

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGIA MARINA**

**Análisis de los movimientos de atún aleta azul del Pacífico
(*Thunnus orientalis*) mediante marcas electrónicas en
relación al hábitat de la Corriente de California**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Oscar Esparza Castro

Ensenada, Baja California, México
2014

Tesis defendida por

Oscar Esparza Castro

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Timothy Robert Baumgartner McBride
Director del Comité

Dr. Gilberto Gaxiola Castro
Miembro del Comité

Dr. David Alberto Rivas Camargo
Miembro del Comité

Dr. Juan Guillermo Vaca Rodríguez
Miembro del Comité

M .C. Ricardo Francisco Núñez Pérez
Miembro del Comité

Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes
Coordinador del programa de posgrado en
Ecología Marina

Dr. Jesús Favela Vara
Director de Estudios de Posgrado

Agosto, 2014

Resumen de la tesis de **Oscar Esparza Castro**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Análisis de los movimientos de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*) mediante marcas electrónicas en relación al hábitat de la Corriente de California

Resumen aprobado por:

Dr. Timothy Robert Baumgartner McBride
Director de tesis

El marcaje electrónico de especies de peces marinos, como el atún aleta azul del Pacífico (AAAP), han proporcionado información sobre sus patrones migratorios, comportamiento de forrajeo, condición fisiológica y preferencias oceanográficas. El AAAP ha sido una especie de interés para el marcaje electrónico, por los juveniles que realizan migraciones trans-oceánicas y movimientos latitudinales extensivos estacionales a lo largo de la Corriente de California (CC). Con el objetivo de explorar preferencias medioambientales, regiones de forrajeo, hábitos alimenticios y principales zonas de agregación del AAAP en regiones del Pacífico Oriental, se analizaron los registros de profundidad, temperatura interna y temperatura externa de las marcas electrónicas archivadoras implantadas en la cavidad peritoneal de siete peces por un periodo de 809 ± 107 días. Se evaluaron los movimientos de los siete peces con tallas de $(101 \pm 18.6 \text{ cm} < 3 \text{ años})$ en tres diferentes escalas espaciales definidas como: mega-escala, macro-escala y meso-escala de agosto 2002 a agosto 2004. Las zonas de mayor residencia del AAAP ($22\text{-}30^\circ\text{N}$) están asociadas con temperatura superficial del mar (TSM) de $16\text{-}20^\circ\text{C}$, en temporadas de primavera-verano. Los incrementos moderados en concentraciones de clorofila es una condición que atrae al AAAP hacia los frentes oceánicos y zonas costeras. Los patrones de distribución geográfica del AAAP, en un ciclo anual, coincidieron con los tres hábitats de sub-poblaciones de sardina definidas por preferencias térmicas (hábitat sub-ártico de $11\text{-}14^\circ\text{C}$; hábitat transicional sub-ártico-sub-tropical de $14\text{-}17^\circ\text{C}$; hábitat sub-tropical de $17\text{-}22^\circ\text{C}$). Se observaron pocos casos de forrajeo en aguas con TSM $< 15^\circ\text{C}$ durante la primavera de 2003 a pesar de la abundancia de sardina en la región norte de 32°C , dando preferencia a las zonas sur e intermedia, donde utilizaron presas alternativas de menor valor calórico que la sardina. Los buceos más profundos del AAAP fueron realizados en horas cercanas al medio día (12:00 h) cuando los niveles alcanzan su máximo, lo cual favorece la búsqueda de alimento a profundidades $> 100 \text{ m}$. Se infiere que el principal mecanismo para la búsqueda de alimento es facilitado por la visión y natación de alta velocidad. De manera general y con base a evidencias obtenidas de este estudio, se puede concluir que los movimientos latitudinales del AAAP son causados en respuesta a los cambios de las condiciones oceanográficas (principalmente temperatura) y la relación abundancia-escasez de presas potenciales; y que en respuesta a esta relación, se infiere que el AAAP posee la capacidad de cambiar su modalidad de alimentación; filtración (en abundancia de macro-zooplankton como anfípodos y el cangrejo pelágico *Pleuroncodes planipes*); persecución activa (en presencia de peces pelágicos menores como sardina *Sardinops sagax* y juveniles de calamar *Dosidicus gigas*).

Palabras clave: **atún aleta azul del Pacífico, marcaje electrónico, zonas de agregación, preferencias oceanográficas, regiones de forrajeo**

Abstract of the thesis presented by **Oscar Esparza Castro**, as a partial requirement to obtain the Master of Science in Marine Ecology.

Analysis of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) movements by electronic tagging in relation to the California Current habitat

Abstract approved by:

Dr. Timothy Robert Baumgartner McBride
Thesis director

Electronic tagging of marine fish species such as Pacific bluefin tuna (PBFT) has provided information on migration patterns, foraging behavior, physiological conditions and oceanographic preferences. The PBFT has been a subject of interest for electronic tagging, since they undertake trans-oceanic migrations and extensive seasonal latitudinal movements within the California Current (CC). In order to explore environmental preferences, and identify major areas of aggregation as well as specific regions for foraging, and to better understand feeding habits of PBFT in the eastern Pacific, data from archival tags implanted in the peritoneal cavities of seven fish of 101 ± 18.6 cm lengths; (ages < 3 years) were analyzed for depth of dives, internal and external temperature for a period of 809 ± 107 . Movements of these seven fish were evaluated at three different spacial scales defined as: mega-scale, macro-scale and meso-scale for the period of August 2002 through August 2004. The higher periods of residence over the annual cycle were observed for the southern region of the CC ($22-30^\circ$ N) associated with sea surface temperatures (SST) of $16-20^\circ$ C, corresponding to spring-summer seasons. The PBFT appear to prefer regions of moderate concentrations of chlorophyll near fronts and coastal regions but avoid very high concentrations in the very near coastal zone. The geographical distribution pattern of the PBFT over the annual cycle, coincided with the three habitats of sardine subpopulations defined by thermal preferences (sub-Arctic habitat $11-14^\circ$ C; sub-arctic/sub-tropical transitional habitat $14-17^\circ$ C; sub-tropical habitat $17-22^\circ$ C). However, this study detected only two instances in which individual PBFT were foraging in waters with SST $<15^\circ$ C, during Springtime of 2003, in spite of the rich abundance of sardines in these waters north of 32° N. Rather the data indicate a preference for southern and intermediate regions ($22-30^\circ$ N) of the CC with warmer temperatures where the PBFT appeared to be foraging on alternative prey with generally lower caloric value than sardines found in abundance in colder water. The deepest dives of PBFT were observed in hours around noon (12:00 h) when light levels reach their maximum, which favors foraging at depths > 100 m. It is inferred that the foraging at this depth is facilitated by vision and swimming speed. The results of this study, are consistent with the interpretation that the latitudinal movements of the PBFT are a response to seasonal changes in oceanographic conditions (principally temperature) and relative abundance/scarcity of potential prey; likewise it appears that the PBFT has the ability to change their feeding mode: using filtration where necessary (in the presence of abundant macro-zooplankton such as larger amphipods and pelagic crabs *Pleuroncodes planipes*) and active pursuit (in the presence prey such as small pelagic fish like sardines *Sardinops sagax* and juvenile giant squid *Dosidicus gigas*).

Keywords: Pacific bluefin tuna, electronic tagging, aggregation zones, oceanographic preferences, forage regions.

Dedicatorias

いろはにほへと

ちりめるを

わかよたれそ

つねならむ

うゐのおくやま

けふこえて

あさきゆめみし

ゑひもせす

A Dios (o como tú le llames o lo percibas) y mis padres; por darme la vida y por cooperar con Dios y la naturaleza, respectivamente.

A mis hermanos, Roberto y Alfonso, por su paciencia y su forma de ser que me complementa.

A mí querida sobrina Alondra, a mis futuros sobrinos e hijos.

Pero sobre todo, a Cristo: que anima y fortalece mi espíritu.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo proporcionado mediante la beca (CVU: 438106). A todos los ciudadanos mexicanos que hacen posible la materialización del apoyo financiero que recibí durante dos años.

A Dr. Baumgartner, mi director. Por darnos la oportunidad de aprender de él y posibilitar los medios para asistir a los cruceros de marcaje de atún aleta azul. A Dra. Barbara A. Block de Stanford University, CA., por su valiosa aportación de datos, la médula de este estudio. Por la oportunidad que nos brindó de asistir a los cruceros de pesca y marcaje de atún aleta azul. A su equipo de trabajo, por su paciencia y apoyo durante los cruceros. A Michael Castleton de Stanford University, CA, por apoyarme con los datos de SIG.

A los miembros de mi comité, Dr. Gilberto Gaxiola C.; Dr. Juan G. Vaca; M.C. Ricardo F. Núñez; y Dr. David A. Rivas, por sus valiosas sugerencias y aportaciones.

A Dr. Michel J. Dreyfus León de FIDEMAR-PNAAPD, a Dr. Roberto Félix Urága de CICIMAR y CONAPESCA, por los datos proporcionados que complementan este estudio.

A todo el personal de CICESE, que hace posible sostener este instituto día a día. A Elizabeth Farías, por su paciencia, atención y disposición. A Elizabeth Avilés Becerril, por sus aportaciones y revisiones finales, realizadas con su debida paciencia.

A mi Alma Mater, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ciencias Marinas, por ser mi campo de entrenamiento, mi punto de partida y la fuente de origen de ideas que se han convertido en una tesis.

A todos los profesores del programa de posgrado de Ecología Marina, que contribuyeron con mi formación académica.

Abreviaciones y acrónimos

AAAP: atún aleta azul del Pacífico
(*Thunnus orientalis*)

BAT: Batimetría

CC: Corriente de California

CTD: Conductivity, Temperature and Depth

CAB: Centro de Actividad Biológica

GU: Golfo de Ulloa

TSM: Temperatura Superficial del Mar

SIG: Sistema de Información Geográfico

SP: Sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*)

TEP: Tiempo Estándar del Pacífico

TSMD: Temperatura Superficial de Mar Diaria

AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer

CalCOFI: California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations

CDFW: California Department of Fish and Wildlife

CICIMAR: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

CONAPESCA: Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura

DAAC: Distributed Active Archive Center

GeoTIFF: Geospatial Tagged Image File Format

GSFC: Goddard Space Flight Center

HIF: Heat Increments of Feeding

IMECOCAL: Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California

JPL: Jet Propulsion Laboratory

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectrometer

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NGDC: National Geophysical Data Center

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Active Archive Center

PODAAC: Physical Oceanography Distributed Active Archive Center

Contenido

	Página
Resumen español	ii
Resumen inglés	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Abreviaciones y acrónimos	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas	xvi
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Introducción al estudio.....	1
Capítulo 2. Antecedentes	
2.1 Región de estudio: características físico-biológicas de la Corriente de California.....	10
2.2 Golfo de Ulloa: centro de actividad biológica.....	11
2.3 Características biológicas, distribución geográfica, migraciones y desplazamientos latitudinales del AAAP obtenidas con datos de marcas electrónicas.....	12
2.4 Zonas de agregación y hábitos alimenticios del AAAP.....	16
2.5 Características biológicas, distribución geográfica y modelos propuestos que definen el hábitat potencial de la SP.....	18
Capítulo 3. Hipótesis y objetivos	
3.1 Hipótesis.....	22
3.2 Objetivo general.....	22
3.3 Objetivos específicos.....	22
Capítulo 4. Metodología	
4.1 Marcas electrónicas archivadoras: descripción y función de las marcas archivadoras.....	23
4.2 Proceso de marcaje electrónico del AAAP: captura-liberación recaptura (agosto 2002-agosto 2004).....	24
4.3 Registros de marcas archivadoras.....	24
4.4 Selección de marcas para este estudio.....	25
4.5 Procesado y presentación de los datos.....	25
4.6 Datos oceanográficos.....	27
4.6.1 Temperatura superficial del mar (TSM).....	27
4.6.2 Datos de clorofila (CHL).....	27
4.6.3 Batimetría (BAT).....	28
4.7 Datos pesqueros sardina y calamar.....	28
4.8 Análisis de agregaciones latitudinales del AAAP asociados con presencia de huevos de la SP (agosto 2002-agosto 2004).....	29

Contenido (continuación)

Capítulo 5. Resultados

5.1 Información general sobre las 7 marcas con curva de crecimiento y descripción de los movimientos en diferentes escalas espacio-temporales (macro-escala, mega-escala y meso-escala) y zonas de agregaciones de 3 marcas (A0368, A0484 y A0481).....	30
5.2 Movimientos de mega-escala.....	33
5.3 Descripción de movimientos a macro-escala en la Corriente de California mes por mes durante septiembre 2002-agosto 2004.....	37
5.4 Generalidades de los movimientos de las 7 marcas a macro-escala durante primavera 2003.....	49
5.4.1 Descripción de movimientos a meso-escala con relación a la TSM, CHL, BAT y oxígeno disuelto. Análisis de forrajeos de las marcas A0484 y A0345 en la Corriente de California durante primavera 2003.....	50
5.4.2 Detalles de comparación a meso-escala durante marzo-abril-mayo de 2003 entre las marcas A0484 y A0345: demostración de movimientos y comportamiento; cambios en el medio ambiente asociados con los movimientos latitudinales y búsqueda de alimento.....	55
5.4.3 Identificación de los periodos de alimentación en la serie de temperatura interna. Distinción entre eventos específicos de alimentación y periodos de alimentación que inician y terminan en la temperatura base del metabolismo (cese de la actividad de forrajeo).....	88

Capítulo 6. Discusión

6.1 Movimientos generales de las 7 marcas seleccionadas en tres diferentes escalas espacio-temporales (mega-escala, macro-escala y meso-escala) y zonas de agregación en marcas (A0368, A0484 y A0481).....	95
6.2 Movimientos a meso-escala con relación a la TSM, CHL, BAT y oxígeno disuelto.....	96
6.3 Comparación a meso-escala durante primavera 2003 (zona sur) entre marcas A0484 y A0345: movimientos y comportamiento asociados con el medio ambiente y búsqueda de alimento.....	100
6.4 Inferencia sobre la interacción atún-sardina y otras posibles presas.....	104

Capítulo 7. Conclusiones

Lista de referencias	118
Anexos.....	129

Lista de figuras

Figura	Página	
1	Desplazamientos del AAAP (indicados por geo-posiciones registradas por 7 marcas electrónicas liberadas entre 2002 y 2005, codificadas con colores para distinción de meses).....	2
2	A) Sistema de corrientes oceánicas del Pacífico Norte, modificado de marinedebris.noaa.gov. B) Componentes del sistema de la Corriente de California.....	2
3	Modelo conceptual de la distribución y movimientos estacionales de tres stocks hipotéticos de SP según Félix-Uraga et al., (2005). Los stocks son identificados en relación a la temperatura de su hábitat [aquí son indicados con una letra en inglés: C=Cold: Frío; T: Temperate: Templado; W= Warm: Cálido]. Las flechas indican la dirección del flujo dominante de la corriente de agua, el grosor, indica la intensidad del flujo.....	5
4	Distribuciones del desove de la SP asociadas con los hábitats “Sub-ártico” y “Sub-tropical” (definido en el campo T,S) están señaladas por las líneas azules (Sub-ártico) y rojos (Sub-trópic) punteadas en los paneles a la derecha para enero, abril, julio, octubre de 2000 (Baumgartner et al., 2005). Estos grupos reproductivos corresponden a los stocks frío y templado de Félix-Uraga et al. (2004), (Baumgartner et al., en prep.).....	6
5	Modelo probabilístico generalizado que describe y predice el patrón de movimientos y hábitat potencial del stock norteño de la SP modificado de (Demer et al., 2011).....	7
6	Modelo de movimientos y migraciones del AAAP descrito por Bayliff, (1980).....	14
7	Mapa de la costa del Pacífico Oriental, desde Canadá a México, mostrando diagramáticamente los movimientos de la SP indicado por rastreo de marcas magnéticas, como lo indicaron las recapturas desde junio de 1935 a mayo de 1944 (Clark, 1945).....	20
8	A) Distribución y concentración relativa de huevos de la SP, mostrados con barras verticales rojas sobre una base de color que representa los volúmenes de zooplancton durante la primavera (abril 2000). Modificado de Baumgartner et al., (2008). B) Promedio de seis años de concentraciones de clorofila (1997-2003) en la CC obtenidas con imágenes de satélite SeaWiFS desde junio a agosto.....	21

Lista de figuras (continuación)

9	Relación talla (cm) – peso (kg) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	32
10	Serie de tiempo interanual con relación a la latitud y longitud de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	34
11	Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (mes/día/año) y latitud (°N) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	34
12	Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (meses) y latitud (°N) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	35
13	Distribución de movimientos latitudinales obtenida de datos de marcas archivadoras implantadas en las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>) seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	35
14	Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (meses) y TSM (°C) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.....	36
15	Distribución de temperatura superficial del mar obtenida de datos de marcas archivadoras implantadas en 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>) seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.	36
16	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 sep-oct-nov (otoño 2002).....	41
17	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 dic-ene-feb (invierno 2002-2003).....	42
18	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 mar-abr-may (primavera 2003).....	43
19	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 jun-jul-ago (verano 2003).....	44
20	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 durante sep-oct-nov (otoño 2003).....	45
21	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 dic-ene-feb (invierno 2003-2004).....	46

Lista de figuras (continuación)

22	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 mar-abr-may (primavera 2004).....	47
23	Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 jun-jul-ago (verano 2004).....	48
24	Serie de tiempo que representa las posiciones latitudinales de siete marcas del AAAP durante primavera del 2003. Este gráfico el color indica cada una de las 7 marcas seleccionadas para este estudio.....	50
25	Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 marzo 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT -500m.....	52
26	Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 abril 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT -500m.....	53
27	Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 mayo 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT -500m.....	54
28	(484 1-8-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	58
29	(484 9-16-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	59
30	(484 17-24-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	60
31	(484 25-31-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	61
32	(345 1-8-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	64
33	(345 9-16-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	65
34	(345 17-24-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	66
35	(345 25-31-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	67
36	(484 1-8-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	69
37	(484 9-16-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	70
38	(484 17-24-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	71
39	(484 25-30-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	72

Lista de figuras (continuación)

40	(345 1-8-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	75
41	(345 9-16-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	76
42	(345 17-24-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	77
43	(345 25-30-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	78
44	(484 1-8-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	80
45	(484 9-16-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	81
46	(484 17-24-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	82
47	(484 25-31-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	83
48	(345 1-8-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	84
49	(345 9-16-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	85
50	(345 17-24-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	86
51	(345 25-31-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora.....	87
52	Cálculo de áreas de incremento de calor por alimentación, calculadas durante 1 al 7 de marzo de 2003 para la marca A0484.....	89
53	Oxígeno disuelto (mL L^{-1}) vs profundidad (m) tomados de lances de CTD del programa de IMECOCAL 0403. La línea discontinua de color verde, señala el límite inferior del hábitat de <i>Pleuoncodes planipes</i> ; mientras que la línea continua de color morado señala el límite inferior del hábitat de <i>Dosidicus gigas</i> durante el día. Se incluye el mapa con los puntos donde se realizaron los lances de CTD durante abril 23 de 2003.....	98
54	Serie de tiempo de profundidades máximas diarias (m) para el mes de abril de 2003, registradas por las 7 marcas del AAAP. Los rombos rojos ubicados corresponden con el día en que se realizó el lance de CTD para la medición de oxígeno disuelto y los valores de oxígeno disuelto.....	99

Lista de figuras (continuación)

55	Presencia de <i>Pleuroncodes planipes</i> y marcas A0368, A0484 y A0481 durante abril 2003.....	101
56	Presencia de huevos de sardina del Pacífico (<i>Sardinops sagax</i>) de los programas CalCOFI e IMECOCAL (abril 2003), y desplazamientos de la marca A0484 durante marzo de 2003.....	107
57	Gráfico que muestra la distribución de huevos de sardina en la región de CalCOFI e IMECOCAL con relación a la temperatura. Las líneas punteadas señalan los límites térmicos de cada hábitat potencial de sardinias. Las figuras de colores indican la región y los meses de muestreo (Baumgartner en prep.).....	108
58	Serie de tiempo de los desembarques de sardina del Pacífico (<i>Sardinops sagax</i>) en la región norte y sur de California desde enero 2002 a diciembre 2004.....	108
59	Serie de tiempo de los desembarques de calamar (<i>Loligo opalescens</i>) en la región norte y sur de California desde enero 2002 a diciembre 2004.....	109
60	Serie de tiempo de los desembarques de sardina del Pacífico (<i>Sardinops sagax</i>) en puerto San Carlos (Bahía Magdalena B.C.S) y puerto El Sauzal (Ensenada B.C.) desde enero 2002 a diciembre 2004.....	109
61	Gráfico que muestra la distribución de huevos de sardina (cuadros rojos) en la región de IMECOCAL. La línea punteada señala el límite de operaciones de la flota de Ensenada/Sauzal (Baumgartner et al., 2005).....	110
62	A) Gráfico que muestra la proporción media de la dieta consumida por los grupos tróficos 4 y 5, respecto a otros grupos tróficos, obtenida mediante el empleo de isotopos estables $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. B) Proporción media de la dieta consumida para tres especies de túnidos; albacora (ALB), atún aleta azul (BFT) y atún aleta amarilla (YFT) (Madigan et al., 2012).....	113
63	Representación gráfica de la metodología. A) Proceso de marcaje electrónico (Boustany et al., 2010). B) Selección de marcas realizada para la evaluación y análisis de este estudio....	129
64	Series de tiempo (OTOÑO 2002) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	130
65	Series de tiempo (INVIERNO 2002-2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	131

Lista de figuras (continuación)

66	Series de tiempo (PRIMAVERA 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	132
67	Series de tiempo (VERANO 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	133
68	Series de tiempo (OTOÑO 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	134
69	Series de tiempo (INVIERNO 2003-2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	135
70	Series de tiempo (PRIMAVERA 2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	136
71	Series de tiempo (VERANO 2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.....	137
72	Geo-posiciones de las marcas A0475, A0448, A0425, A0481 y A0368 del 1 al 19 de marzo del 2003.....	138
73	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de marzo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	139
74	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de abril 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	140
75	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de mayo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	141

Lista de figuras (continuación)

76	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de mayo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	142
77	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de CHL de marzo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	143
78	Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de CHL de abril 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.....	144
79	Calendario de fases lunares de los meses de marzo (A); abril (B) y mayo (B) del 2003.....	145
80	Comparación de la presencia de huevos de sardina del Pacífico (<i>Sardinops sagax</i>) de las regiones de muestreo de CalCOFI e IMECOCAL con la presencia de 3 marcas de AAAP durante abril 2003 y abril 2004.....	146

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Referencia descriptiva de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (<i>Thunnus orientalis</i>), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004. Género: (I=indeterminado; M=macho). Tipo de captura: (S=silvestre).....	31
2	Estadística descriptiva de movimientos latitudinales y longitudinales de septiembre 2002 – agosto 2004.....	49

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción al estudio

Históricamente, el estudio de la ecología de predadores pelágicos como los atunes, tiburones, tortugas y mamíferos marinos ha sido un reto debido a la complejidad de sus conductas y su amplia distribución oceánica (Block, 2005). Recientemente, la tecnología emergente del marcaje electrónico y los avances en la observación oceánica remota, permiten realizar muestreos rápidos, precisos y rastrear movimientos de su ambiente oceánico, así como también, inferir las zonas de agregación de dichos organismos (Fiedler y Bernard, 1987; Block et al., 1998; Block, 2005; Domeier et al., 2005; Kitagawa et al., 2007a; 2007b; Boustany et al., 2010). El estudio realizado por Boustany et al. (2010), de acuerdo a la identificación de regiones con elevada productividad primaria indicadas por la distribución y concentración de clorofila estimada por satélite, describe el patrón de movimiento latitudinal y agregaciones del atún aleta azul del Pacífico (AAP) en la Corriente de California (CC). Por la relación entre la agregación de atún y la concentración de clorofila, infirieron que los atunes se agregan en los frentes de clorofila para alimentarse de los peces atraídos por la abundancia de zooplancton que pastorea sobre el fitoplancton.

El marcaje electrónico de especies de peces marinos como el AAP ha proporcionado información sobre sus patrones migratorios, de forrajeo, fisiológicos y preferencias oceanográficas (Kitagawa et al., 2001; Kitagawa et al., 2004; Itoh et al., 2003a, 2003b; Block, 2005; Blank et al., 2007a, 2007b; Kitagawa et al., 2007a, 2007b; Kitagawa et al., 2008; Boustany et al., 2010; Clark et al., 2010; Whitlock et al., 2013). El AAP ha sido una especie de interés para el marcaje electrónico, ya que realiza migraciones trans-oceánicas, de la región de Japón hasta las costas de California y Baja California, y movimientos latitudinales estacionales a lo largo de la CC, desde las costas de los estados de Washington, Oregon y California, hasta la punta sur de la Península de Baja California (Bayliff, 1980; Fromentin y Powers, 2005; Inakage et al., 2001; Boustany et al., 2010) (Figuras 1 y 2).

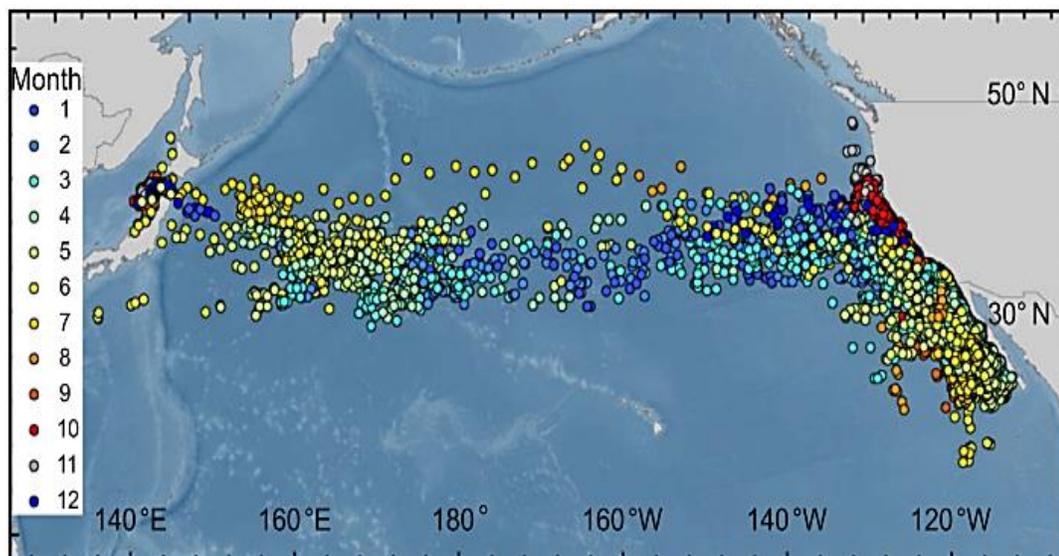


Figura 1. Desplazamientos del AAAP (indicados por geo-posiciones registradas por 7 marcas electrónicas liberadas entre 2002 y 2005, codificadas con colores para distinción de meses (Boustany, et al., 2010).

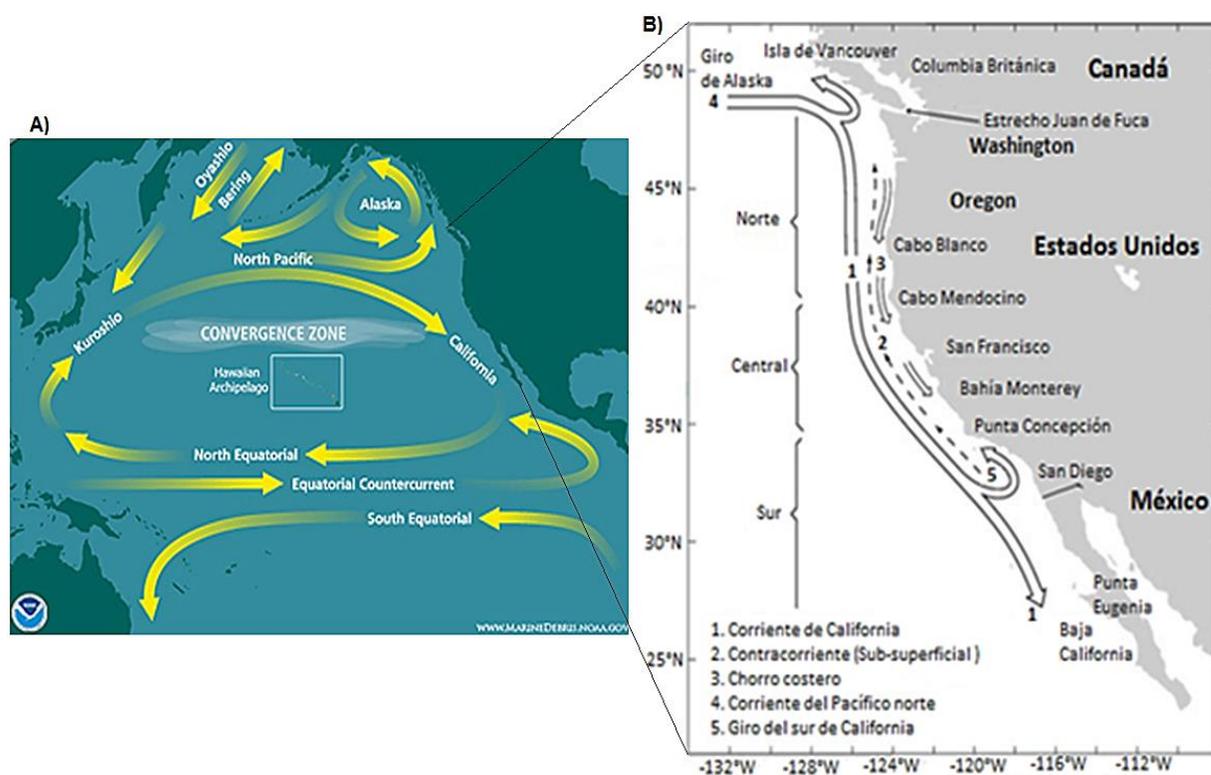


Figura 2. A) Sistema de corrientes oceánicas del Pacífico Norte, modificado de marinedebris.noaa.gov. B) Componentes del sistema de la Corriente de California, modificado de Checkley y Barth, (2009).

Las marcas electrónicas implantadas en los organismos marinos pueden coleccionar datos de resolución fina en diferentes escalas de tiempo y espacio en regiones oceánicas de difícil acceso (Block, 2005; Gilly et al., 2006; Bazzino et al., 2010). Los fisiólogos ecologistas han demostrado que los animales pueden aportar los mayores esfuerzos en la recolección de datos oceanográficos, ya que pueden proveer registros *in situ* de los perfiles verticales de temperatura y niveles de luz en la columna de agua, y así poder mapear condiciones oceánicas en tres dimensiones (Block, 2005; Gilly et al., 2006; Bazzino et al., 2010).

Las corrientes limítrofes orientales como Benguela, Perú-Chile (Humboldt), las Canarias y la CC, son sistemas oceánicos reconocidos por su elevada productividad biológica; producidas por las surgencias de aguas superficiales que fertilizan la zona costera. La CC representada en forma esquemática en la figura 2 forma parte del gran giro anticiclónico del Pacífico Norte, la cual transporta agua con dirección al ecuador a lo largo de la costa oeste de Norte América hasta unirse con la Corriente Nor-Ecuatorial (Lynn y Simpson, 1987; Goericke et al., 2004; Checkley y Barth, 2009).

La CC comprende uno de los ecosistemas marinos más grandes en el mundo en el cual la variabilidad espacial y temporal de las características del hábitat pelágico están estrechamente ligadas a la dinámica de la circulación regional, forzadas por los cambios estacionales e interanuales en la estructura del campo de viento en el Pacífico noreste (Gaxiola-Castro et al., 2010). La variabilidad en la circulación de la CC es significativa, ya que es una región transicional que está altamente influenciada por el flujo del agua Sub-Ártica que es advectada hacia el Ecuador durante los meses de primavera y verano (Durazo y Baumgartner, 2002) y por flujos de agua Subtropical que se dirigen hacia el polo a finales de verano y otoño como contracorrientes superficiales y sub-superficiales (Bograd et al., 2000; Venrick et al., 2003; Durazo, 2009).

El enriquecimiento de nutrientes en la zona eufótica de estos sistemas genera florecimientos de fitoplancton y crecimiento del zooplancton, lo que mantiene poblaciones importantes de pelágicos menores como la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) (SP), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), macarela del Pacífico (*Scomber*

japonicus), y el “charrito” (*Trachurus symmetricus*), los cuales juegan un papel importante como eslabones entre los niveles tróficos inferiores y los depredadores como los mamíferos, pelágicos mayores y aves marinas (Bakun y Parrish, 1980; Schwartzlose et al., 1999), y especialmente, como forraje importante en las zonas donde el AAAP se agrega. Cabe mencionar que durante el periodo de la dominancia de anchoveta y escasez de la sardina en la CC (1960’s), el principal componente de la dieta del AAAP en esta región era la anchoveta (Pinkas et al., 1971). Kitagawa et al. (2007a) han postulado que los movimientos latitudinales observados en el AAAP reflejan cambios estacionales relacionadas con la distribución y abundancia de la SP en la CC.

La mayoría de los adultos del AAAP permanecen en el Pacífico occidental para reproducirse y desovar. Después del desove, una porción de la población adulta realizan migraciones de larga distancia, desde el Pacífico occidental hacia el Pacífico oriental. Las primeras migraciones de larga distancia son realizadas por juveniles de AAAP < 2 años de vida. (Yokota et al., 1961; Bell, 1963; Yamanaka et al., 1963; Yabe et al., 1966; Yukinawa y Yabuta, 1967; Nakamura, 1969; Scott y Flittner, 1972; Okiyama, 1974; Hirota et al., 1976; Okiyama, 1979; Bayliff, 1980; Collete y Smith, 1981; Sund et al., 1981; Collete y Nauen, 1983; Nishikawa et al., 1985; Clay, 1991; Davis, 1991; Bayliff, 1994; Inakage et al., 2001; Fromentin y Powers, 2005).

La SP es un grupo de pelágicos menores que se distribuyen a lo largo de la costa oeste de Norte América, desde la Columbia Británica, Canadá, hasta el sur de la Península de Baja California y Golfo de California (Clark, 1945; Parrish et al., 1989; Félix-Uraga et al., 2004). La SP pasa por un proceso rápido de crecimiento y maduración (Blaxter y Hunter, 1982), comenzando a madurar durante su primer o segundo año de vida. Las sardinas crecen a una longitud estándar (LE) de 30 cm y normalmente viven por más de 8 años (Matarese et al., 1989; Butler et al., 1996).

El estudio descriptivo respecto a las poblaciones de la SP ha sido extenso y variado. Estos estudios han propuesto varios modelos hipotéticos en los que se han descrito los posibles hábitats potenciales de la sardina. De estos estudios, se sabe que la población de la SP se divide en tres sub-poblaciones (sub-población del hábitat-sub-ártico (“*stock*

frío"); sub-población del hábitat transicional sub-ártico-sub-tropical ("*stock templado*"); sub-población hábitat sub-tropical ("*stock cálido*"), definidos principalmente, por técnicas serológicas (Vrooman, 1964), la temperatura oceánica y capturas (Félix-Uraga et al., 2004) (Figura 3), presencia de huevos de SP respecto a la temperatura y salinidad Baumgartner et al., (en prep.) (Figura 4), dinámica de poblaciones y áreas de desove (Smith, 2005).

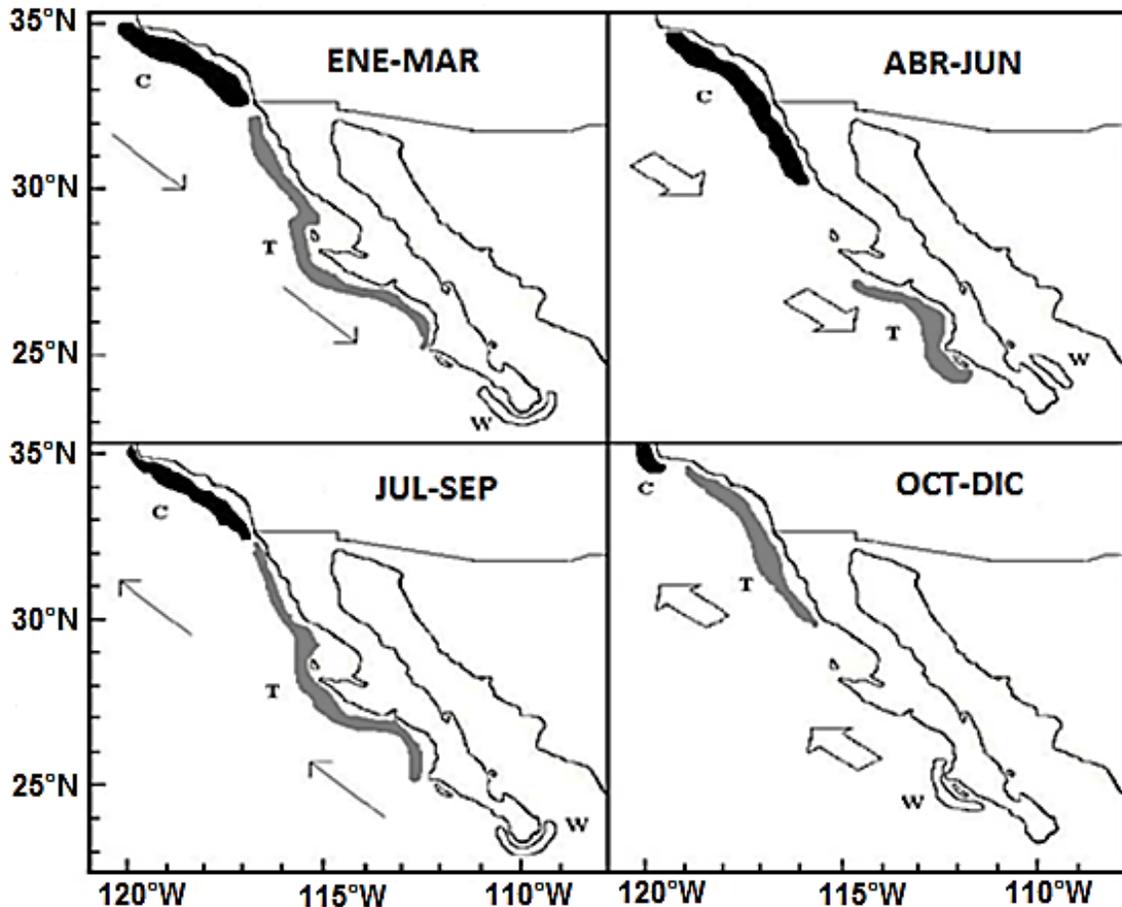


Figura 3. Modelo conceptual de la distribución y movimientos estacionales de tres stocks hipotéticos de SP según Félix-Uraga et al., (2005). Los stocks son identificados en relación a la temperatura de su hábitat [aquí son indicados con una letra en inglés: C=Cold: Frío; T: Temperate: Templado; W= Warm: Cálido]. Las flechas indican la dirección del flujo dominante de la corriente de agua, el grosor, indica la intensidad del flujo.

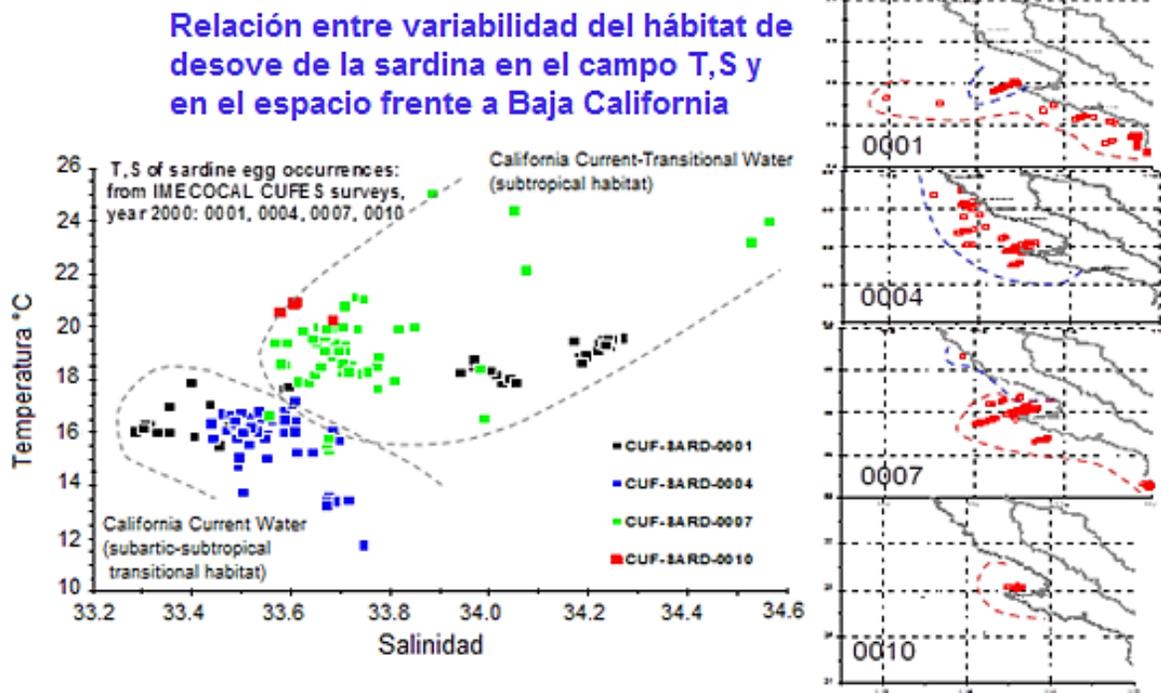


Figura 4. Distribuciones del desove de la SP asociadas con los hábitats “Sub-ártico” y “Sub-tropical” (definido en el campo T,S) están señaladas por las líneas azules (Sub-ártico) y rojas (Sub-trópica) punteadas en los paneles a la derecha para enero, abril, julio, octubre de 2000 (Baumgartner et al., 2005). Estos grupos reproductivos corresponden a los stocks frío y templado de Félix-Uraga et al. (2004), (Baumgartner et al., en prep.).

Recientemente, basados en una colección de datos de 12 años en los que se incluyeron muestras de huevos de sardina y datos de condiciones oceanográficas obtenidas de sensores remotos, se identificaron relaciones significativas entre la presencia de huevos de sardina con la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila-a y el gradiente de la altura superficial oceánica, lo cual podría ser un punto de partida para el desarrollo de un modelo probabilístico generalizado (Figura 5), en el que se pueda describir y predecir con precisión el hábitat potencial y los patrones de migración del “stock frío” de la SP (Demer et al., 2011; Zwolinski et al., 2011).

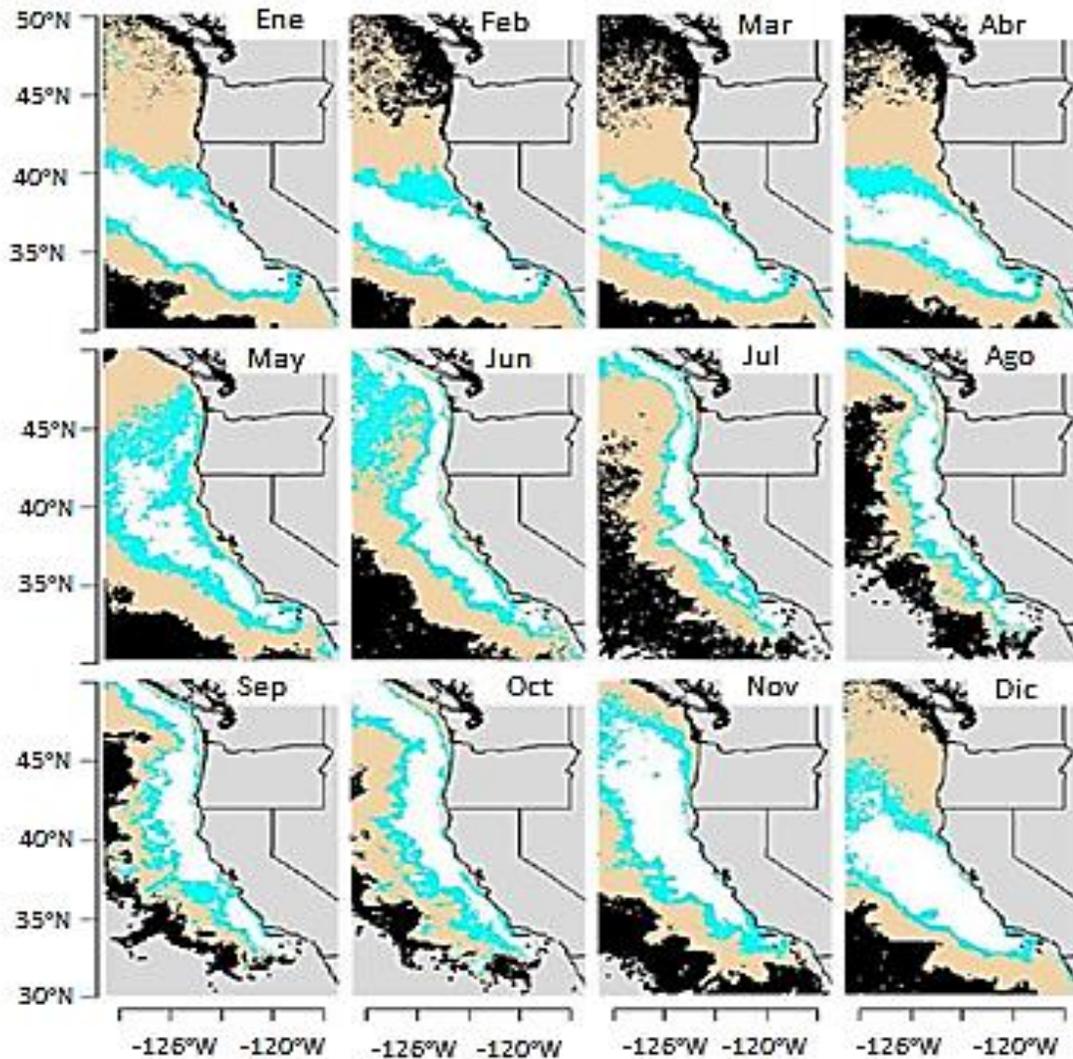


Figura 5. Modelo probabilístico generalizado que describe y predice el patrón de movimientos y hábitat potencial del stock norteño de la SP modificado de (Demer et al., 2011).

Poco se sabe sobre la interacción entre la SP y el AAP y aunque se han realizado estudios que han tenido como finalidad buscar evidencias sobre este tipo de interacción, aún es necesario realizar investigaciones que proporcionen evidencias precisas sobre la interacción entre estas especies. Polovina (1996), basado en la evaluación de los stocks e índices de abundancia de AAP en el Pacífico occidental y oriental, hipotetizó que cuando la sardina (*Sardinops melanosticta*) en el mar de Japón era abundante, una proporción mayor de la población de AAP permanecería en el Pacífico occidental, comparado con los años en que la sardina fuera escasa, cuando una mayor proporción de la población del AAP migraría al Pacífico oriental. Por otra

parte, el estudio realizado por Madigan et al. (2012) en la región sur de la CC, llevó a cabo el análisis de isotopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en tejidos de presas y predadores, entre ellos el AAAP (*Thunnus orientalis*) y la SP (*Sardinops sagax*), con lo cual mostraron que el AAAP incorporaba en su dieta a la SP. Actualmente, con los datos recopilados de las marcas electrónicas implantadas en el AAAP bajo condiciones de temperaturas controladas y el suministro de raciones de sardina y calamar, se han desarrollado modelos que permiten estimar la ingesta energética de atunes juveniles silvestres (Whitlock et al., 2013). La aplicación de dichos modelos con datos de temperatura obtenidos de las marcas electrónicas implantadas en atunes silvestres podría proporcionar evidencias confiables para ampliar el conocimiento de la interacción entre el AAAP y la SP.

La industria atunera de Ensenada, Baja California experimentó una crisis económica severa después de los embargos atuneros de 1980 y 1990 (Del Moral-Simanek et al., 2010). A partir de 1997 la industria atunera de Ensenada invirtió en tecnologías extranjeras para cultivo (captura y engorda) de AAAP. Esta modalidad de producción fue altamente favorecida ya que de esta especie, debido a sus patrones de migración trans-Pacífica y movimientos latitudinales en las costas de California y Baja California (Itoh et al., 2003, Block, 2005; Kitagawa et al., 2007a; Boustany et al., 2010), se encuentran poblaciones de peces juveniles (1-3 años) disponibles que facilitan su captura (CIAT, 2011).

Según Del Moral-Simanek y Vaca-Rodríguez (2009) "En México, el aprovechamiento de las capturas de atún aleta azul del Pacífico Norte (Thunnus orientalis) experimentó un cambio importante tanto en el procesamiento como en el destino del mercado consumidor [...] Esta valoración económica de la especie ha modificado las formas de manejo durante su captura, pues del cuidado que se le dé, depende en parte el precio de venta final".

La realización de modelos empleados para elaborar estrategias de manejo de ecosistemas marinos incluyendo los factores físicos y biológicos del medio, resulta un reto (Bracken et al., 2007). Cabe señalar que las interacciones físico-biológicas juegan un papel importante en la dinámica de un ecosistema, ya que existe una

interdependencia estrecha entre los procesos físicos y biológicos. Las dificultades asociadas con la definición y aplicación del manejo basados en ecosistemas son limitadas, porque las aproximaciones se contrastan con las estrategias tradicionales de pesquerías de especies de peces individuales (Bracken et al., 2007). El entendimiento de los patrones de movimiento, las preferencias de hábitat y la ecología del AAAP dentro de la región de la CC es de gran importancia para la comprensión de su biología y crítico para toma de decisiones futuras respecto a la administración y manejo de estos recursos.

Mediante el empleo de datos obtenidos del programa de marcaje electrónico se propone realizar una descripción sobre los movimientos latitudinales del AAAP dentro de la región de la CC (45°N-20°N). Los movimientos del AAAP serán analizados en tres diferentes escalas de espacio-tiempo: megaescala ≥ 12 meses, ligado al ciclo inter-anual de los movimientos y distribución del AAAP, asociados con condiciones oceanográficas del hábitat de la CC, desde Oregon hasta Baja California Sur, así como también, con los movimientos y distribución de las posibles presas del AAAP (*S. sagax*, *L. opalescens*, *D. gigas* y *P. planipes*); macroescala ≤ 3 meses (movimientos regionales, realizados entre áreas de forrajeo); y mesoescala ≤ 1 mes (movimientos locales relacionados con áreas de forrajeo). Los datos de presencia de huevos de la SP asociados con la región de muestro de CalCOFI e IMECOCAL serán empleados para contrastarlos con zonas de agregación del AAAP.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Región de estudio: características físico-biológicas de la Corriente de California

La Corriente de California se extiende desde la zona transicional (50°N, separando los giros del Pacífico Norte y el de Alaska), donde la corriente del Pacífico norte que fluye hacia el este se aproxima a las costas de Norte América, hasta la región subtropical frente a la península de Baja California, México (~15-25°N) (Figura 1) (Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987; Checkley y Barth, 2009). Las fuerzas climáticas, particularmente los patrones de presión atmosférica, actúan desde la superficie dando origen a diversos patrones y procesos físicos, incluyendo las surgencias causadas por el esfuerzo del viento y el balance geostrófico de la CC, los chorros costeros y la contra corriente sub-superficial (Venrick et al., 2003). La irregularidad de la línea de costa, la batimetría y la variación temporal en el forzamiento resulta en un rango de patrones y procesos a todos los niveles de organización física y biológica (Checkley y Barth, 2009).

La CC comprende tres regiones ampliamente definidas: 1. Desde Isla Vancouver a Cabo Blanco (Norte); 2. Cabo Blanco a Punta Concepción (Central); 3. De Punta Concepción al norte de Baja California (Sur). Estas regiones son caracterizadas por las diferencias en el esfuerzo del viento, intensidad de las surgencias costeras, morfología costeras, influjos de agua dulce, y la influencia de advecciones de tiempo y escalas largas; así como también, en la variación de procesos biológicos (Change, 1992; Goericke, et al., 2004; González-Rodríguez et al., 2012; Landry et al., 2012). De estas regiones indicadas se conoce que su dinámica hidrográfica, disminuye gradualmente de norte a sur. Las características físico-biológicas, asociadas a las diferentes regiones de la CC, influyen en la formación de diversos hábitats así como en la ecología de las especies (Goericke et al., 2004; Landry et al., 2012).

La región 1 se caracteriza por tener vientos fuertes con tormentas invernales intensas y frecuentes. Tanto la producción primaria como la biomasa de zooplancton varían

estacionalmente. La región 2, por las características morfológicas de la costa y la influencia de los vientos, se reconoce como una región de surgencias costeras estacionales fuertes y por la variedad de características de mesoescala como chorros costeros, remolinos, filamentos y frentes, que tienden a transportar organismos hacia afuera de la costa. Los peces que se reproducen en esta región tienden a criar sus huevos o larvas, o desovar en aguas protegidas. La concentración de actividad de desove de peces es intensa en la región 3. Cerca del 90% de la biomasa de peces epipelágicos (sardina, merluza, anchoveta, etc.) se encuentran en esta región, ya que la producción primaria y secundaria es importante para una fracción de estos peces pelágicos mayores (Change, 1992). Esencialmente, debido a las condiciones oceanográficas de las regiones ocurren cuatro convergencias faunales: la transicional, la sub-ártica, la central y la ecuatorial (Lluch-Belda et al., 2003).

2.2 Golfo de Ulloa: centro de actividad biológica (CAB)

El Golfo de Ulloa (GU) forma parte del hábitat de la CC. Se encuentra en la región somera de la costa oeste de la Península Baja California, limitada en el norte por Punta Eugenia (28°N -115°30'W) y al sur por Cabo San Lázaro (25°N-111°30'W). La plataforma continental se extiende aproximadamente 20 km fuera de la costa de Bahía Magdalena; se amplía cerca de los 100 km en la parte central del Golfo de Ulloa y se reduce casi desapareciendo en la parte norte de Punta Eugenia. (Rodríguez et al., 2010). El GU Es un sistema lagunar (~1500km²) altamente productivo que depende del abastecimiento de nutrientes de las aguas oceánicas circundantes (Del Monte-Luna, 2004; González-Rodríguez, 2012). Hacia el oeste, el GU se encuentra en el borde sur de la CC, el cual ejerce mayor influencia en la dinámica del lugar. Las surgencias por vientos son más fuertes en abril-mayo. El GU es similar a los ecosistemas asociados con corrientes limítrofes orientales (González-Rodríguez, 2012). En primavera domina el agua sub-ártica (fría y de baja salinidad) advectada por la CC y en otoño-invierno se incorpora cercana a la costa agua sub-tropical superficial (cálida, más salina y con baja concentración de nutrientes) (Lynn y Simpson, 1987; Murillo et al., 2013).

La productividad primaria de esta región muestra diferencias significativas entre estaciones debido al efecto ejercido por las surgencias (Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000). Las concentraciones de clorofila en invierno-primavera son cinco veces

más altas que en la temporada cálida de verano-otoño. Las áreas de alta concentración en los meses de surgencias poco intensas se encuentra hasta los 20 km a partir de la costa, mientras que durante los meses de surgencias se rebasan los 80 km partiendo de la costa (Lluch-Belda, 2000).

Esta región es considerada como un centro de actividad biológica (CAB); áreas costeras pequeñas de dimensiones más o menos constantes, que debido a los procesos físicos como: surgencias, frentes y remolinos, presentan permanentemente una alta productividad. Estas características en comparación con las áreas aledañas, favorece la concentración de considerables cantidades de biomasa de organismos marinos, muchos de ellos de importancia comercial (Del Monte-Luna, 2004).

Según González-Rodríguez (2012), en el GU las altas abundancias de macrozooplancton se presentan en las propias áreas de alta concentración pigmentaria, lo que permite suponer una transferencia trófica casi inmediata. Por otra parte, las áreas de alta abundancia de larvas de peces aparecen relativamente cercanas a los núcleos de alta concentración pigmentaria, lo que podría ser resultado de procesos de retención y concentración.

2.3 Características biológicas, distribución geográfica, migraciones y desplazamientos latitudinales del AAAP obtenidas con datos de marcas electrónicas

Los atunes son peces con características morfológicas que les permiten ser nadadores eficientes; tienen un cuerpo fusiforme, cabeza pronunciada en forma de pirámide triangular y boca relativamente pequeña con respecto al desarrollo del cráneo. Las escamas que cubren su dura y muy resistente piel son pequeñas, poco evidentes y lisas; la piel está lubricada con un “mucus” que reduce la fricción con el agua. La forma fusiforme de su cuerpo y su tamaño les permite nadar grandes distancias y alcanzar velocidades de hasta 70 kilómetros por hora. Presentan dos aletas dorsales muy próximas, rígidas y robustas y una aleta caudal fuerte con forma de arco terminando en dos zonas puntiagudas que le dan aspecto de media luna. Su coloración es típica de los peces pelágicos con el dorso azul oscuro y el vientre blanco plateado con reflejos

irisados (Lemus, et al., 1997). Son organismos epipelágicos, normalmente oceánicos, pero temporalmente se acercan a la costa. Toleran intervalos de temperatura amplios de 14° a 20°C (Itoh, et al., 2003; Kitagawa et al., 2004; Inagake et al., 2001), forman cardúmenes según su tamaño, e incluso, algunas veces se asocian con otros escómbridos. Es un depredador voraz que se alimenta de una gran variedad de cardúmenes de peces pequeños y calamares, también de cangrejos y en menor grado de organismos sésiles (Collete y Nauen, 1983).

Tanto los machos como las hembras del AAAP, mantenidos en cautiverio, maduran a los 3 años de edad. La longitud de estos peces (macho 119 cm; hembra 135 cm) son considerablemente similares a la longitud promedio de los peces silvestres de 3 años de edad (Hirota et al., 1976). Hirota et al (1976) sostienen que el AAAP silvestre madura a los 3 años en la naturaleza. Harada (1980) sostiene que el desove del AAAP ocurre a los 5 años de edad y que las longitudes y pesos de estos peces son cercanos a los 150 cm y 60 kg, respectivamente. Peces de 270 y 300 kg desovan cerca de 10 millones de huevos (Yamanaka et al., 1963). El estimado de los 5 años de edad en relación con peso y longitud del AAAP, concuerdan con los datos estimados para el atún aleta azul del Océano Atlántico (Clay, 1991) y para el atún aleta azul del Pacífico Sur (Davis, 1991).

Los desoves del AAAP ocurren entre Japón y Filipinas en abril, mayo y junio, frente al sur de Honshu en julio, y en el mar de Japón en agosto (Yamanaka y colaboradores, 1963; Yabe et al., 1966; Okiyama, 1974 y 1979; Nishikawa et al., 1985). Las larvas, post-larvas, y juveniles producidas al sur de Japón son transportadas hacia el norte por la Corriente de Kuroshio hacia Japón. Los peces de edad 0 de 15 a 60 cm de longitud son capturados en las cercanías de Japón durante el verano, otoño e invierno de sus primer año de vida (Yabe, et al., 1966). Después del desove, algunos peces probablemente se dispersan hacia otras áreas del Pacífico occidental, mientras que otros podrían migrar hacia el Pacífico oriental, y al año siguiente, podrían estar volviendo a las áreas de desove (Shomura et al., 1994).

Anterior a los programas de marcaje electrónico, la descripción de la distribución de los atunes se realizaba con datos obtenidos por pesquerías comerciales e investigaciones de capturas mediante encuestas (Sund et al., 1981). Para entonces, se sabía que su distribución, en general, correspondía para el océano del Pacífico Norte; desde el Golfo de Alaska hasta el sur de California y Baja California, México; y desde las Islas Sakhalin, en la parte sur del Mar de Okhotsk hasta el norte de Filipinas (Collete y Smith, 1981). El modelo de la historia de vida y la estructura del *stock* del AAP fue descrito por primera vez por Bayliff (1980) (Figura 6), pero ha sido modificado considerablemente desde entonces debido a la adquisición de información obtenida de los programas de marcaje electrónico recientes (Kitagawa et al., 2008; Boustany et al., 2010).

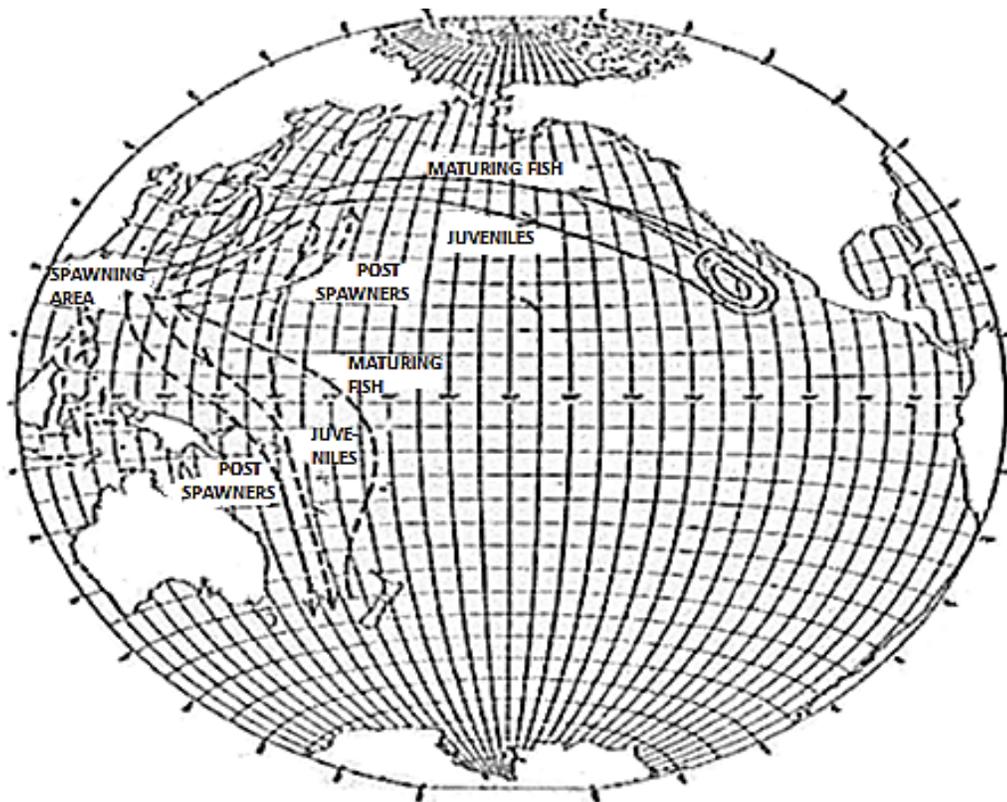


Figura 6. Modelo de movimientos y migraciones del AAP descrito por Bayliff, (1980).

Se han formulado varias hipótesis con el fin de entender las migraciones transpacíficas y los desplazamientos latitudinales del AAP. Polovina (1996) hipotetizó que las migraciones realizadas a lo largo del Pacífico Norte, estaban ligadas a la abundancia de

sardinias frente a Japón. Nakamura (1969) postuló que los atunes realizan dos tipos de movimientos: 1. “Se supone que realizan movimientos en respuesta a los cambios en las condiciones del hábitat”; 2. “Realizan un movimiento entre los hábitats, debido a un cambio en los requerimientos fisiológicos y ecológicos del pez”. Por otra parte, Sharp (1978) relacionó los movimientos con la alimentación o reproducción y los clasificó como movimientos de corto plazo de distancias cortas, en donde se requiere mayor gasto de energía (Sharp y Dotson, 1977); y los movimientos a largo plazo de largas distancias, facilitadas, principalmente, por las corrientes oceánicas.

La información del marcaje es útil para identificar las preferencias medioambientales, las regiones de búsqueda de alimento, biología termal y las áreas de residencia del AAAP en regiones del Pacífico Oriental. Por otra parte, estos datos están revelando corredores migratorios, puntos clave y patrones físicos oceanográficos, que permiten conocer como el AAAP se desenvuelve en un ambiente oceánico abierto (Inakage et al., 2001; Domeier et al., 2005; Block et al., 2005; Boustany et al., 2010). Además, se han observado con más detalle los patrones de nado, asociados con eventos de alimentación, fisiología y frecuencias de buceos, realizados en la columna de agua, de la cual se extrae información sobre su estructura, como perfiles de temperatura y luz (Kitagawa et al., 2001, 2007a; 2007b; Itoh et al., 2003). De los estudios realizados con datos proporcionados por marcas electrónicas, se sabe que a la edad de 1+ años los atunes nadan frente a las costas de Japón. Varios de los peces migran al Pacífico Oriental cuando miden 55-65 cm aproximadamente de 1-3 años. A la edad de 3-5 años los atunes regresan a las costas de Japón (Sund et al., 1981; Itoh et al., 2003; Kitagawa et al., 2008; Boustany et al., 2010).

Durante su estancia en el Pacífico Oriental, el AAAP es residente de la CC, región de surgencias frente a las costas de California y Baja California. Exhiben patrones de movimientos latitudinales periódicos relacionados con la estación del año. En invierno (dic-ene-feb) se desplazan en dirección sur, del norte frente a la costa de California (36°N) hasta la parte central de la Península de Baja California (29°N). Durante primavera (mar-abr-may) permanecen en la parte sur frente a la Península de Baja California (28°-24°N) y en verano (jun-jul-ago) se desplazan hacia el norte de Baja

California y sur de California (28°a 30°N). En el otoño (sep-oct-nov) se encuentran entre las costas del norte de Baja California y sur de California (32°-42°N) (Domeier et al., 2005; Kitagawa et al., 2007a; Boustany et al., 2010).

Después de cruzar el Océano Pacífico de occidente a oriente, los atunes están expuestos a las pesquerías comerciales y recreacionales frente a California y norte de Baja California, posteriormente los sobrevivientes regresan al Pacífico Occidental (CIAT, 2011). La mayoría de las capturas de atún aleta azul del Pacífico Oriental son realizadas por buques cerqueros. Casi todas las capturas se realizan en la zona frente a Baja California y California, a menos de unas 100 millas náuticas fuera de la costa, entre 23°N y 35°N. Se estima que el 90% de los organismos capturados mide aproximadamente, entre 60 y 100 cm de talla, representando principalmente peces de entre 1 y 3 años de edad (CIAT, 2011).

2.4 Zonas de agregación y hábitos alimenticios del AAAP

El AAAP, como otras especies de peces pelágicos, tiende a agregarse cerca de las zonas costeras donde la productividad primaria suele ser elevada. Según el estudio realizado por Boustany et al. (2010), el total de las áreas geográficas ocupadas por los atunes marcados variaron con la productividad primaria, encontrando mayor densidad de peces en áreas de mayor productividad y grupos dispersos de peces en áreas de menor productividad.

Según Olson et al. (1994) existen varios supuestos en los que se plantea que las especies móviles se agregan en los frentes de clorofila. En algunos casos, estas agregaciones son causadas por el comportamiento alimenticio o migracional. En general, los juveniles de atún se alimentan de zooplancton, peces pequeños y algunos peces costeros; los peces sub-adultos se alimentan de peces pelágicos, camarones y cefalópodos, mientras que los adultos, se alimentan principalmente de pelágicos menores y cefalópodos (Fromentin y Powers, 2005; Sarà y Sarà, 2007).

En el estudio realizado por Fiedler y Bernard (1987) se dieron a conocer aspectos generales sobre el comportamiento alimenticio de dos especies de depredadores,

albacora (*Thunnus alalunga*) y barrilete (*Katsuwonus pelamis*), demostrando que los atunes son forrajeros altamente eficientes de peces, calamares y zooplancton de mayor tamaño. La distribución de estos depredadores estaba relacionada con estructuras físicas frontales de meso-escala, visibles por medio de satélites que registran temperatura superficial oceánica e imágenes de pigmentos del fitoplancton. La productividad de estos frentes se asocia con la presencia de pelágicos menores, crustáceos pelágicos y eufáusidos, de los cuales se alimenta la albacora (*Thunnus alalunga*) y el barrilete (*Katsuwonus pelamis*).

El alimento de los atunes en la naturaleza ha sido estudiado mediante la observación del contenido estomacal (Pinkas et al., 1971) y recientemente empleando isótopos estables (Madigan et al., 2012). De estos estudios se sabe que el AAAP generalmente se alimenta de organismos pelágicos activos que miden de 1 a 10 cm de longitud, como peces, moluscos y crustáceos. Según Sund et al. (1981) los grupos de presas escasamente consumidos por el AAAP son los peces mesopelágicos, especialmente, de las familias *Myctophidae* y *Gonostomatidae*, así como también los eufaúsidos. Una excepción de la familia *Gonostomatidae* es del genero *Vinciguerria*, que viven dentro del rango vertical en que el atún habita durante el día y la noche, haciéndoles presa disponible para la actividad de forrajeo de los atunes (Alverson, 1963; Legand et al., 1972).

El AAAP se alimenta algunas veces en áreas cercanas a la costa. Los atunes capturados en aguas someras habían comido estrellas de mar, algas laminarias, peces planos (*Citharichthys*), percas (*Embiotocidae*) y roncadores (*Genyonemus lineatus*) (Shomura et al., 1994). Pinkas et al. (1971) reportó que los atunes capturados en la superficie, muestreados en 1968 y 1969 consumieron, en orden de importancia, anchovetas, cangrejos rojos (*Pleuroncodes planipes*), sauris (*Cololabis saira*), calamar (*Loligo opalescens*) y merluza (*Merluccius productus*).

Scott y Flittner (1972) encontraron que sólo al sur de 29°N el cangrejo rojo forma parte de la dieta del AAAP y las conglomeraciones de cardúmenes de peces son por mucho comunes al norte de esta latitud, donde los peces son la única alternativa para la dieta.

Estos autores sostienen que las diferencias en la disponibilidad de alimento en determinadas latitudes, moldean el comportamiento del AAAP. Por ejemplo: “la alimentación por filtración” puede ser empleada mientras se alimentan de cangrejo rojo y “persecución vigorosa” requerida para alimentarse de peces.

Bell (1963) sostiene que la albacora (*Thunnus alalunga*), cola amarilla o jurel (*Seriola dorsalis*), barracuda (*Sphyraena argenta*), y macarela (*Scomber japonicus*) compiten por los recursos alimenticios del AAAP. Yokota et al. (1961) notaron la presencia de juveniles del AAAP en los estómagos de barriletes (*Katsuwonus pelamis*). Yamanaka et al. (1963) sostienen que "formas inmaduras del AAAP tienen muchos depredadores como focas, delfines, peces espada, tiburones y ejemplares grandes de su propia especie".

2.5 Características biológicas, distribución geográfica y modelos propuestos que definen el hábitat potencial de la SP

Los pelágicos menores son peces que alcanzan longitudes de entre 10 y 40 cm. Suelen habitar ecosistemas de alta productividad biológica que se extienden desde la zona costera hacia mar adentro. Se alimentan principalmente de zooplancton, aunque la sardina puede utilizar también fitoplancton (INP, 2006). La SP (también conocida como sardina Monterrey) forman cardúmenes grandes (Whitehead, 1985) y se encuentran dentro de un rango de temperatura de 11° a 23°C. Se alimentan principalmente de zooplancton, especialmente de crustáceos como copépodos y eufáusidos. Son ovíparos, de huevos y larvas pelágicas. Muestran un proceso de crecimiento y maduración rápido (Blaxter y Hunter, 1982), comenzando a madurar durante su primer o segundo año de vida. Pueden vivir hasta más de 20 años en condiciones naturales sin explotación (Matarese et al., 1989).

El desove de la sardina aparentemente coincide con los tiempos y lugares con bajas surgencias, asociados a temperatura de agua de 13.5 a 16.5°C, para el “*stock frío*” (Zwolinski et al., 2011). Estas áreas y condiciones proveen de suministros adecuados

de alimento para sardinas adultas (Aceves-Medina et al., 2009) y sus larvas (Lynn, 2003), y es propicio para la retención de los huevos y larvas cerca de la costa (Parrish et al., 1981). La extensión de la temporada de desove aparentemente está relacionada con la disponibilidad del alimento para los adultos (Aceves-Medina et al., 2009; Somarakis et al., 2006). En el Pacífico nororiental, la población de la SP posee una distribución geográfica amplia, que va desde el sureste de Alaska hasta el extremo más sureño de la Península de Baja California durante los periodos de su máxima extensión hacia el norte y también ocurre en abundancias importantes dentro del Golfo de California (Parrish et al., 1989).

La temperatura es un factor importante que afecta la distribución de los organismos marinos (Lluch-Belda et al., 1991). Las poblaciones de las sardinas en la CC extienden su distribución geográfica durante periodos cálidos y se contraen durante periodos fríos (Lluch-Belda et al., 1989). Tanto las migraciones como los cambios de distribución de abundancia en poblaciones de pelágicos menores son influenciadas fuertemente por cambios en las condiciones del ambiente, dando lugar a un “cambio de régimen” que pueden durar varias décadas (Lluch-Belda et al., 1989, 1991; Baumgartner et al., 1992).

Durante las décadas de los años 1930s y 1940s, los estudios de marcaje reportados por Clark (1945) indicaron que las SP realizaban migraciones extensivas de miles de kilómetros entre la región del sur de California y Columbia Británica en Canadá dentro de un año y viajaban también entre Baja California norte y central, y la región sur y norte de California (Figura 7).

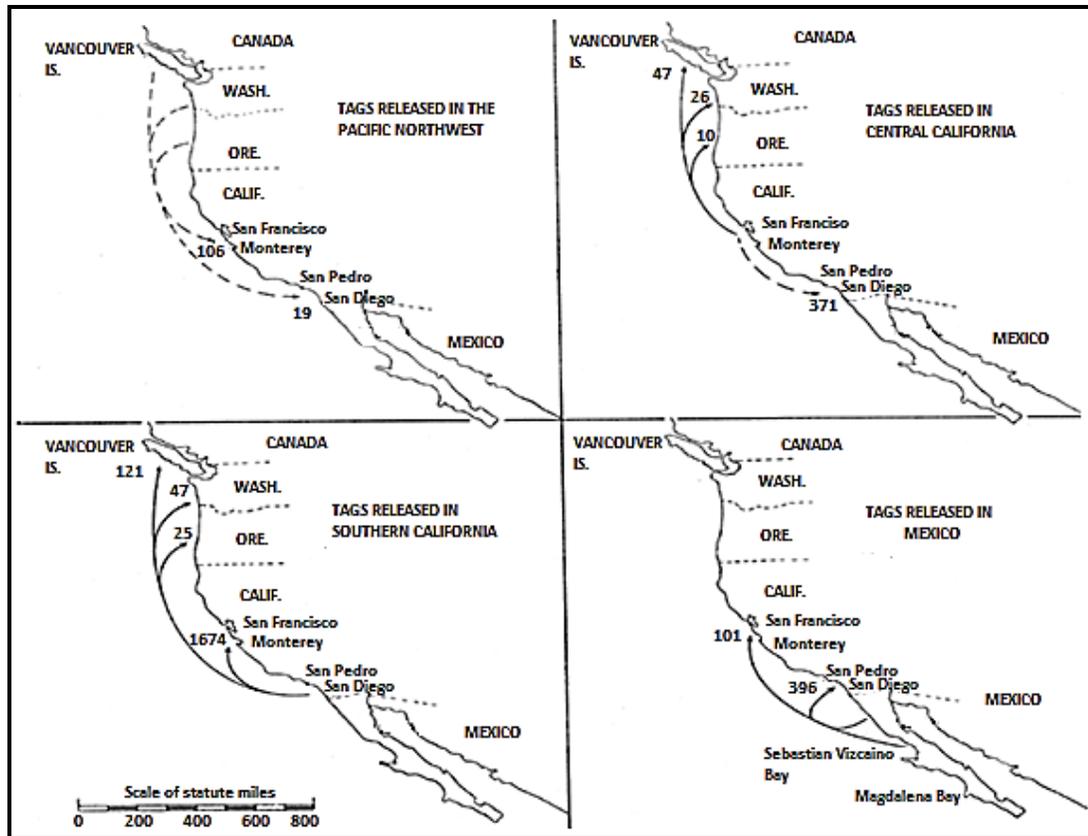


Figura 7. Mapa de la costa del Pacífico Oriental, desde Canadá a México, mostrando diagramáticamente los movimientos de la SP indicado por rastreo de marcas magnéticas, como lo indicaron las recapturas desde junio de 1935 a mayo de 1944 (Clark, 1945).

El desplazamiento realizado hacia el norte de California aumenta con la edad y talla de las sardinas (Hart, 1973). Hay evidencia que existen tres sub-poblaciones, o stocks de sardinas en la CC. Estas sub-poblaciones han sido estimadas partiendo de varios estudios como el marcaje, distribución de áreas de desove, grupos sanguíneos, conteos de columna vertebral, estimaciones de tasas de mortalidad o reclutamiento bi-modal estacional y estudios de genética de poblaciones. Smith (2005) y Félix-Uraga et al. (2004) han postulado un modelo hipotético conceptual del movimiento estacional de dichos stocks que distingue tres sub-poblaciones de la población de la sardina en relación a la intensidad del flujo en la CC y la temperatura de su hábitat. Se identifican los tres stocks en relación a la temperatura, el “Frío,” el “Templado” y el “Cálido” (Figuras 3 y 4). Aunque existen estudios que han tratado de caracterizar el hábitat potencial de la sardina Monterrey (Lynn, 2003; Zwolinski et al., 2011), es importante considerar un modelo de la perspectiva de la interacción con el AAP en el contexto de

la relación depredador-presa y la descripción de las interacciones físico-biológicas que determinan el carácter del ecosistema como se muestra en la figura 8. El patrón de clorofila en la figura 8b está asociado a la distribución de la biomasa de zooplancton en la figura 8a, la cual muestra una tendencia latitudinal estacional marcada relacionada con la actividad de surgencias costeras en la región norte de Baja California (30°-32°N) comparada con las regiones centrales (24°-30°N), una observación notada por Gaxiola-Castro et al. (2010). Entonces, los patrones de clorofila y la distribución de zooplancton otorgan información valiosa con la que puede estructurarse el hábitat de sardina y determinar la distribución de la variación espacio-temporal de la concentración de huevos de peces pelágicos menores que indican la presencia de los adultos (Baumgartner et al., 2008).

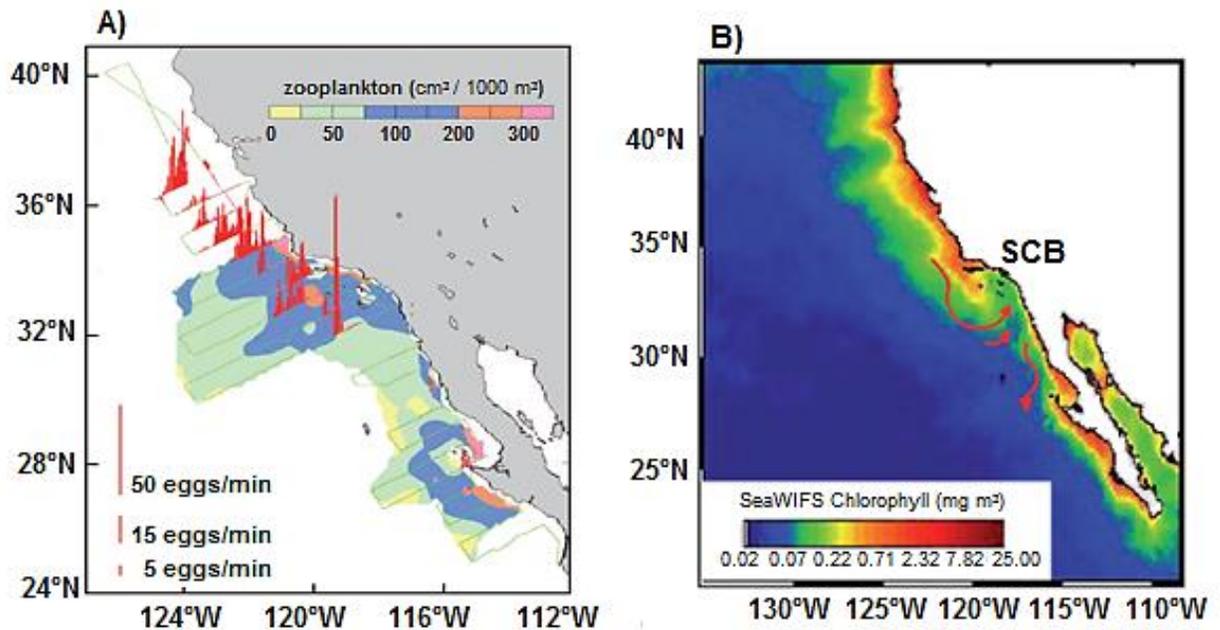


Figura 8. A) Distribución y concentración relativa de huevos de la SP, mostrados con barras verticales rojas sobre una base de color que representa los volúmenes de zooplancton durante la primavera (abril 2000). Modificado de Baumgartner et al., (2008). B) Promedio de seis años de concentraciones de clorofila (1997-2003) en la CC obtenidas con imágenes de satélite SeaWiFS desde junio a agosto. Las flechas rojas representan las deflexiones de la CC hacia la costa, formando el giro del sur de California y una continuación del flujo hacia el sur.

Capítulo 3. Hipótesis y objetivos

3.1 Hipótesis

Las migraciones estacionales del AAAP en el Pacífico oriental frente a las costas de California y Baja California están asociadas a la distribución, abundancia y desplazamientos de la SP.

3.2 Objetivo general

- Describir y analizar los movimientos latitudinales del AAAP con relación al hábitat del sur de la Corriente de California durante agosto 2002 a agosto 2004.

3.3 Objetivos específicos

- Describir en forma general los movimientos de siete AAAP marcados.
- Relacionar los movimientos del AAAP en primavera del 2003, en relación a la geografía/movimientos de las tres sub-poblaciones de la SP.
- Analizar los patrones de alimentación en primavera 2003, tomando en cuenta, además de la SP, otras posibles presas.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Marcas electrónicas archivadoras: descripción y función de las marcas archivadoras

En este estudio se utilizaron los datos de marcas archivadoras modelo LTD 2310 (Lotek Wireless Inc., Newmarket, Ontario, Canadá). Dicha marca, es un dispositivo metálico cilíndrico de 76 milímetros de longitud x 16 milímetros de diámetro. De uno de sus extremos se proyecta una vara sensorial de temperatura y luz de 270 milímetros de longitud x 2.0 milímetros de diámetro. La parte cilíndrica de la marca registra los datos de temperatura interna y presión, mientras que la vara sensorial, registra la temperatura ambiente y los niveles de luz. La marca tiene un peso aproximado de 45 gramos.

Estas marcas son programadas individualmente cada 60 o 120 segundos para archivar datos de profundidad, temperatura externa, temperatura interna y luz. Los datos de las marcas son leídos por un *software* que emplea los datos generados por sensores de presión para calcular la atenuación del nivel de luz respecto a la profundidad. Las profundidades de nivel de luz corregidas son empleadas para estimar el tiempo de salida y puesta de sol, lo cual hace posible estimar diariamente los datos de longitud (Ekstrom, 2004 en Boustany et al., 2010). Estas longitudes son recopiladas diariamente en una bitácora diaria junto a los registros temperaturas superficiales de mar diaria (TSMD), posteriormente, ambos registros son empleados para estimar la latitud. Las marcas liberadas en el periodo del 2002-2004 son marcas de la serie "A" las cuales cuentan con una capacidad de memoria de 8MB. Los datos empleados para este estudio corresponden a las marcas de la serie "A" (Boustany et al., 2010).

4.2 Proceso de marcaje electrónico del AAAP: captura-liberación-recaptura (agosto 2002-agosto 2004).

Para cada marca, se registraron longitud y latitud diaria durante el periodo de agosto 2002 - agosto 2004. Para todas las marcas, las geo-posiciones fueron estimadas utilizando los métodos reportados por Teo et al. (2004) y por Boustany et al. (2010). La geo-posición diaria de cada pez es un promedio estimado de las posiciones de longitud y latitud durante 24hrs. Las longitudes fueron calculadas usando el método técnico de umbral de luz (Ekstrom, 2004 en Boustany et al., 2010). Para estimar la latitud, las longitudes diarias fueron igualadas con los datos de TSMD colectados por las marcas, con los registros de temperatura superficial de mar de los sensores remotos, tomando en cuenta que las lecturas corregidas fueran menores de 1 m. Las estimaciones de longitud fueron filtradas por la eliminación de puntos que mostraron movimientos de más de 2° de longitud por día (Boustany et al., 2010).

La incertidumbre del sensor de profundidad fue compensada suponiendo que los atunes van hacia la superficie por lo menos una vez al día y ajustando un polinomio de tercer grado al promedio diario de profundidad mínima. Posteriormente, este polinomio fue sustraído de los datos de presión en crudo para calcular la incertidumbre de las lecturas de profundidad (Boustany et al., 2010). Para igualar las TSMD registradas por las marcas y el registro satelital, el área de la búsqueda latitudinal varió desde 20°N a 60°N y el movimiento latitudinal máximo entre los puntos de geo-posiciones sucesivas se estableció a 1° por día.

4.3 Registros de marcas archivadoras

Para el estudio del comportamiento del AAAP se manejaron los datos de los registros diarios extraídos de los 49 peces de las marcas archivadoras liberadas entre el 5-11 agosto de 2002 (101 ± 18.6 cm (juveniles < 3 años)). Los datos registrados por las marcas son extraídos una vez que los peces son re-capturados. Estos registros proporcionan datos cuantitativos continuos como: presión (dbar) (para cálculo de

profundidad), temperatura interna (°C), temperatura externa (°C) y nivel de luz (adimensional), con un intervalo de muestreo de cada 60 y 120s.

4.4 Selección de marcas para este estudio

De las 49 peces marcados del 5-11 de agosto del 2002 (Boustany et al., 2010), se seleccionaron aleatoriamente 20 marcas. En un segundo proceso de selección, se eligieron las marcas que tuvieran un periodo ≥ 730 días, partiendo de su fecha de liberación hasta la re-captura. Segundo, se eligieron las marcas con registros de datos consistentes colectados por la marca archivadora. Tercero, se eligieron las marcas con mayor número de registros continuos en cuanto su posición geográfica; latitud-longitud. Concluido el segundo proceso de selección, sólo se obtuvieron 7 marcas, las cuales son las que forman parte de estudio (A0484, A0481, A0475, A0448, A0425, A0368 Y A0345) (Figura 63 Anexo).

Las siete marcas que se emplearon para este estudio, fueron liberadas los días 5 y 6 de agosto del 2002. Las fechas entre los registros de liberación y re-capturas para dichas marcas fueron variables (1239 ± 327 días), así como los días de registros de datos extraídos de la marca archivadora (809 ± 107 días).

4.5 Procesado y presentación de los datos

Mediante el software STATISTICA 7® y Microsoft Excel 2010®, con datos de geo-posiciones procesados (latitud °N) y TSM de siete marcas de AAAP, se calcularon y se presentaron estadísticos descriptivos básicos, histogramas de frecuencias y series de tiempo para la descripción de los patrones de movimientos latitudinales de dichas marcas durante el periodo de agosto 2002-agosto 2004 y primavera 2003. Con base a los datos recopilados de peso (kg) y talla (cm) durante la liberación y recaptura de los organismos, se construyó una curva de crecimiento. Con base en el peso y la talla se seleccionaron tres marcas A0368 (45 kg – 132 cm), A0484 (95.5 kg - 165 cm) y A0481

(163 kg - 209 cm)) para el análisis de patrones de movimientos latitudinales generales (mega y macro escala) durante el periodo de septiembre 2002-agosto 2004.

Se elaboraron mapas de formato Geo-TIFF de la región de estudio (108.90°W-141.20°W / 20.07°N-45°N) mediante el uso de un entorno de SIG de acceso libre (Quantum-GIS 1.8.0 Lisboa), en donde se graficaron las geo-posiciones (latitud °N y longitud °W) de las siete marcas seleccionadas, así como también las geo-posiciones y vectores de dirección de las marcas A0368, A0484 y A0481 para el análisis de movimientos latitudinales mensuales desde septiembre 2002- agosto 2004.

Se seleccionaron las marcas A0345 y A0484 y se elaboraron mapas de formato Geo-TIFF entre 108.90°W- 141.20°W / 20.07°N-45°N con geo-posiciones y vectores de dirección para la descripción y análisis de los patrones de movimientos respecto a las condiciones oceanográficas de TSM y concentración de CHL (Log_{10} Clorofila mg/m^3) durante marzo, abril y mayo de 2003. Para el análisis en los patrones de buceo, eventos de alimentación y condición de la estructura de la columna de agua se emplearon los registros de profundidad, temperatura interna y temperatura externa contra profundidad, respectivamente, de dichas marcas. El procesamiento de dichos registros para su análisis y presentación fue realizado con el *software* MATLAB 7.7.0 R2008b ®. Dichos análisis fueron realizados con datos de registros de un periodo entre 6-8 días. Para el complemento de los análisis se elaboraron mapas entre 112°W-126°W / 22°N-36°N, así como mapas de intervalos de latitud y longitud, para la descripción detallada de los movimientos de acuerdo con la BAT de -500 m, -2000 m y -3000m y geo-posiciones con vectores de dirección.

Los periodos de alimentación, eventos de alimentación y búsqueda de alimento fueron evaluados con base en los modelos de consumo de calorías para atunes en cautiverio (Whitlock et al., 2013), que toma como referencia las fluctuaciones en los registros de

la temperatura interna, respecto a la base metabólica (diferencia entre temperatura interna del pez y temperatura ambiente).

4.6 Datos oceanográficos

Para describir y analizar los patrones de movimientos latitudinales, distribución espacio-temporal y preferencias oceanográficas del AAAP se emplearon datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), oxígeno disuelto, concentración superficial de clorofila (CHL); así como también, datos de Batimetría (BAT), derivados de registros *in-situ* y percepción remota.

4.6.1 Temperatura superficial del mar (TSM)

Se utilizaron los datos provenientes del sensor remoto AVHRR situado a bordo de los satélites de la NOAA y obtenidos de la base de datos NOAA/NASA AVHRR Ocean Pathfinder versión 5 del PODAAC del JPL <http://podaac.jpl.nasa.gov/>. Estos datos son obtenidos de pases descendentes (temperatura nocturna), con nivel 3 de procesamiento (L3); los cuales poseen una resolución espacial de 4km al nadir en una proyección equidistante cilíndrica, con un error estimado entre 0.3 y 0.5°C. Para describir y analizar los patrones de movimientos latitudinales dentro de la región de la CC, se utilizaron promedios mensuales de datos globales de agosto2002-agosto2004; Para el análisis de las preferencias oceanográficas en la región del GU, se utilizaron los promedios mensuales para marzo-abril-mayo (primavera) del 2003. Para describir las preferencias oceanográficas del AAAP en la región del GU, se generaron archivos Geo-TIFF.

4.6.2 Datos de clorofila (CHL)

Se utilizaron datos de CHL extraídos de registros del sensor MODIS-Aqua situado a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). Las imágenes compuestas fueron producidas y distribuidas por el DAAC del GSFC de la NASA;

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> Estos datos son obtenidos de pases ascendentes (por la tarde) de sur a norte sobre el ecuador, con un nivel 3 de procesamiento (L3); poseen una resolución espacial de 9.2km con un arreglo bi-dimensional de una proyección global cilíndrica equidistante.

4.6.3 Batimetría (BAT)

Se utilizaron datos de batimetría del proyecto ETOPO1, obtenidos de la NGDC de la NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/relief.html>). Estos datos son obtenidos de un modelo de relieve de la superficie de la tierra que integra la topografía de la tierra y la batimetría del océano; provenientes de datos de altimetría, derivados de satélite y de datos seleccionados de la base de datos de la NGDC. Los datos una resolución espacial de malla de 1 minuto; 2 km, con unidades verticales dadas en metros (m).

4.7 Datos pesqueros de sardina y calamar

Se realizaron series de tiempo de los desembarques comerciales de la SP para California, Baja California y Baja California Sur, desembarques comerciales de calamar (*Loligo opalescens*) para el periodo de agosto 2002-agosto 2004. Para este estudio se utilizaron datos de los desembarques comerciales (agosto 2002-agosto 2004) de la SP de los puertos del norte (Monterey) y sur California (Los Ángeles, San Diego CA) obtenidos de (CDFW); desembarques comerciales de la SP de Baja California (El Sauzal de Rodríguez, Ensenada, B.C. obtenidos de CONAPESCA); y desembarques comerciales de la SP de Baja California Sur (Puerto San Carlos, Bahía Magdalena, B.C.S. obtenidos de CICIMAR).

Los registros de desove de huevos de la SP se obtuvieron de los programas de CalCOFI e IMECOCAL. Los datos de presencia de *Pleuroncodes planipes*, se obtuvieron de los registros obtenidos de los reportes técnicos para zooplancton de abril del 2003, generados por el programa IMECOCAL (<http://imecocal.cicese.mx/>).

4.8 Análisis de agregaciones latitudinales del AAAP asociados con presencia de huevos de la SP (Agosto 2002-Agosto 2004)

Para analizar las agregaciones latitudinales del AAAP con la presencia de huevos de la SP, se elaboraron mapas que incluyeron las geo-posiciones de AAAP, así como también, las geo-posiciones de la presencia de huevos de sardina. Las posiciones geográficas del AAAP se graficaron en los meses que se registran la presencia de huevos de sardina para la región de muestreo de CalCOFI (abril 2003-2004) e IMECOCAL (abril 2003; julio-agosto 2003; enero-febrero 2004; abril 2004; julio 2004).

Capítulo 5. Resultados

5.1 Información general sobre las 7 marcas con curva de crecimiento y descripción de los movimientos en diferentes escalas espacio-temporales (macro-escala, mega-escala y meso-escala) y zonas de agregaciones de 3 marcas (A0368, A0484 y A0481)

Se analizaron los datos registrados por siete marcas archivadoras implantadas en la cavidad peritoneal del AAAP. Los atunes seleccionados para este estudio fueron capturados a $30.17 \pm 0.03^{\circ}\text{N}$ - $116.58 \pm 0.58^{\circ}\text{W}$, lo cual indica la posibilidad haber sido peces de un mismo cardumen (Tabla 1). De los 1239 ± 302.7 días (agosto 2002-agosto 2004) que estuvieron desplazándose en aguas del hábitat de la CC se obtuvo un registro de datos promedio de 809 ± 98.84 días. El 71% (5 marcas archivadoras) de la frecuencias de registro de datos entre marcas fue de cada 120 s, mientras que el 29% (2 marcas archivadoras) fueron de cada 60 s. Los atunes marcados del 5 al 11 agosto del 2002 correspondieron a organismos juveniles menores de 2 años (Bayliff, 1994; Itoh et al., 2003; Boustany et al., 2010); ya que presentaron una masa inicial de 17 ± 2.7 kg y una longitud hasta la horquilla curva de 103 ± 16 cm.

El organismo de mayor longitud capturado fue de 138 cm (A0475), mientras que el de mayor masa fue de 21 kg (A0448). De los 7 peces seleccionados, sólo a uno se logró reconocer su género (macho A0481), el resto se registró como género indeterminado. Las posiciones geográficas de capturas variaron significativamente respecto a las posiciones de re-captura ($31.97 \pm 4.24^{\circ}\text{N}$ y $124.88 \pm 9.54^{\circ}\text{W}$). Tres marcas (A0481, A0448 y A0425) fueron re-capturadas en latitudes mayores a 35°N y longitudes mayores a 134°W . Las recapturas de estos peces fueron realizadas en años fuera del rango de estudio (2005 y 2006).

Tabla 1. Referencia descriptiva de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004. **Género:** (I=indeterminado; M=macho). Tipo de captura: (S=silvestre).

Marcas	Lat °N		Lon °W		Lat Final °N		Lon Final °W		No. Dias	Registro Marcas Dias	Frecuencia Registro Datos (s)	Masa Inicial (Kg)	LHC (cm)	Masa Final (Kg)	LHR (cm)	Género	Tipo de captura
	Lat Inicial	Lon Inicial	Lat Final	Lon Final	Lat Inicial	Lon Final											
A0484	30.15	-116.83	29.6	-117.2	1239	771	120	19	100	95.5	165	I	S				
A0481	30.21	-116.8	36.71	-134.2	1815	805	120	16	95	163	209	M	S				
A0475	30.15	-115.17	29.56	-117.25	902	826	120	13	138	49	++	I	S				
A0448	30.14	-116.82	35.3	-135.45	1435	708	120	21	102	++	++	I	S				
A0425	30.15	-116.83	37.76	-137.81	1091	991	60	14	91	77	156	I	S				
A0368	30.21	-116.8	25.66	-115.66	1312	676	120	19	99	45	132	I	S				
A0345	30.21	-116.8	29.23	-116.6	878	884	60	16	94	59.92	146	I	S				
Promedio	30.17	-116.58	31.97	-124.88	1239	809		17	103	82	162	I	S				
Desv. Std.	0.03	0.58	4.24	9.54	302.7	98.84		2.70	16	40.23	82						

Aunque algunos de los datos de masa final, talla y longitud hasta la horquilla al momento de ser liberados no fueron registrados, los datos disponibles de masa final (82 ± 40.23 kg) y longitud hasta la horquilla (162 ± 82 cm) al momento de la recaptura aportaron información para inferir que la mayoría de los atunes re-capturados fueron peces entre los 4-5 años de edad (Figura 9).

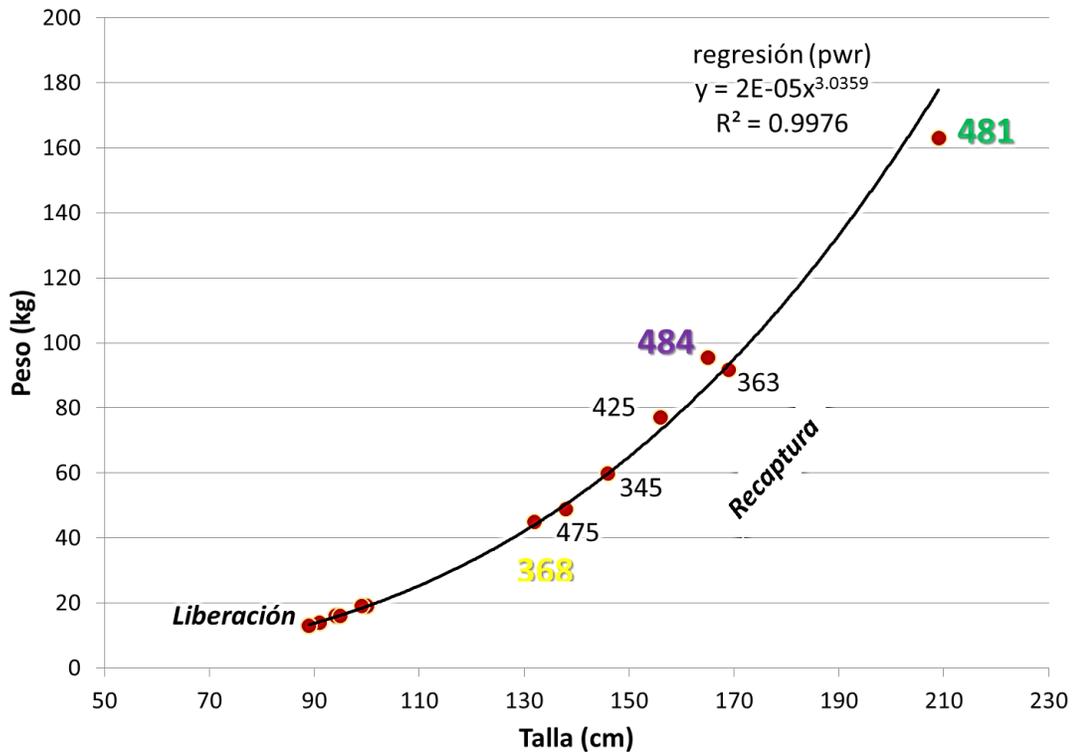


Figura 9. Relación talla (cm) – peso (kg) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

El tiempo de residencia de las siete marcas de AAAP en la región de la CC, durante el periodo de estudio fue de 1239 ± 302.7 días, dado dentro de un rango geográfico de 45° a 22° N latitud y 111° a 131° W longitud, que corresponde con la región de la CC. En el rango latitudinal se observó que los movimientos de la marca A0481 variaron respecto a la media (29.84° N) de los movimientos de las otras marcas. Seguido de esta marca se observó a la marca A0368, que sus movimientos longitudinales fueron similares a la marca A0481 (130° W). Marcas como la A0448 y la A0475 alcanzaron desplazamientos longitudinales similares a la A0481 y la A0368 (130° W), aunque sus frecuencias de ocurrencias a estas longitudes fueron poco frecuentes.

Los movimientos de las 7 marcas seleccionadas fueron analizadas en tres diferentes escalas: mega-escala (movimientos interanuales realizados en un periodo ≤ 12 meses en el ecosistema de la Corriente de California: Oregon-Península de Baja California) septiembre 2002-agosto 2004; macro-escala (movimientos regionales realizados entre en un periodo 1-3 meses; ≥ 500 km ≤ 1500 km) y meso-escala (movimientos realizados en un periodo ≤ 1 mes; ≤ 500 km).

5.2 Movimientos de mega-escala

Durante el periodo en que los atunes permanecieron marcados (agosto 2002-agosto 2004) se observó una tendencia de patrones de movimientos latitudinales estacionales. Los patrones de movimientos latitudinales son recurrentes a través de los años (Figura 11); lo que significa que, durante su estancia en aguas del Pacífico oriental recurren a las mismas latitudes en los mismos meses. Por otra parte, se observó un patrón de agregación común entre peces, aunque se presentaron excepciones para las marcas A0481, A0484 y A0345, que variaron su patrón de movimientos respecto al patrón de movimiento latitudinal promedio (Figuras 10 y 11).

De estos movimientos se observó que $\sim 45\%$ de los atunes marcados tienen una preferencia por latitudes 25° - 30° N, recurriendo con mayor frecuencia a los 25.75° N lo cual corresponde con el periodo estacional de primavera-verano (Figuras 12 y 13) cuando la temperatura superficial del mar obtenida de datos de marcas archivadoras electrónicas se encontraba entre 18 - 20° C. Los intervalos de latitudes y temperaturas “preferidas” por el AAAP corresponden a los meses cuando los cardúmenes se encuentran desde el sur (Bahía Magdalena; marzo-abril) hasta norte de la Península de Baja California (Punta Baja/Ensenada-mayo) (Figuras 11-15). (Figuras 72-74 Anexo).

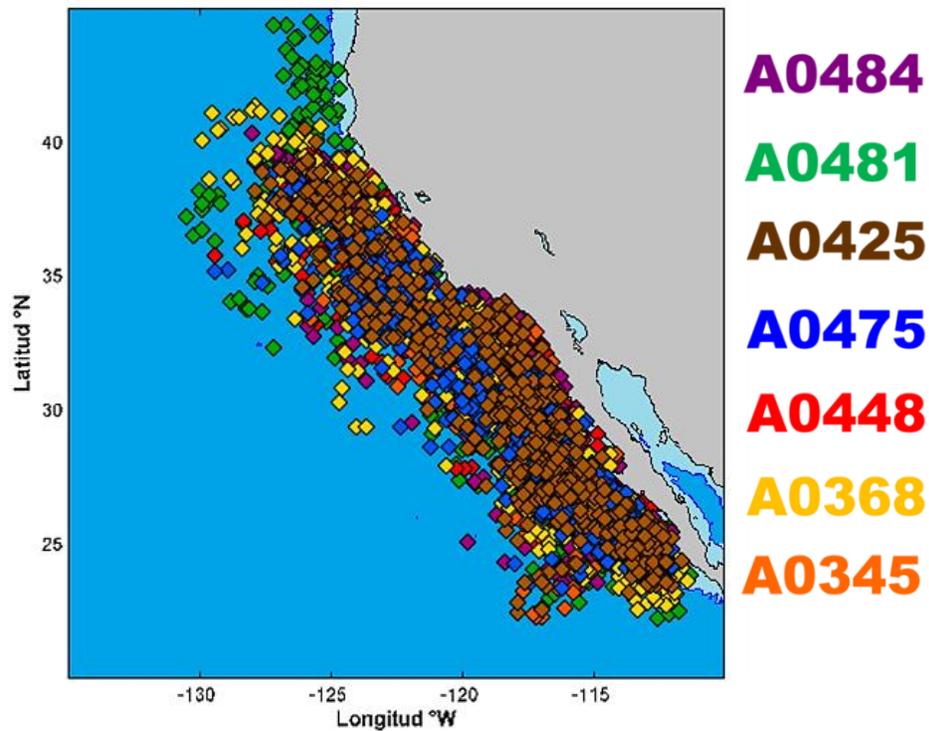


Figura 10. Serie de tiempo interanual con relación a la latitud y longitud de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

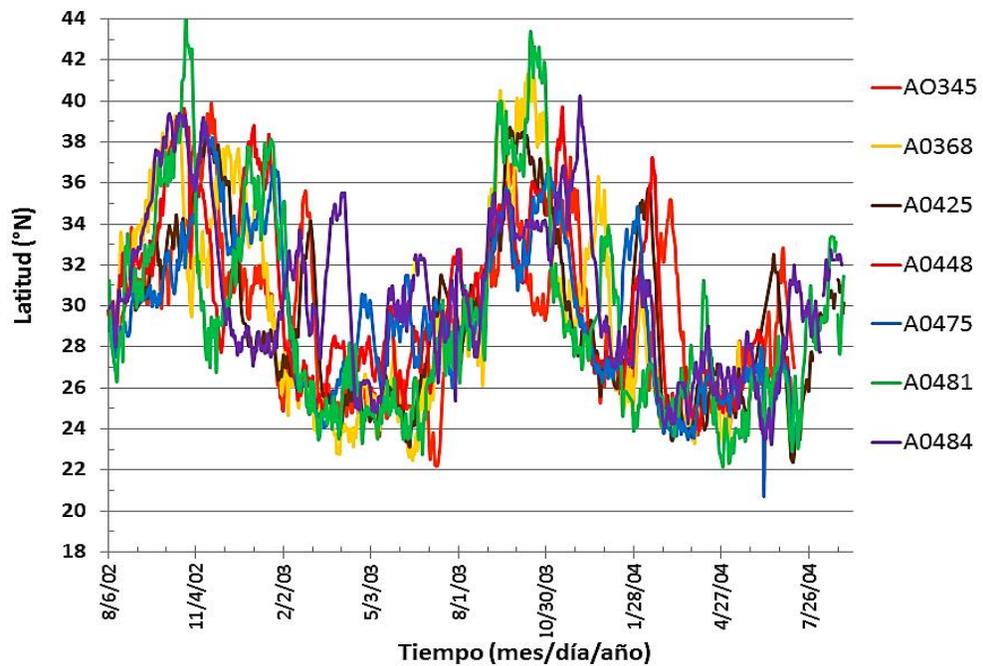


Figura 11. Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (mes/día/año) y latitud (°N) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

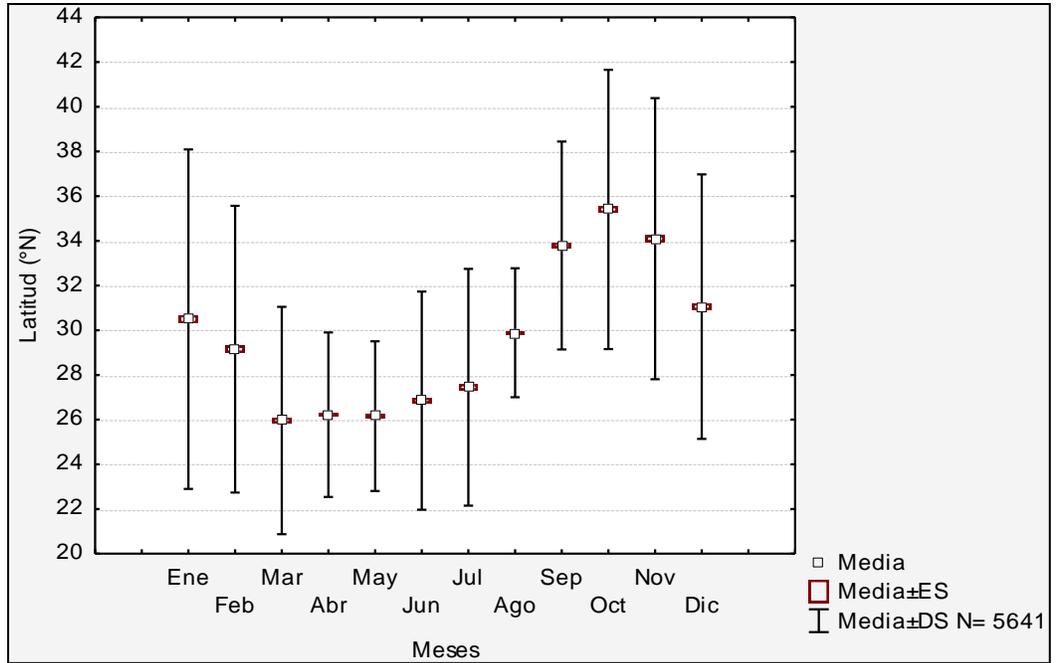


Figura 12 Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (meses) y latitud (°N) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

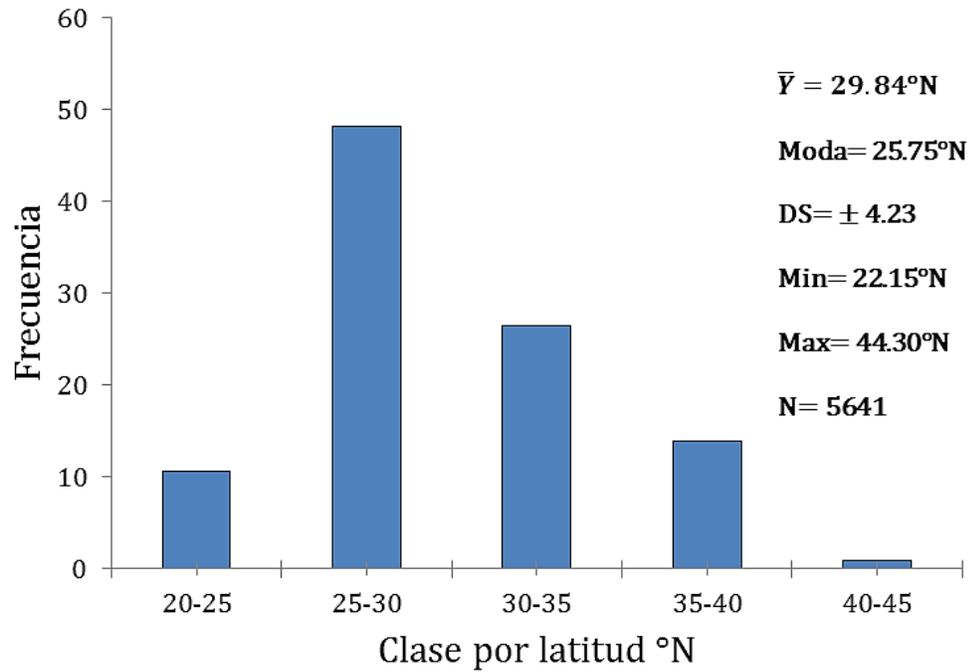


Figura 13. Distribución de movimientos latitudinales obtenida de datos de marcas archivadoras implantadas en las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*) seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

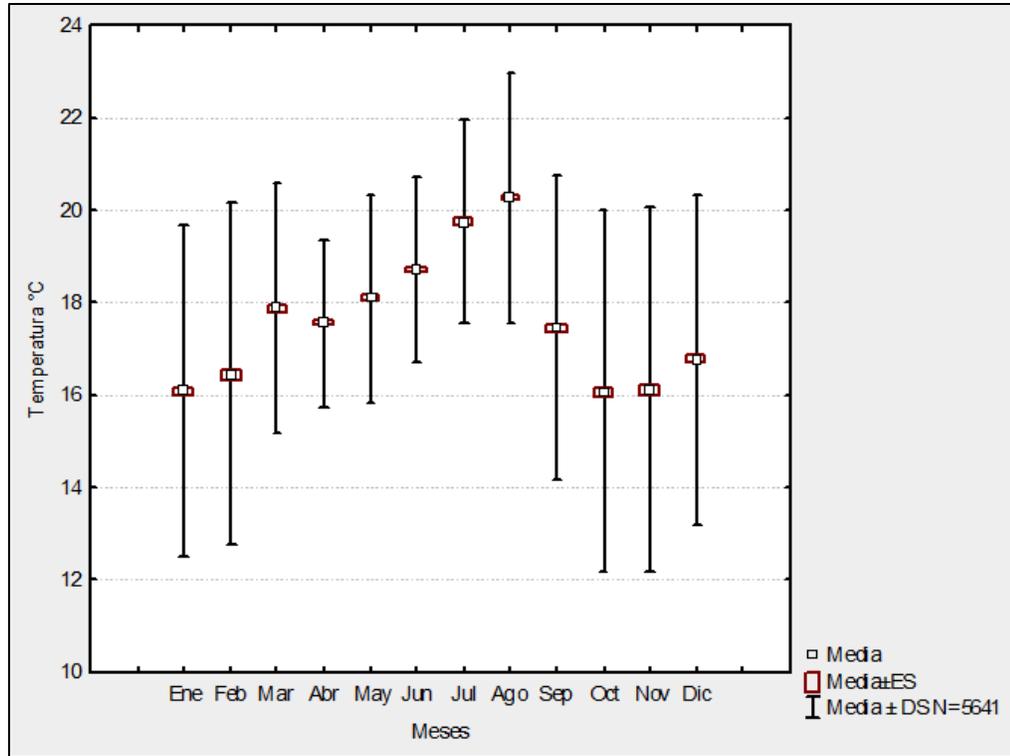


Figura 14. Serie de tiempo interanual con relación al tiempo (meses) y TSM (°C) de las 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*), seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

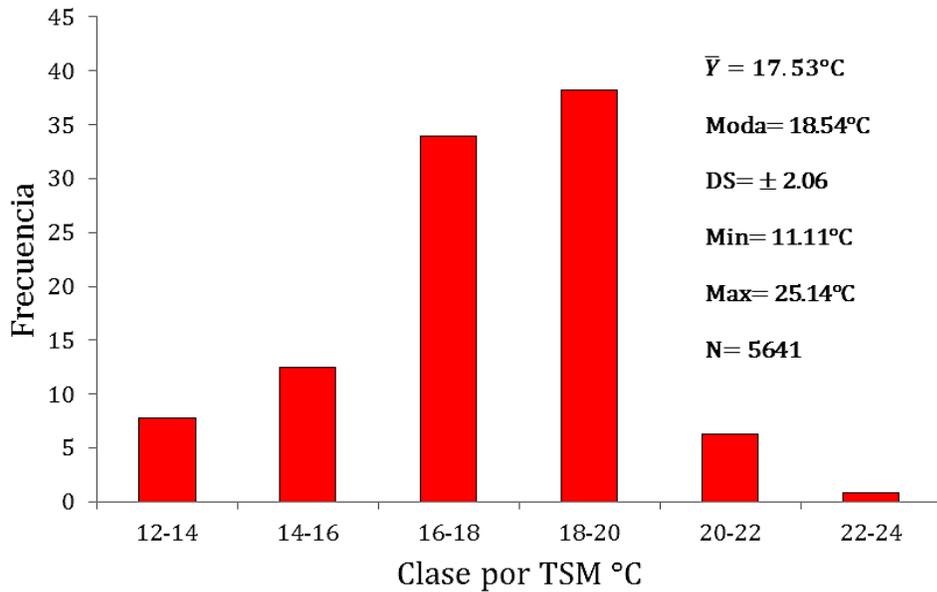


Figura 15. Distribución de temperatura superficial del mar obtenida de datos de marcas archivadoras implantadas en 7 marcas de atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*) seleccionadas para el periodo de estudio agosto 2002-agosto 2004.

5.3 Descripción de movimientos a macro-escala en la Corriente de California mes por mes durante septiembre 2002– agosto 2004

Los resultados obtenidos de los mapas de trayectorias y agregaciones para las marcas 368, 484 y 481 (Figuras 16-23) fueron congruentes con el patrón de movimiento latitudinal observado en la serie de tiempo continua (agosto 2002- agosto 2004) (Figura 11). Estos mapas mostraron las zonas de agregación más concurridas y rutas por las cuales los atunes realizaron sus movimientos en relación al hábitat de la CC. Se observó que dichas agregaciones se dieron como un patrón periódico estacional en tres principales zonas que fueron: 40.43-34.36 °N entre Cabo Mendocino y Punta Concepción (otoño; zona norte); 34.36-27.83 °N desde Punta Concepción, Ensenada del Sur de California y Punta Eugenia (verano; zona intermedia); 27.83-24.79- 26.70 °N desde Punta Eugenia hasta el límite inferior del Golfo de Ulloa (primavera; zona sur). En general, los movimientos latitudinales realizados por los atunes revelan que los desplazamientos de norte a sur se realizan por rutas trazadas a lo largo del núcleo de la CC, mientras que en algunas de las marcas como A0484 y A0368, los desplazamientos de sur a norte fueron realizados por una ruta de menor resistencia hidrodinámica (fuera del núcleo de la CC).

Durante las temporadas de otoño 2002 y 2003 (Figuras 16 y 20) el 70% de los movimientos de las marcas A0368, A0484 y A0481 fueron realizados dentro de la zona norte, agregándose por periodos cortos en la parte superior de la zona intermedia (“Ensenada del Sur de California”). Sólo para la marca A0481 se observó un patrón latitudinal más extenso, la cual realizó sus movimientos desde la zona norte hasta la parte inferior de la zona intermedia (Punta Eugenia), empleando como ruta principal el núcleo de la CC (Figuras 16 y 20).

Aproximadamente un 90% de los movimientos realizados por estas marcas se efectuaron en agua profunda >1000m, con excursiones esporádicas hacia la costa durante el tiempo en que se encontraban en la parte superior de la zona intermedia. Por los datos de temperatura externa se observó que estos atunes realizaban

movimientos a través de frentes térmicos, de lo cual se infieren entradas y salidas de regiones oceánicas a regiones costeras (Figuras 64-71 Anexo).

Los meses de invierno 2002-2003 y 2003-2004 (Figuras 17 y 21) es un periodo de transición entre condiciones hidrográficas en la zona norte y la zona intermedia. Durante diciembre de 2002 sólo la marca A0368 permaneció realizando sus movimientos en la zona norte buceando a una profundidad ≤ 250 m hasta los días últimos de diciembre y principios de enero, y luego, hasta la mitad de febrero los buceos realizados fueron ≤ 300 m. Por los patrones de buceos ≤ 100 m y temperatura interna del 1 al 20 de diciembre y del 18 al 28 de febrero, se infirió que este atún estuvo disponiendo para forrajeo de peces pelágicos menores como sardina (Figuras 65 y 69 Anexo).

Se observó que la marca A0484 permaneció los meses de invierno moviéndose entre la región oceánica y cerca de la costa en la zona intermedia (Figura 17). Los datos de temperatura interna y profundidad ≤ 200 m, evidencian que del 1 al 20 de diciembre estuvo realizando forrajeo en presas de bajo contenido calórico como zooplancton. A mediados de enero y finales de febrero, el atún se posicionó en una región cercana a Bahía Vizcaíno, las profundidades de buceo fueron ≤ 100 m. Respecto a la marca A0481, a principios de diciembre este atún realizó desplazamientos de la zona intermedia a la zona norte, realizando buceos ≤ 300 m. Para enero, se desplazó hacia la región oceánica de la zona norte, en la cual permaneció hasta finales de enero cuando inicio su desplazamiento hacia la zona sur. Durante el desplazamiento realizado desde la región oceánica de la zona norte hasta la zona sur, realizó buceos ≤ 100 m y buceos esporádicos más profundos ≤ 300 m (Figura 65 Anexo).

Aunque los meses de invierno son una temporada de transición entre condiciones de las zonas estudiadas, se observa que los atunes prefieren realizar sus actividades de forrajeo y desplazamientos entre el límite inferior de la zona intermedia (Punta Eugenia)

y la zona sur (Figura 21). Para el invierno de 2003-2004 los patrones de frecuencias en los datos en temperatura interna evidenciaron un cambio en la disponibilidad de presas para forrajeo respecto a al invierno de 2002-2003. El buceo realizado por la marca A0368 ≤ 400 m, del 1 al 13 de febrero, posiblemente se asoció con la búsqueda de presas como juveniles de calamar *D. gigas* (Figura 69 Anexo).

En la primavera de 2003 los atunes se desplazaron hacia la zona sur, donde la mayoría de ellos permanecieron agregados para realizar sus actividades de forrajeo (Figura 18). Los datos de profundidad y temperatura interna evidencian que realizaban actividades de forrajeo de manera constante, efectuando con mayor frecuencia buceos ≤ 300 m (Figura 66 Anexo). Para esta temporada, sólo la marca A0484 realizó desplazamientos a lo largo de las tres principales zonas de agregación, mientras que las otras marcas (A0368 y A0481) realizaron sus desplazamientos entre el límite inferior de la zona intermedia (Punta Eugenia) y la zona sur. Los atunes que se agregaron y desplazaron en las zonas antes mencionadas, exhibieron un comportamiento similar en buceos y patrones de temperatura interna (Figura 66 Anexo).

Los patrones en los desplazamientos de las tres marcas analizadas durante la primavera de 2004 fueron más congruentes respecto las zonas de desplazamientos y agregación, ya que permanecieron la mayor parte de la temporada en la zona sur con desplazamientos breves hacia el límite inferior de la zona intermedia (Punta Eugenia) (Figura 22). Al igual que el patrón de desplazamientos y agregaciones, los patrones de buceo realizados a profundidades ≤ 300 m y temperatura interna entre marcas fueron similares, excepto cuando algunas de las marcas se encontraron cerca de la costa o dentro de Bahía Vizcaíno (Figura 70 Anexo); marzo 2004 (A0368 y A0484) (Figura 22).

Para el inicio de verano de 2003 los atunes realizaron desplazamientos desde la zona sur a la zona intermedia. Durante julio y agosto de 2003 los atunes permanecieron agregados haciendo sus actividades de forrajeo en la zona intermedia (Figura 19). Los

patrones de buceos observados durante junio y julio fueron realizados hasta profundidades ≤ 400 m, los cuales resultaron ser los buceos más profundos de toda la serie observada (agosto 2002-agosto 2004) (Figura 67 Anexo). A estas profundidades y por la zona en que los atunes se encontraban, las actividades de forrajeo del atún se asociaron con la búsqueda de juveniles de calamar gigante *D.gigas* (Figura 53). Por otra parte, desde el 7 al 27 de agosto los datos de temperatura interna de las tres marcas evidenciaron la disponibilidad de presas de bajo contenido calórico. Para estos días, los tres atunes se encontraban desplazándose dentro de la misma zona. El patrón de agregaciones y desplazamientos para verano de 2004 (Figura 23) fue similar al verano de 2003, aunque las profundidades de buceo fueron ≤ 300 m (Figura 67 Anexo).

En general, de los datos geográficos durante agosto 2002-agosto 2004 se observó una variación de los movimientos del AAAP tanto en el intervalo longitudinal como el latitudinal. Esto se corroboró con la obtención de los coeficientes de variación (CV), calculados para la latitud y la longitud entre temporadas (Tabla 2). Para el invierno del 2002-2003, los CV en longitud 3.2% y latitud 11.4%, fueron ligeramente mayores respecto a la temporada de invierno del 2003-2004, que tuvieron CV en longitud del 2.7% y de latitud del 11%. Por otra parte, para primavera también se observaron variaciones significativas. Para la primavera de 2003 se observaron CV en longitud de 2.2% y en latitud de 9%, mientras que para la primavera de 2004 estos CV fueron en longitud de 1.2% y en latitud de 6.9%.

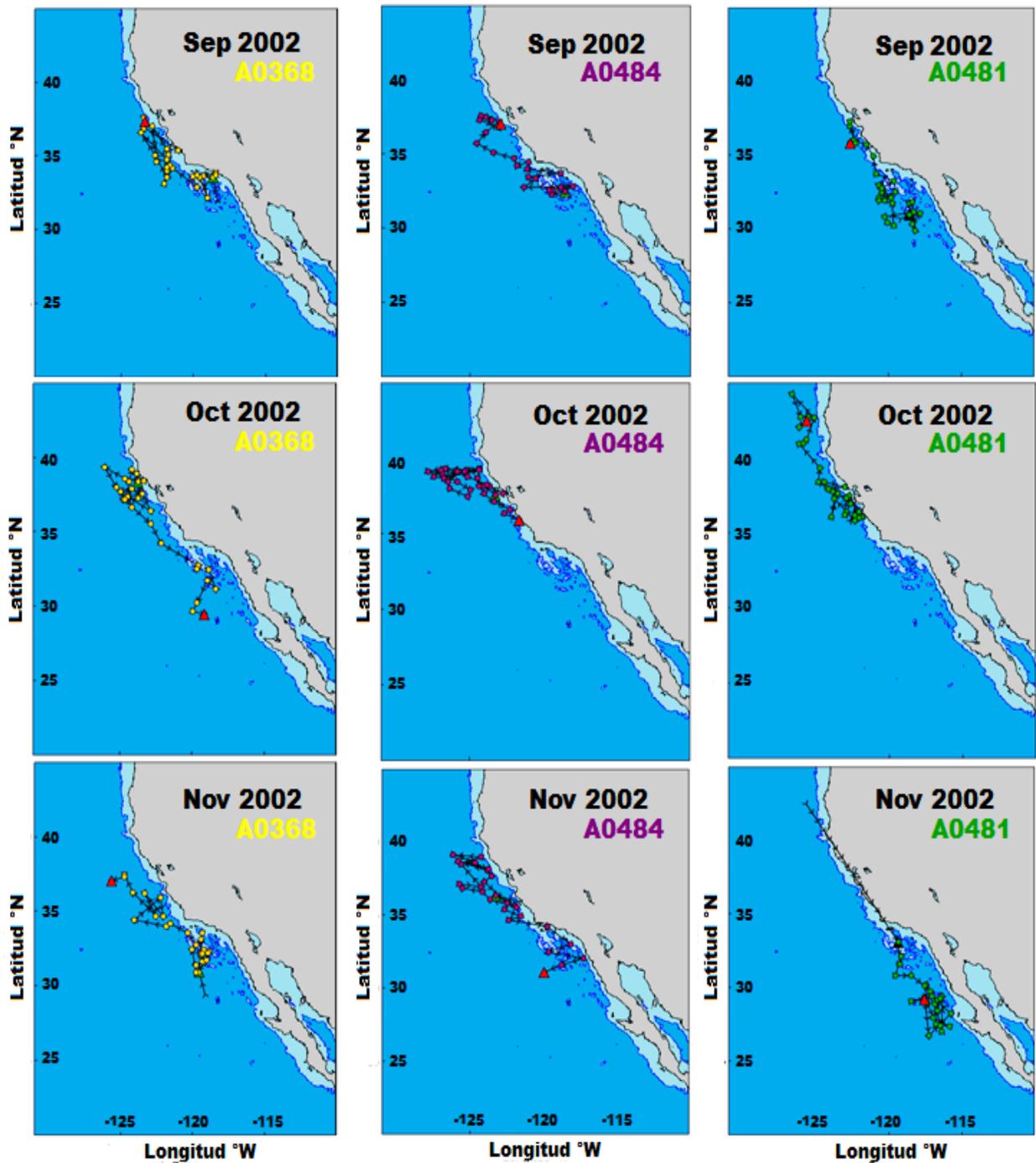


Figura 16. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 sep-oct-nov (otoño 2002). El triángulo rojo indica el último día del mes.

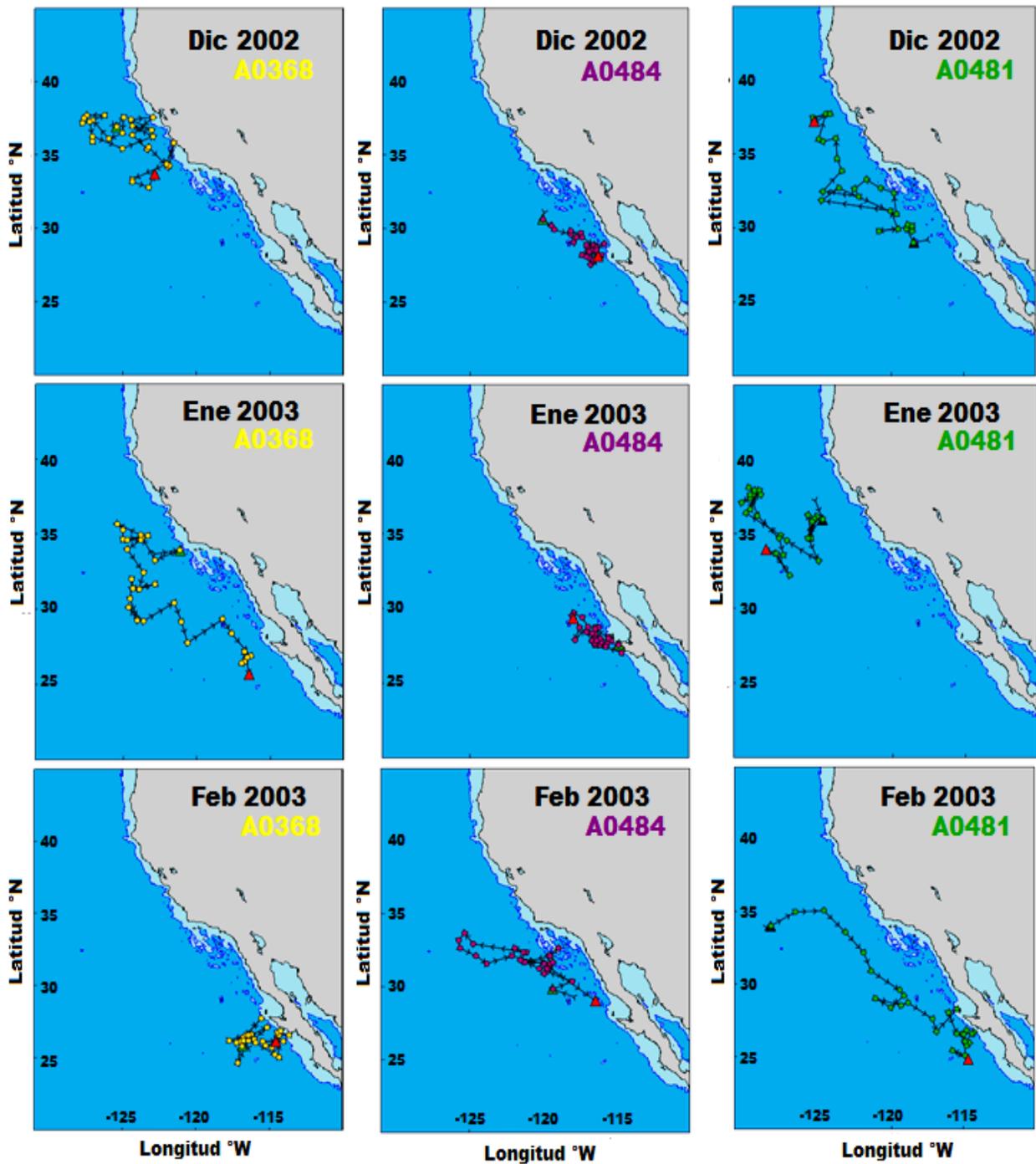


Figura 17. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 dic-ene-feb (invierno 2002-2003). El triángulo rojo indica el último día del mes.

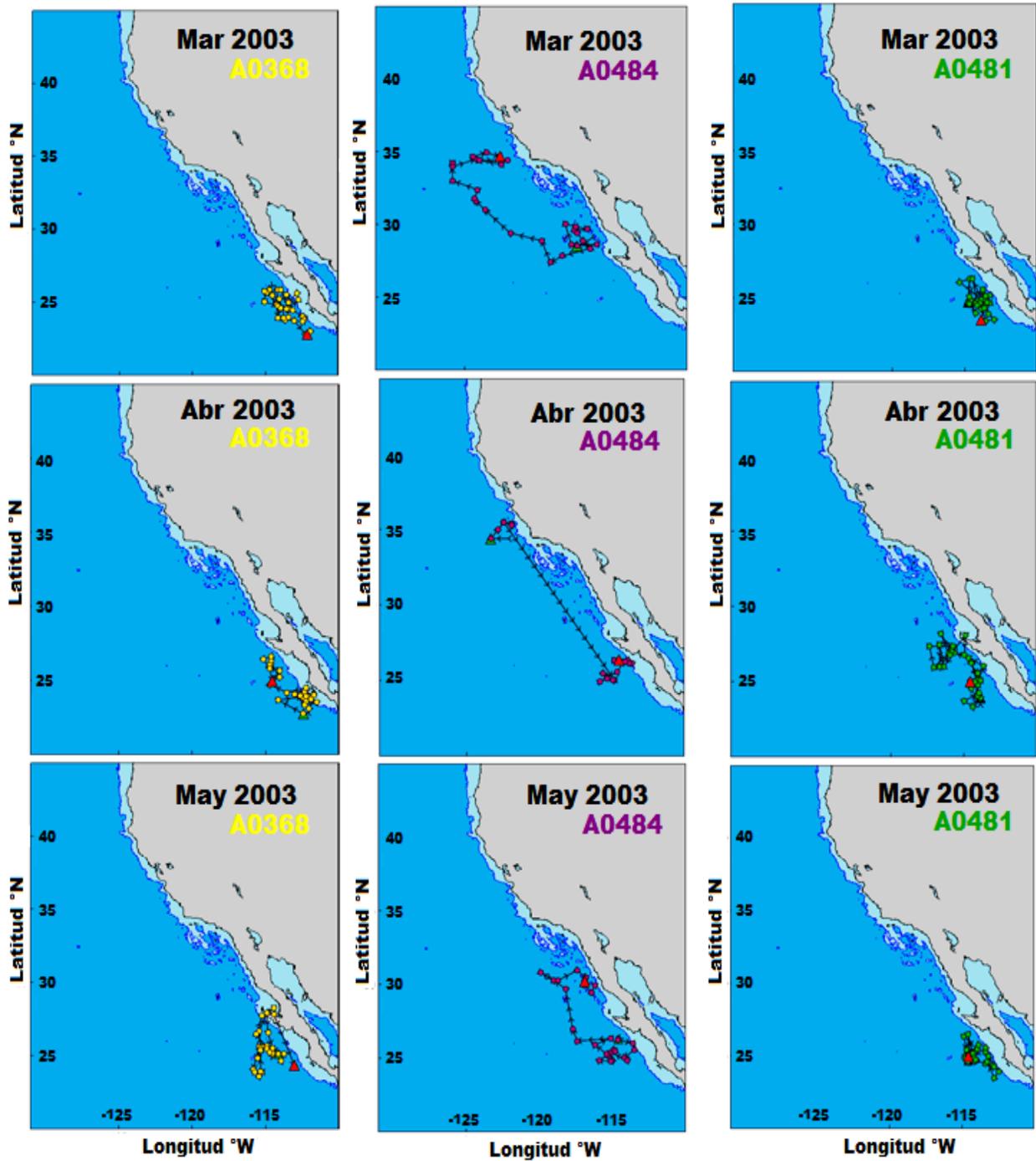


Figura 18. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 mar-abr-may (primavera 2003). El triángulo rojo indica el último día del mes.

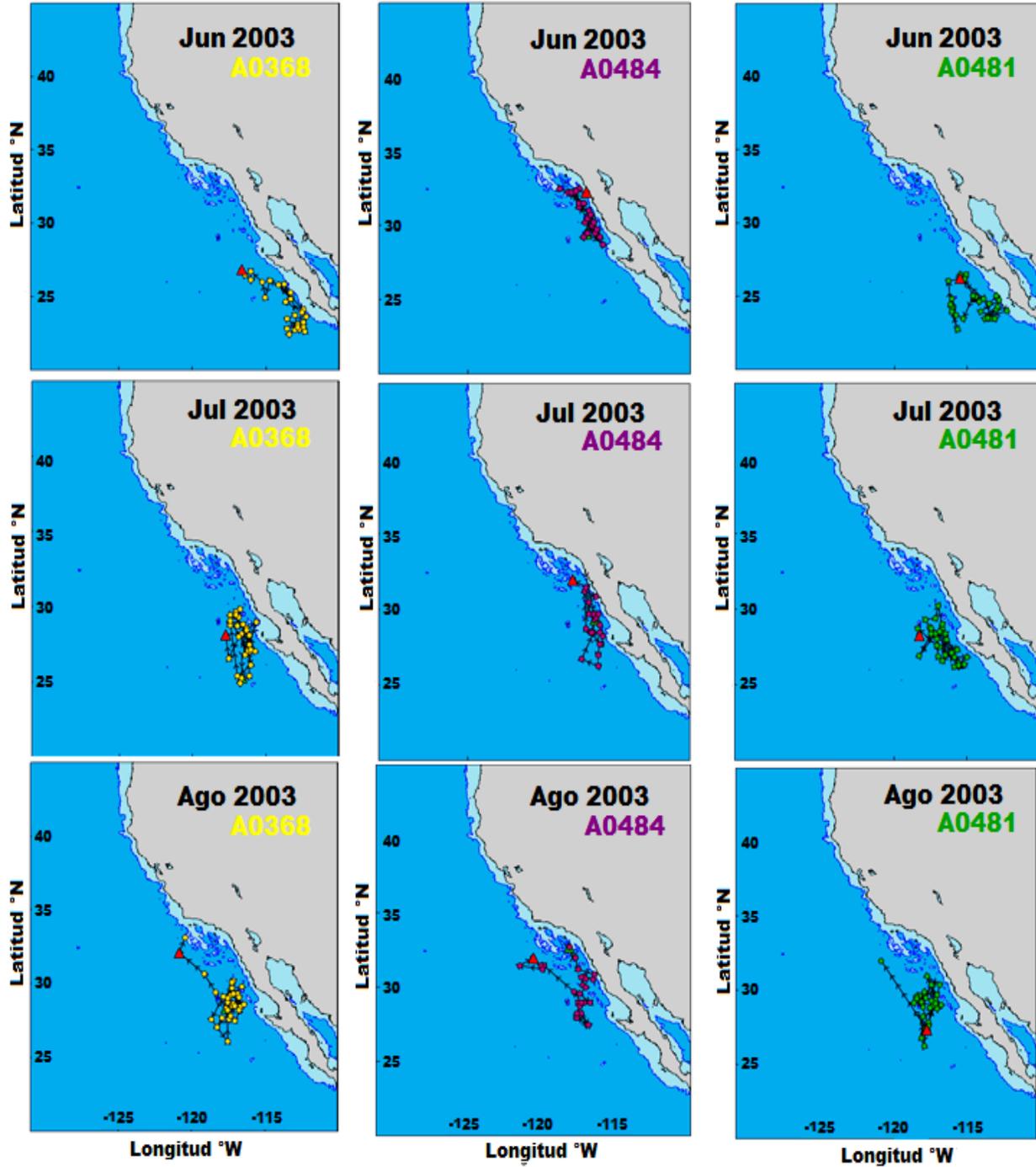


Figura 19. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 jun-jul-ago (verano 2003). El triángulo rojo indica el último día del mes.

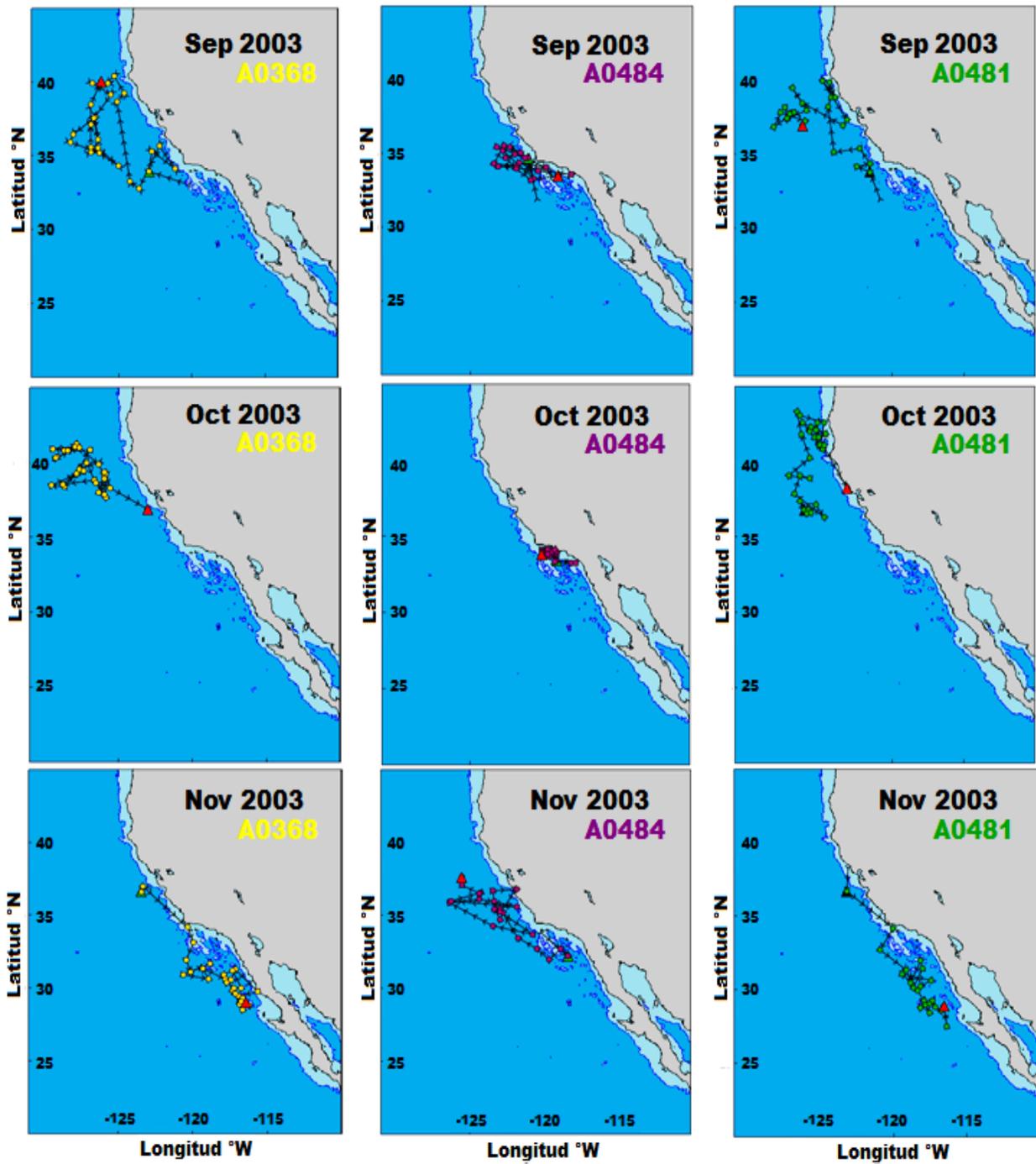


Figura 20. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 durante sep-oct-nov (otoño 2003). El triángulo rojo indica el último día del mes.

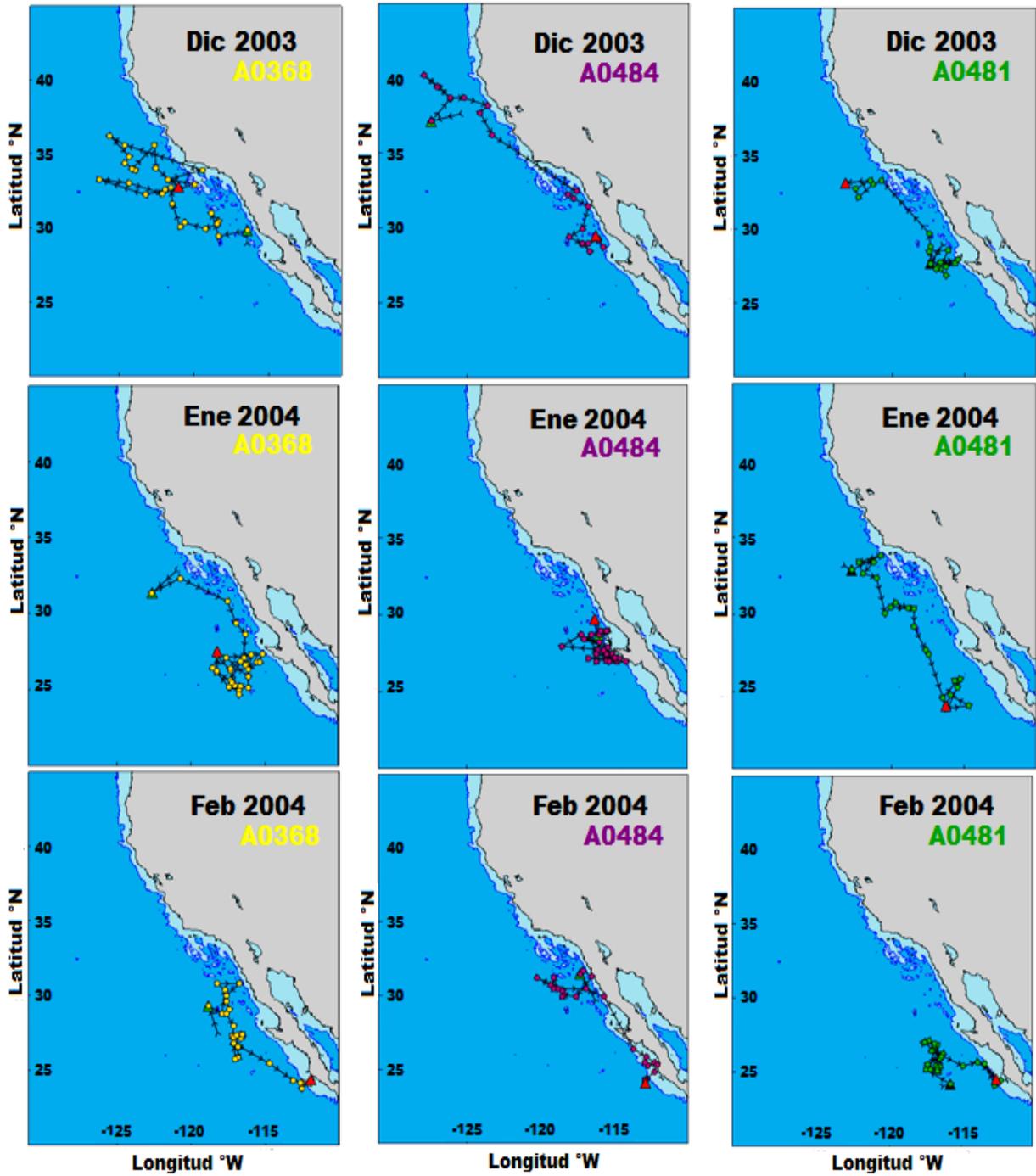


Figura 21. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 dic-ene-feb (invierno 2003-2004). El triángulo rojo indica el último día del mes.

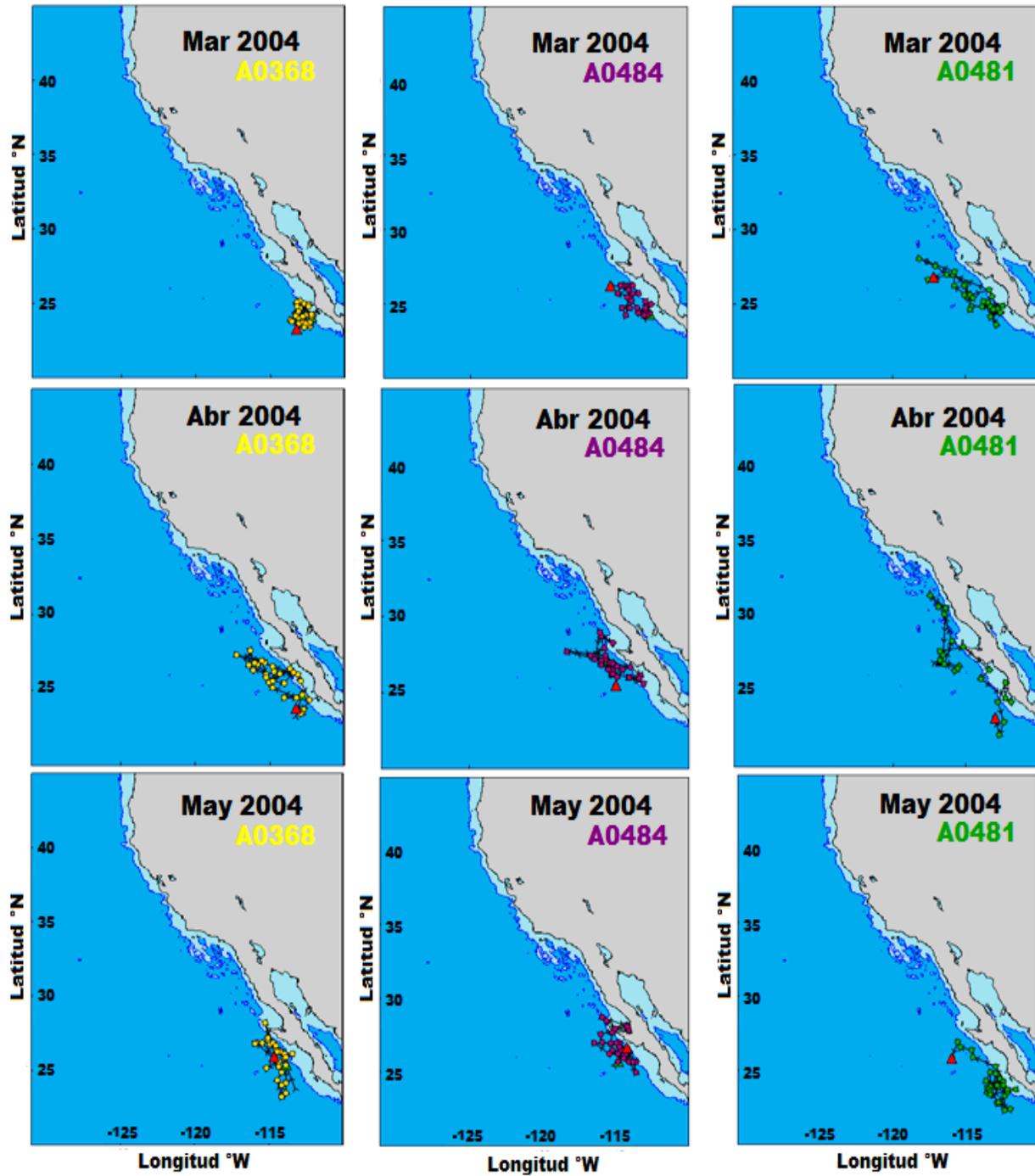


Figura 22. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 mar-abr-may (primavera 2004). El triángulo rojo indica el último día del mes.

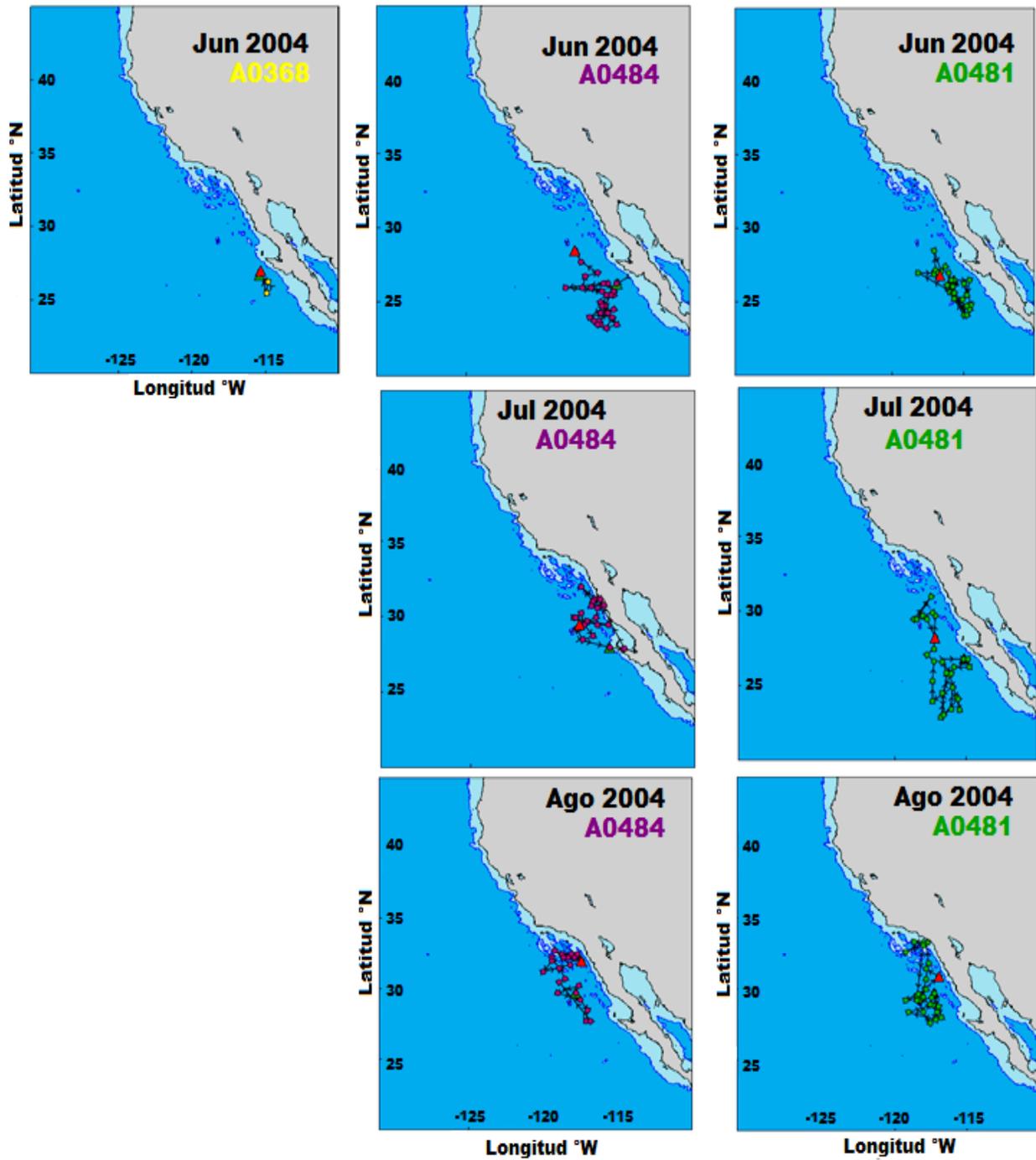


Figura 23. Movimientos a macro-escala de las marcas A0368, A0484 y A0481 jun-jul-ago (verano 2004). El triángulo rojo indica el último día del mes.

Tabla 2. Estadística descriptiva de movimientos latitudinales y longitudinales de septiembre 2002 – agosto 2004.

	Otoño 2002		Invierno 2002-2003		Primavera 2003		Verano 2003	
	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N
Media	-121.67	34.48	-120.27	31.33	-115.39	26.48	-116.76	28.35
Desv. Std.	2.64	2.64	3.95	3.62	2.6	2.4	1.67	2.38
Min.	-127.9	26.76	-130.5	24.65	-125.9	22.76	-123	22.19
Max.	-115	44.3	-113.5	38.8	-111.6	35.51	-112.2	33.18
CV	0.021	0.088	0.032	0.114	0.022	0.09	0.014	0.084
	Otoño 2003		Invierno 2003-2004		Primavera 2004		Verano 2004	
	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N	Lon °W	Lat °N
Media	-122.33	34.6	-118.2	29.26	-114.39	25.62	-116.75	27.3
Desv. Std.	2.85	3.06	3.3	3.23	1.47	1.77	1.18	2.87
Min.	-129.9	27.55	-128	23.73	-123.1	22.15	-120.1	21.48
Max.	-115.7	43.37	-112	40.25	-111.5	35.2	-114.1	33.4
CV	0.023	0.088	0.027	0.11	0.012	0.069	0.01	0.105

5.4 Generalidades de los movimientos de las 7 marcas a macro-escala durante primavera 2003.

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de la serie de tiempo latitudinal del AAAP durante agosto 2002-agosto 2004, se observó que en primavera (marzo-abril-mayo) los movimientos realizados por el AAAP se encontraron dentro de un rango latitudinal definido, excepto para algunas marcas que presentaron patrones de movimiento diferentes al movimiento promedio (24 ± 2 °N) (Figura 24). Los atunes con las marcas A0484, A0448 y A0475 realizaron movimientos fuera del rango de movimiento latitudinal ($24-28^\circ\text{N}$) observado por el resto de las marcas.

La posibilidad de que las marcas A0448, A0484 y A0475 hayan presentado este tipo de patrón de movimientos pudo haber sido por las masas iniciales de 21, 19 y 13 kg, respectivamente (Tabla 1), de lo cual se infiere que son organismos que poseen una mayor capacidad fisiológica para realizar este tipo de desplazamientos.

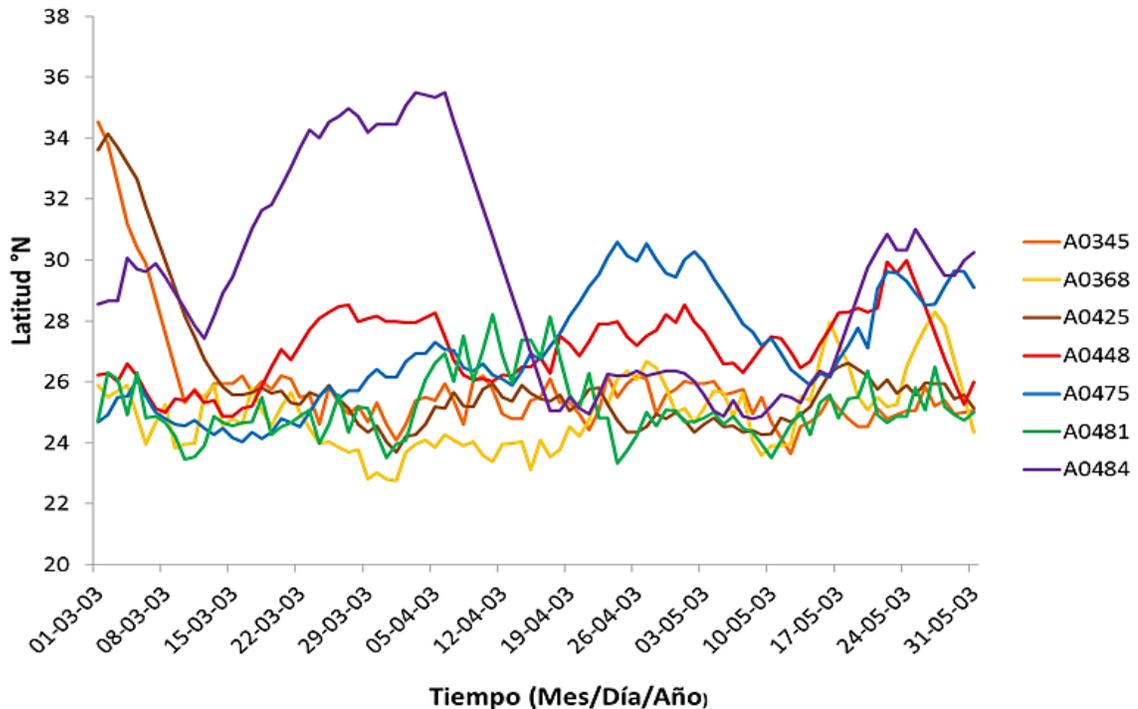


Figura 24. Serie de tiempo que representa las posiciones latitudinales de siete marcas del AAAP durante primavera del 2003. Este gráfico el color indica cada una de las 7 marcas seleccionadas para este estudio.

5.4.1 Descripción de movimientos a meso-escala con relación a la TSM, CHL, BAT y oxígeno disuelto. Análisis de forrajeos de las marcas A0484 y A0345 en la Corriente de California durante primavera 2003

Para explorar las condiciones oceanográficas donde se desplazó el AAAP, se realizó un sondeo con dos de las siete marcas seleccionadas durante marzo, abril y mayo (A0484 y A0345). De estas marcas, se observaron las preferencias oceanográficas tomando en cuenta los datos de BAT (isobata -500, -2000 y -3000 m), TSM, CHL (Figura 25 (A-D)) y oxígeno disuelto (O_2 ml L^{-1}) (para el 23 de abril de 2003) (Figura 53). Esta última variable fue comparada con los buceos máximos realizados durante abril de 2003 (Figura 54). Los datos de TSM y CHL-a correspondieron a promedios de los meses de primavera de 2003, mientras que los de O_2 correspondieron sólo al día 23 de abril de 2003.

Los resultados representados como vectores de movimiento se complementan con la serie de tiempo de latitudes y su distribución latitudinal (Figuras 11, 12 y 13). Los resultados de los mapas de color de TSM se complementan con las series de tiempo de datos de temperatura externa, medidos por los sensores en las 7 marcas colocadas en los atunes (Figura 14). El patrón de movimiento latitudinal entre estas marcas durante primavera de 2003 fue distinto. La marca A0484 mostró un patrón de movimientos disperso (explorando varias zonas de agregación), respecto a la marca A0345 en la que se observó un movimiento orientado hacia una zona de agregación común (zona sur), patrón similar al resto de las marcas (Figura 72 Anexo).

En marzo la marca A0345 inició su desplazamiento desde los 34°N (zona norte; TSM 12-14 °C) hasta los 26°N (zona sur; TSM 18-20 °C), región en la que permaneció el resto de la temporada. Dicho desplazamiento fue realizado siguiendo el núcleo de la CC en un lapso aproximado de 6 días. Por otra parte, la marca A0484 inició su desplazamiento desde 28°N (zona central; TSM 16-18 °C) hasta 35°N (zona norte; TSM 12-14 °C). Dicho desplazamiento fue realizado por la parte externa del núcleo de la CC. Los desplazamientos realizados por estos atunes fueron realizados sobre agua oceánica (BAT > 3000 m). Las concentraciones de CHL-a por donde realizaron sus movimientos fueron de Log_{10} -0.5 a 0 mg/m^3 (Figura 25 (A-D)).

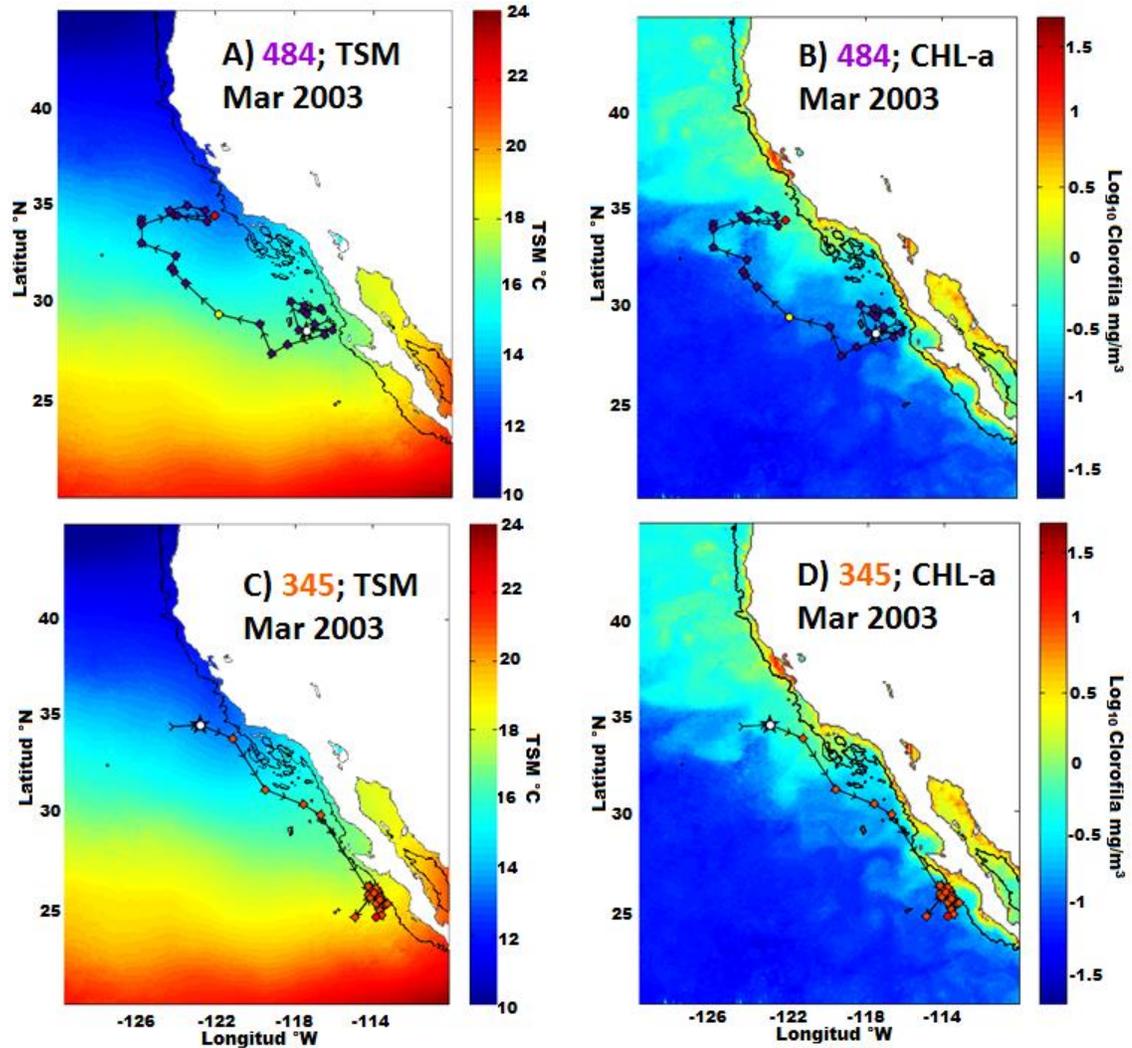


Figura 25. Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 marzo 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT -500m.

Durante el mes de abril la marca A0484 realizó su desplazamiento desde los 35° N (zona norte; TSM 12-14°C) hasta llegar a 26°N (zona sur; TSM 16-18 °C). Mientras que la marca A0345 permaneció agregada entre 24 y 26°N (zona sur; TSM 18-20 °C) cuando se encontró con el centro de agregación común del AAAP. La mayor parte de los desplazamientos realizados por estas marcas fueron realizados en agua oceánica (BAT > 3000 m), haciendo excursiones esporádicas cercanas a la costa sobre la plataforma continental. Durante este mes se observó un incremento en los registro de la concentración de CHL (Log₁₀ 0.5-1.5 mg/m³), asociados principalmente a la zona costera (Figura 26 (E-H)).

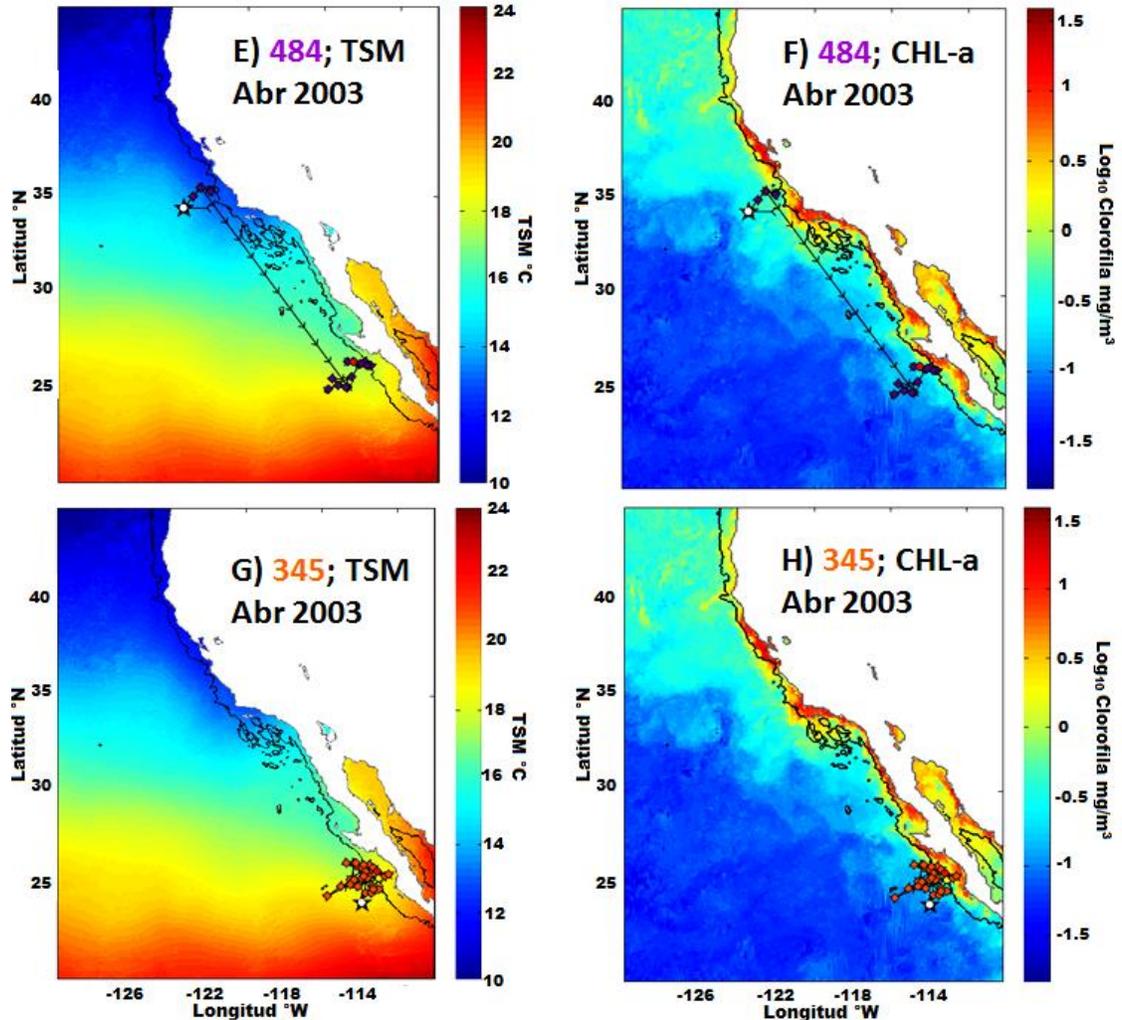


Figura 26. Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 abril 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT -500m.

Se graficaron datos diarios de profundidad máxima de las 7 marcas seleccionadas y los datos de oxígeno disuelto (O_2 ml L^{-1}) para abril de 2003 (día 23) (Figura 53). El buceo máximo registrado para este periodo fue de 384.4 m, realizado por la marca A0448 (Figura 54). Para el 23 de abril los buceos máximos realizados por las 7 marcas fueron <300 m, donde se registró un promedio de O_2 0.44 ± 0.02 mL L^{-1} a 300 m de profundidad (Figuras 53 y 54).

Para mayo la marca A0484 se separó de la región de agregación en la zona sur, desplazándose desde 26 °N (zona sur; TSM 18-20 °C) hasta 30 °N (zona central; TSM 16-18 °C). Dicho desplazamiento fue realizado por la parte externa del núcleo de la CC

sobre agua oceánica (BAT >3000 m). Para esta marca se observó que al llegar a la zona centro mantuvo desplazamientos en aguas de 2000 m de profundidad, con breves estancias en 500 m de profundidad donde los frentes de concentraciones de CHL fueron de Log_{10} 0.5-1.5 mg/m^3 . La marca A0345 permaneció todo mayo en la zona sur, realizando desplazamientos entre 24 y 26 °N. Dichos desplazamientos se realizaron en agua con profundidades > 3000 m, con breves estancias al borde de la plataforma continental donde los registros en las concentraciones de CHL fueron de Log_{10} 0.5 mg/m^3 (Figura 27 (I-L)).

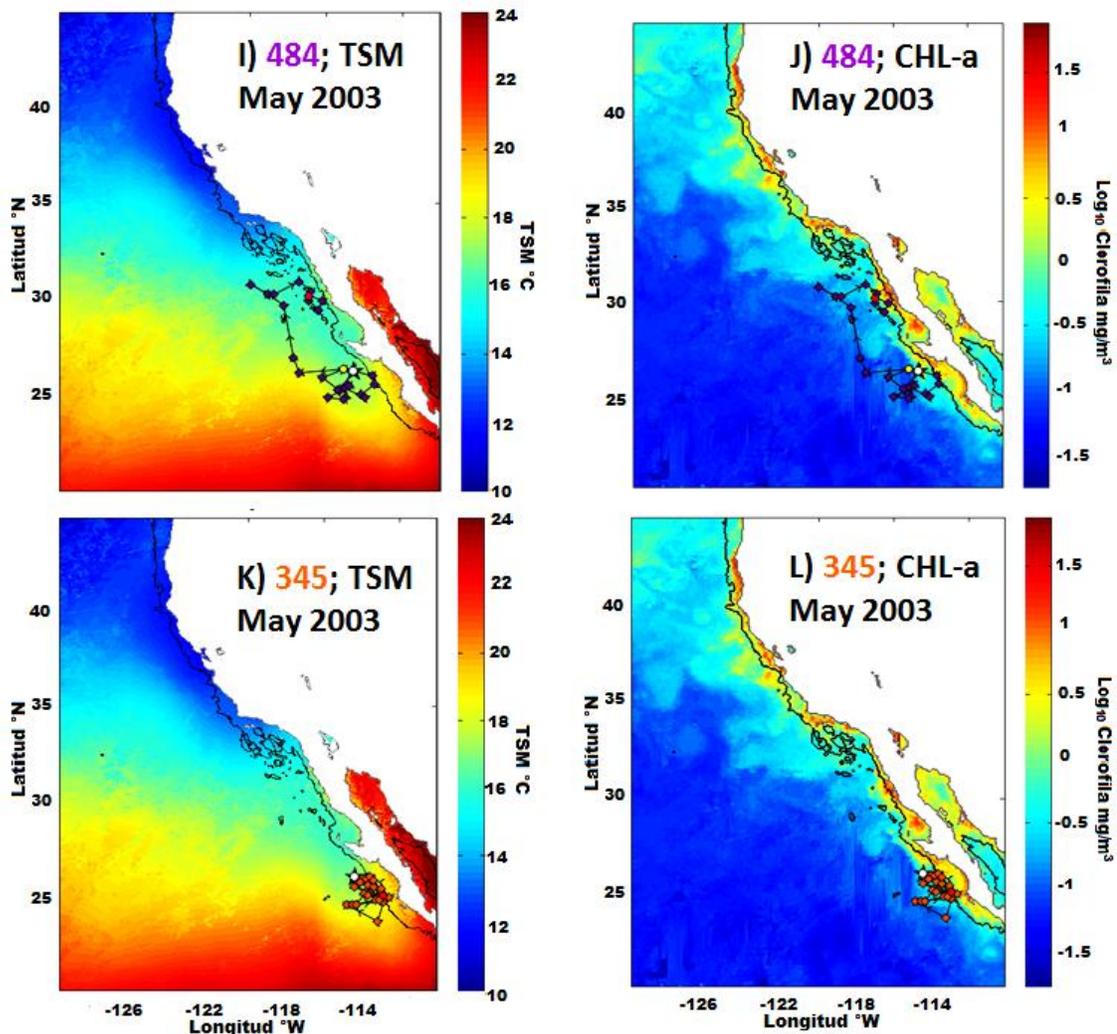


Figura 27. Movimientos a meso-escala con relación a TSM y CHL de las marcas A0484 y A0345 mayo 2003. Contorno negro paralelo a la costa representa BAT - 500m.

5.4.2. Detalles de comparación a meso-escala durante marzo-abril-mayo de 2003 entre las marcas A0484 y A0345: demostración de movimientos y comportamiento; cambios en el medio ambiente asociados con los movimientos latitudinales y búsqueda de alimento.

Se realizó un análisis de los registros de temperatura interna-externa y profundidad de las marcas A0484 y A0345 con relación a sus posiciones geográficas durante marzo-abril-mayo de 2003, acotando los registros para el análisis en periodos de 6-8 días (4 semanas). Dicho análisis describe los patrones de desplazamientos y el comportamiento de los organismos asociados con los cambios en el ambiente oceánico, lo cual genera una respuesta en la búsqueda de alimento. Los registros de temperatura externa y profundidad fueron útiles para conocer la estructura de la columna de agua de las regiones en que estos organismos realizaron sus desplazamientos.

En las series de tiempo que se presenta a continuación representan A) posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora (BAT; línea negra: -500 m; línea azul: -2000 m; línea roja: -3000 m). B) Registros de profundidad y temperatura ambiente. C) Registro de marca archivadora que demuestra los periodos de ayuno y forrajeo en juveniles de AAAP. Profundidad (azul), temperatura de cavidad peritoneal (temperatura interna; rojo) temperatura ambiente (temperatura externa; negro). Los descensos en la temperatura interna (flechas verdes) indican un evento de alimentación. La duración de los periodos de alimentación son indicados por un incremento en la actividad metabólica y delimitados por (flechas negras). En la serie de tiempo las barras claras representan periodos diurnos, las barras grises representan periodos nocturnos.

Marzo

La primera semana de desplazamientos para la marca A0484 (Figura 28 (484 1-8-03 (A) y (B))), se encontró en el rango de 28.5 a 30 °N (zona central) entre Isla Guadalupe y

Punta Baja. Durante la estancia en esta zona se observó un rango en la TSM de 16 a 18 °C y una columna de agua estratificada con una termoclina ~70 m de profundidad. Los buceos más frecuentes fueron realizados durante esta semana, en un rango ≤ 100 m, observándose buceo esporádicos ≤ 300 m (04/12:00 h; 07/12:00 y 18:00 h). Durante los días 6-8, en el periodo de 06:00 a 18:00 h, este atún permaneció por etapas de 3 a 6 horas nadando a una profundidad de 50 m. Este tipo de patrón se observó antes y después de haber realizado el segundo buceo profundo del día 7.

Para la segunda semana la marca A0484 (Figura 29 (484 9-16-03 (A) y (B))) inició su desplazamiento hacia la zona norte. Este desplazamiento fue realizado a lo largo de la parte exterior del núcleo de la CC. Durante esta semana, el rango de la TSM registrado fue de 14 a 18 °C, y en una columna de agua mezclada. Los buceos con mayor frecuencia, fueron realizados a una profundidad ≤ 100 m, con buceos esporádicos ≤ 250 m (12/12:00 h; 13/23:00 h; 14/12:00 h y 16/23:00) (Figura 29 (484 9-16-03 (C))). Los buceos durante los días 13 y 16 fueron nocturnos, posiblemente asociados con fases lunares crecientes, cuando el disco lunar refleja con mayor intensidad la luz del Sol, lo cual le permitió realizar este tipo de buceos (Figura 79 Anexo). Desde los días previos al primer buceo profundo nocturno del día 13, este organismo repitió el patrón de buceo a los 50 m en intervalos de 3 a 6 horas. Se infiere que este tipo de patrones de buceo puede estar motivado con fines exploratorios y como parte de la búsqueda de alimento, dando posibilidad de minimizar la trayectoria de buceo al momento de encontrar presas a mayor profundidad en regiones potenciales de forrajeo.

Para la tercera semana (Figura 30 (484 17-24-03 (A) y (B))), la marca A0484 se encontró dentro de un rango de latitud entre 30 y 34 °N (zona norte), con un registro en la TSM de 12 a 14.5 °C, y una columna de agua estratificada con una termoclina ~50 m de profundidad. Los patrones de buceos más frecuentes durante esta semana, se dieron a una profundidad <100 m. Con el buceo más profundo cercano a 250 m (19/11:00 h) (Figura 30 (484 17-24-03 (C))). Durante esta semana también se observaron buceos profundos nocturnos los días 19/20:00 h y 23/01:00 h (Figura 30 (484 17-24-03 (C))).

La última semana en los desplazamientos de la marca A0484, ésta se encontraba en un rango de latitud de 34 a 35 °N, en un intervalo de TSM de 13 a 15.8 °C y una columna de agua estratificada con una termoclina a ~50 m (Figura 31 (484 25-31-03 (A) y (B))). Al igual que la semana anterior, los buceos de mayor frecuencia fueron realizados en un intervalo <100 m de profundidad, con el buceo más profundo a 251 m (29/18:00 h) (Figura 31 (484 25-31-03 (C))).

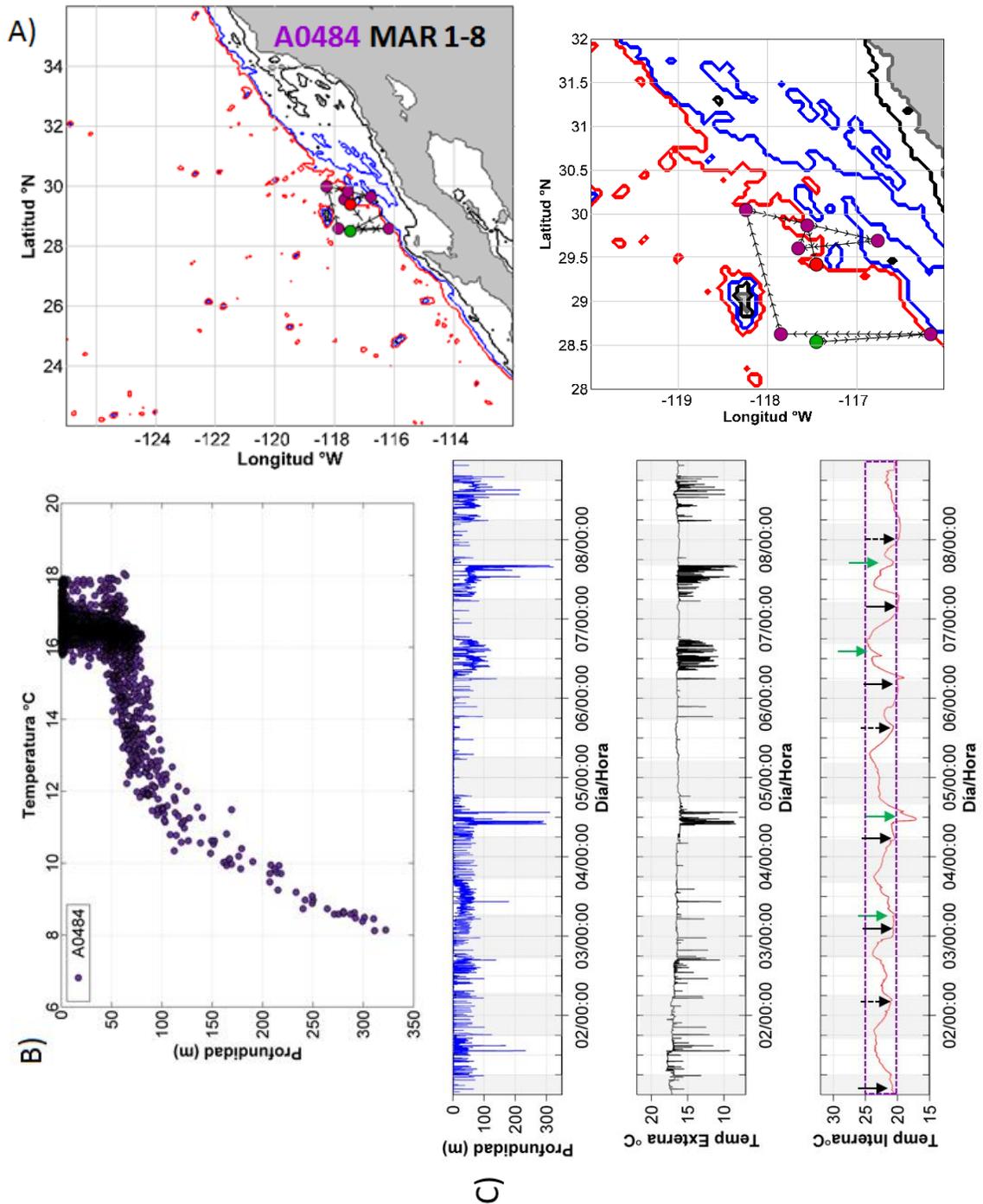


Figura 28. (484 1-8-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

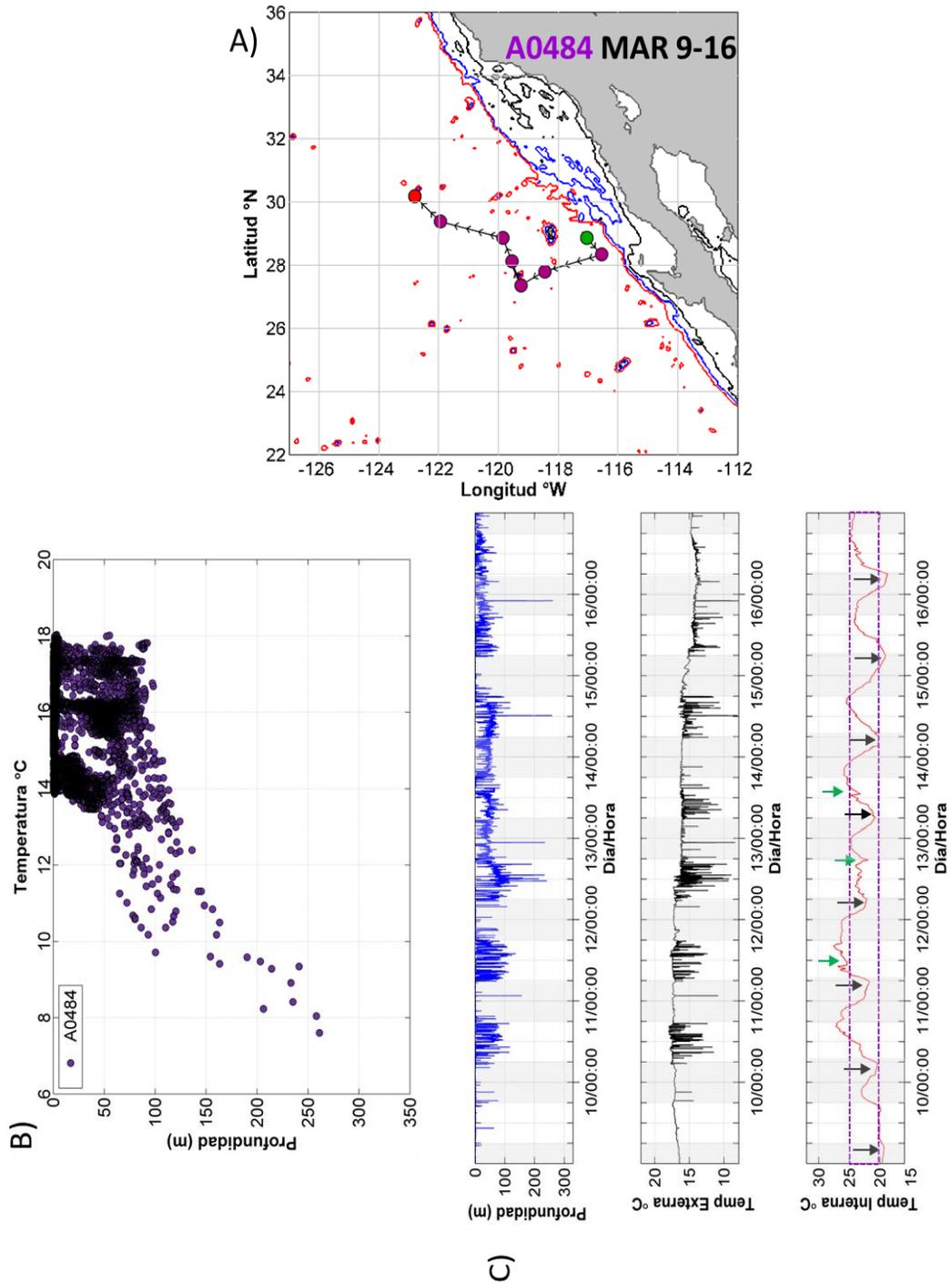


Figura 29. (484 9-16-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

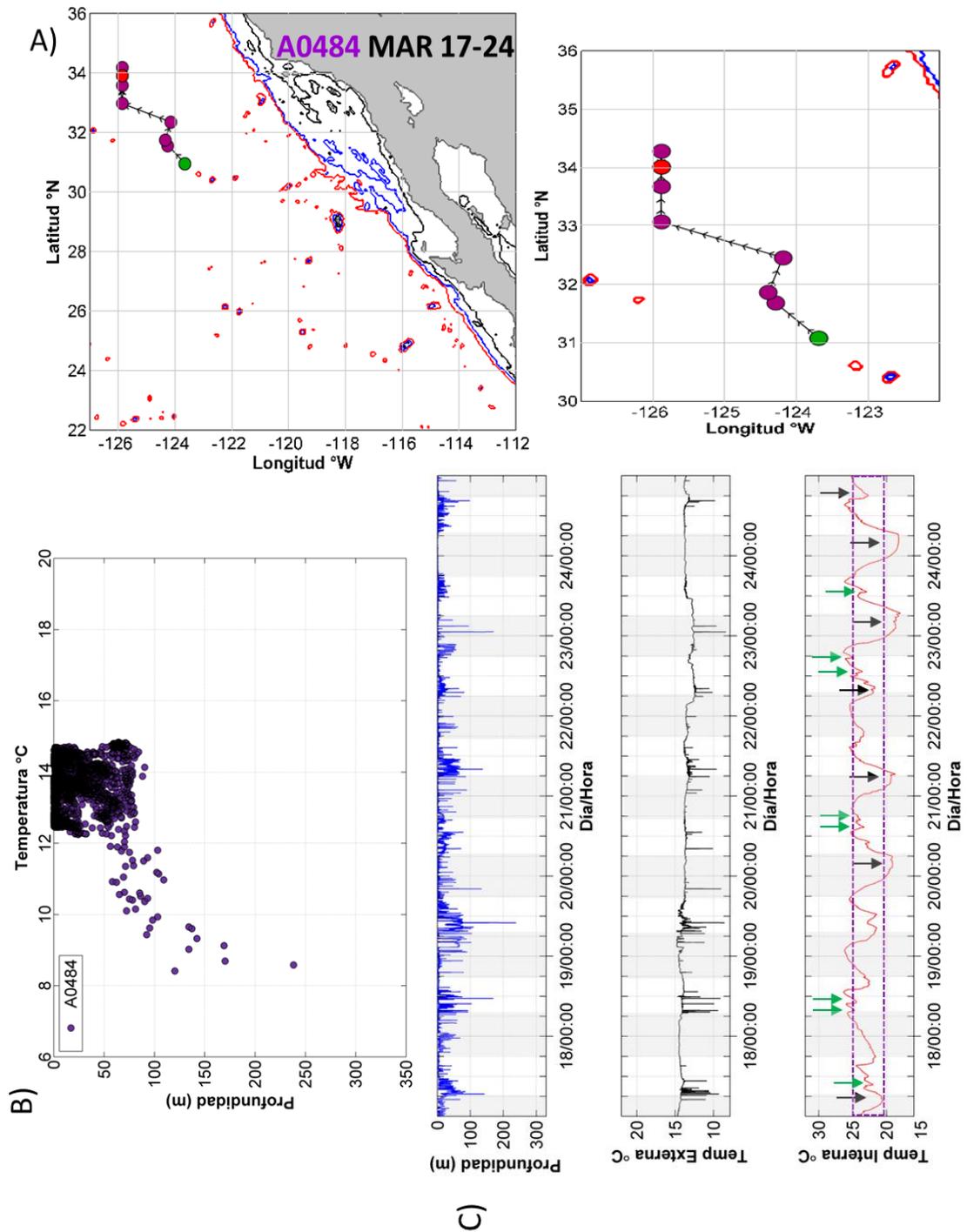


Figura 30. (484 17-24-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

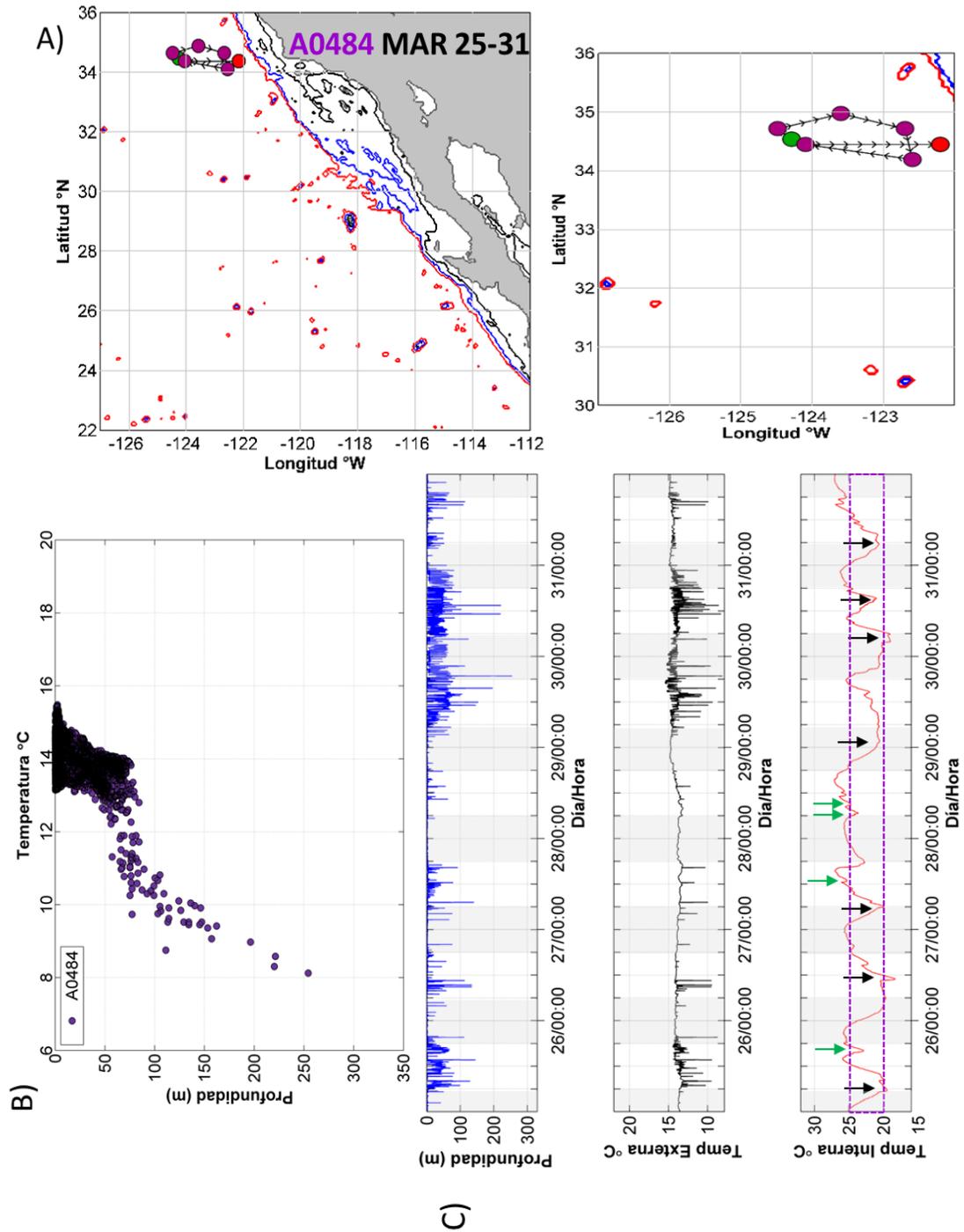


Figura 31. (484 25-31-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivera. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

En la primera semana de marzo la marca A0345 se desplazó desde 34°N (zona norte) hasta 26 °N (zona sur). De los registros de profundidad y temperatura externa de la primera semana se observó una columna de agua estratificada, en la cual se identificó la termoclina a ~70 m (Figura 32 (345 1-8-03 (A) y (B))). Esta marca realizó sus desplazamientos en un rango de temperatura superficial de 14 a 18.5 °C. Durante el desplazamiento de la zona norte a la zona sur este organismo permaneció realizando buceos a profundidades ≤ 100 m; haciendo buceos esporádicos a ≤ 205 m (03/12:00 h), ≤ 300 m (04/12:00 a 18:00) y ≤ 150 m (08/12:00 h) (Figura 32 (345 1-8-03 (C))). Se infiere que los buceos >150 m estuvieron asociados con la búsqueda de alimento.

Para la segunda semana de marzo (Figura 33 (345 9-16-03 (A) y (B))) la marca A0345 realizó sus desplazamientos entre 25 y 26 °N (zona sur), donde se observó un intervalo de temperatura oceánica de 17 a 20 °C y una columna de agua estratificada con una termoclina a ~50 m. Durante la estancia en la zona sur, dicha marca realizó buceos con mayor frecuencia a profundidades ≤ 150 m (09/12:00 h), ≤ 250 m (10/12:00 h), ≤ 270 m (11/12:00 h), ≤ 200 m (12/18:00 h), ≤ 200 m (13-14/12:00 h), ≤ 250 m (15/12:00 h) y ≤ 200 m (16/18:00 h). Al igual que la primera semana, se infiere que los buceos realizados >150 m, estuvieron asociados con la búsqueda de alimento. Dicha marca permaneció en el rango de los 0 a 50 m de profundidad en periodos nocturnos (09-13/18:00-06:00 h); y de los 50 a 70 m, en periodos nocturnos (14-16/18:00-06:00 h) (Figura 33 (345 9-16-03 (C))). Es posible que los buceos nocturnos realizados entre los 50 a 70 m de los días 14 al 16, fueran favorecidos por las fases lunares crecientes y de plenilunio, cuando el disco lunar refleja la luz solar con mayor intensidad (Figura 79 (A) Anexo).

La tercera semana de marzo, (Figura 34 (345 17-24-03 (A) y (B))) la marca A0345 realizó sus desplazamientos entre las latitudes 24.5 y 26 °N (zona sur), donde se observó un rango de temperatura oceánica de 16 a 19 °C y una columna de agua estratificada con una termoclina a los ~100 m. Se infiere que la variación en el rango de temperatura de TSM durante esta semana, pudo haber sido causado por el encuentro con frentes térmicos. Los buceos con mayor frecuencia realizados durante esta

semana, sucedieron a una profundidad ≤ 150 m (18-21/12:00 h), realizando buceos esporádicos a mayores profundidades de ≤ 220 m (22-24/12:00 h). Los buceos nocturnos durante esta semana, se realizaron en el rango de los 50 a 70m de profundidad (Figura 34 (345 17-24-03 (C))) (Figura 79 (A) Anexo).

Durante la cuarta semana la marca A0345 permaneció en el mismo rango latitudinal de los días 9-24 marzo, (Figura 35 (345 25-31-03 (A) y (B))). El intervalo de TSM permaneció desde los 16 a 20 °C, al igual que una columna de agua estratificada con una termoclina a ~70 m. Los buceos más frecuentes fueron realizados a profundidades ≤ 150 m, excepto para el día 24/12:00 h, en el que se registró un buceo hasta 250 m y el día 29/12:00 h hasta 350 m de profundidad (Figura 35 (345 25-31-03 (C))), siendo este buceo el más profundo durante marzo entre la marca A0345 y A0484. Se observó que los buceos durante esta semana fueron someros 0 a 20 m. La variación en los buceos nocturnos durante esta semana, están asociados con las fases lunares menguantes y novilunios, cuando el disco lunar refleja la luz solar con menor intensidad (Figura 79 (A) Anexo).

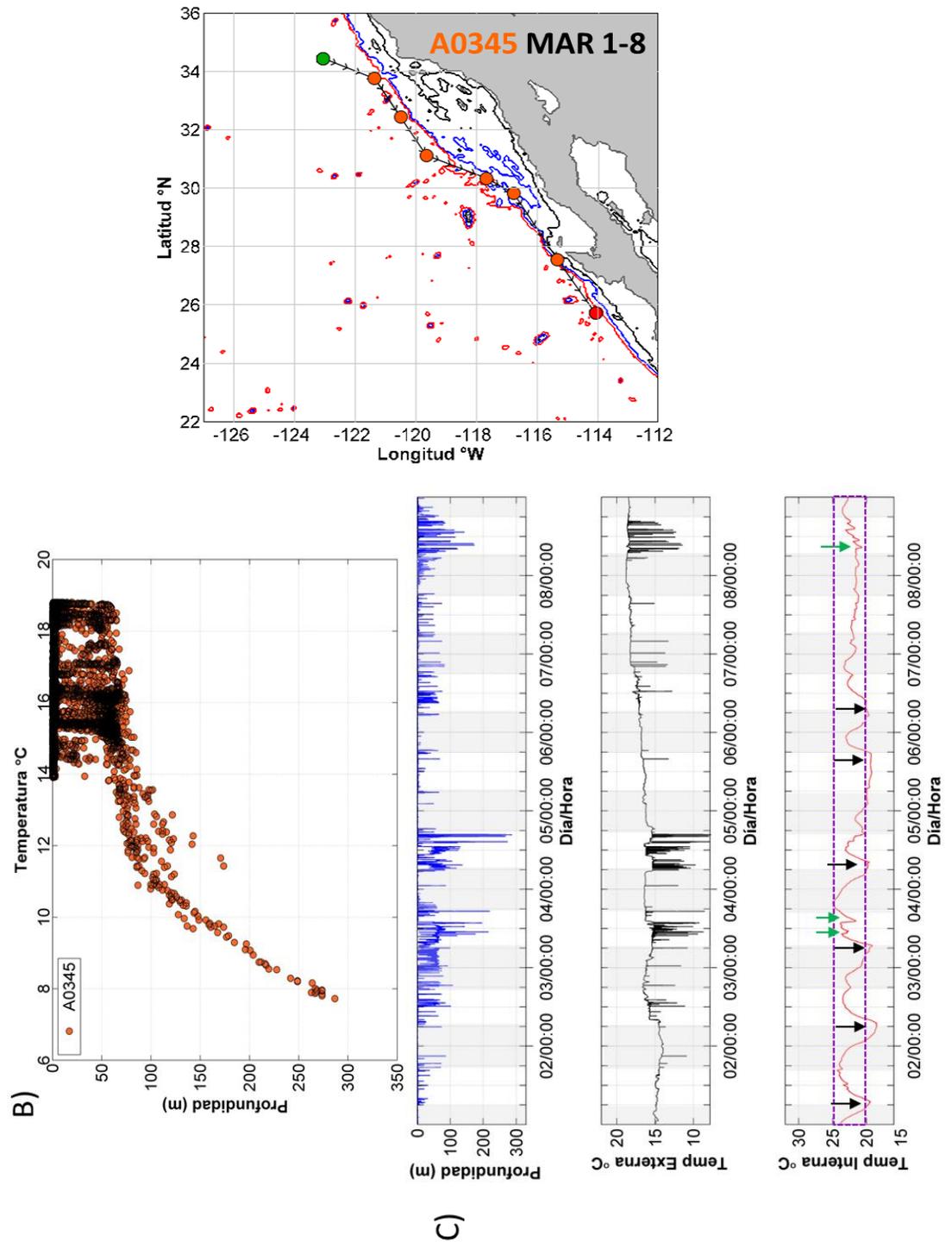


Figura 32. (345 1-8-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

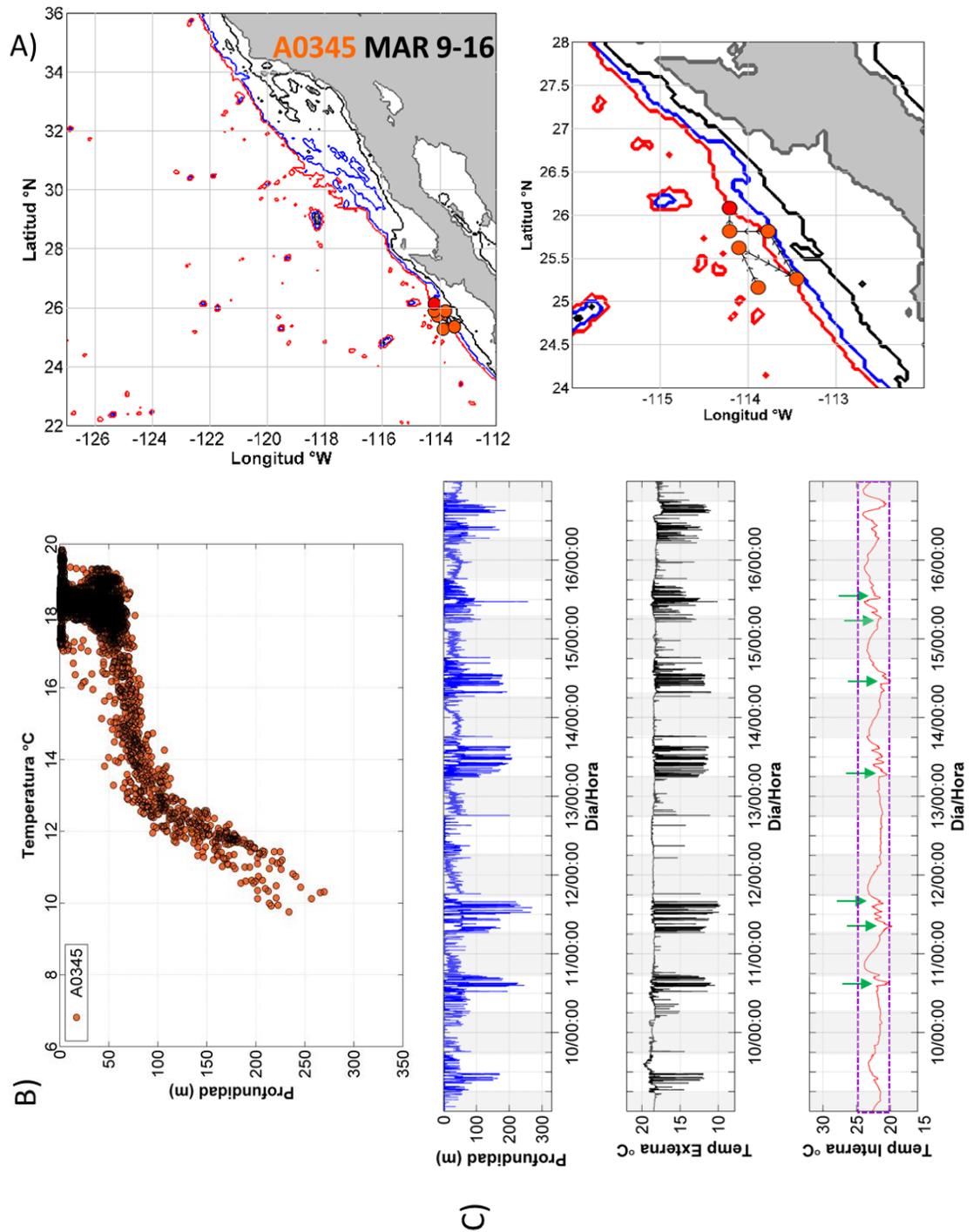


Figura 33. (345 9-16-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

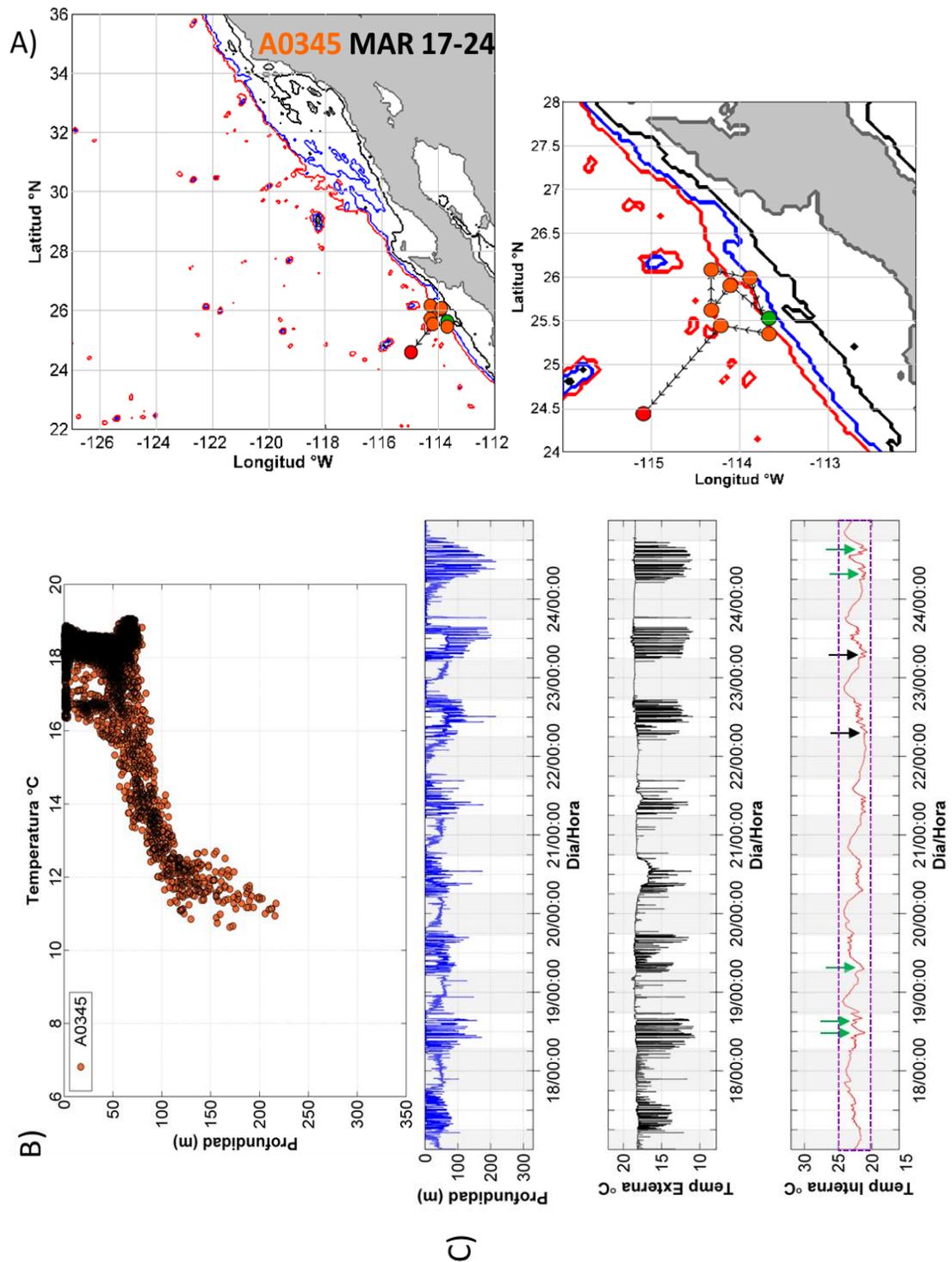


Figura 34. (345 17-24-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

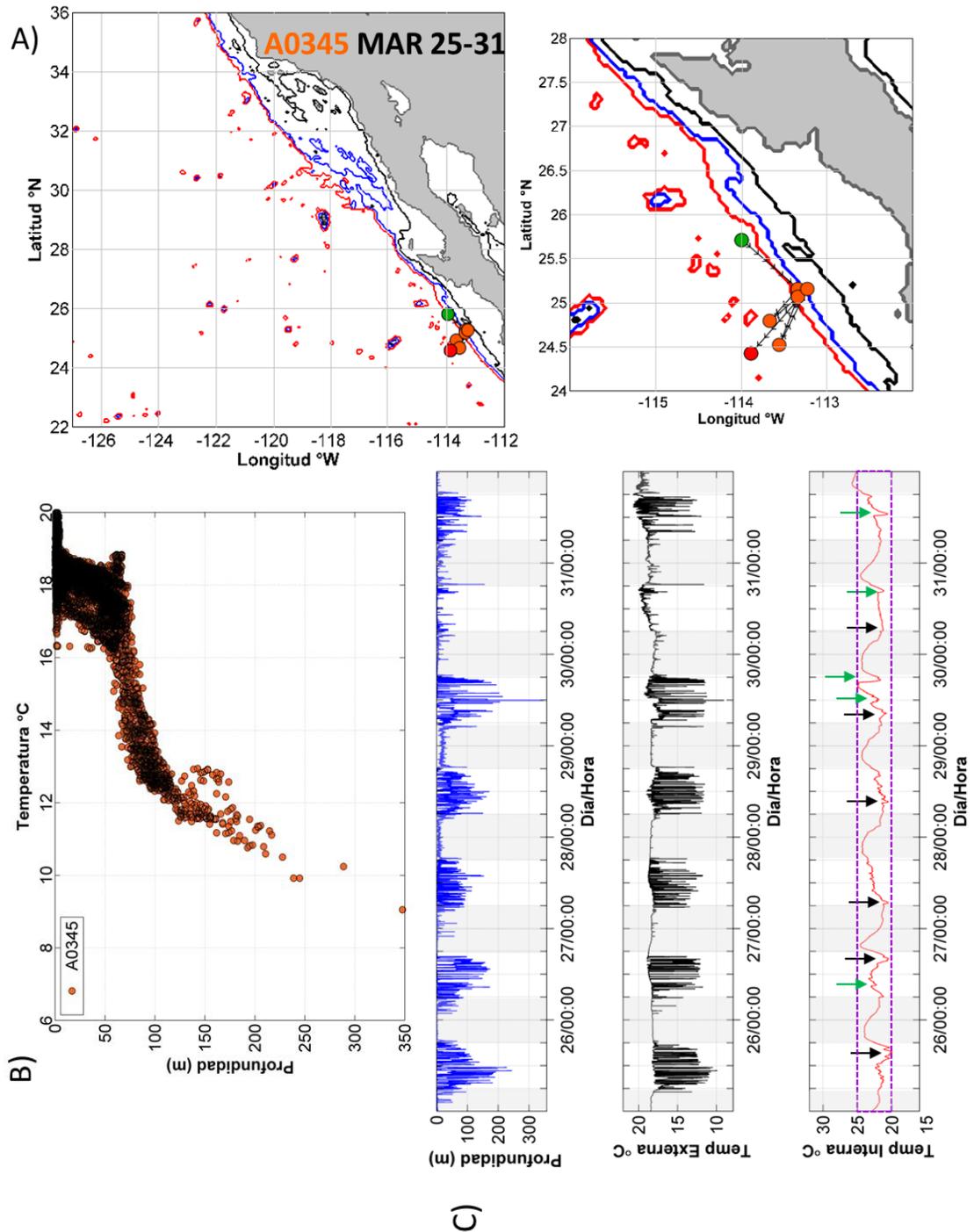


Figura 35. (345 25-31-03) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

Abril

Durante abril la marca A0484 realizó un desplazamiento desde la zona norte hasta la zona sur. La primera semana de abril la marca A0484 registró un rango de TSM de 13 a 17 °C, con una columna de agua estratificada y la termoclina a ~70 m (Figura 36 (484 1-8-04 (A) y (B))). La mayor frecuencia de buceos profundos fueron registrado a profundidades <100 m. Los buceos más profundos registrados estuvieron entre los 200 a 250 m durante los días 02/12:00 h; 03/11:00 h; 06/19:00 h y 08/12:00 h (Figura 36 (484 1-8-04 (C))). El buceo nocturno realizado el día 6 no se asoció con fases lunares crecientes (Figura 79 (B) Anexo).

La segunda semana de registro para la marca A0484, se encontró en un rango latitudinal entre los 25 y 26.5 °N (zona sur). Los registros de TSM para este periodo estuvieron dentro el rango de 16 a 19.5 °C, observándose una columna de agua estratificada con una termoclina a ~80 m (Figura 37 (484 9-16-04 (A) y (B))). Los buceos profundos más frecuentes realizados por esta marca fueron a niveles <250 m. La mayoría de estos buceos fueron realizados desde el 11-16/06:00-18:00 durante periodos de 12 horas (Figura 37 (484 9-16-04 (C))). Se observó un patrón de buceo nocturno a profundidades de 50 a 80 m desde el día 11 al 16, los cuales se asociaron con fases lunares crecientes (Figura 79 (B) Anexo).

La tercera semana de registro para la marca A0484 se encontró dentro de un rango latitudinal de 25 a 26 °N (zona sur), donde el rango de TSM fue de 16 a 19 °C, observándose una columna de agua estratificada con una termoclina a los 49 m (Figura 38 (484 17-24-04 (A) y (B))). Se observaron buceos a profundidades \leq 200 m durante los días 17-21/06:00-18:00 h, por periodos de 12 horas. Los días 22-24/06:00-18:00 h, los buceos fueron a \leq 150 m (Figura 38 (484 17-24-04 (C))). El patrón de buceos nocturnos fue similar a la semana anterior, permaneciendo entre 50 a 80 m de profundidad. Para esta semana, hasta el día 21, el disco lunar todavía reflejaba la luz solar (Figura 79 (B) Anexo).

Para la última semana la marca A0484 se encontró realizando sus movimientos en un rango desde los 26 a 26.5 °N. En esta semana los buceos nocturnos observados fueron ≤ 40 m de profundidad, excepto para el día 31/18:00 h en el cual se observó una profundidad de ~ 200 m. El día 27/06:00-18:00 h, se observó un buceo continuo a una profundidad aproximada de 70 m (Figura 39 (484 17-24-04 (A-C))).

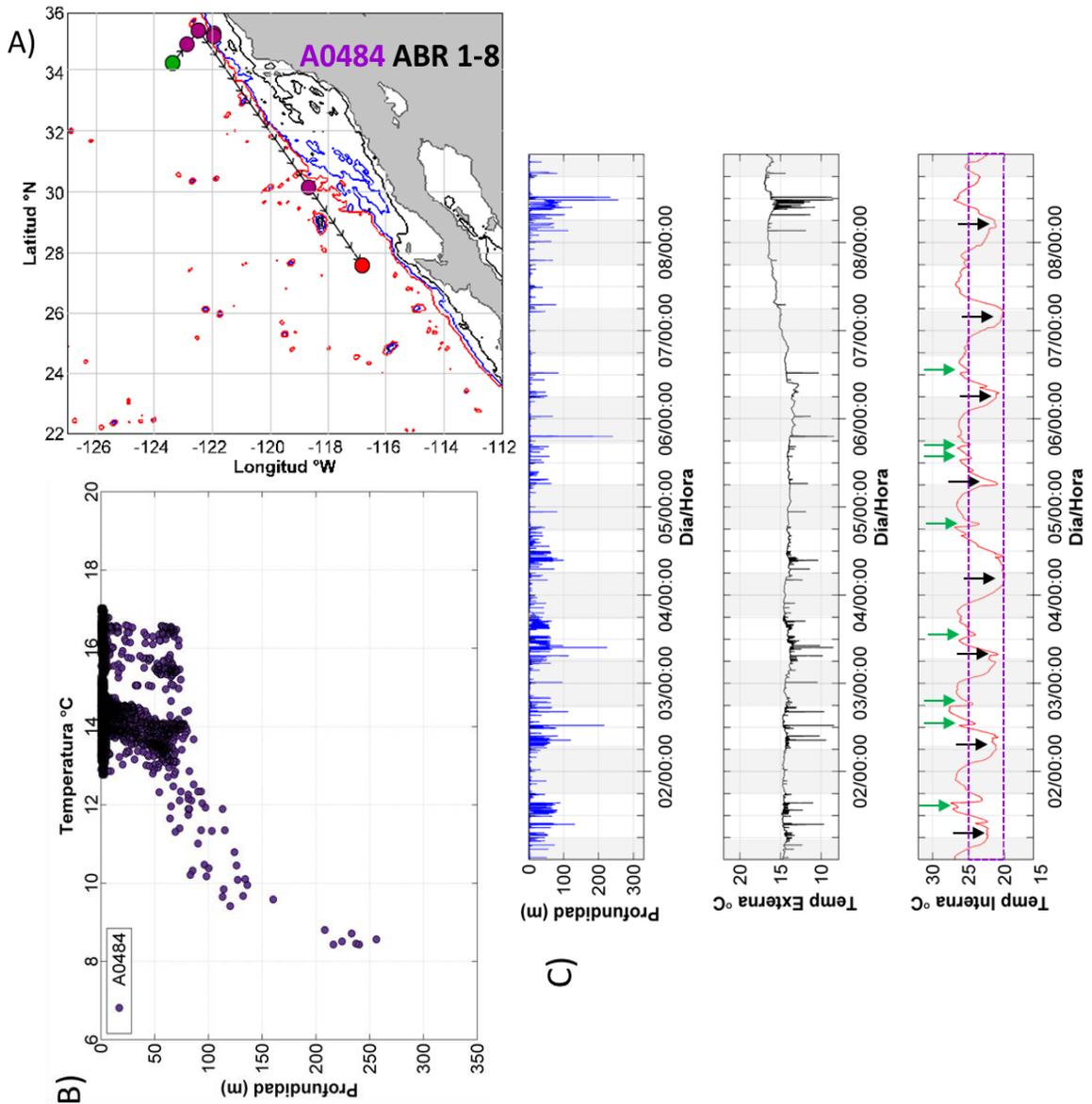


Figura 36. (484 1-8-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

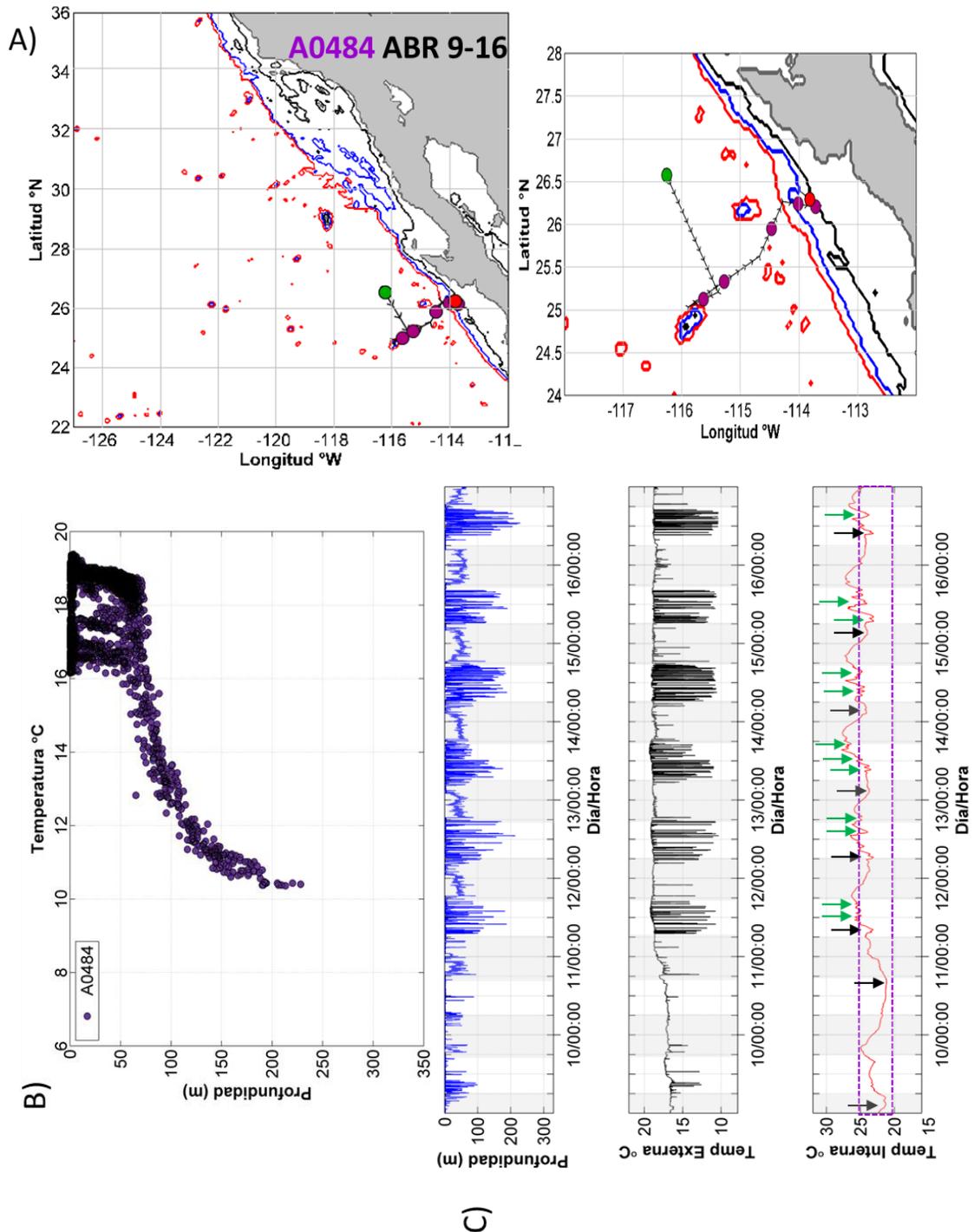


Figura 37. (484 9-16-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

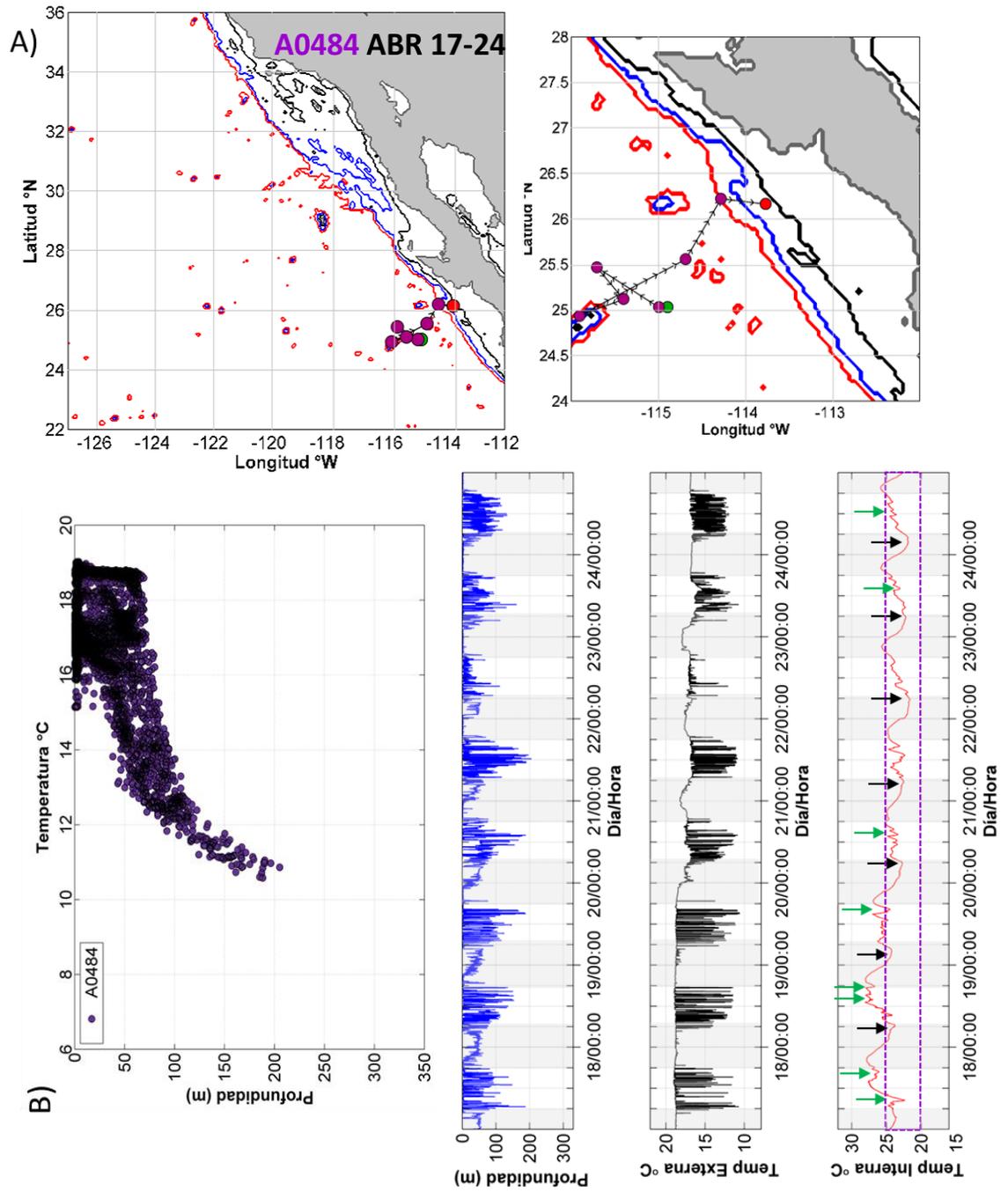


Figura 38. (484 17-24-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

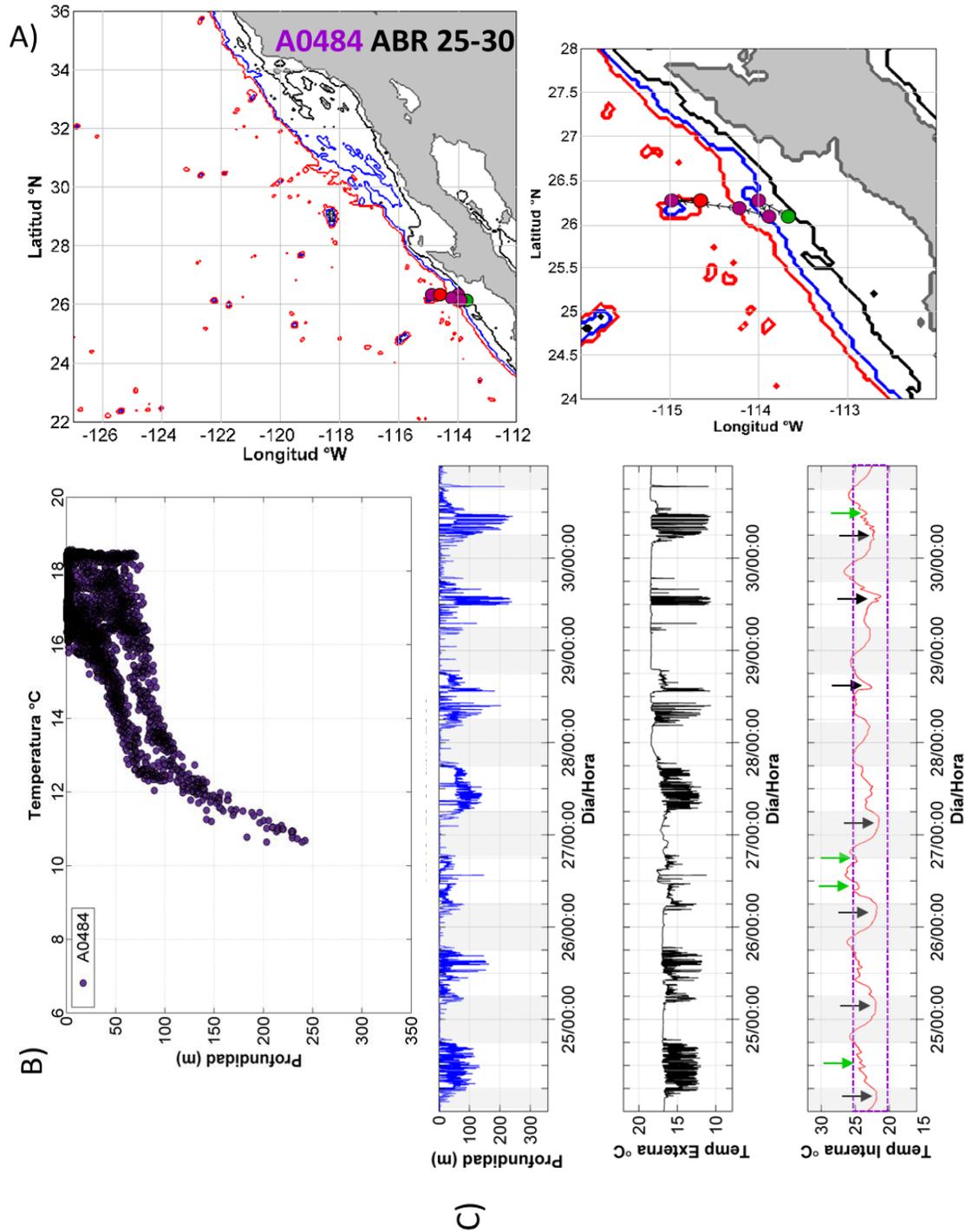


Figura 39. (484 25-30-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

Durante este mes la marca A0345 permaneció en un rango latitudinal de 24 a 26°N (zona sur). Durante su estancia en esta zona, dicha marca alternó sus desplazamientos y buceos entre aguas oceánicas y la plataforma continental. Durante su estancia en esta zona la TSM registrada fue de 16 a 20° C. En general se observó una columna de agua estratificada con variaciones en la termoclina de acuerdo a la posición en la que dicha marca realizó sus desplazamientos y actividades de buceo. Del 15 al 21 de abril se observaron buceos nocturnos (50 a 80 m), lo cual coincidió con los días y los buceos nocturnos observados para la marca A0484. Sin embargo, algunos buceos nocturnos fueron realizados por la marca A0345 fuera del rango de los días mencionados (0 a 30 m).

Para la primera semana se observó que la mayor parte de los desplazamientos donde la marca A0345 realizó sus buceos se realizaron dentro del rango latitudinal de 24 a 26 °N, donde el intervalo de TSM fue de 18 a 20 °C con una columna de agua estratificada y una termoclina a los 100 m de profundidad (Figura 40 (345 1-8-04 (A) y (B))). El buceo más profundo realizado por la marca A0345 en la primera semana de abril fue de 200 m, observándose los buceos más frecuentes dentro de un rango ≤ 100 m por periodos de 6 a 12 horas. Se registraron buceos nocturnos profundos a una profundidad aproximada de 90m el día 04/10:00 h (Figura 40 (345 1-8-04 (C))). Durante esta semana no se registraron fases lunares que favorecieran el reflejo de la luz solar Figura 79 (B) Anexo).

Durante la segunda semana se observaron buceos nocturnos entre 50-80 m a durante el 15-21/19:00-06:00 h (Figura 41 (345 9-16-04 (C))). Este tipo de buceos coincidieron con los buceos nocturnos realizados por la marca A0484 durante el mismo periodo en días, excepto que los buceos nocturnos de ésta última marca iniciaron desde 12-22/19:00-06:00 h (Figura 37 (484 9-16-04 (C))). Los rangos de TSM en que estos organismos se desplazaron, coincidieron dentro del intervalo de temperatura registrado para la zona sur entre 16 a 20 °C. Se observó una termoclina ~60 m de profundidad en la región donde la marca A0345 realizó su actividad de forrajeo (Figura 41 (345 9-16-04 (B))).

Los desplazamientos de la marca A0345 durante la tercera semana de abril, fueron similares a los desplazamientos realizados por la marca A0484. Ambas marcas se movieron en el mismo rango latitudinal 24 a 26 °N (Figuras 37 y 42 (484 y 345 17-24-04 (A))). Para el día 24 la marca A0345 se encontraba sobre la plataforma continental (Figura 42 (345 17-24-04 (A))), donde realizó buceos a ≤ 150 m. Tanto el patrón de buceo diurno como nocturno en ambas marcas fue similar, excepto para la marca A0345 que realizó buceos cercanos a los 250 m durante los periodos diurnos (Figura (Figuras 37 y 42 (484 y 345 17-24-04 (C))). Los registros en los datos de profundidad y temperatura externa, evidenciaron la estratificación de la columna de agua de la zona en que estas marcas realizaron sus desplazamientos (Figuras 37 y 42 (484 y 345 17-24-04 (B))).

Durante la última semana de abril los registros en temperatura y profundidad, evidenciaron una termoclina a ~ 40 m (Figura 43 (345 25-30-04 (B))), la cual fue diferente a lo evidenciado por los registros en la marca A0484 (Figura 39 (484 25-30-04 (B))), donde se observó una termoclina a ~ 70 m. Los buceos más profundos, entre 200 y 240 m, realizados por la marca A0345 se observaron durante los días 25, 28, 29 y 30, en el transcurso de los periodos diurnos (Figura 43 (345 25-30-04 (C))).

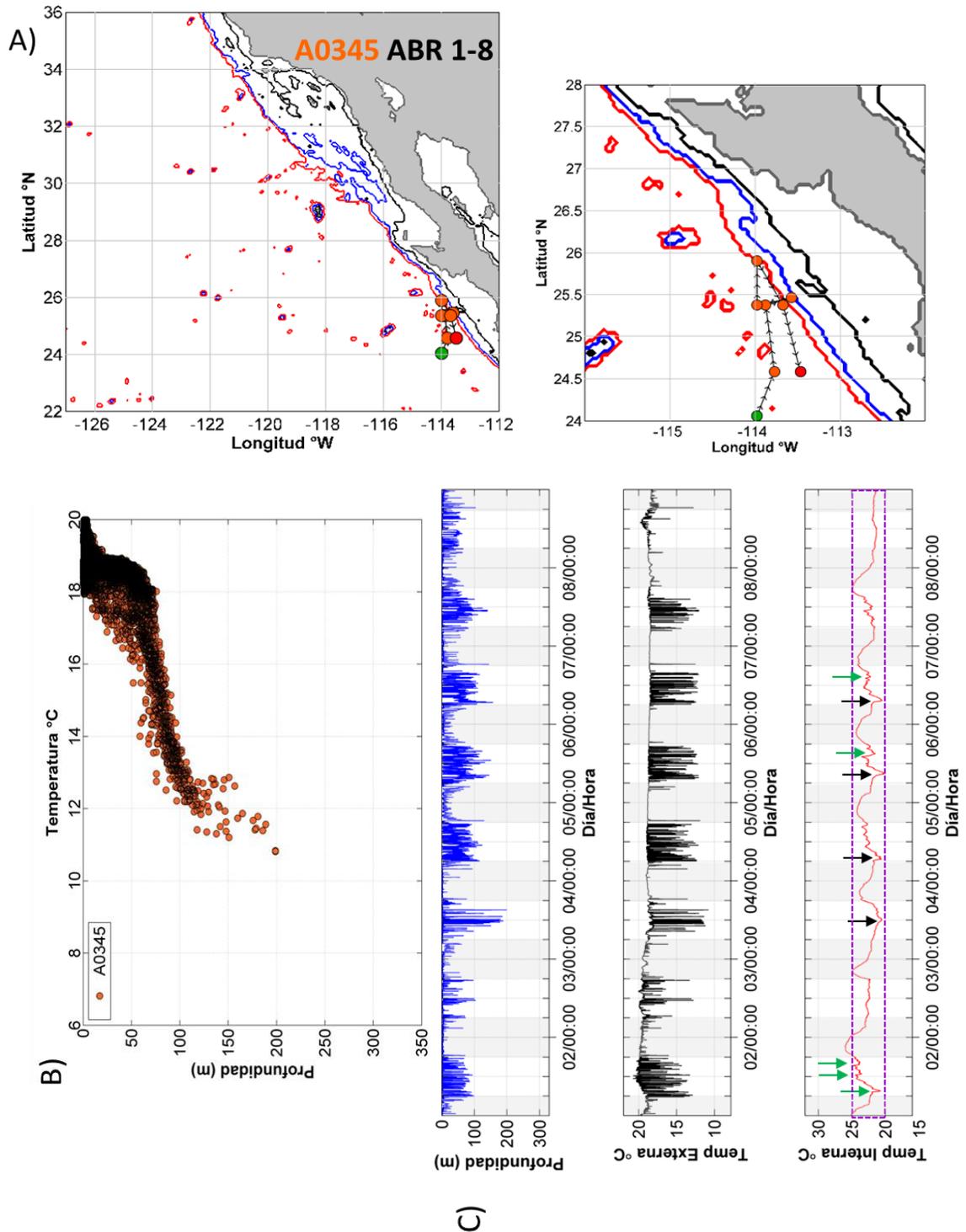


Figura 40. (345 1-8-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

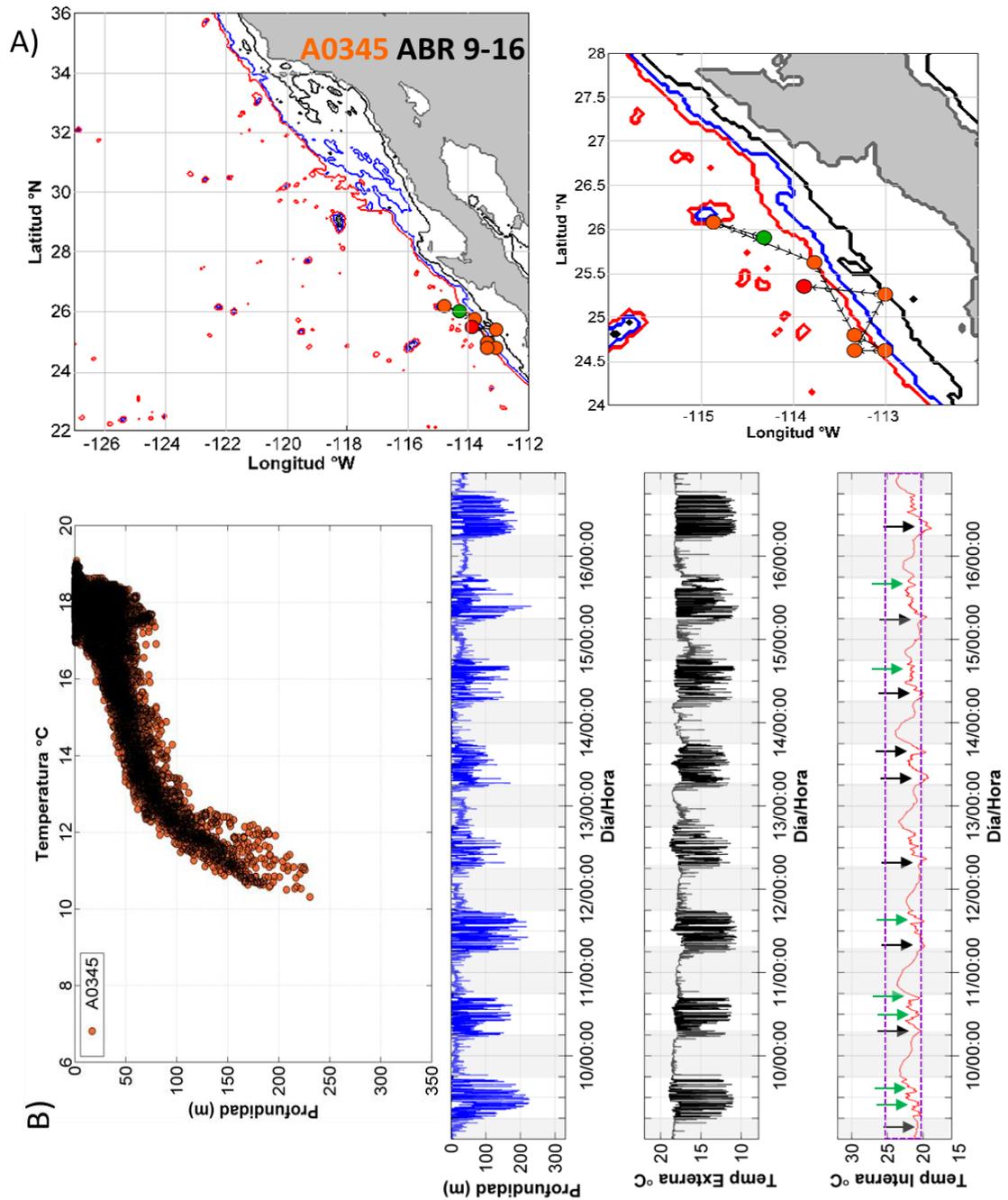


Figura 41. (345 9-16-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

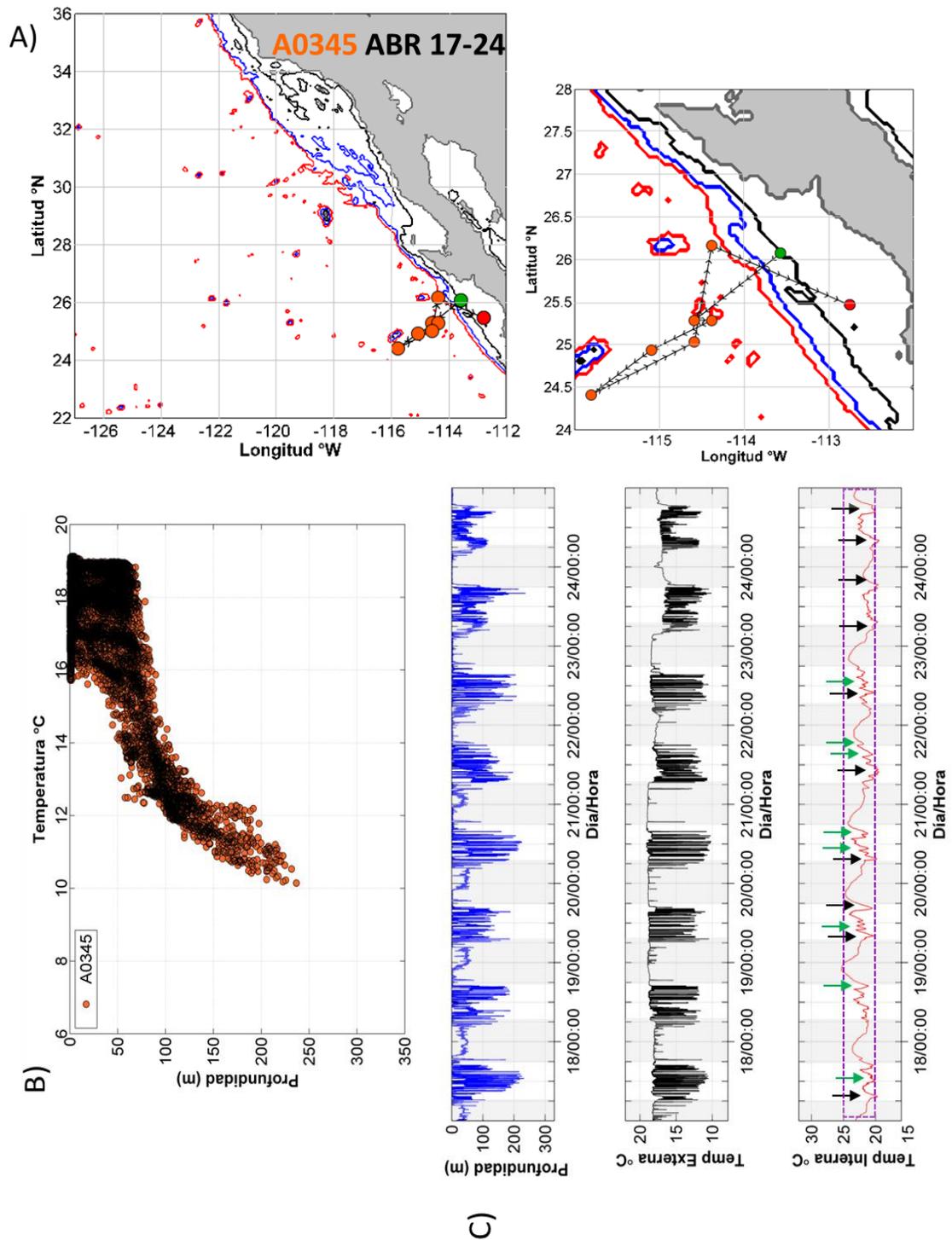


Figura 42. (345 17-24-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

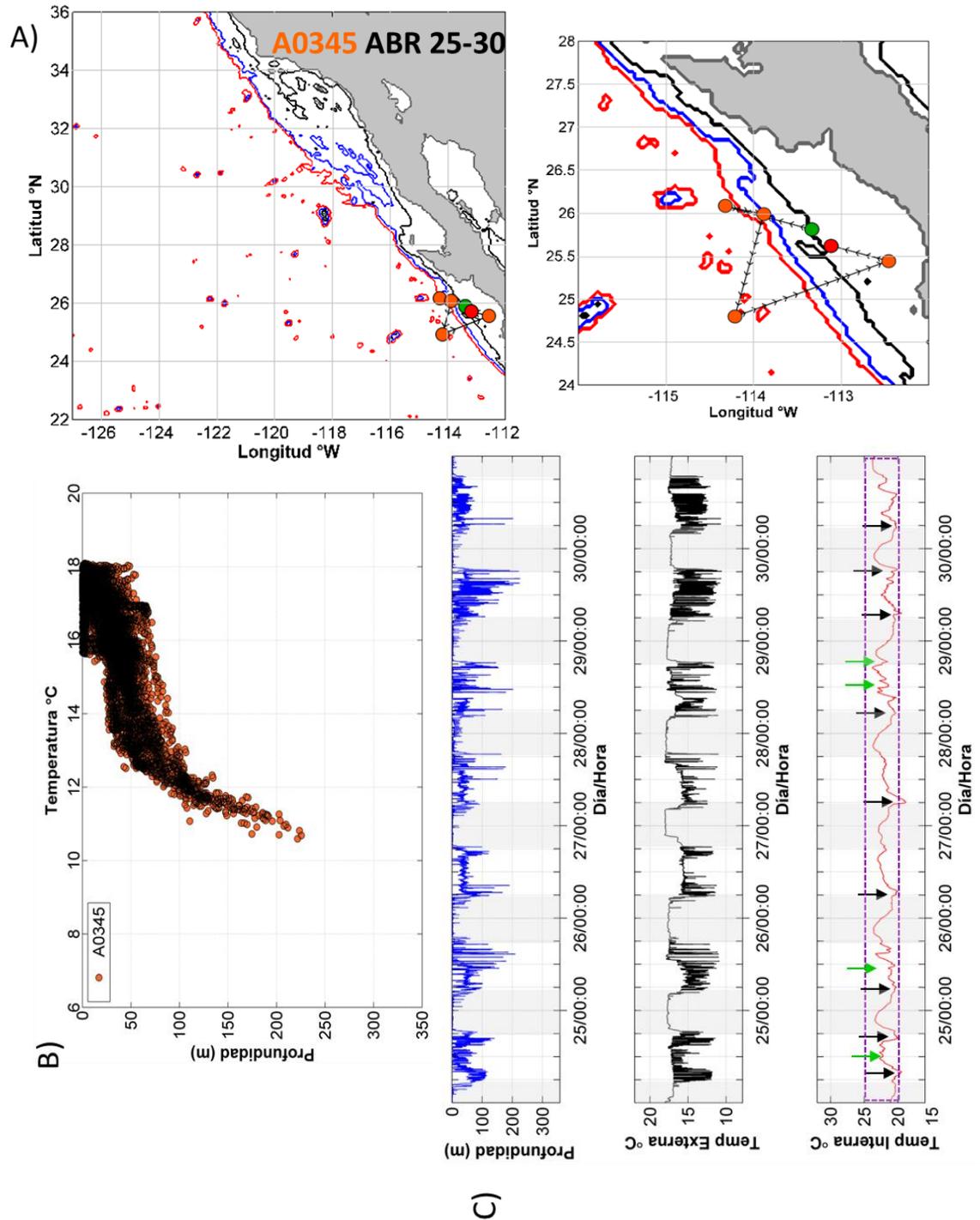


Figura 43. (345 25-30-04) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

Mayo

Durante mayo ambas marcas se movieron dentro de un rango de TSM de 15 a 19 °C (Figuras 44-51 (484 y 345 1-31-05 (B))). La marca A0345 permaneció dentro de un rango latitudinal similar al que mantuvo durante abril 24 a 26 °N (Figuras 48-51 (345 1-31-05 (B))). El rango latitudinal para la marca A0484 fue consistente respecto al de abril hasta finales de la segunda semana de mayo (Figura 45 (484 9-16-05 (A))), ya que a principios de la tercera semana, inició desplazamientos desde la zona sur a la zona central 27 a 31 °N (Figura 46 (484 17-24-05 (A))). La última semana de mayo, la marca A0484 realizó sus actividades de forrajeo en un rango de 29 a 31 °N (Figura 47 (484 25-31-05 (A))).

Los patrones de buceos nocturnos entre marcas fueron similares, ya que del día 10 al 16 de mayo, se observaron buceos en un rango de 50 a 70 m de profundidad (Figuras 45 y 49 (484 y 345 9-16-05 (C))), posiblemente favorecidos por la luminosidad del disco lunar (Figura 79 (C) Anexo). Los días en que la marca A0484 realizó su desplazamiento desde la zona sur a la zona central, los buceos de mayor frecuencia observados fueron ≤ 100 m, sobre la termoclina observada para dicha semana (Figuras 46 y 50 (484 y 345 17-24-05 (A) y (C))). Los buceos más profundos durante esta semana fueron cercanos a los 200 m. Durante la misma semana, un patrón similar fue observado en la marca A0345, donde los buceos más frecuentes fueron ≤ 150 m y los buceos más profundos fueron cercanos a los 200 m (Figura 50 (345 17-24-05 (A) y (C))). La semana de 25-31 los registros de la marca A0345 evidenciaron que la profundidad de la termoclina fue < 50 m. Durante esta semana, las actividades de forrajeo fueron realizadas al borde de la plataforma continental donde los buceos de mayor profundidad fueron ≤ 250 m. (Figura 51 (345 25-31-05 (A) y (C))). El buceo de mayor profundidad (300 m) registrado para ambas marcas durante mayo fue realizado por la marca A0484 durante su estancia en agua de la zona central (29 a 31°N) (Figura 47 (484 25-31-05 (A) y (C))).

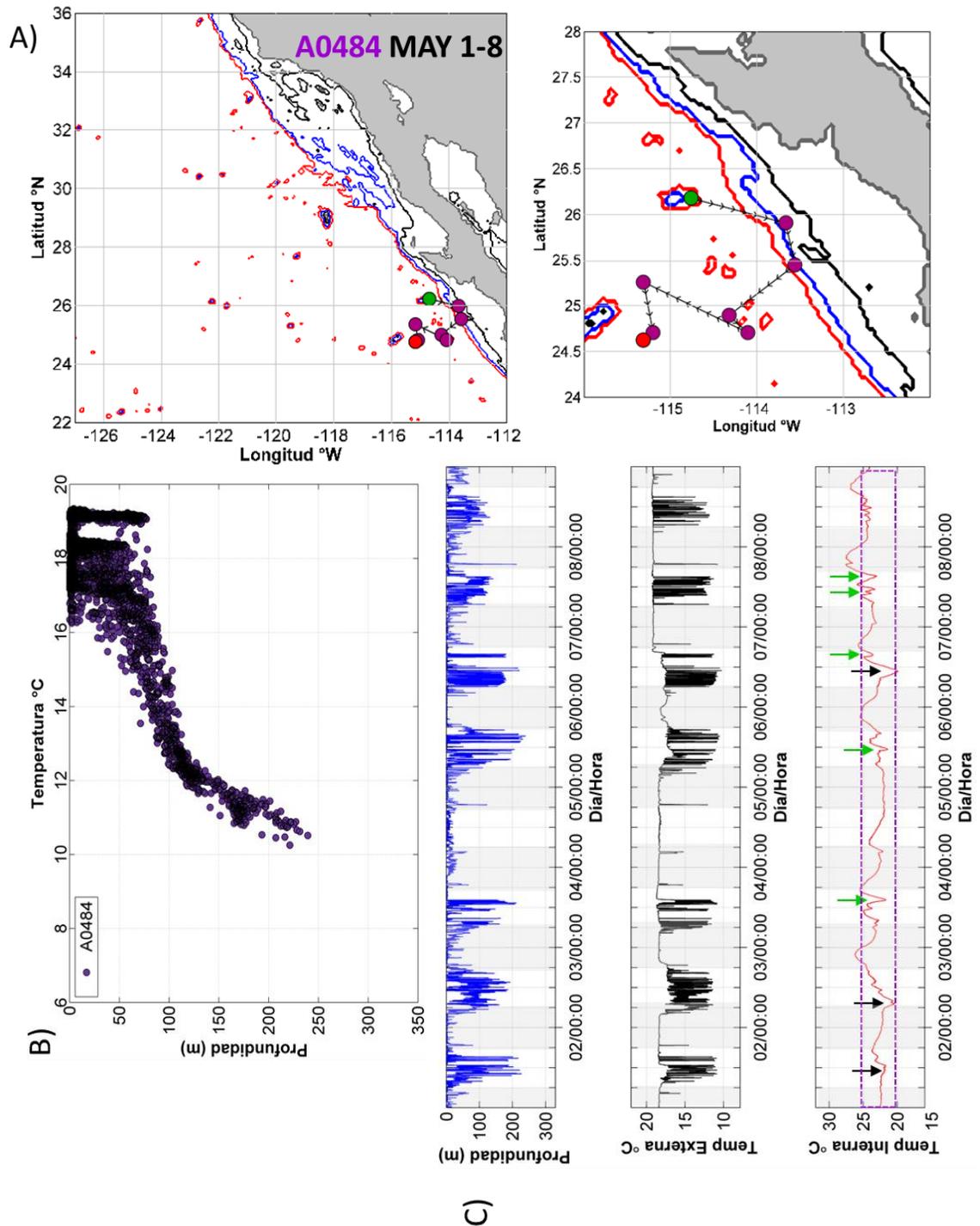


Figura 44. (484 1-8-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

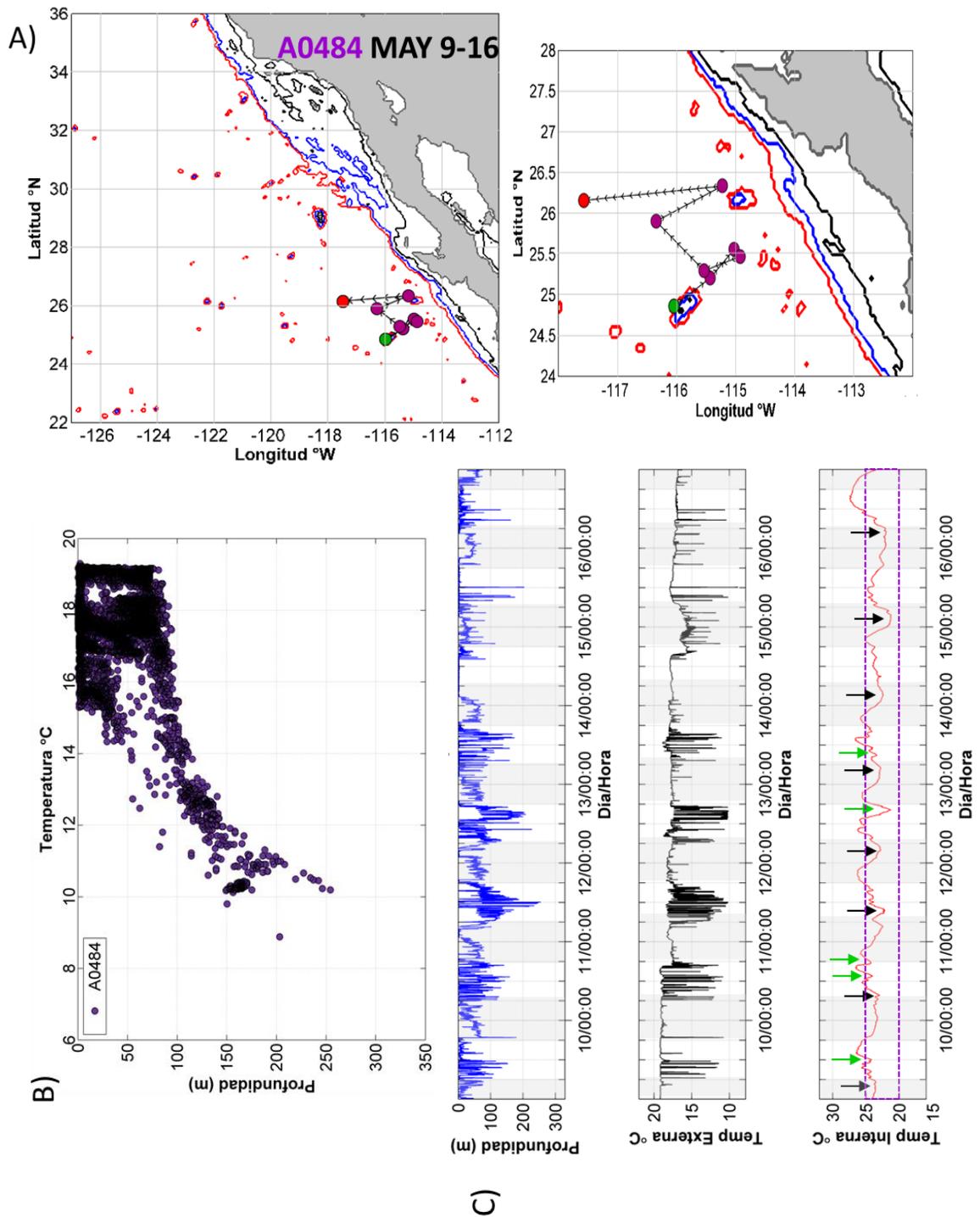


Figura 45. (484 9-16-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

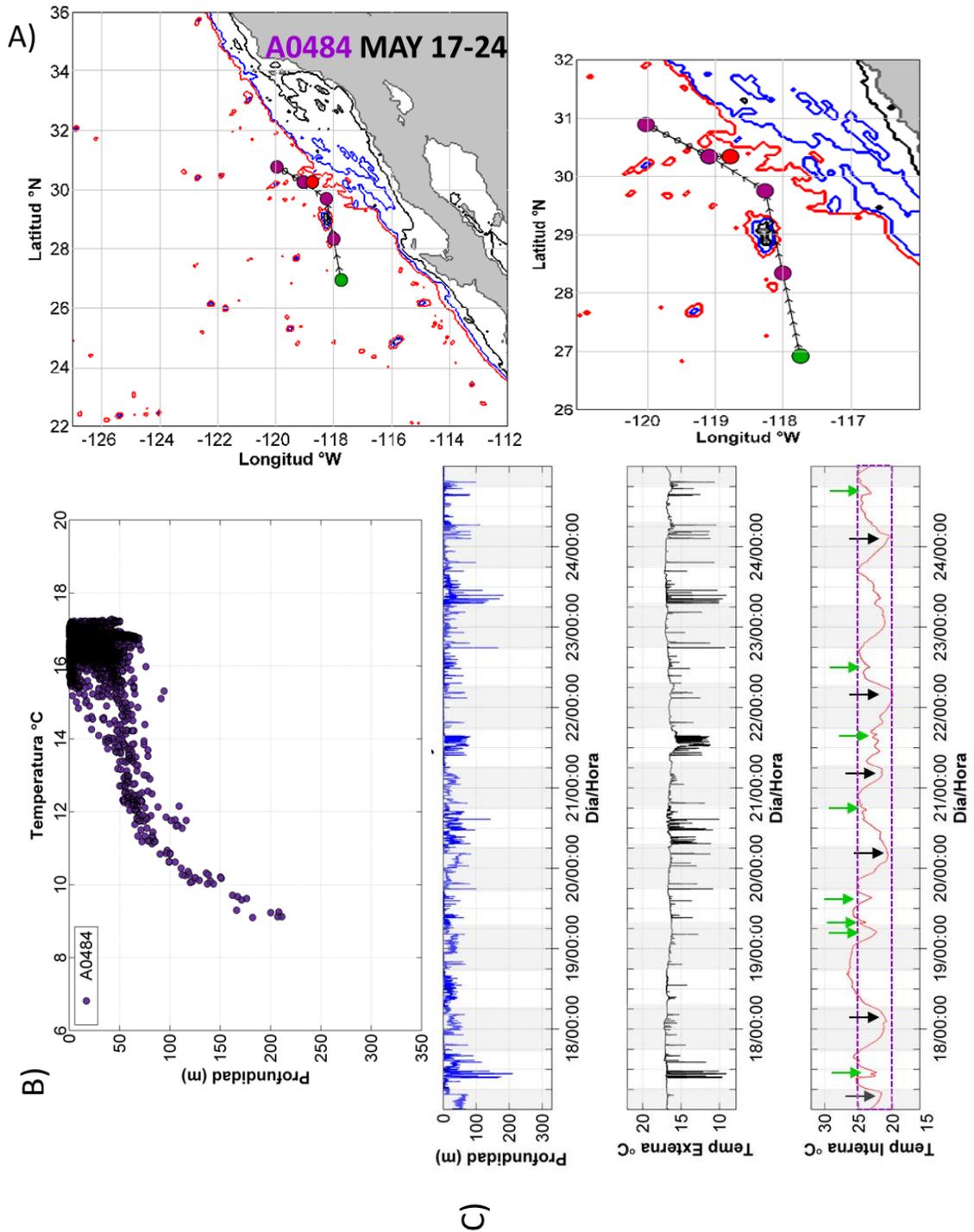


Figura 46. (484 17-24-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

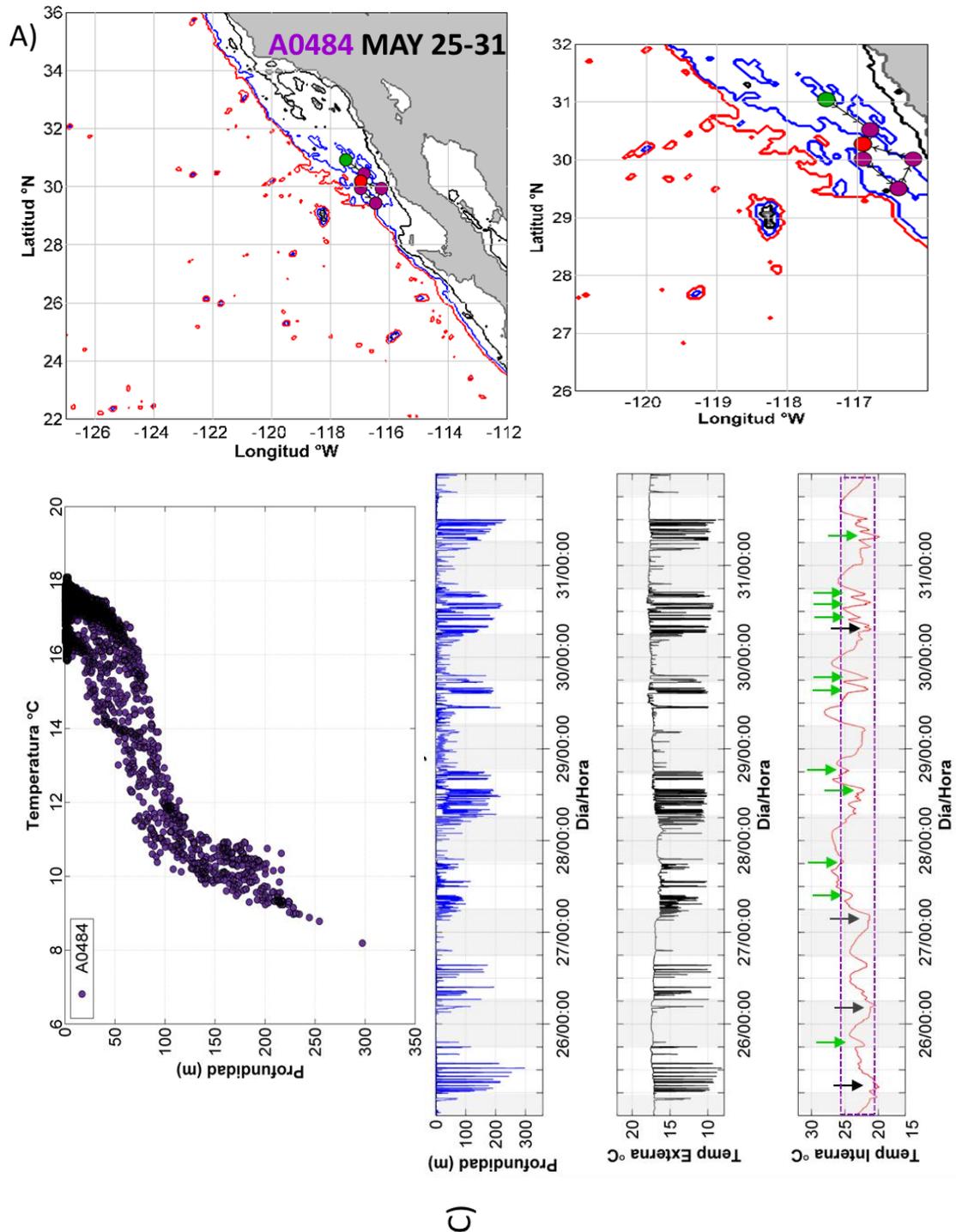


Figura 47. (484 25-31-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

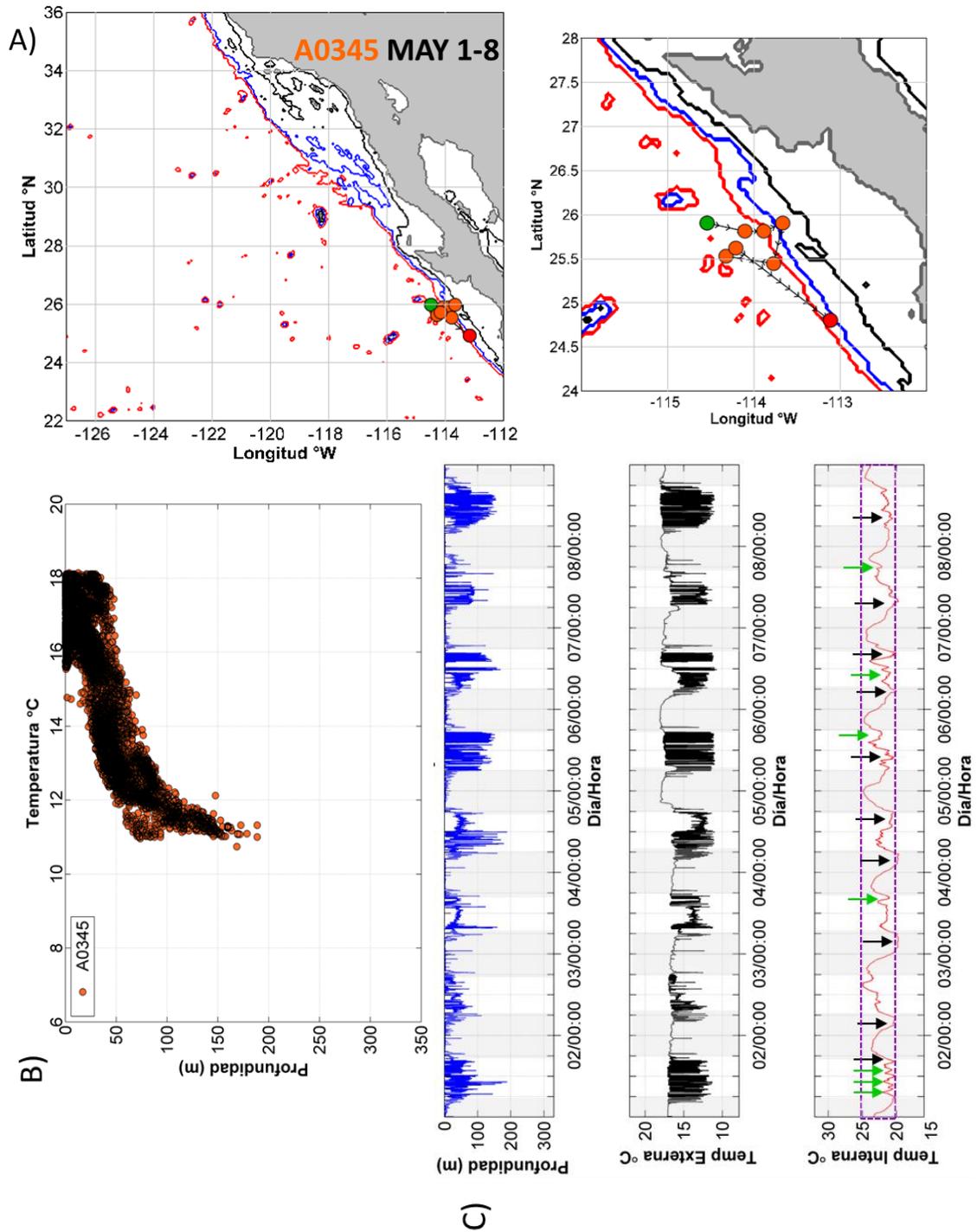


Figura 48. (345 1-8-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

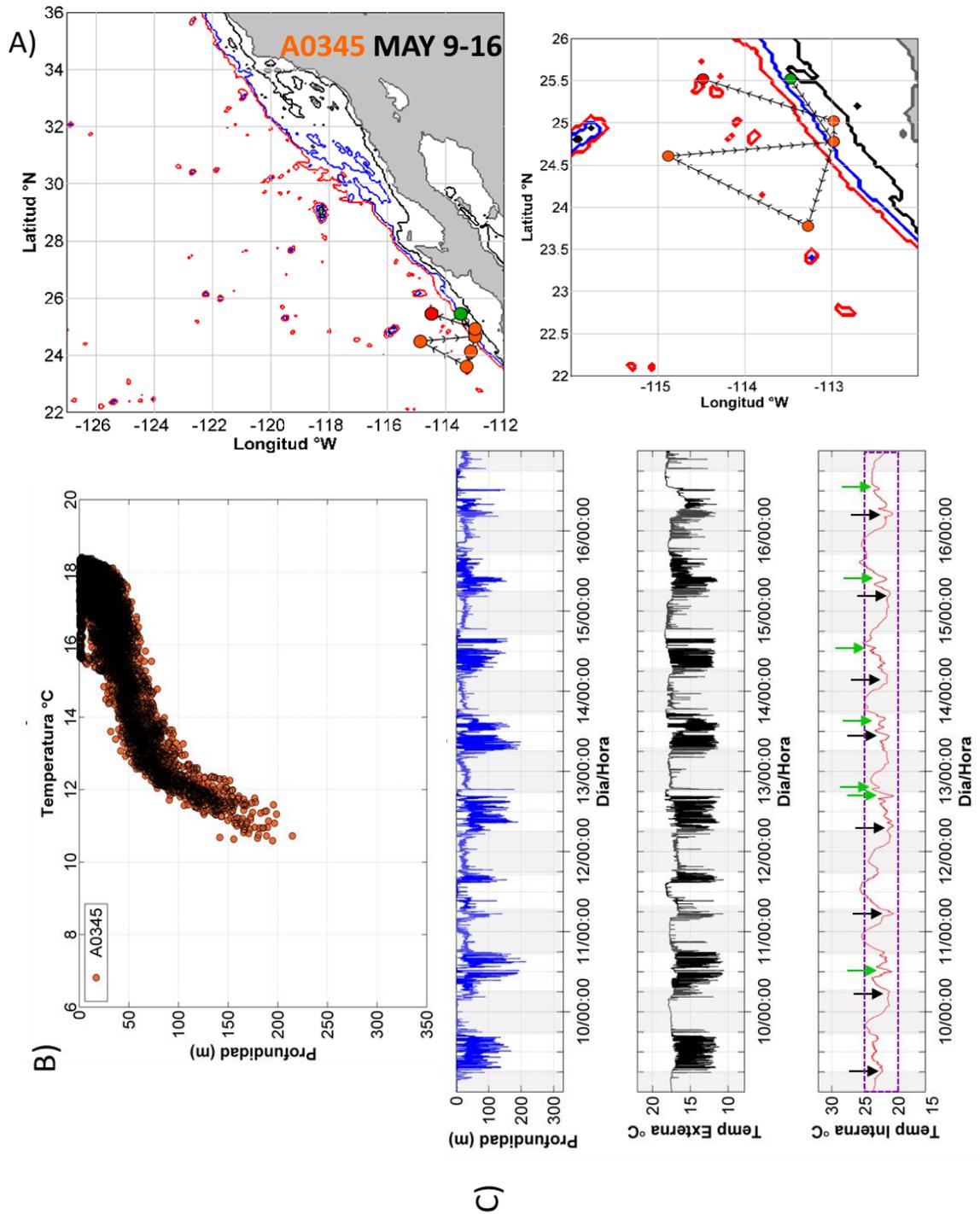


Figura 49. (345 9-16-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

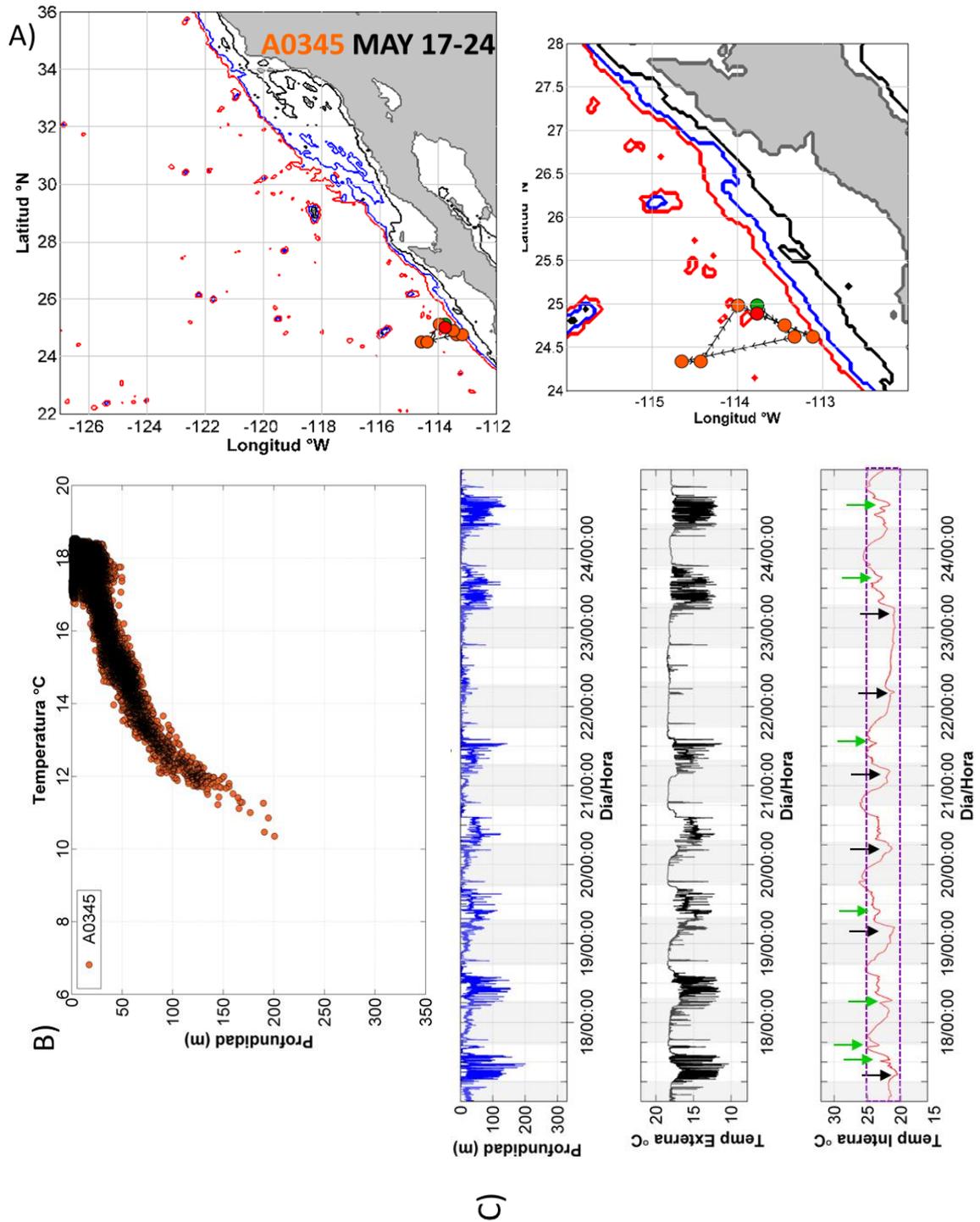


Figura 50. (345 17-24-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

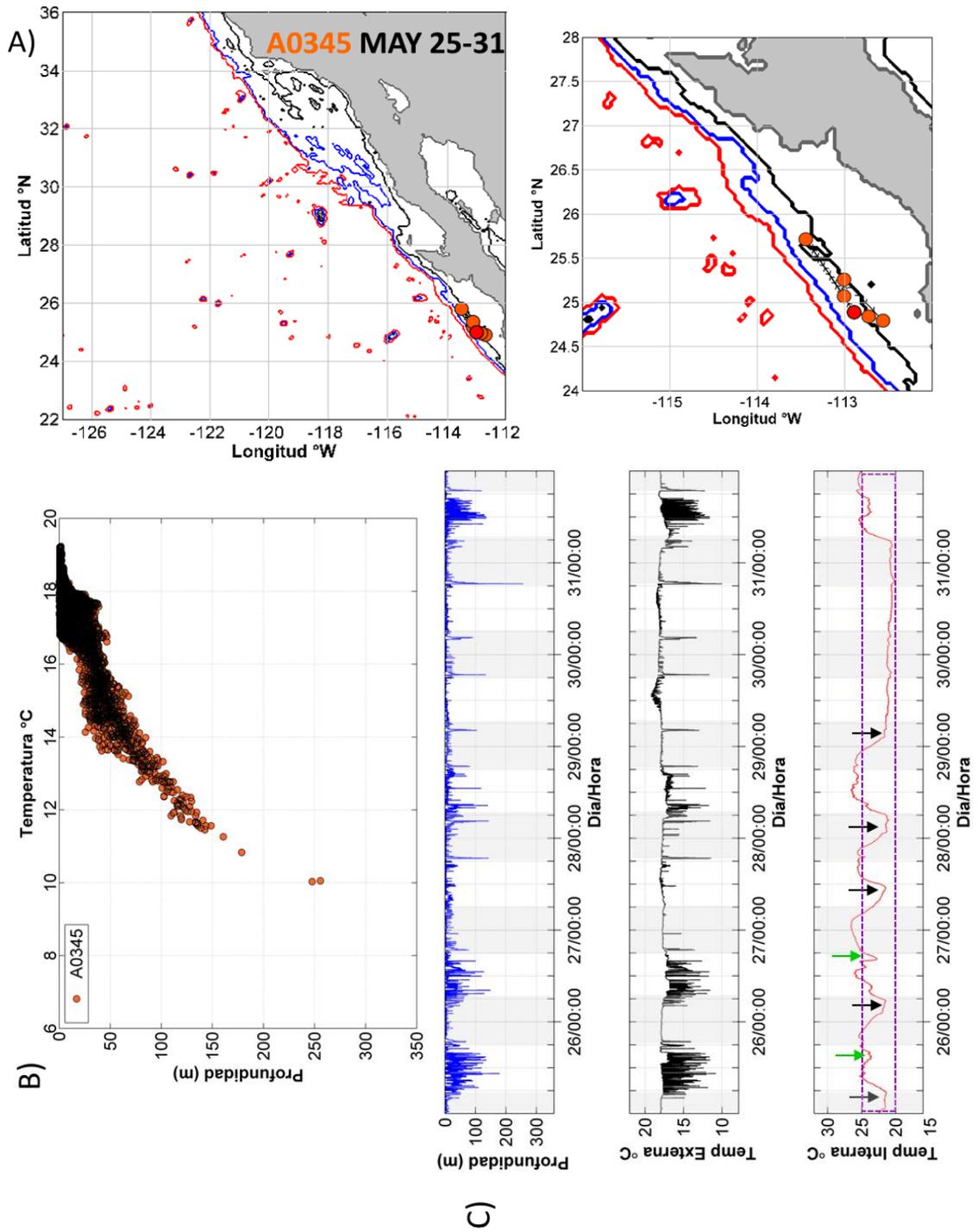


Figura 51. (345 25-31-05) Posiciones geográficas asociadas a los registros de la marca archivadora. Los círculos verde y rojo representan el inicio y el final de la trayectoria, respectivamente.

5.4.3 Identificación de los periodos de alimentación en la serie de temperatura interna. Distinción entre eventos específicos de alimentación y periodos de alimentación que inician y terminan en la temperatura base del metabolismo (cese de la actividad de forrajeo)

Basados en los modelos de consumo de calorías para atunes en cautiverio (Whitlock et al., 2013) se realizó un estudio preliminar sobre eventos de alimentación con la marca A0484. Los primeros 7 días de marzo este atún se encontraba realizando movimientos dentro de la zona intermedia (entre isla Guadalupe y Punta Baja) (Figura 28 (484 1-8-03 (A) y (C))). De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo del incremento de calor por alimentación en la figura 52, los primeros 7 días este organismo se encontraba forrajeando en peces pelágicos menores, y posiblemente en juveniles del calamar *D. gigas*. Respecto al forrajeo sobre pelágicos menores, se infiere que pudo haber encontrado individuos adultos de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) del stock “frío”, que extendieron su actividad de desove hasta esta zona. Dicha inferencia fue sustentada por los datos de la presencia de huevos de sardina durante abril de 2003 obtenidos por los cruceros realizados en los programas CalCOFI e IMECOCAL (Figura 80 Anexo). Se cree que este atún estuvo alimentándose de juveniles de *D. gigas* debido al incremento calórico calculado (1526 kcal), asociado con los buceos registrados hasta 300 m de profundidad (hábitat del calamar *D. gigas* durante el día; Gilly et al., 2006; Bazzino, et al., 2010; Zavala et al., 2010).

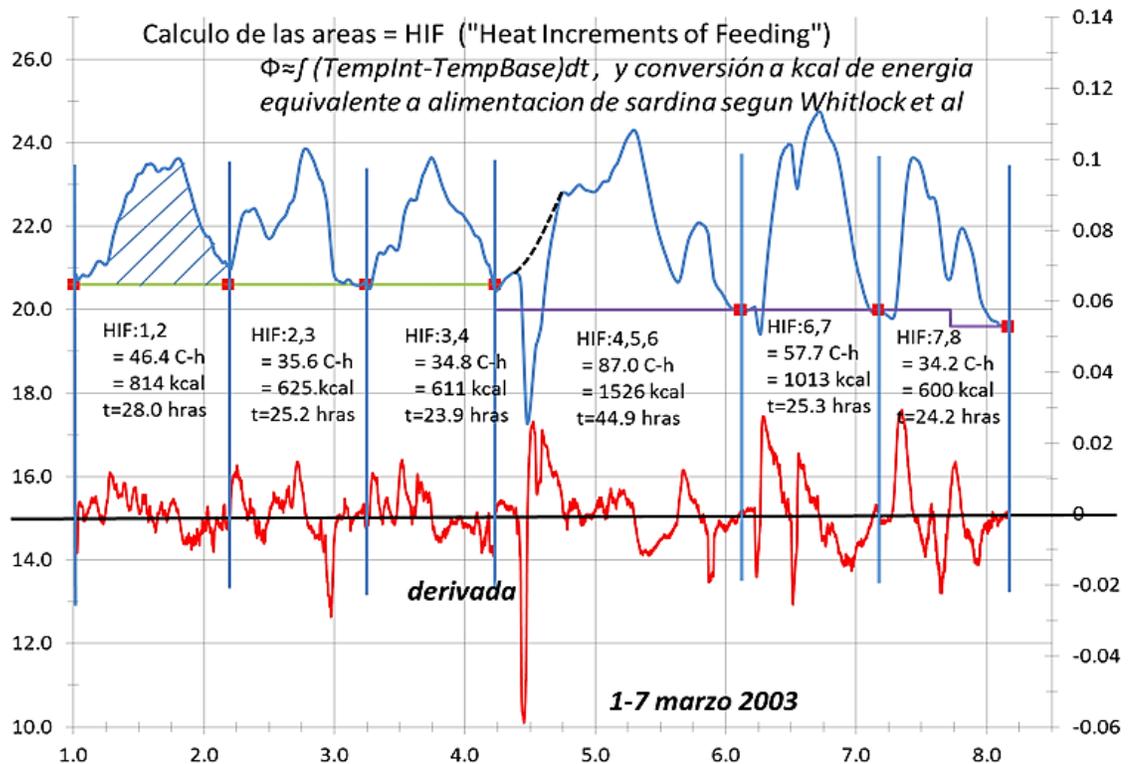


Figura 52. Cálculo de áreas de incremento de calor por alimentación, calculadas durante 1 al 7 de marzo de 2003 para la marca A0484.

Después del día 11 este organismo se desplazó hasta la zona norte, y de acuerdo con los datos de temperatura interna (Figura 29 (484 9-16-03 (A) y (C))), estuvo forrajeando en adultos de sardina. Esto se infirió por los registros de profundidad y resultados obtenidos de la presencia de huevos de sardina, ya que la mayor parte de la población de sardina adulta desovante del stock "frío", se concentró en la zona norte (Figura 56). El patrón de buceo después fue < 300 m, permaneciendo por periodos prolongados entre profundidades de 50 a 100 m.

Con base en el análisis preliminar de alimentación realizado para la marca A0484 durante los primeros 7 días de marzo, se realizó un análisis basado en los registros de temperatura interna de las marcas A0484 y A0345 durante primavera de 2003 para identificar e inferir los periodos de alimentación y tipo de presa asociada de acuerdo con las regiones en que se encontraban realizando sus actividades de forrajeo.

La duración y amplitud de los periodos de alimentación identificados en los registros de temperatura interna de las marcas analizadas se basan principalmente en referencia la base metabólica del organismo, cuando el organismo en cuestión se encuentra en una “fase de reposo”. Según Whitlock et al. (2013) la base metabólica, la amplitud y duración de los periodos de alimentación del AAP podrían variar en función de la temperatura externa, tipo de presa consumida y tamaño corporal.

De las figuras 28 a la 51, con un rectángulo de color morado de línea discontinua se delimitó un rango de 20 a 25° C para establecer la línea de base metabólica (20 °C) e identificar las variaciones en la temperatura interna. El inicio y el final de los periodos de alimentación fueron identificados con flechas negras, considerando el inicio del periodo de alimentación cuando la temperatura interna se incrementa, respecto a la línea de base metabólica, y su terminación con el decremento de los registros en la temperatura interna hasta alcanzar la temperatura de dicha base metabólica. Las flechas de color verde indican una disminución en la temperatura interna de los atunes debido a la entrada de agua fría en la cavidad peritoneal, de lo cual se infiere la ingestión de alimento; lo cual es denominado como evento de alimentación.

El aumento de la base metabólica se detectó en las series de tiempo por un aumento de la temperatura interna ($\geq 2^{\circ}\text{C}$) respecto a la temperatura mínima de la base metabólica (20 °C). Dicho aumento pudo ser causado por el efecto acumulado de la energía adquirida en anteriores periodos de alimentación aunada a la temperatura externa experimentada por los organismos durante sus actividades de forrajeo.

Durante la primera semana de marzo, mientras ambas marcas (A0484 y A0345) se encontraron dentro de la zona norte y zona central, la duración de los periodos de alimentación fueron ≤ 30 h y con incrementos en la temperatura interna ($\leq 5^{\circ}\text{C}$) respecto a la base metabólica de 20°C (Figuras 28 y 32 (484 y 345 1-8-03 (A) y (C))). Esto no se cumple para la marca A0345, ya que al llegar a la zona sur los incrementos

en la temperatura interna fueron $\leq 2^{\circ}\text{C}$. Por los patrones de buceo, los registros de temperatura interna y la posición geográfica de dichas marcas, se infirió que la mayor parte de su forrajeo fue realizado sobre peces pelágicos menores como sardina (*S. sagax*). Excepto para los datos observados para los días 7 y 8 de marzo de la marca A0345, de lo cual se infirió que su forrajeo fue realizado en zooplacton (posiblemente anfípodos o cangrejo rojo; *P. planipes*) (Figuras 28 y 32 (484 y 345 1-8-03 (A), (B) y (C))).

Para la segunda de semana de marzo la marca A0484 sostuvo su patrón de forrajeo por periodos ≤ 30 h, además de observarse un incremento en la base metabólica, posiblemente causado por un incremento en la temperatura externa. Por el patrón de buceo sostenido de dicha marca, ≤ 100 m de profundidad, se infiere que se encontraba forrajeando en presas como peces pelágicos menores (sardina (*S. sagax*)). Por los buceos realizados a una profundidad > 200 m, cabe la posibilidad de que este organismo buscaba presas como juveniles de calamar *D.gigas* (Figura 29 (484 9-16-03 (A), (B) y (C))). Un patrón similar a la segunda semana, tanto en la profundidad de buceos como en la duración de los periodos de alimentación, se observó durante la tercera semana de marzo para la marca A0484, excepto para la base metabólica que varió -1°C (respecto a la base metabólica de 20°C) a partir del día 20 hasta el 24 de marzo. Dicha variación en la base metabólica estuvo asociada con agua de 12 a 14°C y patrones de buceo ≤ 80 m (Figura 30 (484 17-24-03 (A), (B) y (C))). Por la evidencia obtenida durante esta semana, se infiere que el atún con la marca A0484 estuvo forrajeando en cardúmenes de sardina *S. sagax*.

La última semana de marzo, desde 27-29/06:00-00:00 h, se observó un periodo de alimentación con una duración ≤ 42 h. Dicho evento correspondió para la marca A0484. Durante este evento se observó un patrón de buceo realizado a una profundidad ≤ 70 m, lo cual indica, que estuvo forrajeando en adultos de sardina *S. sagax* del stock "frío" (Figura 31 (484 25-31-03 (A), (B) y (C))).

Por otra parte, el resto de marzo la marca A0345 permaneció en la zona sur (24 a 26 ° N), donde la duración de los periodos de alimentación fue ≤ 24 h. El patrón de buceo observado en la marca A0345 durante la estancia en la zona sur, fue >100 m, realizados con mayor frecuencia durante el día y observándose los buceos más profundos alrededor de las 12:00 h. El incremento en la base metabólica durante la tercera semana de marzo de la marca en cuestión, se asoció con un rango de temperatura externa de 16 a 18.5°C. Este incremento pudo ser causado por el patrón de buceo desplegado una semana antes, en donde realizó buceos con mayor frecuencia a profundidades ≥ 150 m (Figura 33 (345 9-16-03 (A), (B) y (C))).

Este tipo de patrón de buceos expuso al organismo en un rango de temperatura de 10 a 12°C, lo cual causó un incremento en su temperatura interna como parte de su mecanismo de termorregulación, mismo que acumuló como calor y mantuvo para la tercera semana (Figura 34 (345 17-24-03 (A), (B) y (C))). Para la cuarta semana se registró un buceo de 350 m el día 29/12:00 h. Dicho buceo coincidió con un decremento en la temperatura interna, lo cual indicó la ingesta de alimento (evento de alimentación). A partir del día 30/06:00 h, el patrón de profundidad de buceo fue ≤ 100 m, observándose buceos esporádicos hasta 150 m (Figura 35 (345 25-31-03 (A), (B) y (C))). Por el patrón en la profundidad de los buceos y la ubicación geográfica, se infiere que la marca A0345 estuvo realizando forrajeo en presas como juveniles de calamar *D. gigas*, cangrejo rojo *P. planipes* y algunas otras especies del zooplancton como anfípodos y mictófidios.

Para la primera semana de abril, la marca A0484 realizó su traslado desde la zona norte al límite superior de la zona sur (35 °N a 28 °N). Durante su traslado, dicha marca desplegó un patrón de buceo con profundidad ≤ 100 m. La duración en los periodos de alimentación fue ≤ 24 h. No se observó variación en la base metabólica. Por el patrón de buceo observado, se infiere que dicha marca estuvo forrajeando en cardúmenes de sardina adulta *S.sagax* que se encontraba desovando (Figura 36 (484 1-08-04 (A), (B) y (C))).

A partir de la segunda semana de abril y por el resto del mes la marca A0484 y A0345, respectivamente, permanecieron en un rango latitudinal de 24 a 26 °N (zona sur). La primera semana de abril se observó un evento de alimentación de 54 h, que inició desde 01/06:00 hasta el 03/12:00 h. Durante dicho evento, el patrón de buceo de dicha marca fue ≤ 100 m (Figura 40 (345 1-8-04 (A), (B) y (C))). Un esquema similar en la profundidad de los buceos de la primera semana de la marca A0345, fue observada durante la segunda semana para la marca A0484 (Figura 37 (484 9-16-04 (A), (B) y (C))). Durante la semana del 9-16 abril en la marca A0484 se incrementó la base metabólica a $\sim 4^{\circ}\text{C}$ respecto a la base metabólica de 20°C , la cual estuvo asociada a un rango de TSM de 16 a 19°C . El incremento en la base metabólica de esta marca pudo ser causado debido al patrón en la profundidad de buceos (≤ 230 m) desplegados desde el día 11/06:00 h, que incrementó la temperatura interna debido al efecto de termorregulación (Figura 37 (484 9-16-04 (C))). El resto del mes, dicha marca mantuvo la línea de su base metabólica $\leq 2^{\circ}\text{C}$ (Figuras 38 y 39 (484 17-30-04 (A), (B) y (C))).

A partir de la segunda semana de abril, los registros en la base metabólica, los incrementos de la temperatura interna y los patrones en la profundidad de buceo de la marca A0345 fueron congruentes respecto a semanas anteriores; ya que la base metabólica no presentó variaciones como las registradas por la marca A0484, los incrementos de la temperatura interna estuvieron en un rango $\leq 5^{\circ}\text{C}$ y la profundidad de los buceos más frecuentes se realizó en un rango de 150 a 250 m (Figuras 41-43 (345 9-30-04 (A), (B) y (C))).

Los incrementos en la temperatura interna durante el mes de abril para ambas marcas pudo haber estado influenciado, en mayor grado, por la frecuencia de buceos profundos >150 m, y en menor grado por la ingestión de alimento. Comparado con los registros de marzo de la marca A0484, cuando los buceos profundos fueron menos frecuentes, al igual que la ingesta de alimento, se observaron incrementos en la temperatura interna con una duración ≤ 30 h.

Durante mayo la marca A0345 permaneció en un intervalo latitudinal similar al de abril (24 a 26 °N ; zona sur) (Figuras 48-51 (345 1-31-05 (A), (B) y (C))). En las primeras tres semana de dicho mes, los patrones en la duración de los periodos de alimentación, la base metabólica y los patrones en la profundidades de buceo fueron similares al de abril. Excepto para la última semana, cuando se registró un periodo de “escasez” de alimento con una duración de 54 h desde 29/03:00 hasta el 31/06:00 h. Previo a este periodo, se registraron periodos de alimentación exitosos \leq 24 h (Figura 51 (345 25-31-05 (C))).

Hasta la segunda semana de mayo, la marca A0484 mantuvo un patrón similar de buceos, periodos de alimentación y rango latitudinal, similar al de abril (Figuras 44 y 45 (484 1-16-05 (A), (B) y (C))). Para la tercera semana, dicha marca inició su traslado desde la zona sur hacia la zona norte (27 a 31 °C). Durante este periodo el patrón en la profundidad de los buceos fue \leq 100 m. La base metabólica permaneció a 20°C. Se observaron dos periodos de alimentación de larga duración; el primero \leq 54 h, desde 18/03:00h hasta el día 20/03:00 h; y el segundo \leq 48 h, desde 22/05:00 hasta 24/03:00h. Por los patrones de profundidad en el buceo, dicho organismo estuvo forrajeando de peces pelágicos menores como sardina *S. sagax*.

En la última semana de mayo la marca A0484 se encontró en un rango latitudinal de 29 a 31°C. Para esta semana se registró el periodo de alimentación de mayor duración (\leq 72 h) de toda la serie de tiempo de primavera de 2003, iniciando desde el día 27/05:00 h hasta el día 30/06:00 h. Dicho evento fue favorecido por el patrón de profundidad en los buceos así como la ubicación geográfica, por lo cual se infiere que estuvo forrajeando en presas diversas, como pelágicos menores (anchoveta, sardina, “charrito”), y sobre juveniles de calamar, *D. gigas*, *L. opalescens*. El buceo más profundo (300 m) durante mayo fue ejecutado por esta marca el día 25/12:00 h.

Capítulo 6. Discusión

6.1 Movimientos generales de las 7 marcas seleccionadas en tres diferentes escalas espacio-temporales (mega-escala, macro-escala y mega-escala) y zonas de agregación en marcas (A0368, A0484 y A0481)

La descripción de la distribución geográfica y los patrones de movimientos latitudinales del AAAP en la región de la CC, hace referencia sobre los dominios en que esta especie realiza sus movimientos y las principales zonas de agregación. La causa por el cual el AAAP efectúa un patrón de movimientos latitudinales cíclicos observados durante agosto 2002 a agosto 2004 (Figuras 10 y 11), y la recurrencia hacia las mismas zonas de agregación a lo largo del año, todavía no quedan claras. Sin embargo, Kitagawa et al. (2007a) mencionan que la recurrencia a las diferentes zonas de agregación frecuentadas por el AAAP, pueden ser motivadas por la abundancia estacional de presas favorecida por condiciones oceanográficas propicias (incremento en la biomasa de zooplancton asociadas con el incremento de la productividad primaria) (Wingfield et al., 2011), y que los movimientos latitudinales de norte a sur son causados por el decremento de la productividad primaria y la reducción en la abundancia de sardinas. Por las evidencias obtenidas de este estudio se sabe que los movimientos latitudinales del AAAP son originados por los cambios de temperatura en el hábitat de la CC y a los cambios en la clorofila, lo cual es congruente con los resultados obtenidos por Kitagawa et al. (2007a) y Boustany et al. (2010).

De las 7 marcas seleccionadas se observa una conducta gregaria marcada, aunque con ciertas excepciones para algunos atunes (A0481, A0484 y A0448) (Figura 10). Los peces que tuvieron un comportamiento diferente al comportamiento promedio, pueden ser peces cuya capacidad fisiológica les permite realizar movimientos exploratorios. Debido a esto, cabe la posibilidad que en los cardúmenes del AAAP exista una conformación jerárquica, donde los peces más aptos sean agentes exploratorios que

tienen la consigna de buscar regiones con disponibilidad de alimento y guiar a otros peces (peces juveniles) a dichas regiones por las zonas de menor resistencia hidrogáfica, como en el caso de los desplazamientos realizados por la marca A0368 y A0484 de norte a sur por el núcleo de la CC. Por ejemplo, se especula que los desplazamientos realizados entre las principales áreas de agregación por las marcas A0484 y A0481 fueron realizados con motivos exploratorios, para luego comunicar sobre el estatus de la condición biológica de dichas zonas a otros peces. Los peces portadores de dichas marcas cuya masa final fue superior a las masas de las otras marcas seleccionadas (Figura 9), podrían poseer características fisiológicas superiores a los otros peces del cardumen, permitiéndoles realizar este tipo de desplazamientos. Las distribuciones geográficas y zonas de agregación observadas en este estudio fueron congruentes con trabajos realizados por Domeier et al. (2005), Kitagawa et al. (2007a) y Boustany et al. (2010). Los motivos principales de este tipo de desplazamientos y los mecanismos de comunicación entre peces no han sido totalmente aclarados.

6.2 Movimientos a meso-escala con relación a la TSM, CHL, BAT y oxígeno disuelto.

La mayoría de los desplazamientos realizados por las marcas seleccionadas para el análisis fueron ejecutados en un BAT > 3000 m de profundidad. Los desplazamientos efectuados hacia el borde de la plataforma continental (movimientos cercanos a la costa), asociados con profundidades de 500 m, estuvieron relacionados con incrementos en la CHL. Los mayores valores de CHL fueron registrados en el Golfo de Ulloa para abril y mayo, cuando los atunes se encontraban agregados en la zona sur e iniciaban sus desplazamientos hacia la zona intermedia, respectivamente (Figuras 5.10 (26(F-H); 27(J-L))). Los desplazamientos realizados hacia la costa, cerca del borde de la plataforma continental donde se registraron incrementos en CHL, podrían asociarse con el forrajeo de cardúmenes de sardina (Bakun, 2001).

El cambio en las condiciones oceanográficas estacionales en la CC (Bograd et al., 2000; Checkley y Barth, 2009), es un factor que podría ocasionar el desplazamiento del AAAP hacia la región sur de la CC durante la primavera (Kitagawa et al., 2007a), debido a que las características oceanográficas de dicha zona, favorecen el incremento de la productividad primaria y por consecuencia la abundancia de alimento (Wingfield et al., 2011).

De acuerdo con las observaciones de los movimientos del AAAP sobre regiones con incrementos de CHL (Figuras 25(B-D); 26(F-H); 27(J-L)), estos organismos permanecen al margen de los frentes oceánicos, definidos como áreas de elevada producción primaria. Estos frentes se asocian con concentraciones elevadas de zooplancton y presencia de peces pelágicos como el AAAP (Bakun y Parrish, 1980; Fiedler y Bernard, 1987; Olson et al., 1994). Estas áreas representan hábitats enriquecidos que contribuyen con la productividad regional y la ecología trófica (Landry et al., 2012).

Los datos de oxígeno disuelto correspondieron específicamente para el día 23 de abril y para una zona en que la mayoría de las marcas seleccionadas se encontraban agregadas. Estos datos fueron recopilados con la finalidad de relacionar la profundidad máxima de buceo del AAAP (Figura 54) con los datos mínimos de oxígeno disuelto (Figura 53). Las profundidades máximas de buceo por el AAAP durante el día mencionado fueron < 300 m, donde se registró una concentración de O₂ de 0.44 ± 0.02 mL L⁻¹. Aunque este tipo de evidencia es insuficiente para elaborar una evaluación congruente, estos datos pueden dar una pauta para explorar y relacionar esta información en zonas de mayor residencia del AAAP (zona sur). La mayoría de las zonas mínimas de oxígeno (ZMO), presentan un perfil similar en la columna de agua, pero los niveles de oxígeno, el grosor y la profundidad de las capas mínimas de oxígeno varía regional y estacionalmente. A lo largo de los bordes continentales, las concentraciones mínimas de oxígeno están entre los 200-700m de profundidad (Levin, 2003). En el Pacífico oriental tropical, la capa mínima de oxígeno se encuentra por

debajo de los 200 m de profundidad, donde la concentración de oxígeno disuelto es $<0.5 \text{ mL L}^{-1}$ ($<22 \mu\text{mol kg}^{-1}$; Levin, 2003) (Bazzino et al., 2010).

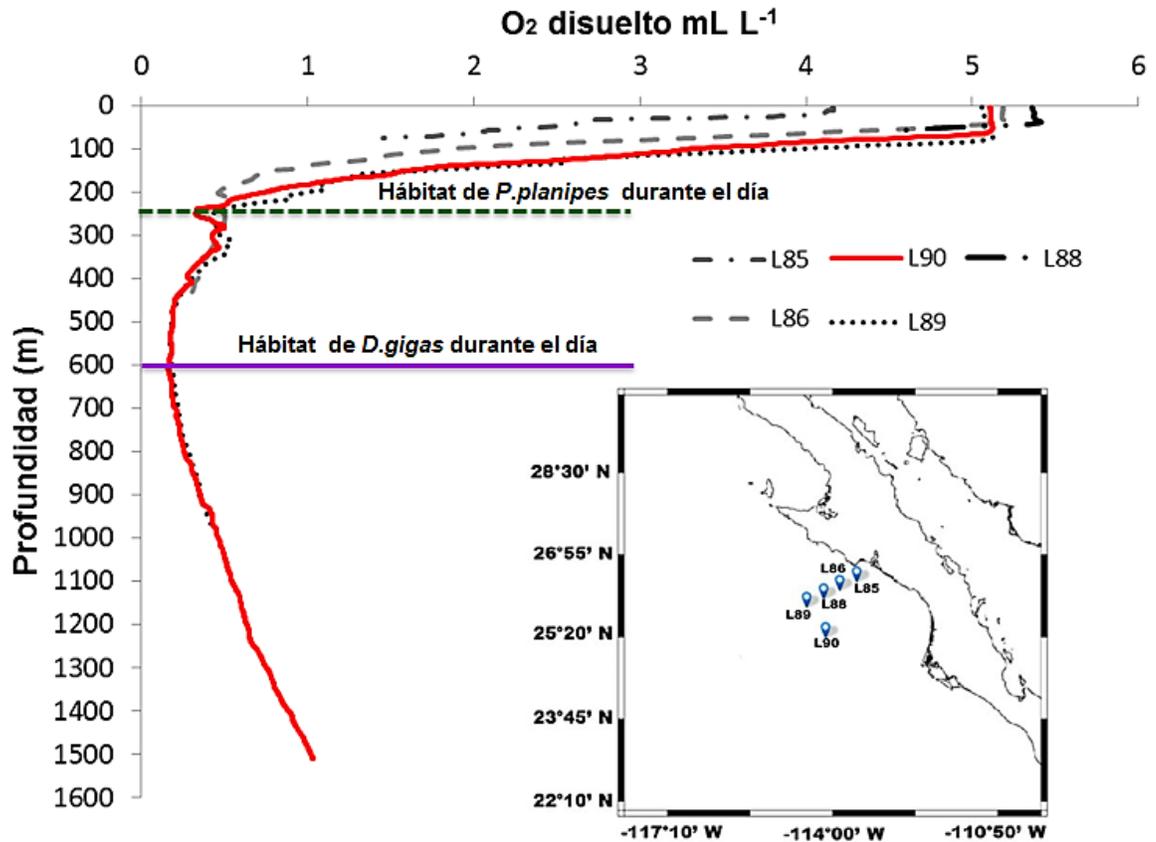


Figura 53. Oxígeno disuelto (mL L^{-1}) vs profundidad (m) tomados de lances de CTD del programa de IMECOCAL 0403. La línea discontinua de color verde, señala el límite inferior del hábitat de *Pleuroncodes planipes*; mientras que la línea continua de color morado señala el límite inferior del hábitat de *Dosidicus gigas* durante el día. Se incluye el mapa con los puntos donde se realizaron los lances de CTD durante abril 23 de 2003.

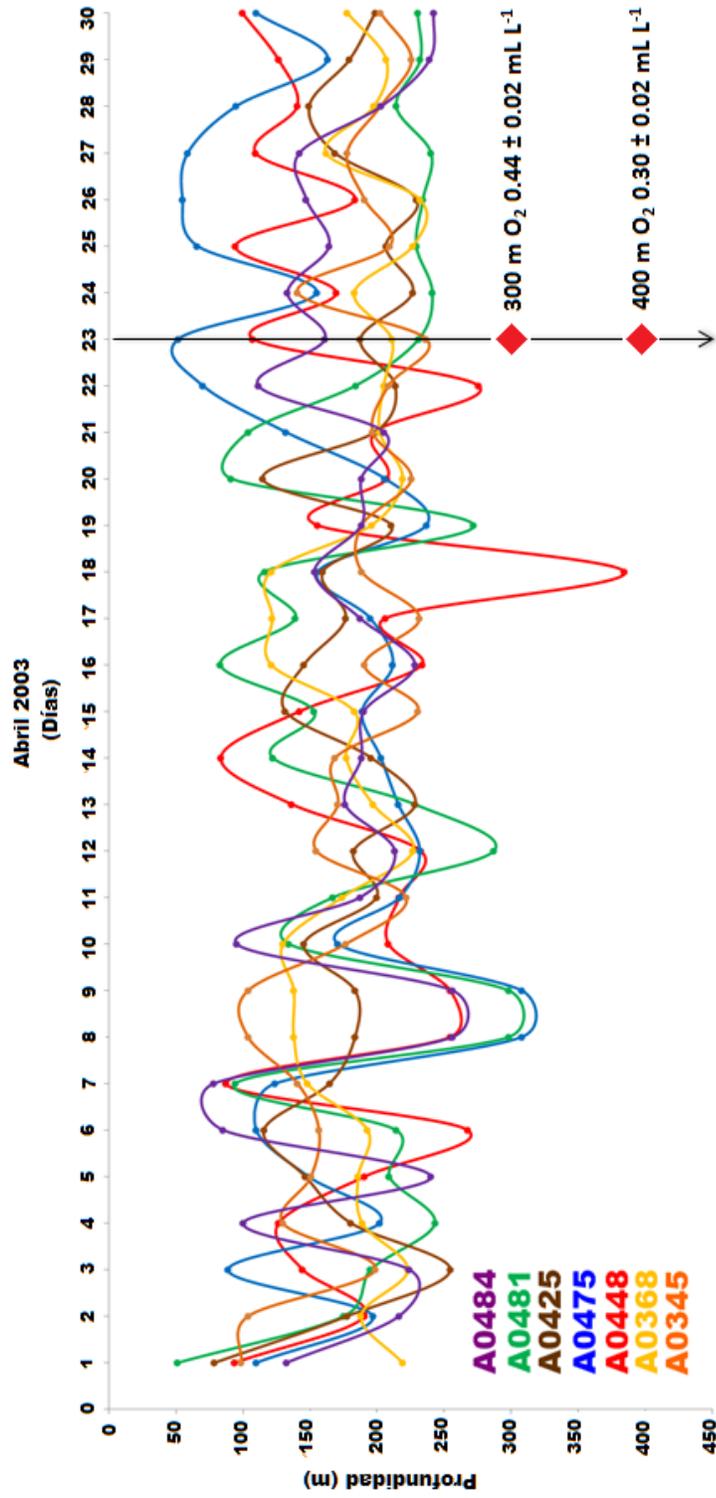


Figura 54. Serie de tiempo de profundidades máximas diarias (m) para el mes de abril de 2003, registradas por las 7 marcas del AAAP. Los rombos rojos ubicados corresponden con el día en que se realizó el lance de CTD para la medición de oxígeno disuelto y los valores de oxígeno disuelto.

6.3 Comparación a meso-escala durante primavera 2003 (zona sur) entre marcas A0484 y A0345: movimientos y comportamiento asociados con el medio ambiente y búsqueda de alimento.

Se observó como un patrón recurrente del AAAP el permanecer entre latitudes de 22-30 °N durante la primavera (2003-2004) (Figuras 11 y 12). Kitagawa et al. (2007a) hipotetizaron que los movimientos latitudinales recurrentes, específicamente a latitudes entre 25-30°N, están relacionados potencialmente con la abundancia de especies locales como la langostilla (*P.planes*) y el calamar (*D.gigas*) de las cuales los atunes se alimentan. La presencia de estas especies fueron registradas en el área de IMECOCAL (31-24°N) durante 2004-2007 (Zavala et al., 2010). Zavala et al. (2010) encontraron que en el mes de julio el 62% del contenido estomacal de *D.gigas* estaba compuesto por la langostilla *P.planipes* y en enero-febrero un 83% de su contenido estomacal compuesto por mictófidós como *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus*, *Mictophum nitidulum* y *Notoscopelus lendosus*. De acuerdo con estos datos y las posiciones promedio del AAAP desde enero-agosto, los atunes se encontraron en un intervalo latitudinal de 26-30°N (Figura 12), lo cual permite inferir que las presas de las cuales el calamar *D.gigas* dispone, son accesibles también para el AAAP, incluyendo a juveniles de calamar. Por la evidencia obtenida en este estudio, se conoce que la presencia de la langostilla *P. planipes* coincidió con la presencia de AAAP (Figura 55). Otras especies como doliolidos, heterópodos, salpas, etc., pueden ser abundantes entre 25-30°N (Lavaniegos, 2014).

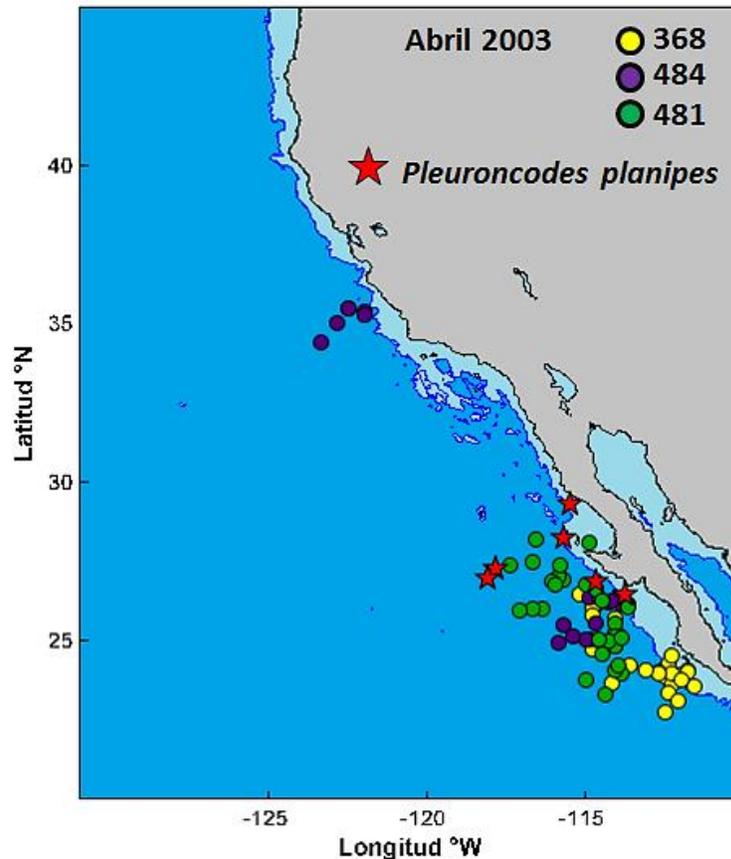


Figura 55. Presencia de *Pleuroncodes planipes* y marcas A0368, A0484 y A0481 durante abril 2003.

Las temperaturas (14-20 °C) a las que el AAAP realizó sus desplazamientos horizontales observados durante la primavera de 2003, en un rango de 25-30° N, son congruentes con los resultados observados de otros estudios realizados para identificar las preferencias térmicas del AAAP (14-20 °C) (Kitagawa et al., 2001; Itoh et al., 2003a; Blank et al., 2007b). El sur de la CC (24-31°N) es considerado como una región de transición, donde agua fría y de relativa baja salinidad con flujo hacia el ecuador se encuentra con aguas subtropicales y tropicales cálidas y saladas (Durazo y Baumgartner, 2002). En la escala temporal las aguas sub-árticas (3.0-15.0°C – 32.6-33.6; Emery, 2001) predominan en temporadas de primavera-verano, mientras que la influencia de agua sub-tropical-tropical (11.0-20 °C – 33.8-34.3; Emery, 2001) durante verano-otoño (Durazo, 2009).

De todos los registros de las marcas seleccionadas en este estudio se observó que el 80% del AAAP permanece sobre profundidades de 0-50 m, realizando inmersiones

esporádicas a niveles >100 m (debajo de la termoclina) en función a los gradientes de temperatura de la columna de agua (Lawson et al., 2010). Kitagawa et al. (2001; 2007a) proponen que el AAAP permanece la mayor parte del tiempo al borde de la termoclina ya que esta actúa como una barrera física que retiene a sus presas (Kitagawa et al., 2007a) y que es donde la SP realiza sus desoves (0-49 m profundidad) (NOAA, 2011). Se cree que los buceos repetitivos por debajo de la termoclina se deben a que el AAAP no encuentra una biomasa adecuada de alimento en la superficie (Kitagawa et al., 2007b) y según Blank et al. (2007a; 2007b) las inmersiones realizadas por debajo de la termoclina, son frecuentemente asociadas con la actividad de forrajeo y “sprints” de nado que contribuyen con el incremento de calor metabólico, que permite acelerar la digestión de sus presas para una obtención rápida de energía.

Aunque algunos investigadores proponen que estas inmersiones son realizadas para buscar alimento y como forma de mantener su calor interno debido a los cambios en la estructura térmica de la columna de agua (Kitagawa et al., 2007a; 2007b), para este estudio se plantea que este tipo de inmersiones son realizados como parte del aprendizaje (por parte de organismos juveniles) en la búsqueda de alimento, como estrategia de escape ante la presencia de depredadores y como una forma de fortalecer la estructura muscular que ayuda a incrementar la habilidad de nado o simplemente, como lo menciona Kitagawa et al. (2007b), *“prefieren alimentarse en agua fría por debajo de la termoclina para mantener la temperatura corporal elevada e inducir más rápido el crecimiento”*.

Los estudios fisiológicos realizados por Blank et al. (2007a; 2007b) examinan las variaciones en la tasa metabólica de acuerdo con los efectos de la temperatura ambiente y la velocidad de nado. Aunque estos experimentos han sido realizados en condiciones de laboratorio, pueden ser punto de partida para empezar a indagar porque el AAAP realiza este tipo de inmersiones.

Los eventos de alimentación del atún no son exclusivos a primeras horas del día. En general, el AAAP inicia los buceos al amanecer, se incrementan al medio día y

disminuyen al atardecer. Se podría suponer que durante la noche el AAAP no realiza ningún tipo de actividad. Sin embargo, en los datos de las series de tiempo obtenidas para estas marcas y durante los días analizados se observaron buceos nocturnos. La actividad nocturna del AAAP está relacionada con las diferentes fases lunares, ya que en fases lunares crecientes, cuando la luz que la luna refleja del sol es mayor, se registra mayor actividad de inmersiones nocturnas. Un caso contrario ocurre en fases lunares menguantes, cuando los buceos nocturnos (0 a 70m de profundidad), son poco frecuentes. Estas observaciones son congruentes con los resultados expuestos por Kitagawa et al. (2007a), en los que se menciona que tanto la frecuencia de actividades de buceo nocturno del AAAP como el intervalo de profundidad incrementan con fases lunares crecientes y disminuyen con las fases lunares menguantes. Al respecto, existen eventos de fases lunares crecientes, pero pueden ser días en que las marcas no registren niveles de luz correspondientes a dichos eventos, debido a que podría encontrarse en zonas donde el nivel de cobertura de las nubes atenúe la luminosidad lunar que llega a la superficie del océano.

La actividad nocturna del AAAP en fases lunares crecientes, podrían estar relacionadas la persecución de presas como juveniles de calamar *D.gigas*, mientras que en fases lunares menguantes, dedicados al forrajeo de diversas especies de zooplancton que se encuentran disponibles en la superficie entre ellas la langostilla *Pleuroncodes planipes*; mictófidios, calamares juveniles *Dosidicus gigas*; anfípodos (Boyd, 1967; Auriol-Gamboa, 1992; Zavala et al. 2010; Lavaniegos, 2014) de los cuales el AAAP también dispone como alimento (Pinkas et al., 1971; Madigan et al., 2012).

Con base en los datos obtenidos de las marcas archivadoras satelitales publicadas por Gilly et al. (2006) y Bazzino et al. (2010) en el Golfo de California y al sur de la CC (Bahía Magdalena), respectivamente, se observó una relación inversa en la distribución vertical de *D.gigas* y el AAAP. Por ejemplo, cuando el calamar *D.gigas* se encuentra a profundidades ≤ 400 m (periodos diurnos), el AAAP realiza buceos cercanos a los 400 m de profundidad, mientras que en periodos nocturnos el calamar se encuentra a

profundidades ≤ 150 m, cuando el AAAP permanece en un rango de ≤ 30 m (en fases lunares menguantes) y ≤ 70 m (en fases lunares crecientes). Posiblemente sucede que durante fases lunares crecientes el AAAP prefiera la alimentación de juveniles de calamar. Aunque en este estudio y el estudio de Bazzino et al. (2010) se realizaron en diferentes temporadas y años (primavera de 2003 y junio del 2005, respectivamente) pero coincidentes en región (25° a 28° N), la relación entre los patrones de buceo y la distribución vertical del AAAP y de *D. gigas* proporcionan una idea sobre la forma en que estas dos especies interactúan.

6.4 Inferencia sobre la interacción atún-sardina y otras posibles presas

Los datos de los desembarques comerciales de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) y su presencia de huevos, y los desembarques comerciales del calamar (*Loligo opalescens*) fueron útiles como referencia para inferir sobre la posible interacción entre la sardina-atún y otras posibles presas.

Aunque exista abundancia de sardinas adultas en la región de CalCOFI, inferida a partir de la presencia de huevos, durante primavera el AAAP prefiere la región sur de la CC (Figura 56). Kitagawa et al. (2007a) sugieren que el AAAP se localiza en estas regiones porque es donde encuentran alimento abundante que favorece la ganancia de energía y temperaturas ($14-20^\circ\text{C}$) que optimizan su rendimiento físico y metabólico (Itoh et al., 2003a; Kitagawa et al., 2007a; Blank et al., 2007a, 2007b; Boustany et al., 2010). Dentro del intervalo de temperaturas preferentes para el AAAP (14 a 20°C) (Kitagawa et al., 2007a; Boustany et al., 2010) se definen tres de los hábitats potenciales de sardinas: hábitat sub-ártico (11 a 14°C); hábitat sub-ártico/sub-tropical transicional (14 a 17°C); y hábitat sub-tropical (18 a 22°C) (Baumgartner et al., en prep.) (Figura 57).

Las asociaciones entre los incrementos en los desembarques de la sardina del Pacífico en el norte de California durante octubre de 2002 (norte de California) y enero de 2003 (norte y sur de California) (Figura 58), con la presencia de AAAP en zona norte (Figura

16), permite inferir sobre una posible actividad de forrajeo en adultos de sardina por parte del AAAP. El decremento en los desembarques comerciales de sardina en el norte de California, desde febrero 2003 hasta julio 2004, pudo ser causado por el desplazamiento de las poblaciones de sardina hacia la región sur de California o bien por un alejamiento de la costa. La primera causa podría explicar la consistencia de las capturas de sardina en la zona sur de California, lo cual se refleja en mayores desembarques respecto al norte, mientras que un alejamiento de las poblaciones de sardina de la costa, les permite quedar fuera del rango de captura de las flotas pesqueras. Cualquiera de los motivos que expliquen los incrementos o decrementos en los desembarques de sardina en estas regiones, el AAAP sólo frecuenta la zona norte durante los meses de septiembre y octubre, que es cuando cabe la posibilidad que se alimente de las poblaciones de sardina del hábitat sub-ártico ("*stock frío*") y el hábitat sub-ártico/sub-tropical transicional ("*stock templado*") de sardina (Figura 57).

Dentro del intervalo de meses en que se registraron desembarques de sardina < 2000 ton Métricas (febrero a diciembre 2003) en la región norte de California, se observó un incremento en los desembarques del calamar (*Loligo opalescens*) durante marzo a diciembre de 2003 en la misma región (Figura 59) y desde septiembre 2003, con desembarque de 10,000 ton. Métricas en noviembre de 2003, a mayo de 2004 en el sur de California. De las comparaciones entre los aumentos en los desembarques de sardina y calamar, se puede inferir que en los meses en que las poblaciones de sardina de encuentran fuera del alcance de las flotas pesqueras, posiblemente reflejadas en la disminución de sus desembarques, la captura de calamar le sucede. De igual forma podría suceder en la actividad de forrajeo del AAAP, cuando las sardinias se encuentran fuera del rango y la profundidad en donde el AAAP realiza sus desplazamientos, puede forrajear en presas como calamar. Al respecto, Kitagawa et al. (2007a) mencionan que los incrementos en los desembarques de sardina indican potencialmente un reclutamiento exitoso de sardinias eclosionadas, de los cuales el AAAP podría disponer como alimento.

Dado que el AAAP permanece agregado más tiempo entre la zona sur y la zona intermedia, los registros en los desembarques de sardina del Pacífico en Puerto San Carlos (Bahía Magdalena, B.C.S) y Puerto El Sauzal (Ensenada, B.C) (Figura 60), permiten considerar posibles interacciones entre el AAAP y las poblaciones de sardina del Pacífico del hábitat sub-tropical transicional (stock “templado”) y el hábitat sub-tropical (stock “cálido”).

Una posible explicación de por qué el atún permanece más tiempo entre latitudes 25-30 °N, en el contexto de los desembarques de sardina, podría ser que la disposición de las poblaciones de sardina es más congruente en el intervalo latitudinal mencionado, respecto a latitudes de 30 a 40 °N. Los desembarques de sardina registrados en Puerto San Carlos aumentaron en los meses en que los atunes se encuentran agregados en la zona sur (marzo, abril y mayo), posiblemente aprovechando la presencia de poblaciones de sardina del “*stock templado*” y “*cálido*”. Por otra parte, para los meses en que los desembarques de Puerto San Carlos disminuyeron (junio, julio y agosto), los desembarques en el puerto de El Sauzal aumentaron, relacionados con los meses en que los atunes inician sus desplazamientos hacia la zona intermedia y pueden disponer del “*stock templado*” y “*cálido*” (Figuras 57 y 60). Los desembarques en el Puerto de El Sauzal, corresponden a sardinas del “*stock templado*” (Figuras 57 y 60). Por otra parte, la presencia de huevos de sardina en regiones en las que el AAAP suele frecuentar, evidencian una posible interacción entre estas dos especies, ya que la presencia de huevos de sardina alude a la presencia de adultos desovando (Baumgartner et al., en prep.).

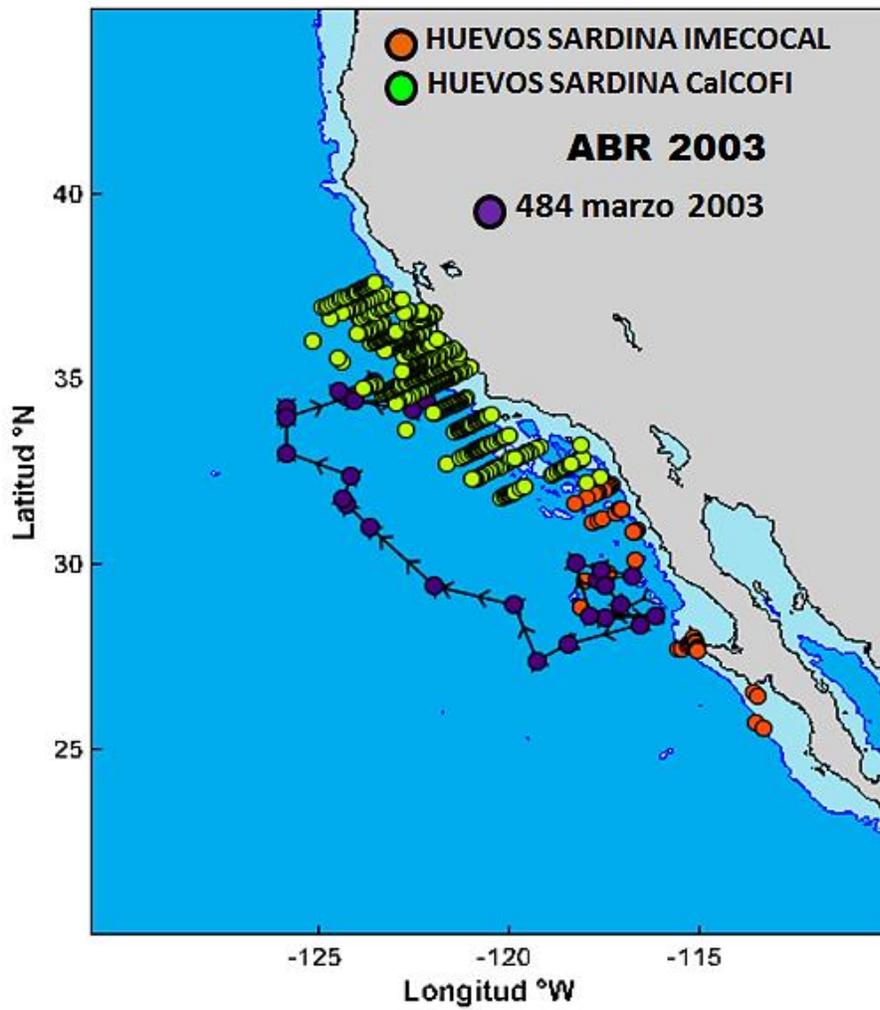


Figura 56. Presencia de huevos de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) de los programas CalCOFI e IMECOCAL (abril 2003), y desplazamientos de la marca A0484 durante marzo de 2003.

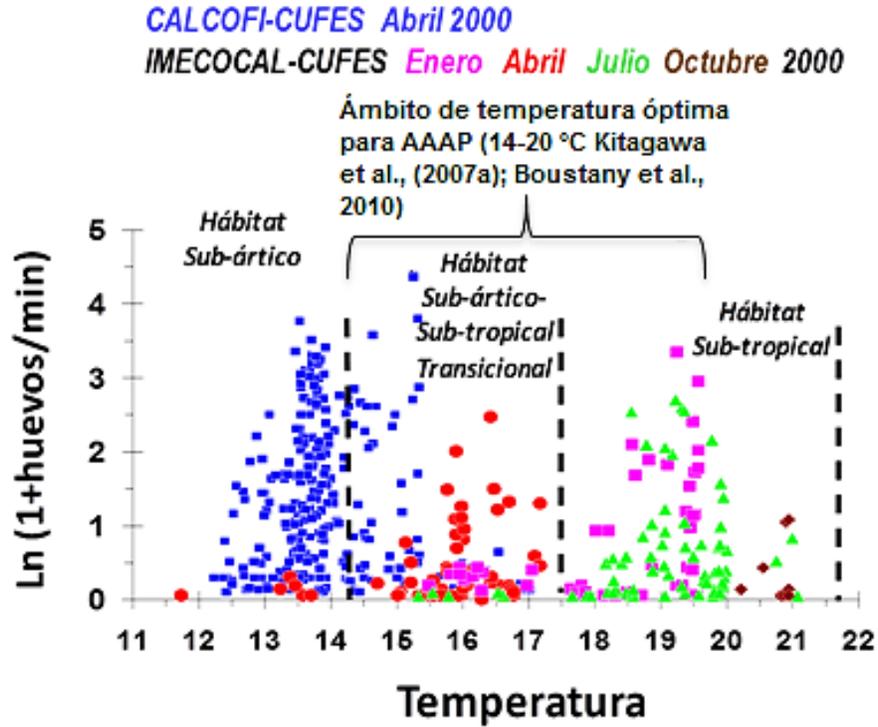


Figura 57. Gráfico que muestra la distribución de huevos de sardina en la región de CalCOFI e IMECOCAL con relación a la temperatura. Las líneas punteadas señalan los límites térmicos de cada hábitat potencial de sardinas. Las figuras de colores indican la región y los meses de muestreo (Baumgartner en prep.).

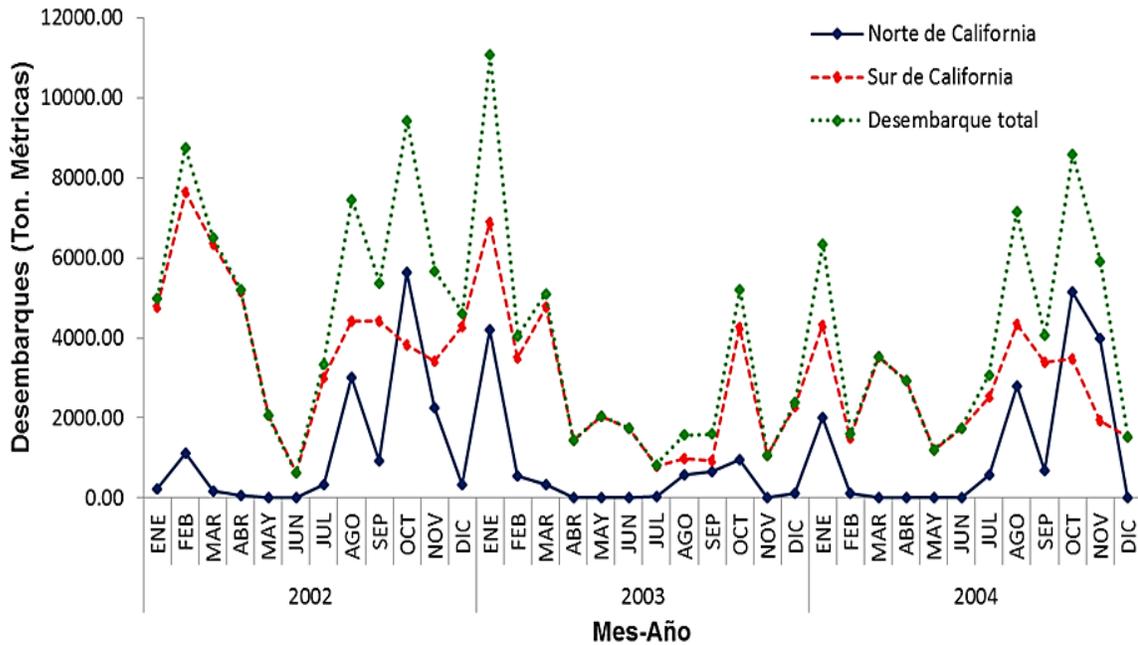


Figura 58. Serie de tiempo de los desembarques de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en la región norte y sur de California desde enero 2002 a diciembre 2004.

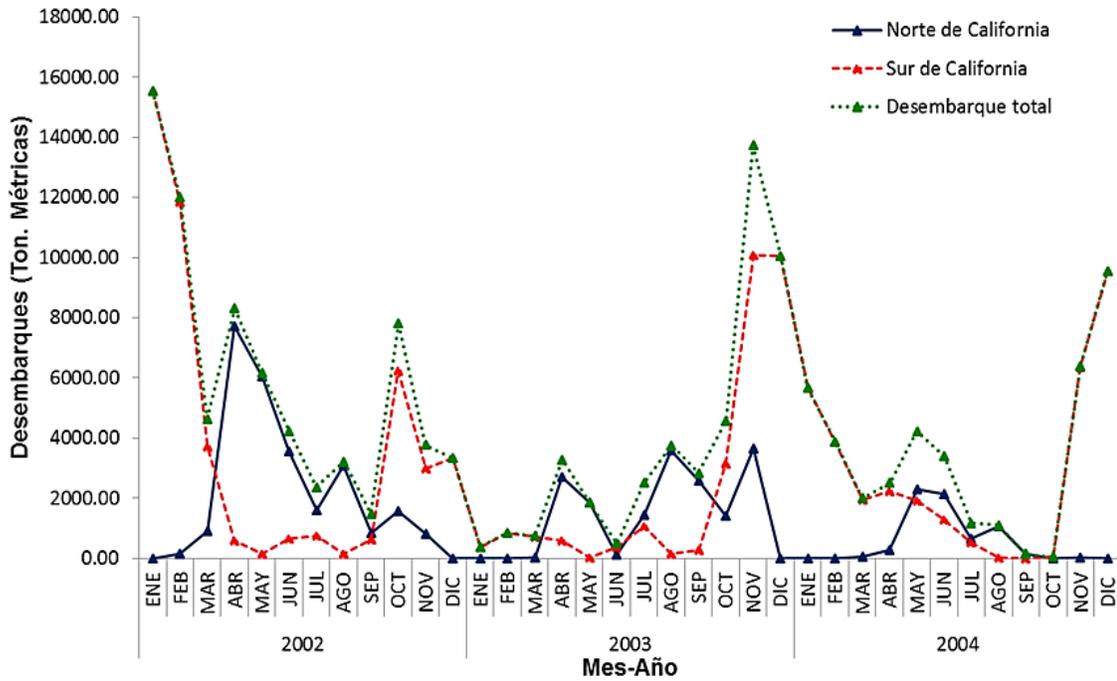


Figura 59. Serie de tiempo de los desembarques de calamar (*Loligo opalescens*) en la región norte y sur de California desde enero 2002 a diciembre 2004.

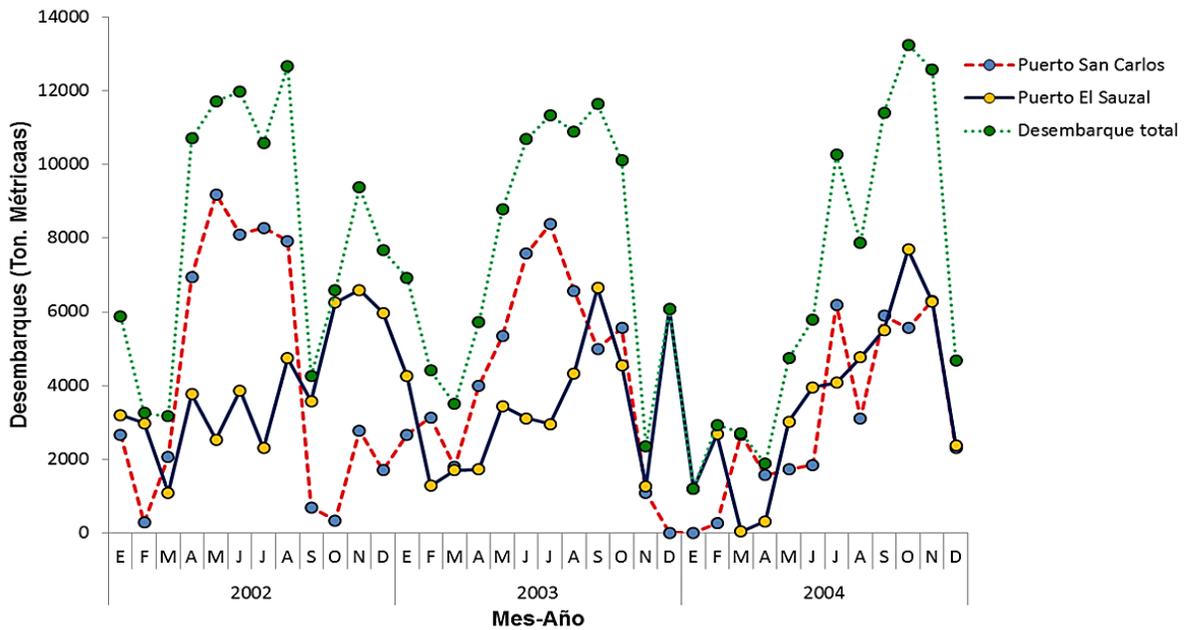


Figura 60. Serie de tiempo de los desembarques de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en puerto San Carlos (Bahía Magdalena B.C.S) y puerto El Sauzal (Ensenada B.C.) desde enero 2002 a diciembre 2004.

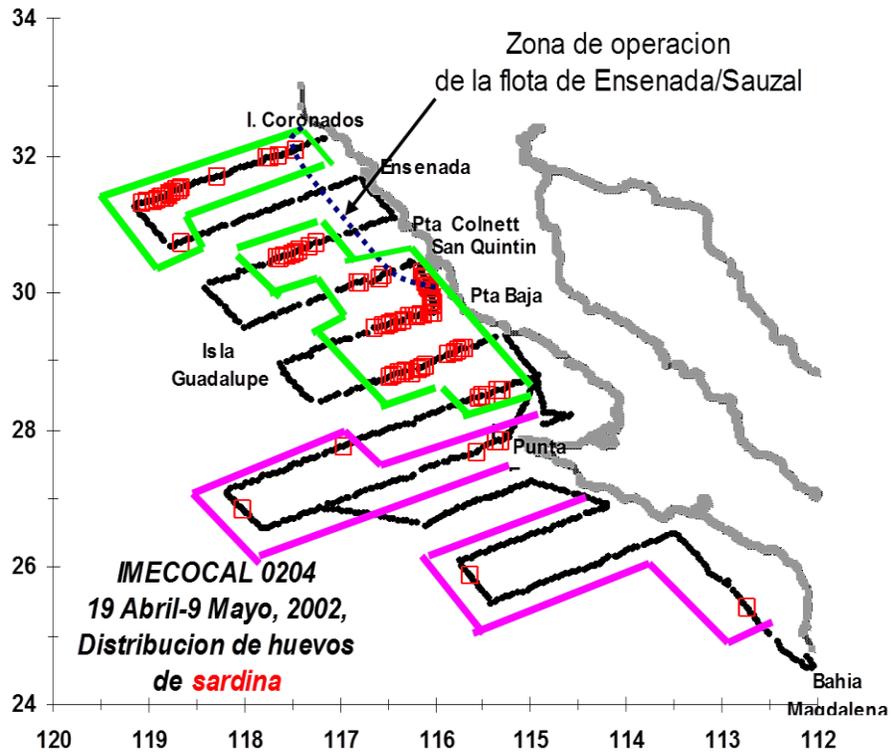


Figura 61. Gráfico que muestra la distribución de huevos de sardina (cuadros rojos) en la región de IMECOCAL. La línea punteada señala el límite de operaciones de la flota de Ensenada/Sauzal (Baumgartner et al., 2005).

Polovina (1996) planteó como hipótesis que, en los años que la sardina (*Sardinops melanosticta*) era abundante en las costas de Japón una gran proporción de la población de AAAP permanecía en el Pacífico occidental, comparados con los años en que las sardinias eran escasas.

De acuerdo a nuestra interpretación, la hipótesis planteada por Polovina (1996) sugiere que las poblaciones de AAAP son, en gran parte, dependientes de las poblaciones de sardina. Sin embargo, referente a las presas sobre las cuales el AAAP forrajea, en el crucero realizado del 31 agosto al 08 septiembre 2013 por el equipo de la Dra. Barbara Block de la Universidad de Stanford, se realizaron observaciones al contenido estomacal de 13 juveniles menores de 2 años (98 ± 15 cm) de AAAP capturados. Para el 2 de septiembre se observó el contenido estomacal de 13 AAAP capturados

aproximadamente a las 7:53 am tiempo estándar del Pacífico (TEP) (30.2°N-116.45 °W) y se encontró que 8 atunes tenían contenido en sus estómagos. La mayor parte de su contenido estomacal constaba de anfípodos, algunos fragmentos de tenazas de cangrejo, eufaúsidos y otros fragmentos de alimento no identificables (observación personal). Durante los días de crucero no se encontró ninguna evidencia de que el AAAP haya consumido sardina, excepto las sardinillas que se utilizaban como carnada que denotaban un proceso avanzado de digestión. De estas observaciones se infiere que el AAAP estuvo alimentándose de zooplancton durante la noche anterior. Las evidencias obtenidas de este crucero sugieren que el AAAP, además de alimentarse de peces pelágicos menores, puede disponer de presas como cangrejos pelágicos, eufaúsidos, anfípodos, salpas, mictófidios, etc., que se encuentran disponibles en la capa superficial de la columna de agua durante la noche (Lavaniegos, 2014).

Aunque las evidencias consideradas del crucero realizado son insuficientes para inferir sobre las presas totales de las cuales el AAAP dispone, se tomó como referencia el estudio realizado por Madigan et al. (2012) para tener referencias concisas de los recursos alimenticios que el AAAP utiliza. En dicho estudio se evaluaron los valores de isotopos estables $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras de tejidos extraídas de presas (contenidas en estómagos de predadores) y predadores, para estimar la dinámica de la red trófica en la CC (28°00'N– 33°00'N; 116°32'W–119°13'W). Los resultados obtenidos arrojaron que las presas encontradas en los estómagos de los depredadores incluyeron especies de forrajeo como (*S. sagax*, *Cololabis sp.*, *Trachurus sp.* y juveniles de *Sebastes sp.*), especies mesopelágicas (mictófidios, peces de la familia Zoarcidae y barracudinas), crustáceos epipelágicos (*P. planipes*), y cefalópodos (argonauta, gonátidos, calamares, *D. gigas* y *L. opalescens*).

Basados en valores promedios de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se separaron las especies en 4 grupos etiquetándolas como grupos tróficos por sus siglas en inglés (Trophic Group (TG)); Zooplancton (TG2); presas herbívoras (TG3); meso-predadores (TG4) y depredadores tope (TG5). De esta clasificación se observó que los organismos del grupo TG4 se

alimentaron por lo menos de 3 grupos tróficos (TG4, TG3 y TG2) y los organismos del TG5, en el que se incluye el AAAP, incorporaron a su dieta los 4 grupos tróficos (TG5, TG4, TG3 y TG2) (Figura 62). Según lo observado en este estudio y los resultados generados por Madigan et al. (2012), la alta residencia y preferencia del AAAP al sur de la CC, podría ser motivada por: 1) la disponibilidad de alimento; 2) las condiciones oceanográficas que prevalecen en esta región. Por ejemplo, en el estudio realizado por Wingfield et al. (2011) se describe que la intensa productividad del Golfo de Ulloa (considerado como 1 de los 12 CAB encontrados en el Pacífico oriental (Del Monte-Luna, 2004)) se debe a la conjunción de diferentes mecanismos físicos y características geo-morfológicas como: las irregularidades topográficas, la intensidad del viento y los gradientes de temperatura. Aunque en estas regiones existen gran abundancia y diversidad de especies, la langostilla o cangrejo rojo (*Pleuroncodes planipes*) es considerado como un intermediario en el flujo de energía entre los productores primarios y depredadores vertebrados e invertebrados, y que probablemente funge como un vínculo que atrae a una gran diversidad de depredadores tope (Wingfield et al., 2011). Una teoría óptima de forrajeo podría proponer que las especies que no están centradas en un área específica de crianza deberían buscar las regiones más productivas con condiciones oceanográficas óptimas que favorezcan la fisiología propias a la especie y que maximicen su crecimiento en etapas tempranas (Stearns, 1992; Wingfield et al., 2011)

Los estudios fundamentados en modelos de incremento de calor por consumo de alimento, basados en los registros de marcas electrónicas de temperatura interna y externa (HIF: Heat Increments of Feeding) (Whitlock et al., 2013) (Figura 52) proveen una base para entender el tipo de alimento que los atunes silvestres consumen. Dado que este estudio no se enfocó en obtener resultados empleando este tipo de modelos, sólo se desarrolló una descripción general, de acuerdo con el modelo obtenido de los primeros siete días de marzo para la marca A0484 (Figura 52) (28-30°N), para inferir sobre las posibles presas que los atunes consumieron durante la primavera de 2003 al sur de la CC (24-26°N). Las descripciones aquí presentadas respecto a los modelos HIF abren camino para la realización de posteriores estudios concretamente enfocados

a la caracterización del consumo de presas asociados a regiones específicas de la CC u otras áreas de interés. Aunque estos tipos de modelos son de reciente aplicación, podrían complementarse con otros estudios como el empleo de isotopos estables para definir niveles tróficos (Madigan et al., 2012) y análisis isotópicos específicos de aminoácidos que permiten evaluar las posiciones tróficas y la línea base nutrimental de los recursos que consumen los peces (Bradley et al., 2014).

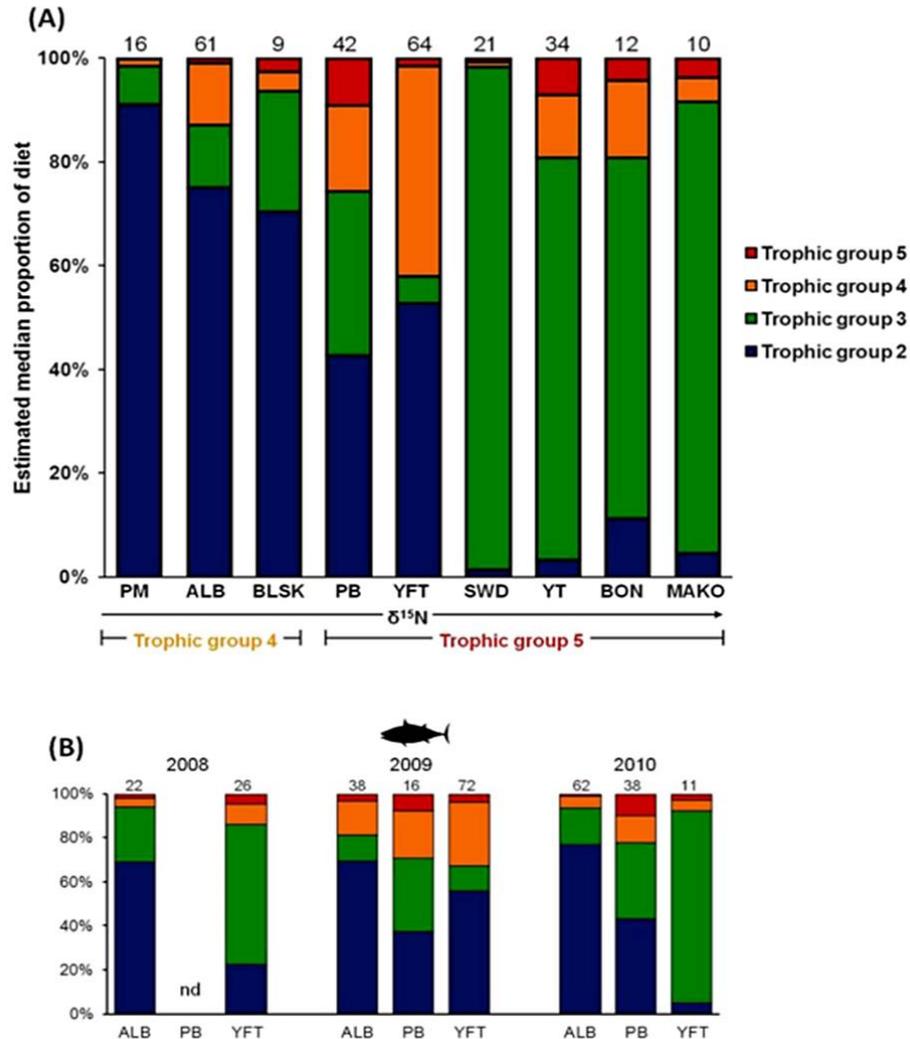


Figura 62. A) Gráfico que muestra la proporción media de la dieta consumida por los grupos tróficos 4 y 5, respecto a otros grupos tróficos, obtenida mediante el empleo de isotopos estables $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. B) Proporción media de la dieta consumida para tres especies de túnidos; albacora (ALB), atún aleta azul (BFT) y atún aleta amarilla (YFT) (Madigan et al., 2012).

Capítulo 7. Conclusiones

Debido al intervalo de tolerancia térmica del AAAP (14-20°C), los patrones de distribución geográfica de estos peces coinciden con los tres hábitats de las sub-poblaciones de la SP definidas por preferencias térmicas (sub-población del hábitat sub-ártico/ “*stock frío*” (11-14°C); sub-población del hábitat sub-ártico/sub-tropical transicional/ “*stock templado*” (14-17°C); sub-población del hábitat sub-tropical/ “*stock cálido*” (17-22°C)), lo cual permite a lo largo del año y de forma estacional disponer como alimento de estas sub-poblaciones.

Aunque la presencia de huevos y los desembarques comerciales de la SP, en relación a la distribución geográfica del AAAP, proveen evidencia que se encuentran en regiones comunes, hacen falta evidencias concisas para comprobar que el AAAP realiza sus movimientos en función de la distribución, abundancia y desplazamientos de la SP. Los estudios de isótopos estables realizados por Madigan et al. (2012), Bradley et al., (2014), los estudios basados en los modelos de HIF (Whitlock et al., 2013), aunado al tipo de evidencias aportadas por este estudio, proporcionarían evidencia congruente y precisa para comprobar la interacción entre la SP y el AAAP, e incluso, otras presas como *D.gigas*, *P.planipes*, anfípodos, mictófidios y otras presas potenciales.

De acuerdo con las evidencias obtenidas en este estudio, el objetivo general fue cumplido en gran medida. Las zonas donde el AAAP se congrega recurrentemente, proveen de alimento asociadas con condiciones oceanográficas propicias (incremento en la productividad primaria asociada con presencia de zooplancton y otros organismos como pelágicos menores).

Las zonas sur e intermedia de la CC, definidas e identificadas para los fines de estudio, proveen una disponibilidad abundante de presas, ya que son consideradas como zonas transicionales entre especies frías-templadas y templadas-sub-tropicales. Los desplazamientos realizados por el AAAP en el hábitat de la CC en dirección norte-sur, son realizados por el núcleo de la CC, mientras que los movimientos realizados en dirección sur-norte, son realizados fuera del núcleo de la CC, posiblemente evitando las trayectorias de mayor resistencia hidrográfica.

Las zonas de mayor residencia del AAAP (22-30°N) están asociadas con TSM de 16-20°C, que corresponden con las temporadas de primavera-verano. Los incrementos de CHL, es una condición que atrae al AAAP hacia los frentes oceánicos y zonas costeras.

Aunque las evidencias proporcionadas por los desplazamientos de la marca A0484 del 17-31 de marzo 2003 y los registros de temperatura interna interpretados con base al modelo de incremento de calor por alimentación (modelos HIF), sugieren el encuentro de AAAP con la SP del “*stock frio*”, es necesario contar con más pruebas de este tipo.

No obstante que la presencia de huevos de sardina fue abundante en la zona norte (32-40°N) durante abril 2003 y 2004, la mayoría de los peces portadores de las marcas seleccionadas permanecieron en la zona sur de la CC, que es considerado como un centro de actividad biológica (centro de abundancia de especies marinas causadas por el incremento en la productividad primaria).

Los buceos más profundos del AAAP son realizados en horas cercanas al medio día (12:00 h), cuando los niveles de luz alcanzan su máximo, lo cual favorece la búsqueda de alimento a profundidades > 100 m. De acuerdo con los patrones de buceo observados a las 12:00 h y los buceos nocturnos durante fases lunares crecientes (cuando el disco lunar refleja con mayor intensidad la luz del sol), se infiere que el principal mecanismo para la búsqueda de alimento es facilitado por la visión y una natación de alta velocidad. Además, por su capacidad de termo-regulación, los atunes pueden realizar buceos por debajo de la termoclina donde tiene contacto con agua a temperatura $\geq 9^{\circ}\text{C}$ y valores relativamente bajos de oxígeno disuelto.

Los datos recolectados por las marcas archivadoras electrónicas proveen información oceanográfica de manera continua, durante largos periodos. Esto podría contribuir a la realización de investigaciones oceanográficas para regiones específicas y de difícil acceso, que en su momento son limitados por la falta de recursos financieros y equipo sofisticado.

De manera general y de acuerdo a las evidencias obtenidas por los resultados de este estudio, se puede concluir que los movimientos latitudinales del AAAP son causados en respuesta a los cambios de las condiciones oceanográficas (principalmente la temperatura) y la relación abundancia-escasez de presas potenciales; y que en respuesta a esta relación, y en concordancia con las inferencias realizadas por Scott y

Flittner (1972), el AAAP posee la capacidad de cambiar su modalidad de alimentación: filtración (en presencia de abundancia de zooplancton) y persecución activa (en presencia de peces pelágicos y calamares). Por tanto, se considera que este estudio es un complemento para trabajos posteriores, enfocados, específicamente, en la región sur de la CC para la evaluación y análisis sobre las interacciones ecológicas del AAAP.

Listas de referencias

- Aceves-Medina, G., Palomares-García, R., Gómez-Gutiérrez, J., Robinson, C.J., Saldierna-Martínez, R.J., (2009). Multivariate characterization of spawning and larval environments of small pelagic fishes in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*, 31: 1283-1297.
- Alverson, F.G., (1963). The food of the yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 7(5), 239-396.
- Amante, C. and Eakins, B. W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis (p.19). US Department of Commerce NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24,
- Aurioles-Gamboa, D. (1992). Inshore-offshore movements of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Decapoda, Anomura, Galatheididae) off the Pacific coast of Baja California Sur, México. *Crustaceana*, 71-84.
- Bakun, A., and Parrish, R. H. (1980). Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current regions. In *Workshop on the Effects of Environmental Variation on the Survival of Larval Pelagic Fishes*. Lima (Peru).
- Bakun, A. (2001) 'School-mix feedback': a different way to think about low frequency variability in large mobile fish populations. *Progress in Oceanography*, 49(1), 485–511.
- Baumgartner, McBride T., Lo N., Sánchez C., Green Y., Charter R., de la Campa S., Coterio E. (En preparación). Spawning biomass estimates for the subarctic stock of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off Baja California, México for April, 2002 and April, 2003.
- Baumgartner McBride, T., Valencia J.A., Lavaniegos, E. B., Durazo, R., Gaxiola, C. G., y Cadena J. (En preparación). Cambios interanuales y decadales en el desove de peces pelágicos menores en la región de IMECOCAL de la Corriente de California.
- Baumgartner McBride, T. R., A. Soutar y V. Ferreira Bartrina. (1992). Reconstruction of the history of pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. *CalCOFI Reports*. 33: 24-40.
- Baumgartner, T., D. Loya, S. de la Campa, and C. Curiel, (2005). Characterization of the spawning habitat of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off Baja California during the year 2000. In van der Lingenm C.D., L. Castro, L. Drapeu, and D.Checkley, Jr. (editors). *Report of a GLOBEC_SPACC Workshop on*

Characterizing and Comparing the Spawning Habitats of Small Pelagic Fish.
GLOBEC Report, 21: 12-14, plate 3.

- Baumgartner, T., R. Durazo, B. Lavaniegos, G. Gaxiola, J. Gómez y J. García. (2008). Ten years of change from IMECOCAL observations in the southern region of the California Current Ecosystem. GLOBEC International Newsletter. 14: 43-54.
- Bayliff, W. H. (1980). Synopsis of biological data on the northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), in the Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission Special Reports 2: 261–293.
- Bayliff, William H. (1994). A review of the biology and fisheries for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. FAO, Fisheries Technical Paper. 336: 244-295.
- Bazzino, G., Gilly, W. F., Markaida, U., Salinas-Zavala, C. A., and Ramos-Castillejos, J. (2010). Horizontal movements, vertical-habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, Mexico. Progress in Oceanography, 86(1), 59–71.
- Bell, R.R. (1963) Preliminary age determination of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. California Fish and Game 49: 307.
- Blank, J. M., Morrissette, J. M., Landeira-Fernandez, A. M., Blackwell, S. B., Williams, T. D., and Block, B. A. (2004). In situ cardiac performance of Pacific bluefin tuna hearts in response to acute temperature change. Journal of Experimental Biology, 207(5), 881-890.
- Blank, J. M., Farwell, C. J., Morrissette, J. M., Schallert, R. J., and Block, B. A. (2007a). Influence of swimming speed on metabolic rates of juvenile Pacific bluefin tuna and yellowfin tuna. Physiological and Biochemical Zoology, 80 (2), 167-177
- Blank, J. M., Morrissette, J. M., Farwell, C. J., Price, M., Schallert, R. J., and Block, B. A. (2007b). Temperature effects on metabolic rate of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Journal of Experimental Biology, 210 (23), 4254-4261.
- Blaxter, J. H. S., and J. R. Hunter. (1982). The biology of the clupeoid fishes. Adv. Marine Biology, 20: 1–223.
- Block, B.A., Dewar, H., Farwell, C., and Prince, E. (1998). A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic Bluefin Tuna. Proceedings of the National Academy of Science, 95 (16), 9384-9389.
- Block, B. A. (2005). Physiological Ecology in the 21st Century: Advancements in Biologging Science. Integrative and Comparative Biology 45 (2), 305-320.
- Bograd , S. J., P. M. Digiacomio , R. Durazo Arvizu, T. L. Hayward , K. D. Hyrenbach , R. J. Lynn , A. W. Mantyla , J. J. Bautista Romero, W. J. Sydeman , T. R.

- Baumgartner McBride, B. E. Lavaniegos Espejo y C. S. Moore . (2000). The state of the California Current, 1999-2000: Forward to a new regime? CalCOFI Reports. 41: 26-52.
- Boustany, A. M., Matteson, R., Castleton, M., Farwell, C., and Block, B. A. (2010). Movements of pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the Eastern North Pacific revealed with archival tags. Progress in Oceanography, 86 (1), 94-104.
- Boyd, C. (1967). The benthic and pelagic habitats of the red crab (*Pleuroncodes planipes*). Pacific Science, 21: 394-403.
- Bracken, M. E. S., B. E. Bracken, et al. (2007). Species diversity and foundation species: Potential indicators of fisheries yields and marine ecosystem functioning. CalCOFI Reports. 48: 82-91.
- Bradley C.J, Madigan D.J, Block B.A, Popp B.N. (2014). Amino Acid Isotope Incorporation and Enrichment Factors in Pacific Bluefin Tuna, *Thunnus orientalis*. PLoS ONE 9: e85818. doi:10.1371/journal.pone.0085818
- Butler, J. L., G. M. L. Granados, J. T. Barnes, M. Yaremko, and B. J. Macewicz. (1996). Age composition, growth, and maturation of the pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CalCOFI Reports, 37: 152–159.
- California Department of Fishing and Wildlife (CDFW). Commercial Fishing. Recuperado en noviembre 2013 de: <http://www.dfg.ca.gov/marine/fishing.asp>
- Castilho, P. C., Landeira-Fernandez, A. M., Morrissette, J., and Block, B. A. (2007). Elevated Ca²⁺ ATPase (SERCA2) activity in tuna hearts: Comparative aspects of temperature dependence. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology, 148(1), 124-132.
- Clay, D. (1991). Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*): a review, edited by D. Clay. Special Reports IATTC, 7: 89–179.
- Change, G. (1992). Global Ocean Ecosystems Dynamics A Component of the U. S. Global Change Research Program Eastern Boundary Current Program Report on Climate Change and the California Current Ecosystem. Report Number 7 September 1992, (7).
- Clark, F. N., and Janssen, J. F. (1945). Results of tagging experiments in California Waters on Sardine (*Sardinops caerulea*). California Division of Fish and Game Fisheries Bulletin 61: 7-42.
- Checkley Jr, D. M., and Barth, J. A. (2009). Patterns and processes in the California Current System. Progress in Oceanography, 83(1), 49-64.
- Clark, T. D., Brandt, W. T., Nogueira, J., Rodriguez, L. E., Price, M., Farwell, C. J., and Block, B. a. (2010). Postprandial metabolism of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). The Journal of experimental biology, 213(4), 2379–2385.

- Collette, B.B., and Nauen, C.E., (1983). FAO Species Catalogue. Vol. 2: Scombrids of the World. Food and Agriculture Organization Fisheries Synopsis. 125pp.
- Collette, B.B. and B.R. Smith, (1981). Bluefin tuna, *Thunnus thynnus orientalis* from the Gulf of Papua. Japanese Journal of Ichthyology. 28(2), 166-168.
- Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) (2011). Atunes y peces picudos en el océano Pacífico Oriental en 2008. Informe de la situación de la pesquería No. 7. La Jolla, California. 143pp.
- CUFES Fish Eggs Surveys (CalCOFI). Distribution Maps of Fish Eggs. Recuperado en noviembre 2013 de: <http://calcofi.org/field-program/field-under/442-cufes-fish-egg-survey.html>
- Davis, T. (1991). Maturation and spawning. In Review of aspects of southern bluefin tuna biology, population and fisheries, edited by A.E. Caton. Special Reports IATTC, 7: 225–9.
- Del Monte-Luna, P. (2004). Caracterización del centro de actividad biológica del Golfo de Ulloa, BCS bajo un enfoque de modelación ecológica. Tesis de doctorado en ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. 86p.
- Del Moral-Simanek, R. J., y Vaca-Rodríguez, J. G. (2009). Captura de atún aleta azul en Baja California, México: ¿pesquería regional o maquiladora marina? Región y sociedad, 21(46), 159-190.
- Del Moral-Simanek, R. J., Vaca-Rodríguez, J. G., y Alcalá Álvarez, M. D. C. (2010). Análisis socioeconómico e interrelación de las pesquerías de sardina y atún aleta azul en la región noroeste de México. Región y sociedad, 22(47), 09-29.
- Demer, D. A., Zwolinski, J. P., Byers, K. A., George, R., Renfree, J. S., Sessions, T. S., and Beverly, J. (2011). Acoustic-trawl surveys of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and other pelagic fishes in the California Current ecosystem: Part 1, Methods and an example application. Pacific Fishery Management Council April 2: 1–37.
- Domeier, M.L., Kiefer, D., Nasby-Lucas, N., Wagschal, A. and O'Brien, F. (2005) Tracking Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in the northeastern Pacific with an auto-mated algorithm that estimates latitude by matching sea-surface-temperature data from satellites with temperature data from tags on fish. Fisheries Bulletin, 103(2), 292–306.
- Durazo, R. and T. R. Baumgartner (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. Progress in Oceanography, 54(1), 7-31.
- Durazo, R. (2009). Climate and upper ocean variability off Baja California, Mexico: 1997-2008. Progress in Oceanography, 83(1), 361-368.

- Emery, W. J. (2001). Water types and water masses. *Encyclopedia of ocean sciences*, 6, 3179-3187.
- FAO (2005). Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeñas embarcaciones pesqueras. *FAO Fisheries Technical Paper*. T383. 62pp. Recuperado el 13 de noviembre de 2013 de: <http://www.fao.org/docrep/009/x0487s/x0487s00.htm>.
- Félix-Uraga, R., V.M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-Velázquez, F.N. Melo-Barrera y W. García-Franco. (2004). On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of Baja California and Southern California. *CalCOFI Reports*. 45: 146-151.
- Feldman, G. C., C. R. McClain, Ocean Color Web, MODIS-aqua. Reprocessing (3) NASA Goddard Space Flight Center. Eds. Kuring, N., Bailey, S. W. Recuperado en noviembre 2013 de: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.
- Fiedler, P. C. and H. J. Bernard. (1987). Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Continental Shelf Research*. 7(8), 871-881.
- Fromentin, J. M., and Powers, J. E., (2005). Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries*. 6(4), 281-306.
- Galli, G. L., Lipnick, M. S., and Block, B. A. (2009). Effect of thermal acclimation on action potentials and sarcolemmal K⁺ channels from Pacific bluefin tuna cardiomyocytes. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 297(2), R502-R509.
- Gaxiola-Castro, G., B.E. Lavaniegos, A. Martínez, R. Castro and T.L. Espinosa-Carreón. (2010). Pelagic ecosystem response to climate variability in the Pacific Ocean off Baja California. p. 163-182 In: S.W. Simard and M.E. Austin (eds.). *Climate Change and Variability*. Sciyo Books, 486 pp.
- Gilly, W., Markaida, U., Baxter, C., Block, B., Boustany, a, Zeidberg, L., Salinas, C. (2006). Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Marine Ecology Progress Series*, 324: 1–17.
- Goericke, R., S. J. Bograd, G. Gaxiola-Castro, J. Gómez-Valdes, R. Hooff, A. Huyer, K. D. Hyrenback, B. E. Lavaniegos, A. Mantyla, W. T. Peterson, F. B. Schwing, R. L. Smith, W. J. Sydeman, E. Venrick, and P. A. Wheeler. (2004). The state of the California Current 2003–2004: a rare “normal” year. *CalCOFI Reports*, 45.
- González-Rodríguez, E., Trasviña-Castro, a., Gaxiola-Castro, G., Zamudio, L., and Cervantes-Duarte, R. (2012). Net primary productivity, upwelling and coastal currents in the Gulf of Ulloa, Baja California, Mexico. *Ocean Science*, 8(4), 703–711.
- Harada, T. (1980). Development and future outlook of studies on the aquaculture of tunas. *Maguro Gyogyo Kyogikai Gijiroku, Suisancho-Enyo Suisan*

Kenkyusho (Proceedings of the Tuna Fishery Research Conference, Japan Fisheries Agency-Far Seas Fisheries Research Laboratory): 50-8.

- Jet Propulsion Laboratory (JPL). (2012). AVHRR Ocean Pathfinder Versión 5. Recuperado de: <http://podaac.jpl.nasa.gov/>.
- Hart, J.L., (1973). Pacific fishes of Canada. Bulletin of Fisheries Research Board Canada. 180:740 pp.
- Hickey, B. M. (1979). The California current system—hypotheses and facts. Progress in Oceanography, 8(4), 191–279.
- Hirota, H., M. Morita, and N. Taniguchi. (1976). An instance of the maturation of 3 full years old bluefin tuna cultured in the floating net. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 42: 939.
- INP (Instituto Nacional de la Pesca) (2006). Pelágicos Menores. (En) Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo. México, SAGARPA: pp. 265-301.
- Inagake, D., Yamada, H., Segawa, K., Okazaki, M., Nitta, A., and Itoh, T. (2001). Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel), through archival tagging experiments and its relation with oceanographic conditions in the western North Pacific. Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Lab, 38: 53-81.
- Itoh, T., Tsuji, S., and Nitta, A. (2003a). Swimming depth, ambient water temperature preference, and feeding frequency of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. Fishery Bulletin, 101(3), 535-544.
- Itoh, T., Tsuji, S., and Nitta, A. (2003b). Migration patterns of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. Fishery Bulletin, 101(3), 514-534.
- Kitagawa, T., Nakata, H., Kimura, S., and Tsuji, S. (2001). Thermoconservation mechanisms inferred from peritoneal cavity temperature in free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. Marine Ecology Progress Series, 220: 253–263.
- Kitagawa, T., S. Kimura, H. Nakata, and H. Yamada. (2004). Diving behavior of immature, feeding Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in relation to season and area: the East China Sea and the Kuroshio-Oyashio transition region. Fisheries Oceanography, 13(3), 161–180
- Kitagawa, T., Boustany, A.M., Farwell, C., Williams, T.D., Castleton, M., and Block, B.A., (2007a). Horizontal and vertical movements of juvenile Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in relation to seasons and oceanographic conditions. Fisheries Oceanography 16(5), 409–421.

- Kitagawa, T., Kimura, S., Nakata, H., and Yamada, H. (2007b). Why do young Pacific bluefin tuna repeatedly dive to depths through the thermocline? *Fisheries Science*, 73(1), 98–106.
- Kitagawa, T., Kimura, S., Nakata, H., Yamada, H., Nitta, A., Sasai, Y., and Sasaki, H. (2008). Immature Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, utilizes cold waters in the Subarctic Frontal Zone for trans-Pacific migration. *Environmental Biology of Fishes*, 84(2), 193–196.
- Landry, M. R., Ohman, M. D., Goericke, R., Stukel, M. R., Barbeau, K. A., Bundy, R., and Kahru, M. (2012). Pelagic community responses to a deep-water front in the California Current Ecosystem : overview of the A-Front Study. *Journal of plankton research*, fbs025.
- Lavaniegos, B.E., P. García-García, J.C. Hernández-León, D. López-Sánchez, L. Poncela-Rodríguez y S. Mejía-Acosta. (2006). Biomasa y estructura del zooplancton frente a la costa occidental de Baja California durante 2003 (cruceros IMECOCAL 0302, 0304, 0307, 0310). Zooplankton biomass and structure off the western coast of Baja California during 2003 (IMECOCAL cruises 0302, 0304, 0307, 0310). Informe Técnico. Departamento de Oceanografía Biológica, CICESE, 65 p. (47003).
- Lavaniegos, B. E. (2014). Pelagic amphipod assemblage associated with subarctic water off the West Coast of the Baja California peninsula. *Journal of Marine Systems*, 132: 1–12.
- Legand, M., Bourret, P., Fourmanoir, P., Grandperrin, R., Gueredrat, J. A., Michel, A., Rancurel, P., Repelin, R. and Roger, C., (1972). Trophic relationships and vertical distributions in the pelagic environment in the Pacific Ocean Intertropical. *Cahiers ORSTOM. Oceanography series*. 10(4), 303-393
- Lemus C. J. L., Torres-García P., y Frías M. M, (1997). El océano y sus recursos X: Pesquerías. Recuperado en noviembre 2012 de: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/087/htm/sec_2_2.htm.
- Levin A.L., (2003). Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. En: Gibson, R. N., and Atkinson, R. J. A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 41, 1-45.
- Lluch-Belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose, and P. E. Smith. (1989). World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regimen problem. *South African Journal of Marine Science*. 8: 195–205.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, and R. A. Schwartzlose. (1991). A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*). In Long-term variability of pelagic fish populations and their

environment: proceedings of the international symposium, Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989. T. Kawasaki, S. Tanaka, Y. Toba and A. Taniguchi, eds. Oxford: Pergamon Press. 293–300 pp.

- Lluch-Belda, D. (2000) “Centros de Actividad Biológica en la costa de Baja California”. Capítulo 9. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds) BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR, CICIMAR, CONACYT. La Paz Baja California Sur, México, 49-64.
- Lluch-Belda, Daniel and Lluch-Cota, Daniel B and Lluch-Cota, Salvador E (2003). Baja California's Biological Transition Zones: Refuges for the California Sardine. In *Journal of Oceanography*. 59(4), 503-513.
- Lo, N.C.H., B. Macewicz, and Griffith, (2005). Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*), from 1994-2004 off California, *CalCOFI Reports*, 46: 93-112.
- Lynn, R. J. and J. J. Simpson (1987). The California Current System: The Seasonal Variability of its Physical Characteristics. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 92(C12), 12947-12966.
- Lynn, R. J. (2003). Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and central California. *Fisheries Oceanography* 12(6), 541-553.
- Madigan, D. J., Carlisle, A. B., Dewar, H., Snodgrass, O. E., Litvin, S. Y., Micheli, F., and Block, B. a. (2012). Stable isotope analysis challenges wasp-waist food web assumptions in an upwelling pelagic ecosystem. *Scientific reports*, 2: 654.
- Martínez-López, A y G. Verdugo-Díaz. (2000). “Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S”. Capítulo 9. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce- Díaz (Eds.). BAC. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR, CICIMAR, CONACYT. La Paz Baja California Sur, México, 125-142.
- Matarese, A.C., A.W. Kendall, D.M. Blood and M.V. Vinter. (1989). Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific fishes. *NOAA Technical Reports NMFS*, 80:1-652.
- Murillo, M., Duarte, R. C., Castro, G. G., López, S. L., Bahena, A., Rodríguez, E. y G. Sandoval, F. E. H. (2013). Variabilidad de la productividad primaria y de pigmentos fotosintéticos de la región sur de la corriente de california. *CICIMAR Oceanides*, 28(1), 23–36.
- National Geophysical Data Center. (NOAA). Bathymetry and Global Relief. Recuperado en noviembre 2013 de: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/relief.html>.

- Nakamura, H., (1969). Tuna Distribution and Migration. Fishing News (Books) Ltd. London, 76 pp.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi, and S. Kikawa. (1985). Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956–1981. S Series Far Seas Fisheries Research Laboratory, 12: 1-99 p.
- NOAA (2011). Voices of the Bay. Fishery Basics. California Fisheries/Fishing Vessels. Recuperado el 13 de noviembre 2013 de: <http://sanctuaries.noaa.gov/education/voicesofthebay/fisheriesfacts/basics.html>
- NOAA, (2013). Earth System Research Laboratory. Recuperado el 12 noviembre 2013 de: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>.
- NOAA, (2014). Marine debris program. Recuperado el 10 de mayo 2014 de: <http://marinedebris.noaa.gov>.
- Okiyama, M. (1974). Occurrence of the postlarvae of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Japan Sea. Bulletin Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory, 25: 89–97.
- Okiyama, M. (1979). Successful spawning of some holoepipelagic fishes in the Sea of Japan and zoogeographical implications. In Japan-Soviet Joint Symposium Aquaculture, 7: 223–33.
- Olson, D. B., Hitchcock, G. L., Mariano, A.J., Ashjian, G.P., Peng, G., Nero, R. W., and Podestá, G.P. (1994). Life on the edge: marine life and fronts. Oceanography, 7(2), 52-60.
- Parrish, R.H., Nelson, C.S., and Bakun, A., (1981). Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. Biological Oceanography, 1(2), 175-203.
- Parrish, J.D., R. Serra and W.S. Grant, (1989). The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science, 46(11), 2019-2036.
- Pinkas, L., Oliphant, M. S., and Iverson, I. L. (1971). Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters (Vol. 152, p. 105). United States: State of California, Department of Fish and Game.
- Polovina, J.L., (1996). Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. Fisheries Oceanography, 5(2), 114–119.
- Rodríguez, R. M., Agüero, De la Cruz. G., Marín, M. E. Aida., De la Peña. O., Miguel, Á. O., y Ponce, D. G. (2010) Estudio sobre la caracterización socioeconómica y pesquera del área del Golfo de Ulloa, Baja California Sur, CICIMAR pp. 106.

- Sarà , G. and R. Sarà (2007). Feeding habits and trophic levels of bluefin tuna *Thunnus thynnus* of different size classes in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 23(2), 122-127.
- Sund, P.N., Blackburn, M., and Williams, F., (1981). Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 19: 443–512.
- Smith, P. E. (2005). A history of proposals for subpopulation structure in the pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western North America. *CalCOFI Reports*. 46: 75-82.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, et al. (1999). Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science*, 21(1), 289-347.
- Scott, J.M., and G.A. Flittner. (1972). Behavior of bluefin tuna schools in the eastern north Pacific Ocean as inferred from fishermen's logbooks. *Fisheries Bulletin NOAA-NMFS*, 70(3), 915–927.
- Sharp, G. D. and Ronald C. Dotson. (1977). Energy for migration in albacore, *Thunnus alalunga*. U.S. National Marine Fisheries Services. *Fisheries Bulletin*, 75(2), 447-450.
- Sharp, G.D. (1978) Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. In: Sharp GD, Dizon AE (eds) *The physiological ecology of tunas*. Academic Press, New York, pp 397–449.
- Shomura, R.S., J. Majkowski and S. Langi (eds.) (1994). Interactions of Pacific tuna fisheries. *Proceedings of the First FAO Expert Consultation on Interactions of Pacific Tuna Fisheries, 3-11 December 1991, Noumea, New Caledonia*. Vol. 1: Summary report and papers on interaction. *FAO Fisheries Technical Papers*, (336/1): 326 p. and Vol. 2: Papers on biology and fisheries. *FAO Fisheries Technical Papers* (336/2): 439 p.
- Somarakis, S., Ganias, K., Siapatis, A., Koutsikopoulos, C., Machias, A., Papaconstantinou, C., (2006). Spawning habitat and daily egg production of sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern Mediterranean. *Fisheries Oceanography*, 15(4), 281-292.
- Stearns, S. C. (1992). *The evolution of life histories* (Vol. 249). Oxford: Oxford University Press.
- Venrick, E., R. Durazo, A. Huyer. Mantyla, S.J. Bograd, G. Gaxiola-Castro, K.D. Hyrenbach, F.B. Schwing, D. Checkley, J.Hunter, B.E. Lavaniegos, R.L. Smith, W.J. Sydeman, and P.A. Wheeler, (2003). The state of the California Current, 2002-2003: Tropical and Subarctic Influences Vie for Dominance. *CalCOFI Reports*, 44: 28-60.

- Vrooman, A.M., (1964). Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* Journal of Fisheries Research Board of Canada, 21(4), 691-701.
- Whitlock, R. E., Walli, A. Cermeño, P., Rodriguez, L. E., Farwell, C., and Block, B. a. (2013). Quantifying energy intake in Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) using the heat increment of feeding. The Journal of Experimental Biology, 216(21), 4109–4123.
- Whitehead, P.J.P., (1985). Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Species Catalogue. Vol. 7. Rome. FAO Fisheries Synopsis, 125: 1-303.
- Wingfield, D. K., Peckham, S. H., Foley, D. G., Palacios, D. M., Lavaniegos, B. E., Durazo, R., and Bograd, S. J. (2011). The making of a productivity hotspot in the coastal ocean. *PloS one*, 6(11), e27874.
- Yabe, H., S. Ueyanagi, and H. Watanabe. (1966). Studies on the early life history of bluefin tuna *Thunnus thynnus* and on the larvae of the southern bluefin tuna *T. maccoyii*. Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, 23: 95–129.
- Yamanaka, Jaime, and staff. (1963). Synopsis of Biological Data on Kuromaguro *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel) 1942 (Pacific Ocean). FAO Fisheries Report, 6: 180-217.
- Yokota, T., M. Toriyama, F. Kanai, and S. Nomura. (1961). Studies on the feeding habit of fishes. Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, 14: 1–234.
- Yukinawa, M., and Y. Yabuta. (1967). Age and growth of bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus), in the north Pacific Ocean. Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, 25: 1–18.
- Zavala et al. (2010). “El calamar gigante *Dosidicus gigas* (D’Orbigny 1835)”. En: Durazo-Arvizu, R. y Gaxiola-Castro, G. (Eds.). 2010 Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997–2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California INE-CICESE-UABC-SEMARNAT. 469-486.
- Zwolinski, J. P., R. L. Emmett, and D. A. Demer. (2011). Predicting habitat to optimize sampling of Pacific sardine (*Sardinops sagax*). ICES Journal of Marine Science, 68(5), 867–879.

Anexos

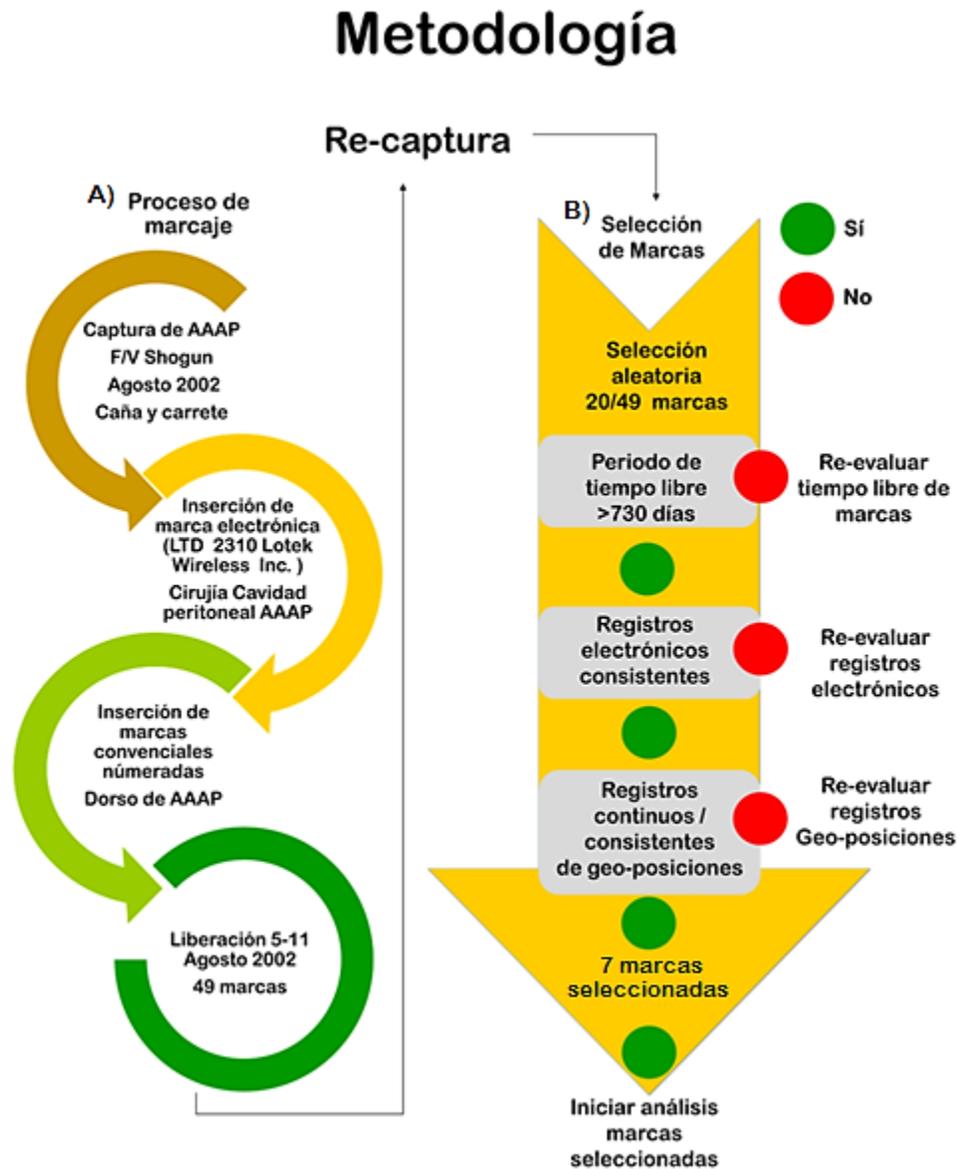


Figura 63 Representación gráfica de la metodología. A) Proceso de marcaje electrónico (Boustany et al., 2010). B) Selección de marcas realizada para la evaluación y análisis de este estudio.

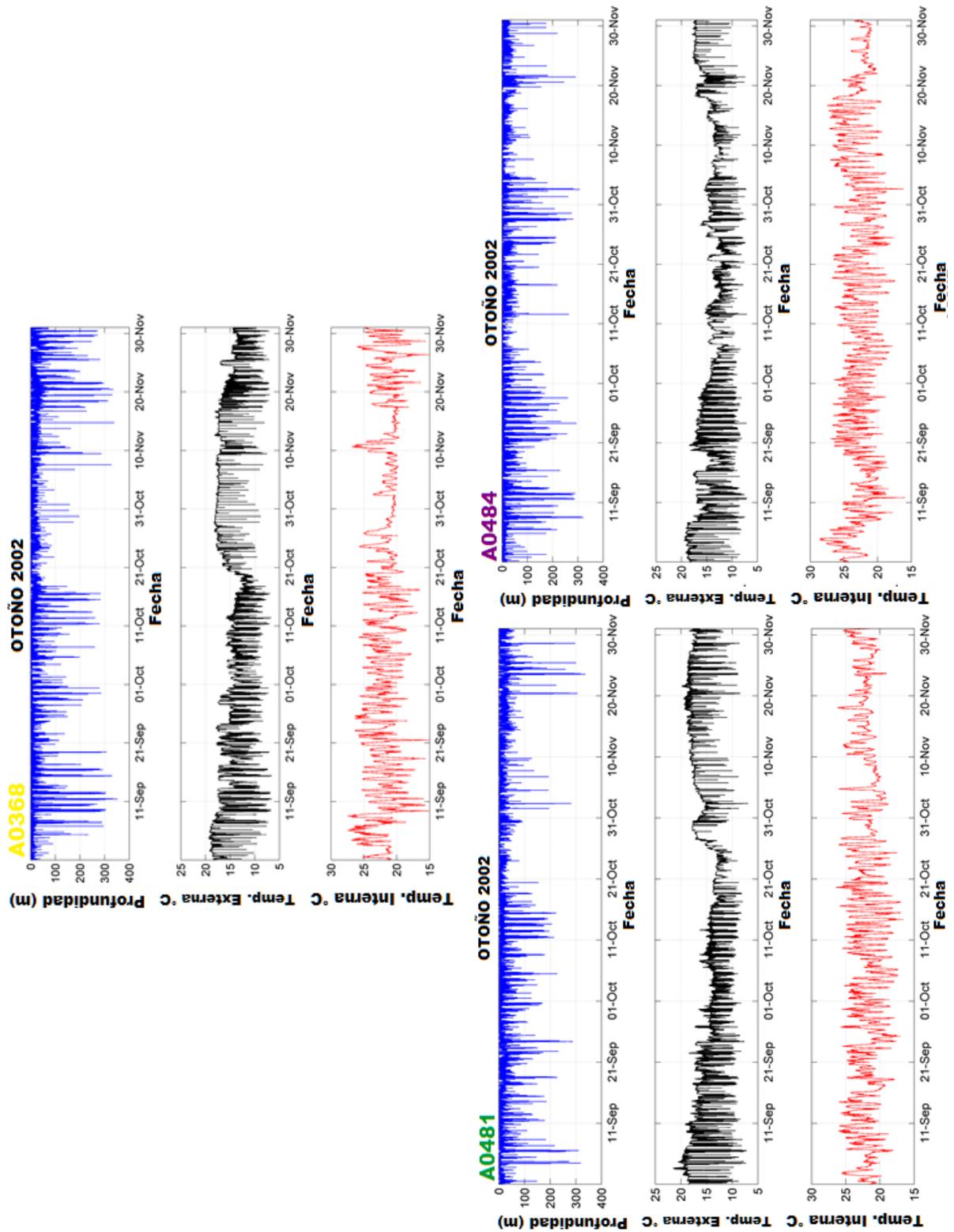


Figura 64. Series de tiempo (OTOÑO 2002) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

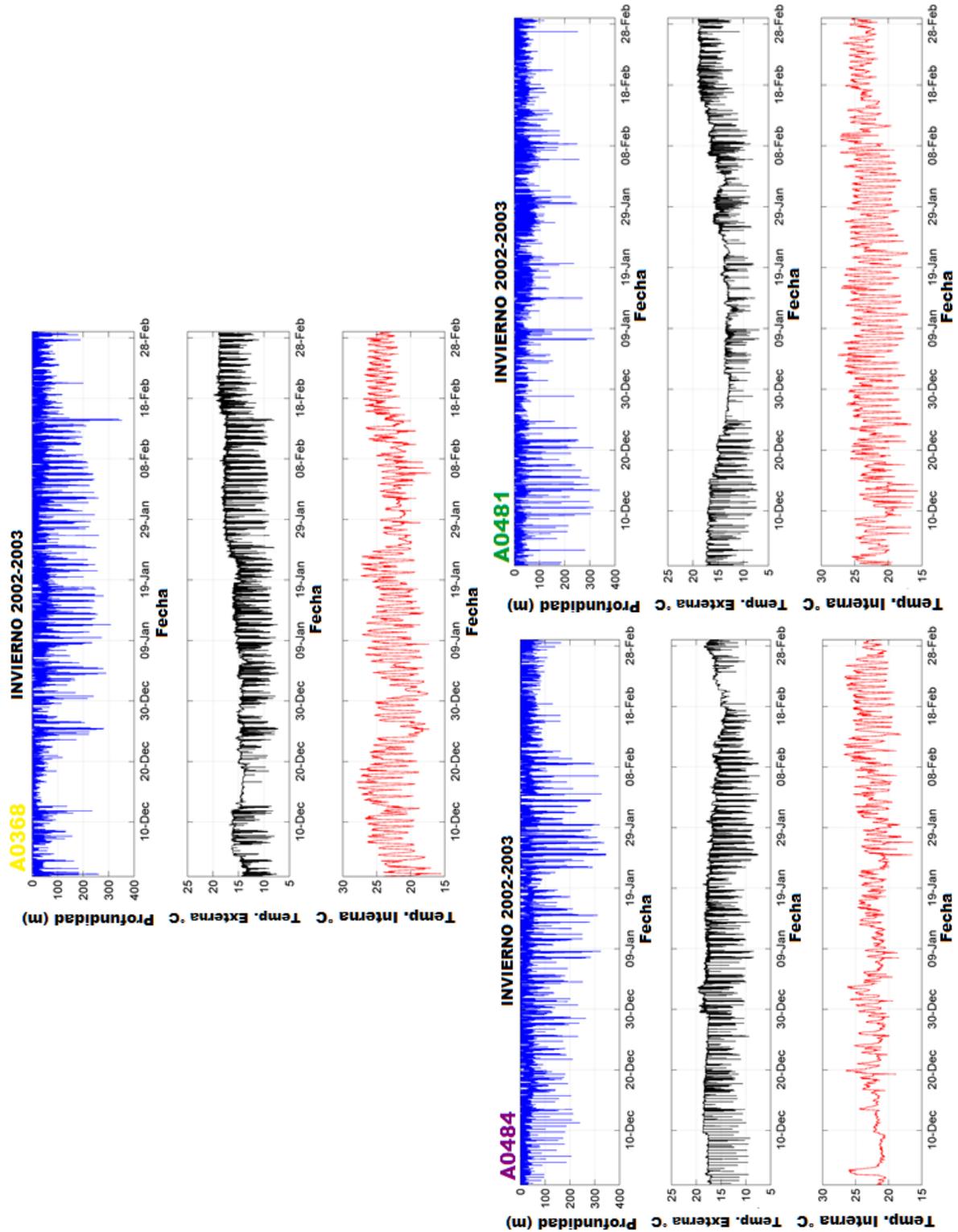


Figura 65. Series de tiempo (INVIERNO 2002-2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

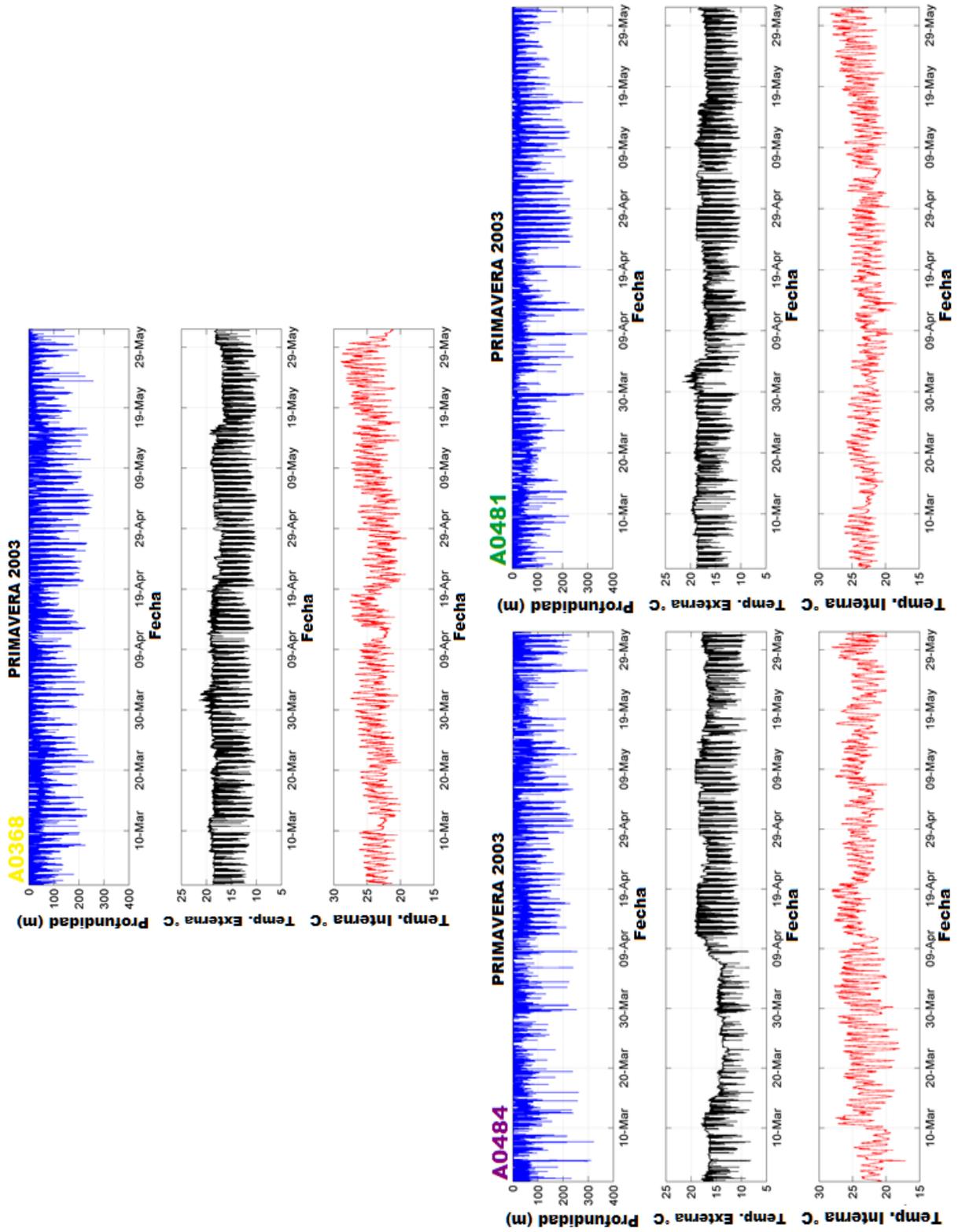


Figura 66. Series de tiempo (PRIMAVERA 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

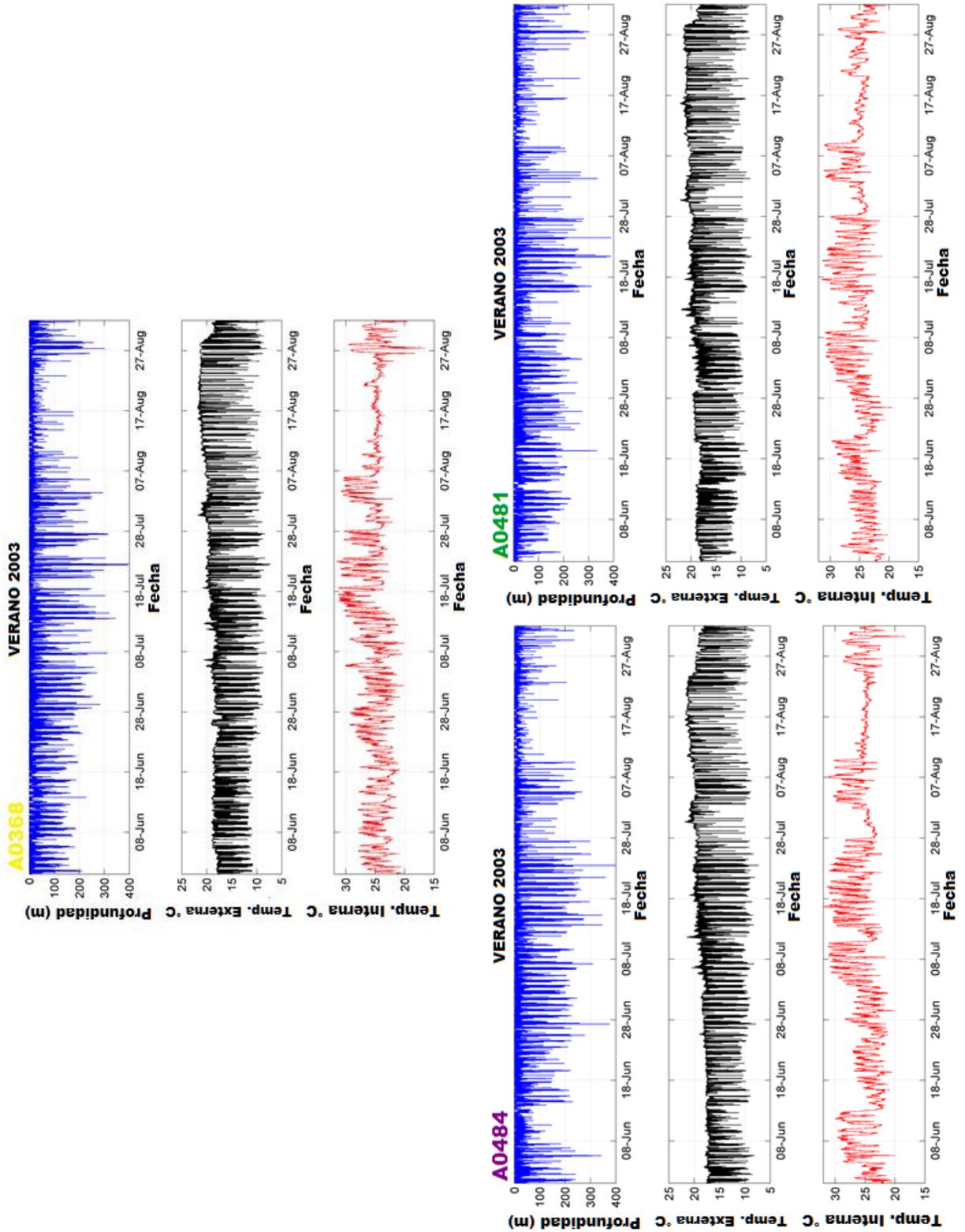


Figura 67. Series de tiempo (VERANO 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

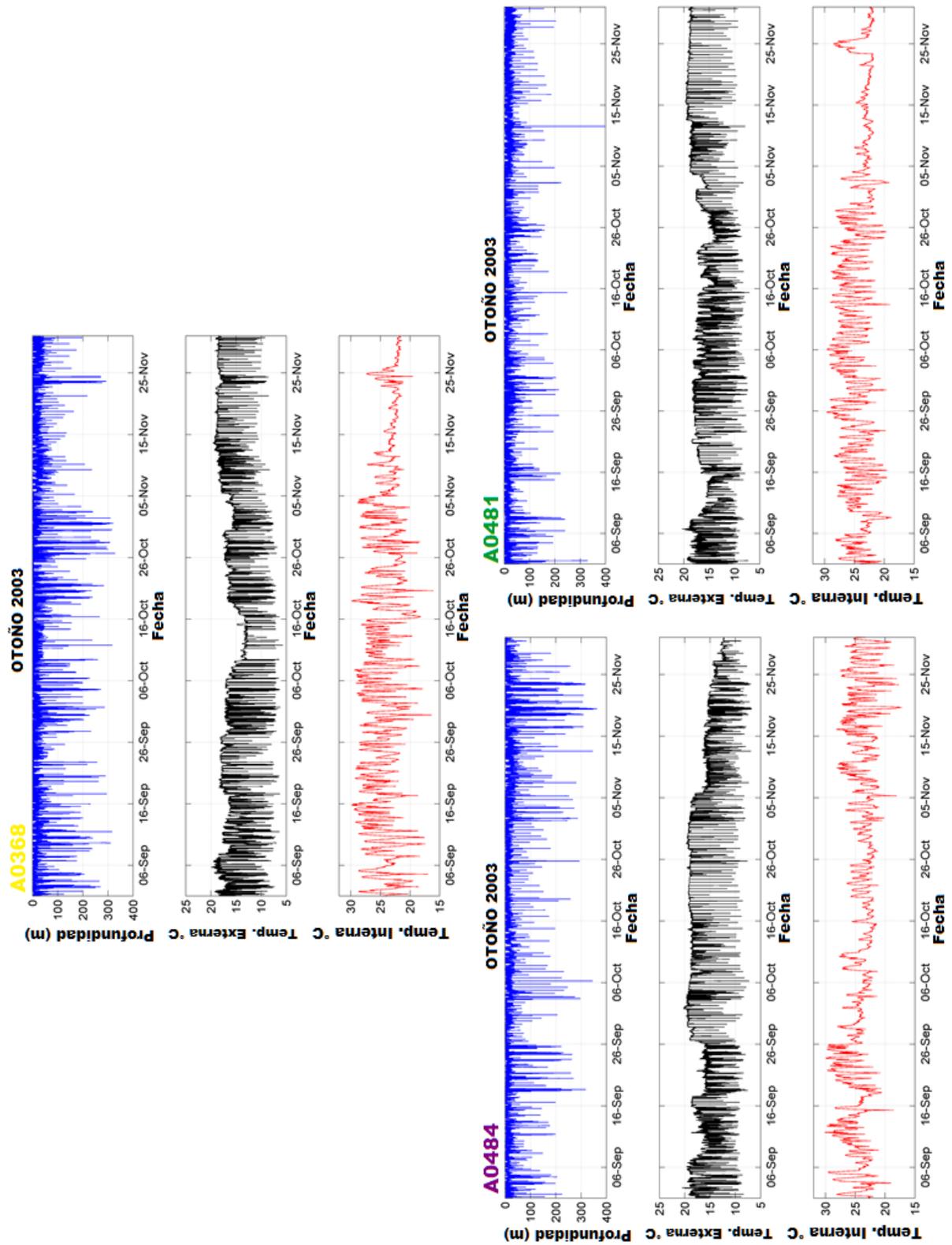


Figura 68. Series de tiempo (OTOÑO 2003) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

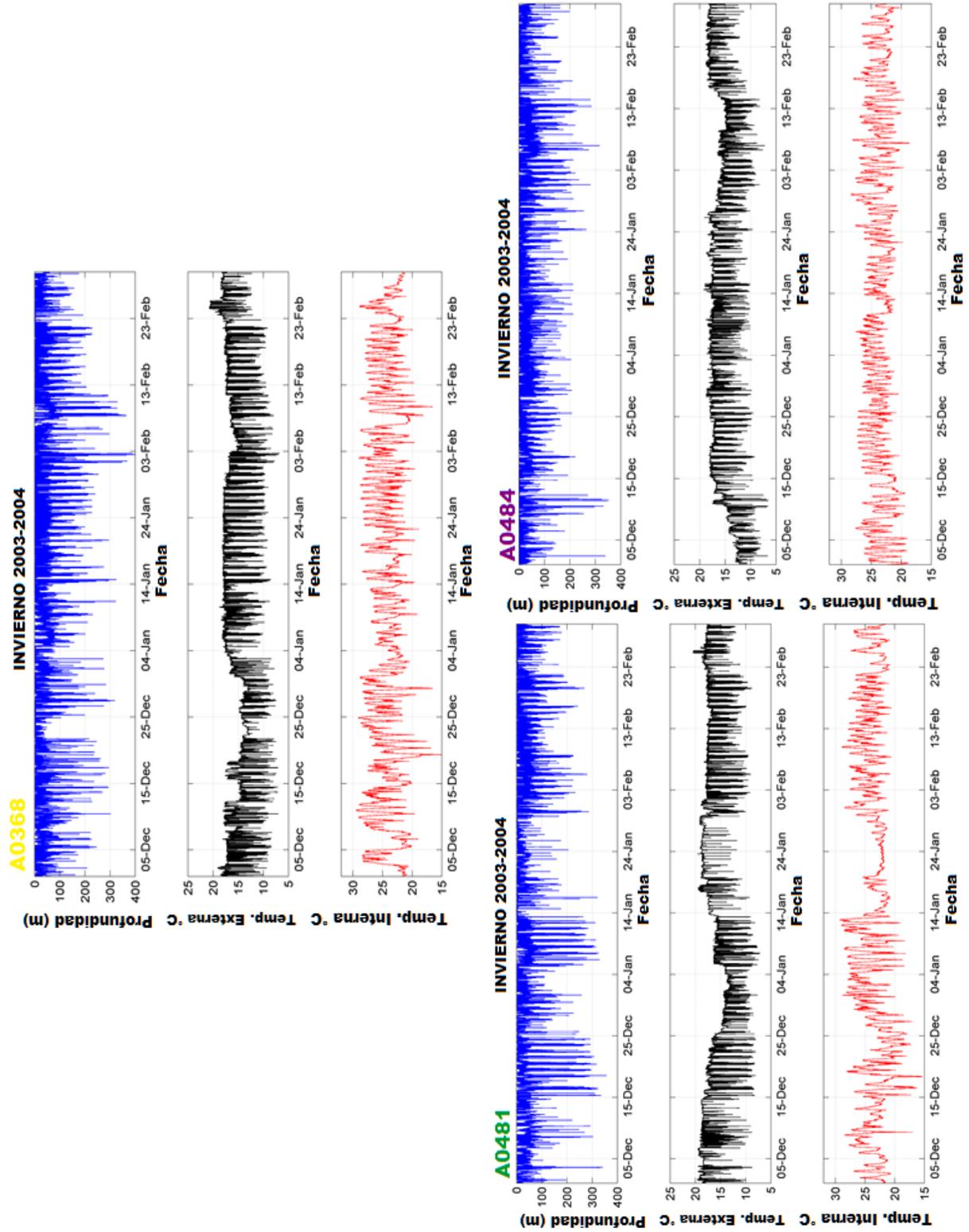


Figura 69. Series de tiempo (INVIERNO 2003-2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

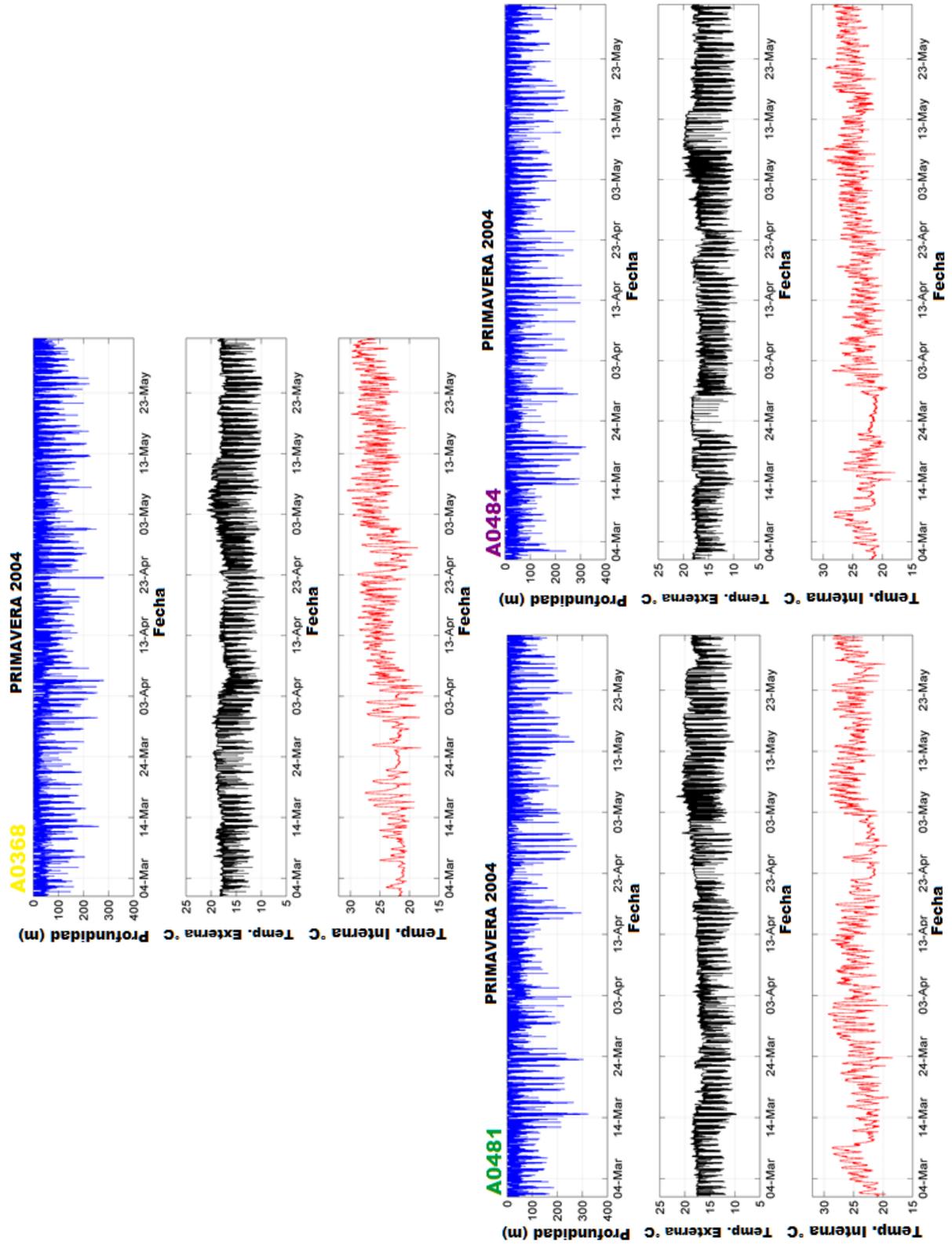


Figura 70. Series de tiempo (PRIMAVERA 2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

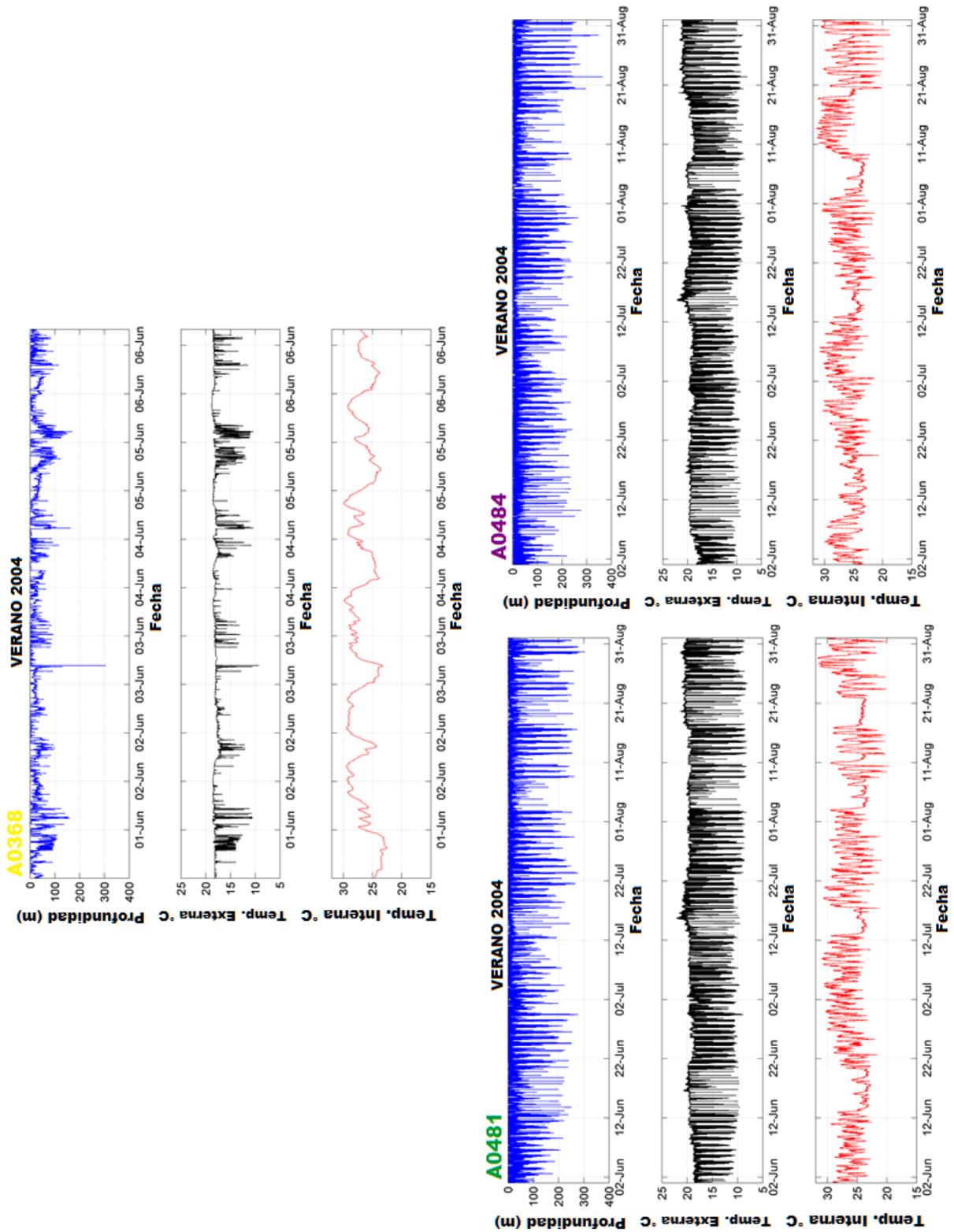


Figura 71. Series de tiempo (VERANO 2004) de tres marcas electrónicas A0368, A0484 y A0481. Referencias para la evaluación y análisis de estudios posteriores.

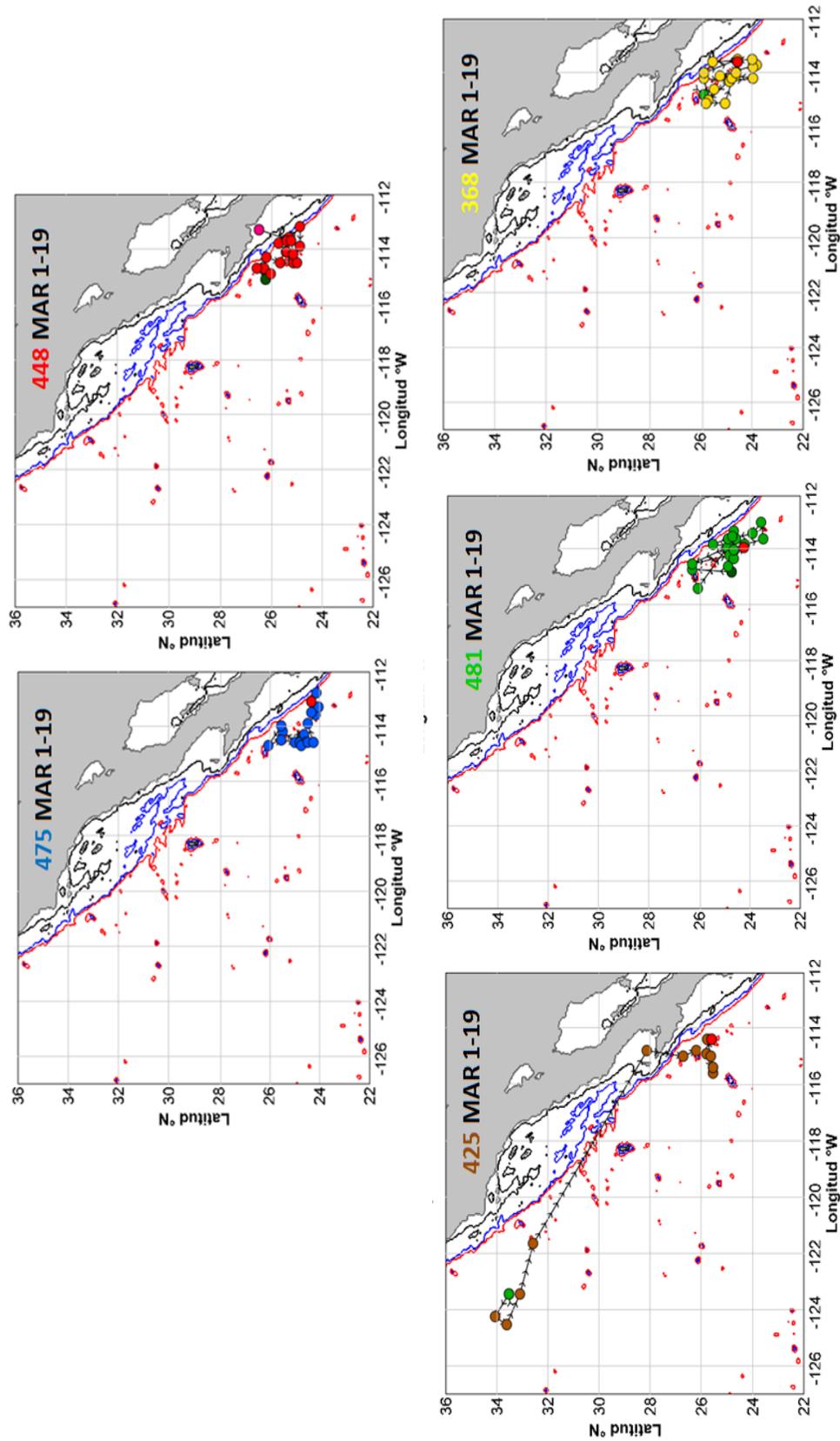


Figura 72. Geo-posiciones de las marcas A0475, A0448, A0425, A0481 y A0368 del 1 al 19 de marzo del 2003.

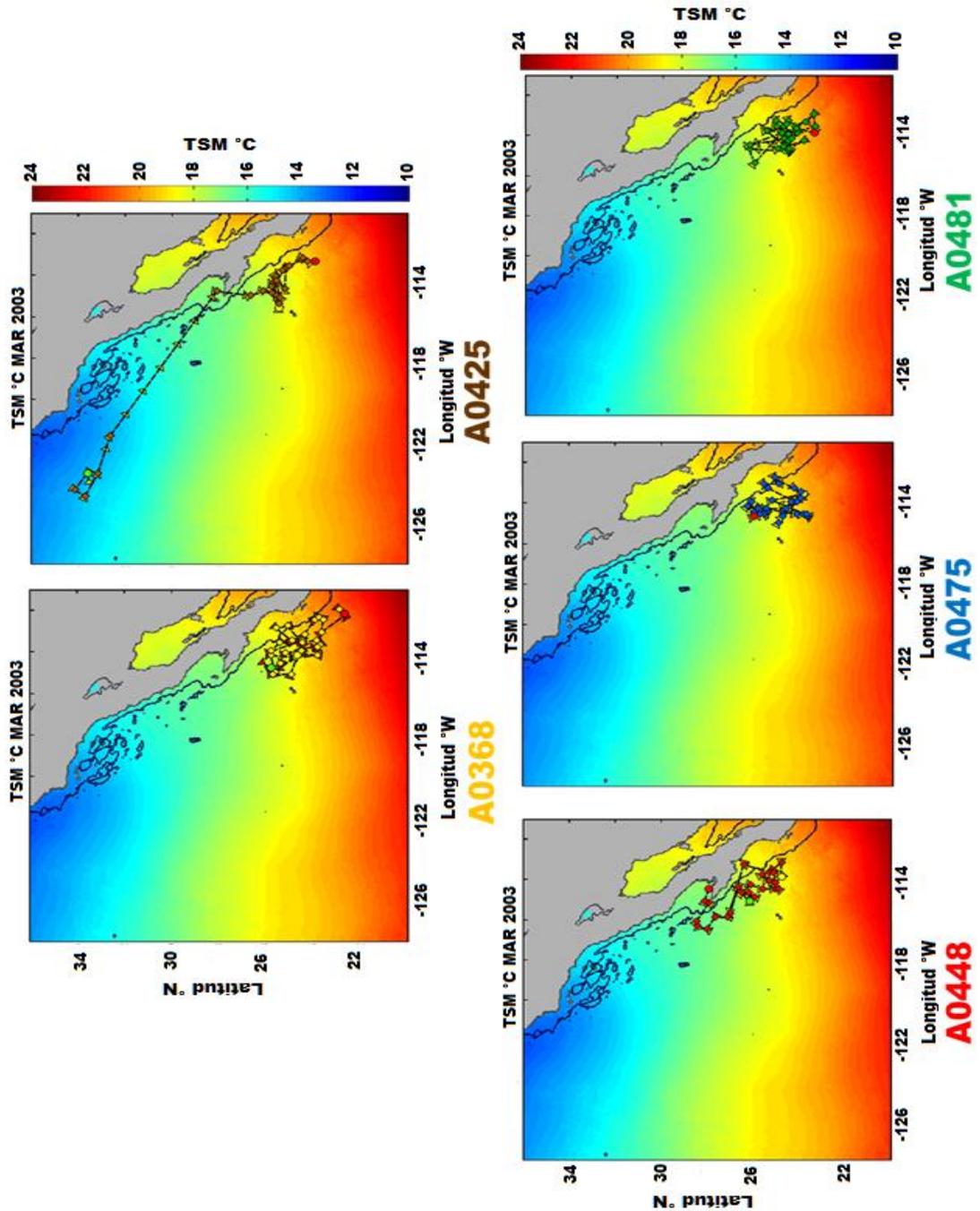


Figura 73. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de marzo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

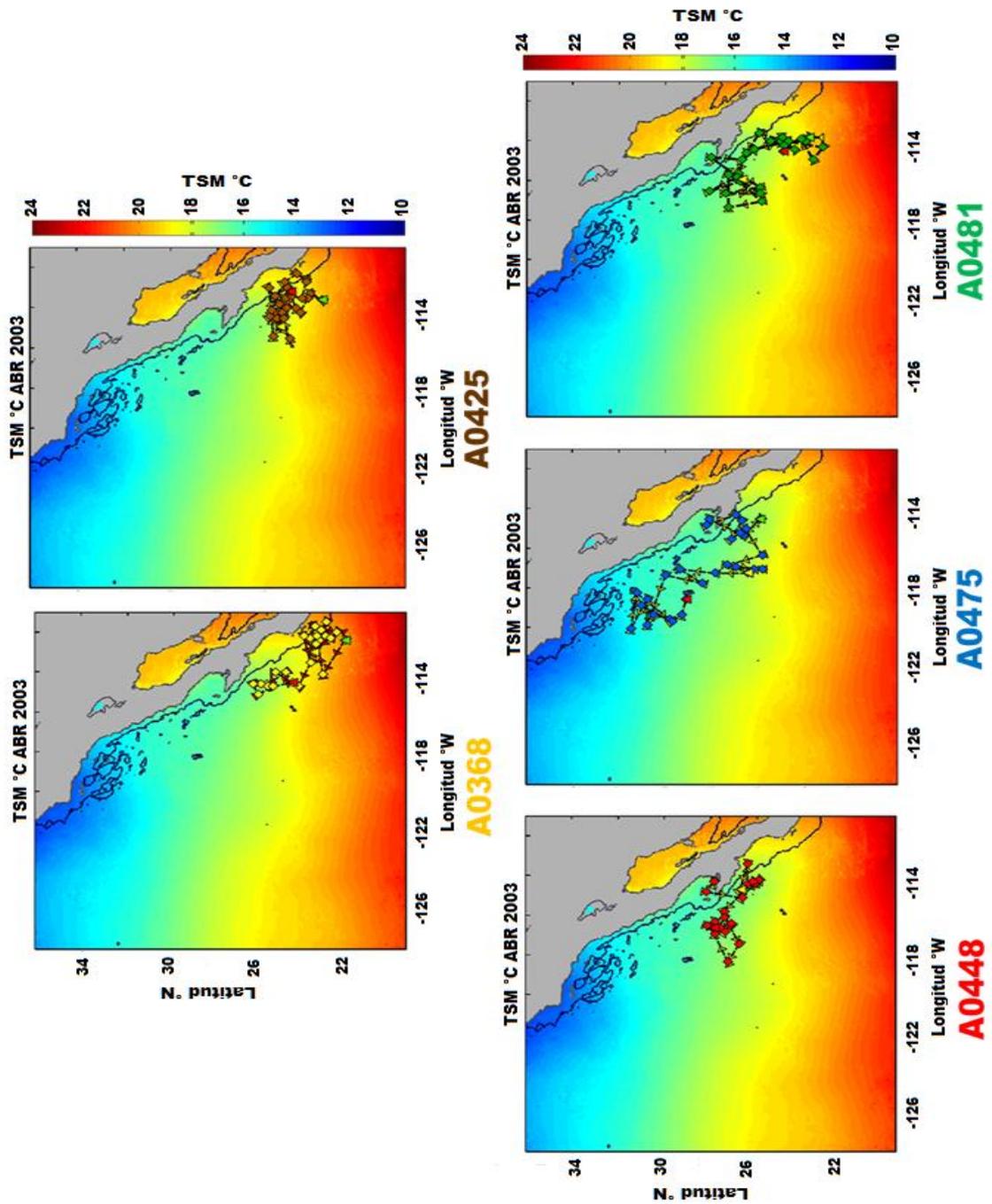


Figura 74. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de TSM de abril 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

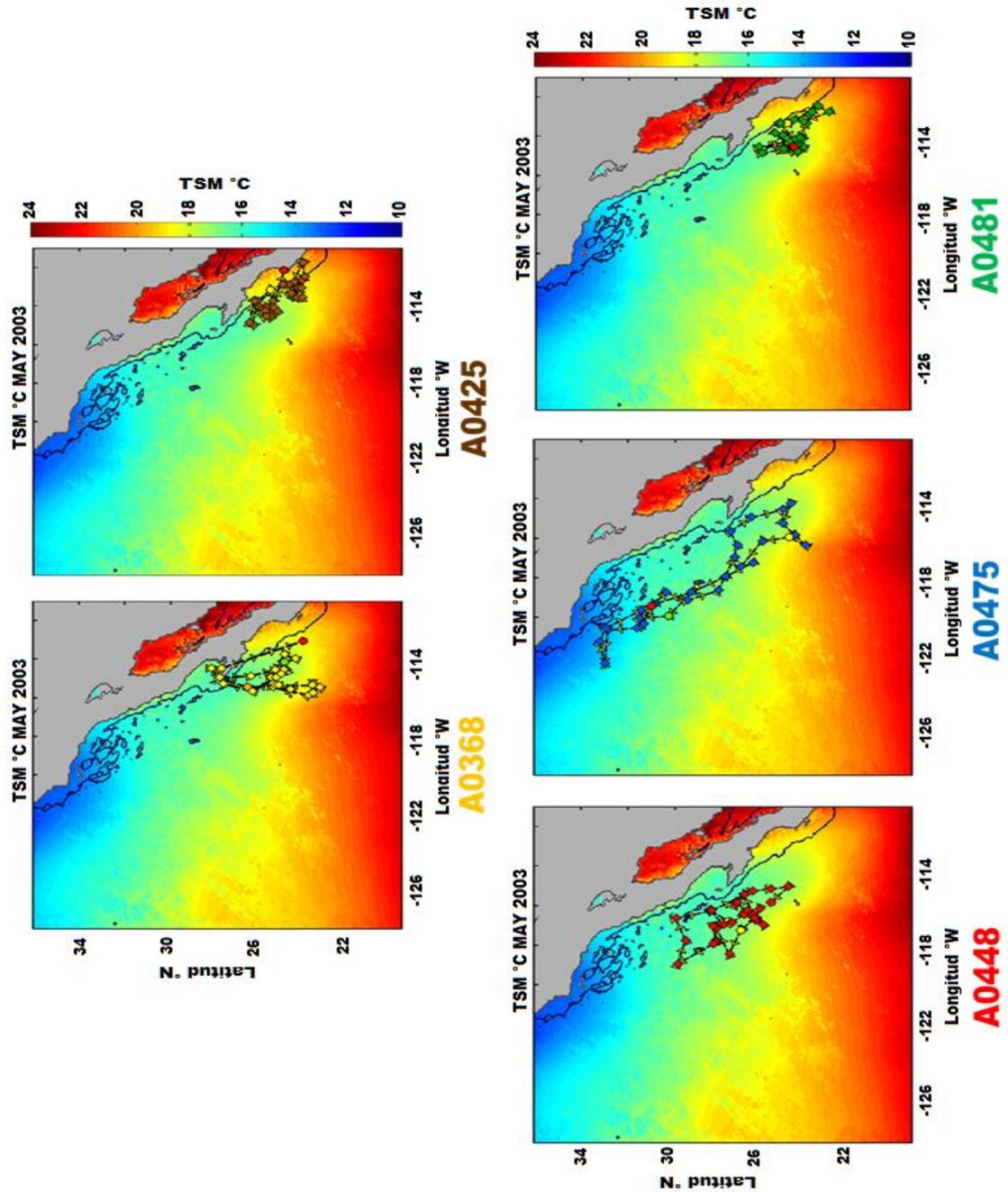


Figura 75. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedio de TSM de mayo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

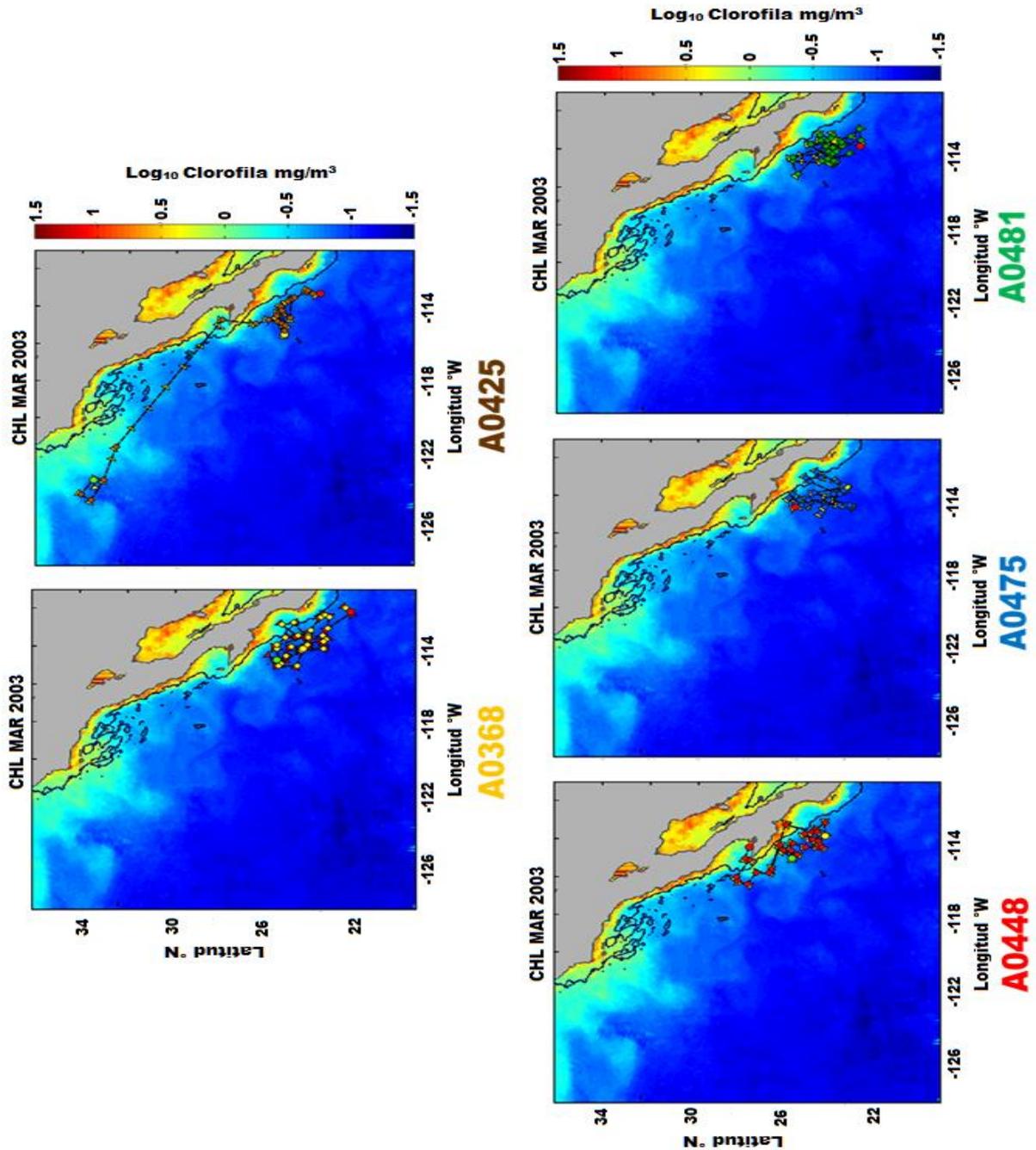


Figura 76. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de CHL de marzo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

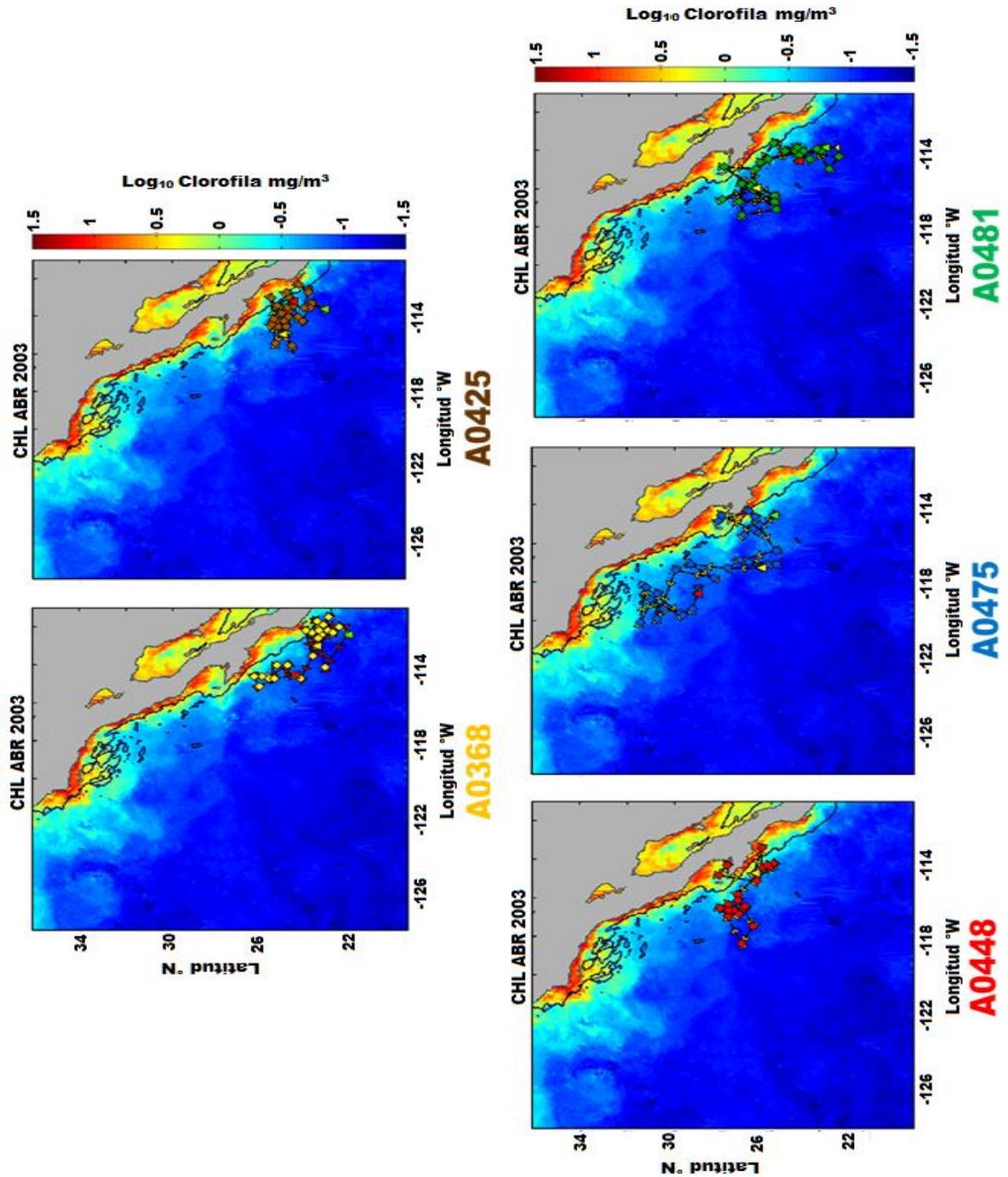


Figura 77. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedios de CHL de abril 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

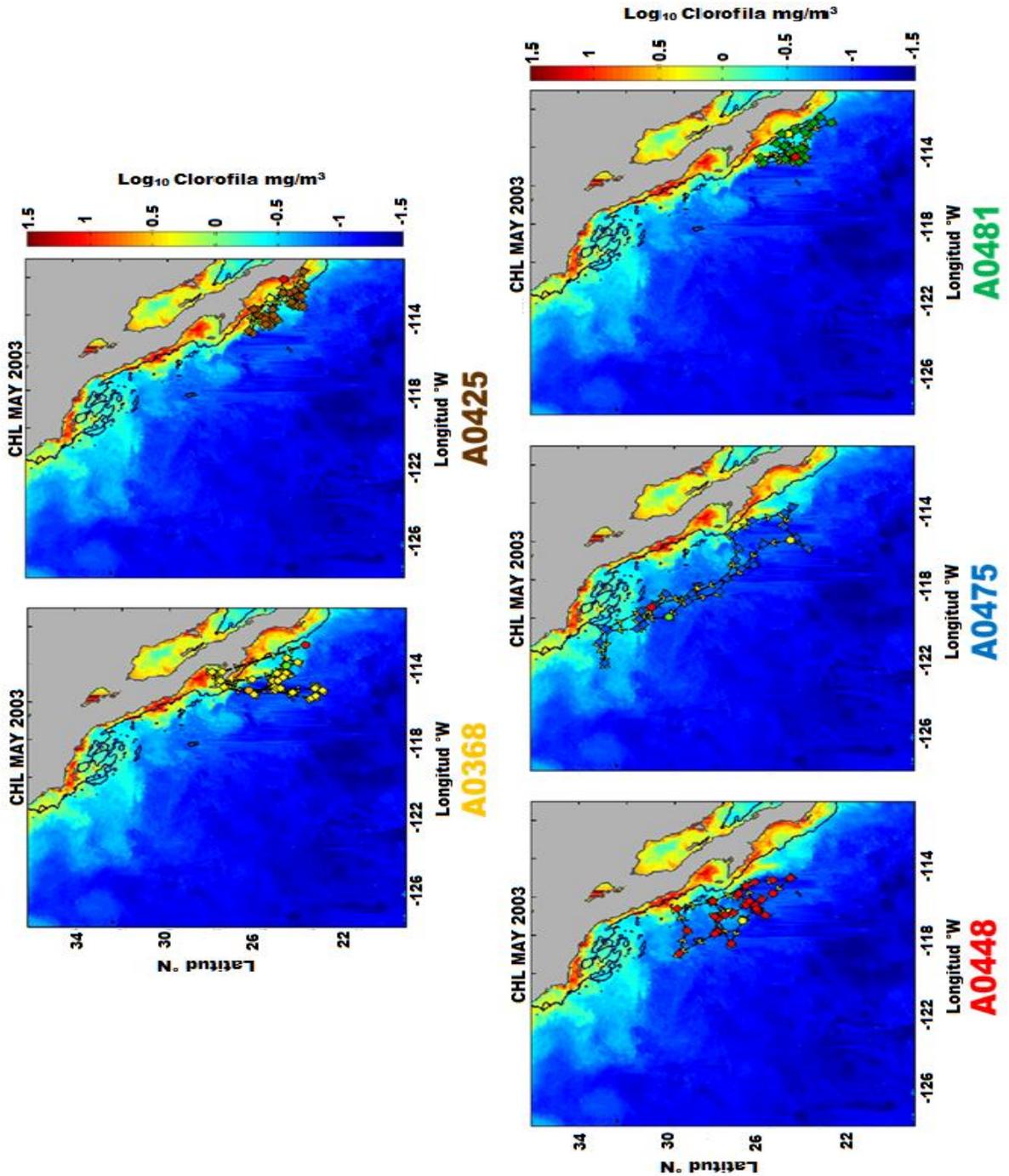


Figura 78. Geo-posiciones de 5 marcas (A0368, A0425, A0448, A0475 y A0481) sobre valores mensuales promedio de CHL de mayo 2003. El círculo verde representa el día primero del mes; el círculo amarillo representa el día 15 del mes; y el círculo rojo representa el día último del mes. El contorno paralelo a la línea de costa en color negro representa una isobata de -1000m.

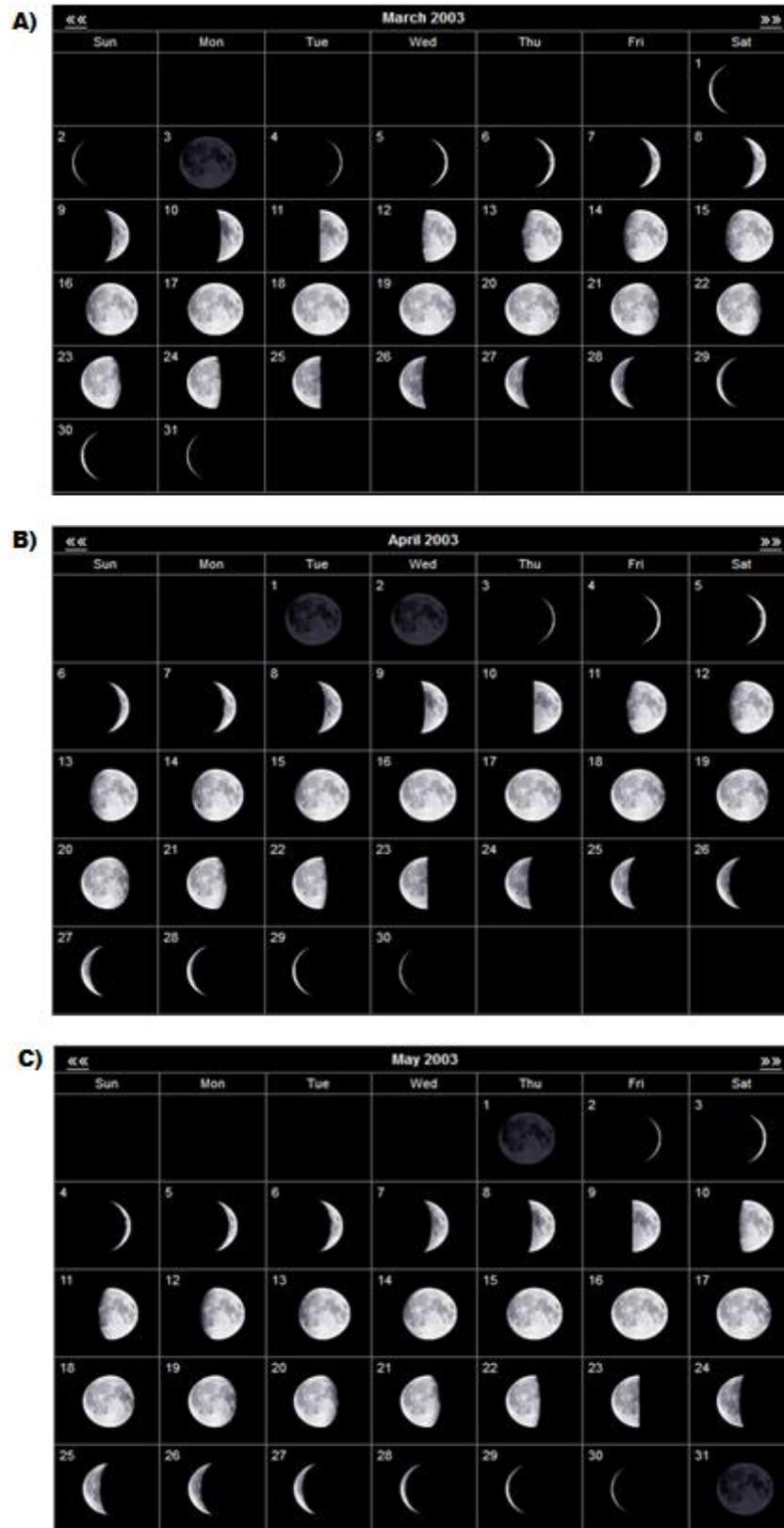


Figura 79. Calendario de fases lunares de los meses de marzo (A); abril (B) y mayo (C) del 2003.

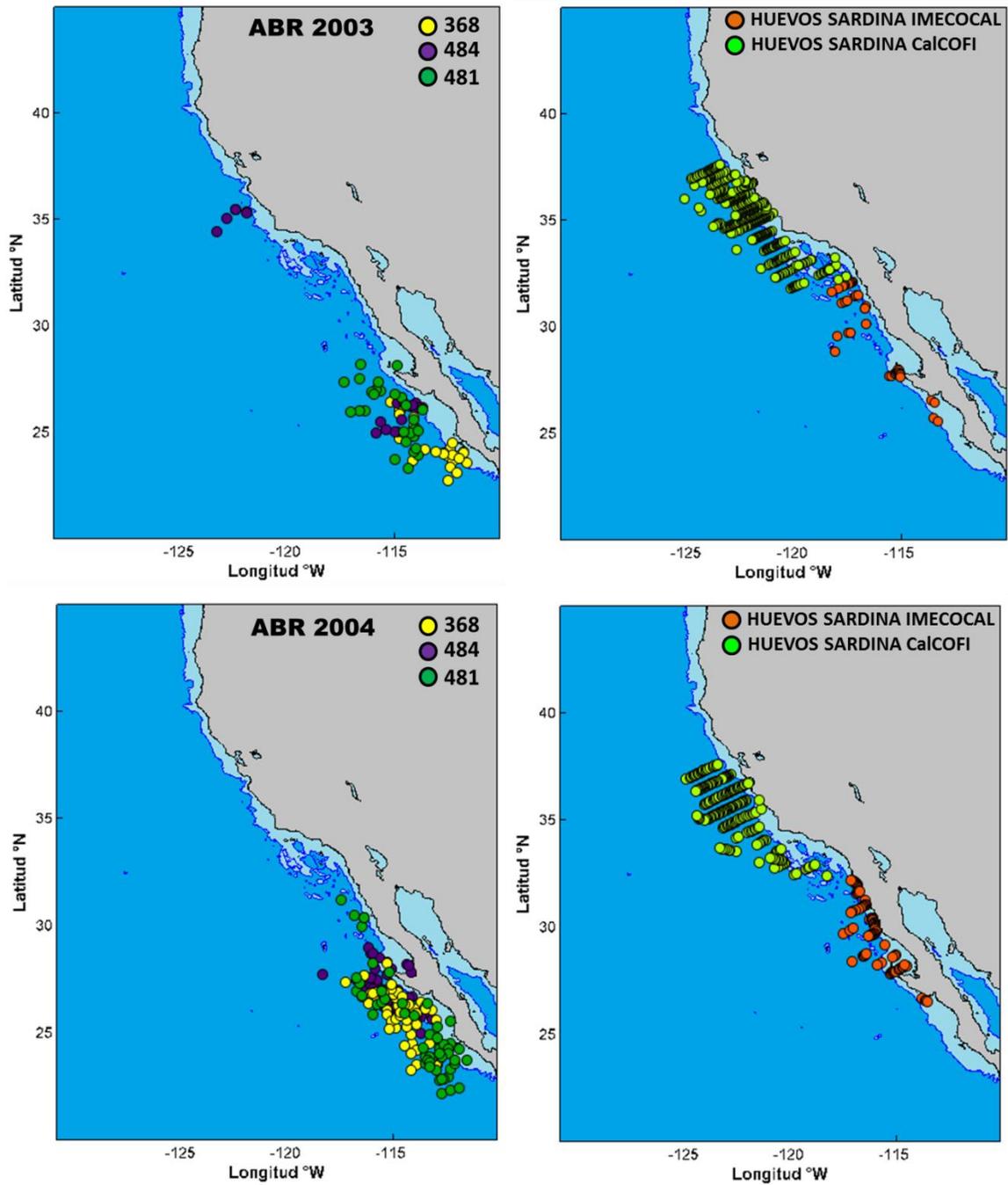


Figura 80. Comparación de la presencia de huevos de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) de las regiones de muestreo de CalCOFI e IMECOCAL con la presencia de 3 marcas de AAAP durante abril 2003 y abril 2004.