errores relativos de 0,1 a 70 km en la escala horizontal de longitud y de 30 m en la escala vertical (Chelton *et al.* 1998).

Los arrastres de zooplancton se recolectaron mediante un sistema de cierre-apertura-cierre con una red con boca de 60 cm de diámetro, 250 cm de largo de malla y 505 μm de apertura de malla². Los muestreos se realizaron durante el día y noche en 6 estratos diferentes de profundidad en la columna de agua: 3 estratos de 15 m de profundidad desde el límite inferior de la termoclina (~45 m) hasta superficie (~0-15; 15-30; 30-45 m), y 3 estratos de 50 m de profundidad desde los 200 m hasta los 50 m de profundidad (~50-100; 100-150; 150-200 m), siguiendo las recomendaciones de Smith & Richardson (1979). Se realizaron 2 lances en cada estación. En cada uno de ellos se colocaron 3 redes de apertura y cierre. Las redes se abrieron con mensajeros de bronce manuales, al dar inicio el arrastre. Cuando se alcanzó la profundidad superior de cada muestreo, las redes se cerraron con los mensajeros y el arrastre se concluyó. Esta técnica de muestreo ha sido utilizada satisfactoriamente en estudios previos (*e.g.*, Sánchez-Velasco *et al.* 2007, Contreras-Catala *et al.* 2012).

Posteriormente, utilizando un microscopio estereoscópico se separaron las larvas de peces del resto del zooplancton de cada una de las muestras y las larvas de especies mesopelágicas fueron identificadas hasta el nivel taxonómico más preciso posible con base a las características merísticas y morfométricas, basándose en las descripciones según Moser (1996) y las abundancias fueron estandarizadas a número de larvas por 10 m² (Smith & Richardson 1979). Se identificó un total de 5.659 larvas de peces, de las cuales 3.955 fueron de *Vinciguerria lucetia* y 704 de *Diogenichthys laternatus*.

Se aplicó un análisis canónico de correspondencias (Ter-Braak 1986) para definir la relación entre las variables ambientales y las larvas de peces. Antes de realizar el análisis, los datos biológicos estandarizados fueron transformados a raíz cuarta para eliminar la heterogeneidad de la varianza (Field *et al.* 1982). En la matriz de variables

ambientales se consideró el volumen desplazado del zooplancton (ml 1000 m⁻³) de cada estrato y los valores promedio de cada estrato de la temperatura (Θ °C), salinidad absoluta (S_A g kg⁻¹), fluorescencia (mg m⁻³) y oxígeno disuelto (ml l⁻¹) con el fin de obtener los valores representativos de cada estrato.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La imagen de clorofila *a* (Fig. 1b) detectó la presencia de una estructura de mesoescala ubicada en ~25°30'N, 109°80'W sobre gran parte de la cuenca El Farallón, dentro del GC (Fig. 1a). La presencia de un máximo de clorofila superficial en el centro de la estructura ~0,35 mg m⁻³ disminuyendo hacia los márgenes ~0,2 mg m⁻³ sugiere que se muestreó un remolino ciclónico; lo cual se corroboró con los datos *in situ* (Fig. 2).

Se observó que 2 transectos cruzaron el remolino ciclónico (transecto C y B), y otro estuvo al norte de la estructura (transecto A). Se describe el transecto C para representar un área influenciada por el remolino, y el transecto A, como zona de no influencia del mismo.

En la Figura 2 se observa la estructura hidrográfica de los transectos A y C (marcados en la Fig. 1b). En el transecto A, fuera de la influencia del remolino (Fig. 1b), los valores de temperatura (Fig. 2a) muestran una clara estratificación con isotermas más o menos horizontales a lo largo del transecto, mostrando una termoclina bien establecida a ~30 m de profundidad (Fig. 2a). La capa de mezcla se mostró homogénea ~25 m de profundidad, con un ligero hundiendo entre las estaciones A05 y A06, donde se presenta un flujo de retorno de < ~10 cm s⁻¹. La estructura térmica coincide con velocidades geostróficas bajas (< ~10 cm s⁻¹), típicas de la propia circulación del golfo según Castro *et al.* (2006), no evidenciando flujos generados por estructuras de mesoescala. En este marco ambiental, indicado por la temperatura y las velocidades geostróficas, la distribución de las larvas de *V. lucetia* y *D. laternatus* mostró patrones diferentes. Las mayores abundancias de *V. lucetia* se observaron sobre y en la termoclina, decreciendo debajo de ésta (Fig. 2c). Por el contrario, y aunque con menor abundancia total que *V. lucetia*, las larvas de *D. laternatus* fueron más abundantes debajo de la termoclina, decreciendo su abundancia hacia la superficie (Fig. 2d).

En el transecto C, área afectada por el remolino ciclónico, se observaron variaciones en relación al transecto anterior. En la figura 2f, las velocidades geostróficas ratificaron que el remolino fue ciclónico,

²<<http://www.generaloceanics.com>>

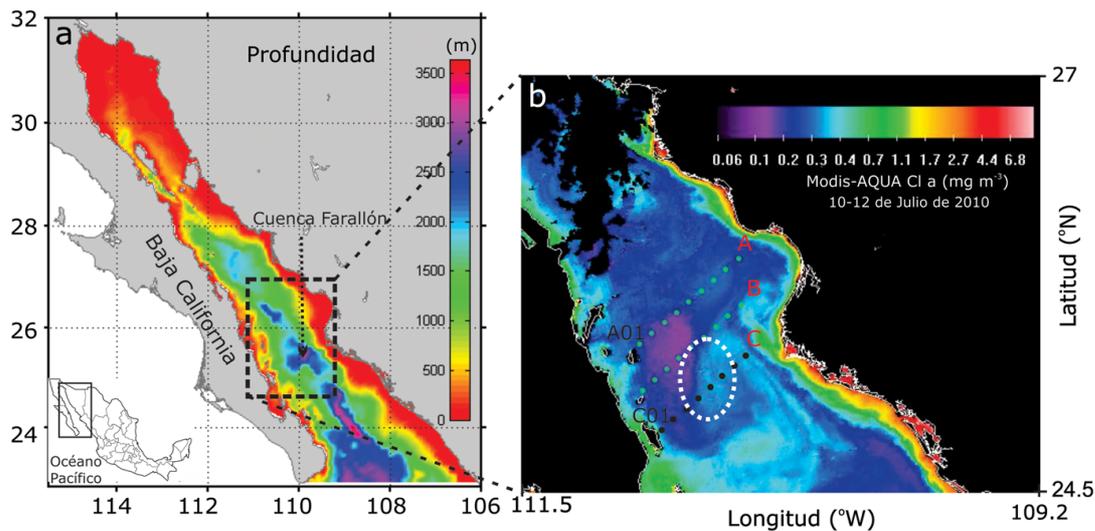


Figura 1. a) Batimetría (m) del Golfo de California y b) estaciones de muestreo sobre una imagen de clorofila *a* (mg m^{-3}) (MODIS-Aqua) del 10 al 12 de julio 2010. Los puntos pequeños describen la forma aproximada del remolino / Bathymetry of the Gulf of California (m) and b) study region and sampling stations an surface chlorophyll *a* (mg m^{-3}) satellite image (MODIS-Aqua) of 10 to 12 July 2010. Small dots outline the approximate form of the eddy

donde se observó una velocidad máxima de $\sim 27 \text{ cm s}^{-1}$ de flujo de salida (lado peninsular) entre las estaciones C4 y C5; y una velocidad máxima de $\sim 23 \text{ cm s}^{-1}$ de flujo de entrada (lado continental) entre las estaciones C6 y C7 (Fig. 2f). El centro del remolino (donde la corriente superficial es mínima \sim cero) mostró un diámetro de $\sim 10 \text{ km}$ ubicado entre las estaciones C05 y C06. El diámetro total del remolino fue de $\sim 60 \text{ km}$ (entre C04 y C07) y su profundidad fue de $\sim 350 \text{ m}$. En este transecto, la termoclina y la capa de mezcla se hunden desde los $\sim 25 \text{ m}$ (margen del remolino) hasta $\sim 50 \text{ m}$ de profundidad (centro del remolino) (Fig. 2e). Las isoterms ubicadas debajo de la termoclina forman un domo entre las estaciones C05 y C07, indicando un ascenso de agua desde los $\sim 350 \text{ m}$ hasta $\sim 110 \text{ m}$ de profundidad (centro del remolino). Este afloramiento coincidió con un incremento de larvas de *D. laternatus* a lo largo de la columna de agua (Fig. 2h). Asimismo, se observó un incremento de larvas de *V. lucetia* hacia los márgenes del remolino, posiblemente por efectos de divergencia (Fig. 2g).

Estas tendencias observacionales, se corroboran estadísticamente mediante el análisis canónico de correspondencias con una varianza explicada de 0,70 (Fig. 3). *V. lucetia* la cual se encontró en la superficie en la región sin perturbación de mesoescala y fuera del remolino, estuvo altamente correlacionada con altos valores de temperatura, oxígeno disuelto, y biomasa del

zooplankton. Por el contrario *D. laternatus*, que se encontró principalmente por debajo de la termoclina en la zona no afectada por el remolino y en toda la columna de agua en el centro del remolino se correlacionó a valores intermedios de fluorescencia y menores temperaturas.

Comparando las observaciones del remolino descrito en este estudio con los registros de remolinos de Lavín *et al.* (2013) y Sánchez-Velasco *et al.* (2013), este remolino presentó menores dimensiones en cuanto a diámetro, profundidad y duración, aunque en todos los casos las isoterms presentaron un domo en el centro del remolino indicando la elevación del agua sub-superficial, probablemente por efectos de bombeo.

Se ha señalado que los remolinos en el sur del GC son generados por la interacción entre la Corriente Costera Mexicana que fluye hacia el norte sobre la costa continental y la batimetría (Zamudio *et al.* 2008, Lavín *et al.* 2014); por lo que es posible que el remolino de estudio, haya sido generado por dicho mecanismo.

Los efectos de este remolino ciclónico coinciden de manera general con lo observado por Sánchez-Velasco *et al.* (2013), que registraron las mayores abundancias de *V. lucetia* sobre la termoclina en los márgenes del remolino asociadas a efectos de divergencia; y mayor abundancia de larvas de *D. laternatus* en la termoclina y debajo de esta asociada al bombeo en el centro de la estructura;

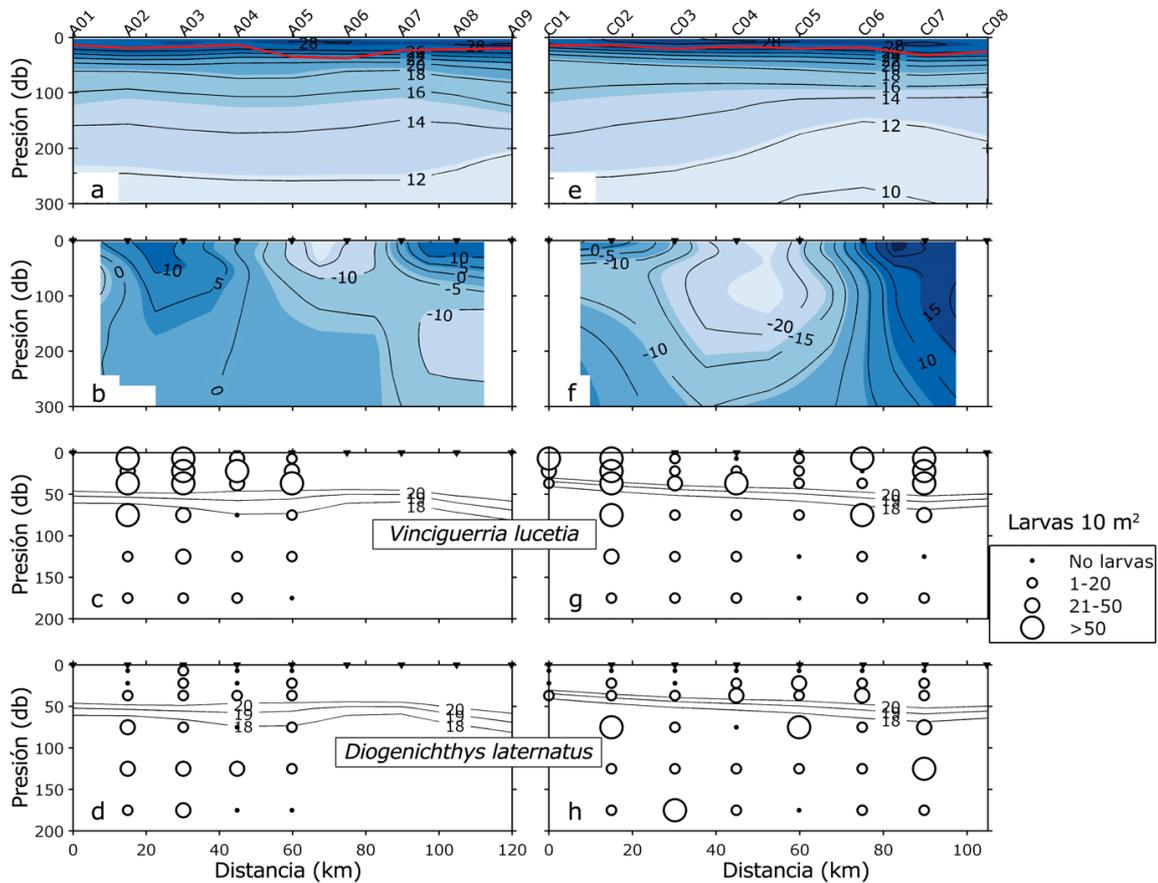


Figura 2. Distribución vertical de las variables hidrográficas a lo largo de los transectos A (no afectado por el remolino) y transecto C (zona del remolino) (ver Fig. 1 para la posición). (a y e) Temperatura Conservativa ($^{\circ}\text{C}$), (b y f) velocidades geostroóficas (cm s^{-1}), (c y g) distribución vertical de *Vinciguerria lucetia* y (d y h) distribución vertical de *Diogenichthys laternatus* (larvas 10 m^2). Isolinia roja en (a) y (e) representa la profundidad de la capa de mezcla superficial / Vertical distribution of hydrographic variables along transects A (not affected by the eddy) and transect C (eddy zone) (see Fig. 1 for positions). (a and e) Conservative Temperature ($^{\circ}\text{C}$), (b and f) geostrophic velocities (cm s^{-1}), (c and g) vertical distribution of *Vinciguerria lucetia* and (d and h) vertical distribution of *Diogenichthys laternatus* (larvae 10 m^2). Red isoline (a) and (e) indicate surface mixed layer depth

aunque el centro del remolino en superficie fue reportado como el hábitat larvario menos abundante. La diferencia en abundancia larval en las capas superficiales del centro entre estos remolinos (ciclónicos) puede ser debido a la evolución de cada uno de ellos, es decir a la intensidad del bombeo de Ekman.

En contraste, Contreras-Catala *et al.* (2012) describieron la distribución de larvas peces en un remolino anticiclónico somero ($\sim 70 \text{ m}$ de profundidad), también en el sur del golfo, registraron la presencia de *V. lucetia* en la capa de mezcla, desde la termoclina a superficie; lo cual relacionaron con el hundimiento de la termoclina por efectos de convergencia. Las larvas de *D. laternatus*

fueron encontradas principalmente por debajo de los 100 m de profundidad en los márgenes del remolino. Ambas especies reportadas en profundidades mayores que en los remolinos ciclónicos.

Los resultados obtenidos permiten mencionar que la distribución tridimensional de las larvas de las especies mesopelágicas *V. lucetia* y *D. laternatus* puede ser indicadora de procesos de mesoescala, considerando que su distribución típica en periodos de estratificación tiende a ser por gradientes inversos verticales, *V. lucetia* más abundante de termoclina a superficie, y *D. laternatus* de termoclina a fondo (Sánchez-Velasco *et al.* 2007, Danell-Jiménez *et al.* 2009). Entonces cuando se encuentran larvas

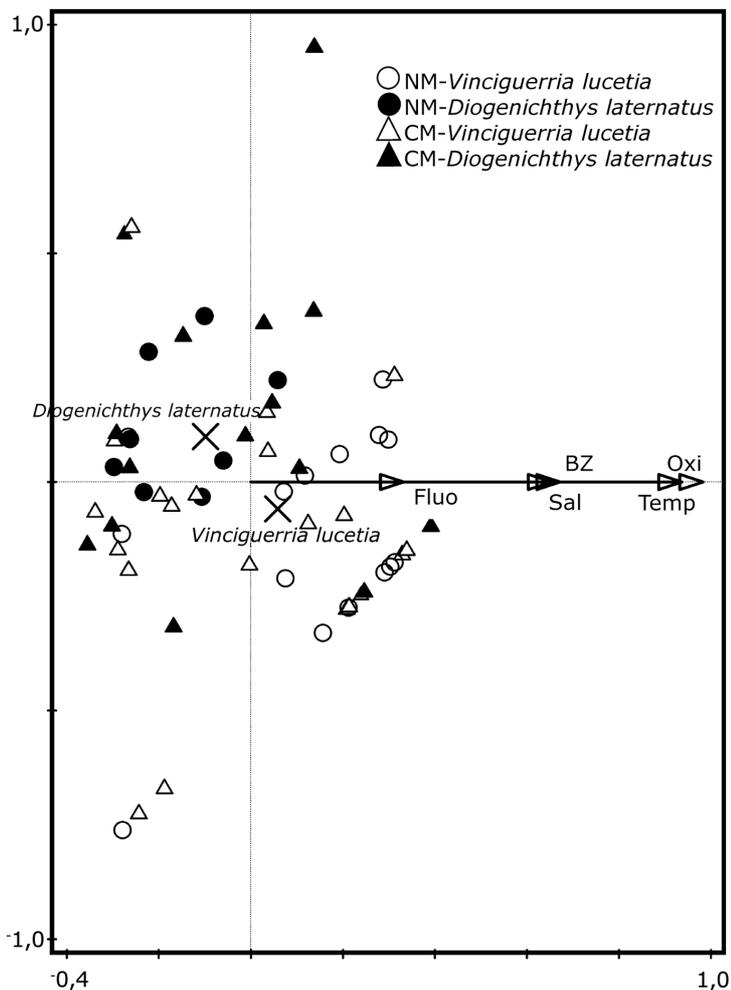


Figura 3. Diagrama de ordenación del análisis canónico de correspondencias de datos biológicos y ambientales recolectados durante julio 2010. NM =No efecto de mesoescala; CM =Con efecto de mesoescala / Graphic of the canonical correspondence analysis from biological and environment data collected during July 2010. NM= no mesoscale effect; CM = with mesoscale effect

de *D. laternatus* sobre la termoclina, puede ser un indicador de efectos de surgencia o bombeo en remolinos ciclónicos; y cuando *V. lucetia* no es abundante sobre la termoclina o se encuentra debajo de ésta en altas abundancias, puede indicar efectos de dispersión en remolinos ciclónicos, y convergencia en remolinos anticiclónicos, respectivamente. Dada la complejidad del océano es importante continuar analizando la relación entre los procesos de mesoescala y las larvas de peces en general.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al soporte financiero de los siguientes proyectos: SIP-IPN MD 20150176 'Ecología de larvas de peces y ambiente en el Golfo de California', 'Un estudio de la Corriente Costera Mexicana y el Pacífico

adyacente, con un SeaGlider, cruceros oceanográficos y datos de satélite' CONACyT (SEP-2011-168034-T) e 'Influencia de remolinos de mesoescala sobre hábitats de larvas de peces (con énfasis en especies de importancia comercial) en la zona de mínimo de oxígeno del océano Pacífico frente a México: Océano abierto y efecto de islas' (contrato CONACyT No.236864). Reconocemos en particular la contribución del Dr. Miguel Fernando Lavín Peregrina (1951-2014), sin cuya participación en el grupo, este trabajo no habría sido posible. FCC agradece a las Becas CONACyT y BEIFI-IPN. Agradecemos al personal científico y técnico que participó en los cruceros a bordo del RV Francisco de Ulloa. A Carlos Cabrera-Ramos (CICESE) y E. Santamaría-del-Ángel (UABC) responsables de manejo de datos por satélite.

LITERATURA CITADA

- Ahlstrom EH. 1959.** Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae off California and Baja California. *Fishery Bulletin* 161(60): 107-143.
- Álvarez-Borrego S. 2012.** Phytoplankton biomass and production in the Gulf of California: a review. *Botanica Marina* 55: 119-128.
- Apango-Figueroa E, L Sánchez-Velasco, MF Lavín, V Godínez & ED Barton. 2014.** Larval fish habitats in a dipole eddy-pair in the Gulf of California. *Deep Sea Research I* 103: 1-112.
- Bakun A. 2006.** Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. In: *Olivar MP & JJ Govoni (eds). Recent advances in the study of fish eggs and larvae. Scientia Marina* 70(S2): 105-122.
- Castro R, R Durazo, A Mascarenhas, CA Collins & A Trasviña. 2006.** Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. *Deep Sea Research Part I* 53(1): 188-200.
- Chelton DB, RA deSzoeke, MG Schlax, K El Naggar & N Siwertz. 1998.** Geographical variability of the first baroclinic Rossby radius of deformation. *Journal of Physical Oceanography* 28: 433-460.
- Contreras-Catala F, L Sánchez-Velasco, MF Lavín & VM Godínez. 2012.** Three-dimensional distribution of larval fish assemblages in an anticyclonic eddy in a semienclosed sea (Gulf of California). *Journal of Plankton Research* 35(6): 548-562.
- Crawford WR, PJ Brickley, TD Peterson & AC Thomas. 2005.** Impact of Haida Eddies on chlorophyll distribution in the eastern Gulf of Alaska. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 52(7-8): 991-1009.
- Danell-Jiménez A, L Sánchez-Velasco, MF Lavín & G Marinone. 2009.** Larval fish assemblages; zooplankton biomass; thermal/chlorophyll front; hydrography; México; Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85: 487-496.
- Eden BR, DK Steinberg, SA Goldthwait & DJ McGillicuddy Jr. 2009.** Zooplankton community structure in a cyclonic and mode-water eddy in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research I* 56: 1757-1776.
- Feng M, LJ Majewski, CB Fandry & AM Waite. 2007.** Characteristics of two counter-rotating eddies in the Leeuwin Current system off the Western Australian coast. *Deep Sea Research II* 54: 961-980.
- Field JG, KR Clarke & RM Warwick. 1982.** A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series* 8: 37-52.
- Godínez VM, L Sánchez-Velasco, MF Lavín & C Cabrera. 2010a.** Datos Hidrográficos en la boca del Golfo de California: Campaña GOLCA 1007 (7 al 17 de julio del 2010), 62 pp. Departamento de Oceanografía Física, CICESE, México.
- Godínez VM, E Beier, MF Lavín & A Kurczyn. 2010b.** Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observation. *Journal. Geophysical Research* 115 C04007, <doi: 10.1029/2009JC005705>
- Govoni JJ, JA Hare, ED Davenport, MH Chen & KE Marancik. 2010.** Mesoscale, cyclonic eddies as larval fish habitat along the southeast United States shelf: a Lagrangian description of the zooplankton community. *ICES Journal of Marine Science* 67: 403-411.
- Huntley ME, A Gonzales, Y Zhu & X Irogoien. 2000.** Zooplankton dynamics in a mesoscale eddy-jet system off California. *Marine Ecology Progress Series* 201: 165-178.
- IOC, SCOR & IAPSO. 2010.** The international thermodynamic equation of seawater 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manuals and Guides* 56: 1-196. UNESCO, Paris.
- Kara AB, PA Rochford & HE Hurlburt. 2000.** An optimal definition for ocean mixed layer depth. *Journal of Geophysical Research* 105(C7): 16803-16821.
- Landaeta MF, JE Contreras, CA Bustos & G Muñoz. 2015.** Larval growth of two species of lanternfish at nearshore waters from an upwelling zone based on otolith microstructure analyses. *Journal of Applied Ichthyology* 31(1): 106-113.
- Lavín MF, R Castro, E Beier & VM Godínez. 2013.** Mesoscale eddies in the southern Gulf of California during summer: Characteristics and interaction with the wind stress. *Journal of Geophysical Research, Oceans* 118: 1367-1381.
- Lavín MF, R Castro, E Beier, C Cabrera, VM Godínez & A Amador-Buenrostro. 2014.** Surface circulation in the Gulf of California in summer from surface drifters and satellite images (2004-2006). *Journal of Geophysical Research, Oceans* 119: 4278-4290, <doi:10.1002/2013JC009345>
- León-Chávez CA, L Sánchez-Velasco, E Beier, MF Lavín, VM Godínez & J Färber-Lorda. 2010.** Larval fish assemblages and circulation in the Eastern Tropical Pacific in autumn and winter. *Journal of Plankton Research* 32(4): 397-410.
- Loeb VJ. 1979.** Vertical distribution and development of larval fishes in the north Pacific Central gyre during summer. *Fishery Bulletin* 77(4): 777-793.
- López-Chávez O. 2010.** Caracterización de las asociaciones de larvas de peces en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, La Paz, México, 107 pp.
- McClatchie S & A Dunford. 2003.** Estimated biomass of vertically migrating mesopelagic fish off New Zealand. *Deep Sea Research Part I* 50(10-11): 1263-1281.
- Moser HG. 1996.** The early stages of fishes in the California Current region. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Atlas* 3: 1-1505.

- Muhling BA, LE Beckeley & MP Olivar. 2007.** Ichthyoplakton assemblage structure in two meso-scale Leeuwin Current eddies, eastern Indian Ocean. *Deep-Sea Research Part II* 54: 1113-1128.
- Pegau WS, E Boss & A Martínez. 2002.** Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters* 29(9): 1295, <doi:10.1029/2001GL014076>
- Peguero-Icaza M, L Sánchez-Velasco, MF Lavín & G Marinone. 2008.** Larval fish assemblages hydrographic and circulation in the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 30: 1-12.
- Pawlowicz R, DG Wright & FJ Millero. 2011.** The effects of biogeochemical processes on oceanic conductivity/salinity/density relationships and the characterization of real seawater. *Ocean Science* 7: 773-836.
- Rodríguez L & L Castro. 2000.** Studies on the ecology of larval myctophids (Pisces, Myctophidae): a proposal for new research lines in the Humboldt Current. *Gayana* 64(2): 219-233.
- Rojas PM & MF Landaeta. 2014.** Fish larvae retention linked to abrupt bathymetry at Mejillones Bay (northern Chile) during coastal upwelling events. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42(5): 989-1008.
- Sánchez-Velasco L, SPA Jiménez-Rosenberg & MF Lavín. 2007.** Vertical distribution of fish larvae and its relation to water column structure in the southwestern Gulf of California. *Pacific Science* 61(4): 533-548.
- Sánchez-Velasco L, MF Lavín, M Peguero-Icaza, CA León-Chávez, F Contreras-Catala, SG Marinone, IV Gutiérrez-Palacios & VM Godínez. 2009.** Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Continental Shelf Research* 29: 1697-1710.
- Sánchez-Velasco L, MF Lavín, SPA Jiménez-Rosenberg, VM Godínez, E Santamaría-del-Ángel & DU Hernández-Becerril. 2013.** Three-dimensional distribution of fish larvae in a cyclonic eddy in the Gulf of California during summer. *Deep-Sea Research I* 75: 39-51.
- Sassa C, K Kawaguchi & K Taki. 2007.** Larval mesopelagic fish assemblages in the Kuroshio-Oyashio transition region of the western North Pacific. *Marine Biology* 150: 1403-1415.
- Siegel DA, DJ McGillicuddy & EA Fields. 1999.** Mesoscale eddies, satellite altimetry, and new production in the Sargasso Sea. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 104(C6): 13359-13379.
- Smith PE & SL Richardson. 1979.** Técnicas modelo para la prospección de huevos y larvas de peces pelágico. *FAO Documentos Técnicos de Pesca* 175: 1-107.
- Ter-Braak CJ. 1986.** Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167-1179.
- Zamudio L, PHogan & EJ Metzger. 2008.** Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train. *Journal of Geophysical Research* 113, C06020 <doi: 10.1029/2007JC004467>

Recibido el 24 de octubre de 2014 y aceptado el 24 de junio de 2015

Editor: Claudia Bustos D.