



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

“DISTRIBUCIÓN DE LOS HUEVOS DE SARDINA (*Sardinops sagax*) Y ANCHOVETA
(*Engraulis mordax*) EN LAS ISLAS CORONADO-BAJA
CALIFORNIA (FEBRERO, ABRIL 2006).”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

OCEANÓLOGO

PRESENTA

NADIA LUCIA LOPEZ TEJADA

Ensenada, B.C., México

MARZO DEL 2017

RESUMEN

Los estudios sobre la distribución y abundancia de los huevos de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis mordax*) en las áreas menos evaluadas del Sistema de la Corriente de California son importantes porque permiten sugerir potenciales zonas de desove y estimar tamaños poblacionales en el ambiente pelágico. En este estudio se analizaron la distribución y densidad de huevos de estas especies alrededor de las Islas Coronado, situadas en la zona costera noroeste del estado mexicano de Baja California, durante el 2 al 4 de febrero y del 7 al 10 de abril del 2006. Simultáneamente, se caracterizó el ambiente en términos de temperatura y concentración de clorofila-*a* medidas por satélite. Los resultados mostraron características oceanográficas y biológicas marcadamente distintas entre los periodos de estudio. El escenario en febrero fue de temperatura superficial del mar de 14 °C -14.8 °C y una amplia presencia de aguas eutróficas en superficie (≥ 1 mg/m³), mientras que en abril la temperatura superficial del mar fue más cálida (14.9 °C -16.5 °C) y la concentración de clorofila-*a* en superficie fue menor debido a que las aguas eutróficas se confinaron dentro de los 5 Km de la costa. Con respecto al total de huevos colectados, en febrero la cantidad de los huevos de sardina fue mayor (21.1 huevos/m³, 31.56 %) que los de anchoveta (1.3 huevos/m³, 2.02 %). En contraste, en abril la anchoveta fue notablemente abundante (128.4 huevos/m³, 77.19 %) mientras que la sardina fue escasa (0.3 huevos/m³, 0.06 %). Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis planteada al señalar cambios en las condiciones oceanográficas en los periodos de estudio de este trabajo, mayor temperatura y menor clorofila en abril que en febrero, lo cual pudo haber estar relacionado con procesos de mesoescala como el retraso en la temporada de surgencias y la dinámica de circulación dentro de la Cuenca del Sur de California. En abril el ambiente marino circundante a las Islas Coronado fue una importante zona de desove o concentración de huevos para la anchoveta, proposición basada a las altas densidades de huevos encontradas y a la poca probabilidad de que estos provengan de la importante zona de desove en el sur de California. El ascenso de aguas por la pared del Cañón Coronado pudo haber estar relacionado con la ausencia a escasa densidad de huevos de sardina y anchoveta observadas, así como los menores valores de temperatura superficial en el noreste de las Islas Coronado. Los resultados de este trabajo de investigación son en cuanto a densidad de los huevos de sardina y anchoveta son los primeros reportados para el área evaluada por lo que se espera contribuyan al conocimiento de las estrategias de vida de estas especies dentro del Sistema de la Corriente de California.

Palabras clave: Sistema de la Corriente de California, sardina, anchoveta, huevos de peces pelágicos, sensores remotos, temperatura superficial del mar, concentración de clorofila-*a*.

DEDICATORIA

A todos aquellos que me apoyaron y alentaron a seguir adelante para escribir y concluir esta Tesis.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California por mi formación profesional.

A los investigadores que formaron parte de mi comité de Tesis: Dr. Tim Baumgartner McBride, Dr. Eduardo Santamaría del Ángel y M. C. Dora Waumann Rojas. A todos ustedes muchas gracias por las aportaciones y sugerencias hechas con el fin de mejorar este trabajo de investigación.

A la Dra. Laura Sánchez Velasco del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Dra. Patricia Ayón Dejo del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y MSc (c) Miguel Angel Llapapasca por sus comentarios y sugerencias.

Al proyecto apoyado por SEMARNAT-CONACYT #108127 "Programa de Cambio Climático de Baja California", asociado con el programa IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California) y administrado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Al personal del laboratorio de Oceanografía y Peces Pelágicos (OCEANOPP = ex-Paleoceanografía) del Departamento de Oceanografía Biológica del CICESE por los comentarios y la experiencia adquirida en la identificación de plancton.

Al *Ocean Color Data Processing System* (OCDPS) del centro espacial aéreo Goddard de la NASA por producir y distribuir los datos de imágenes satelitales utilizados en este trabajo.

Al Dr. Eduardo Santamaría del Ángel por su ayuda con el procesamiento de las imágenes satelitales.

A los integrantes del grupo Popeye (PhytOPlankton Ecology tEam) de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC por sus comentarios y la experiencia adquirida.

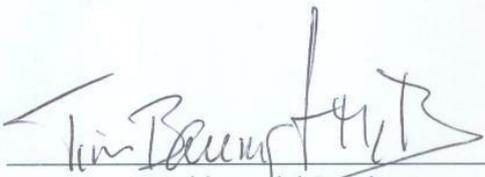
A todos los compañeros de la Facultad de Ciencias Marinas con los cuales he aprendido a lo largo del camino de estudiante.

A los profesores, personal administrativo y demás trabajadores de la Facultad de Ciencias Marinas.

“DISTRIBUCIÓN DE LOS HUEVOS DE SARDINA (*Sardinops sagax*) Y ANCHOVETA
(*Engraulis mordax*) EN LAS ISLAS CORONADO-BAJA
CALIFORNIA (FEBRERO, ABRIL 2006).”

T E S I S
QUE PRESENTA:
NADIA LUCÍA LÓPEZ TEJADA

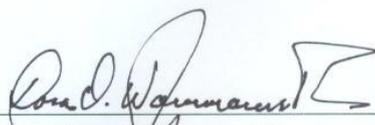
APROBADA POR:



Presidente del Jurado
Dr. Timothy R. Baumgartner McBride



Sinodal Propietario
Dr. Eduardo Santamaría del Ángel



Sinodal Propietario
M.C. Dora O. Waumann Rojas

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Aspectos generales	2
1.2 Distribución de los huevos	3
1.3 Desove y su relación con las variables físicas y biológicas.	4
2. HIPÓTESIS	5
3 OBJETIVOS	5
3.1 Objetivo general	5
3.2 Objetivos específicos	5
4 MATERIALES Y MÉTODOS	6
4.1 Área de estudio	6
4.2 Procesamiento y análisis de los datos.	7
4.2.1 Origen de los datos	7
4.2.1.1 Densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta.	7
4.2.1.2 Temperatura superficial del mar (SST_{SAT}) y concentración de clorofila- a ($CHL-a_{SAT}$).	9
4.2.2 Parámetros de la densidad de los huevos.	10
4.2.3 Mapas de distribución	10
4.2.4 Análisis estadísticos	11
5 RESULTADOS	15
5.1 Densidad y proporción de los huevos de la sardina y la anchoveta.	15
5.2 Distribución de los huevos en febrero del 2006.	16
5.3 Distribución de los huevos en abril del 2006.	18
5.4 Variación espacial y temporal de la SST_{SAT} y la concentración de la $CHL-a_{SAT}$ en la zona de estudio.	20
5.4.1 Temperatura Superficial del mar	20
5.4.2 Concentración de Clorofila- a	21
5.5 Relación de la SST_{SAT} y la concentración de $CHL-a_{SAT}$ de las masas de agua	22

	neríticas y oceánicas con respecto a la densidad de huevos de la sardina y la anchoveta.	
5.5.1	Relación de la SST _{SAT} con respecto a la densidad de los huevos.	22
5.5.2	Relación de la concentración de CHL- α _{SAT} con respecto a la densidad de los huevos.	23
5.6	Importancia de la SST _{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT} en la distribución de huevos.	24
5.6.1	Primer modelo: Sardina – SST _{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT}	24
5.6.2	Segundo modelo: Anchoveta – SST _{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT}	25
5.7	Asociación entre los huevos de la anchoveta y la sardina con variables cualitativas: grupo, zona, periodo de estudio y tipo de agua de acuerdo a su categoría de concentración de CHL- α _{SAT} .	26
6	DISCUSIONES	27
6.1	Distribución temporal	30
6.2	Distribución espacial	30
6.3	Relación entre la SST _{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT} con los huevos de la sardina y la anchoveta.	32
7	CONCLUSIONES	34
8	LITERATURA CITADA	35
	ANEXO	43

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del área de estudio. https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/bathymetry/ (modificado).	7
Figura 2. Islas Coronado y el área marina circundante. Batimetría y ubicación de las estaciones de muestreo seleccionadas: Los cuadros rojos señalan las 45 estaciones correspondientes del 2 al 4 de febrero; los asteriscos azules a las 57 estaciones correspondientes del 7 al 10 de abril. Las líneas continuas indican las isobatas de 10, 30, 50, 70, 100, 200, 500, 1000 y 1200 m.	8
Figura 3. Distribución y densidad de los huevos para a) la sardina y b) la anchoveta, del 2 al 4 de febrero del 2006. Los cuadros rojos indican la localización de las estaciones.	17
Figura 4. Distribución y densidad de los huevos para a) la sardina y b) la anchoveta, del 7 al 10 de abril del 2006. Los puntos azules indican la localización de las estaciones.	19
Figura 5. Mapa de SST _{SAT} en Islas Coronado correspondientes a los meses de a) febrero y b) abril de la zona de estudio. Para el mapa de SST _{SAT} de febrero se muestran las isoterms de 14, 14.5 y 15 °C. Para el mapa de SST _{SAT} de abril se muestran las isoterms de 14; 14.5; 15; 15.5 y 16 °C. Las zonas blancas corresponden a áreas sin dato. c) comparación de los valores de SST _{SAT} asociados a las estaciones entre ambos meses.	20
Figura 6. Mapa de concentración de CHL- a_{SAT} correspondientes a los meses de a) febrero y b) abril de la zona de estudio. Las líneas de contorno muestran los valores de concentración de clorofila-a de 0.5, 1, 2, 3, 5 y 10 mg/m ³ . c) Comparación de los valores de concentración de CHL- a_{SAT} asociados a las estaciones entre ambos meses.	21
Figura 7. Comparación de los valores de SST _{SAT} entre las estaciones neríticas y oceánicas, para febrero (Mann-Whitney: U=35; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=-3.06$; p-valor<0.05; se rechazó la Ho) y abril (Mann-Whitney: U=117; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=-2.47$; p<0.05; se rechazó la Ho) del 2006, y su relación con el promedio de la densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta.	22
Figura 8. Comparación de los valores de concentración de CHL- a_{SAT} entre las estaciones neríticas y oceánicas, para febrero (Mann-Whitney: U=28;	23

$Z_{\text{Tab}}=1.96 < Z_{\text{Calc}}=-3.27$; p-valor <0.05 ; se rechazó la H_0) y abril (Mann-Whitney: $U=1$; $Z_{\text{Tab}}=1.96 < Z_{\text{Calc}}=-4.90$, p-valor <0.05 ; se rechazó la H_0) del 2006, y su relación con el promedio de la densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta.

Figura 9. Gráfico factorial del ACM. Las dos primeras dimensiones explican el 82.39% de la varianza. Variable cuantitativa: densidad de huevos. Variables cualitativas: grupo (sardina, anchoveta), zona (nerítica, oceánica), periodo de estudio (febrero, abril) y tipo de agua de acuerdo a su categoría de $\text{CHL-}\alpha_{\text{SAT}}$ (mesotrófica; ≥ 0.2 y $< 1 \text{ mg/m}^3$, eutrófica: $\geq 1 \text{ mg/m}^3$). 26

Figura 10. Mapa de distribución de los huevos de anchoveta (*Engraulis mordax*) muestreados con equipo CUFES (*Continuous underway fish egg sampler*) por los R/V David Starr Jordan y Oscar Dyson. En este mapa se muestra la temperatura superficial del mar (SST_{SAT}) del 6 de abril al 8 de mayo del 2006. Las líneas rojas indican el transecto del muestreo. Las barras de color negro indican la densidad de los huevos. https://swfsc.noaa.gov/uploadedImages/Divisions/FRD/Small_Pelagics/Sardine/cufes2006.png?n=9730 Modificado del mapa de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). 29

Figura 11. Perfil vertical de la velocidad de la corriente en el transecto “línea 1” (Fig. 11a) del crucero oceanográfico Islas Coronado realizado en febrero (ISCOR-0602). b) Aparente corriente sub-superficial que fluye por el borde de la plataforma continental hacia el Cañón Coronado. Tomado de Baumgartner (2006). 31

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla I. Características diagnósticas para la identificación de huevos de sardina (<i>Sardinops sagax</i>) y anchoveta (<i>Engraulis mordax</i>).	9
Tabla II. Proporciones de los huevos de sardina y anchoveta frente a otras especies. Densidad (huevos/m ³), frecuencia (%) y dominancia numérica (%) de huevos colectados en febrero y abril.	15
Tabla III. Coeficientes y sus valores de probabilidad para el primer modelo donde la variable respuesta es densidad de huevos de sardina y las variables predictivas son SST _{SAT} y CHL- <i>a</i> _{SAT} (Asterisco: significancia estadística).	24
Tabla IV. Coeficientes y sus valores de probabilidad para el segundo modelo donde la variable respuesta es densidad de huevos de anchoveta y las variables predictivas son SST _{SAT} y CHL- <i>a</i> _{SAT} . (Asterisco: significancia estadística).	25

1. INTRODUCCIÓN

Las sardinas (*Sardinops*) y anchovetas (*Engraulis*) son peces pelágicos menores que prosperan en muchas regiones productivas de los océanos, tales como los principales sistemas de surgencia costera, los cuales se localizan en el borde oriental de las cuencas oceánicas, consecuencia de los giros subtropicales y están asociados con corrientes frías e.g. Corriente de California, Corriente de Benguela, Corriente de Canarias y Corriente de Humboldt (Parrish et al. 1989, Checkley et al. 2009).

La sardina y la anchoveta generan una alta biomasa y por lo tanto adquieren importancia en dos aspectos. Son un recurso fundamental para el sector pesquero (Parrish et al. 1989, Checkley et al. 2009). Desde el enfoque ecológico establecen un enlace vital de transferencia de la energía del plancton a niveles tróficos superiores como son los peces depredadores de gran tamaño, aves y mamíferos marinos (Parrish et al. 1989, Checkley et al. 2009, Garrido y van der Ligen 2014).

A pesar de las semejanzas en sus características biológicas y ecológicas, las sardinas y anchovetas ocupan distintos hábitats dentro de una región y responden de manera diferente a los cambios de las condiciones del océano (Checkley et al. 2009).

El estudio de los huevos y larvas de estos organismos, brinda información relevante sobre sus patrones de desove, para entender la variabilidad de sus poblaciones en cuanto a las estrategias de historia de vida (Aoki y Murayama 1993), para estimar los tamaños poblacionales (Lasker 1985) y para contribuir al análisis de la dinámica trófica en el ambiente pelágico (Theilacker et al. 1993, Brodeur et al. 2008).

1.1. Aspectos generales

En la costa occidental de Norteamérica, la sardina (*Sardinops sagax*) y la anchoveta (*Engraulis mordax*) se distribuyen geográficamente desde Columbia Británica en Canadá, hasta el sur de la Península de Baja California y el Golfo de California, México asociadas a las zonas de alta productividad biológica (Parrish et al. 1989, Schwartzlose et al. 1999, Checkley et al. 2009).

Como patrón general las sardinias están asociadas con aguas oceánicas donde la surgencia es menos intensa favoreciendo la presencia del plancton de menor tamaño acorde con el mecanismo de filtración con que se alimentan. En contraste las anchovetas tienen preferencia por las aguas neríticas en que la surgencia es más intensa, el aporte de nutrientes a la zona eufótica es mayor y domina el plancton de mayor tamaño que favorece a sus hábitos alimenticios carnívoros (Rykaczewski y Checkley 2008).

Las condiciones cálidas y frías en el océano se han asociado con los periodos de alta abundancia poblacional de la sardina y la anchoveta, respectivamente (Checkley et al. 2009).

La sardina presenta tres subpoblaciones cuya distribución geográfica depende en gran medida del tamaño poblacional y comportamiento migratorio latitudinal de esta especie (Checkley et al. 2009). La subpoblación de distribución norte durante los periodos de alta abundancia poblacional se extiende desde los 57 °N (Alaska) hasta los 30 °N (Península de Baja California); un segundo grupo se distribuye desde los 34 °N (sur de California) hasta los 23 °N (Baja California Sur) y un tercer grupo se presenta en el Golfo de California (Schwartzlose et al. 1999, Smith 2005, Félix-Uraga et al. 2005; Checkley et al. 2009). No se ha encontrado que estas subpoblaciones sean genéticamente distintas (Hedgecock et al. 1989, Lecomte et al. 2004) correspondiendo su identificación a un requerimiento de manejo pesquero (Cushing 1968). Estos grupos de sardina migran distribuyéndose estacionalmente, se mueven hacia el sur con el inicio del invierno y hacia el norte con el inicio del verano (Félix-Uraga et al. 2004).

Los cambios decadales en la abundancia de la sardina se han asociado con la Oscilación decadal del Pacífico (ODP). Con respecto a la temperatura, en condiciones cálidas (índice positivo del PDO) la población de la sardina es abundante y es la subpoblación del norte la de mayor abundancia (Chávez et al. 2003, Checkley et al. 2009). Los cambios poblacionales de esta especie también están asociados al modo de flujo de la Corriente de California (MacCall 2002). Un flujo débil y lento de la Corriente de California provoca la formación de meandros y remolinos que proporcionan un mecanismo de expansión del hábitat de desove de la sardina hacia la zona costera lo que evita su advección hacia zonas oceánicas (MacCall 2002, Nieto et al. 2014).

En cuanto a la anchoveta, en el Pacífico oriental esta especie se ha dividido en cuatro subpoblaciones. La subpoblación norte se presenta desde los 49 °N (Canadá) hasta los 35 °N (centro de California); la subpoblación central, desde los 35 °N (California) hasta los 26 °N (sur de Baja California); la subpoblación sur, desde los 27 °N hasta los 23 °N (Baja California Sur) y la cuarta subpoblación se localiza en el Golfo de California (Vrooman et al. 1981, Schwartzlose et al. 1999, Checkley et al. 2009). La identificación de estas subpoblaciones obedece a requerimientos pesqueros debido a que se ha detectado poca estructuración genética entre estos grupos (Lecomte et al. 2004) aunque han reportado una alta variabilidad genética entre cardúmenes (Hedgecock et al. 1994). Estacionalmente la anchoveta migra en invierno lejos de la costa en zonas profundas y en primavera se dirige a zonas costeras someras (Ahlstrom 1959, Picquelle y Hewitt 1983). Al igual que la sardina, la anchoveta también presenta cambios en su abundancia poblacional asociados con la ODP, sin embargo, la expansión o contracción de la distribución de la anchoveta no tiene tendencia latitudinal y su mayor abundancia se asocia con fases frías (ODP negativo) en el Pacífico Oriental (Lluch-Belda et al. 1989, Chávez et al. 2003).

1.2. Distribución de los huevos.

Las sardinas y anchovetas desovan durante la noche, los huevos gracias a su flotabilidad positiva se mantienen en las primeras capas del océano (Bolin 1936, Ahlstrom 1943, Ahlstrom 1959, Sundby 1983). Los huevos de estos peces ajustan su flotabilidad de acuerdo a la salinidad del medio marino, factor que influye en la distribución vertical de estos (Sundby y Kristiansen 2015). La distribución vertical de los huevos de estos peces también está afectada por la turbulencia inducida por el viento (Sundby 1991). En cuanto a su distribución horizontal, en un principio esta se asocia al mecanismo de desove, las sardinas los colocan en parches de cientos de metros a kilómetros, mientras que las anchovetas los desovan en parches más pequeños y numerosos de decenas a cientos de metros (Smith y Hewitt 1985, Lo et al. 2001, Curtis 2004).

La sardina en el Pacífico nororiental presenta tres centros de desove (California, centro de la Península de Baja California y en el Golfo de California) cuya estacionalidad y distribución geográfica ha contribuido en describir la separación geográfica de sus subpoblaciones (Smith 2005). El primer centro de desove corresponde a la subpoblación norte de sardina en los 35 °N (California) de abril a junio (Ahlstrom 1960) y con mayor intensidad de mayo a junio (Hernández-Vázquez et al., 1994), extendiéndose lejos de la costa durante La Niña y replegándose hacia la costa durante El Niño (Lynn 2003, Nieto et al. 2014). En los años cálidos la temporada de desove de esta subpoblación ocurre de enero a junio (Ahlstrom 1960). El segundo centro de desove ocurre a los 28 °N (Punta Eugenia en Baja California Sur) principalmente de agosto a octubre

(Hernández-Vázquez 1994). El tercer centro de desove se presenta en el Golfo de California, principalmente de noviembre a mayo, siendo esta actividad más intensa de diciembre a enero (Hammann et al.1998, Aceves-Medina et al. 2004).

La anchoveta presenta dos centros de desove, uno a los 34 °N (al Sur de California) y el otro a los 28 °N (Punta Eugenia en Baja California Sur) (Hernández-Vázquez 1994), para ambos la temporada de desove abarca de diciembre hasta abril (Hunter y Macewicz 1980, Hernández-Vázquez et al.1994). El primer centro de desove alcanza el 70 % frente al sur de California de febrero a abril (Parrish et al. 1986).

1.3. El desove y su relación con las variables físicas y biológicas.

Varios estudios han documentado la relación de la distribución del desove de la sardina y anchoveta con las variables físicas y datos de productividad primaria (Fiedler 1983, Lluch-Belda et al. 1991, Checkley et al. 2000, Reiss et al. 2008).

Frente a California, los desoves de la sardina se han reportado en aguas superficiales oceánicas de transición localizadas en el borde oriental de la Corriente de California. Se caracterizan estos cuerpos de agua por tener temperaturas que oscilan de los 12 °C a los 15 °C, la concentración de clorofila-*a* con valores menores a 1.2 mg/m³, con una salinidad menor (33.2 psu) que las aguas neríticas, bajo condiciones de niveles intermedios de surgencia de 100 a 250 del índice de Bakun (Fiedler 1983, Lluch-Belda et al. 1991, Checkley et al. 2000, Reiss et al. 2008).

Los desoves de anchoveta se presentan en aguas neríticas con valores en superficie de 12.5 °C a 16.5 °C, concentración de clorofila-*a* superiores a 0.5 mg/m, salinidad mayor a 33.2 psu, influenciadas por fenómenos de surgencia, de intensidad baja y alta (menores a 100 y mayores a 250 del índice de surgencia de Bakun) (Fiedler 1983, Lluch-Belda et al. 1991, Checkley et al. 2000, Reiss et al. 2008).

Fiedler (1983) y Reiss et al. (2008) señalaron que es posible estudiar los huevos de estas especies mediante el uso de datos por satélite al proporcionar información de patrones generales de desove asociados con la temperatura y la concentración de pigmentos fotosintéticos.

Weber y McClatchie (2010), al incorporar a su modelo de predicción variables que aportaron información de la columna de agua, respecto al índice del flujo geostrofico y el valor máximo de clorofila-*a* en la profundidad, agregaron un mayor poder predictivo al modelo de desove de la anchoveta en comparación al modelo de Reiss et al. (2008).

2. HIPÓTESIS

El contraste en las condiciones oceanográficas en la zona marina circundante a las Islas Coronado entre febrero y abril fueron las responsables para la mayor abundancia de huevos de sardina en febrero y la mayor producción de huevos de anchoveta en abril.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la distribución y la densidad de los huevos de sardina y anchoveta alrededor de las Islas Coronado durante febrero y abril del 2006 y su relación con las condiciones oceanográficas.

3.2. Objetivos específicos

- Describir la importancia de la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila-*a* en la distribución y densidad de los huevos de sardina y anchoveta.
- Comparar las características del área de estudio entre febrero y abril del 2006, en base a la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-*a*.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la costa nororiental de la Península de Baja California, en el noroeste de México, entre las latitudes 32° 17' 24" a 32° 33' norte (N) y entre las longitudes 117° 24' a 117° 3' oeste (W) (Fig.1).

Las Islas Coronado son un grupo de tres islas (Coronado Norte, Coronado Medio y Coronado Sur) y un islote más pequeño, que se encuentran escalonadas a lo largo de una tendencia noroeste. Se localizan aproximadamente a 12 Km al oeste de la costa de Rosarito, Baja California; 25 Km al suroeste de San Diego, California (Lamb 1979); y bordeando la plataforma continental, que en promedio presenta 20 Km de ancho (Carrillo-Berumen 1998).

La batimetría alrededor de las Islas Coronado puede cambiar abruptamente. La plataforma submarina somera que se localiza circundante a las islas está bordeada 7 km al norte por el Cañón submarino Coronado y a 3 Km al oeste por el quiebre del Escarpe de Coronado, con 40 % de pendiente, hasta llegar a la Depresión de San Diego, que puede alcanzar los 1100 m de profundidad. El suelo marino entre las islas y la línea de costa está a menos de 50 metros de profundidad (Lamb 1979) y en general está compuesto de roca basáltica, material no consolidado y arenas (Carillo-Berumen 1998).

El ambiente marino circundante presenta una gran variabilidad en las corrientes superficiales las cuales pueden cambiar de dirección e intensidad en cuestión de horas y desarrollar giros o remolinos (Durazo-Arvizu 2007).

La Cuenca del Sur de California (CSC), es una extensa área de compleja topografía local, delimitada geográficamente desde Punta Concepción, EUA hasta Punta Colonet, México (Dailey et al. 1993). A nivel de mesoescala, la circulación superficial en esta región varía interanualmente por el Giro Ciclónico del Sur de California, compuesto por la Corriente de California que tiene dirección litoral hacia el sur y una Contracorriente de California con dirección norte (Batteen 1997, Dong et al. 2009). A una escala menor esta zona presenta remolinos ciclónicos, relacionados con la topografía local y el forzamiento del viento, que hacen variar la circulación de acuerdo con y entre las estaciones del año (Dong et al. 2009). El ecosistema marino dentro de la CSC presenta alta productividad biológica (Steneck et al. 2002; Torres-Moye et al. 2013).

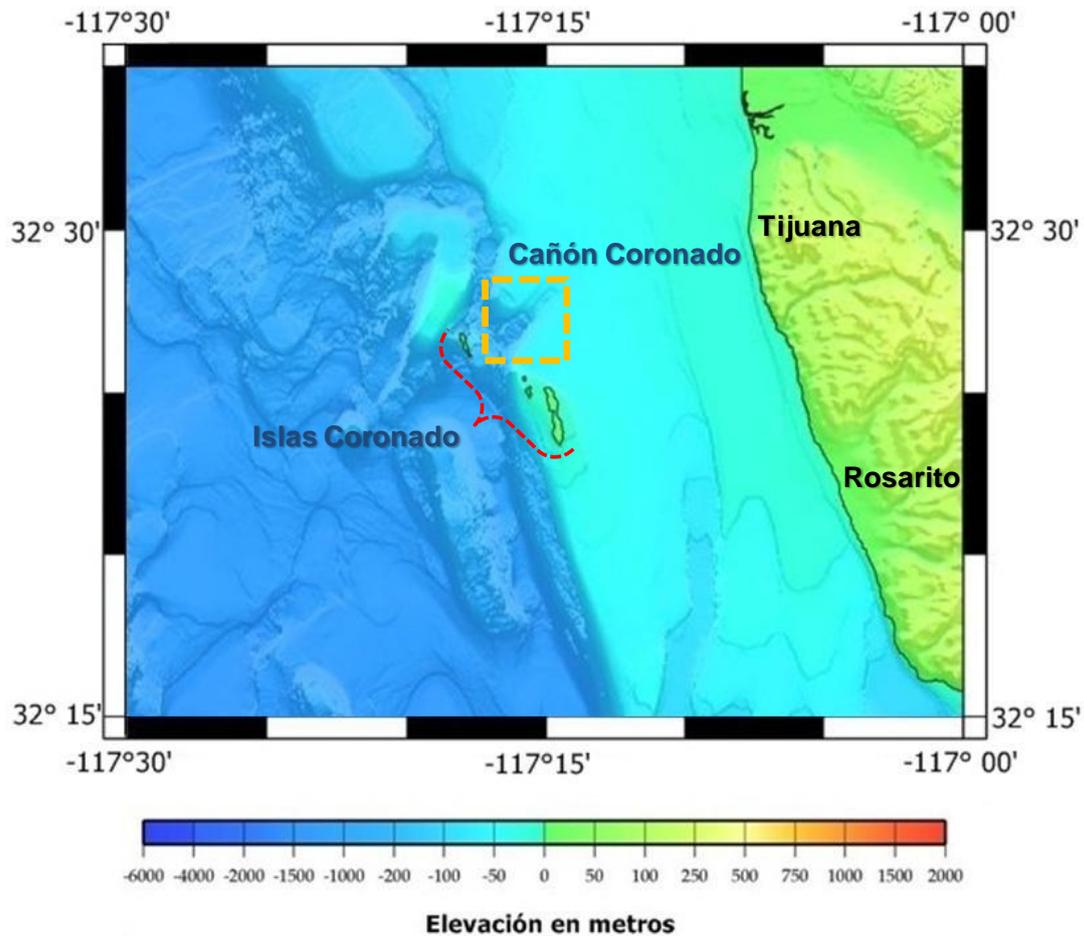


Figura 1. Localización del área de estudio. <https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/bathymetry/> (modificado).

4.2. Procesamiento y análisis de los datos.

4.2.1. Origen de los datos

4.2.1.1. Densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta

Los datos de densidad de los huevos de la sardina y anchoveta provienen de los registros de dos cruceros oceanográficos que fueron parte del proyecto “Censos de ictioplancton en el área de las Islas Coronados, Baja California, México, durante invierno tardío y primavera, 2006” financiado por la compañía Chevron Texaco. Estos cruceros fueron realizados por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) a bordo del Buque Oceanográfico (B/O) Francisco de Ulloa, del 2 al 5 de febrero y del 7 al 10 de abril del 2006.

De los cruceros oceanográficos se utilizaron los resultados del muestreo a tres metros de profundidad obtenidos por el equipo CUFES (*Continuous Underway Fish Egg Sampler*, Checkley et al. 1997) circunscritos dentro de los 12 Km de radio de las Islas Coronado. De acuerdo con los

registros, los muestreos CUFES se desarrollaron a una velocidad constante de 6 nudos durante 25 minutos, lo cual resultó en un tramo de muestreo aproximado de 2.5 mn. Los muestreos fueron georreferenciados al punto medio de su recorrido y que se denominó “estación” (Fig. 2).

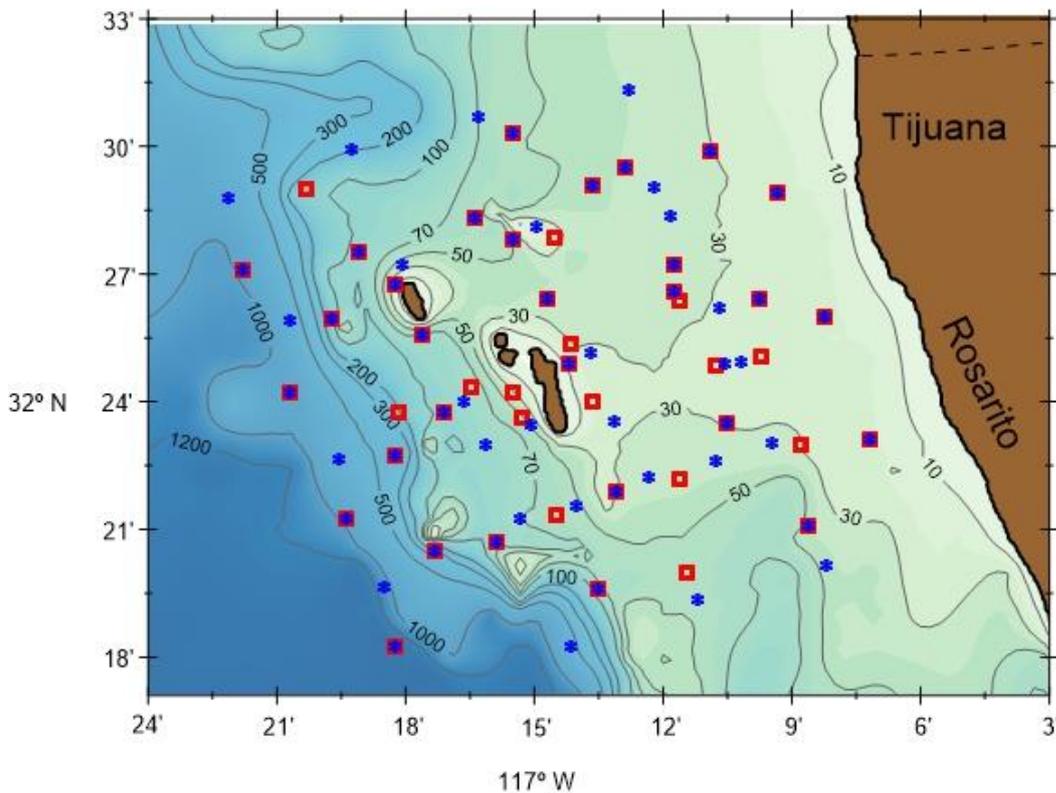


Figura 2. Islas Coronado y el área marina circundante. Batimetría y ubicación de las estaciones de muestreo seleccionadas: Los cuadros rojos señalan las 45 estaciones correspondientes del 2 al 4 de febrero; los asteriscos azules a las 57 estaciones correspondientes del 7 al 10 de abril. Las líneas continuas indican las isobatas de 10, 30, 50, 70, 100, 200, 500, 1000 y 1200 m.

Las muestras colectadas por sistema CUFES fueron analizadas dentro de las instalaciones del CICESE por el personal del laboratorio de Oceanografía y Peces Pelágicos (OCEANOPP = ex-Paleoceanografía) del Departamento de Oceanografía Biológica, tan pronto fueron obtenidas las muestras (febrero y abril del 2006).

El análisis se realizó a partir del total o una fracción de la muestra original. En caso de fraccionarse la muestra se utilizó un separador Folsom hasta 1/16 en caso de ser necesario. El análisis de las muestras se desarrolló con un microscopio estereoscópico y la identificación de los huevos de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis mordax*) se realizó de acuerdo a los criterios señalados por Moser (1996).

La fecha de inicio de este trabajo fue en octubre del 2014, con 102 muestras del total obtenido, 45 de ellas datadas del 2 al 4 de febrero (símbolos rojos) y 57 del 7 al 10 de abril (símbolos azules) del 2006 (Fig. 2).

Para verificar los conteos originales de los huevos de sardina y anchoveta de los registros anotados en las bitácoras del 2006, se seleccionaron de forma aleatoria la mitad de las muestras y se realizó la identificación en base a los criterios descritos por Moser (1996) (Tabla 1).

Tabla 1. Características diagnósticas para la identificación de huevos de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis mordax*).

Sardina	Anchoveta
- Forma esférica (1.3 mm a 2.1 mm de diámetro).	- Forma elipsoidal (1.23-1.55 x 0.65-0.82 mm).
- Corion delgado, frágil y liso.	- Corion transparente y liso.
- 1 glóbulo de aceite de 0.12-0.19 mm de diámetro.	- Ningún glóbulo de aceite.
- Vitelo segmentado.	- Vitelo segmentado.
- Pigmentos con forma de puntos a lo largo del dorso del embrión en un estadio embrionario avanzado, posterior al desprendimiento de la cola del embrión del saco vitelino.	- Ningún pigmento.
- Amplio espacio perivitelino.	

Tomado de Moser (1996).

Las densidades de huevos de sardina y anchoveta fueron calculadas al dividir el número de huevos entre el volumen de agua filtrada en el muestreo. Los datos de densidad de huevos fueron estandarizados a una base común en términos del número de huevos existentes en 1 m³ de agua filtrada. El cálculo de volumen de agua filtrada se determinó mediante la lectura del tiempo de bombeo a una tasa de 0.64 m³/min (Checkley et al. 1997, Loya-Salinas 2011).

4.2.1.2. Temperatura superficial del mar (SST_{SAT}) y concentración de clorofila-*a* (CHL-*a*_{SAT}).

Los datos de temperatura superficial del mar (SST_{SAT}) y concentración de clorofila-*a* (CHL-*a*_{SAT}) corresponden a imágenes satelitales registradas por el sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo del satélite Aqua (EOS PM). Este material fue producido y distribuido por OCDPS (*Ocean Color Data Processing System*) del centro espacial aéreo Goddard

de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) y corresponde a productos de archivos de acuerdo a la convención del nivel 1B al 2.

Las imágenes satelitales son de resolución espacial de 1 km/píxel (Local AreaCover (LAC)), fueron procesadas usando algoritmos estándares del programa SeaDAS ver. 5.5 y construidas en base a una proyección cilíndrica equidistante.

Mediante el software WIM (*Windows Image Manager*) (<http://www.wimsoft.com>), se seleccionaron las imágenes satelitales de pase óptimo y sin elevada nubosidad sobre el área de estudio 32° 17.4' a 32° 33' N y 117° 24' a 117° 3' W (1560 píxeles por imagen) comprendidas del 31 de enero al 6 de febrero y 5 al 11 de abril del 2006.

Las imágenes satelitales seleccionadas correspondieron a los días 30 y 31 de enero, 1 y 3 de febrero y 6; 8 y 11 de abril del 2006. Con las imágenes seleccionadas posteriormente mediante el software WIM se realizaron compuestas satelitales de SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} para los dos tiempos de estudio.

Los valores de SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} asociadas a la densidad de huevos de sardina y anchoveta se obtuvieron a través del software SURFER 12.0 mediante la opción *Residuals* previo reticulado para los datos de SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} mediante el método de interpolación *Kriging* con espaciamento de 0.25 Km.

4.2.2. Parámetros de la densidad de los huevos.

A partir de los datos de densidad de huevos de sardina y anchoveta se determinaron los siguientes parámetros:

- Relación porcentual del número de muestras con huevos de la especie, en función del número total de estaciones con presencia de huevos de peces pelágicos.
- Relación porcentual del número de muestras con huevos de la especie, en función del número total de estaciones.
- Relación porcentual del número de huevos de la especie respecto al total de huevos de peces pelágicos colectados.

4.2.3. Mapas de distribución

Se elaboraron mapas de distribución y densidad de huevos de sardina y anchoveta utilizando el software SURFER 12.0 mediante el método de interpolación *Kriging* con espaciamento de 0.25 Km.

Asimismo, se graficaron mapas de SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} para los dos tiempos de estudio mediante el software *Ocean Data View 4* (Ocean Data View 4 program. Schlitzer R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2016).

4.2.4. Análisis estadísticos

Para buscar la asociación entre la densidad de huevos de cada especie y cada variable oceanográfica: SST_{SAT} y CHL- α _{SAT}, se utilizaron los diagramas de cajas y bigotes del programa PAST 2.17c (Hammer et al. 2001).

Las pruebas de Wilcoxon y U de Mann-Whitney se realizaron luego de comprobarse que los datos no presentaran distribución normal (Apéndice pág. 45-47). (PAST 2.17c Hammer et al. 2001).

Para comparar las densidades compartidas entre huevos de sardina y anchoveta de una misma estación, durante los dos periodos de estudio, se aplicó la prueba de Wilcoxon.

Para encontrar las diferencias espaciales y temporales significativas para las variables oceanográficas, se aplicó la prueba de U de Mann Whitney debido a que se compararon dos muestras no relacionadas periodo de estudio y la localización (zona nerítica y zona oceánica).

Se pusieron a prueba las siguientes hipótesis (nivel de significancia=0.05):

- a) Comparación de la densidad de huevos de sardina con la densidad de huevos de anchoveta durante febrero

Prueba de Wilcoxon (grupos relacionados):

- Hipótesis nula (H₀). La mediana de la densidad de los huevos de sardina en febrero es igual a la mediana de la densidad de los huevos de anchoveta en febrero.
- Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la densidad de los huevos de sardina en febrero no es igual a la mediana de la densidad de los huevos de anchoveta en febrero.

- b) Comparación de la densidad de huevos de sardina con la densidad de huevos de anchoveta durante abril.

Prueba de Wilcoxon (grupos relacionados):

- Hipótesis nula (H₀). La mediana de la densidad de los huevos de sardina en abril es igual a la mediana de la densidad de los huevos de anchoveta en abril.
- Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la densidad de los huevos de sardina en abril no es igual a la mediana de la densidad de los huevos de anchoveta en abril.

- c) Comparación de la SST_{SAT} de febrero con la SST_{SAT} de abril.
 Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados).
- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la SST_{SAT} de febrero es igual a la mediana de la SST_{SAT} de abril.
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la SST_{SAT} de febrero no es igual a la mediana de la SST_{SAT} de abril.
- d) Comparación de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero con la $Chl-a_{SAT}$ de abril
 Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):
- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril.
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero no es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril.
- e) Comparación de la SST_{SAT} de febrero de la zona costera con la SST_{SAT} de febrero de la zona oceánica.
 Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):
- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la SST_{SAT} de febrero de la zona costera es igual a la mediana de la SST_{SAT} de febrero de la zona oceánica
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la SST_{SAT} de febrero de la zona costera no es igual a la mediana de la SST_{SAT} de febrero de la zona oceánica
- f) Comparación de la SST_{SAT} de abril de la zona costera con la SST_{SAT} de abril de la zona oceánica.
 Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):
- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la SST_{SAT} de abril de la zona costera es igual a la mediana de la SST_{SAT} de abril de la zona oceánica.
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la SST_{SAT} de abril de la zona costera no es igual a la mediana de la SST_{SAT} de abril de la zona oceánica.
- g) Comparación de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona costera con la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona oceánica.
 Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):

- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona costera es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona oceánica.
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona costera no es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de febrero de la zona oceánica.
- h) Comparación de la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona costera con la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona oceánica.
- Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados).
- Hipótesis nula (H_0). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona costera es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona oceánica.
 - Hipótesis alterna (H_a). La mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona costera no es igual a la mediana de la $Chl-a_{SAT}$ de abril de la zona oceánica.

Para evaluar la importancia de cada variable oceanográfica (SST_{SAT} y $CHL-a_{SAT}$) en cada especie se realizaron análisis de regresión múltiple (ARM). El desarrollo de este análisis requirió descartar la colinealidad entre las variables predictoras mediante análisis de regresión simple entre SST_{SAT} y $CHL-a_{SAT}$. Posteriormente los datos originales fueron transformados a la función RANK (MINITAB 16) para el posterior cálculo de los coeficientes de correlación de Spearman no paramétrico (Análisis de Datos, Excel).

Se utilizó un Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) para explorar posibles asociaciones entre la variable respuesta: DENSIDAD DE HUEVOS de cada especie, y los factores:

- Periodo de estudio (febrero, abril)
- Zona (nerítica y oceánica)
- Categoría de concentración de $CHL-a_{SAT}$ (aguas oligotróficas $<0.2 \text{ mg/m}^3$; aguas mesotróficas $\geq 0.2 \text{ mg/m}^3$ a $<1 \text{ mg/m}^3$; aguas eutróficas $\geq 1 \text{ mg/m}^3$; Kahru y Mitchell 2000)
- Grupo (sardina, anchoveta)

El Análisis de Correspondencia Múltiple es un método multivariado exploratorio que estudia la relación entre variables según las distancias en puntos representados en un mapa de posicionamiento, trabaja con tablas de contingencia múltiple. Relaciona las variables cualitativas predictoras (factores) a una variable respuesta cuantitativa (STATISTICA 10).

En este análisis se contrastó la hipótesis nula que presupone la independencia entre las variables, mediante el estadístico χ^2 de Pearson:

- Hipótesis nula (H₀): Las variables son independientes entre sí
- Hipótesis alternativa (H_a): Existe una relación de dependencia entre las variables.

5. RESULTADOS

5.1. Densidad y proporción de los huevos de la sardina y la anchoveta.

En febrero los huevos de sardina, tuvieron una densidad total de 21.128 huevos/m³, tuvieron una frecuencia del 53.33 %.

En abril los huevos de sardina fueron escasos una densidad total de 0.345 huevos/m³, una frecuencia de 5.26 % y una dominancia del 0.06 %.

En febrero los huevos de anchoveta fueron escasos presentaron una densidad total de 1.351 huevos/m³, una frecuencia del 17.78 %, y dominancia numérica del 2.02 %.

En abril los huevos de anchoveta destacaron por su elevada densidad total de 435.687 huevos/m³, tuvieron una frecuencia del 100 % y la dominancia numérica fue de 77.19 %.

Tabla II. Proporciones de los huevos de sardina y anchoveta frente a otras especies. Densidad (huevos/m³), frecuencia (%) y dominancia numérica (%) de huevos colectados en febrero y abril.

Tiempo de estudio	Grupo	Densidad total	Densidad mínima	Densidad máxima	N° Sit. Muest. Positivos	¹ frecuencia (%)	² frecuencia (%)	Dominancia numérica (%)
						Sit. Muest. Positivos	Sit. Muest. Totales	
Febrero	Sardina	21.128	0	8.906	24	54.55	53.33	31.56
	Anchoveta	1.351	0	0.563	8	18.18	17.78	2.02
	Otros	44.461	0	7.272	44	100	97.78	66.42
Abril	Sardina	0.345	0	0.174	3	5.26	5.26	0.06
	Anchoveta	435.687	0.092	53.938	57	100	100	77.19
	Otros	128.399	0.125	12.568	57	100	100	22.75

¹Frecuencia en función del número total de estaciones con presencia de huevos de peces pelágicos.

²Frecuencia en función del número total de estaciones.

³Dominancia numérica en función del total de los huevos de peces pelágicos colectados.

5.2. Distribución de los huevos en febrero 2006.

Sardina

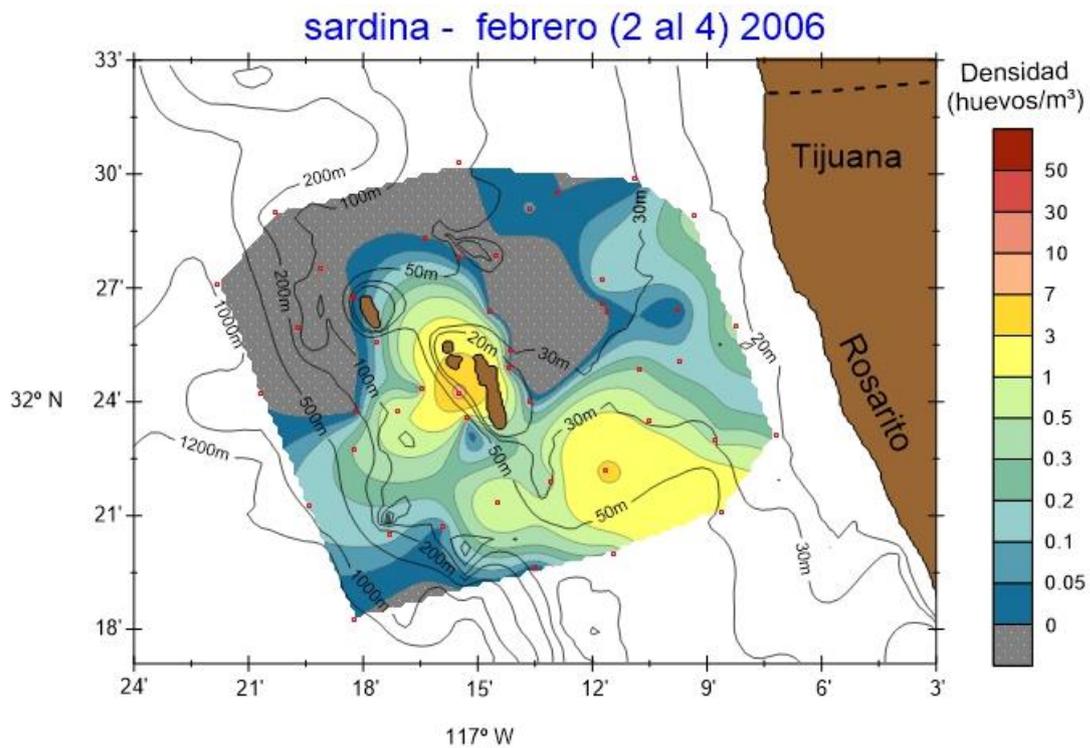
La sardina presentó dos núcleos de alta concentración de huevos. El núcleo mayor presentó valores con un intervalo de 1 huevo/m³ a 10 huevos/m³, se localizó a los 117° 15' 36" W, 32° 24' N, en aguas neríticas al oeste de las Islas Coronado entre las isóbatas de 20 m a 100 m. El otro núcleo presentó valores de 1 huevo/m³ a 7 huevos/m³ y se localizó en los 117° 10' 12 " W y 32° 21' 36" N, al sureste de las Islas Coronado entre las isobatas de 30 m y 50 m (Fig. 3a).

Anchoveta

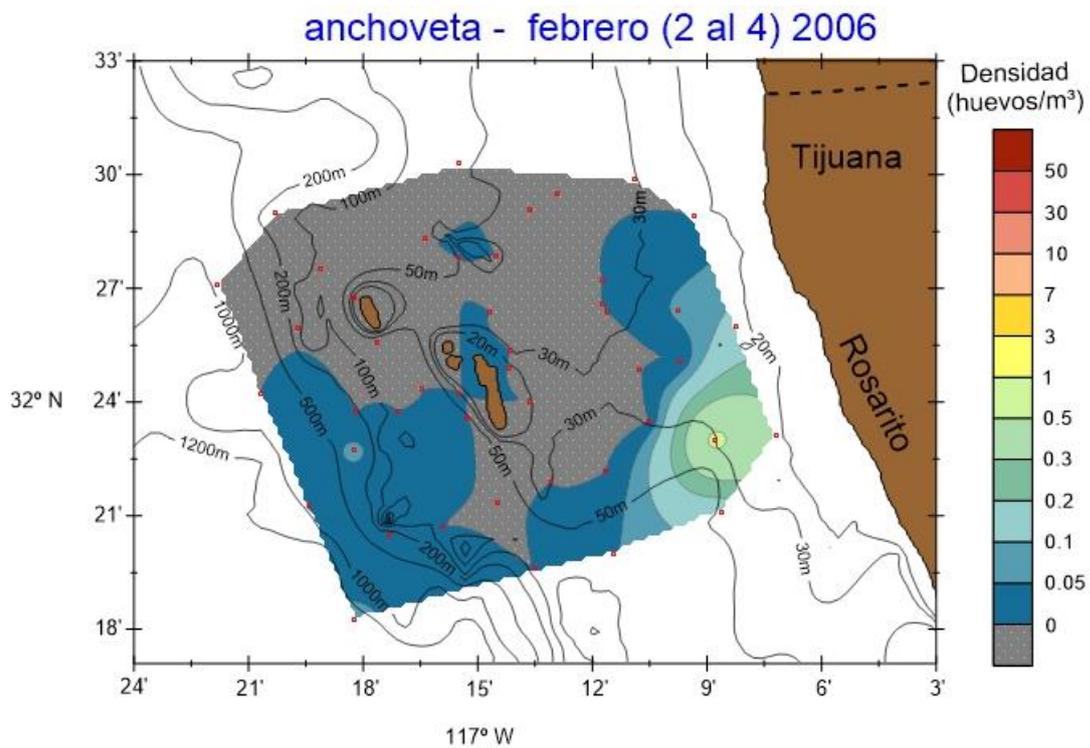
La anchoveta presentó un núcleo de alta concentración de huevos cuyos valores oscilaron en un intervalo de 0.2 huevos/m³ a 1 huevo/m³, localizado en los 117° 6' 54" W y 32° 22' 48" N, al sureste de las Islas Coronado entre las isóbatas de 20 m y 50 m (Fig. 3b).

Los huevos de sardina fueron más abundantes que los de anchoveta (Wilcoxon: $W=300$; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=4.287$; $p\text{-valor} < 0.05$; se rechazó la H_0) (escala de color, Fig. 3)

Ambas especies tuvieron presencia de huevos en la zona nerítica y ausencia de ellos al noreste de las Islas Coronado (Fig. 3).



(a)



(b)

Figura 3. Distribución y densidad de los huevos para a) la sardina y b) la anchoveta, del 2 al 4 de febrero del 2006. Los cuadros rojos indican la localización de las estaciones.

5.3. Distribución de los huevos en abril 2006.

Sardina

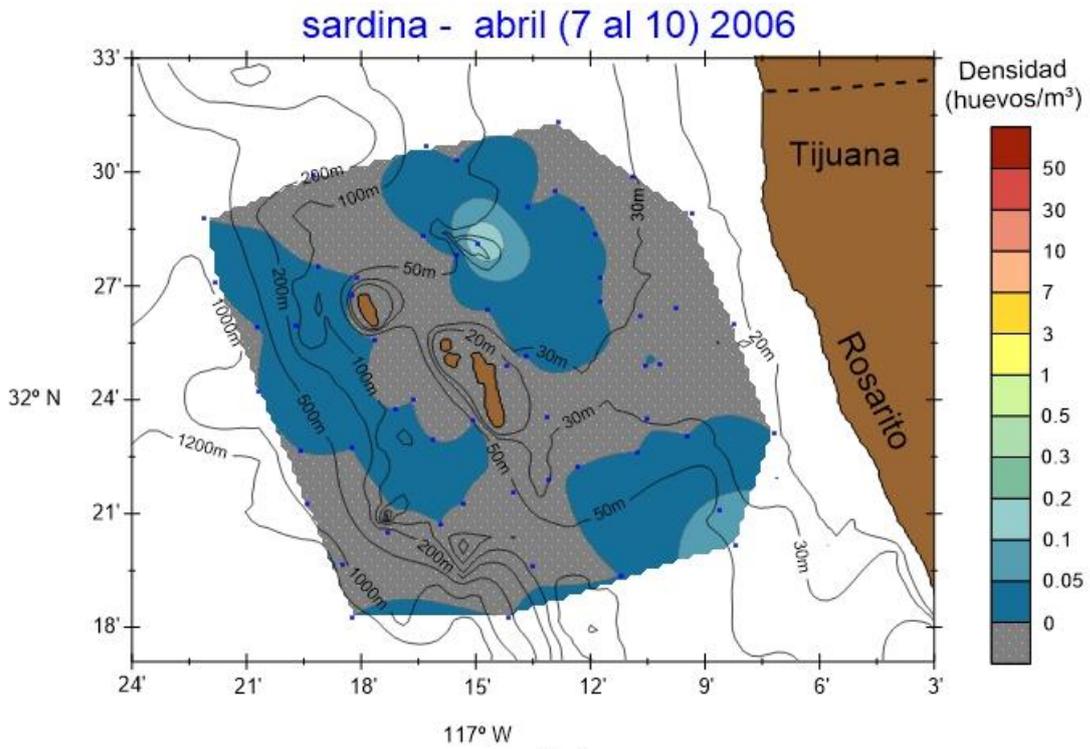
En abril los huevos de sardina fueron escasos se presentaron en densidades menores a 0.2 huevos/m³ en los 117° 15' W y 32° 28' 12" N y los 117° 8' 24" W y 32° 20' 24" N, al noreste y sureste de las Islas Coronado entre las isobatas de 30m y 50 m (Fig.4a).

Anchoveta

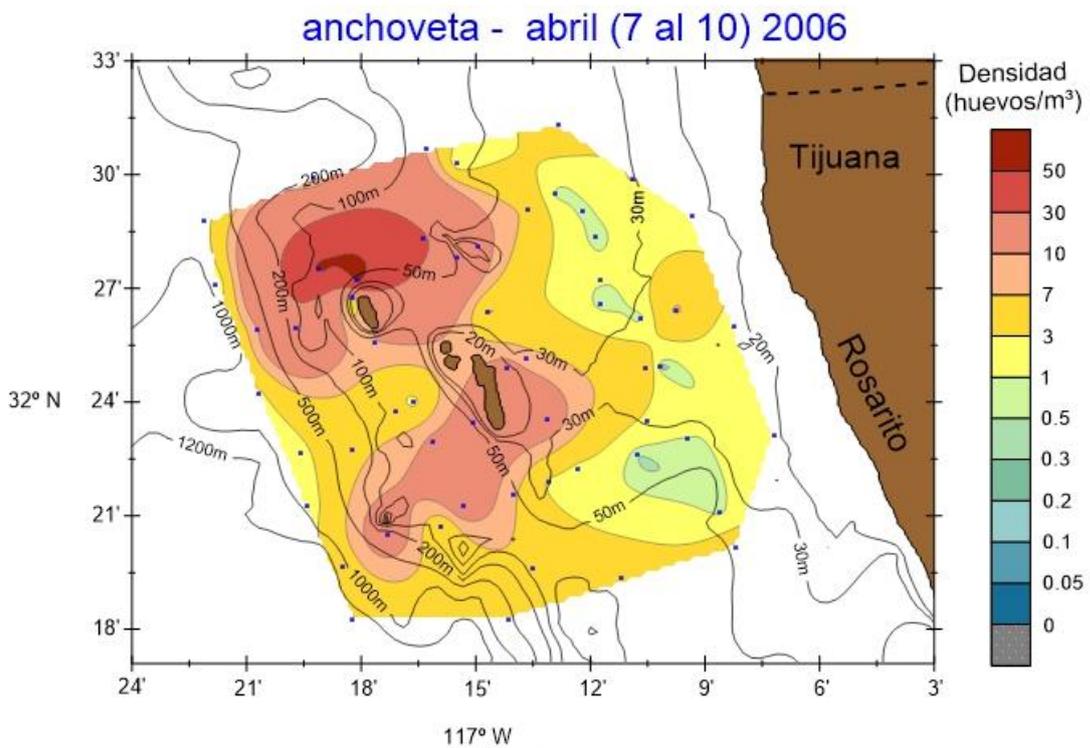
Los huevos de anchoveta se presentaron en dos núcleos con altas densidades. El núcleo mayor presentó un intervalo de densidad de 30 huevos/m³ a 53.938 huevos/m³ y se localizó en los 117° 18' 36" W y 32° 27' 36" N, al norte de las Islas Coronado entre las isóbatas de 50 m y 200 m. El otro núcleo presentó un intervalo de densidad de 10 huevos/m³ a 30 huevos/m³ y se localizó en los 117° 15' W y 32° 22' 48" N, al suroeste de las Islas Coronado entre las isóbatas de 30 m y 200 m (Fig.4b).

Los huevos de anchoveta fueron más abundantes que los de sardina (Wilcoxon: $W=1653$; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=6.57$; $p < 0.05$; se rechazó la H_0) (escala de color, Fig. 4).

En la zona nerítica se observó una baja densidad de huevos en ambas especies (Fig. 4).



(a)



(b)

Figura 4. Distribución y densidad de los huevos para a) la sardina y b) la anchoveta, del 7 al 10 de abril del 2006. Los puntos azules indican la localización de las estaciones.

5.4. Variación espacial y temporal de la SST_{SAT} y concentración de CHL- α _{SAT} en la zona de estudio

5.4.1. Temperatura Superficial del mar

En base al total de la información que brindan las imágenes SST_{SAT} se observó al noreste de las Islas Coronado, una zona de aguas frías, en febrero con valores menores a 14 °C y en abril menores a 15 °C (Fig.5a, 5b).

En base a los valores de SST_{SAT} asociados con las estaciones, en febrero se presentaron valores de 14 °C a 14.8 °C y en abril de 14.9 °C a 16.5 °C; siendo en abril las aguas más cálidas que en febrero (Mann-Whitney: $U=0$; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=-2.48$; $p\text{-valor}<0.05$) (Fig. 5c).

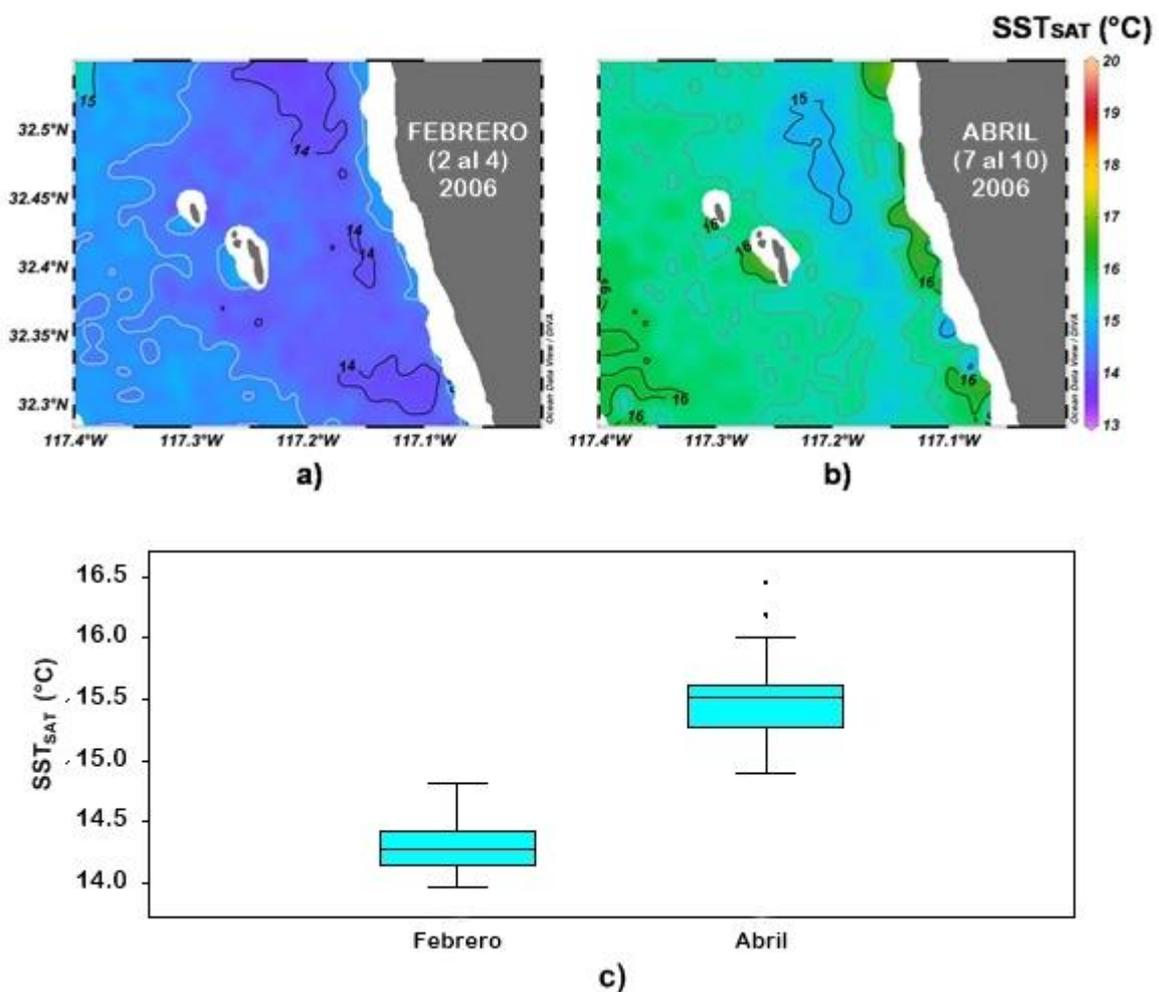


Figura 5. Mapa de SST_{SAT} correspondientes a los meses de a) febrero y b) abril de la zona de estudio. Para el mapa de SST_{SAT} de febrero se muestran las isotermas de 14, 14.5 y 15 °C. Para el mapa de SST_{SAT} de abril se muestran las isotermas de 14; 14.5; 15; 15.5 y 16 °C. Las zonas blancas corresponden a áreas sin dato. c) comparación de los valores de SST_{SAT} asociados a las estaciones entre ambos meses.

5.4.2. Concentración de Clorofila-*a*

En base al total de la información que brindan las imágenes satelitales de CHL-*a*_{SAT}, durante febrero se observó que las aguas eutróficas ($\geq 1 \text{ mg/m}^3$) estuvieron ampliamente extendidas en el área de estudio, proyectándose desde la costa de Rosarito hasta el oeste de las Islas Coronado (Fig. 6a). En abril las aguas eutróficas estuvieron replegadas hacia la costa, dentro de las primeras 2.7 mn (Fig. 6b).

De acuerdo a los valores de CHL-*a*_{SAT} asociados a las estaciones, en febrero la tendencia central mostró un valor de 1.4 mg/m^3 y en abril de 1 mg/m^3 ; se observó que en febrero la CHL-*a*_{SAT} fue mayor que en abril, esta diferencia fue significativa (Mann-Whitney: $U=914$; $Z_{\text{Tab}}=1.96 < Z_{\text{Calc}}=-2.48$; $p < 0.05$; se rechazó la H_0) (Fig. 6c).

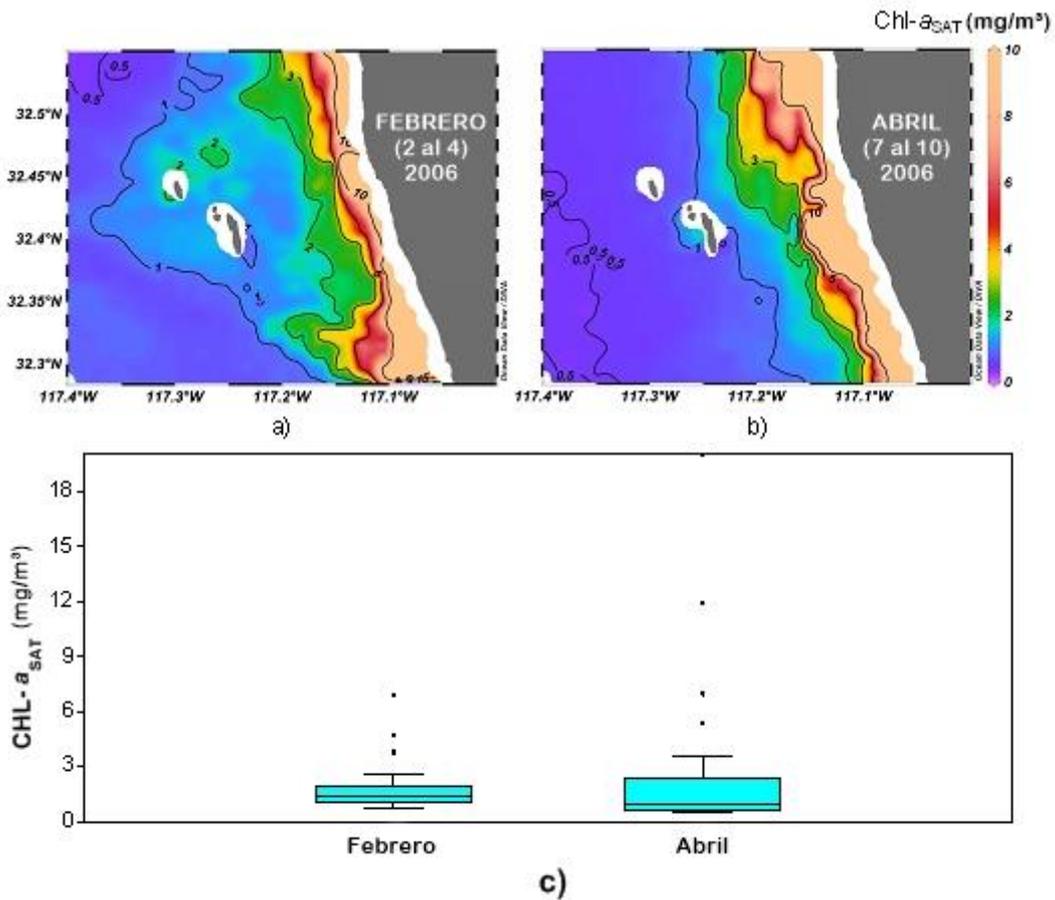


Figura 6. Mapas correspondientes a los meses de a) febrero y b) abril de la zona de estudio. Las líneas de contorno muestran los valores de concentración de clorofila-a de 0.5, 1, 2, 3, 5 y 10 mg/m^3 . c) Comparación de los valores de clorofila-a asociados a las estaciones entre ambos meses.

5.5. Relación de la SST_{SAT} y concentración de CHL- α _{SAT} de las masas de agua neríticas y oceánicas con respecto a la densidad de huevos de la sardina y la anchoveta.

5.5.1. Relación de la SST_{SAT} con respecto a la densidad de los huevos.

En febrero la sardina tuvo mayor densidad de huevos y la SST_{SAT} fue menor a 15 °C. En contraste en abril la anchoveta mostró mayor densidad de huevos y la SST_{SAT} fue mayor a 15 °C (Fig. 7). En febrero y abril las masas de agua nerítica y oceánica con respecto a la temperatura presentan una pequeña diferencia significativa entre sí (Fig. 7).

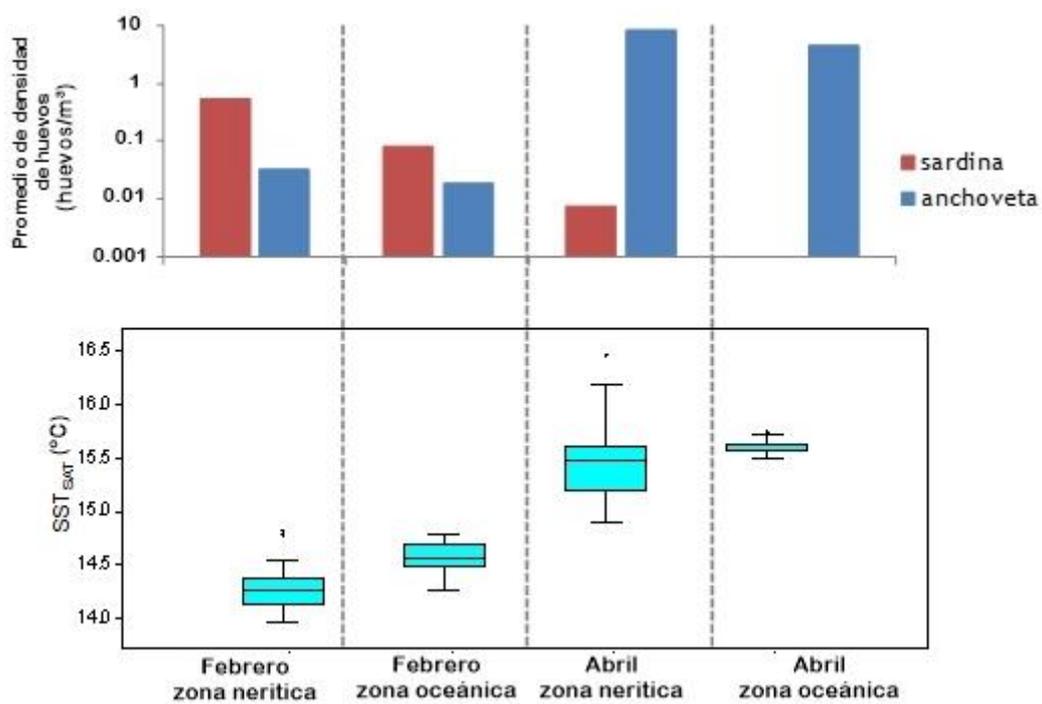


Figura 7. Comparación de los valores de SST_{SAT} entre las estaciones neríticas y oceánicas, para febrero (Mann-Whitney: U=35; Z_{Tab}=1.96<Z_{Calc}=-3.06; p-valor<0.05; se rechazó la Ho) y abril (Mann-Whitney: U=117; Z_{Tab}=1.96<Z_{Calc}=-2.47; p<0.05; se rechazó la Ho) del 2006, y su relación con el promedio de la densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta.

5.5.2. Relación de la concentración de CHL- a_{SAT} con respecto a la densidad de los huevos.

La densidad de los huevos de la sardina en febrero fue mayor que la anchoveta en aguas neríticas y oceánicas con una concentración de CHL- a_{SAT} que, aunque pequeña es significativamente diferente. La densidad de huevos de anchoveta en abril fue mayor que la de sardina en aguas neríticas y oceánicas que presentaron una diferencia significativamente mayor en las primeras (Fig. 8).

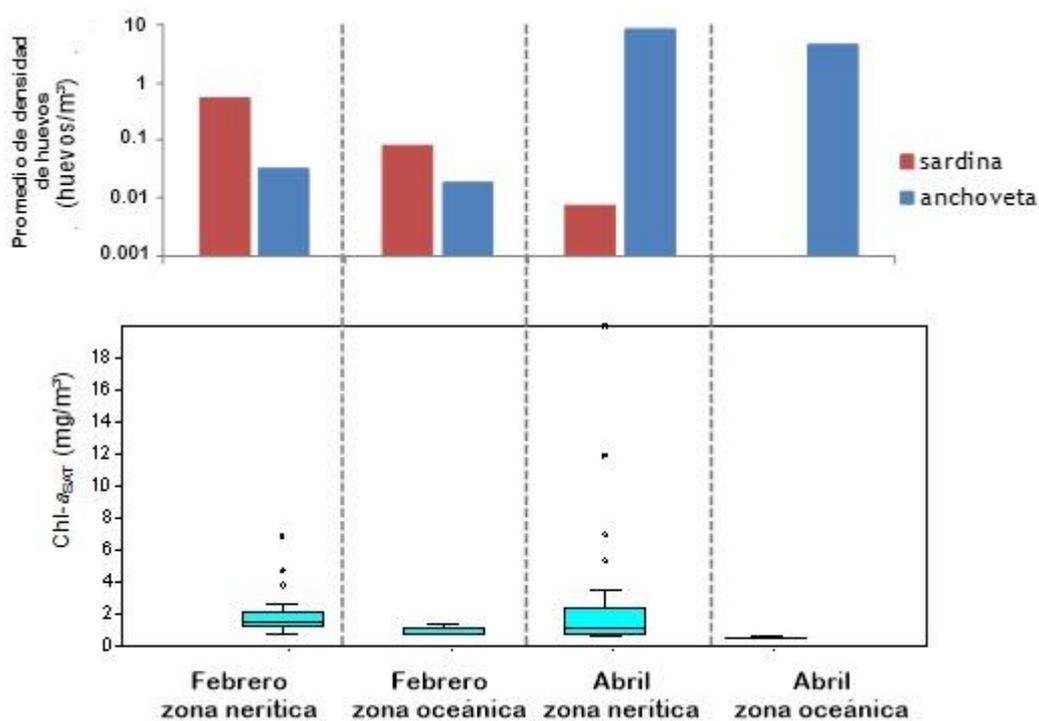


Figura 8. Comparación de los valores de concentración de Chl- a_{SAT} entre las estaciones neríticas y oceánicas, para febrero (Mann-Whitney: $U=28$; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=-3.27$; $p\text{-valor} < 0.05$; se rechazó la H_0) y abril (Mann-Whitney: $U=1$; $Z_{Tab}=1.96 < Z_{Calc}=-4.90$, $p\text{-valor} < 0.05$; se rechazó la H_0) del 2006, y su relación con el promedio de la densidad de los huevos de la sardina y la anchoveta.

5.6. Importancia de la SST_{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT} en la distribución de los huevos.

5.6.1. Primer modelo: Sardina – SST_{SAT} y concentración de CHL- α _{SAT}

El análisis de regresión múltiple indicó que la SST_{SAT} y Chl- α _{SAT} exhiben un cierto grado de correlación con la densidad de los huevos de sardina ($r=0.392$) y que estas variables oceanográficas explicaron en un bajo porcentaje ($R^2=0.136=13.6\%$; $F=8.96$; $p<0.05$) la variación de la densidad de los huevos de esta especie. Este análisis arrojó los siguientes coeficientes: el de intercepción de 63.381, el de SST_{SAT} de -0.286 y el de CHL- α _{SAT} de 0.056, expresados de la siguiente manera.

$$\text{Densidad de los huevos de sardina} = 63.381 - 0.286 * \text{SST}_{\text{SAT}} + 0.056 * \text{CHL-}\alpha_{\text{SAT}}$$

De acuerdo con esta ecuación, el aumento de una unidad en los valores de CHL- α _{SAT} la densidad de huevos de sardina se incrementó en 0.056 unidades, mientras que al aumento de una unidad la SST_{SAT} la densidad de huevos disminuyó en 0.286 unidades.

No obstante, los cambios en SST_{SAT} tuvieron un efecto en la variación de la densidad de los huevos de sardina ($p<0.05$) mientras que los cambios en CHL- α _{SAT} no tuvieron un efecto en la variación de la densidad de los huevos de esta especie ($p>0.05$) (Tabla 3) (Apéndice pág. 48).

Tabla III. Coeficientes y sus valores de probabilidad para el primer modelo donde la variable respuesta es densidad de huevos de sardina y las variables predictivas son SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} (Asterisco: significancia estadística).

	Coeficientes	Probabilidad
Intercepción	63.381	*
SST _{SAT}	-0.286	*
CHL- α _{SAT}	0.056	>0.05

5.6.2. Segundo modelo: Anchoveta – SST_{SAT} y concentración de CHL- α _{SAT}

El análisis de regresión múltiple indicó que la SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} exhiben un alto grado de correlación ($r=0.797$) con la densidad de huevos de anchoveta y que estas variables oceanográficas explicaron en un alto porcentaje ($R^2=0.628=62.8\%$; $F=86.15$; $p<0.05$) la variación de la densidad de huevos de esta especie. Este análisis arrojó los siguientes coeficientes: el de intercepción de 11.898, el de SST_{SAT} de 0.776 y el de CHL- α _{SAT} de -0.007, expresados de la siguiente manera.

$$\text{Densidad de los huevos de anchoveta} = 11.898 + 0.776 * \text{SST}_{\text{SAT}} - 0.007 * \text{CHL-}\alpha_{\text{SAT}}$$

De acuerdo con esta ecuación, al aumento de una unidad de los valores de CHL- α _{SAT} la densidad de huevos de anchoveta disminuyó en 0.007 unidades, mientras que al aumento en una unidad de los valores de SST_{SAT} la densidad de huevos aumentó en 0.776 unidades.

No obstante, los cambios en la SST_{SAT} tuvieron un efecto en la variación de la densidad de los huevos de anchoveta ($p<0.05$) mientras que los cambios en CHL- α _{SAT} no tuvieron un efecto en la variación de la densidad de los huevos de esta especie ($p>0.05$) (Tabla 3) (Apéndice pág. 49).

Tabla IV. Coeficientes y sus valores de probabilidad para el segundo modelo donde la variable respuesta es densidad de huevos de anchoveta y las variables predictivas son SST_{SAT} y CHL- α _{SAT}. (Asterisco: significancia estadística).

	Coeficientes	Probabilidad
Intercepción	11.898	*
SST _{SAT}	0.776	*
CHL- α _{SAT}	-0.007	>0.05

De los dos modelos de análisis de regresión, el modelo para la anchoveta fue el que presentó una mejor correlación y fue el más explicativo con la variación de la densidad de huevos. Sin embargo, ambos modelos coinciden en que la SST_{SAT} fue la variable predictiva de mayor importancia.

5.7. Asociación entre los huevos de la anchoveta y la sardina con variables cualitativas: grupo, zona, periodo de estudio y tipo de agua de acuerdo a su categoría de concentración de CHL- α_{SAT} .

Se observó una fuerte asociación entre la densidad de huevos de sardina y el mes de febrero; así como una fuerte asociación entre la densidad de los huevos de anchoveta con el mes de abril, zona nerítica y aguas mesotróficas ($X^2=2864800$; $gl=49$; $p<0.05$). Los factores zona oceánica y aguas eutróficas no mostraron una asociación con la densidad de huevos de sardina ni de anchoveta (Fig.9). Cabe señalar que las dos primeras dimensiones del Análisis de Correspondencia Múltiple, explicaron el 82.39 % de la varianza del modelo (detalles estadísticos en el Apéndice pág. 50).

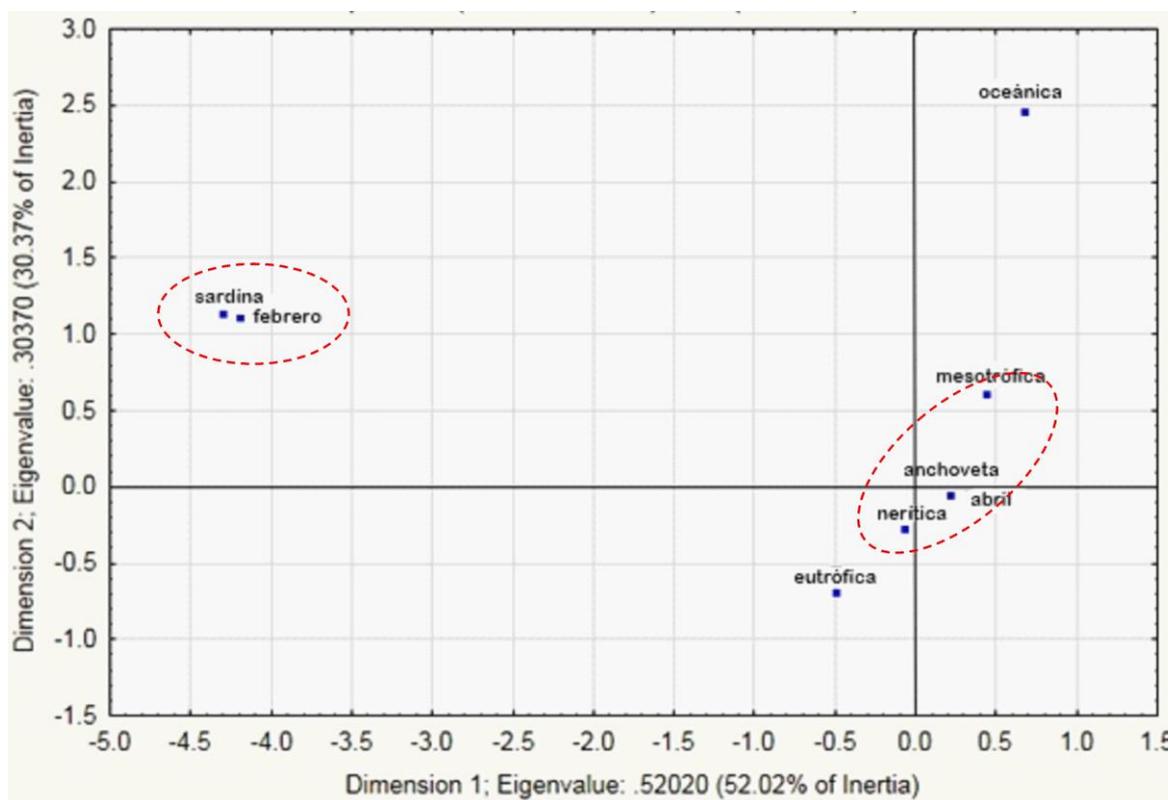


Figura 9. Gráfico factorial del ACM. Las dos primeras dimensiones explican el 82.39% de la varianza. Variable cuantitativa: densidad de huevos. Variables cualitativas: grupo (sardina, anchoveta), zona (nerítica, oceánica), periodo de estudio (febrero, abril) y tipo de agua de acuerdo a su categoría de CHL- α_{SAT} (mesotrófica; ≥ 0.2 y < 1 mg/m^3 , eutrófica: ≥ 1 mg/m^3).

6. DISCUSIONES

En el ambiente marino circundante a las Islas Coronado los huevos de la sardina y anchoveta presentaron altas densidades con respecto al total de huevos de peces pelágicos (tabla II). La mayor densidad de huevos de sardina fue observada en febrero (21.128 huevos/m³, 31.56 %) mientras que la de anchoveta en abril (435.687 huevos/m³, 77.19%). La menor densidad de huevos de sardina en comparación a los de anchoveta estaría relacionada con los hábitos oceánicos de la sardina y los hábitos neríticos de la anchoveta (Checkley et al. 2000, Checkley et al. 2009).

Este estudio se sitúa dentro de una fase cálida de la ODP que ocurrió desde el verano del 2002 hasta finales del verano del 2006 (Goericke et al. 2007, Gaxiola-Castro et al. 2008, Durazo-Arvizu et al. 2010). De acuerdo con MacCall (2002) durante este periodo el hábitat de la sardina se amplía hacia la zona costera al ocurrir condiciones favorables para su alimentación y reproducción. De esta forma, la alta densidad de huevos de sardina en el área de estudio en febrero pudiera ser evidencia de este proceso de gran escala. Sin embargo, en abril cuando la temperatura superficial del mar fue más cálida (14.9 °C -16.5 °C) que en febrero (14 °C -14.8 °C) los huevos de sardina fueron escasos mientras que los huevos de anchoveta resultaron notablemente abundantes (Fig. 4). Este suceso no se esperaba debido a que se tiende a relacionar las sardinas con temperaturas cálidas y a las anchovetas con temperaturas frías (Checkley et al. 2009).

La alta densidad de huevos de anchoveta en las Islas Coronado en abril no fue un suceso aislado debido a que también ocurrió en el sur de California (Goericke et al. 2007), principal zona de desove de la subpoblación central de anchoveta (Fiedler 1983, Hernández-Vázquez et al. 1994). En el área de estudio los máximos valores de densidad de huevos de anchoveta (de 50 huevos/m³ a 55 huevos/m³) coincidieron con los mayores valores reportados en el sur de California (60 huevos/m³ a 70 huevos/m³) (Goericke et al. 2007), lo cual podría sugerir que los huevos de anchoveta de la región estudiada provinieron de ahí. Esta posibilidad es poco probable debido a que la dirección de la corriente superficial costera durante la primavera de ese año (2006) fue hacia el norte debido al retraso de la surgencia (Goericke et al. 2007). Este comportamiento de la corriente superficial costera se manifestó contrario a lo esperado de acuerdo con el modelo de Di Lorenzo (2003) que indica que en primavera tiene dirección norte.

Los huevos de anchoveta del sur de California y la región en cuestión se distribuyeron sobre la misma estructura de aguas cálidas (15 °C a 16 °C) desplazadas hacia las zonas costeras por efecto

del Giro Ciclónico del Sur de California (Fig. 10) (Goericke et al. 2007). Se ha considerado al sur de California como el principal núcleo de desove de la subpoblación central de la anchoveta. La alta frecuencia de los huevos de anchoveta en todas las estaciones (tabla II) con valores de densidad similares a los reportados al Sur de California sugiere que el área de estudio conforma la extensión sur de esta importante zona de desove. No obstante, se requieren evaluaciones sobre la fase de desarrollo de los huevos, y de la dinámica de las corrientes marinas, principalmente las superficiales, lo cual permite entender los procesos de dispersión de los huevos en el área (Durazo-Arvizu 2007) y, en consecuencia, determinar si el ambiente marino circundante a las Islas Coronado es un área de desove o una zona de concentración de huevos.

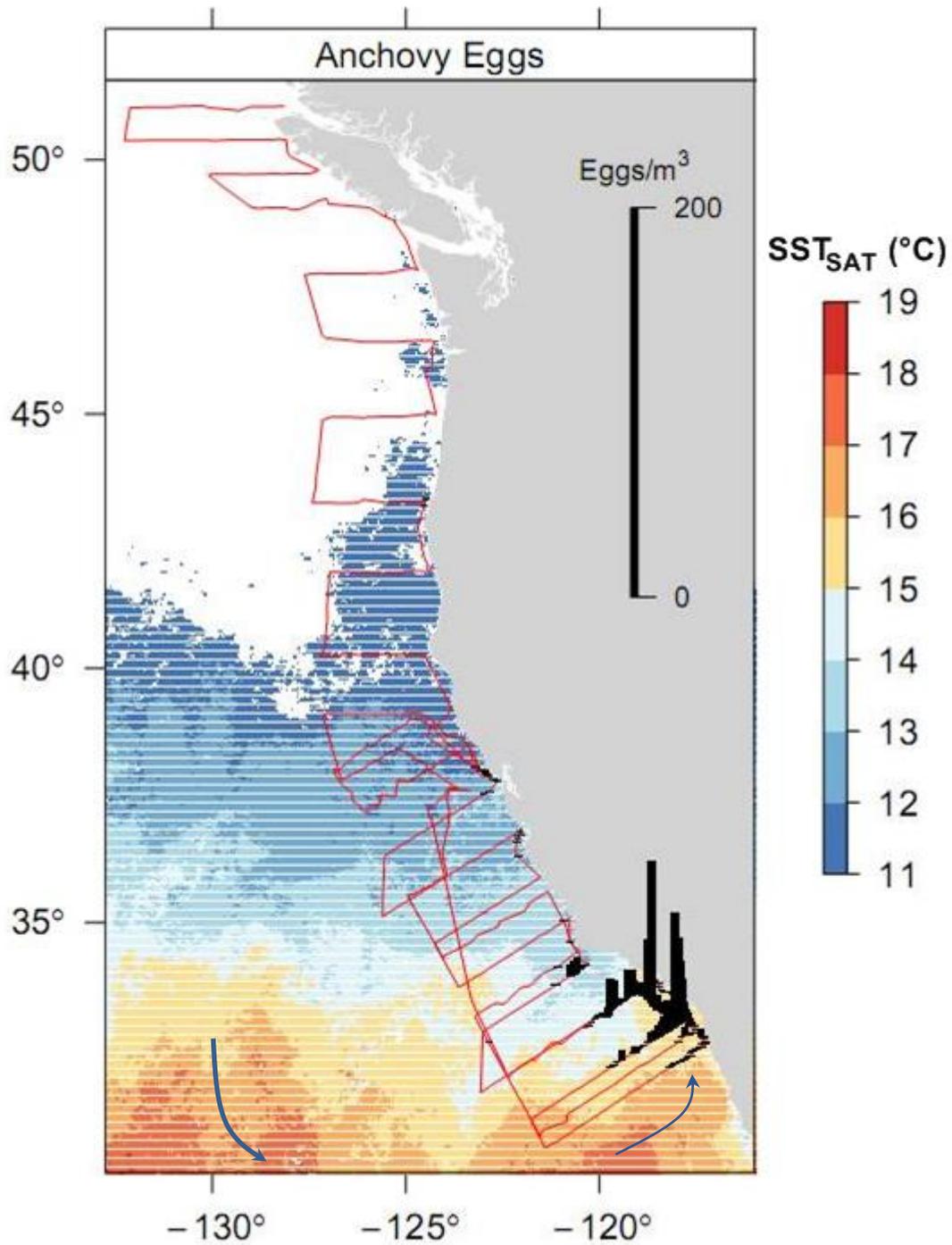


Figura 10. Mapa de distribución de los huevos de anchoveta (*Engraulis mordax*) muestreados con equipo CUFES (*Continuous underway fish egg sampler*) por los R/V David Starr Jordan y Oscar Dyson. En este mapa se muestra la temperatura superficial del mar (SST_{SAT} (°C)) del 6 de abril al 8 de mayo del 2006. Las líneas rojas indican el transecto del muestreo. Las barras de color negro indican la densidad de los huevos. https://swfsc.noaa.gov/uploadedImages/Divisions/FRD/Small_Pelagics/Sardine/cufes2006.png?n=9730 Modificado del mapa de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

6.1. Distribución temporal

En el sur de California la temporada de desove de la sardina es de febrero a junio con su máximo desove en abril (Clark 1934, Ahlstrom 1954, Ahlstrom 1960, Moser et al. 1993, Hernández-Vázquez 1994, Moser et al. 2001), en el área de estudio el máximo desove de la sardina se adelantó un mes al escenario descrito. En cuanto a la anchoveta su temporada de desove es de diciembre a abril con su máximo en marzo (Ahlstrom 1954, Ahlstrom 1960, Moser et al. 1993, Hernández-Vázquez 1994, Moser et al. 2001, Hewitt y Brewer 1983), en contraste con la sardina, la anchoveta se atrasó un mes.

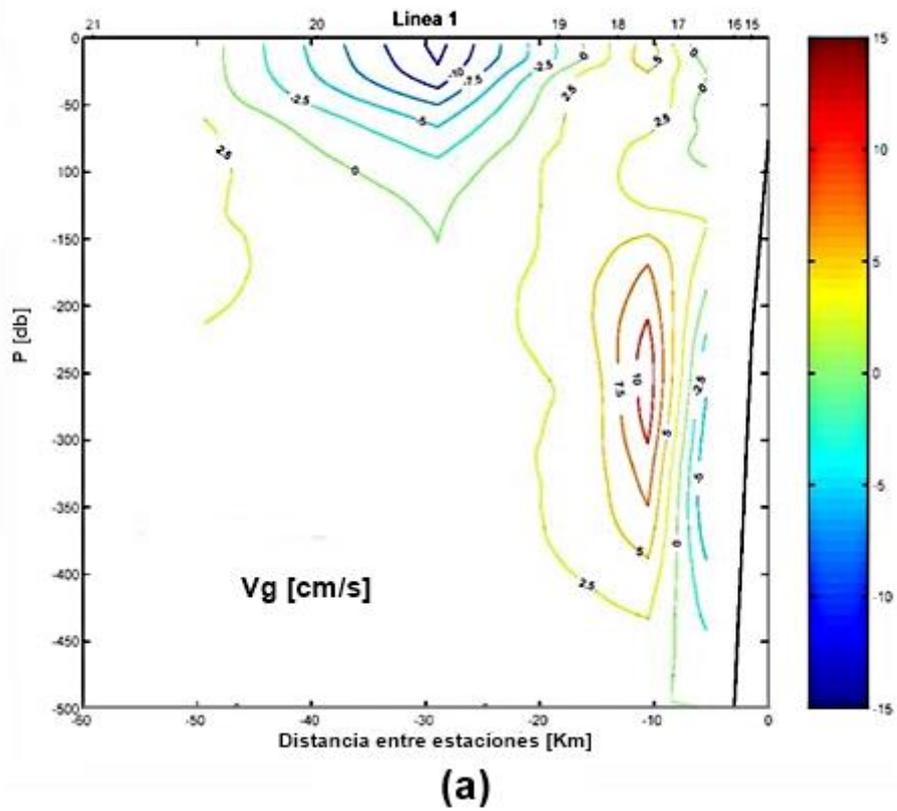
6.2. Distribución espacial

La alta densidad de huevos de sardina y anchoveta se han reportado alrededor de islas influenciadas por fenómenos de surgencia, mayor productividad biológica que favorecen las condiciones de desarrollo de huevos y larvas (Cushing 1975, Doty y Oguri 1956, Kämpf y Chapman 2017), como lo hallado en islas Tiburón y Ángel de la Guarda en el Golfo de California (Aceves-Medina et al. 2009). Esto coincide con los resultados obtenidos en este trabajo en los que se observó la máxima densidad de huevos de estos peces dentro de los 6 Km del área marina circundante a las Islas Coronado (Fig. 3a y 4b).

Los cañones submarinos son importantes estructuras de quiebre en la plataforma continental que provocan el intercambio entre las aguas neríticas y oceánicas a través de procesos de advección y mezcla (Allen y Durrieu de Madron 2009, Kämpf y Chapman 2017), los cuales tienden a dispersar los desoves en el núcleo de este ascenso. Zonas de intensa surgencia tales como Punta San Juan (Perú), Lüderitz (Namibia) y Cabo Mendocino (Estados Unidos) son caracterizadas por ausencia de plancton y desove de huevos de peces pelágicos (Bakun y Weeks 2008).

La densidad ausente a escasa de los huevos de sardina y anchoveta al noreste de las Islas Coronado y las bajas temperaturas registradas (menores a 14 °C en febrero y a 15 °C en abril) al noreste de las Islas Coronado podrían estar influenciadas por una corriente subsuperficial que fluye hacia el norte siguiendo el contorno de la plataforma continental e ingresa al Cañón de Coronado ascendiendo por éste (Baumgartner com. pers.) (Fig. 11).

En consecuencia, se recomienda hacer mediciones de concentración de oxígeno y patrones de corrientes en esta zona.



nqu

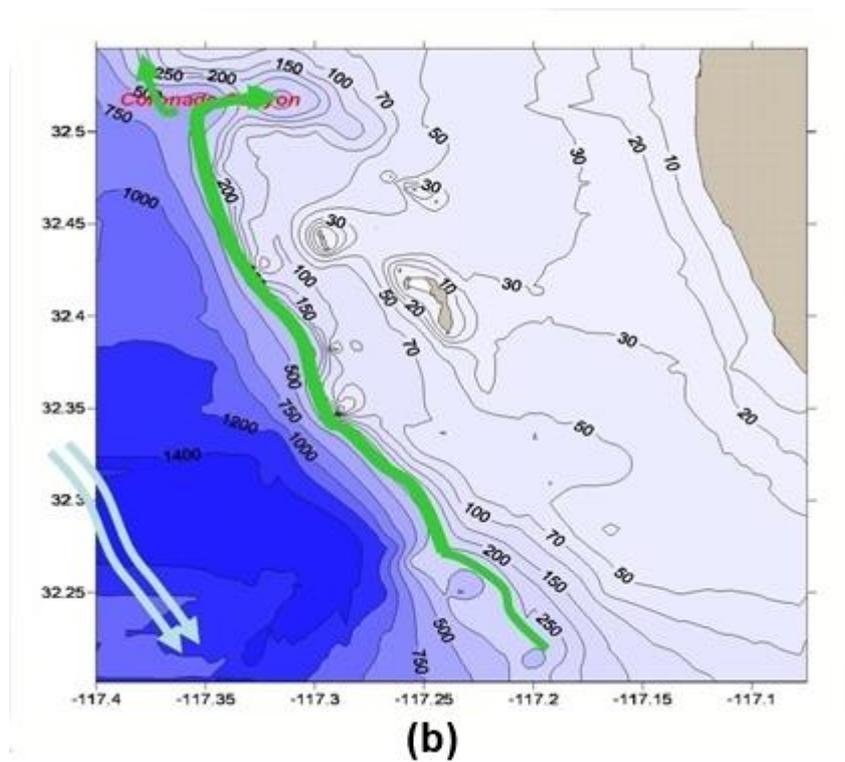


Figura 11. Perfil vertical de la velocidad de la corriente en el transecto “línea 1” (Fig. 11a) del crucero oceanográfico Islas Coronado realizado en febrero (ISCOR-0602). b) Aparente corriente sub-superficial que fluye por el borde de la plataforma continental hacia el Cañon Coronado. Tomado de Baumgartner (2006).

6.3. Relación entre la SST_{SAT} y la concentración de CHL- α _{SAT} con los huevos de la sardina y la anchoveta.

El intervalo de temperatura óptima de 13.5 °C a 17 °C descrito para los desoves de la sardina (Tibby 1937, Ahlstrom 1954, Ahlstrom 1956, Parrish et al.1989, Lluch-Belda et al.1991, Checkley et al. 2009) es consistente con los resultados obtenidos (14 °C a 15.4°C). Asimismo, el intervalo de temperatura óptima de 12 °C a 16.5 °C descrito para los desoves de la anchoveta (Checkley et al. 2000, Reiss et al. 2008) es concordante con lo encontrado (14 °C a 16.4°C).

En ambos meses de estudio, la SST_{SAT} (mayor a 14 °C) en el ambiente marino alrededor de las Islas Coronado coincide con la escasa presencia de aguas de surgencia costera (<13 °C) reportadas en California y Baja California durante la primera mitad del 2006 (Goericke et al. 2007).

El intervalo de temperatura de 14.9 °C a 16.5 °C para abril en la zona de estudio (Fig. 5) concuerda con los valores reportados durante la primavera del 2006 en el de sur de California, donde la temporada de surgencia se retrasó dos meses (Goericke et al. 2007).

La concentración de clorofila-a superficial menor a 1.2 m/m³ descrito para los desoves de sardina (Reiss et al. 2008) no es coherente con los resultados obtenidos (0.7 m/m³ a 6.9 mg/m³). En contraste, el intervalo de concentración de clorofila-a superficial mayor a 0.2 mg/m³ descrito para la anchoveta (Fiedler 1983) concuerda con los resultados obtenidos (0.5 mg/m³ a 20 mg/m³).

La temperatura es un parámetro incorporado con frecuencia en el estudio de la distribución de desoves de peces pelágicos (Fiedler 1983, Lluch-Belda et al. 1991, Checkley et al. 2000). La utilización de la temperatura con otras variables como la concentración de zooplancton ha permitido delimitar las fronteras de la distribución del desove para la sardina (Lynn 2003) y la concentración de clorofila para la anchoveta (Fiedler 1983). Asimismo, la adición de la salinidad ha permitido separar el hábitat de desove de la sardina y anchoveta explicando la distribución en relación a las masas de agua (Checkley et al. 2000). En este estudio la SST_{SAT} fue la variable que mejor explico la variabilidad de los huevos de estos peces. Sin embargo, su combinación con la concentración de CHL- α _{SAT} permite un mejor punto de observación al relacionar variables físicas y biológicas, aunque la contribución de la concentración de CHL- α _{SAT} no fue significativa en este caso.

En este estudio se utilizaron la SST_{SAT} y CHL- α _{SAT} como variables ambientales. No obstante, es posible que otros factores biológicos y/o oceanográficos no analizados puedan estar implicados en los patrones de distribución de los huevos e.g. la salinidad (Parada et al. 2003, Sundy y Kristiansen 2015), conectividad potencial y realizada (Watson et al. 2010) y corrientes marinas

superficiales (Durazo–Arvizu 2007), las cuales podrías que tan importante es la zona de estudio para el desove de estos peces. Además, es preciso recordar que los eventos observados a escala local podrían ser parte de procesos desarrollados a gran escala e.g., retraso en el inicio de las surgencias costeras en primavera (Goericke et al. 2007).

Por lo anteriormente expuesto, existen claros indicios de que el ámbito marino circundante a las Islas Coronado es un centro importante de desove o concentración de huevos, principalmente de anchoveta, debido a las similitudes encontradas con los reportes de otras áreas de desove ya definidas dentro del Sistema de la Corriente de California. El estudio de la fase de desarrollo de los huevos permitiría respaldar este argumento. En consecuencia, se sugiere continuar con las investigaciones y monitoreos constantes en el área de estudio debido al surgimiento de nuevas preguntas a raíz de la presente investigación.

7. CONCLUSIONES

- La mayor densidad de huevos de sardina del 2 al 4 de febrero y de huevos de anchoveta del 7 a 10 de abril se asoció con diferentes condiciones de temperatura y clorofila-a para las fechas en que se realizó este trabajo, confirmando la hipótesis planteada.
- Los cambios en las condiciones oceanográficas en los periodos de estudio de este trabajo, mayor temperatura y menor clorofila en abril que en febrero, pudo haber estar relacionado con procesos de mesoescala como el retraso en la temporada de surgencias y la dinámica de circulación dentro de la Cuenca del Sur de California.
- El ambiente marino circundante a las Islas Coronado fue una importante zona de desove o concentración de huevos para la anchoveta del 7 al 10 de abril del 2006.
- El ascenso de aguas por la pared del Cañón Coronado pudo haber estar relacionado con la ausencia a escasa densidad de huevos de sardina y anchoveta observadas, así como los menores valores de temperatura superficial en el noreste de las Islas Coronado.

8. LITERATURA CITADA

- Aceves-Medina G., Jiménez-Rosenberg S.P. A., Hinojosa-Medina A., Funes-Rodríguez R., Saldierna-Martínez R. J., Smith P. E. 2004. Fish larvae assemblages in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology*, 65: 832-847.
- Aceves-Medina, G., Palomares García, J. R., Gómez Gutiérrez, J., Robinson Carlos, J., Saldierna Martínez, R. J. 2009. Multivariate characterization of spawning and larval environment of small pelagic fishes in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*, 31(10): 1283-1297. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp056>
- Ahlstrom E. H. 1943. Studies on the Pacific pilchard or sardine (*Sardinops caerulea*). 4. Influence of temperature on the rate of development of pilchard eggs in nature. United States Fish and Wildlife Service Special Scientific Report-Fisheries, 23:1-26.
- Ahlstrom E. H. 1954. Distribution and abundance of egg and larval populations of the Pacific sardine. United States Department of the Interior-Fish and Wildlife Service. *Fishery Bulletin*, 93: 83-140.
- Ahlstrom E. H. 1956. Eggs and larvae of anchovy, jack mackerel, and Pacific mackerel. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Progress Report, 5: 33-38.
- Ahlstrom E. H. 1959. Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae off California and Baja California. United States Department of the Interior-Fish and Wildlife Service. *Fishery Bulletin*, 60:107-146.
- Ahlstrom E. H. 1960. Synopsis on the biology of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). In: Proceedings of the World Scientific Meeting on the biology of sardines and related species. *FAO Fisheries Synopsis*, 2:415–451.
- Allen S. E., Durrieu de Madron X. 2009. A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. *Ocean Science*, 5: 607-620.
- Aoki I., Murayama T. 1993. Spawning pattern of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* off southern Kyushu and Shikoku, southwestern Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 97: 127–134.
- Bakun A., Weeks S.J. 2008. The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? *Progress in Oceanography*, 79: 290-299.

- Baumgartner T. R. 2006. *Ichthyoplankton and the ocean habitat around the Coronado Islands* [diapositivas de *Power Point*].
- Batteen M. L. 1997. Wind-forced modeling studies of currents, meanders, and eddies in the California Current System. *Journal of Geophysical Research*, 102: 985–1010.
- Bolin R. 1936. Embryonic and early larval stages of the California anchovy *Engraulis mordax* Girard. *California Fish and Game*, 22(4): 314-332.
- Brodeur R.D., Suchman C. L., Reese D. C., Miller T. W., Daly E. A. 2008. Spatial overlap and trophic interaction between pelagic fish and large jellyfish in the northern California Current. *Marine Biology*, 154: 649-659.
- Carrillo-Berumen R. M. 1998. Dinámica Sedimentaria en las Inmediaciones de la Obra de Toma de la Central Termoeléctrica Presidente Juárez en Rosarito. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. 134 pp.
- Chávez F. P., Ryan J., Lluch-Cota S. E., Niquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217-221.
- Checkley D. M. Jr., Ortner P. B., Settle L. R., Cummings S. R. 1997. A continuous, underway fish egg sampler. *Fisheries Oceanography*, 6: 58-73.
- Checkley D. M. Jr., Dotson R. C., Griffith D. A. 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) in spring 1996 and 1997 off southern and central California. *Deep Sea Research Part II*, 47: 1139–1155.
- Checkley D. M. Jr., Ayon P., Baumgartner T. R., Bernal M., Coetzee J. C., Emmett R., Guevara-Carrasco R., Hutchings L., Ibaibarriaga L., Nakata H., Oozeki Y., Planque B., Schweigert J., Stratoudakis Y., y van der Lingen C. 2009. Habitats. In: Checkley D., Alheit J., Oozeki Y., Roy C. (eds.), *Climate Change and Small Pelagic Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 12–44.
- Clark F. N. 1934. Maturity of the California sardine (*Sardina caerulea*), determined by ova diameter measurements. *California Department of Fish and Game, Fish Bulletin*, 42: 49 pp.
- Curtis K. A. 2004. Fine scale spatial pattern of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) eggs. *Fisheries Oceanography*, 13: 239–254.

- Cushing D. H. 1968. Fisheries biology, a study in population dynamics. Madison, W. I.: Univ. Wisconsin Press, 200 pp.
- Cushing D. H. 1975 Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, New York, 278 pp.
- Dailey M. D., Reish D. J., Anderson J. W. 1993. Ecology of the Southern California Bight: A Synthesis and Interpretation. University of California Press, Berkeley, 926 pp.
- Di Lorenzo E. 2003. Seasonal dynamics of the Surface circulation in the Southern California Current System. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 50: 14-16. [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00125-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00125-5)
- Dong Ch., Idica E. Y., McWilliams J. C. 2009. Circulation and multiple-scale variability in the Southern California Bight. Progress in Oceanography, 82(3):168-190. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.005>
- Doty M.S., Oguri M. 1956. The island mass effect. International Council for the Exploration of the Sea, 22: 33–37.
- Durazo-Arvizu R. 2007. Las corrientes. En: Virgilio Muñoz (ed.), Las Islas Coronados, una historia y un entorno natural. Fundación Chevron, pp. 141-146.
- Durazo-Arvizu R., Ramírez-Manguilar A. M., Miranda L. E., Soto-Mardones L. A. 2010. Climatología de variables hidrográficas. In: Gaxiola- Castro G., Durazo-Arvizu R. (eds.), Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California 1997–2007. Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, pp. 25–57.
- Felix-Uraga R., Gómez-Muñoz V. M., Quiñónez-Velázquez C., Melo-Barrera F. N., García-Franco W. 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of the Baja California Peninsula and southern California. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 45: 146–151.
- Félix-Uraga R., Quiñónez-Velázquez C., Hill K. T., Gómez-Muñoz V. M., Melo-Barrera F. N., García-Franco W. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west coast of Baja California and southern California using otolith morphometry. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 46: 113–121.

- Fiedler P. C. 1983. Satellite remote sensing of the habitat of spawning anchovy in the Southern California Bight. *CalCOFI Reports*, 26: 202–209
- Garrido S., van der Ligen C. D. 2014. Feeding Biology and Ecology. En: Ganas K. (ed.), *Biology and Ecology of Sardines and Anchovies*. CRC Press, Taylor & Francis Group, pp. 122-189.
- Gaxiola-Castro G., Durazo-Arvizu R., Lavaniegos B., De La Cruz-Orozco M. E.1, Millán-Núñez E., Soto-Mardones L., Cepeda-Morales J. 2008. Respuesta del ecosistema pelágico a la variabilidad interanual del océano frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, 34(2): 263–270
- Goericke R., Venrick E., Koslow T., Sydeman W. J., Schwing F. B., Bograd S. J., Lo N. C. H. 2007. State of the California Current 2006-2007: Regional and local processes dominate. *CalCOFI Reports*, 48: 33-66.
- Hammann M. G., Nevarez-Martínez M. O., Green-Ruiz Y. 1998. Spawning habitat of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California: egg and larval distribution 1956-1957 and 1971–1991. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 39: 169-179.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*, 4(1): 9 pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hedgecock D., Hutchinson E. S., Li G., Sly F.L., Nelson K. 1989. Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*: comparisons and contrasts with historical data and with variability in the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 87: 653-671.
- Hedgecock D., Hutchinson E. S., Li G., Sly F. L., Nelson K. 1994. The central stock of northern anchovy (*Engraulis mordax*) is not a randomly mating population. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 35: 121–136.
- Hernández-Vázquez S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. *CalCOFI Reports*, 35: 94-107.
- Hewitt R. P., Brewer G. 1983. Nearshore production of young anchovy. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 24: 235-244.

- Hunter J. R., Macewicz B. J. 1980. Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season. *CalCOFI Reports*, 21:139-149.
- Kämpf J., Chapman P. (eds). 2017. The Functioning of Coastal Upwelling Systems. In: *Upwelling Systems of the World: A Scientific Journey to the Most Productive Marine Ecosystems*. Springer International Publishing Switzerland. pp 31-65. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-42524-5_2
- Kahru M., Mitchell B.G. 2000. Influence of the 1997-98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current. *Geophysical Research Letters*, 27(18): 2937-2940.
- Lamb T. N. 1979. Geology of the Coronado Islands northwestern Baja California, Mexico. In: Charles J. Stuart. *A Guidebook to Miocene lithofacies and depositional environments, coastal Southern California and northwestern Baja California*. Pacific Section, SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists), pp. 119.
- Lasker R (ed.). 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS 36, 99 pp.
- Lecomte F., Grant W. S., Dodson J. J., Rodríguez-Sánchez R., Bowen B. W. 2004. Living with uncertainty: genetic imprints of climate shifts in East Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Molecular Ecology*, 13: 2169-2182. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02229.x>
- Lluch-Belda D., Crawford R. J. M., Kawasaki T, MacCall A. D., Parrish R. H., Schwartzlose R. A., Smith P. E. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regimen problem. *South African Journal of Marine Science*, 8: 195–205.
- Lluch-Belda D., Lluch-Cota D. B., Hernández-Vázquez S., Salinas-Zavala C. A., Schwartzlose R. A. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. *CalCOFI Reports*, 32: 105–111.
- Lo N. C. H., Hunter J. R., Charter R. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. *Fishery Bulletin*, 99: 554-571.

- Loya-Salinas D. H. 2011. Instalación de un muestreador continuo de zooplancton superficial a bordo de B/O Francisco de Ulloa. Informe Técnico CICESE No. 101824, Serie Embarcaciones Oceanográficas, 21 pp.
- Lynn R. J. 2003. Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and central California. *Fisheries Oceanography*, 12: 541–553.
- MacCall A. 2002. Sardine regimes and mesoscale structure an integrative hypothesis. In: Bakun A., Broad K. (eds), *Climate and Fisheries: Interacting Paradigms, Scales, and Policy Approaches*. The IRI-IPRC Pacific Climate-Fisheries Workshop, Honolulu, 14–17 November 2001. International Research Institute for Climate Prediction (IRI), pp. 39-42.
- Moser H. G., Charter R. L., Smith P. E., Ambrose D. A., Charter S. R., Meyer C. A., Sandknop E. M., Watson W. 1993. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951-1984. *CalCOFI Atlas 31*, 264 pp.
- Moser H. G. 1996. The early stages of fishes in the California Current region. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Atlas 33*, 1505 pp.
- Moser H. G., Charter R. L., Smith P. E., Ambrose D. A., Watson W., Charter S. R., Sandknop E. M. 2001. Distributional Atlas of Fish Larvae and Eggs in the Southern California Bight Region: 1951–1998. *CalCOFI Atlas 34*, 208 pp.
- Nieto K, McClatchie S., Weber E. D., Lennert-Cody C. E. 2014. Effect of mesoscale eddies and streamers on sardine spawning habitat and recruitment success off southern and central California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119: 1–10.
- Parada C., Van Der Lingen C.D., Mullon C., Penven P. 2003. Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: an IBM approach. *Fisheries Oceanography*, 12: 170–184. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00235.x>
- Parrish R. H., Mallicoate D. L., Klingbeil R. A. 1986. Age dependent fecundity, number of spawnings per year, sex ratio, and maturation stages in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 84(3): 503-517.
- Parrish R. H., Serra R., Grant W. S. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops* their taxonomy, distribution, stock structure and zoogeography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41: 414–422.

- Picquelle S., Hewitt R. 1983. The northern anchovy spawning biomass for the 1982-83 California Fishing season, CalCOFI Reports, 24: 16-28.
- Reiss C. S., Checkley D. M. Jr., Bograd S. J. 2008. Remotely sensed spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) within the California Current. Fisheries Oceanography, 17: 126–136.
- Rykaczewski R. R., Checkley D. M. Jr. 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105:1965–1970. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0711777105>
- Schlitzer R. 2016. Ocean Data View. <http://odv.awi.de>
- Schwartzlose R. A., Alheit J., Bakun A., Baumgartner T. R., Cloete R., Crawford R. J. M., Fletcher W. J., Green-Ruiz Y., Hagen P., Kawasaki T., Lluch-Belda D., Lluch-Cota S. E., MacCall A. D., Matsuura Y., Nevarez-Martinez M. O., Parrish R. H., Ror C., Serra R., Shust K. V., Ward M. N., Zuzunaga J. Z. 1999. Worldwide large-scale fluctuation of sardine and anchovy populations. South African Journal of Marine Science, 21: 289–347.
- Smith P. E., Hewitt R. P. 1985. Anchovy egg dispersal and mortality as inferred from close-interval observations. CalCOFI Reports, 26: 97–110.
- Smith P. E. 2005. A history of proposals for subpopulation structure in Pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western North America. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 46: 75–82.
- Steneck R. S., Graham M.H., Bourque B.J., Corbett D., Erlandson J.M., Estes J.A., Tegner M.J. 2002. Kelp forest ecosystems: Biodiversity, stability, resilience and future. Environmental Conservation, 29: 436-459. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000322>
- Sundby S. 1983. A one-dimensional model for the vertical distribution of pelagic fish eggs in the mixed layer. Deep Sea Research, 30: 645-661.
- Sundby S. 1991. Factors affecting the vertical distribution of eggs. ICES Marine Science Symposia, 192: 33–38.
- Sundby S, Kristiansen T. 2015. The Principles of Buoyancy in Marine Fish Eggs and Their Vertical Distributions across the World Oceans. PLoS ONE, 10(10): e0138821. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0138821>

- Theilacker G. H., Lo N.C.H., Townsend, A.W. 1993. An immunochemical approach to quantifying predation by euphausiids on the early stages of anchovy. *Marine Ecology Progress Series*, 92: 35-50.
- Tibby R. B. 1937. The relation between surface water temperature and the distribution of spawn of the California sardine (*Sardinops caerulea*). *California Fish and Game*, 23: 132–137.
- Torres-Moye G, Edwards M. S., Montaña-Moctezuma C. G. 2013. Estructura de la comunidad bentónica en los bosques de macroalgas de la Cuenca del Sur de California. *Ciencias Marinas*, 39(3): 239–252. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v39i3.2250>
- Vrooman A. M., Paloma P. A., Zweifel J. R. 1981. Electrophoretic, morphometric, and meristic studies of subpopulations of northern anchovy, *Engraulis mordax*. *California Fish and Game*, 67: 39-51.
- Watson J. R., Mitarai S., Siegel D. A., Casel J. E., Dong C, McWilliams J. C. 2010. Realized and Potential Larval Connectivity in the Southern California Bight. *Marine Ecology Progress Series*, 401: 31-48. <http://dx.doi.org/10.3354/meps08376>
- Weber E. D., McClatchie S. 2010. Predictive models of northern anchovy *Engraulis mordax* and Pacific sardine *Sardinops sagax* spawning habitat in the California Current. *Marine Ecology Progress Series*, 406: 251–263.

ANEXO

Diferencia de medianas mediante las pruebas de *U* de Mann-Whitney y Wilcoxon

Las pruebas se realizaron con un nivel de significancia (α) de 0.05.

1. Comparando la densidad de huevos de sardina con la densidad de huevos de anchoveta durante febrero

Prueba de Wilcoxon (grupos relacionados):

SAMPLES	sardina	anchoveta
N:	45	
Mean:	469.51	30.022
Median:	63	0

WILCOXON TEST	
W:	300
Normal approx z:	4.287; p(same)= 1.8126E-05

2. Comparando la densidad de huevos de sardina con la densidad de huevos de anchoveta durante abril.

Prueba de Wilcoxon (grupos relacionados):

SAMPLES	sardina	anchoveta
N:	57	57
Mean:	6.0526	7643.6
Median:	0	4141

WILCOXON TEST	
W:	1653
Normal approx z:	6.567; p(same)= 5.142E-11

3. Comparando la SST_{SAT} de febrero con la SST_{SAT} de abril.

Prueba de *U* de Mann-Whitney (grupos no relacionados).

SAMPLES	febrero	abril
N:	45	57
Mean rank:	10.15	41.35

MANN-WHITNEY TEST	
U:	0
Normal approx z:	-8.641; p(same)= 5.56E-18

4. Comparando la concentración de $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de febrero con la concentración de $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de abril

Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):

SAMPLES	febrero	abril
N:	45	57
Mean rank:	26.33	25.17
MANN-WHITNEY TEST		
U:	914	
Normal approx z: -2.48; p(same)=0.01313		

5. Comparando la SST_{SAT} de febrero de la zona costera con la SST_{SAT} de febrero de la zona oceánica.

Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):

SAMPLES	nerítica	oceánica
N:	38	7
Mean rank:	17.24	5.756
MANN-WHITNEY TEST		
U:	35	
Normal approx z: -3.055; p(same)=0.002249		

6. Comparando la SST_{SAT} de abril de la zona costera con la SST_{SAT} de abril de la zona oceánica.

Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):

SAMPLES	nerítica	oceánica
N:	47	10
Mean rank:	21.84	7.158
MANN-WHITNEY TEST		
U:	117	
Normal approx z: -2.466; p(same)=0.01365		

7. Comparando la concentración de $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de febrero de la zona costera con la $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de febrero de la zona oceánica.

Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados):

SAMPLES	nerítica	oceánica
N:	38	7
Mean rank:	21.76	1.244
MANN-WHITNEY TEST		
U:	28	
Normal approx z: -3.273; p(same)=0.001066		

8. Comparando la $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de abril de la zona costera con la $\text{Chl-}a_{\text{SAT}}$ de abril de la zona oceánica.

Prueba de U de Mann-Whitney (grupos no relacionados).

SAMPLES	nerítica	oceánica
N:	47	10
Mean rank:	28.02	0.9825
MANN-WHITNEY TEST		
U:	1	
Normal approx z: -4.899; p(same)= 9.629E-07		

Análisis de Regresión Múltiple

Se utilizaron coeficiente de correlación de Spearman (no paramétrico) debido a que los datos no presentaron distribución normal.

Primer modelo: Sardina – SST_{SAT} y concentración de CHL- α _{SAT}

Estadísticas de la regresión:

Coefficiente de correlación múltiple	0.3916
Coefficiente de determinación	0.1533
R ² ajustado	0.1362
Error típico	21.3440
Observaciones	102

Análisis de la varianza:

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	8168.0381	4084.0190	8.9647	0.0003
Residuos	99	45100.9619	455.5653		
Total	101	53269.0000			

Se puso a prueba la siguiente hipótesis (nivel de significancia=0.05) para evaluar el efecto de la variable predictiva (SST_{SAT} o CHL- α _{SAT}) sobre la variable respuesta (densidad de huevos de la especie):

1. Hipótesis nula (H₀): El coeficiente de SST_{SAT} no tiene efecto en la variable respuesta.
2. Hipótesis alternativa (H_a): El coeficiente de SST sí tiene efecto en la en la variable respuesta.

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior
Intercepción	63.3808	6.3206	10.0277	0.0000	50.8394	75.9222	5
Variable X 1 (SST _{SAT})	-0.2863	0.0738	-3.8819	0.0002	-0.4327	-0.1400	-
Variable X 2 (CHL- α _{SAT})	0.0556	0.0737	0.7542	0.4525	-0.0907	0.2020	-

Segundo modelo: Anchoqueta – SST_{SAT} y concentración de $CHL-a_{SAT}$

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.7969
Coefficiente de determinación	0.6351
R^2 ajustado	0.6277
Error típico	17.6174
Observaciones	102

Análisis de la varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	53478.6344	26739.3172	86.1524	2.127E-22
Residuos	99	30726.8656	310.3724		
Total	101	84205.5000			

Se puso a prueba la siguiente hipótesis (nivel de significancia=0.05) para evaluar el efecto de la variable predictiva (SST_{SAT} o $CHL-a_{SAT}$) sobre la variable respuesta (densidad de huevos de la especie):

Hipótesis nula (H_0): El coeficiente de SST_{SAT} no tiene efecto en la variable respuesta.

Hipótesis alternativa (H_a): El coeficiente de SST sí tiene efecto en la en la variable respuesta.

		Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción		11.8978	5.2170	2.2806	0.0247	1.5461	22.2496	1.5461	22.2496
Variable X 1	(TSM_{SAT})	0.7761	0.0609	12.7480	0.0000	0.6553	0.8969	0.6553	0.8969
Variable X 2	($CHL-a_{SAT}$)	-0.0071	0.0609	-0.1170	0.9071	-0.1279	0.1137	-0.1279	0.1137

Análisis de Correspondencia Múltiple

Total chi-square (distancia Chi cuadrado)=2864800; df=49; p=0.000

Los eigenvalores de las dos primeras dimensiones explican el 82.29% de la varianza del análisis. La dimensión 1 explicó el 52.02% mientras que la dimensión dos el 30.37%.

Número de dimensión	Eigenvalores	Porcentaje de inercia	Porcentaje de inercia acumulado
1	0.520197	52.01972	52.0197
2	0.303698	30.36976	82.2895
3	0.166045	16.60454	98.9940
4	0.010060	1.00598	100.0000

Contribución de cada factor a la inercia de la primera y segunda dimensión.

FACTORES	Inercia Dimensión 1	Inercia Dimensión 2
febrero	0.414613	0.050042
abril	0.021426	0.002580
nerítica	0.002387	0.053971
oceánica	0.021829	0.493638
mesotrónica	0.047889	0.162582
eutrófica	0.054313	0.184390
sardina	0.416098	0.050325
anchoveta	0.020444	0.002473