

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



---

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

---

**Efectos del Ciclo ENSO sobre el krill: estructura de la  
comunidad de eufáusidos en bahía de Sebastián Vizcaíno,  
Baja California, durante la transición de los fenómenos El  
Niño – La Niña del 2009 – 2011**

Tesis

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

Presenta:  
**Víctor Diego García Rey**

Ensenada, Baja California, México  
2014

Tesis defendida por  
**Víctor Diego García Rey**  
y aprobada por el siguiente Comité

---

Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo  
Directora del Comité

---

Dr. Saúl Álvarez Borrego  
Miembro del Comité

---

Dr. José Gómez Valdés  
Miembro del Comité



---

Dr. Jaime Gómez Gutiérrez  
Miembro del Comité

---

Dra. María Lucila Del Carmen Lares Reyes  
Coordinador del Posgrado en Ecología  
Marina

---

Dr. Jesús Favela Vara  
Director de Estudios de  
Posgrado

*Septiembre, 2014*

Resumen de la tesis que presenta **Víctor Diego García Rey** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina

**Efectos del Ciclo ENSO sobre el krill: estructura de la comunidad de eufáusidos en bahía de Sebastián Vizcaíno, Baja California, durante la transición de los fenómenos El Niño – La Niña del 2009 – 2011**

Resumen elaborado por:

---

**Víctor Diego García Rey**

Con el objetivo de cuantificar la abundancia total y la riqueza específica de eufáusidos a lo largo del ciclo ENSO 2009-2011 en la bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV), se analizaron 37 muestras pertenecientes a 4 cruceros IMECOCAL (noviembre de 2009, abril 2010, octubre 2010 y enero 2011) representativos de la evolución del evento ENSO. Se identificaron, 20 especies y sus respectivas fases de vida, lo que se relacionó con variables ambientales (temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, spiciness) y biológicas (volumen de zooplancton, clorofila-a integrada y abundancia de salpas) encontrando la temperatura superficial como la variable ambiental que más afecta a la composición específica, mientras que la clorofila-a, utilizada como estimador de la abundancia de alimento, no mostró una correlación fuerte con las abundancias de eufáusidos.

La abundancia total de eufáusidos fue mayor en la región oceánica que en aguas neríticas de BSV debido a la baja abundancia de *Nyctiphanes simplex* a lo largo de todo el estudio, pese a ser la especie costera preponderante, esta baja abundancia puede ser el resultado de una escasez de diatomeas, o de otros factores, como el excesivo enfriamiento del hábitat o una alta mortalidad por depredación. Las especies de aguas frías (*E. pacifica* y *T. spinifera*) mostraron una gran variación estacional e interanual respectivamente, mientras que la especie de transición *N. difficilis* se mostró como la especie dominante en la región oceánica.

La abundancia de eufáusidos fue mínima durante la fase intensa de El Niño CP 2009-2010 (representada por el crucero de noviembre de 2009) debido a la baja abundancia de especies de aguas frías y de transición, no compensada por un incremento sustancial de especies tropicales como *E. eximia*, lo que contrasta con lo sucedido en El Niño EP 1997-1998, lo que podría explicarse por las diferencias en la advección de masas de agua entre estos dos tipos de eventos ENSO.

Palabras clave: **zooplancton, krill, Corriente de California, ENSO.**

Abstract of the thesis presented by **Víctor Diego García Rey** as a partial requirement to obtain the Master in Science Degree in Marine Ecology.

**Effects of ENSO Cycle on krill: community structure of euphausiids in Sebastián Vizcaíno Bay, Baja California, during the transition from El Niño - La Niña of 2009-2011**

Abstract by:

---

**Víctor Diego García Rey**

The total abundance and species richness of euphausiids were quantified during the 2009-2011 ENSO cycle in the Bay of Sebastian Vizcaino (BSV) analyzing 37 samples collected from four IMECOCAL oceanographic cruises (November 2009, April 2010, October 2010 and January 2011) representative of the evolution of this ENSO event. I identified and estimate the abundance of 20 species with their different life stages, which were related with several biological environmental variables (temperature, salinity, dissolved oxygen concentration, and spiciness) and (Volume zooplankton, chlorophyll-a concentration, and integrated abundance of salps) to explain temporal and spatial changes in the species composition and abundance of the euphausiids.

The total abundance of euphausiids was higher in the ocean region than the neritic waters of BSV due to the low abundance of *Nyctiphanes simplex* during the entire study despite to be the super-dominant coastal specie, this low abundance can be the result of a scarcity of diatoms, or other factors such as habitat overcooling or high predation. The cold water species (*E. pacifica* and *T. spinifera*) showed a large seasonal and interannual variation respectively, while the transitional specie *N. difficilis* was found to be the dominant specie into the oceanic region.

The abundance of euphausiids was minimal during the intense phase of CP El Niño 2009-2010 (represented by the cruise November 2009) due to the low abundance of cold-water species and transition, not compensated by a substantial increase in tropical species as *E. eximia*, in contrast to what happened in 1997-1998 EP El Niño, which could be explained by differences in the advection of water masses between these two types of ENSO events.

**Keywords: Zooplankton, krill, California Current, ENSO.**

## Dedicatoria

La realización de esta tesis no sería posible sin el apoyo de mi familia, primero, impulsándome a estudiar una carrera tan fascinante como es Ciencias del Mar, haciendo un esfuerzo económico para que nunca me faltara de nada, y más tarde, apoyándome en mi estancia en México para que pudiese hacer de mi pasión, mi profesión.

Especialmente motivantes fueron siempre las conversaciones con mi padre, que en un primer momento no me dejó arrojar la toalla cuando pensaba que me había equivocado de carrera, y más adelante me impulsó a seguir luchando por mis sueños. Ahora me anima a que estudie el doctorado, creo le haré caso pues sus consejos siempre fueron sabios.

Mi madre siempre estuvo ahí para ayudarme, además de ser generosa con el dinero que tanto le cuesta ganar cosechando marisco en las Rías Baixas Gallegas, aunque sé que le duele tenerme tan lejos, tiene que saber que siempre la llevo cerca en el corazón.

Mi hermano, el perfecto hermano mayor, que se preocupa siempre porque el pequeño esté bien, llegando al extremo de regalarme su preciosa computadora Apple® cuando yo tuve problemas con mi anterior máquina. Con esa misma computadora me vine a México preparado para estudiar en esta magnífica institución (lo siento, se estropeó ☹).

A mí 'familia' en México; Javi y Fátima, los dos me recibieron en su casa en Ensenada cuando llegué, y me ofrecen ahora su hospitalidad antes de irme, espero que les vaya muy bien por México, voy a echar de menos a Javi, puesto que desde el 2005, cuando nos conocimos en el primer día de clase en la universidad, hemos sido inseparables, ¡nos vemos pronto hermano!

.....

Y en especial, quería dedicar esta tesis a mi querida Marlies, que pese a vivir en Holanda donde tenía un buen trabajo y una buena vida, lo dejó todo para apostar por nuestro amor y venirse a vivir un año conmigo a Ensenada, dándome siempre fuerzas para seguir adelante...¡cocinándome bien rico!. Espero que haya disfrutado esta experiencia, y que en el futuro podamos tener muchas más aventuras juntos.

## Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a la Dra. Bertha E. Lavaniegos Espejo por ayudarme en la identificación de eufáusidos con su ojo entrenado (sin su ayuda sería muy difícil la identificación) y en la elaboración de esta tesis, transmitiéndome sus conocimientos de la única manera que una bióloga entusiasta como ella es capaz.

Agradezco al Dr. Saúl Álvarez, el Dr. José Gómez y al Dr. Jaime Gómez miembros del Comité de Tesis. Todos participaron activamente en la realización de la tesis e hicieron comentarios, sugerencias y correcciones que sin duda enriquecieron mi trabajo.

Agradezco al CICESE como institución receptora de los estudios, por haberme aceptado en este gran centro y haber permitido que se hiciera real mi sueño de volver a México.

Agradezco al programa IMECOCAL, ya que la presente tesis se realizó con muestras biológicas y datos físicos y químicos generados gracias al proyecto CONACyT 625114 Variabilidad del zooplancton en función de cambios climáticos de diversa escala.

Agradezco a CONACyT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Agradezco a los compañeros y amigos del laboratorio de zooplancton del CICESE: la M.C. Magnolia, que me enseñó el trabajo en el laboratorio, y a mis compañeros de maestría Ofir y Liliana, entre los tres hicimos un gran equipo de trabajo.

Un eterno agradecimiento a todos mis compañeros y amigos que me brindaron su amistad: de CICESE, de escalada, mis compañeros de fútbol, y compañeros de viajes, ¡me lo pasé muy bien con ustedes!!

Agradezco a mis amigos de España (Roberto, David, Sergio, Luis, Julián, Ziri, Pablo, Joaquín, Gonzalo, Raúl, Dani y a sus respectivas mujeres y novias, todos, pese a la distancia, han estado cerca de mí gracias a WhatsApp, Skype, Facebook, Hangouts y demás redes sociales.

Agradezco a M.A Elizabeth Avilés Becerril, por su ayuda con la elaboración del formato final de tesis, su carácter alegre y su discurso motivante.

A toda mi familia; mis abuelos, tíos, primos....un abrazo desde México.

## Tabla de contenido

	página
<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de Figuras</b> .....	viii
<b>Lista de Tablas</b> .....	xi
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	1
1.1 Función ecológica de los eufáusidos.....	1
1.2 El Sistema de la Corriente de California.....	4
1.3 El Niño Oscilación del Sur (ENSO).....	6
1.4 Antecedentes sobre eufáusidos en la región frente a Baja California....	11
<b>Capítulo 2. Objetivos e hipótesis</b>	17
2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Hipótesis.....	17
2.3 Justificación.....	18
<b>Capítulo 3. Materiales y métodos</b>	19
3.1 Área de estudio .....	19
3.2 Trabajo de Campo: recolecta de muestras de zooplancton e hidrocalas.....	23
3.3 Análisis de laboratorio.....	26
3.4 Análisis de datos.....	26
3.4.1 Fuentes de datos.....	27
3.4.2 Análisis estadísticos univariados.....	27
3.4.3 Análisis estadísticos multivariados.....	28
3.4.4 Análisis BIO-ENV.....	29
<b>Capítulo 4. Resultados</b>	31
4.1 Análisis de las condiciones oceanográficas.....	31
4.1.1 Región oceánica.....	32
4.1.2 Región nerítica.....	33
4.1.3 Masas de agua.....	37
4.1.4 Anomalías de temperatura y salinidad.....	38
4.2 Análisis de la composición y abundancia de eufáusidos.....	45
4.2.1 Comparación de abundancias entre los periodos de estudio.....	51
4.3 Análisis de fases de vida.....	54
4.3.1 Comparación de la abundancia entre los periodos de estudio	

por fases de vida.....	55
4.4 Análisis de la comunidad.....	58
4.4.1 Análisis de la similitud entre estaciones de muestreo.....	58
4.4.2 Análisis de la similitud entre especies.....	63
4.4.3 Análisis de los índices de diversidad.....	65
4.5 Relación entre la comunidad de eufáusidos y los factores ambientales.....	66
4.5.1 Región oceánica.....	66
4.5.2 Región nerítica.....	68
4.6 Comparación de las abundancias de 2009-2011 con las del periodo 1950-1982 (Brinton y Townsend, 2003).....	70
<b>Capítulo 5. Discusión.....</b>	<b>72</b>
<b>Capítulo 6. Conclusiones.....</b>	<b>82</b>
<b>Lista de referencias.....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>91</b>

## Lista de figuras

- Figura 1. Estructuras corporales, modificado de Brinton et al. (2000).....2
- Figura 2. Sistema de la Corriente de California mostrando la circulación y regiones, según Checkley & Barth (2009)..... 5
- Figura 3. Series de tiempo de algunos de los índices climáticos usados en el estudio del SCC: el "Pacific Decadal Oscillation" (PDO) en el panel superior, el "Multivariate Enso Index" (MEI) en el panel central y el "North Pacific Gyre Oscillation" (NPGO) en el panel inferior. Figura obtenida de Bjorkstedt et al., 2011..... 9
- Figura 4. Anomalía de temperatura superficial del mar (TSM) promedio para el trimestre diciembre–enero–febrero durante el evento el niño CP 2009–10. Los rectángulos muestran los dominios de la región niño4 (línea sólida) y niño3 (discontinua). Imagen obtenida de Lee & McPhaden, 2010. .... 10
- Figura 5. Distribución de los eufáusidos epipelágicos designados según la masa de agua superficial que habitan, el grupo de especies asociadas al Giro Central del Pacífico Norte (área principal de color verde y línea verde su límite de distribución), grupo de especies subárticas (azul), especies ecuatoriales (rojo), y las especies de transición (naranja). (adaptado de Brinton, 1962)..... 12
- Figura 6. Índice PDO y anomalías de abundancia de *Nyctiphanes simplex* durante el periodo 1950-2003 frente al sur de California (32-35°n), donde se puede apreciar una fuerte relación entre ambas variables y por tanto una fuente de variación decadal para esta especie (tomado de Brinton & Townsend, 2003). ..... 15
- figura 7. Abundancia de eufáusidos, tunicados totales y salpas en BSV durante 1998-2012. Las barras representan las medias geométricas de las estaciones oceanográficas (Lavaniegos, datos no publicados)..... 16
- figura 8. Mapa batimétrico de bahía Sebastián Vizcaíno, BC. En la esquina inferior izquierda se muestra el perfil topográfico de la isla de cedros, proyectada sobre la dirección NW-SE (tomada de Amador-Buenrostro, 1995). .....20
- figura 9. Características hidrográficas de bahía Sebastián Vizcaíno (adaptado de Wyllie, 1960). .....21

## Lista de figuras (continuación)

figura 10. Campo de vientos observado durante septiembre de 1992. Nótese la zona de calmas (sombreada) al sureste de isla de Cedros (Palacios et al., 1996). .....	22
Figura 11. Estaciones de muestreo en BSV donde se seleccionaron las muestras de referencia (ver tabla I). .....	24
figura 12. Perfiles verticales de (a) Temperatura, (b) Salinidad y (c) Oxígeno disuelto. Se muestra el promedio de las estaciones oceánicas de noviembre 2009 (0911), abril 2010 (1004), octubre 2010 (1010) y enero 2011 (1101). .....	31
Figura 13. Perfiles verticales de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto de las estaciones costeras de BSV a lo largo del periodo de estudio. ....	33
Figura 14. Diagramas TS de las estaciones oceánicas.....	39
Figura 15. Diagramas TS estaciones costeras.....	40
Figura 16. Anomalía de temperatura a 10 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011. ....	42
Figura 17. Anomalía de salinidad a 10 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.....	42
Figura 18. Anomalía de temperatura a 10 m de profundidad en bsv respecto al periodo 1997-2011. ....	43
Figura 19. Anomalía de salinidad a 10 m de profundidad en BSV respecto al periodo 1997-2011. ....	43
Figura 20. Anomalía de temperatura a 200 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011. ....	44
Figura 21. Anomalía de salinidad a 200 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.....	44
Figura 22. Composición de especies representadas según la media geométrica en las estaciones oceánicas (superior) y costeras (inferior), siendo n la abundancia total de eufáusidos (ind/1000 m <sup>3</sup> ). .....	50

## Lista de figuras (Continuación)

- Figura 23. Abundancia media e intervalo de confianza (95%) de los eufáusidos oceánicos según la fase de vida. Nótese la escala logarítmica en el eje Y.....54
- Figura 24. Abundancia media e intervalo de confianza (95%) de los eufáusidos costeros de BSV según la fase de vida. Nótese la escala logarítmica en el eje Y.....55
- figura 25. Dendograma de similitud entre estaciones. Se muestran los tres conglomerados válidos según la prueba SIMPROF (A, B, C), que a la vez fueron divididos en subgrupos. Los símbolos denotan a que crucero y región pertenece cada estación.....58
- Figura 26. Medias geométricas de abundancia por conglomerado de las especies dominantes de eufáusidos.....60
- Figura 27. Resultados de la contribución a la similitud de los grupos obtenida por la prueba SIMPER realizada con respecto al factor clúster (Figura 25). .....61
- Figura 28. Dendograma de similitud entre especies de eufáusidos basado en abundancias de 20 especies y 37 muestras colectadas en el periodo 2009-2011, en los recuadros se observan el grupo central con las especies más frecuentes.....61
- Figura 29. Ordenación MDS de las estaciones de estudio (parte superior crucero y ambiente, parte inferior izquierda el factor ambiente y parte inferior derecha el factor T<sup>a</sup> a 10m). .....64
- Figura 30. Histograma del test de permutaciones para el BIO-ENV de las estaciones oceánicas. ....68
- Figura 31. Histograma del test de permutaciones para el BIO-ENV de las estaciones costeras.....70
- Figura 32. Comparación de abundancias de primaveras registradas por Brinton & Townsend (2003) en sus estaciones de los cruceros en Baja California central con las abundancias registradas en los cruceros IMECOCAL para la zona de estudio (línea horizontal representa el valor promedio). .....72

## Lista de Tablas

- Tabla 1. Muestras de zooplancton del programa IMECOCAL en el periodo y lugar de estudio, indicando las características de las estaciones oceanográficas. Las estaciones oceánicas están en azul y el sombreado indica cuales fueron recolectas nocturnas. ....25
- Tabla 2. Relación de especies identificadas en los 4 cruceros del estudio con el número de muestras en las que estuvieron presentes (el número total de muestras analizadas por crucero se encuentra entre paréntesis).....45
- Tabla 3. Abundancia media, mediana y media geométrica (ind/1000 m<sup>3</sup>) de las especies de eufáusidos de la región oceánica. Se destacan en negrita valores superiores a 1000 ind/1000 m<sup>3</sup> y la especie a la que pertenecen.....46
- Tabla 4. Abundancia media, mediana y media geométrica (ind/1000 m<sup>3</sup>) de las especies de eufáusidos en las estaciones costeras de BSV. Se destacan en negrita valores superiores a 1000 ind/1000 m<sup>3</sup> y la especie a la que pertenecen. ....48
- Tabla 5. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las especies dominantes de eufáusidos en la región oceánica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N=3 en cada uno de los cuatro cruceros analizados. ....52
- Tabla 6. Comparación de las abundancias de las especies dominantes en las estaciones costeras de BSV, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N=7 en los cruceros 0911, 1004 y 1101; n=4 en el crucero 1010.....53
- Tabla 7. Test U de Mann-Whitney para comprobar entre que cruceros hay diferencias significativas en las abundancias de las especies destacadas en la tabla 5. ...53
- Tabla 8. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las fases de vida en la región oceánica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N =3 en cada uno de los cuatro cruceros analizados.....56
- Tabla 9. U de Mann-Whitney comparando abundancias de caliptopis oceánicos entre pares de cruceros.....56

## Lista de Tablas (Continuación)

Tabla 10. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las diferentes fases de vida en las estaciones costeras de BSV, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N = 7 en los cruceros 0911, 1004 y 1101; n = 4 en el crucero 1010. ....	56
Tabla 11. Test U de Mann-Whitney comparando abundancias de caliptopis costeros entre cruceros.....	57
Tabla 12. Prueba U de Mann-Whitney comparando abundancias día/noche en las diferentes estaciones costeras .....	57
Tabla 13. Índices de diversidad siendo: S = número especies; N = número de individuos; D = riqueza de especies de Margalef y J'= uniformidad de pielou.	65
tabla 15. Variables utilizadas en el análisis BIO-ENV para el ambiente oceánico.....	67
tabla 16. Resultados de la selección de variables ambientales de la prueba BIO-ENV para explicar la abundancia de eufáusidos en el ambiente oceánico.....	68
tabla 18. Variables utilizadas en el análisis BIO-ENV para las estaciones costeras. ....	69
tabla 19. Resultados de la selección de variables ambientales de la prueba BIO-ENV para explicar la abundancia de eufáusidos del ambiente costero. En color negro los mejores ajustes arrojados por el BIO-ENV, en color azul los análisis hechos para variables ambientales por separado. ....	70

# Capítulo 1. Introducción

---

La costa occidental de la península de Baja California, y particularmente la región de la bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV), es una área donde gran parte de la producción económica se sustenta de la actividad pesquera (Mancilla-Peraza, Palacios-Hernández y López-Castillo, 1993). Por esta razón, es imprescindible que la actividad pesquera esté apoyada en estudios científicos que permitan valorar el estado estructural y funcional del ecosistema para inferir el potencial uso que se le pueden dar a los recursos renovables. El zooplancton es uno de los elementos que influencia la disponibilidad espacio-temporal de organismos objeto de las capturas pesqueras (i.e. las especies de peces pelágicos menores) ya que es su principal fuente de alimento. Los eufáusidos (Orden Euphausiacea), comúnmente conocidos como krill, por su capacidad de formar densas agregaciones son un componente relevante en la trama trófica de la región (Santora, Sydeman, Schroeder, Wells, & Field, 2011).

## 1.1 Función ecológica de los eufáusidos

Los eufáusidos son crustáceos de vida pelágica con una morfología similar a la de los camarones (Brinton, 1996). Todas las 86 especies descritas hasta ahora son marinas (de las cuales 81 especies se encuentran en el océano Pacífico (Letessier, Cox, & Brierley, 2011)). La longitud total máxima de los adultos de krill varía principalmente en un rango de 8 a 35 mm (aunque existen unas pocas especies mesopelágicas y batipelágicas de los géneros *Bentheuphausia* y *Thysanopoda* que llegan a alcanzar tallas de hasta 150 mm).

Los Euphausiacea, Amphionidacea y Decapoda son los tres Órdenes de la Subclase Eucarida y Clase Malacostraca (Mauchline & Fischer, 1969). Estos Órdenes poseen un caparazón fusionado con todos los segmentos torácicos, un pequeño corazón en el tórax, un órgano digestivo ramificado (hepatopáncreas) y carecen de oostegitos. Las características morfológicas distintivas de los Euphausiacea son (Figura 1): branquias expuestas, exopodito de las maxilas reducido, fotóforos complejos móviles, desarrollo larval con morfología característica (caliátopis y furcilia), presencia de 5 segmentos cefálicos fusionados, 8 segmentos torácicos fusionados y 6 segmentos abdominales.

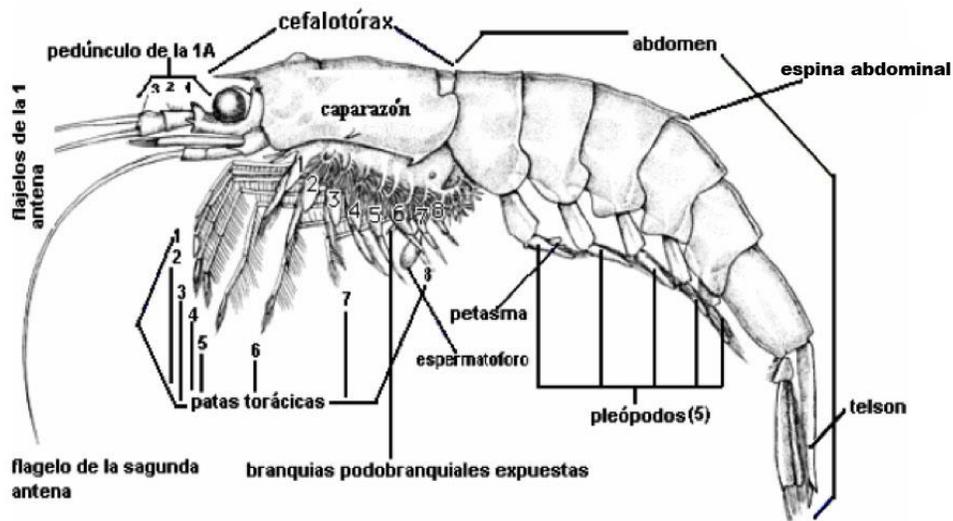


Figura 1. Estructuras corporales de los eufáusidos, modificado de (Brinton, Ohman, & Townsend, 2000).

Los eufáusidos se reproducen sexualmente y en la mayoría de especies tienen dimorfismo morfológico debido a que los machos poseen una estructura sexual llamada petasma ubicada en el endopodito del primer par de pleópodos. Su función se presume sensorial con el fin de colocar el espermatóforo en el télico de la hembra. También en algunas especies es posible diferenciar algunas otras estructuras morfológicas con dimorfismo sexual secundarios, como por ejemplo el pedúnculo de la primera antena llamado lapeta, como por ejemplo la especie *Euphausia recurva* en el que el macho lo tiene más desarrollado que la hembra (Brinton et al., 2000).

Las hembras de la mayoría de especies desovan directamente en la columna de agua (géneros *Euphausia*, *Thysanoessa*, *Nematobrachion*, *Tessarabrachion*, *Bentheuphausia*), mientras que en otras especies las hembras desovan sus huevos colocándolos en sacos ovígeros (géneros *Bentheuphausia*, *Nematoscelis*, *Nyctiphanes*, *Pseudeuphausia* y *Stylocheiron*).

Los crustáceos crecen realizando mudas de su exoesqueleto y los eufáusidos continúan su crecimiento durante todo su ciclo de vida, aún durante la fase adulta. Los

eufáusidos atraviesan durante su desarrollo ontogenético por las siguientes fases larvarias: nauplio, metanauplio, caliotopis y furcilia, antes de llegar a la fase juvenil y después de madurar sexualmente a la adulta.

Los eufáusidos se alimentan fundamentalmente de fitoplancton y microzooplancton (principalmente ciliados y nauplios de copépodos), aunque también pueden consumir nieve marina y zooplancton más grande como larvas de peces (Theilacker, Lo, & Townsend, 1993; Dilling, Wilson, Steinberg, & Alldredge, 1998). Los eufáusidos son un componente relevante dentro de las tramas tróficas marinas por su abundancia y su relativo gran tamaño dentro del zooplancton. Asimismo, múltiples especies forman grandes agregaciones, enjambres e incluso cardúmenes, particularmente en regiones frías y con alta productividad primaria, como el Océano Antártico, y en ecosistemas de surgencias de sistemas de borde oriental, como la Corriente de California (Loeb, Hofmann, Klinck, Holm-Hansen, & White, 2008).

La mayoría de especies de eufáusidos realizan migraciones verticales diarias en la columna de agua. Durante las horas nocturnas la población generalmente se ubica cerca de la superficie y durante el día efectúan migraciones descendentes cuyo alcance en profundidad varía según la especie y en función de las variables ambientales, distribución de sus depredadores y topografía de la región (Brinton, 1967b).

Existen especies con patrones de distribuciones neríticas (p. ej. *Nyctiphanes simplex* y *Euphausia lamelligera*) pero la mayoría de las especies son oceánicas. De acuerdo con Brinton (1996), las especies oceánicas pueden dividirse por su distribución batimétrica en especies: Epipelágicas (desde la superficie hasta los 400 m), Mesopelágicas (desde los 200 – 700m) y Batipelágicas (700-2000 m).

## 1.2 El Sistema de la Corriente de California

El Sistema de la Corriente de California (SCC) está formado por varias corrientes: la Corriente de California (CC) (Figura 2) es el brazo oriental del Giro Subtropical del Pacífico Norte (con circulación anticiclónica de gran escala). La CC es una corriente relativamente lenta y superficial de poco grosor (<300 m), que transporta agua en dirección al ecuador durante todo el año a lo largo de la costa oeste de América del Norte; desde Vancouver, Canadá (50°N), hasta Cabo San Lucas, Baja California (23°N) (Hickey, 1979). Tiene una velocidad promedio menor de 25 cm/s (Lynn & Simpson, 1987).

La Contracorriente Subsuperficial de California (CSC) es una corriente subsuperficial (200-400m) que se origina en el Pacífico Este Ecuatorial y fluye en dirección al polo a lo largo del talud continental de la costa de Norte América (Durazo, Ramírez-Manguilar, Miranda, y Soto-Mardones, 2007; Lynn & Simpson, 1987; Sverdrup & Fleming, 1941).

Además de estas dos corrientes existe un flujo costero hacia el polo (0-150 km) que se presenta estacionalmente durante otoño e invierno (Lynn & Simpson, 1987). Este flujo es denominado Contracorriente Costera Superficial o Contracorriente de Davidson (CD) y se origina por el desprendimiento de una corriente de la CC que produce recirculación en forma de remolino (Southern California Eddy). La influencia de la CD va desde el norte de la península de Baja California hasta aproximadamente los 40°N.

Checkley & Barth (2009) dividen al SCC en 3 regiones (norte, central y sur) cuyos límites corresponden aproximadamente con Cabo Mendocino y Punta Concepción respectivamente (Figura 2). Sin embargo, también al sur de Punta Baja (30°N) existen relevantes diferencias regionales en las características hidrográficas y la biota marina (Lavaniegos, 2009; US GLOBEC, 1994).

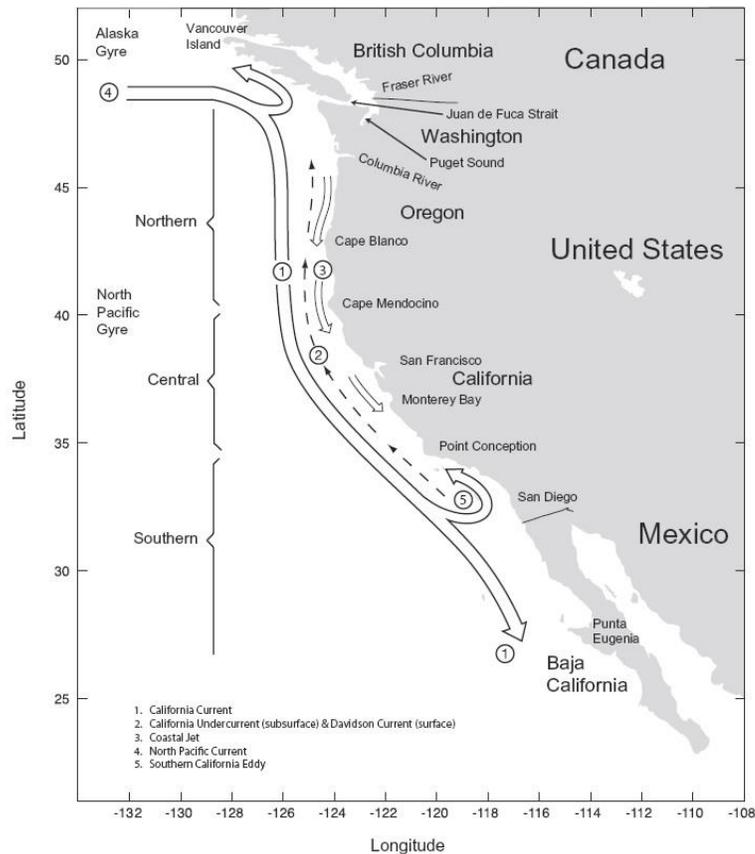


Figura 2. Sistema de la Corriente de California mostrando la circulación y regiones, según Checkley & Barth (2009).

El SCC está forzado por vientos de gran escala asociados con tres sistemas de presión atmosférica: Alta Presión del Pacífico Norte, Baja Presión Aleutiana y el Sistema térmico de Bajas Presiones que va desde California central al norte de México. Existe una considerable variación estacional e interanual en la ubicación e intensidad de los centros de altas y bajas presiones que ocasiona una gran variabilidad en la dirección, intensidad y duración de los vientos. La intensidad de los vientos en combinación con la duración y topografía de la línea de costa ocasiona diferentes episodios de surgencias particularmente intensos en primavera y principios del verano (Huyer & Smith, 1978). No obstante, debido al balance geostrófico en la atmósfera son los vientos del norte los dominantes a lo largo del año en la costa occidental de la península de Baja California.

Las surgencias costeras ocasionadas por los vientos acarrearán aguas frías ricas en nutrientes desde las profundidades subsuperficiales a la superficie, esto causa que el

SCC sea altamente productivo, manteniendo una biomasa epipelágica relativamente elevada. Kamykowski & Zentara (1986), encontraron que la concentración de nitrato está inversamente relacionado con la temperatura, por lo que mientras más profunda es la fuente de agua de las surgencias costeras se produce una mayor fertilización del ecosistema. En primavera se producen las surgencias costeras más intensas asociadas al forzamiento de los vientos que también repercuten en la intensificación de la Corriente de California. La transición a la primavera causa un profundo efecto en los ecosistemas norte y central aunque el momento en que se produce puede variar estacionalmente, interanualmente y en otras escalas de mayor duración (Checkley & Barth, 2009).

### **1.3 El Niño Oscilación del Sur (ENSO)**

La variabilidad interanual dentro del SCC está dominada por el fenómeno conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENSO) (Checkley & Barth, 2009). El término El Niño fue usado en un principio por los pescadores de la costa de Perú, para designar la ocurrencia anómala de una corriente cálida que fluía dirección hacia el polo a lo largo de las costas de Perú y Ecuador. Dicho proceso climático-oceanográfico solía producirse en Navidad, por ese motivo fue nombrado como “El Niño Jesús” (McPhaden, 1999). Posteriormente se definió como el calentamiento oceánico de larga escala que ocurre en el Pacífico tropical cada pocos años, el cual guarda una relación con la Oscilación del sur entre las presiones atmosféricas en la parte centro-oriental del Pacífico Sur (al este de Tahití) y el Océano Índico (al oeste de Darwin, Australia) (McPhaden, 2002).

Bjerknes (1969) reconoció que existe una interacción estrecha entre El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO) y que por lo tanto son dos etapas diferentes del mismo fenómeno y propuso que una retroalimentación positiva océano-atmosfera relacionada con la circulación Walker es la causa del ENSO. La circulación Walker consiste en una celda de circulación atmosférica con vientos alisios superficiales circulando de este a oeste a lo largo del Océano Pacífico tropical, produciendo el ascenso de aire caliente en

el Pacífico tropical oeste. En el nivel superior de la atmósfera los vientos fluyen en sentido contrario (de oeste a este) cerrando el ciclo con el aire que vuelve con menor temperatura y humedad a la superficie del Pacífico oriental tropical (Wang et al., 2012). Así, una anomalía inicial positiva de la temperatura superficial del mar (TSM) reduciría el gradiente de TSM este-oeste debilitando la circulación Walker resultando en vientos alisios más débiles a lo largo del ecuador (Gill, 1980). Los vientos alisios más débiles, a su vez, ocasionan cambios en la circulación del océano que refuerzan aún más la anomalía positiva de TSM. Esta retroalimentación positiva conduce al Pacífico ecuatorial a una fase cálida (El Niño). A la fase cálida del ENSO le sigue una fase anómalamente fría (La Niña).

Los efectos del ENSO se extienden más allá del Pacífico tropical (aunque fue ahí donde fue originalmente descubierto) teniendo considerable influencia en la hidrografía y dinámica del SCC (Dever & Winant, 2002; Simpson, 1984) en la estructura de la comunidad pelágica y en sus niveles de producción biológica. Los efectos de El Niño dentro del SCC incluyen el calentamiento superficial del mar, aumento en la salinidad, disminución de la intensidad y duración de las surgencias y elevación del nivel del mar. También se incrementa el transporte advectivo superficial en dirección al polo cerca de la costa por ondas de Kelvin atrapadas en la costa y una inusualmente intensa CSC.

Los periodos de El Niño transportan hacia el norte agua cálidas y con elevada salinidad a la región del SCC (Bograd, Chereskin, & Roemmich, 2001) lo cual amplía hacia el norte la distribución de especies tropicales como el eufáusido endémico de los márgenes fríos del Pacífico Oriental Tropical *Euphausia eximia* (Ambriz-Arreola & Lavaniegos, 2007; Brinton & Reid, 1986; Gómez-Gutiérrez et al., 1995). Esta especie es un efectivo indicador biogeográfico de la llegada de aguas cálidas del suroeste durante el fenómeno de El Niño a la región de la costa occidental de la península de Baja California (Brinton & Townsend, 2003; Lavaniegos & Ambriz-Arreola, 2012).

La Niña tiene efectos opuestos a los de El Niño y ambos constituyen el ciclo del ENSO (ver índice MEI en Figura 3). Debido a la intensificación de los vientos del noroeste la CC se intensifica durante La Niña transportando un mayor volumen de agua subártica,

con alta concentración de nutrientes, baja salinidad y baja temperatura (Checkley & Barth, 2009). También se intensifican los eventos de surgencia costeras y por tanto incrementan la productividad primaria seguida por un aumento de la producción secundaria y los otros componentes de la trama trófica. Las especies templadas responden rápidamente incrementando abundancia en los sectores norte del SSC pero extendiendo su distribución hacia el sur hacia la región de la costa occidental de la península de Baja California. Existe un desfase en su recuperación debido al cambio radical de la comunidad tropical que resulta afectada por las bajas temperaturas. Durante los eventos fríos (La Niña e intrusiones de agua subárticas) se produce un incremento de las especies de eufáusidos de “transición” (*Euphausia gibboides*, *Nematoscelis difficilis* y *Thysanoessa gregaria*) además de las especies subárticas *Euphausia pacifica* y *Thysanoessa spinifera* (Lavaniegos & Ambriz-Arreola, 2012) (Figura 5).

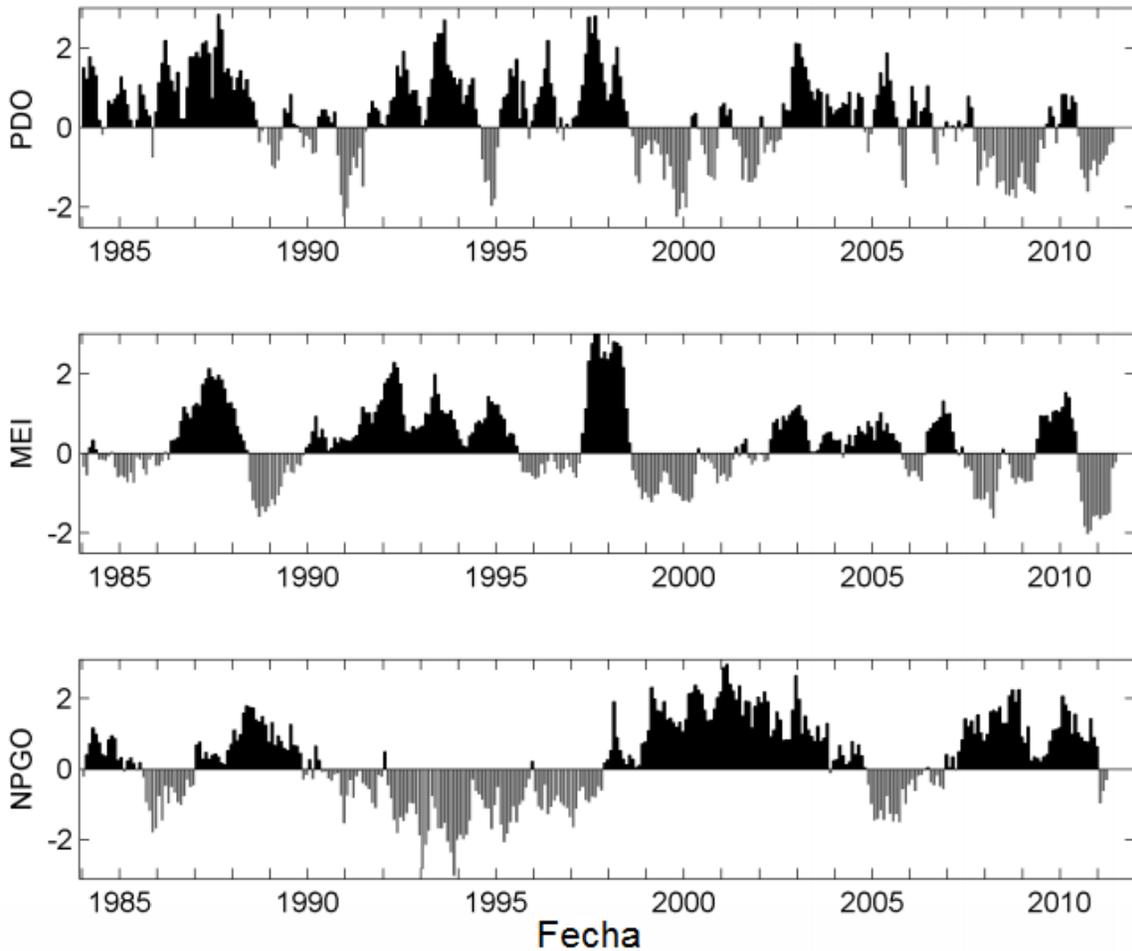


Figura 3. Series de tiempo de algunos de los índices climáticos usados en el estudio del SCC: el "Pacific Decadal Oscillation" (PDO) en el panel superior, el "Multivariate ENSO Index" (MEI) en el panel central y el "North Pacific Gyre Oscillation" (NPGO) en el panel inferior. Figura obtenida de Bjorkstedt et al. (2011).

En las últimas décadas se han incrementado en número y frecuencia las mediciones oceanográficas y meteorológicas y ha habido un avance teórico sobre los mecanismos que subyacen en el ENSO. Trabajos recientes (Di Lorenzo et al., 2010; Kao & Yu, 2009; Lee & McPhaden, 2010) mencionan la existencia de dos posibles tipos de El Niño: El Niño canónico o EP ("Eastern-Pacific ENSO") con sus anomalías de TSM centradas en el Pacífico ecuatorial oriental, cerca de la costa de Sudamérica y otro tipo de El Niño, El Niño CP ("Central-Pacific ENSO" también llamado "warm-pool El Niño", "dateline El Niño" o "El Niño Modoki") que tiene su centro de anomalías de TSM confinadas al Pacífico Central.

Cuando el Océano Pacífico Tropical interactúa con la circulación de Walker produciría El Niño EP (relacionado con la variación de la termoclina), pero si interactúa principalmente con la Circulación atmosférica de Hadley produciría El Niño CP (relacionado con el forzamiento atmosférico).

Kao & Yu (2009) advirtieron que en los últimos años, el calentamiento global, podría estar ocasionando una mayor frecuencia de El Niño CP, ya que han estado aumentando en el presente siglo mientras que la ocurrencia de El Niño EP se ha presentado con menor frecuencia.

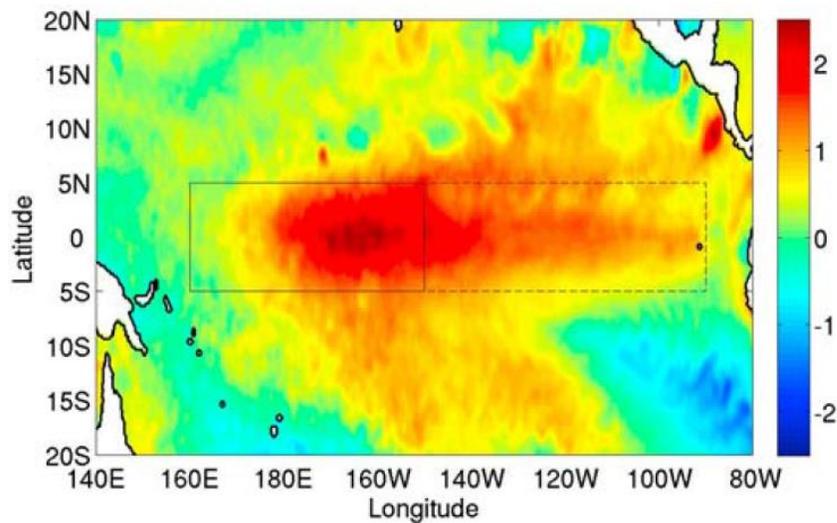


Figura 4. Anomalía de temperatura superficial del mar (TSM) promedio para el trimestre diciembre-enero-febrero durante el evento El Niño CP 2009-10. Los rectángulos muestran los dominios de la región Niño4 (línea sólida) y Niño3 (discontinua). Imagen obtenida de Lee & McPhaden (2010).

## 1.4 Antecedentes sobre eufáusidos en la región frente a Baja California

La expedición oceanográfica Challenger (1873–1876) proporcionó la primera colección de eufáusidos de amplia cobertura geográfica incluyendo al Océano Pacífico. El volumen derivado de esta colección fue escrito por Sars (1885), aunque en ese entonces se consideraban a los eufáusidos como especies filogenéticamente cercanas de los misidáceos en el Orden Schizopoda. Hansen (1912) realizó los primeros trabajos detallados del grupo de los eufáusidos recolectados durante las expediciones del buque *Albatross* en el Pacífico oriental. Aportó información taxonómica relevante para entender este grupo de crustáceos y describió 33 de las 86 especies actualmente consideradas como válidas (como por ejemplo *Euphausia pacifica* Hansen (1911)) (Baker, Boden, & Brinton, 1990).

Brinton (1962) integró la información de múltiples expediciones oceanográficas realizadas en el Pacífico describiendo la distribución de los eufáusidos con un enfoque zoogeográfico y evolutivo definió grupos biogeográficos en función de las características termohalinas de las masas de agua a las que estaban asociados (Figura 5). Entre sus contribuciones posteriores más relevantes están dos volúmenes de la serie Atlas CalCOFI con la distribución de eufáusidos recolectados en el SCC (Brinton, 1967a, 1973). En esos mapas se muestra la abundancia y distribución de 28 especies recolectadas durante 24 cruceros (entre 1939 y 1964). Estos mapas son informativos de las variaciones estacionales e interanuales a todo lo largo del SCC (incluyendo la península de Baja California). Según estos atlas, *Nyctiphanes simplex* es la especie dominante en la región sur del SCC con afinidad nerítica, asociada con áreas de surgencia con una distribución interanual altamente variable, aumentando su influencia hacia el norte del SCC durante años cálidos (Brinton & Reid, 1986).

La distribución de *Nyctiphanes simplex* se encuentra estrechamente asociada a las prominencias topográficas como Punta Baja, Punta Eugenia y Bahía Magdalena, donde esta especie se congrega para reproducirse, formando frecuentemente densos enjambres en los primeros metros de la columna de agua, sobre la plataforma

continental (Brinton, 1979; Gómez-Gutiérrez, 1995; Gómez-Gutiérrez et al., 1995; Lavaniegos, 1994; Lavaniegos, 1995).

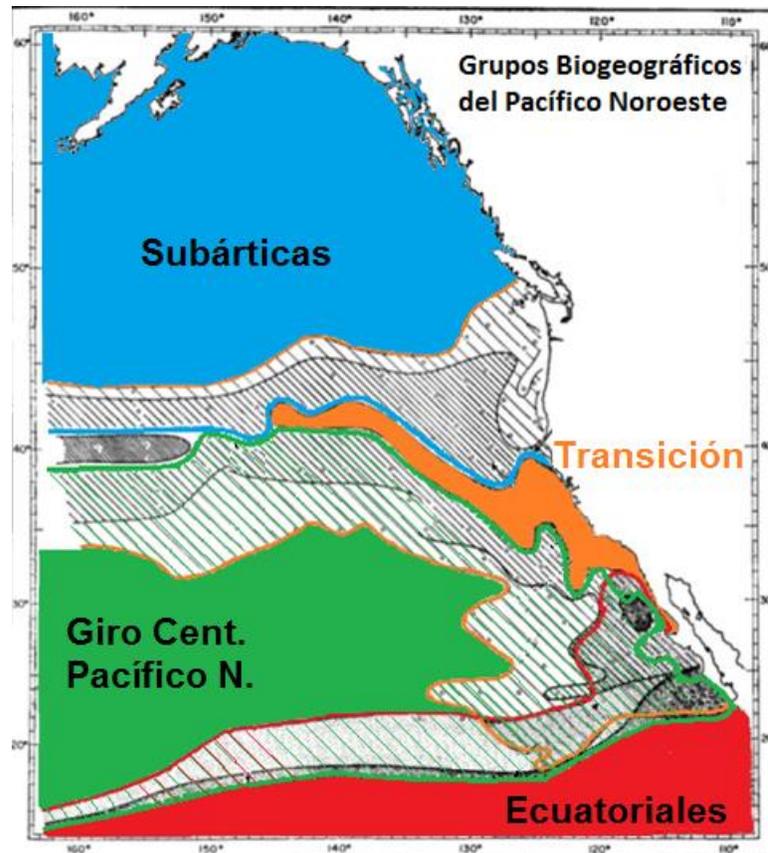


Figura 5. Distribución de los eufáusidos epipelágicos designados según la masa de agua superficial que habitan, el grupo de especies asociadas al Giro Central del Pacífico Norte (área principal de color verde y línea verde su límite de distribución), grupo de especies subárticas (azul), especies ecuatoriales (rojo), y las especies de transición (naranja). (Adaptado de Brinton, 1962).

En BSV se ha realizado un considerable esfuerzo de estudio debido a su amplia plataforma continental y a las surgencias de la zona, lo que lo convierte en un área de gran producción biológica, particularmente de *Nyctiphanes simplex* ya que esta es la dominante en las regiones neríticas de la península de Baja California (De Silva-Dávila et al., 2002; Lavaniegos, 1995).

Lavaniegos (1994) analizó los patrones de desarrollo y dispersión de larvas de *Nyctiphanes simplex* en las regiones de surgencias de Baja California, teniendo en cuenta las épocas donde se podrían encontrar un mayor número de hembras con huevos, ya que esta especie protege a su progenie dentro de sacos ovígeros, donde eclosionan como nauplio (Gómez-Gutiérrez y Robinson, 2005) que no se liberan hasta el estado de pseudometanauplio (Boden, 1951). Las hembras reproductoras más grandes detectadas afuera de bahía Sebastián Vizcaíno contaron con un tamaño de 13 a 15.8 mm cerca de Punta Eugenia. En cuanto al tamaño de las furcillas, encontró que el mayor tamaño se asociaba a estaciones donde los patrones de desarrollo furcilia II eran más cortos, ya que la energía en incremento corporal es mayor mientras que en rutas de desarrollo largas un mayor número de mudas, desvía energía para la producción de exuvias (Lavaniegos, 1994).

Lavaniegos (1995) encontró que la BSV es una relevante región de alimentación en invierno y para reproducción durante el otoño para *N. simplex*. Además asoció el giro anticiclónico que detecta en la bahía después de los principales meses de surgencia (hacia septiembre) como un mecanismo de retención de las larvas hasta su metamorfosis adulta, incrementando su tasa de desarrollo debido a las altas temperaturas en el agua del giro. Este estudio además estimó la producción secundaria de *N. simplex* así como algunos parámetros poblacionales como tamaño de puesta. De Silva-Dávila et al. (2002) comparó la producción de *Nyctiphanes simplex* debida al crecimiento ( $P_c$ ) en tres zonas neríticas (BSV, frente a punta Abreojos y bahía Magdalena) durante febrero de 1994. Encontró la máxima producción en punta Abreojos.

Los efectos de El Niño sobre las poblaciones de eufáusidos del SCC han recibido considerable atención. Uno de los eventos más intensos y de mayor duración registrados en el siglo XX fue El Niño 1982-1983. Brinton & Reid (1986) estudiaron los desplazamientos interanuales de eufáusidos en la CC durante El Niño 1982-1983 y dedujeron que la especie de aguas frías *Euphausia pacífica* y la especie costera de distribución sur *Nyctiphanes simplex* tienen rangos de distribución complementarios, siendo las especies dominantes en la parte norte y sur del SCC, respectivamente.

También *Euphausia eximia* tenía una distribución más norteña cuando el agua está anormalmente cálida durante la fase de El Niño. El desplazamiento de *N. simplex* se observó más allá de California, alcanzando las costas de Washington (Brodeur, 1986).

Posteriormente se registró un evento El Niño más débil en 1986-1987, la parte frente a la costa oeste de Baja California fue analizada por Gómez-Gutiérrez et al. (1995) encontrando una substitución de especies de aguas frías como *Euphausia pacífica* y *Thysanoessa gregaria* por especies con su centro de distribución en aguas más cálidas, como *Nyctiphanes simplex* similar a lo observado por Brinton & Reid (1986) durante 1982-1983 pero la influencia de otras especies ecuatoriales fue menor y especies del Pacífico central en Punta Eugenia como *Euphausia recurva* y *Euphausia hemigibba*.

Un evento intenso se registró nuevamente en 1997-1998 aunque fue de corta duración y se registró una rápida transición a condiciones La Niña 1998-1999 (Durazo & Baumgartner, 2002). Las consecuencias biológicas de dicho evento fueron analizadas por Lavaniegos et al. (2002), quienes encontraron niveles típicos de clorofila (ligeramente más bajos en la fase cálida) y biomasa de zooplancton. Los cambios en la estructura de los grupos funcionales de zooplancton indicaron pronunciados cambios en la estructura de las comunidades de zooplancton. Los efectos en los eufáusidos confirmaron pronunciados cambios en la composición de especies (Ambriz-Arreola, 2007; Lavaniegos & Ambriz-Arreola, 2012; Linacre, 2004).

Ambriz-Arreola (2007) realizó un estudio multivariado de las comunidades de eufáusidos en el sector sur de la Corriente de California durante el ciclo ENSO 1997-1999, encontró que a pesar de que ocurrieron cambios en la estructura de la comunidad, se registró alta abundancia y biomasa de eufáusidos totales durante ambos periodos anómalos, produciéndose solo un descenso en la abundancia total durante la relajación de la fase cálida y su transición hacia la fase fría.

El estudio de más larga duración sobre la variabilidad climática y su efecto sobre los eufáusidos es el de Brinton & Townsend (2003), quienes investigaron los cambios de

largo plazo de eufáusidos en sectores sureños del SCC con base en los cruceros CalCOFI. La serie de tiempo más completa (1950-2002) fue la del sur de California que les permitió analizar la variabilidad decenal en la abundancia de las especies numéricamente dominantes. Encontraron una fuerte relación entre la oscilación decenal del Pacífico (PDO) y la abundancia de *Nyctiphanes simplex* (Figura 6). Sin embargo, las series de tiempo de abundancia de eufáusidos de Baja California solo se extendieron hasta los 1980s y no fue posible determinar cambios decenales en su estructura, aunque si los cambios interanuales.

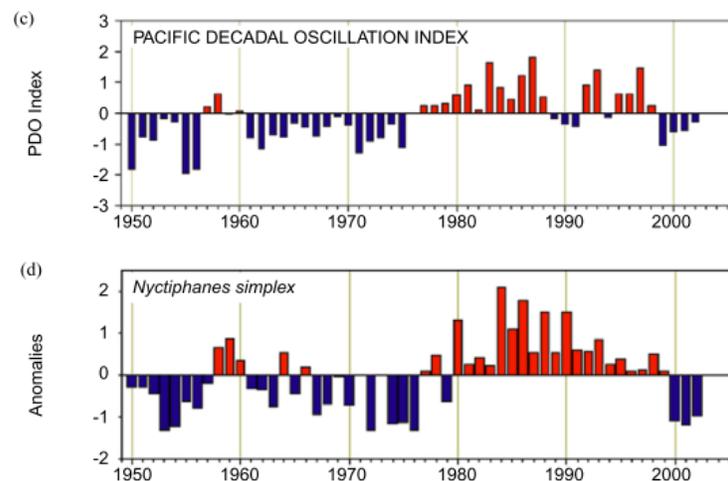


Figura 6. Índice PDO y anomalías de abundancia de *Nyctiphanes simplex* durante el periodo 1950-2003 frente al sur de California (32-35°N), donde se puede apreciar una fuerte relación entre ambas variables y por tanto una fuente de variación decenal para esta especie (tomado de Brinton & Townsend, 2003).

Lavaniegos & Ambriz-Arreola (2012) describieron la variabilidad del krill en Baja California durante el periodo 1997-2005 (17 cruceros), teniendo en cuenta la variación de la composición específica y abundancia de 32 especies de eufáusidos. Encontraron una diferencia entre la composición de especies en estaciones neríticas (dominadas por *N. simplex*) y las oceánicas (donde la especie más común fue *Nematoscelis difficilis*). En este estudio se puso de manifiesto que durante los eventos 'La Niña' se caracterizan predomina la presencia y densidad poblacional de especies de transición y la subártica

*Euphausia pacífica*, mientras que 'El Niño' se denota por el predominio numérico de *E. eximia*. Sin embargo, esa serie de tiempo es muy incompleta ya que solo analizaron un crucero durante el periodo 2001-2004.

La variabilidad espacio-temporal de la abundancia de los grupos funcionales de zooplancton frente a Baja California han sido publicadas para el periodo 1997-2007 (Lavaniegos et al., 2010). Series de tiempo actualizadas hasta 2012 de estos conteos muestran resultados sorprendentes debido a que en años recientes se observa una abundancia de eufáusidos extremadamente baja (73% menos eufáusidos en 2008-2011 respecto al periodo 1998-2007) y la abundancia de salpas fue considerablemente más alta que en años previos (418% más de salpas en 2006-2011 que en 1998-2005) (Figura 7).

Estos son resultados preliminares de conteos rápidos realizados sobre una fracción de las muestras. Estos conteos motivaron el desarrollo de la presente propuesta de investigación para determinar mediante la identificación de especies y conteos más detallados y precisos los cambios en la zona de interés durante el ciclo ENSO (2009-2011) y el estudio de las posibles consecuencias en caso de confirmarse esta baja abundancia.

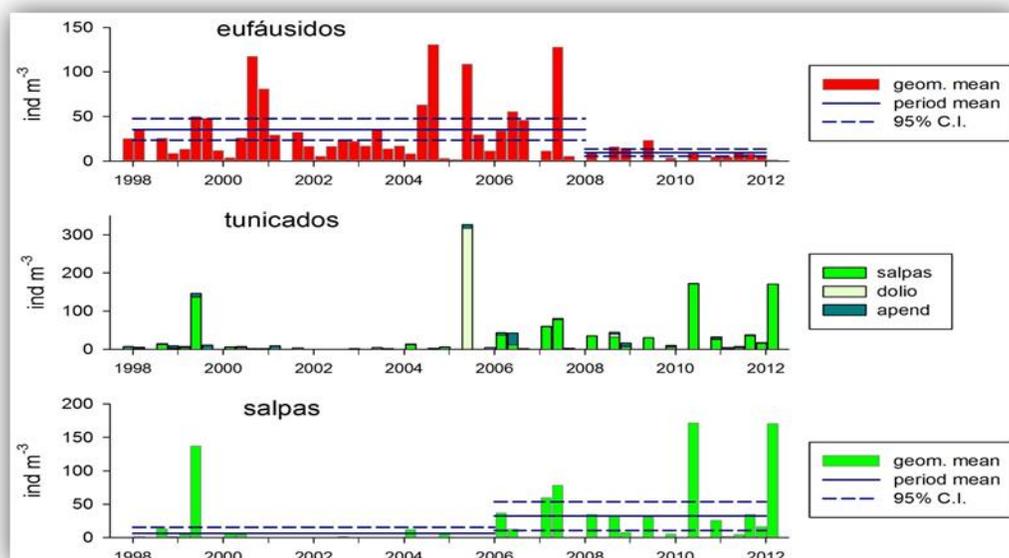


Figura 7. Abundancia de eufáusidos, tunicados totales y salpas en BSV durante 1998-2012. Las barras representan las medias geométricas de las estaciones oceanográficas (Lavaniegos, datos no publicados).

## Capítulo 2. Objetivos e hipótesis

---

### 2.1 Objetivo general

Cuantificar la abundancia total y la riqueza específica de especies de eufáusidos durante el ciclo ENSO 2009-2011 en BSV para comprobar si existe un descenso significativo en la abundancia de eufáusidos detectado en análisis preliminares y explicar las posibles causas de dicha anomalía.

### 2.2 Hipótesis

En esta tesis se plantean varias hipótesis de trabajo. La primer hipótesis de este trabajo es que existe un aumento de especies tropicales y un descenso de las especies templadas (subárticas y de transición) durante la fase cálida (El Niño) y el efecto opuesto durante fase fría (La Niña).

En una escala estacional se plantea una segunda hipótesis de una mayor abundancia de especies subárticas y de transición durante la época de surgencias.

Una tercer hipótesis plantea que existe una diferencia significativa en la estructura de la comunidad de eufáusidos entre las aguas neríticas (<200 m de profundidad) y las aguas oceánicas (>200 m de profundidad).

La cuarta hipótesis plantea de que existe diferencias significativa en la estructura de la comunidad de eufáusidos entre las aguas neríticas (<200 m de profundidad) y las aguas oceánicas (>200 m de profundidad).

La quinta y última hipótesis plantea que los factores ambientales analizados guardaran asociación estadísticamente significativa con la variación espacio-temporal de la abundancia de los eufáusidos.

## 2.3 Justificación

La función ecológica de las especies de la familia Euphasiidae en las tramas tróficas es relevante debido a su alta biomasa, elevado contenido energético y su tendencia a formar densas agregaciones en hábitats epipelágicos. Los eufáusidos son considerados una de las principales fuentes de alimento de organismos pelágicos de los ecosistemas marinos a escala global (Siegel, 2000). La variabilidad estacional y alteraciones interanuales como El Niño y La Niña causan cambios en la composición y abundancia de eufáusidos en la costa Pacífica de la península de Baja California (Brinton & Reid, 1986). En particular, es relevante analizar estos efectos en BSV ya que es una región de desove y desarrollo de peces pelágicos menores (Baumgartner et al., 2008; Jiménez-Rosenberg et al., 2010).

Además es necesario evaluar la distribución, abundancia y biomasa de los eufáusidos para establecer límites potenciales en su pesca con fines de nutrición en acuicultura y obtención industrial de ácidos grasos de krill. Esto ya se realiza en algunos países como Rusia, Japón, Noruega, Canadá y varios otros países en aguas Antárticas (Nicol & Endo, 1999). En el sector estadounidense de la Corriente de California se ha prohibido esta actividad por considerar que puede afectar desfavorablemente la trama trófica de la que depende la pesquería y acuicultura de salmón.

Resultará por lo tanto, de especial interés, investigar el efecto de las condiciones ambientales durante el ciclo ENSO de 2009-2011 para entender mejor la biología de los eufáusidos en la zona de estudio y aportar información de potencial uso para pesquerías y conocimiento del ecosistema.

## Capítulo 3. Materiales y métodos

---

### 3.1 Área de estudio

La BSV está localizada en la costa occidental de la península de Baja California. La línea de costa tiene forma de 'anzuelo', con un diámetro aproximado de 100 km, en el cual está influenciada por el Océano Pacífico por su lado noroeste (Figura 8). Esta bahía tiene una pendiente suave con una profundidad media de 130 m y máxima de aproximadamente 200 m al norte de la isla de Cedros. La bahía está limitada al suroeste por punta Eugenia, la cual es una elevación montañosa de aproximadamente 600 m de altura y al oeste por la isla de Cedros, con una altura máxima de 1200 m. Entre la isla de Cedros y punta Eugenia existen dos canales someros de 50 m de profundidad, los cuales comunican la bahía con el océano Pacífico (Palacios-Hernández, Argote-Espinosa, Amador-Buenrostro, y Mancilla-Peraza, 1996).

Las principales masas de agua de la región de BSV son: la masa de agua de origen subártica (ASA), caracterizada por tener una relativamente baja salinidad, alta concentración en oxígeno disuelto y alto contenido en fosfatos. El ASA es transportada por la CC entre 0 y 200 m de profundidad y es la principal masa de agua en BSV. La Masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs), caracterizada por baja concentración de oxígeno disuelto, alta salinidad y alto contenido de fosfatos, la cual es transportada por la CSC entre 200 y 300 m de profundidad y tiene escasa influencia en la plataforma de BSV. La masa de Agua Subtropical Superficial también es de escasa influencia en BSV y normalmente se le detecta en la región oceánica suroeste pero puede invadir toda la región durante eventos El Niño intensos (Durazo & Baumgartner, 2002). Existen dos localidades donde en BSV donde se encuentra agua de surgencias, frente a punta Canoas y en la zona de los canales Kellet y Dewey, situados entre la isla de Cedros y punta Eugenia (Wyllie, 1960).

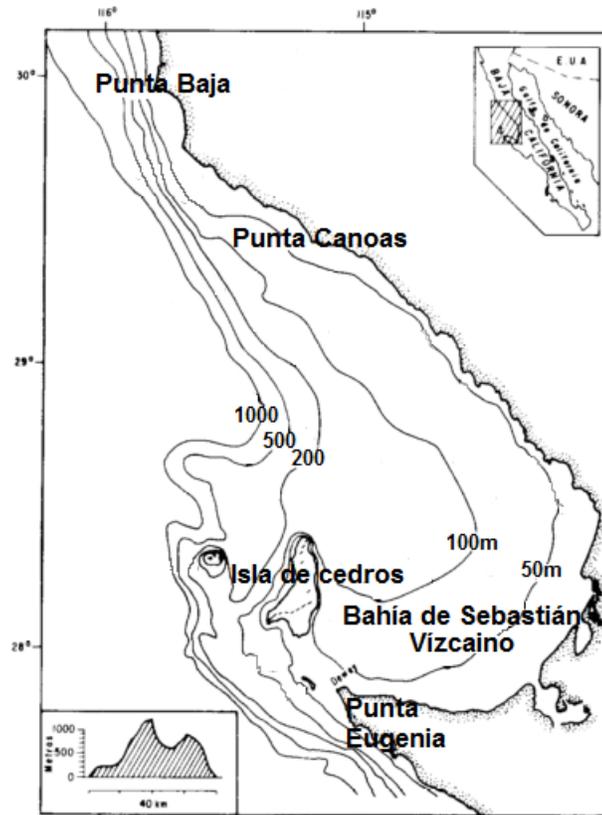


Figura 8. Mapa batimétrico de Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. En la esquina inferior izquierda se muestra el perfil topográfico de la Isla de Cedros, proyectada sobre la dirección NW-SE (tomada de Amador-Buenrostro, 1995).

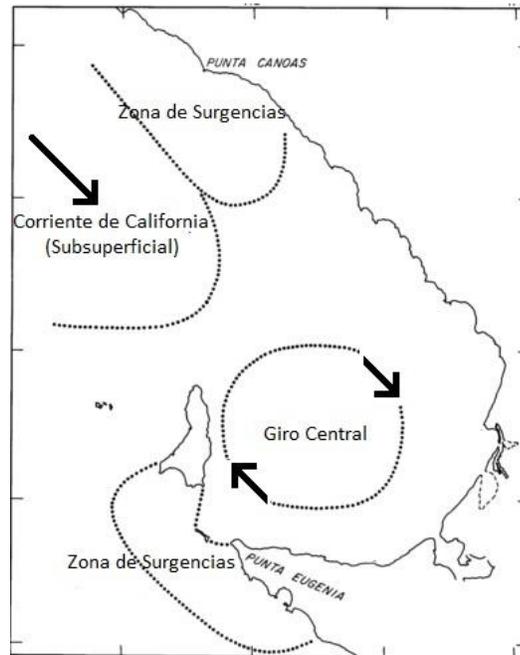


Figura 9. Modelo conceptual de la circulación superficial de la región de Bahía Sebastián Vizcaíno (adaptado de Wyllie, 1960).

Los estudios hidrográficos de Dawson (1952) y Wyllie (1960) y las mediciones directas de corrientes con cuerpos de deriva (Scripps Institution of Oceanography, 1962), demostraron la ocurrencia de un gran giro anticiclónico localizado al este de isla de Cedros con un diámetro de 60 km, profundidad máxima de 60 m y velocidad periférica de hasta 0.6 m/s (Dawson, 1952). Este autor mostró que las macroalgas retenidas en el remolino central de la bahía eran de afinidad tropical mientras que donde predominaba el agua de surgencias había flora templada. Posteriormente Mancilla-Peraza et al. (1993) presentaron nuevas evidencias con datos más recientes y (Amador-Buenrostro, Argote-Espinosa, Mancilla-Peraza, y Figueroa-Rodríguez, 1995) usaron imágenes de satélite para demostrar la existencia del remolino central.

Cabe señalar que la distribución de los distintos fenómenos de meso escala y la influencias de las distintas masas de agua junto con sus características termohalinas, están sujetas a la variación estacional e interanual. En general, las aguas de la bahía

son relativamente frías de enero a junio, sin un valor estable de salinidad. Esta baja temperatura se debe a la baja radiación recibida durante esta época y la presencia de persistentes surgencias costeras (Wyllie, 1960). Este bajo gradiente térmico hace que las masas de agua sean más inestables durante el invierno. Los meses de julio y agosto tienden a ser calientes y con baja salinidad. De septiembre a diciembre las aguas de la bahía son las relativamente más cálidas y más salinas, aunque ya para fines de diciembre empieza el proceso de enfriamiento.

Los vientos predominantes a lo largo del año en la zona de estudio tienen una dirección noroeste (Figura 10) (Palacios-Hernández et al., 1996). Esta característica, junto con la orientación de la península, produce surgencias a lo largo de todo el año debido al transporte de Ekman superficial hacia mar adentro. BSV es una de las zonas de surgencias más intensas y productivas en la Corriente de California. No obstante, existe una zona de calma de vientos al este de la isla de Cedros (Palacios-Hernández et al., 1996; Reid, Roden, & Wyllie, 1958).

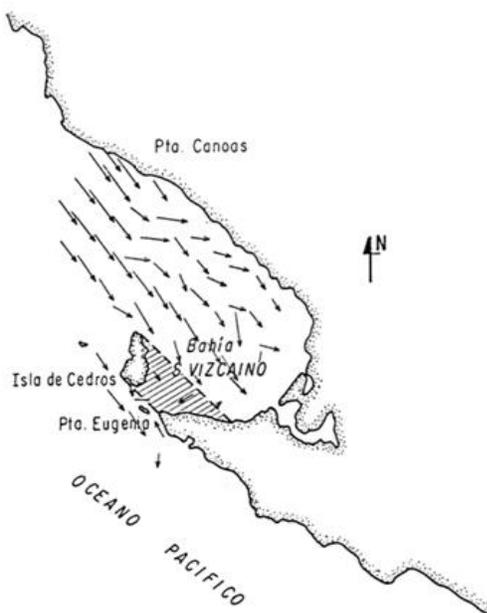


Figura 10. Campo de vientos observado durante septiembre de 1992. Note la zona de calmas (sombreada) al sureste de Isla de Cedros (Palacios et al., 1996).

La Bahía cuenta con una amplia plataforma continental al sur de punta Canoas (29°N). Las fuertes surgencias que se registran todo el año determinan una alta productividad biológica en la bahía (Lavaniegos, 1995) de especies como anchoveta, atún, langosta, camarón, abulón, almejas. También es la zona reproductiva de la ballena gris (Rice et al., 1984).

### **3.2 Trabajo de Campo: recolecta de muestras de zooplancton e hidrocalas**

Las muestras de zooplancton usadas en el presente estudio pertenecen a la “Colección de invertebrados planctónicos” del CICESE, recolectas por el programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL). Se seleccionaron las estaciones de BSV: 113.30, 117.30, 117.35, 119.33, 120.30, 120.35, 120.39 (Fig. 10) de los cruceros realizados durante noviembre de 2009, abril 2010, octubre 2010 y enero 2011. A estas estaciones se le han de sumar 3 estaciones oceánicas que servirán como referencia del desplazamiento de las especies y cuales posiblemente no ingresan a BSV.

Los arrastres para recolectar zooplancton se realizaron en las estaciones someras desde una profundidad de 10 m sobre el fondo oceánico recorriendo la columna de agua oblicuamente hasta la superficie, mientras que en las estaciones oceánicas se muestreo la capa de 0-200 m (Smith & Richardson, 1977). Para realizar los arrastres se utilizó una red tipo bongo de 500  $\mu\text{m}$  de luz de malla y diámetro de boca de 71 cm. El volumen de agua filtrada se midió con un flujómetro. Las muestras se fijaron en formaldehído al 4% neutralizado con borato de sodio.

En cada estación se usó un sistema CTD/roseta a una profundidad de 10 m por encima del lecho marino hasta un máximo de 2000 m en las estaciones oceánicas. Las botellas Niskin de la roseta fueron usadas para recolectar agua a las profundidades de 0, 10, 20, 50, 100 y 150 m para determinar la concentración de pigmento fotosintético posteriormente. El agua se filtró con filtros G/GF y estos fueron inmediatamente congelados.

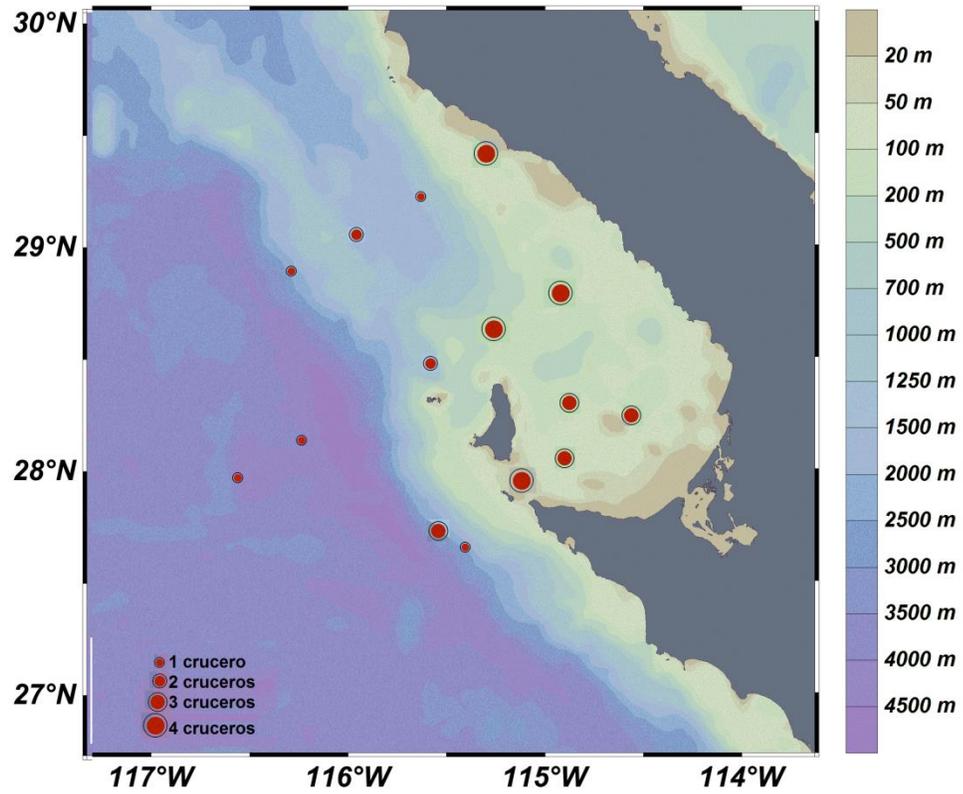


Figura 11. Estaciones de muestreo en BSV donde se seleccionaron las muestras de zooplancton

Tabla 1. Muestras de zooplancton del programa IMECOCAL en el periodo y lugar de estudio, indicando las características de las estaciones oceanográficas. Las estaciones oceánicas están en azul y el sombreado indica cuales fueron recolectas nocturnas.

Crucero	Estación	Fondo (m)	Mes	Día	Hora
0911	113,30	61	11	4	09:35
0911	113,35	1200	11	5	03:22
0911	117,30	101	11	7	12:50
0911	117,35	189	11	7	09:15
0911	117,40	1197	11	7	04:21
0911	119,33	110	11	7	17:32
0911	120,30	97	11	7	22:15
0911	120,35	85	11	7	23:29
0911	120,39	45	11	8	01:42
0911	120,43	415	11	8	04:59
1004	113,30	61	4	7	13:17
1004	113,40	1959	4	7	03:25
1004	117,30	104	4	7	19:21
1004	117,35	189	4	7	23:30
1004	117,40	860	4	8	03:55
1004	119,33	110	4	11	00:24
1004	120,30	99	4	11	03:44
1004	120,35	86	4	11	07:34
1004	120,39	39	4	10	10:27
1004	120,45		4	10	05:19
1010	113,30	60	10	11	18:10
1010	113,45	2015	10	11	05:34
1010	117,30	101	10	12	00:15
1010	117,35	192	10	12	03:54
1010	117,55	2816	10	12	21:36
1010	120,39	39	10	14	02:20
1010	120,45	2305	10	13	21:53
1101	113,30	60	1	27	13:09
1101	113,40	1923	1	27	21:24
1101	117,30	101	1	29	22:17
1101	117,35	190	1	29	18:55
1101	117,50	4520	1	29	04:38
1101	119,33	110	1	30	02:47
1101	120,30	97	1	30	05:46
1101	120,35	84	1	30	08:56
1101	120,39	39	1	30	21:37
1101	120,45	2305	1	31	02:44

### 3.3 Análisis de laboratorio

Se identificaron las especies de los eufáusidos contenidos en las muestras de zooplancton. Las cuáles fueron previamente fraccionadas con un separador Folsom en porciones de 1/2, 1/4 o 1/8, dependiendo de la cantidad de material biológico presente en ellas (con objetivo de facilitar su recuento). A continuación se contaron e identificarán todas las especies de eufáusidos por fase de vida (caliopsis, furcilia, juvenil, adultos machos y hembras) contenidos en la submuestra, usando una caja cuadrículada de acrílico, con la ayuda de un microscopio estereoscópico. El resto de la muestra se revisó para contar aquellas fases de vida que hayan presentado menos de 15-20 individuos en la submuestra y aquellos otras especies o fases no observadas en la fracción.

La identificación e realizó mediante las claves taxonómicas de Baker et al., 1990; Boden, Johnson, & Brinton, 1955; Brinton et al., 2000; Brinton, 1996. Las larvas tempranas de cuatro especies de *Euphausia* (*E. diomedea*, *E. mutica*, *E. recurva* y *E. eximia*) tienen una morfología muy similar, por lo cual Brinton (1975) las considera como Grupo 1A, siendo esta la etiqueta que usamos en su clasificación.

La clorofila-a fue extraída de los filtros con una solución de acetona al 90% durante 24 h y 4°C (Venrick & Hayward, 1984). Posteriormente se midió con un fluorómetro Turner Designs (Holm-Hansen, Lorenzen, Holmes, & Strickland, 1965).

### 3.4 Análisis de datos

La abundancia de los eufáusidos por estadio de vida se estandarizó a número de individuos por 1000 m<sup>3</sup>, de acuerdo a la siguiente expresión.

$$E = \frac{n}{V} * 1000 \quad (1)$$

donde E = número de individuos (ind 1000 m<sup>-3</sup>)

n = número de individuos en la muestra

V = volumen de agua filtrada (m<sup>3</sup>)

Los datos de clorofila fueron integrados de todas las profundidades para estimar la clorofila-a integrada por metro cuadrado. Estos datos se usarán como un proxy de la biomasa de fitoplancton como alimento disponible para los eufáusidos.

Se estimaron anomalías de temperatura y salinidad del periodo 1997-2011, 10 m y a 200 m (solo en las estaciones oceánicas). Primero se calcularon promedios por crucero de los datos correspondientes a estaciones oceánicas de las líneas 113, 117, 119 y 120. Posteriormente se calcularon medias de largo plazo para las cuatro estaciones del año (invierno, primavera, verano, otoño) y se restaron a los promedios por crucero, a fin de filtrar la variabilidad estacional. Para BSV se realizó el mismo procedimiento incluyendo únicamente las 7 estaciones de la Bahía.

### **3.4.1 Fuentes de datos**

Los datos biológicos para distintos análisis fueron, además de las abundancias para cada especie de eufáusidos, abundancia de salpas (datos proporcionados por la Dra. Bertha Lavaniegos Espejo), y clorofila-a integrada (datos proporcionados por el Dr. Gilberto Gaxiola Castro). Esta última variable se consideró como proxy del alimento disponible por el cual se alimentan las salpas y los eufáusidos.

Las variables abióticas analizadas fueron: temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto registrado a 10 y 200 m de profundidad, profundidad de la capa de mezcla (PCM), calculada como aquella profundidad donde se incrementa 0.8°C respecto a la temperatura a 10 m, y Spiciness ( $\pi$ ) a 10 m (desarrollado por Flament, 2002).

### **3.4.2 Análisis estadísticos univariados**

Debido a que los datos de abundancia no presentan una distribución normal, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las medianas de las abundancias entre los meses de estudio. Esta prueba se practicó a las especies numéricamente dominantes y cuando el resultado fue significativo se hicieron

comparaciones entre pares de cruceros mediante la prueba de Mann-Whitney para localizar cuales cruceros en particular fueron diferentes. También se usó la prueba de Kruskal–Wallis para comparar las medianas de las abundancias de cada una de las fases de vida entre cruceros oceanográficos.

### 3.4.3 Análisis estadísticos multivariados

Para comparar la similitud en la estructura de la comunidad entre puntos de muestreo en función de las variables ambientales registradas durante todo el periodo de estudio se llevaron a cabo análisis multivariados. Se partió de la matriz de datos de abundancias y se les dio un tratamiento previo consistente en la transformación a  $\log_{10}(x+1)$ , según la recomendación de Clarke & Warwick (2001), la cual puede ayudar a que se cumplan los supuestos de normalidad y homocedasticidad, además de permitir la comparación de variables medidas con escalas distintas. Se eliminaron de los análisis multivariados los individuos no identificados (rotos), los del G1A, y los individuos en los que solo se identificó el género (*Thysanoessa*). Posteriormente se obtuvo una matriz de similitud usando el índice de Bray-Curtis:

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p |y_{ij} + y_{ik}|} \right\} \quad (2)$$

donde:

$S_{jk}$  = índice de similitud de Bray-Curtis (entre dos muestras)

$j, k$  = muestras  $j$  y  $k$  comparadas

$i$  =  $i$ -ésima especie

$p$  = número total de especies

$y_{ij}$  = abundancia de la especie  $i$  en la muestra  $j$

$y_{ik}$  = abundancia de la especie  $i$  en la muestra  $k$

El índice de Bray-Curtis incluye porcentajes de 0 a 100, donde 0 indica disimilitud total y 100 indica máxima similitud (Clarke & Warwick, 2001). Este índice se usó como base

para el análisis de conglomerados. La formación de los distintos grupos o conglomerados para lo cual se construyó dendograma con el criterio de la similitud promedio del grupo. Este método de enlace, considera como distancia entre dos clúster la distancia media entre todos los pares posibles de casos, produciendo clústeres más compactos (Carrasco & Hernán, 1993). Análogamente, se realizó este análisis con la matriz de similitud invertida para agrupar las especies que tienden a co-ocurrir de manera simultánea durante los periodos de estudio.

Como técnica complementaria para respaldar los conglomerados resultantes en el dendograma se utilizó la técnica no paramétrica de Escalamiento no Métrico Multidimensional (MDS) usando la misma matriz de similitud (Ludwig & Reynolds, 1988). El MDS es una de las técnicas de ordenación no paramétricas más robustas que permite identificar los posibles patrones de variación entre los sitios de muestreo (Field, Clarke, & Warwick, 1982).

Los grupos definidos en el análisis de conglomerados se compararon con la prueba ANOSIM que es una prueba de permutación no paramétrica, análoga al análisis de varianza, pero basado en índices de similitud (Clarke & Warwick, 2001).

#### 3.4.4 Análisis BIO-ENV

Una segunda matriz de similitud fue construida para las variables ambientales pero en este caso se usó la distancia euclidiana para unir dos puntos de muestreo (estaciones oceanográficas) ya que son variables independientes.

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (y_{ij} - y_{ik})^2} \quad (3)$$

Donde:

$d_{jk}$  = valor de la distancia Euclidiana entre las estaciones o cruceros oceanográficos

$j, k$  = estaciones oceanográficas o cruceros  $j$  y  $k$  que se comparan

$i$  =  $i$ -ésima variable ambiental

$p$  = número total de variables

$y_{ij}$  = valor de la variable  $i$  en la estación o crucero  $j$

$y_k = i$  valor de la variable  $i$  en la estación o crucero  $k$

Previo a la construcción de la matriz de similitud se recomienda realizar un análisis de componentes principales (ACP) para identificar variables altamente correlacionadas. Aquellas variables con coeficientes de correlación  $>0.95$  fueron eliminadas del análisis de BIO-ENV (Clarke & Warwick, 2001). El análisis mostró que la temperatura a 10 m y el spiciness a 10 m de profundidad son ortogonales ( $>0.95$ ). Por lo tanto el spiciness a 10 m se excluyó del análisis BIO-ENV tanto en las muestras costeras como en las oceánicas.

La matriz de datos biológicos y la matriz de parámetros ambientales se correlacionaron. Existen técnicas paramétricas como el análisis de correlación canónica y no paramétricas como el método “Biological-Environmental” (BIO-ENV) propuesto por (Clarke & Ainsworth, 1993). Este último es el que se seleccionó en la presente investigación, ya que no presenta limitaciones relacionadas a los supuestos de linealidad y distribución de normalidad de los datos y es de fácil interpretación (Clarke & Ainsworth, 1993).

Se utilizó la técnica multivariada BIO-ENV para determinar que variable o combinación de hasta ocho de variables ambientales son más apropiadas para explicar las variaciones en los patrones de abundancia de las especies de eufáusidos (Clarke & Warwick, 2001). Calculan coeficientes de correlación de rangos de Spearman ( $\rho_s$ ) entre las matrices de eufáusidos y ambiental, de una variables o una combinación de variables que mejor explican los patrones de distribución y abundancia de eufáusidos.

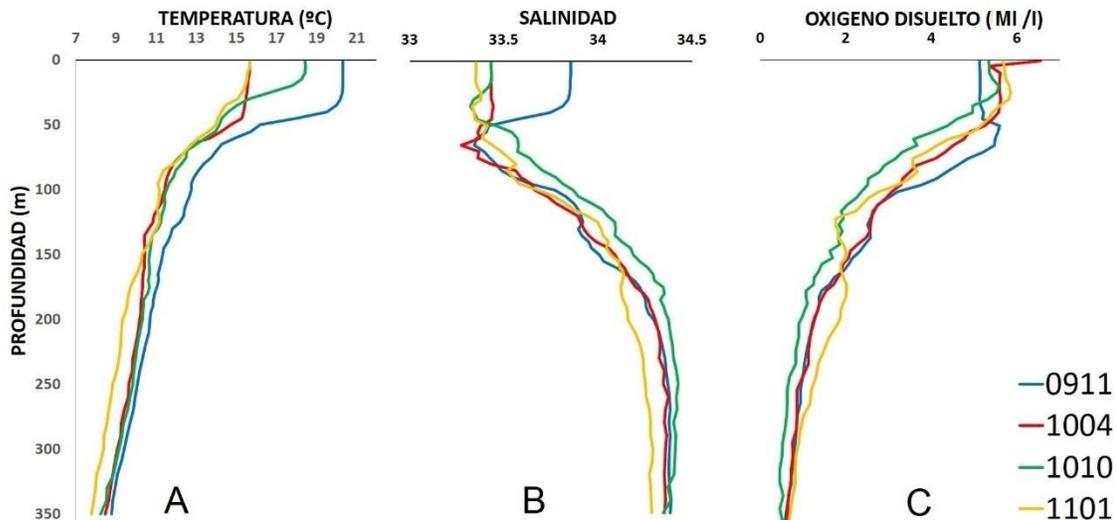
Se realizaron dos análisis independientes, por un lado las estaciones oceánicas ( $n=12$ ) y por el otro las costeras ( $n=25$ ) ya que se consideró que tanto la abundancia de especies como las variables ambientales variaban notoriamente en los dos ambientes (Ambriz-Arreola, 2007).

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1 Análisis de las condiciones oceanográficas

Se analizaron por separado la región oceánica y la región nerítica o costera.

#### 4.1.1 Región oceánica



**Figura 12. Perfiles verticales de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto. Se muestra el promedio de las estaciones oceánicas de noviembre 2009 (0911), abril 2010 (1004), octubre 2010 (1010) y enero 2011 (1101).**

La temperatura superficial del mar (TSM) durante el periodo de estudio registró los máximos valores en cruceros otoñales (0911 y 1010), con el máximo promedio en noviembre de 2009 ( $20.3 \pm 1.0$  °C) durante la fase positiva del ciclo ENSO (Fig. 1a). En octubre de 2010 la TSM solo alcanzó una media de  $18.4 \pm 0.3$  °C, probablemente al ser afectado por La Niña. En cuanto a la TSM en los cruceros de abril (1004) y enero (1101) el promedio fue prácticamente idéntico ( $15.6 \pm 0.7$ °C y  $15.6 \pm 0.3$ °C respectivamente), lo cual indica un invierno frío debido probablemente a La Niña.

La mayor profundidad de la capa de mezcla (PCM) se observó en noviembre 2009 y abril de 2010 (medias de 38 y 48 m respectivamente). La mínima PCM se observó en octubre 2010 con una media de 18 m y en enero 2011 de 28 m. El calentamiento por El Niño fue aún perceptible a los 200 m de profundidad (será referida como capa

profunda), donde noviembre de 2009 continua presentando un valor ligeramente mayor de temperatura (media = 10.7°C), seguida por el otoño de 2010 (10.3°C), abril de 2010 (10.2°C) y enero de 2011 (9.3°C).

La salinidad de las estaciones oceánicas (

Figura 12b) presentó valores bajos en los primeros 70 m correspondiente al Agua Subártica (ASA) en todos los cruceros, salvo en noviembre 2009 donde se observó una relativamente mayor salinidad (33.8) en los primeros 30 m, correspondiente a la masa de Agua Subtropical Superficial (AStS) (Figura 4). El mínimo de salinidad registrado fue de 33.3 a los 50-70 m y posteriormente se observa un incremento gradual de la salinidad hasta alcanzar un máximo (34.3) aproximadamente la profundidad de 200 m.

La presencia de valores altos de temperatura y salinidad durante noviembre 2009 denotan la influencia de El Niño. Las otras tres épocas de estudio, tienen una tendencia muy similar en cuanto a la salinidad, no se observa un máximo superficial ni siquiera en octubre 2010, ya que La Niña refuerza la CC impidiendo la advección de la AStS (Figura 14)

El perfil de concentración de oxígeno disuelto en el ambiente oceánico (Figura 12c) presenta valores máximos superficiales debido al intercambio gaseoso con la atmósfera, a la acción del oleaje y a la fotosíntesis. Si bien, este valor no es conservativo como la temperatura y la salinidad, estando afectado por los procesos biológicos de fotosíntesis y respiración, si refleja la influencia de la AStS en noviembre de 2009 con valores ligeramente más bajos de concentración de oxígeno disuelto en la capa superficial.

Por debajo de la capa de mezcla, los valores mínimos de oxígeno disuelto correspondieron a octubre de 2010, alcanzando menos de 1 ml/l a los 200 m de profundidad, valores que no se alcanzaron en los otros cruceros hasta los 280 m.

### 4.1.2 Región nerítica

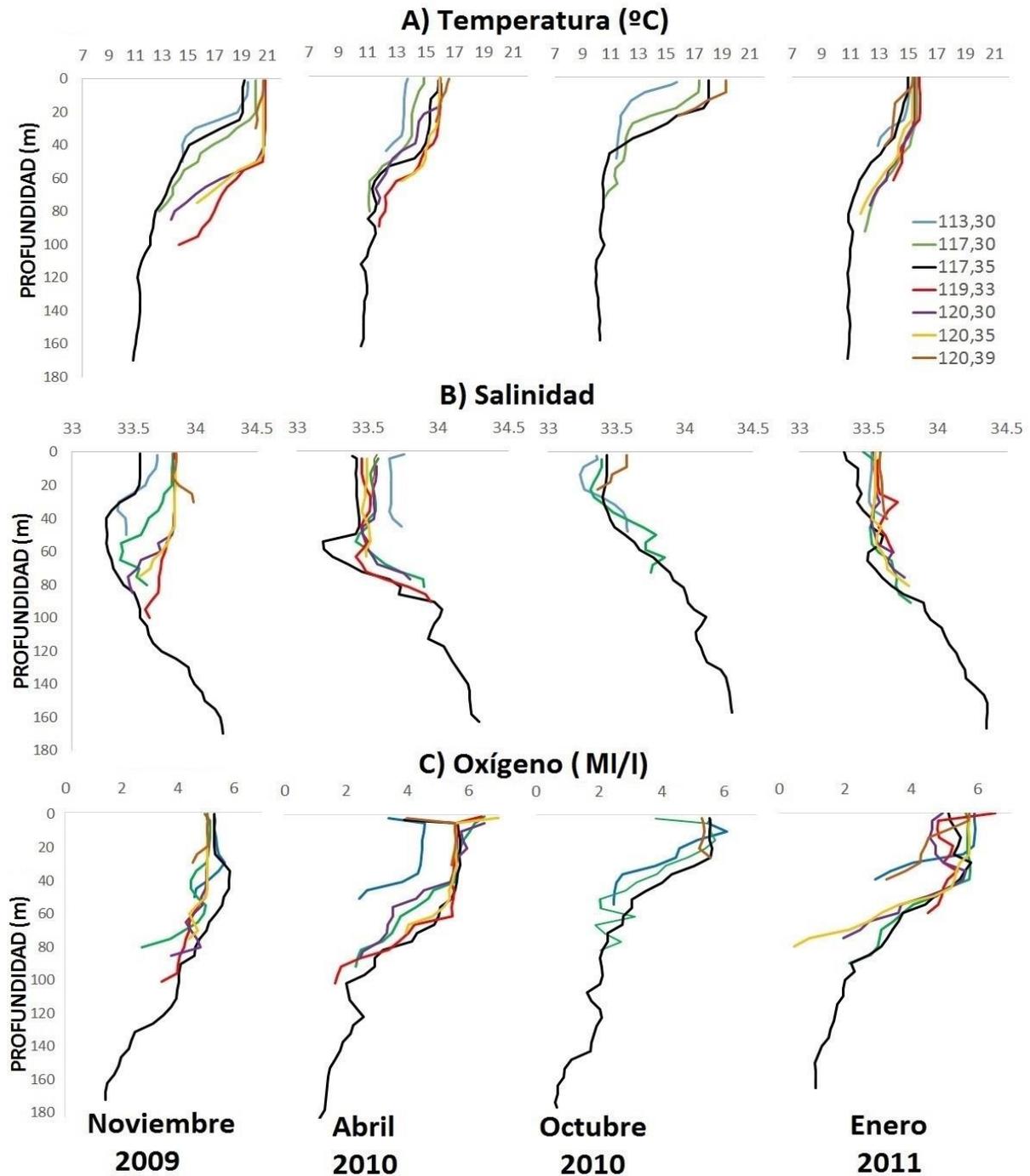


Figura 13. Perfiles verticales de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) concentración de oxígeno disuelto de las estaciones costeras de la BSV a lo largo del periodo de estudio. En las estaciones neríticas, no se presenta un perfil promedio por crucero, debido a la gran heterogeneidad de la plataforma de la BSV, donde la batimetría y los distintos

accidentes geográficos de la línea de costa asociados a fenómenos de mesoescala que allí se producen, le confiere a cada estación particularidades únicas. Por lo tanto, se graficó un perfil completo para cada una de las estaciones de BSV (Figura 13).

En BSV es evidente una mayor variabilidad en la hidrología tanto en puntos de muestreo como estacional e interanualmente. Los perfiles de temperatura (Figura 13a) durante noviembre 2009 tuvieron valores de TSM en similares a las estaciones oceánicas en el centro de la Bahía (est. 119.33) y las estaciones de la línea 120, llegando a alcanzar hasta 20.8°C en la estación 119.33. En contraste las estaciones norte de la Bahía (113.30, 117.30 y 117.35) presentaron un perfil diferente, con TSM especialmente bajas en las estaciones 113.30 y 117.35 (19°C). La PCM muestra el mismo contraste entre estaciones norte y sur de BSV siendo más somera en las estación 113.30 y línea 117 (25 m aprox.) y con el doble de profundidad en la estación 119.33 y línea 120.

A pesar de que la parte norte de BSV fue más fría que la parte sur durante el noviembre 2009, esa temperatura resulta muy elevada cuando se compara con los perfiles de octubre 2010. Por ejemplo, la estación 113.30 presentó una TSM de 19 y 16°C respectivamente, o sea una diferencia positiva de 3°C a pesar de tratarse de la temporada de otoño en ambos casos, evidenciando el efecto del calentamiento por El Niño en 0911 y probablemente un enfriamiento en 1010 por efecto de La Niña. La estación 113.30 por lo regular tiene valores de temperatura muy bajos respecto a las otras estaciones debido a que está influenciada por la región de surgencias de Punta Canoas y es probable que los valores de TSM registrados estén relacionados a una disminución (El Niño) y aumento (La Niña) de las surgencias.

En abril de 2010, pese a que las temperaturas superficiales son mucho menores que las de noviembre de 2009, los perfiles verticales son relativamente similares. Este mes fue el que presentó una menor estratificación térmica con una capa de mezcla que va de 30 a 45 m. Existe una marcada diferencia entre la menor TSM perteneciente a la estación 113.30 de 13.7°C y la más al sur (120.39) de 16.6°C, lo cual como se comentó

anteriormente podría deberse a surgencias de aguas profundas en la región de Punta Canoas, que también muestran valores bajos de  $O_2$  y altos de Salinidad (Figura 13).

En el crucero de octubre de 2010 solo se realizaron cuatro lances dentro de BSV siendo la única de las estaciones sureñas la 120.39, misma que alcanzó una mayor TSM ( $19.3^\circ\text{C}$ ), y la mínima correspondió a la estación más norteña (113.30) con  $15.8^\circ\text{C}$ . Cabe destacar que en este periodo la PCM es mínima ( $<10$  metros en tres estaciones) esto es debido a la alta estratificación típica del otoño en estas latitudes (Durazo et al., 2007). La termoclina estacional es muy pronunciada alcanzando temperaturas de  $10^\circ\text{C}$  a solo 50 m en la estación más profunda (117.35). La elevación de la termoclina más notoria se observó en la estación 113.30 y puede también tener relación con episodios de surgencias, pero en este caso de aguas no tan profundas (valores de salinidad bajos).

Durante el invierno (enero 2011), la estructura vertical de las aguas de la bahía, acusa un gradiente vertical térmico muy débil, y en consecuencia, poco estable (spiciness a 10 m con valores cercanos a 1 en todas las estaciones, esta variable no da información de la estabilidad). La TSM cuenta con valores cercanos a los  $15^\circ\text{C}$ , tanto en la región norte como en la región sur. La PCM se extiende hasta los 31 m, y la termoclina es menos pronunciada que en cruceros anteriores, indicando que hubo un corte de velocidad más intenso.

La salinidad superficial (SSM) presentó valores más altos en noviembre 2009 (Figura 13b), superiores a 33.5, asociados a la influencia del AStS. Por debajo de esta se presentan valores bajos, característicos del ASA. La estación 117.35 presentó valores de salinidad menores que las demás estaciones más someras, ya que al ser más profunda (189 m) tiene un comportamiento similar al de las estaciones oceánicas.

En los perfiles de salinidad del crucero 1004 se destaca la estación 113.30 con mayor salinidad, que a su vez es la que tiene menor temperatura, como se esperaría por la influencia de eventos de surgencia. También es de destacar la baja salinidad de las

aguas intermedias (50-70 m) en la estación 117.35, indicando la presencia del núcleo de ASA.

En octubre 2010 el ASA se detectó más superficialmente, siendo la estación 113.30 la más fría y menos salina (33.2 a los 15 m). Únicamente se detectó agua más salina y cálida en la estación sureña y muy somera (120.39) con 33.6 en los primeros 15 m.

El perfil de salinidad durante enero de 2011, al igual que la temperatura, fue muy similar en todas las estaciones (con SSM en torno a los 33.5), salvo en la estación 117.35, que presentó valores más bajos en los primeros 40 m y a los 60-80 m que las demás estaciones someras.

Los perfiles de concentración de oxígeno disuelto de las estaciones costeras (Figura 13c) tienen un máximo superficial en la capa de mezcla, que lo denominaremos Oxígeno Superficial del Mar (OSM) seguido por un descenso en la oxiclina hasta los valores mínimos que se dan a la mayor profundidad muestreada. Por lo general, en la mayor parte de puntos muestreados dentro de BSV cuentan con altos valores de oxígeno disuelto ( $>5$  ml/l) con un promedio general de  $5.4 \pm 0.4$  ml/l. El agua de surgencias (con valores pobres en  $O_2$ ) podría ser la causa de que encontrásemos concentraciones  $<5$  ml/l en 4 de los puntos de muestreo en BSV.

Los cuatro cruceros analizados cuentan con pronunciadas variaciones interanuales en la concentración de oxígeno disuelto, siendo el crucero de noviembre de 2009 (El Niño) el que contó con el mínimo de Oxígeno Superficial del Mar (OSM) encontrándose todos los puntos de muestreo por debajo del promedio general, con un valor promedio de  $5.1 \pm 0.1$  ml/l, debido a que como habíamos descrito previamente, se encontraba influenciado por la AStS.

El otro otoño analizado, de octubre de 2010 (La Niña), por el contrario cuenta con los mayores valores promedio de concentración de oxígeno disuelto ( $5.6 \pm 0.3$  ml/l), debido a la no influencia de la AStS durante este periodo, Los valores de abril de 2014 ( $5.5 \pm 0.4$  ml/l) y enero de 2011 ( $5.3 \pm 0.5$  ml/l) cuentan con valores intermedios entre ambos otoños.

### 4.1.3 Masas de agua

En los diagramas TS de las estaciones oceánicas (Figura 14), se observa como la zona de estudio cuenta con la influencia de tres masas de agua, considerando solamente los 350 m superiores del océano. Subsuperficialmente (200-350 m) se registra la presencia de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs), que se corresponde con el agua más fría, salina y con valores bajos de oxígeno (más densa, y por lo tanto estabilizada a la mayor profundidad). Las capas superiores están asociadas a la ASA, que fue la de mayor influencia en la zona de estudio, con baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto. En el crucero de noviembre de 2009 (afectado por El Niño) se observó la influencia de una tercera masa de agua, el AStS definida por sus altos valores de temperatura y salinidad y bajos valores de concentración de oxígeno disuelto.

Los puntos de muestreo presentaron valores T-S dentro de los rangos de valores definidos para las tres masas de agua, pero también fueron evidentes valores fuera de rango (tipos de agua) que tuvieron distintas proporciones de mezcla entre la AESs y la ASA en profundidades entre 100 y 225 m, principalmente. En enero 2011 fue cuando se observó una menor influencia de la AESs, con valores de mezcla incluso hasta los 350 m. En contraste, solo en noviembre 2011 se observaron algunos valores superficiales de la mezcla entre ASA y AStS.

En los diagramas TS de las estaciones costeras (Figura 15) la masa de agua dominante es la ASA, lo que refleja la gran influencia de la Corriente de California en la BSV. La influencia de la AESs se observó en el perfil de la estación más profunda (117.35) a partir de los 150 m de profundidad. En el crucero de noviembre de 2009, también se observa (aunque no tan claramente como en las estaciones oceánicas) cierta influencia de la AStS con valores ligeramente más salinos y calientes en estratos superficiales.

El agua de surgencias sería la cuarta masa de agua que influencia a la zona. Estas surgencias se dan en los 50 km próximos a la costa e introducen agua relativamente fría, salina, rica en nutrientes pero deficiente en concentración de oxígeno disuelto a la capa superficial. El valor de salinidad y concentración de oxígeno también dependerá

de la profundidad del agua surgida porque la ASA puede estar influenciado un estrato subsuperficial de considerable grosor.

#### **4.1.4 Anomalías de temperatura y salinidad**

El cálculo de las anomalías de temperatura en las estaciones oceánicas a 10 m con respecto a toda la serie de IMECOCAL (Figura 16), indicó que durante noviembre 2011, la anomalía positiva esperada fue inexistente (valores próximos a cero). Esto se debió a que el crucero se realizó en noviembre pero el promedio estacional del otoño corresponde a la temperatura de octubre cuando se realizaron la mayoría de los cruceros del periodo 1997-2011. El enfriamiento estacional en la región de octubre a noviembre es usualmente de  $1^{\circ}\text{C}$  (Eber, 1977) y esto pudo haber enmascarado el calentamiento ocasionado por El Niño. La anomalía positiva de temperatura solo fue ligeramente notoria en el crucero de abril de 2010 ( $0.4^{\circ}\text{C}$ ), indicando que El Niño ya está en fase de relajación.

Las anomalía negativas correspondientes con la fase de La Niña (octubre 2010 y enero 2011) si fueron notorias ( $-1.8$  y  $-0.6^{\circ}\text{C}$  respectivamente). Por lo tanto la influencia de La Niña parece ser la más notoria en la variación interanual del estudio.

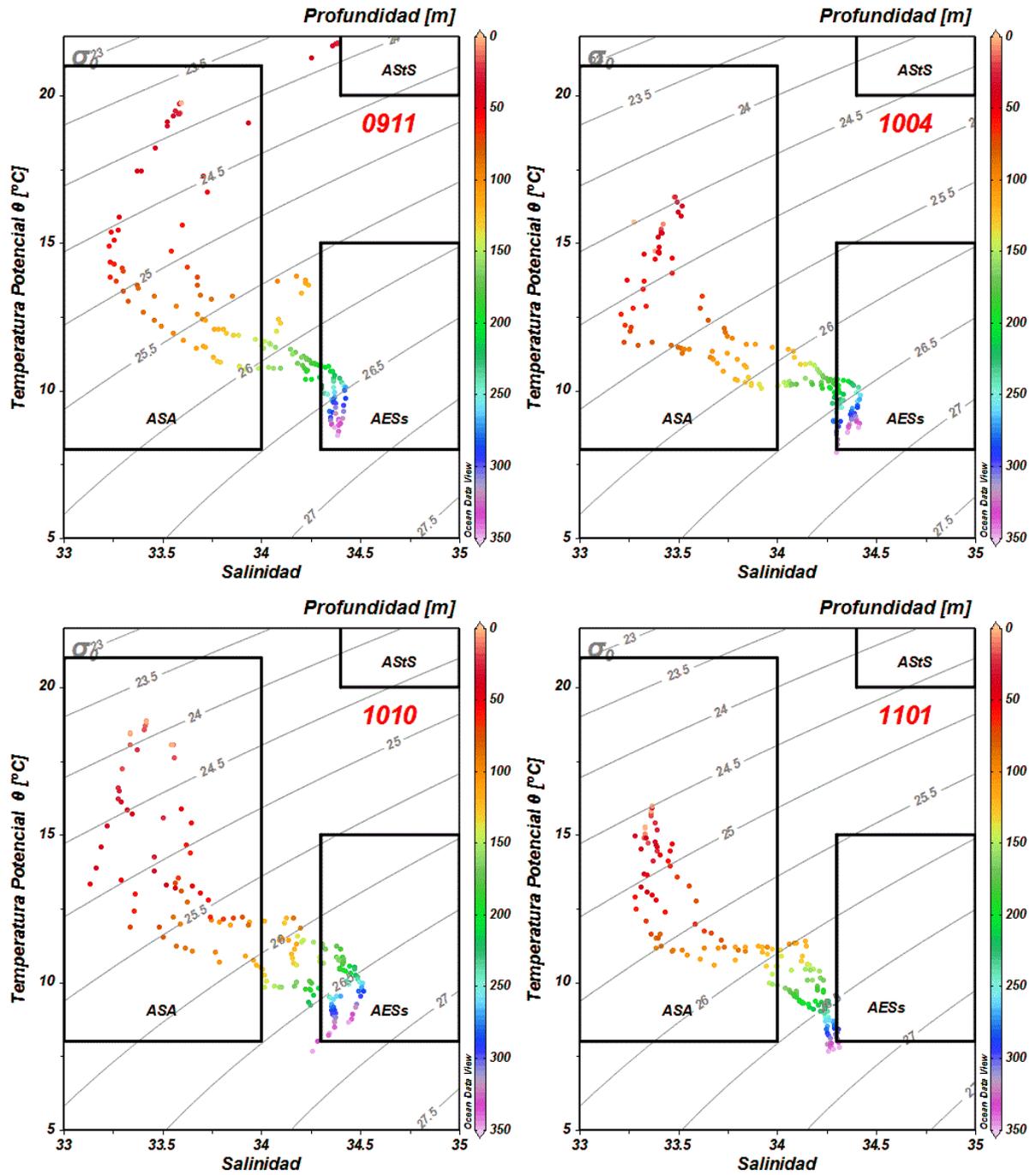


Figura 14. Diagramas TS de las estaciones oceánicas.

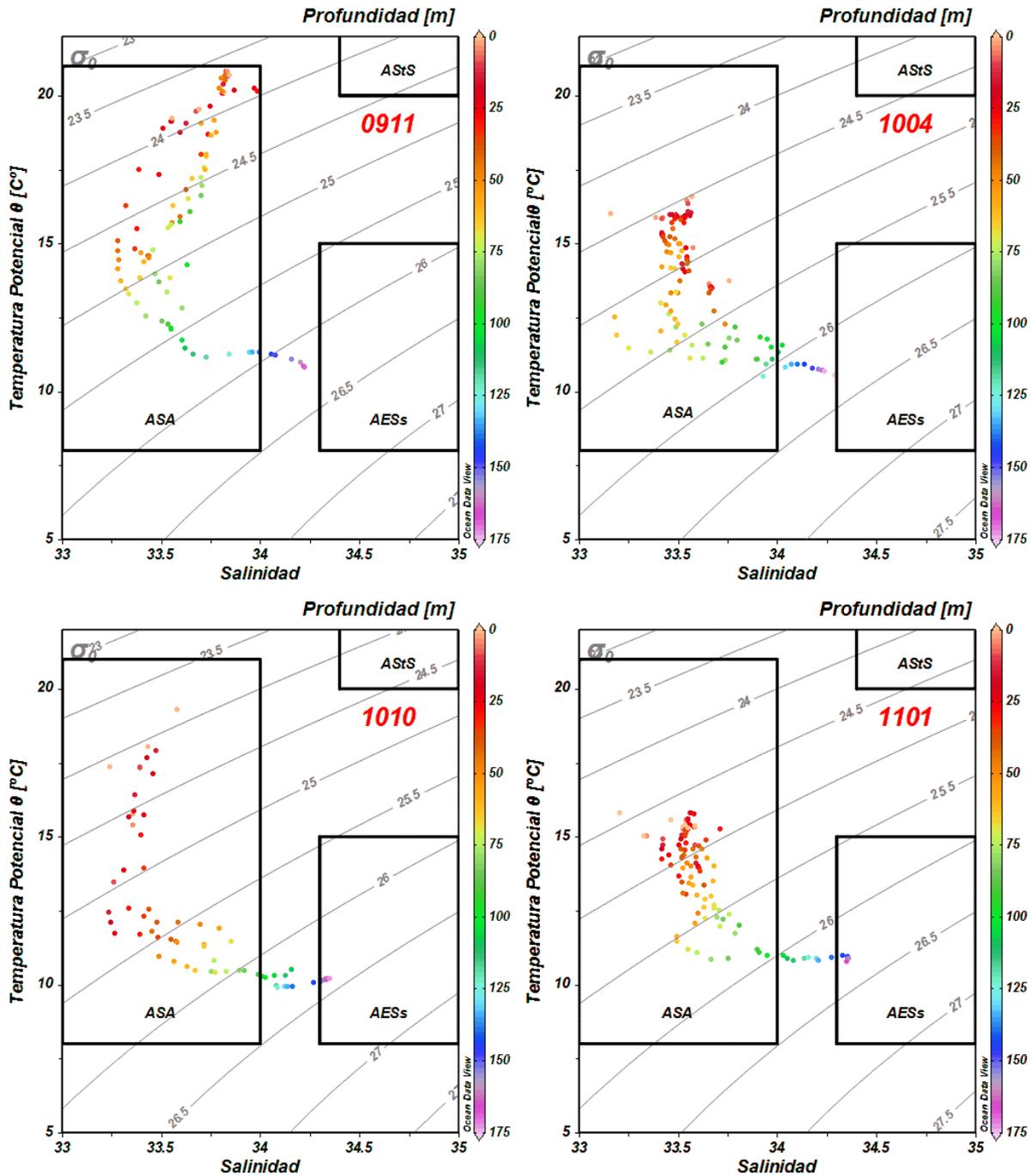


Figura 15. Diagramas TS estaciones costeras.

Las anomalías de salinidad a 10m no se correspondieron totalmente con las anteriormente descritas para la temperatura (Figura 17/Figura 7). En este caso, la fase cálida del ENSO se aprecia mejor en la anomalía positiva de noviembre de 2009 (0.1) que en la de abril de 2010 donde es prácticamente inexistente. La presencia de La Niña

en octubre de 2010 y enero de 2011 también es más notoria en las anomalías de salinidad, con valores de -0.2 y -0.3 respectivamente.

En las estaciones costeras, las anomalías de temperatura a 10 m (Figura 18Figura 8) si reflejaron la influencia de la fase positiva del ENSO durante noviembre de 2009 (+0.7°C) aunque está subestimada por el problema que se mencionó anteriormente del uso de un promedio de largo plazo correspondiente a octubre para su cálculo. También en la BSV sigue siendo más notoria la influencia de La Niña con unas anomalías de -2.5°C en noviembre de 2010 y de -0.7 en enero de 2011.

La salinidad dentro de BSV a 10 m (Figura 19Figura 9) presentó una anomalía positiva de 0.16°C en noviembre de 2009, que refleja la influencia de la masa de agua subtropical superficial, cálida y ligeramente salina. La anomalía de abril de 2010, contrariamente a lo que ocurre con la temperatura, fue ligeramente negativa (-0.06). La fase de La Niña está bien marcada en la salinidad con anomalías de -0.21°C en octubre de 2010 y -0.15°C en enero de 2011.

Las anomalías de temperatura a 200 m de profundidad en las estaciones oceánicas (Figura 10) fueron relativamente bajas pero mantienen la tendencia de las fases cálida y fría del ENSO. Durante los cruceros 0911 y 1004 las anomalías positivas alcanzaron 0.4°C indicando que aún a esa profundidad se registró un calentamiento. En cambio el enfriamiento intenso que se registraba en superficie durante los cruceros 1010 y 1101, disminuyó considerablemente a 200 m.

Las anomalías de salinidad tuvieron un comportamiento inverso al observado en superficie entre abril 2010 y enero 2011 (Figura 21). Esta tendencia contraria entre las anomalías de 10 y 200 m ya había sido observado en fases anteriores del monitoreo IMECOCAL y muestra una tendencia al incremento en salinidad a 200 m de más largo plazo, implicando una mayor estratificación salina en la columna de agua (ver línea de tendencia).

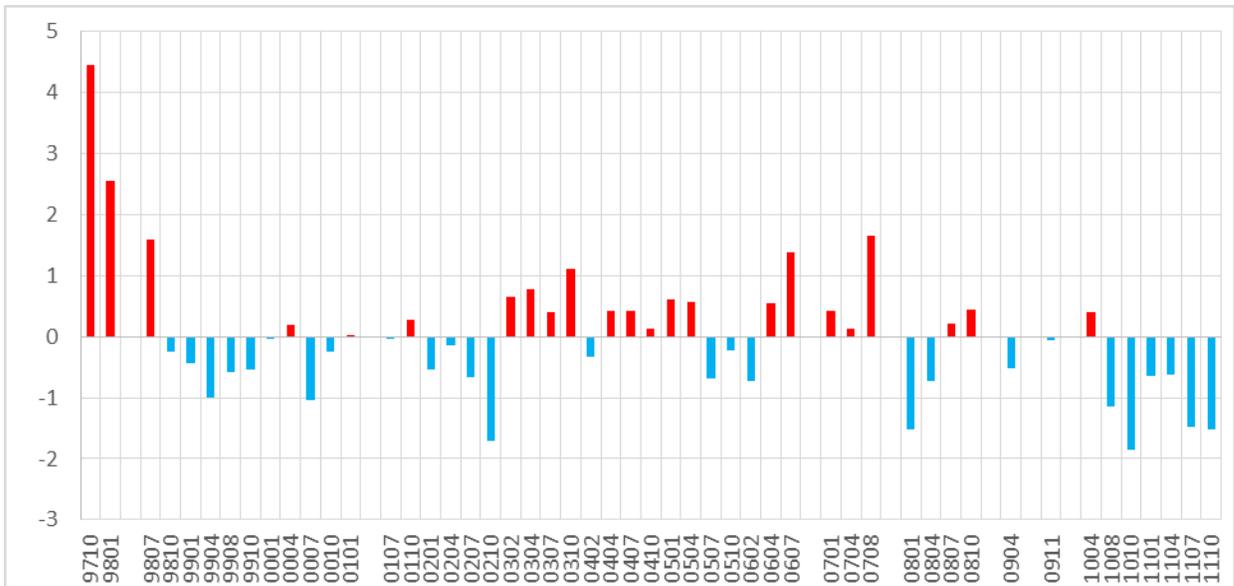


Figura 16. Anomalia de temperatura a 10 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.

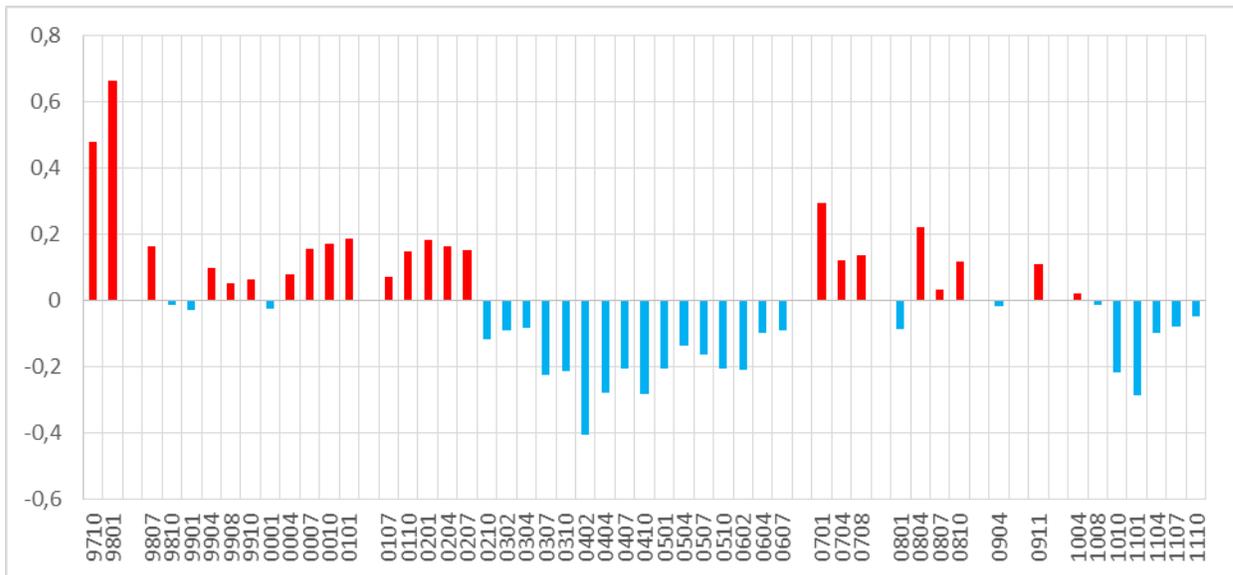


Figura 17. Anomalia de salinidad a 10 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.

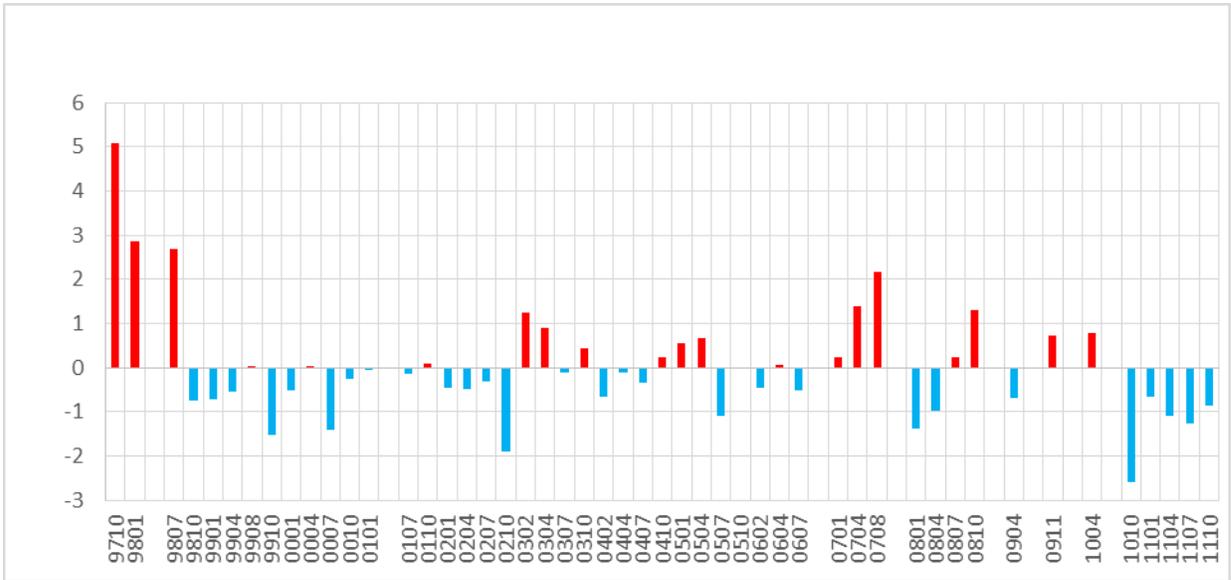


Figura 18. Anomalia de temperatura a 10 m de profundidad en BSV respecto al periodo 1997-2011.

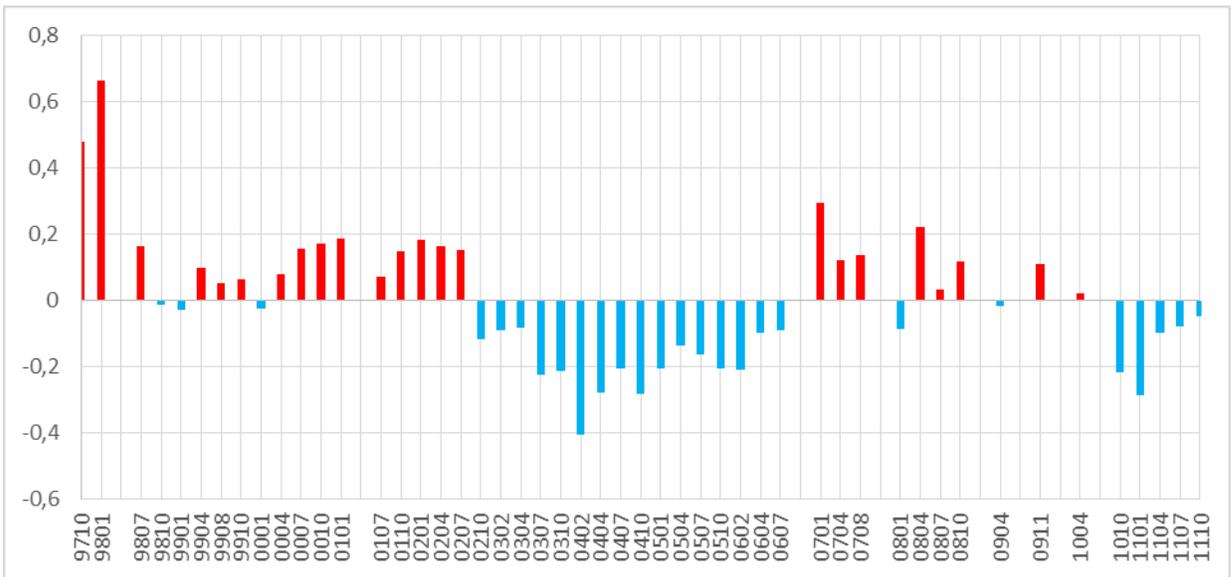


Figura 19. Anomalia de salinidad a 10 m de profundidad en BSV respecto al periodo 1997-2011.

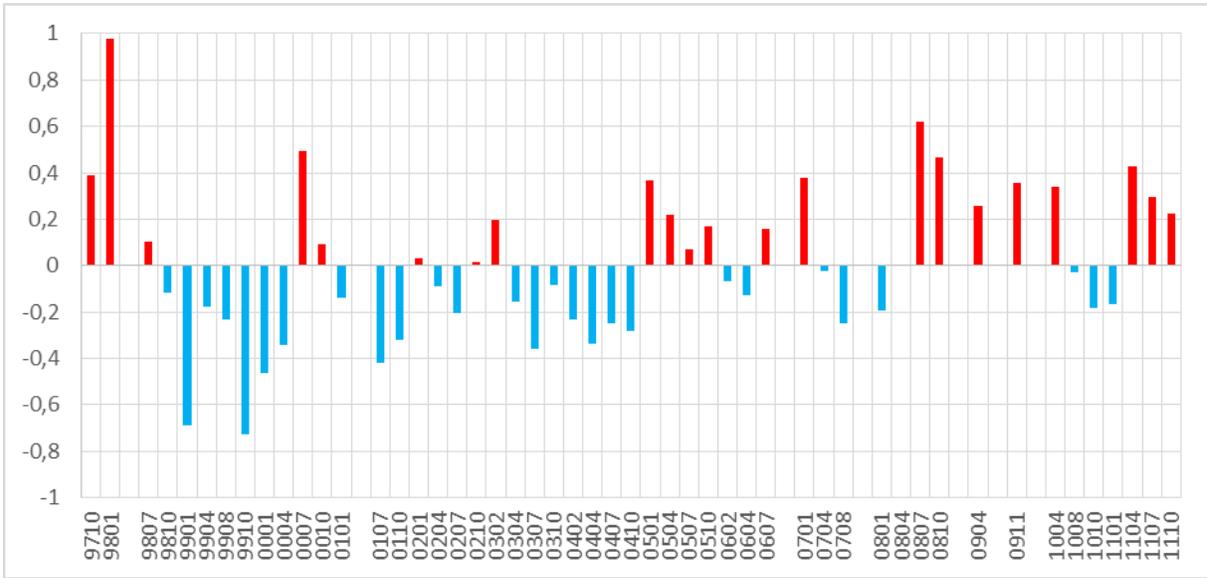


Figura 20. Anomalia de temperatura a 200 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.

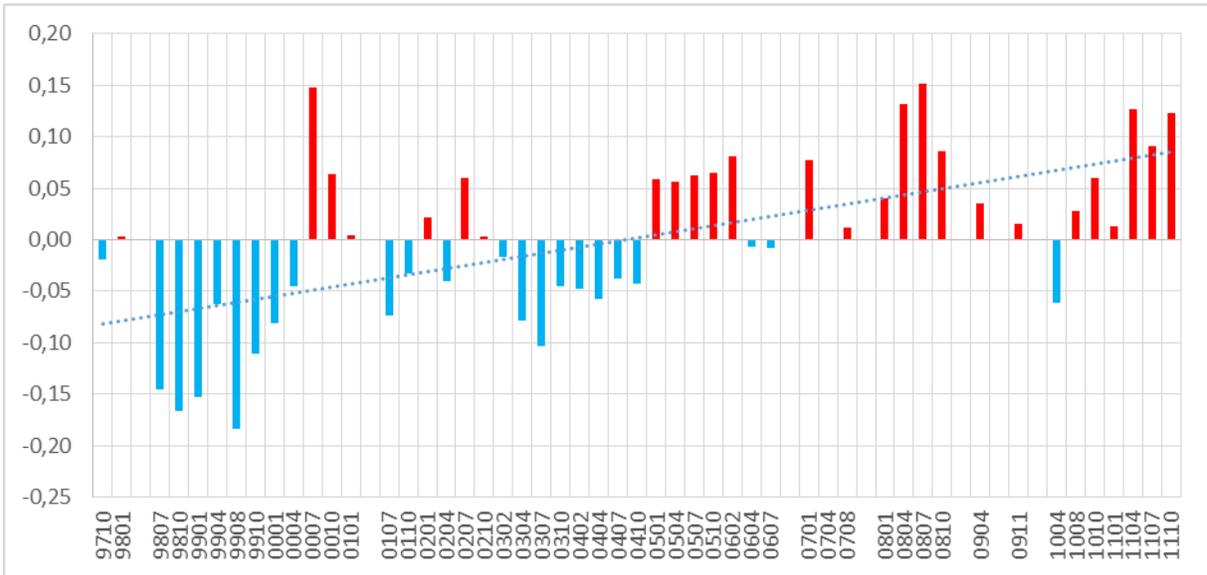


Figura 21. Anomalia de salinidad a 200 m de profundidad en la región oceánica (líneas 113-120) respecto al periodo 1997-2011.

## 4.2 Análisis de la composición y abundancia de eufáusidos

Se identificaron un total de 20 especies pertenecientes a 6 géneros (*Euphausia*, *Nematobrachion*, *Nematoscelis*, *Nyctiphanes*, *Stylocheiron* y *Thysanoessa*). *Nyctiphanes simplex* fue la especie de eufáusido más frecuente, encontrándose en 35 de las 37 muestras analizadas, mientras que *Nematoscelis difficilis* fue identificada en 28 muestras. La tercera posición con mayor frecuencia de aparición (25 muestras) fue *Thysanoessa gregaria* y con 19 muestras positivas *Euphausia pacifica*. En la Tabla 2 se detalla la presencia de especies por crucero.

Tabla 2. Relación de especies identificadas en los 4 cruceros del estudio con el número de muestras en las que estuvieron presentes (el número total de muestras analizadas por crucero se encuentra entre paréntesis).

Especie	Crucero				total
	Nov 2009 (10)	Abril 2010 (10)	Octubre 2010 (7)	Enero 2011 (10)	
<i>Euphausia diomedeeae</i> Ortmann, 1894	0	0	1	0	1
<i>Euphausia distinguenda</i> Hansen, 1911	1	1	0	0	2
<i>Euphausia eximia</i> Hansen, 1911	3	3	3	3	<b>12</b>
<i>Euphausia gibboides</i> Ortmann, 1893	2	1	3	1	7
<i>Euphausia lamelligera</i> Hansen, 1911	1	1	0	1	3
<i>Euphausia mutica</i> Hansen, 1905	0	0	0	1	1
<i>Euphausia pacifica</i> Hansen, 1911	1	7	4	7	<b>19</b>
<i>Euphausia recurva</i> Hansen, 1905	1	1	2	2	6
<i>Nematobrachion flexipes</i> Ortmann, 1893	1	0	1	2	4
<i>Nematoscelis difficilis</i> Hansen, 1911	5	7	7	9	<b>28</b>
<i>Nematoscelis gracilis</i> Hansen, 1910	0	0	1	0	1
<i>Nematoscelis tenella</i> G.O. Sars, 1883	0	0	1	0	1
<i>Nyctiphanes simplex</i> Hansen, 1911	9	9	7	10	<b>35</b>
<i>Stylocheiron affine</i> Hansen, 1910	4	2	4	3	<b>13</b>
<i>Stylocheiron carinatum</i> G.O. Sars, 1883	1	0	0	0	1
<i>Stylocheiron longicorne</i> G.O. Sars, 1883	1	1	0	1	3
<i>Stylocheiron maximum</i> Hansen, 1908	0	0	1	0	1
<i>Stylocheiron suhmi</i> G.O. Sars, 1883	1	0	1	1	3
<i>Thysanoessa gregaria</i> G.O. Sars, 1883	6	8	5	6	<b>25</b>
<i>Thysanoessa spinifera</i> Holmes, 1900	0	5	4	4	<b>13</b>

Otras tres especies (*Euphausia eximia*, *Stylocheiron affine* y *Thysanoessa spinifera*) fueron encontradas en 12 o 13 muestras, aunque *T. spinifera* estuvo ausente durante noviembre 2009.

*Euphausia gibboides* (7 estaciones) y *Euphausia recurva* (6 estaciones) se clasificaron como especies de incidencia media, mientras que las once especies restantes tuvieron una presencia baja (<4 muestras). No se incluyen en esta tabla los resultados los individuos rotos clasificados como no identificados pero se presume no son de alguna especie distinta.

Las abundancias de las especies identificadas variaron grandemente no solo entre regiones (costeras y oceánicas) sino también entre estaciones de una misma región y no presentan una distribución normal. Por ello en las tablas 2 y 3 se muestran la media, mediana y media geométrica. La media aritmética sobrestima la abundancia en aquellas especies que forman grandes agregaciones poblacionales como *E. pacifica* mientras que la media geométrica, al ser menos sensible a puntos extremos tiene el efecto inverso. En otras especies que se encuentran más regularmente en menores abundancias, como *T. gregaria*, los tres parámetros estadísticos muestran una tendencia similar. Por esta razón en algunos análisis y gráficas se seleccionó usar únicamente la media geométrica.

Tabla 3. Abundancia media, mediana y media geométrica (ind/1000 m<sup>3</sup>) de las especies de eufáusidos de la región oceánica. Se destacan en negrita valores superiores a 1000 ind/1000 m<sup>3</sup> y la especie a la que pertenecen.

Especie	parámetros	ESTACIONES OCEÁNICAS			
		Crucero			
		0911	1004	1010	1101
<i>Euphausia diomedea</i>	Media =	0.0	0.0	0.9	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	0.0	0.5	0.0
<i>Euphausia distinguenda</i>	Media =	69.3	0.0	0.0	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	4.9	0.0	0.0	0.0
<i>Euphausia eximia</i>	Media =	72.6	583.8	90.3	230.8
	Mediana =	105.3	777.8	86.3	76.1
	Media g.=	35.4	90.2	80.3	35.2
<i>Euphausia gibboides</i>	Media =	22.8	12.5	18.0	1.7

	Mediana =	6.2	0.0	17.7	0.0
	Media g.=	6.7	2.4	16.9	0.8
<i>Euphausia lamelligera</i>	Media =	10.9	0.0	0.0	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	2.2	0.0	0.0	0.0
<b><i>Euphausia pacifica</i></b>	Media =	4.1	<b>33395.8</b>	89.2	<b>9079.5</b>
	Mediana =	0.0	<b>31761.4</b>	10.4	<b>2857.6</b>
	Media g.=	1.4	<b>1294.3</b>	13.3	410.5
<i>Euphausia recurva</i>	Media =	4.1	18.5	36.6	84.3
	Mediana =	0.0	0.0	3.2	41.7
	Media g.=	1.4	2.8	6.7	19.8
<i>Nematobranchion flexipes</i>	Media =	2.6	0.0	1.7	6.2
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	1.7
	Media g.=	1.1	0.0	0.8	2.7
<b><i>Nematoscelis difficilis</i></b>	Media =	204.2	<b>2745.4</b>	<b>4453.2</b>	<b>3565.2</b>
	Mediana =	262.4	<b>1971.7</b>	<b>4039.5</b>	<b>1818.5</b>
	Media g.=	44.2	<b>2200.9</b>	<b>3440.2</b>	986.6
<i>Nematoscelis gracilis</i>	Media =	0.0	0.0	9.5	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	0.0	2.1	0.0
<i>Nematoscelis tenella</i>	Media =	0.0	0.0	0.9	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	0.0	0.5	0.0
<b><i>Nyctiphanes simplex</i></b>	Media =	<b>1022.4</b>	<b>4233.3</b>	<b>5997.2</b>	154.4
	Mediana =	24.8	710.9	<b>1409.4</b>	112.9
	Media g.=	41.8	203.4	<b>1938.7</b>	78.8
<i>Stylocheiron affine</i>	Media =	144.5	166.2	131.0	9.8
	Mediana =	92.9	144.4	80.6	8.5
	Media g.=	73.6	36.2	89.6	4.9
<i>Stylocheiron carinatum</i>	Media =	7.3	0.0	0.0	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	1.8	0.0	0.0	0.0
<i>Stylocheiron longicorne</i>	Media =	7.3	0.0	0.0	1.2
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	1.8	0.0	0.0	0.6
<i>Stylocheiron máximo</i>	Media =	0.0	0.0	0.9	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	0.0	0.5	0.0
<i>Stylocheiron suhmii</i>	Media =	2.1	0.0	18.1	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.9	0.0	2.8	0.0
<b><i>Thysanoessa gregaria</i></b>	Media =	79.7	509.9	<b>1407.5</b>	572.9
	Mediana =	92.9	550.0	<b>1668.3</b>	125.4
	Media g.=	63.6	365.5	<b>1348.0</b>	162.2
<i>Thysanoessa spinifera</i>	Media =	0.0	238.8	15.6	0.0

	Mediana =	0.0	150.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	43.1	2.6	0.0
G 1A (Furciliias tempranas del género <i>Euphausia</i> que no es posible identificar a nivel de especie)	Media =	140.5	16.7	412.2	479.1
	Mediana =	62.1	0.0	584.8	0.0
	Media g.=	86.3	2.7	71.6	10.3

Tabla 4. Abundancia media, mediana y media geométrica (ind/1000 m<sup>3</sup>) de las especies de eufáusidos en las estaciones costeras de BSV. Se destacan en negrita valores superiores a 1000 ind/1000 m<sup>3</sup> y la especie a la que pertenecen.

		ESTACIONES BAHÍA SEBASTIÁN VÍZCAINO			
Especie	parámetros	Crucero			
		0911	1004	1010	1101
<i>Euphausia eximia</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	0.8 0.0 0.3	0.0 0.0 0.0	0.5 0.0 0.3
<i>Euphausia lamelligera</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	0.8 0.0 0.3	0.0 0.0 0.0	5.4 0.0 0.7
<i>Euphausia mutica</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.5 0.0 0.3
<b><i>Euphausia pacifica</i></b>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	<b>1397.7</b> 183.3 47.8	195.5 69.0 16.3	<b>1459.8</b> 19.5 28.3
<b><i>Nematoscelis difficilis</i></b>	Media = Mediana = Media g.=	34.1 0.0 4.6	519.3 23.0 19.2	525.5 523.4 278.9	<b>1084.5</b> 383.6 127.8
<b><i>Nyctiphanes simplex</i></b>	Media = Mediana = Media g.=	<b>1937.2</b> <b>1003.7</b> 713.9	<b>1669.0</b> <b>1609.2</b> <b>1464.4</b>	<b>3988.2</b> <b>1831.9</b> <b>1624.3</b>	<b>1739.8</b> 860.3 899.1
<i>Stylocheiron affine</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.9 0.0 0.3	0.0 0.0 0.0	17.2 0.0 1.9	3.9 0.0 0.6
<i>Stylocheiron carinatum</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0
<i>Stylocheiron longicorne</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	3.4 0.0 0.6	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0
<i>Stylocheiron suhmii</i>	Media = Mediana = Media g.=	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	3.9 0.0 0.6
<i>Thysanoessa gregaria</i>	Media = Mediana = Media g.=	122.6 0.0 6.0	73.5 42.1 18.4	10.1 3.0 3.0	102.3 0.0 4.6

<b><i>Thysanoessa spinifera</i></b>	Media =	0.0	468.3	<b>1930.6</b>	214.3
	Mediana =	0.0	0.0	<b>1779.2</b>	11.5
	Media g.=	0.0	15.3	258.3	9.5
<i>Thysanoessa spp.</i>	Media =	0.0	206.2	23.0	0.0
	Mediana =	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media g.=	0.0	5.0	2.1	0.0
G 1a (Furciliias tempranas del género <i>Euphausia</i> que no es posible identificar a nivel de especie)	Media =	22.1	0.0	68.2	0.0
	Mediana =	15.4	0.0	21.5	0.0
	Media g.=	6.6	0.0	13.8	0.0

La media geométrica de las estaciones oceánicas (Figura 22, superior) mostró una dominancia de *N. difficilis*, salvo en el crucero afectado por el evento cálido (noviembre de 2009). En general, las especies características de la CC presentaron muy baja abundancia durante el crucero 0911, mientras que para las especies *Stylocheiron affine*, *Euphausia eximia* y las larvas del Grupo 1A, sus abundancias fueron más parecidas a las del crucero 1010 (Tabla 3). Sin embargo, su abundancia relativa resulta aumentada durante otoño cálido cuando escasearon las especies típicas de la CC (Figura 22). En el caso de la especie subártica-transición *E. pacifica* tuvo una tendencia estacional hallándose presente en los cruceros con la TSM más fría (enero y abril).

En la composición de especies en las estaciones costeras de BSV (Figura 22 inferior), *N. simplex* tuvo una clara dominancia numérica durante los cuatro cruceros, mostrando su afinidad nerítica. Aunque no tan marcada como en la región oceánica, se observó una diferencia interanual con menores abundancias durante el otoño de 2009 (M.G. = 714 ind/1000 m<sup>3</sup>), duplicando su abundancia durante otoño de 2010 (Tabla 4).

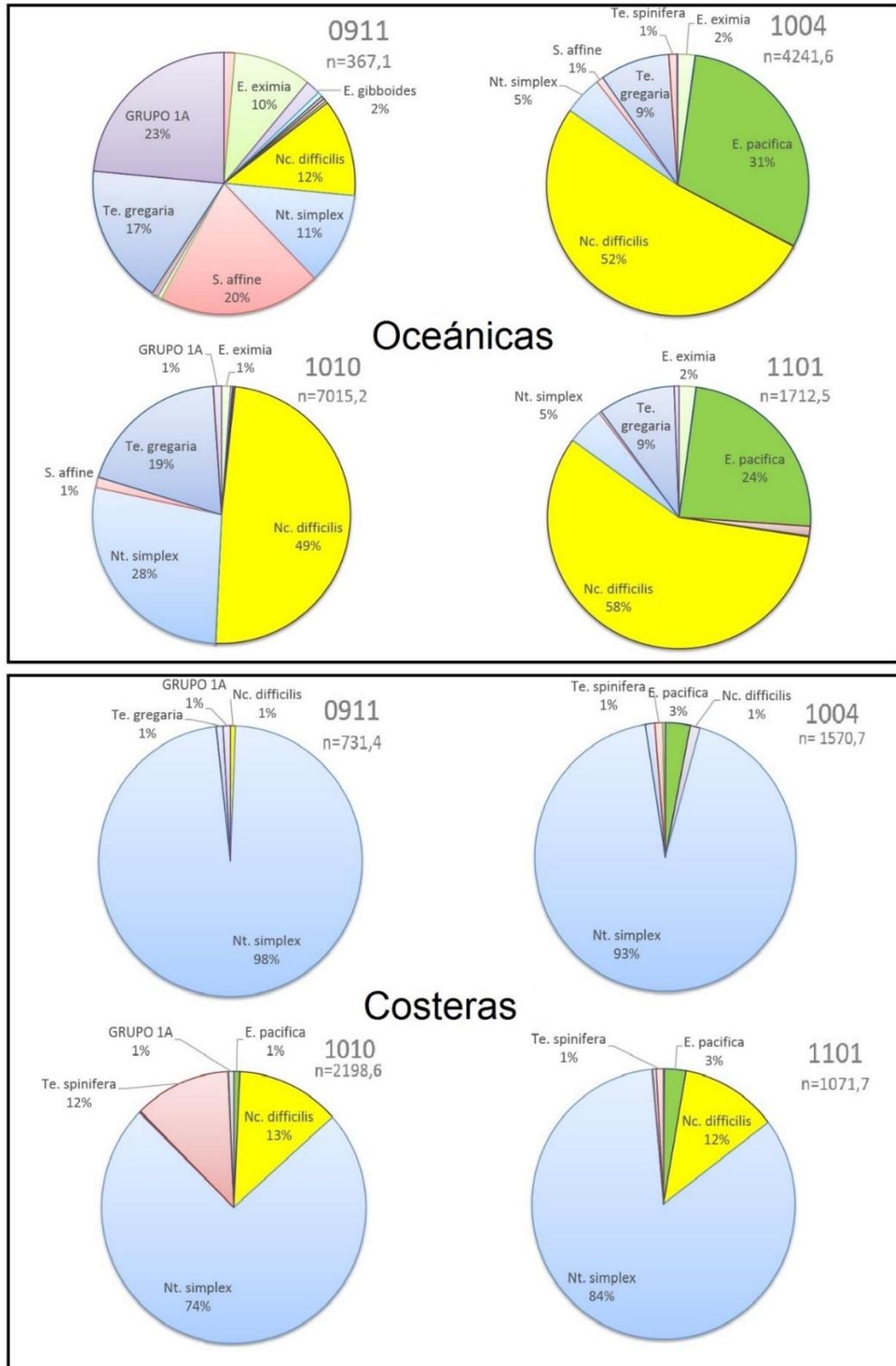


Figura 22. Composición de especies representadas según la media geométrica en las estaciones oceánicas (superior) y costeras (inferior), siendo n la abundancia total de euphausíidos (ind/1000 m<sup>3</sup>).

*E. pacifica* también tuvo una clara presencia y mayor abundancia durante los cruceros más fríos (enero y abril) en las estaciones costeras, pero con menor influencia que en las oceánicas aledañas. *T. spinifera*, especie subártica-transición con afinidad nerítica, estuvo presente en 3 cruceros, relativamente abundante durante octubre de 2010 demostrando su recuperación en Baja California central después del descenso en densidad en la región de la península de Baja California de su población a partir de El Niño del año 1958 que se prolongó por lo menos durante los 20 siguientes años de muestreo. También *N. difficilis* mostró una mayor incidencia en BSV durante La Niña.

#### **4.2.1 Comparación de abundancias entre los periodos de estudio**

Para determinar las diferencias estadísticas de abundancia descritas anteriormente se estableció la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: Que la abundancia de eufáusidos fue idéntica en todos los periodos de muestreo.

H<sub>a</sub>: Que hay diferencias significativas entre las abundancias de los distintos periodos de muestreo.

Las comparaciones entre abundancia total de eufáusidos en la región oceánica mediante la prueba de Kruskal-Wallis resultaron en que no existen diferencias significativas entre los promedios de los cruceros, para  $\alpha = 0.05$  (Tabla 55). Para las especies dominantes tampoco se demostraron diferencias temporales en las estaciones oceánicas. Este resultado puede ser debido a que el número de muestras analizadas por crucero es pequeño (3 estaciones oceánicas por crucero).

Tabla 5. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las especies dominantes de eufáusidos en la región oceánica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N=3 en cada uno de los cuatro cruceros analizados.

Especie	H	P
<i>Euphausia eximia</i>	0,939	0.816
<i>Euphausia pacifica</i>	2,674	0.445
<i>Nematoscelis difficilis</i>	4,846	0.183
<i>Nyctiphanes simplex</i>	2,406	0.492
<i>Thysanoessa gregaria</i>	5,872	0.118
<i>Thysanoessa spinifera</i>	4,992	0.172
<b>EUFAUSIDOS TOTALES</b>	<b>6,788</b>	<b>0.078</b>

El resultado de la prueba Kruskal-Wallis para la abundancia total de eufáusidos en las muestras de la BSV (suma de todas las especies), es que no existen diferencias significativas en los promedios de abundancia entre distintas especies entre los periodos de estudio.

El resultado de la prueba Kruskal-Wallis para las especies frecuentes en las estaciones costeras (Tabla 6), solo mostró dos especies con abundancias estadísticamente diferentes entre cruceros: las especies subárticas-transición *E. pacifica* y *T. spinifera*. El resultado de que se hayan encontrado diferencias significativas entre sus abundancias puede ser debido a un mayor número de muestras (n=7, salvo para el crucero 1004 que n= 4). Sin embargo, también pudo haber influido en el resultado la hora de muestreo (día/noche).

En la Prueba U de Mann-Whitney (Tabla 77) se comprobó que esas diferencias entre *E. pacifica* se dan entre el crucero de noviembre de 2009 (en la que no se identificó ningún espécimen) y abril de 2010 y enero de 2011, donde la abundancia de *E. pacifica* fue mayor, de la misma manera, la especie *T. spinifera* muestra unas abundancias significativamente distintas entre noviembre de 2009 (tampoco se identificaron individuos) y el muestreo de octubre de 2010 en que esta especie fue más abundante en BSV.

Tabla 6. Comparación de las abundancias de las especies dominantes en las estaciones costeras de BSV, mediante la prueba de Kruskal-Wallis. N=7 en los cruceros 0911, 1004 y 1101; N=4 en el crucero 1010.

Especie	H	P
<i>Euphausia eximia</i>	1,643	0,816
<i>Euphausia pacifica</i>	7,863	<b>0,049</b>
<i>Nematoscelis difficilis</i>	6,651	0,083
<i>Nyctiphanes simplex</i>	0,596	0,897
<i>Thysanoessa gregaria</i>	2,059	0,560
<i>Thysanoessa spinifera</i>	7,969	<b>0,047</b>
EUFAUSIDOS TOTALES	3.302	0.350

Tabla 7. Test U de Mann-Whitney para detectar en que cruceros tuvo diferencias significativas en las abundancias de las especies destacadas en la Tabla 5.

<b>E. pacifica</b>	<b>U</b>	<b>P</b>
0911-1004	7.000	<b>0.026</b>
1004-1010	7.000	0.648
0911-1101	7.000	<b>0.026</b>
1004-1010	11.000	0.648
1004-1101	21.000	0.710
1010-1101	14.000	1.000
<b>Te. Spinifera</b>	<b>U</b>	<b>P</b>
0911-1004	14.000	0.209
0911-1010	3.500	<b>0.042</b>
0911-1101	10.500	0.073
1004-1010	7.000	0.230
1004-1101	21.000	0.710
1010-1101	6.500	0.164

### 4.3 Análisis de fases de vida

Considerando la abundancia integrada de cada una de las especies por fases de vida en las estaciones oceánicas, se observó un comportamiento diferente para las fases larvales. Las larvas caliptopis presentaron sistemáticamente menor abundancia que las furciliias. La subestimación es causado al tamaño de luz de malla de la red (500  $\mu\text{m}$ ) que resulta demasiado grande y una parte no cuantificada pasa a través de la red. Llama la atención la ausencia de caliptopis en el otoño cálido de 2009 indicando posiblemente desfavorables condiciones reproductivas para los eufáusidos. La fase de vida más abundante en las estaciones oceánicas (Figura 23) fue la de furcilia en todos los cruceros, sobre todo en el crucero de abril 2010. La segunda fase de vida más abundante fue la juvenil. Los adultos de eufáusidos suelen ser la fase de vida menos abundante debido al proceso de mortalidad natural a lo largo de su ciclo vital.

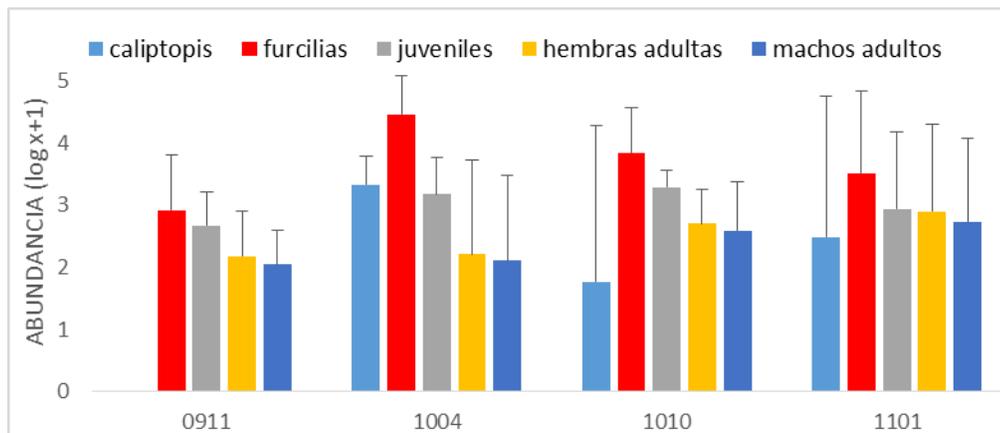


Figura 23. Abundancia promedio y 95% intervalo de confianza de los eufáusidos oceánicos por fase de vida. Nótese la escala logarítmica en el eje Y.

Las abundancias de las estaciones costeras (Figura 24) fueron considerablemente inferiores a las halladas en las estaciones oceánicas (Figura 23). Las furciliias siguieron siendo la fase de vida más abundante, pero en las estaciones neríticas su mayor abundancia ocurrió en octubre de 2010 y no en abril cuando se detectó el máximo de caliptopis (evento reproductivo reciente al periodo de muestreo).

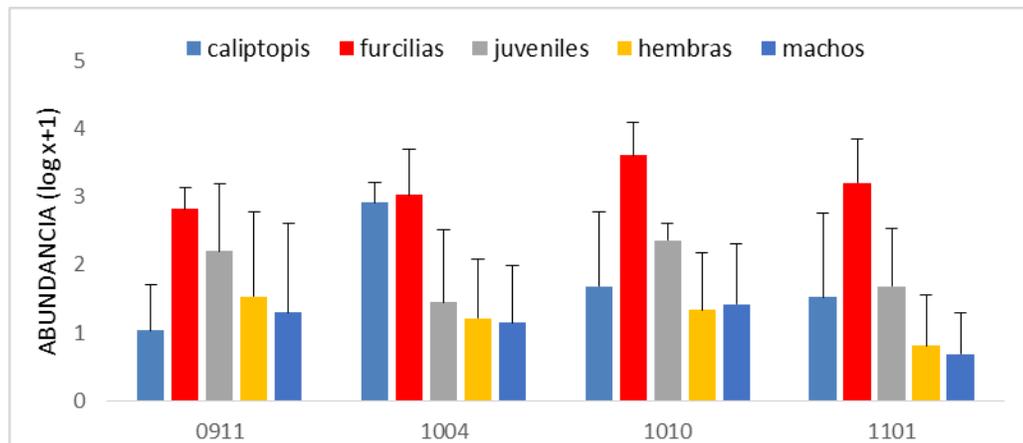


Figura 24. Abundancia media de 95% intervalo de confianza de los eufáusidos costeros de BSV por fase de vida. Nótese la escala logarítmica en el eje Y.

#### 4.3.1 Comparación de la abundancia entre los periodos de estudio por fases de vida

Comparando las abundancias de las distintas fases de vida a lo largo de los 4 cruceros de estudio en la región oceánica (Tabla 8) se observa que tan solo los caliopsis ( $p < 0.05$ ) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre cruceros, sin embargo el test U de Mann-Whitney (Tabla 9) no detectó diferencias significativas entre los pares de cruceros, esto posiblemente se debe al bajo número de muestras (3 lances oceánicos por crucero).

El mismo resultado se repite para las estaciones costeras pero de manera significativa (Tabla 10;  $p = 0.009$ ), posiblemente debido a mayor número de muestras (7 muestras costeras por crucero), lo cual se ve reflejado en el test U de Mann-Whitney (Tabla 11) en la que se refleja una diferencia estadísticamente significativa entre las abundancias de noviembre de 2009 (no se capturaron caliopsis) con abril de 2010 (mayor abundancia de caliopsis) y abril de 2010 con octubre de 2010 (baja abundancia de caliopsis), demostrando de esta forma que los caliopsis son la fase de vida más variable entre cruceros.

Por último, también se realizó una comparación entre las abundancias del grupo de estaciones diurnas y las nocturnas, en las estaciones costeras (todas las estaciones oceánicas fueron nocturnas) mediante el Test U de Mann-Whitney en las diferentes fases de vida (Tabla 12) en la que se aprecia, que en los lances diurnos hubo una diferencia significativa en la abundancia de individuos juveniles y adultos (hembras y machos) mientras que para las fases iniciales de caliptopis y furcillas las abundancias no fueron significativamente diferentes entre capturas de día y noche ( $p > 0.05$ ).

Tabla 8. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las fases de vida en la región oceánica, mediante la prueba de Kruskal-Wallis.  $N = 3$  en cada uno de los cuatro cruceros analizados.

Fases de vida	H	P
Caliptopis	7.984	<b>0.046</b>
Furcillas	7.000	0.072
Juveniles	3.000	0.392
Hembras	2.282	0.516
Machos	1.974	0.578

Tabla 9. U de Mann-Whitney comparando abundancias de caliptopis oceánicos entre pares de cruceros.

Abundancia caliptopis	U	P
<b>0911-1004</b>	0.000	0.100
<b>0911-1010</b>	1.500	0.200
<b>0911-1101</b>	0.000	0.100
<b>1004-1010</b>	0.000	0.100
<b>1004-1101</b>	3.000	0.700
<b>1010-1101</b>	2.000	0.400

Tabla 10. Comparación de las abundancias entre meses de muestreo de las diferentes fases de vida en las estaciones costeras de BSV, mediante la prueba de Kruskal-Wallis.  $N = 7$  en los cruceros 0911, 1004 y 1101;  $N = 4$  en el crucero 1010.

Fases de vida	H	p
Caliptopis	11.365	<b>0.009</b>
Furcillas	4.728	0.193
Juveniles	4.007	0.261
Hembras	1.433	0.698

Machos	1.734	0.629
--------	-------	-------

Tabla 11. Test U de Mann-Whitney comparando abundancias de caliptopis costeros entre cruceros.

<b>Pares comparados</b>	<b><i>U</i></b>	<b><i>P</i></b>
<b>0911-1004</b>	0.000	<b>0.001</b>
<b>0911-1010</b>	7.000	0.230
<b>0911-1101</b>	18.000	0.456
<b>1004-1010</b>	2.000	<b>0.024</b>
<b>1004-1101</b>	9.000	0.053
<b>1010-1101</b>	13.000	0.927

Tabla 12. Prueba U de Mann-Whitney comparando abundancias día/noche en las diferentes estaciones costeras

<b>Diferencias día/noche</b>	<b><i>U</i></b>	<b><i>P</i></b>
caliptopis	66.000	0.643
Furcillas	48.000	0.144
juveniles	31.500	<b>0.014</b>
hembras	13.500	<b>0.001</b>
Machos	18.000	<b>0.001</b>

## 4.4 Análisis de la comunidad

Las técnicas multivariadas de clasificación y ordenación permiten analizar y cuantificar la variabilidad en la estructura de la comunidad y la abundancia entre especies o entre fases larvianas, así como asociar estas variables biológicas en función del espacio multidimensional de las condiciones ambientales registradas en cada estación oceanográfica.

### 4.4.1 Análisis de la similitud entre estaciones de muestreo

En el análisis de conglomerados se conjuntaron estaciones costeras y oceánicas para explorar simultáneamente diferencias espaciales y temporales, mediante el índice de similitud de Bray-Curtis. Por lo tanto la matriz de similitud tuvo dimensiones de 20 x 37, y en base a ella se construyó un dendrograma usando como criterio de enlace el grupo promedio "group average en inglés" (Figura 25).

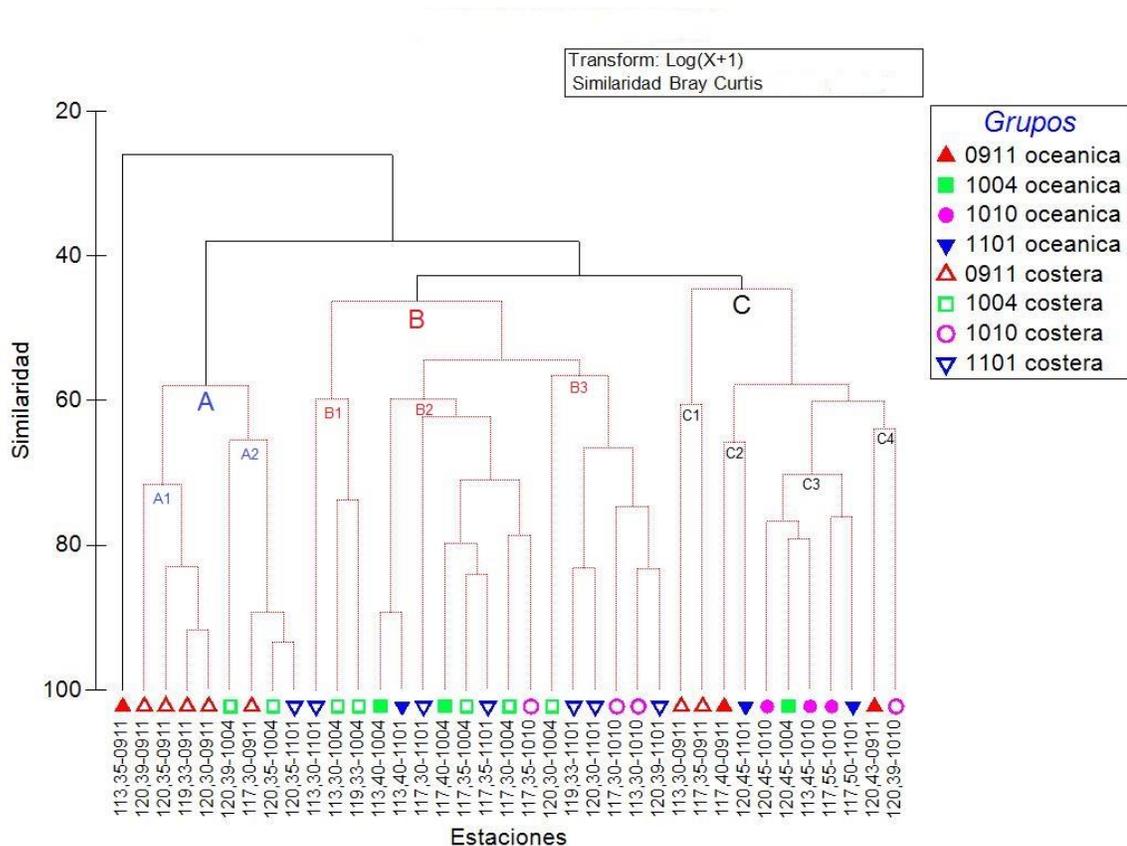


Figura 25. Dendrograma de similitud entre estaciones. Se muestran los tres conglomerados significativamente distintos según la prueba SIMPROF (A, B, C), que a

la vez fueron divididos en subgrupos. Los símbolos denotan a que crucero y región pertenece cada estación.

Siguiendo el criterio del SIMPROF (grupos estadísticamente diferentes), se obtuvieron 3 grandes grupos, separados para su mejor análisis en 9 subgrupos:

**Grupo A.** Se agrupan ocho estaciones costeras recolectadas durante El Niño, salvo la est.120.35 de enero 2011. Casi todas las estaciones correspondieron a la parte sur de BSV. La especie *N. simplex* es la especie que tuvo mayor contribución a la similitud de estas estaciones (Figura 27).

**A1=** Subgrupo con la mayor similitud promedio (>70%), que agrupó a las estaciones nocturnas y cálidas de la región sur de BSV de noviembre 2009. Este clúster está definido por una abundancia media de la especie *N. simplex* (M.G. = 2330 ind/1000 m<sup>3</sup>; Figura 26).

**A2=** Estaciones diurnas de la BSV con muestras de El Niño (0911 y 1004) y una perteneciente a 1101. Este subgrupo está definido por una menor abundancia de *N. simplex* (M.G. = 1335 ind/1000 m<sup>3</sup>; Figura 26).

**Grupo B=** Esta agrupación de estaciones incluye principalmente estaciones costeras y frías (en torno a los 15.6°C superficiales en abril y enero). Las cinco especies que dan mayor similitud al grupo fueron: *N. simplex* (35%), *E. pacífica* (22%), *N. difficilis* (22%), *T. spinifera* (11%) y *T. gregaria* (10%) (Figura 27).

**B1=** Subgrupo formado por solo tres estaciones costeras frías (est. 113.30 de abril y enero, diurnas en ambos casos, y la 119.33 del crucero 1004 que es nocturna), con muy baja abundancia total de eufáusidos.

**B2 =** Subgrupo grande (8 muestras) con alta abundancia de *E. pacífica* (M.G. = 3966 ind/1000 m<sup>3</sup>; Figura 26) tanto en la zona oceánica como en la estación más profunda de BSV (117.35) en condiciones frías (enero y abril). También presentó abundancia moderada de *N. difficilis*. Todas las estaciones menos una fueron nocturnas.

**B3 =** En este subgrupo exclusivamente costero la mayoría de las estaciones fueron nocturnas costeras y principalmente de la región sur de BSV. No obstante

presentó una abundancia moderada de eufáusidos, compuesta en su mayoría por *N. simplex*, pero con una influencia de la especie subártica *T. spinifera* (Figura 26).

**Grupo C=** Esta agrupación de estaciones incluyo principalmente estaciones oceánicas, tres especies (*N. simplex*, *N. difficilis* y *T. gregaria*) contribuyeron en gran medida a la similitud (Figura 27)

**C1** = Subgrupo de estaciones costeras diurnas del crucero 0911 (El Niño) con una abundancia total extremadamente baja.

**C2=** Subgrupo de dos estaciones oceánicas de baja abundancia y dominado por la especie subtropical *E. eximia* (64%).

**C3=** Subgrupo de estaciones oceánicas dominadas por *N. difficilis* que contribuye con el 70% de similitud. En este conglomerado también se observa abundancia moderada de *N. simplex* y *T. gregaria* (Figura 26).

**C4** = Subgrupo de muestras otoñales de abundancia alta (principalmente de *N. simplex*). Ambas estaciones son nocturnas, de la misma línea (120) y próximas entre sí, pero con profundidades muy distintas (39 m y 415 m respectivamente).

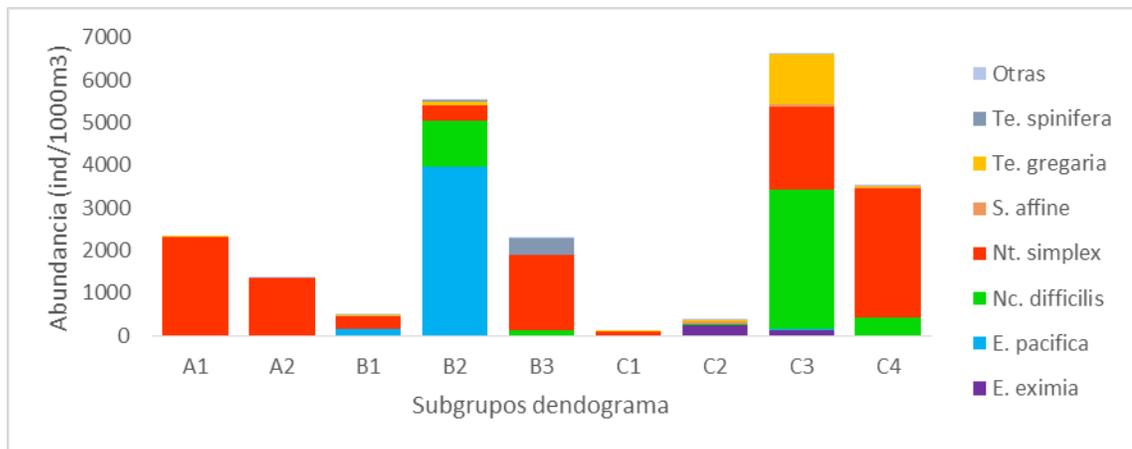


Figura 26. **Promedios geométricos de la abundancia específica de eufáusidos por agrupación de estaciones para las especies numéricamente dominantes de eufáusidos.**

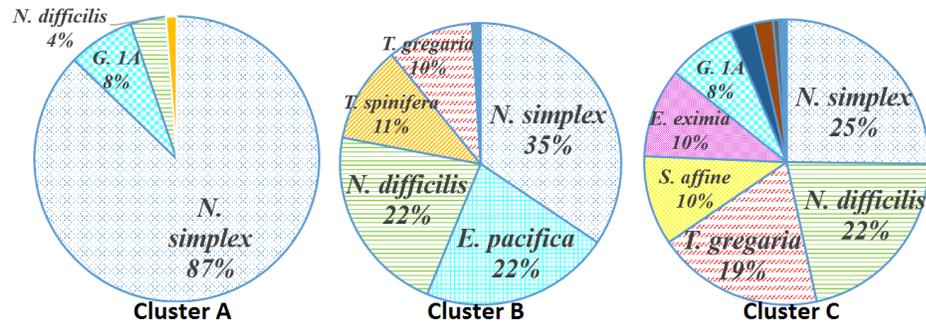


Figura 27. Resultados de la contribución a la similitud de los grupos obtenida por la prueba SIMPER realizada con respecto al factor de el dendograma de agrupamiento.

El NMDS y análisis de agrupamiento son técnicas de exploración y visualización de patrones, es decir, no permiten contraste de hipótesis, por lo tanto los grupos formados por el clúster (Figura 25) se sometieron a la prueba ANOSIM para demostrar que no son agrupamientos obtenidos al azar, obteniendo una R Global de 0.673 con una p de 0.01, por lo que se infiere que existen diferencias estadística en la estructura de la comunidad y abundancia de las especies de eufáusidos entre los distintos agrupamientos de estaciones oceanográficas (calculado con el programa SIMPROF).

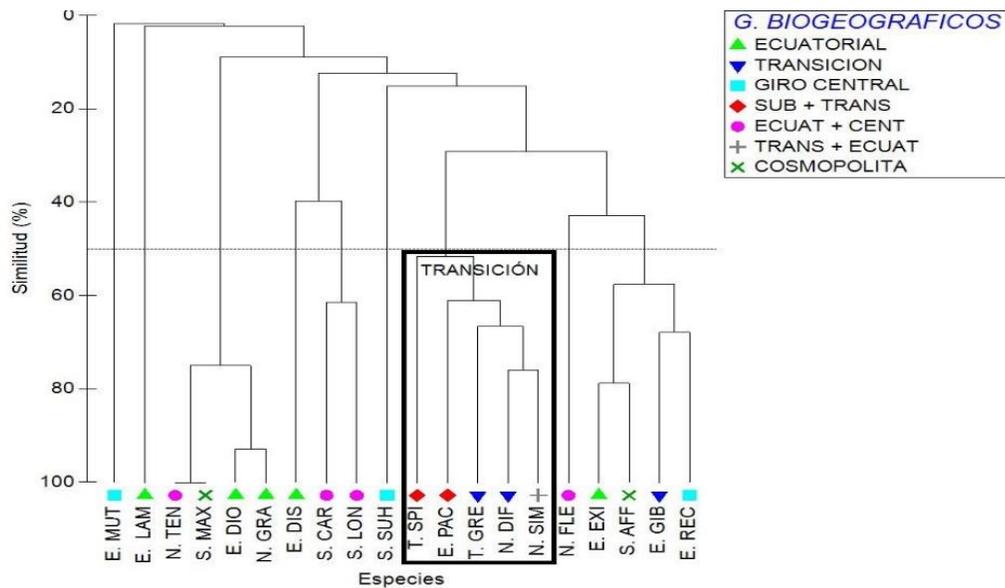


Figura 28. Dendograma de similitud entre especies de eufáusidos basado en abundancias de 20 especies y 37 muestras colectadas en el periodo 2009-2011, en los recuadros se observan el grupo de transición con las especies más frecuentes.



#### 4.4.2 Análisis de la similitud entre especies

La matriz de similitud de 20 especies fue analizada comparando los cuatro cruceros (Figura 28). El dendograma de similitud entre especies agrupo cuatro grupos de estaciones de muestreo con un punto de corte de 50%. De las 7 especies más frecuentes, 5 de ellas se encuentran en una agrupación denominada transicional en las que se encuentran las especies de transición, de las cuales en la parte izquierda se sitúan las de aguas frías, en la parte central las especies con afinidad biogeográfica de transición, y en la parte derecha *N. simplex* con afinidad subtropical. Con una similitud de 80% se encuentran asociadas las otras dos especies frecuentes y en este caso ecuatoriales como son *E. eximia* y *S. affine* con el ecofenotipo no identificado pero presumiblemente del tipo ecuatorial.

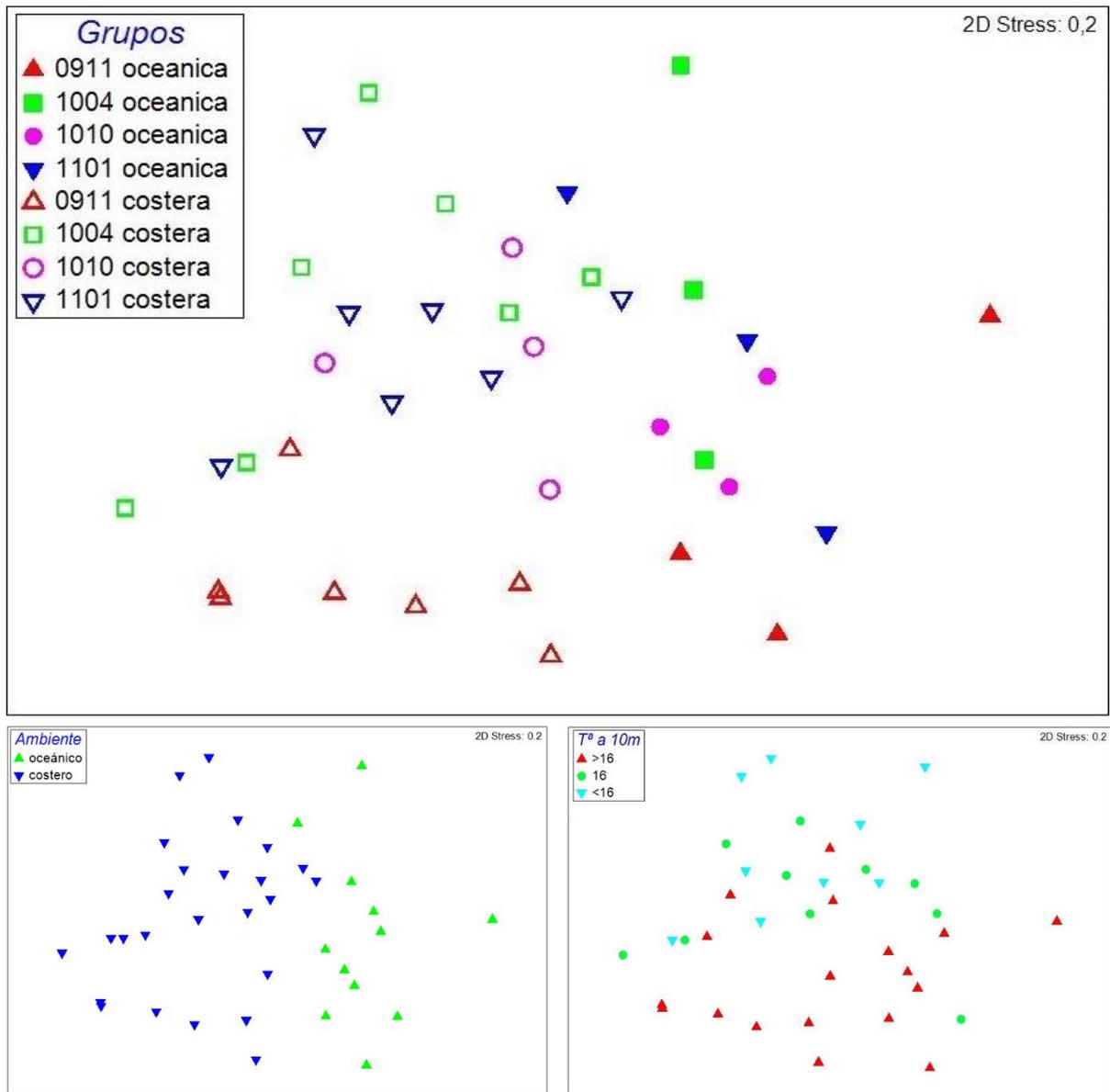


Figura 29. Ordenación MDS de las estaciones de estudio (parte superior crucero y ambiente, parte inferior izquierda el factor ambiente y parte inferior derecha el factor  $T^a$  a 10m).

La separación entre eufáusidos recolectados en estaciones ubicadas en el ambiente costero y oceánico es más clara en el MDS (Figura 29) que en el análisis de agrupamientos previo. En este MDS se aprecia que el crucero más cálido (0911) tiene sus estaciones representadas en la parte inferior (véase MDS inferior derecho), seguidas por el otro otoño (1010) con temperaturas inferiores (influido por La Niña). En

la parte superior se reparten las estaciones de los cruceros más fríos (1004 y 1101). Si observamos la gráfica principal de izquierda a derecha, podemos comprobar, como hay una tendencia a agruparse las estaciones costeras a la izquierda, y las oceánicas a la derecha de la misma (se aprecia con más detalle la separación en MDS inferior izquierdo).

#### 4.4.3 Análisis de los índices de diversidad

Tabla 13. Índices de diversidad siendo: S = número especies; N = número de individuos; d = riqueza de especies de Margalef y J' = Uniformidad de Pielou.

Índices	S	N	d	J'
<b>Estaciones oceánicas</b>				
0911	8.0	1672.6	1.0	0.6
1004	6.0	41904.2	0.5	0.3
1010	9.7	12271.0	1.0	0.6
1101	7.0	13706.0	0.7	0.4
<b>Estaciones costeras</b>				
0911	2.0	2094.8	0.2	0.3
1004	4.0	4138.8	0.4	0.4
1010	4.0	6681.5	0.4	0.6
1101	4.3	4615.1	0.4	0.5
<b>Promedio de los cuatro cruceros</b>				
Oceánicas promedio	7.7	17388.4	0.8	0.5
Costeras promedio	2.9	3506.1	0.3	0.3

El análisis de los índices de diversidad, nos indica que las estaciones oceánicas son las que cuentan con un mayor número de especies promedio (2.7 veces mayor) con una abundancia promedio 5 veces mayor (promedio aritmético = 17,388 individuos por cada 1000m<sup>3</sup> frente a los 3,506 de las estaciones costeras). La riqueza de especies de Margalef reafirma el mayor número de especies en la región oceánica. El índice de uniformidad de Pielou nos da idea de que tan homogéneamente se distribuyen los individuos a través de los taxa presentes, el valor de J' para las estaciones oceánicas es de 0.5 frente al 0.3 de las costeras, es decir, está menos dominado que estas (en las que *N. simplex* es la especie numéricamente dominante).



## 4.5 Relación entre la comunidad de eufáusidos y los factores ambientales

Se realizaron por separado las pruebas de BIO-ENV, tanto para las estaciones oceánicas, como para las estaciones costeras, ya que la composición de especies y las variables ambientales, son marcadamente diferentes dentro y fuera de la plataforma continental de BSV.

### 4.5.1 Región oceánica

La matriz de datos ambientales utilizada es de tamaño 12x11, con un total de 12 estaciones oceánicas y 11 variables ambientales. Debido a que se encontró una correlación muy alta  $>0.95$  entre la T y el spiciness a 10m (0.97), se eliminó esta última variable del análisis BIO-ENV (Tabla 15).

**Tabla 14. Variables utilizadas en el análisis BIO-ENV para el ambiente oceánico.**

REF	Variables análisis BIO-ENV
1	Temperatura a 10m
2	Salinidad a 10m
3	Concentración de oxígeno disuelto a 10m
4	Clorofila-a integrada
5	Profundidad de la capa de mezcla
6	Temperatura a 200m
7	Salinidad a 200m
8	Oxígeno a 200m
9	Salpas
10	spiciness 10m (variable eliminada por falta de ortogonalidad)
11	Volumen de Zooplancton

EL mejor ajuste de variables ambientales (Tabla 15) incluye a la temperatura a 10 m y el volumen zooplancton con una correlación (Rho) de 0.534, es decir, el 53.4% de la varianza en la matriz de abundancia de eufáusidos estarían explicados por estas dos variables.

El test de permutaciones (Figura 30), nos indica que de las 999 permutaciones realizadas al azar, 53 de ellas tienen una correlación más alta que nuestra Rho, es decir, nuestro nivel de significancia es del 5.4%, por lo tanto, no podemos afirmar que

se cumpla nuestra hipótesis alterna (existe relación entre los parámetros ambientales y la abundancia de eufáusidos) con un intervalo de confianza del 95%, si bien, si se cumpliría al 90% de confianza.

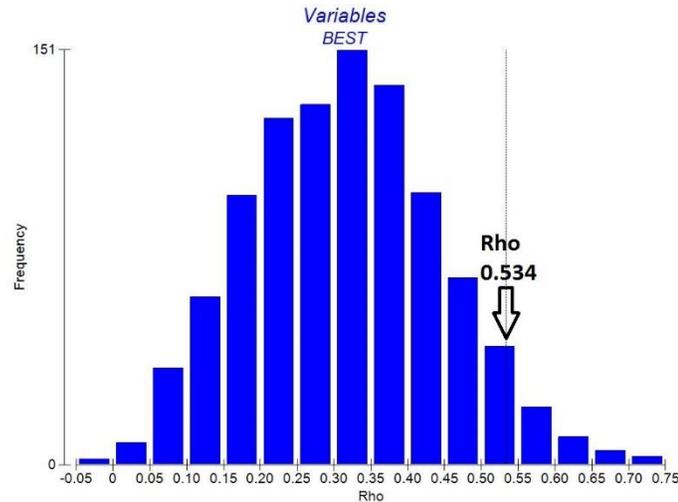


Figura 30. Histograma del test de permutaciones para el BIO-ENV de las estaciones oceánicas.

Tabla 15. Resultados de la selección de variables ambientales de la prueba BIO-ENV para explicar la abundancia de eufáusidos en el ambiente oceánico. En color negro los mejores ajustes arrojados por el BIO-ENV, en color azul los análisis hechos para variables ambientales por separado.

Número Variables	Correlación ( $\rho_s$ )	Selección de variables
2	0.534	1,11
2	0.533	3,11
1	0.509	11
3	0.500	1,3,11
4	0.454	1,3,6,11
1	0.373	<b>Temperatura a 10m</b>
1	0.331	<b>Oxígeno disuelto a 10m</b>
1	0.100	<b>Salinidad a 10m</b>

Las variables ambientales que tienen un mejor ajuste con la abundancia de eufáusidos serían la temperatura a 10 metros y el volumen de zooplancton ( $Rho=0.534$ ), seguidos muy de cerca del ajuste para oxígeno a 10 m y volumen de zooplancton ( $Rho=0.533$ ). La combinación de  $T^a$  y  $O_2$  a 10 metros con volumen de zooplancton tendrían una  $Rho$  de 0.500, y si incluyéramos en la ecuación a la temperatura a 200 m el  $Rho$  sería de 0.454. Cabe destacar la elevada correlación del volumen de zooplancton en el ambiente oceánico, ya que se encuentra en todas las posibles combinaciones de variables de los

modelos, y por si sola tiene una Rho de 0.509. La temperatura y el oxígeno a 10 m, son dos de las variables ambientales con mayor correlación, según este análisis, a la matriz de abundancia de eufáusidos en la región oceánica, la salinidad por el contrario tiene una baja correlación (0.100).

#### 4.5.2 Región nerítica

Debido a que se encontró nuevamente una elevada correlación entre la temperatura y el spiciness a 10m (0.99), se eliminó esta última variable del análisis BIO-ENV (Tabla 18).

Tabla 16. Variables utilizadas en el análisis BIO-ENV para las estaciones costeras.

REF	Variables análisis BIO-ENV
1	Temperatura superficial
2	Salinidad superficial
3	Concentración de oxígeno disuelto superficial
4	Clorofila-a integrada
5	Profundidad de la capa de mezcla
6	Salpas
7	Spiciness 10m (variable eliminada por falta de ortogonalidad)
8	Volumen de Zooplancton

Analizando la prueba de permutaciones (Figura 31) comprobamos que con un nivel de significancia del 0.1%, y un número de 999 permutaciones, ninguna de las variables analizadas tuvo un valor mayor que la Rho global de 0.319 de nuestro mejor ajuste de variables, (obsérvese que el valor de Rho global (línea punteada) en la Figura 31, está en la parte derecha del histograma, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de que existe una completa independencia de patrones bióticos y abióticos a un nivel de  $P < 0.1$ ).

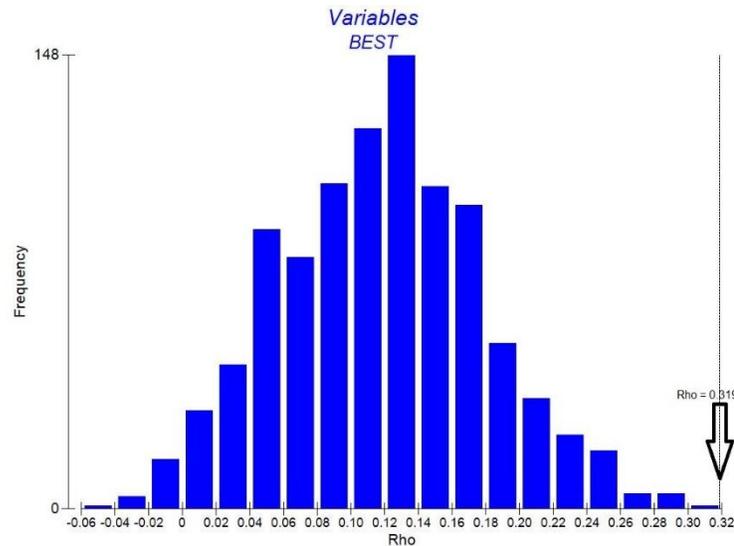


Figura 31. Histograma de la prueba de permutaciones para el BIO-ENV de las estaciones costeras.

Tabla 17. Resultados de la selección de variables ambientales de la prueba BIO-ENV para explicar la abundancia de eufáusidos del ambiente costero. En color negro los mejores ajustes arrojados por el BIO-ENV, en color azul los análisis realizados para cada variable ambiental por separado.

Número de variables	Correlación ( $\rho_s$ )	Selección de variables
3	0.319	1,2,8
2	0.317	1,2
4	0.285	1,2,6,8
1	0.282	1
2	0.282	2,8
1	0.133	Volumen zooplancton
1	0.000	Oxígeno a 10m
1	0.234	Salinidad a 10m

La mejor selección de variables para el ambiente costero (Tabla XVIII) sería la formada por la temperatura y la salinidad a 10 m y el volumen de zooplancton. En este caso la variable individual con mayor peso sería la temperatura a 10m ( $Rho=0.282$ ), y el volumen de zooplancton tiene una correlación considerablemente menor ( $\rho_s$  de 0.133 frente a los 0.509 de la zona oceánica). La concentración de oxígeno disuelto a 10 metros no tiene ninguna relación con la abundancia de eufáusidos ( $Rho = 0.0$ ) en el ambiente costero, a diferencia de como sucedía en el ambiente oceánico ( $Rho = 0.331$ ).

La salinidad a 10 metros, se muestra como un factor considerablemente más influyente en la zona costera ( $Rho = 0.234$ ) que en la zona oceánica ( $Rho = 0.100$ ). La temperatura a 10 m, se muestra como un factor altamente correlacionado con la abundancia de eufáusidos en ambas zonas, aunque tiende a ser más influyente en la zona oceánica ( $Rho=0.373$ ) que en la zona costera ( $Rho=0.282$ ).

#### **4.6 Comparación de las abundancias de 2009-2011 con las del periodo 1950-1982 (Brinton & Townsend, 2003)**

Seleccionando únicamente las estaciones nocturnas y elaborando un promedio de con especies frecuentes de en la región oceánica y costera, con datos de diversas primaveras (abril de 1966 con ENSO neutral, abril de 1999 durante La Niña, abril de 2000, durante La Niña, abril de 2005 con ENSO neutral y abril de 2010 durante El Niño), se elaboró un serie de datos que se compararon con los realizada por Brinton & Townsend (2003) (Figura 32). A pesar de que el presente estudio tiene menos resolución interanual que en la gráfica de Brinton & Townsend (2003) donde se muestrearon prácticamente las primaveras de todos los años, si se puede observar una similar variación anual e interanual. Lo más notable de estas gráficas es la evidente recuperación de la densidad poblacional de *T. spinifera* desde el colapso sufrido en El Niño de 1957 en la región de estudio.

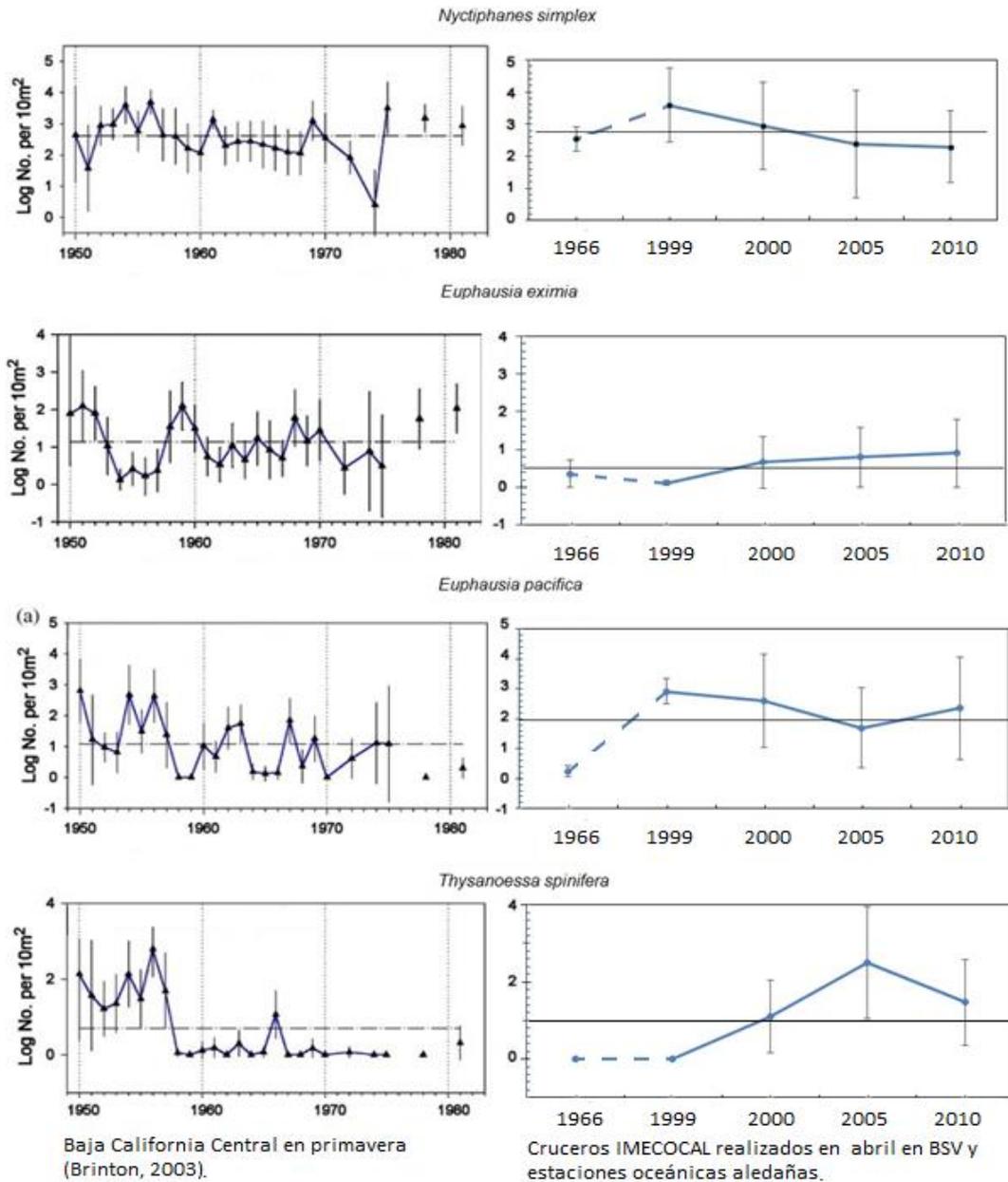


Figura 32. Comparación de abundancias de primaveras registradas por Brinton & Townsend (2003) en sus estaciones de los cruceros en Baja California Central con las abundancias registradas en los cruceros IMECOCAL para la zona de estudio (línea horizontal representa el valor promedio).

## Capítulo 5. Discusión

---

En la presente investigación se analizó la composición y abundancia de los eufáusidos en la Bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV) y la zona oceánica aledaña durante el ciclo ENSO 2009-2011, el cual estuvo compuesto de dos fases; una primera fase cálida, correspondiente al fenómeno El Niño 2009-2010 seguido por una fase fría (La Niña 2010-2012). Lee & McPhaden (2010) clasificaron a El Niño 2009-2010 como tipo Pacífico Central (CP en sus siglas en inglés) con una fase cálida breve que alcanzó anomalías positivas de  $+1.4^{\circ}\text{C}$ . Su máxima intensidad ocurrió en invierno 2009 pero posteriormente disminuyó su intensidad en forma brusca entrando a una fase fría intensa (Kim, Yeh, Kim, Kug, & Kwon, 2011). Por tanto, el primer crucero realizado en noviembre de 2009 fue cercano al periodo de máxima intensidad de la fase cálida, y el crucero de abril de 2010 puede considerarse como la fase final o de transición, seguido por la segunda fase; un evento intenso de La Niña fue las condiciones prevalecientes durante la realización de los otros dos cruces analizados; octubre de 2010 y enero de 2011.

Todd et al. (2011) analizaron la llegada de El Niño de 2009-2010 frente a la costa del sur de California, mediante el uso de un glider que es un submarino autónomo equipado con sensores que registran la temperatura, salinidad, densidad y velocidad de la capa de agua superficial. Identificaron la influencia regional de El Niño desde Julio de 2009 hasta mayo de 2010 con anomalías cálidas de  $0.5-1.5^{\circ}\text{C}$  a 50 m de profundidad, con el periodo de máxima intensidad detectado en diciembre de 2009. McPhaden & Zhang (2009) consideraron a diciembre como el mes que típicamente El Niño y La Niña alcanzan su máxima amplitud en la región ecuatorial. El uso de los gliders también permitió identificar con precisión el hundimiento de la piconclina frente al sur de California (Todd et al., 2011), que es otra característica típica de El Niño. Sin embargo, no detectaron valores de TSM y SSM que pudieran corresponder con alguna masa de agua de agua distinta a la que usualmente existe en el sur de California, por lo que definieron el mecanismo de transmisión de El Niño 2009-2010 a la costa de California como consecuencia de la teleconexión atmosférica. La falta de evidencia de la presencia de agua subtropical (ecuatorial) sugiere que no existió una advección hacia el

norte (California) de la masa de agua Ecuatorial, y respecto a la posible influencia de ondas de Kelvin como mecanismo de transmisión de El Niño. Ellos tampoco detectaron evidencias biológicas de la presencia de especies procedentes del sur como *Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia* en California que apoyara la presencia de agua ecuatorial en California durante el evento El Niño 2009-2010. Estas evidencias resultan, a pesar de todo, poco contundentes debido a que las observaciones estuvieron limitadas únicamente a la primavera de 2010 (Todd et al., 2011) cuando ya estaba más relajado El Niño. Así, queda abierta la posibilidad de que las especies indicadoras mencionadas si hubieran sido advectadas desde el sur en periodo de máxima intensidad del evento cálido de El Niño 2009-2010.

Las observaciones de Todd et al. (2011) son relevantes para el presente estudio realizado en una región próxima al sur de California. En BSV también se observaron anomalías positivas en noviembre 2009 y abril de 2010. Sin embargo, en nuestro estudio si detectamos durante noviembre de 2009, una ligera influencia de la masa de Agua Subtropical Superficial (AStS) en la zona oceánica adyacente a BSV (Figura 14), por lo tanto proponemos el área sur del SCC como posible límite norte para la advección de la AStS en el evento El Niño 2009-2010. Esta interpretación también es congruente con el mapa de alturas dinámicas (0/500 db) del crucero 0911, el cual muestra en el norte la característica recirculación de la Corriente de California afectando los transectos IMECOCAL (líneas 100 y 103) más norteños, mientras que se observa el ingreso de agua oceánica hacia la zona costera a partir de la latitud de Isla Guadalupe (29°N) (Atlas IMECOCAL, en preparación). Esto también concuerda con la presencia de especies tropicales durante noviembre 2009, especialmente *Euphausia eximia* y las larvas del Grupo IA (probablemente pertenecientes a esta especie), que en la región oceánica representaron en conjunto el 33% de los eupáusidos (Fig. 22).

El segundo crucero, realizado en abril de 2010 durante la fase final de El Niño, estuvo cercano a la rápida transición El Niño - La Niña que ocurrió aproximadamente durante el mes de mayo en el SCC (Bjorkstedt, Goericke, & McClatchie, 2011; Kim et al., 2011). Durante el crucero de octubre 2010, La Niña se encontró en su máxima intensidad en la región de estudio, la cual alcanzó anomalías negativas de temperatura de hasta -2.6°C.

Cabe mencionar que dicha anomalía negativa ha sido la de mayor magnitud registrada durante el periodo 1997-2011 en las estaciones costeras de BSV. Durante enero de 2011, La Niña se mostró más relajada con anomalías por debajo de  $-1^{\circ}\text{C}$  tanto en la región oceánica, como en la costera (Figura 18). En estos tres cruceros, de transición y de La Niña, la abundancia de eufáusidos aumentó sustancialmente ( $>1000$  ind/1000  $\text{m}^3$  en ambas regiones) mientras que en noviembre 2009 había solo 731 ind/1000  $\text{m}^3$  en BSV y 367 ind/1000  $\text{m}^3$  en la región oceánica (Fig. 22). De abril 2010 a enero 2011 *N. difficilis* fue la especie más abundante en la región oceánica (~50% de los eufáusidos). También se observó un comportamiento estacional de *E. pacifica* que fue la segunda especie más abundante en abril de 2010 y enero 2011 pero fue muy baja en ambos otoños (Fig. 22, Tabla 3) asociada con el gran contraste en sus condiciones ambientales.

Las diferencias espacio-temporales fueron visualmente representadas en el análisis agrupamiento basado en la matriz de similitud (Figura 25 y 29) y donde se puede apreciar por un lado la diferencia entre la composición y abundancia de especies entre las estaciones oceanográficas del dominio oceánico y las de la plataforma continental (neríticas) y las diferencias entre los periodos fríos y cálidos. Además se observan meso-hábitats dentro de la BSV, ya que las estaciones del subgrupo A1 (Figuras 25 y 26) se localizan al este de la isla de Cedros donde se forma un giro central anticiclónico (Amador-Buenrostro et al., 1995), que como ya ha sido previamente propuesto BSV puede funcionar como área de elevada abundancia y producción secundaria de *N. simplex* (Lavaniegos, 1994, 1995).

Otras tendencias también fueron evidentes en los análisis de ordenación, como la subestimación producida en las abundancias de eufáusidos juveniles y adultos en los muestreos diurnos debido a la migración vertical (Brinton, 1967b), tal y como se aprecia en los subgrupos B1 y C1 del clúster (formados por estaciones diurnas) y como demuestra la Prueba U de Mann-Whitney comparando abundancias diurnas y nocturnas en la Tabla 12, por lo que a ser posible se deberían evitar estas estaciones diurnas para estudios de abundancia de eufáusidos (Brinton, 1962).

Las especies de eufáusidos encontradas durante este estudio coinciden con las reportadas por Brinton & Townsend (2003) registradas durante el periodo 1950-1981 para la región que denomina Baja California Central (abarca BSV y la región oceánica en torno a Punta Eugenia). Dichas series de abundancias están basadas en los cruceros CalCOFI que en el periodo 1950-1981 cubrían la región de Baja California. Posteriormente disminuyeron la cobertura de los cruceros únicamente a la región frente al sur de California, por lo que la serie de tiempo en esa área es más completa (1950-1981) y les permitió analizar la variación estacional, interanual e incluso decenal en la composición y abundancia de los eufáusidos. Estos autores afirmaron que si bien no existen especies de eufáusidos endémicas del SCC, si existe un grupo de 8 especies (las denominas especies del Grupo Biogeográfico de transición en Brinton, 1962) muy abundantes y que se reproducen activamente en el SCC, estas ocho especies (que se corresponden a las especies dominantes en nuestro estudio) las clasificó como: a) especies de aguas frías, las cuales habitan tanto en la región subártica como la zona de transición (*E. pacifica* con distribución costera y oceánica y *T. spinifera* con distribución costera únicamente), b) especies que viven por debajo de la termoclina asociadas a aguas frías (*N. difficilis* y *T. gregaria*), c) especies encontradas en la zona de transición suroeste (*E. gibboides* y *E. recurva*). Las dos especies restantes son *N. simplex* y *E. eximia*, que son consideradas como especies indicadoras en California de aguas cálidas por Todd et al. (2011) pero tienen distribución diferente, ya que *N. simplex* es subtropical y nerítica mientras que *E. eximia* es una especie de afinidad zoogeográfica oceánica que tiene mayores abundancia a lo largo de los bordes fríos del Pacífico oriental tropical. Además de estas especies dominantes, en el presente estudio identificamos otras doce las cuales fueron poco frecuentes y abundantes, y están más relacionadas con el Grupo Biogeográfico del Giro Central del Pacífico Norte o bien con el Grupo Biogeográfico Ecuatorial (Figura 5).

Como se comentó anteriormente durante noviembre de 2009 en la región oceánica se produjo una mezcla del agua subártica propia de la Corriente de California con agua subtropical en la capa superior de BSV y la región oceánica aledaña (Figura 14 y 15). Como se esperaba, no se encontraron las especies subárticas-transición de *E. pacifica* y *T. spinifera* las cuales también tuvieron una escasa presencia de algunas especies

típicas del SCC como *N. difficilis* y *T. gregaria* que típicamente se distribuyen por debajo de la termoclina (Brinton, 1967b). Esta nula presencia de especies de afinidad subártica y la baja abundancia de especies de afinidad transicional, no fue compensada en términos de abundancia por un incremento en la abundancia de especies tropicales o subtropicales. Si bien *E. eximia* representó un mayor porcentaje de eufáusidos durante noviembre 2009, se esperaba una mayor incidencia de esta especie en la región oceánica, tal y como sucedió, entre otros, con El Niño EP de 1997-1998 (Ambriz-Arreola & Lavaniegos, 2007; Lavaniegos & Ambriz-Arreola, 2012), el cual impactó con considerablemente mayor intensidad a todo el SCC (Durazo & Baumgartner, 2002; Lynn et al., 1998) y en especial a la zona de BSV en los primeros 200 m de profundidad. Por lo tanto es contrastante la baja abundancia de eufáusidos encontrada en el crucero 0911, la cual podría tal vez explicarse por los distintos mecanismos involucrados en los dos tipos de El Niño en el cual prevaleció uno de tipo Pacífico Este (EP) durante 1997-1998 y uno de tipo Pacífico Central (CP) durante 2009-2010.

Una característica distintiva de El Niño EP (siglas en inglés de Pacífico Este) es una marcada advección de agua subtropical desde el suroeste (Durazo & Baumgartner, 2002) que arrastra consigo especies del grupo biogeográfico tropical, como son *E. eximia*, *E. tenera* y *E. distinguenda*, desplazando hasta cierto punto a la comunidad templada habitual. Estas distintas intensidades se ven reflejadas en la fortaleza del Giro del Pacífico Norte, representadas por el índice NPGO (Di Lorenzo et al., 2010; Figura 3) que durante El Niño EP 1997-1998 contaba con una fuerte anomalía negativa, lo que supone el debilitamiento de la CC. En contraste durante El Niño CP 2009-2011, a pesar de que se moderó la fortaleza del Giro del Pacífico Norte, el índice NPGO permaneció positivo, debilitando la escasa advección de agua tropical y subtropical (solo detectada en la costa occidental de la península de Baja California), con un consecuente bajo transporte hacia el norte de especies tropicales adaptadas a temperaturas más altas al estar alejadas de las zonas de surgencias costeras.

Las condiciones anómalamente frías, típicas de la fase de La Niña, prevalecieron durante el resto de los cruceros (1004, 1010 y 1101), donde se fortaleció la intensidad e

influencia de la CC, llevando agua subártica a la región oceánica y penetrando por la entrada principal de BSV al interior de la bahía (ver Figura 9Figura 9). Coincidentemente fueron transportadas especies de aguas frías y de transición, (principalmente *E. pacifica*, *T. spinifera*, *N. difficilis*, *T. gregaria*) hasta latitudes subtropicales. El hecho de que se encontrasen grandes cantidades de especies de aguas frías en la zona oceánica durante La Niña es probablemente debido al fortalecimiento del NPGO, después del leve debilitamiento sufrido durante el episodio de El Niño 2009-2010 (Figura 3), lo que facilita una mayor advección de estas especies desde la región norte del SCC hasta BSV, que en un año típico.

La especie *Nyctiphanes simplex* merece una mención especial por dominar la abundancia de eufáusidos (60-90%) a lo largo del año en la Costa Pacífica de Baja California (Brinton, 1962, 1967a, 1973; Gómez-Gutiérrez , 1995; Gómez-Gutiérrez et al., 1995; Lavaniegos, 1994; Lavaniegos-Espejo, 1993) habitando preferentemente la plataforma continental y reproduciéndose cerca de prominencias topográficas como Punta Baja (30°N), Punta Eugenia (28°N) y Bahía Magdalena (24°N) donde se registran eventos de surgencias costeras frecuentes durante todo el año, por lo que esta especie cuenta con pulsos de elevada abundancia durante la época de surgencias (Brinton & Townsend, 1980; Lavaniegos, 1995; Longhurst, 1967). *N. simplex* no mostró cambios significativos en su abundancia a lo largo del ciclo ENSO 1997-1999 (Ambriz-Arreola & Lavaniegos, 2007).

A pesar de que históricamente BSV es una de sus principales áreas de cría y desarrollo de eufáusidos (Brinton, 1967a, 1973; Lavaniegos, 1995) durante el periodo de estudio, la abundancia de este eufáusido en la zona nerítica fue mucho menor de lo esperada, lo que condujo a que la abundancia de eufáusidos en la región oceánica fuese comparativamente mucho mayor que la costera en sus distintas fases de vida, durante 3 de los 4 periodos analizados (Figura 23 y 24). Esta es una situación considerablemente anómala debido a que en la costa occidental de Baja California y otras regiones más norteñas a lo largo de la costa oeste de Estados Unidos y Canadá existe un gradiente de mayor abundancia de eufáusidos cerca de la costa disminuyendo su abundancia hacia fuera de la costa (Gómez-Gutiérrez, 1995; Gómez-Gutiérrez,

Peterson, & Miller, 2005; Mackas, Thomson, & Galbraith, 2001; Peterson & Miller, 1977) y otras zonas de surgencias del mundo (Barange & Pillar, 1992; Pillar, Barange, & Hutchings, 1991).

Los eufáusidos son organismos ectodermos y que por lo tanto requieren de un gran gasto energético para regular su homeostasis a diferentes temperaturas, el cual se eleva sustancialmente cuando las condiciones ambientales son desfavorables. En el caso de *N. simplex*, aunque se distribuye en regiones con un amplio rango de TSM que va desde los 14 a los 31°C (Brinton et al., 1986), sus larvas se presentan en mayor abundancia con TSM entre los 17 y los 19°C (Gómez-Gutiérrez, De Silva-Dávila, & Lavaniegos-Espejo, 1996; Gómez-Gutiérrez, González-Chávez, & Robinson, 1999; Lavaniegos, 1994). Puesto que en octubre 2010 se produjo la anomalía negativa de TSM de mayor magnitud registrada en BSV durante el periodo 1997-2011, la temperatura puede haber sido el principal factor ambiental que influenció la anómalamente baja abundancia de *N. simplex*, esta situación es difícil de explicar por qué no se detectaron condiciones hipóxicas (no se detectó la presencia de zonas de mínimo oxígeno) que son fisiológicamente desfavorables para *Nematoscelis difficilis* y *Nyctiphanes simplex* (Tremblay, Gómez-Gutiérrez, Zenteno-Savín, Robinson, & Sánchez-Velasco, 2010), ni bajas concentraciones de clorofila-a integrada.

Esta baja abundancia identificada en *N. simplex* a lo largo de nuestro estudio también puede ser el reflejo del movimiento de su centro de mayor densidad poblacional hacia el sur, desde bahía de Sebastián Vizcaíno hacia el Golfo de Ulloa, como sugirieron (Lavaniegos & Ambriz-Arreola, 2012) en función de observaciones realizadas durante 2005 y años posteriores debido al fortalecimiento de las surgencias costeras (Lavaniegos, 2009; Rykaczewski & Checkley, 2008). Otra posible causa de la baja abundancia de eufáusidos en BSV a lo largo del estudio podría ser que se estén presentando cambios de más largo periodo, ya que es conocido que *N. simplex* esté fuertemente afectada durante la fase negativa del PDO (Brinton & Townsend, 2003), en la que se encontraba cuando fueron realizados los muestreos (<http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo.php>).

Merece mención especial la respuesta que presentaron las especies de aguas frías *E. pacifica* y *T. spinifera*, cuyas abundancias en BSV fueron considerablemente bajas durante la fase cálida (Tabla 3 y Tabla 4). Es posible que en la región oceánica sus abundancias fueran estadísticamente homogéneas debido al bajo número de muestras. Sin embargo, estas dos especies presentaron patrones de variabilidad distintas. Se encontraron larvas de *E. pacifica* con elevada abundancia durante abril de 2010 y enero de 2011 denotando una variación estacional. *T. spinifera* no demostró un patrón estacional marcado, pero en cambio hubo una gran abundancia de larvas y juveniles durante la fase intensa de La Niña (octubre de 2010). También se encontraron individuos adultos de *T. spinifera* de gran tamaño corporal al interior de BSV en abril de 2010. *E. pacifica* cuenta con la particularidad de formar grandes enjambres, debido a esto Brinton & Townsend (2003) consideraron que esta es una característica biológica que complica la estimación precisa de su abundancia poblacional. En nuestro estudio tenemos el mismo problema, así en la región oceánica del crucero de abril de 2010, el promedio aritmético para la abundancia de *E. pacifica* fue de 33,396 ind/1000 m<sup>3</sup>, la mediana de 31,761 ind/1000 m<sup>3</sup> y la media geométrica (menos sensible a estimaciones de abundancia extrema) de tan solo 1,294 ind/1000 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, podemos afirmar que ninguno de los tres estimadores de abundancia proporciona un valor de abundancia suficientemente preciso aunque se debe tener en mente que solo fueron analizadas tres estaciones y cualquier estimador de tendencia central será poco representativo. Además de aumentar el número de muestras, la única forma de conocer las abundancias de esta especie de forma más precisa, sería si se acompañaran las colectas de zooplancton, con estudios hidroacústicos de las agrupaciones de eufáusidos (Gómez-Gutiérrez et al., 2007).

En su estudio de largo plazo Brinton & Townsend (2003) mostraron que estas dos especies de aguas frías desaparecieron de la región de Baja California durante eventos intensos o prolongados de El Niño. Si bien *E. pacifica* muestra una rápida capacidad de recuperación debido a que habita tanto ambientes costeros como oceánicos, *T. spinifera* tiene una capacidad de recuperación relativamente más lenta debido a su hábitat principalmente costero. Aparentemente los accidentes geográficos de la línea de costa, particularmente Point Conception (34°N), actúan como fronteras hidrográficas

para la dispersión de especies neríticas a lo largo del SCC (Checkley & Barth, 2009). Esto ayudaría también a explicar porque *T. spinifera* casi desapareció de las aguas de Baja California después del movimiento hacia el norte de la población durante el evento de El Niño 1957-1958 y durante al menos el periodo entre 1958-1978, mientras que *E. pacifica* mostró una capacidad de reacción mucho más rápida (Brinton & Townsend, 2003; Figura 32).

En este estudio se realizó un esfuerzo por analizar los factores ambientales que influyen la distribución, abundancia y composición específica de los eufáusidos, enfocándonos en el efecto desde la base de la cascada trófica del ecosistema (bottom-up). Entre las variables estudiadas estuvo la concentración de clorofila-a integrada como proxy de la concentración alimento disponible a zooplancton omnívoro que no tuvo una correlación destacable con la matriz de similitud biológica en nuestro análisis BIO-ENV en ninguna de las dos regiones estudiadas (*Tabla 15* y *Tabla 17*). Este resultado fue similar al de otros trabajos realizados en el Océano Pacífico (Letessier et al., 2011) pese a que si se encontró una correlación significativa entre la clorofila-a y las abundancias de las especies templadas (de transición) durante el ciclo ENSO 1997-1999 frente a Baja California. Además del problema derivado por el tamaño de muestra, se puede afirmar que la clorofila no siempre es un buen indicador del alimento disponible para los eufáusidos porque las características de los grupos poseedores de este pigmento podrían ser muy diferentes. Por ejemplo, una cadena herbívora microbiana, estaría correlacionada con altas abundancias de clorofila-a, pese a no ser parte de la dieta de un filtrador selectivo como los eufáusidos. La presencia de grandes agregados de salpas durante el periodo de estudio también sugiere una alta densidad de nanofitoplancton ya que estos herbívoros gelatinosos tienen un espectro de tamaño de partículas más amplio (particularmente hacia el límite inferior de tallas) que los crustáceos. No se observó una correlación con la comunidad de eufáusidos pero también podría obedecer al pequeño número de muestras involucradas. Será conveniente en futuros muestreos considerar otras variables de la disponibilidad de alimento, tales como el tamaño de partícula, ciliados, nieve marina, la concentración de silicatos que puede limitar el crecimiento de las diatomeas (Hashioka & Yamanaka, 2007) entre otras y está fuertemente relacionada con la abundancia de eufáusidos

(Letessier, Cox, & Brierley, 2009; Letessier et al., 2011). También se podría analizar la abundancia de detritus que determina en gran medida la transferencia de energía para el zooplancton durante las épocas de baja producción primaria (Dilling et al., 1998).

Finalmente, es necesario señalar la posibilidad de un control de la comunidad de eufáusidos por organismos depredadores (efecto top-down) el cual no se consideró en la presente investigación. Los eufáusidos son parte clave de las dieta de numerosas especies de animales, entre ellas los pelágicos menores de interés comercial o incluso de aves marinas como es el caso del mérgulo sombrío ([\*Ptychoramphus aleuticus\*](#)) (Wolf et al., 2009).

## Capítulo 6. Conclusiones

---

1. La variabilidad estacional junto con la variabilidad interanual producida por el ciclo ENSO 2009-2011 indujeron cambios significativos en la composición y la abundancia de la comunidad de eufáusidos, tanto sobre la plataforma continental de BSV como en las estaciones oceanográficas aledañas.
2. La abundancia total de eufáusidos fueron mayores en la región oceánica que en aguas neríticas de BSV durante abril 2010, octubre 2010 y enero 2011 debido a la baja abundancia de *Nyctiphanes simplex* que usualmente es numéricamente dominante en la bahía.
3. Las altas abundancias de salpas registradas durante el mismo periodo de estudio en BSV, pueden ser un indicativo de un tamaño de fitoplancton insuficiente para el eufáusido fitodetrívoro *Nyctiphanes simplex* que requeriría de fitoplancton de tamaño grande como las diatomeas.
4. El calentamiento de la capa superficial del mar debido al evento de El Niño observado en noviembre de 2009, presentó una ligera advección de Agua Subtropical Superficial y una baja abundancia de eufáusidos pese a que la concentración de clorofila-a integrada se encontró en los niveles de concentración habituales.
5. La evidencia de la baja abundancia de *E. eximia* coincide con la presencia del evento de origen central El Niño CP 2009-2010 debido a que esta especie es indicadora del agua de origen ecuatorial como se ha evidenciado en eventos de El Niño de origen este (EP) como el evento ocurrido en 1997-1998. Otras especies de afinidad tropicales (*E. distingüenda*, *E. lamelligera* y *E. tenera*) no fueron observadas durante 2009-2010 lo que sugiere que este evento tuvo relativamente poca intensidad (un evento El Niño de intensidad moderada) en la costa occidental de Baja California.

## Lista de referencias

---

- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinosa, M. L., Mancilla-Peraza, M., y Figueroa-Rodríguez, M. (1995). Short term variations of the anticyclonic circulation in Bahía Sebastián Vizcaíno, BC. *Ciencias Marinas*, 21(2), 201–223.
- Ambriz-Arreola, I., (2007). *Estudio multivariado de las comunidades de eufáusidos del sector sur de la Corriente de California , durante el ciclo ENSO 1997-1999*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Baker, A., Boden, B. P., y Brinton, E. (1990). *A practical guide of the Euphausiids of the World* (p. 96).
- Barange, M., y Pillar, S. C. (1992). Cross-shelf circulation, zonation and maintenance mechanisms of *Nyctiphanes capensis* and *Euphausia hanseni* (Euphausiacea) in the northern Benguela upwelling system. *Continental Shelf Research*, 12 (9), 1027–1042.
- Baumgartner, T., Durazo, R., Lavaniegos, B., Gaxiola, G., Gomez, G., y Garcia, J. (2008). Ten years of change from IMECOCAL observations in the southern region of the California Current ecosystem. *GLOBEC Int. Newsl*, 14, 43–54.
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, 97(3), 163–172.
- Bjorkstedt, E., Goericke, R., y McClatchie, S. (2011). State of the California Current 2010-2011: Regionally variable responses to a strong (but fleeting?) La Niña. *CalCOFI Reports*, 52, 36–68.
- Boden, B. P. (1951). The egg and larval stages of *Nyctiphanes simplex*, a euphausiid crustacean from California\*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 121(3), 515–527.
- Boden, B. P., Johnson, M. W., y Brinton, E. (1955). The Euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography. Univ. Calif*, 6(8), 287–400.
- Bograd, S. J., Chereskin, T. K., y Roemmich, D. (2001). Transport of mass, heat, salt, and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978-2012)*, 106(C5), 9255–9275.
- Brinton, E. (1962). The distribution of Pacific euphausiids. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 8(5), 1–270.

- Brinton, E. (1967a). Distributional atlas of Euphausiacea (Crustacea) in the California Current region, Part I. *CalCOFI Atlases*, 5, 1–287.
- Brinton, E. (1967b). Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. *Limnology and Oceanography*, 451–483.
- Brinton, E. (1973). Distributional atlas of euphausiacea (crustacean) in the California Current region, Part II. *CalCOFI Atlases*, 18, 1–287.
- Brinton, E. (1975). Euphausiids of Southeast Asian Waters. *Naga Report. Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand*, 4(5), 1–287.
- Brinton, E. (1979). Parameters relating to the distributions of planktonic organisms, especially euphausiids in the eastern tropical Pacific. *Progress in Oceanography*, 8(3), 125–189.
- Brinton, E. (1996). Euphausiacea. In R. Gasca, R. Suárez, y E. Suárez (Eds.), *Introducción al estudio del zooplancton marino* (pp. 297–341). ECOSUR/CONACYT.
- Brinton, E., Fleminger, A., y Siegel-Causey, D. (1986). The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CalCOFI Reports*, 27, 228–266.
- Brinton, E., Ohman, M., y Townsend, A. (2000). Euphausiids of the World Ocean (World Biodiversity Database CD-ROM Series). *Expert Center for Taxonomic Identification, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands*. Retrieved from [http://species-identification.org/species.php?species\\_group=euphausiids&menuentry=inleiding&id=2&tab=foto](http://species-identification.org/species.php?species_group=euphausiids&menuentry=inleiding&id=2&tab=foto)
- Brinton, E., y Reid, J. (1986). On the effects of interannual variations in circulation and temperature upon the euphausiids of the California Current.
- Brinton, E., y Townsend, A. (2003). Decadal variability in abundances of the dominant euphausiid species in southern sectors of the California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(14), 2449–2472.
- Brinton, E., y Townsend, A. W. (1980). Euphausiids in the Gulf of California-the 1957 cruises. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep*, 21(21), 211–236.
- Brodeur, R. D. (1986). Northward displacement of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* Hansen to Oregon and Washington waters following the El Niño event of 1982-83. *Journal of Crustacean Biology*, 6, 686–692.
- Carrasco, J., y Hernán, M. (1993). Estadística multivariante en las ciencias de la vida. *Multivariate Statistics in Health Sciences*.

- Checkley, D. M., y Barth, J. a. (2009). Patterns and processes in the California Current System. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 49–64.
- Clarke, K., y Ainsworth, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology-Progress Series*, 92, 205–205.
- Clarke, K., & Warwick, R. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation.
- Dawson, E. Y. (1952). Circulation within Bahía Vizcaino, Baja California, and its effects on marine vegetation. *American Journal of Botany*, 39(7), 425–432.
- De Silva-Dávila, R., Palomares-García, R., Martínez-Lopez, A., y Carballido-Carranza, M. A. (2002). Standing stock of *Nyctiphanes simplex* in the southern region of the California Current System. *Journal of Plankton Research*, 24(10), 1057–1066.
- Dever, E. ., y Winant, C. . (2002). The evolution and depth structure of shelf and slope temperatures and velocities during the 1997–1998 El Niño near Point Conception, California. *Progress in Oceanography*, 54(1-4), 77–103.
- Di Lorenzo, E., Cobb, K. M., Furtado, J. C., Schneider, N., Anderson, B. T., Bracco, A., Vimont, D. J. (2010). Central Pacific El Niño and decadal climate change in the North Pacific Ocean. *Nature Geoscience*, 3(11), 762–765.
- Dilling, L., Wilson, J., Steinberg, D., y Alldredge, A. (1998). Feeding by the euphausiid *Euphausia pacifica* and the copepod *Calanus pacificus* on marine snow. *Marine Ecology Progress Series*, 170, 189–201.
- Durazo, R., y Baumgartner, T.(2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California : 1997-1999. *Progress in Oceanography*, 54, 7–31.
- Durazo, R., Ramírez-Manguilar, A. M., Miranda, L. E., y Soto-Mardones, L. A. (2007). Climatología de variables hidrográficas. En G. Gaxiola-Castro y R. Durazo (Eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California*. (pp. 25–57). México D.F.
- Eber, L. (1977). Contoured depth-time charts (0 to 200 m, 1950 to 1966) of temperature, salinity, oxygen and sigma-t at 23 CalCOFI stations in the California Current. *Marine Life Research Program, Scripps Institution of Oceanography*, 25.
- Field, J. G., Clarke, K. R., y Warwick, R. M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 8(1).
- Flament, P. (2002). A state variable for characterizing water masses and their diffusive stability: spiciness. *Progress in Oceanography*, 54(1-4), 493–501.

- Gill, A. E. (1980). Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106(449), 447–462.
- Gómez-Gutiérrez, J. (1995). Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids *Nyctiphanes simplex* and *Euphausia eximia* in the west coast of Baja California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 119, 63–76.
- Gómez-Gutiérrez, J., De Silva-Dávila, R., y Lavaniegos-Espejo, B. (1996). Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 138(1), 309–314.
- Gómez-Gutiérrez, J., González-Chávez, G., y Robinson, C. J. (1999). Latitudinal changes of euphausiid assemblages related to the morphological variability of the sound scattering layer along Baja California, October 1994. *Scientia Marina*, 63(1), 79–91.
- Gómez-Gutiérrez, J., Martínez-Gómez, S., y Robinson, C. (2007). Influence of tidal fronts of surface zooplankton aggregation and community structure in a subtropical bay, Bahía Magdalena, México. *Marine Ecology Progress Series*, 346, 109–125.
- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R., y Gendron, D. (1995). Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, Mexico, during the weak ENSO 1986-1987. *Marine Ecology Progress Series*. Oldendorf, 120(1), 41–51.
- Gómez-Gutiérrez, J., Peterson, W. T., y Miller, C. B. (2005). Cross-shelf life-stage segregation and community structure of the euphausiids off central Oregon ( 1970 – 1972 ). *Deep-Sea Research*, 52, 289–315.
- Gómez-Gutiérrez, J., y Robinson, C. (2005). Embryonic, early larval development time, hatching mechanism and interbrood period of the sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* Hansen. *Plankton Res.*, 27(3), 279–295.
- Hansen, H. J. (1912). The Schizopoda. *Museum*.
- Hashioka, T., y Yamanaka, Y. (2007). Seasonal and regional variations of phytoplankton groups by top–down and bottom–up controls obtained by a 3D ecosystem model. *Ecological Modelling*, 202, 68–80.
- Hickey, B. M. (1979). The California current system—hypotheses and facts. *Progress in Oceanography*, 8(4), 191–279.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C. J., Holmes, R. W., y Strickland, J. D. H. (1965). Fluorometric Determination of Chlorophyll. *ICES Journal of Marine Science*, 30(1), 3–15.

- Huyer, A., y Smith, R. (1978). Physical characteristics of Pacific northwestern coastal waters. In R. Krauss (Ed.), *The Marine Plant Biomass of the Pacific Northwest Coast* (pp. 37–55). Oregon State University Press.
- Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Saldierna-Martínez, R. J., Aceves-Medina, G., Hinojosa-Medina, A., Funes-Rodríguez, R., Hernández-Rivas, M., y Avendaño-Ibarra, R. (2010). Fish larvae off the northwestern coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Check List*, 6(2).
- Kamykowski, D., y Zentara, S.-J. (1986). Predicting plant nutrient concentrations from temperature and sigma-t in the upper kilometer of the world ocean. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 33(1), 89–105.
- Kao, H.-Y., y Yu, J. (2009). Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific Types of ENSO. *Journal of Climate*, 22(2001), 615–632.
- Kim, W., Yeh, S.-W., Kim, J.-H., Kug, J.-S., y Kwon, M. (2011). The unique 2009-2010 El Niño event: A fast phase transition of warm pool El Niño to La Niña. *Geophysical Research Letters*, 38(15), n/a–n/a.
- Lavaniegos, B. (1994). Dispersion and development patterns in larvae of *Nyctiphanes simplex* (Euphausiacea) in the upwelling region off Baja California. *Marine Ecology Progress Series*, 106, 207–225.
- Lavaniegos, B. E. (1995). Production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in Vizcaíno Bay, Western Baja California. *Journal of Crustacean Biology*, 15(3), 444–453.
- Lavaniegos, B. E. (2009). Influence of a multiyear event of low salinity on the zooplankton from Mexican eco-regions of the California Current. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 369–375.
- Lavaniegos, B. E., y Ambriz-Arreola, I. (2012). Interannual variability in krill off Baja California in the period 1997–2005. *Progress in Oceanography*, 97-100, 164–173.
- Lavaniegos, B. E., Ambriz-Arreola, I., Hereu, C. M., Jiménez-Peréz, L., Cadena-Ramírez, J., y García-García, P. (2010). Variabilidad estacional e interanual del zooplancton. In G. Gaxiola-Castro y R. Durazo (Eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1977–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California* (pp. 87–126). México: CICESE/UABC/INE.
- Lavaniegos, B. E., Jiménez-Pérez, L. C., y Gaxiola-Castro, G. (2002). Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Progress in Oceanography*, 54(1), 33–58.
- Lavaniegos-Espejo, B. (1993). *Estructura de las poblaciones de eufáusidos (Crustacea) en la zona de transición de Punta Eugenia, Baja California, con referencia particular a la producción de Nyctiphanes simplex*. Tesis de doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

- Lee, T., y McPhaden, M. J. (2010). Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific. *Geophysical Research Letters*, 37(14), 1–5.
- Letessier, T. B., Cox, M. J., y Brierley, A. S. (2009). Drivers of euphausiid species abundance and numerical abundance in the Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 156(12), 2539–2553.
- Letessier, T. B., Cox, M. J., y Brierley, A. S. (2011). Drivers of variability in Euphausiid species abundance throughout the Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research*, 33(9), 1342–1357.
- Linacre, L. (2004). Community structure of euphausiids in the southern part of the California Current during October 1997 (El Niño) and October 1999 (La Niña). *CalCOFI Reports*, 45, 126–135.
- Loeb, V. J., Hofmann, E. E., Klinck, J. M., Holm-Hansen, O., y White, W. B. (2008). ENSO and variability of the Antarctic Peninsula pelagic marine ecosystem. *Antarctic Science*, 21(02), 135–148.
- Longhurst, A. R. (1967). Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 14(4), 393–408.
- Ludwig, J. A., y Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: a primer in methods and computing*. (John Wiley y Sons, Ed.) (pp. 1–44). New York.
- Lynn, R. J., Baumgartner, T., Garcia, J., Collins, C. A., Hayward, T. L., Hyrenbach, K. D., Schwing, F. B. (1998). The state of the California current, 1997-1998: Transition to El-Niño conditions. *CalCOFI. Rep*, 39.
- Lynn, R. J., y Simpson, J. J. (1987). The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92(C12), 12947–12966.
- Mackas, D. L., Thomson, R. E., y Galbraith, M. (2001). Changes in the zooplankton community of the British Columbia continental margin, 1985–1999, and their covariation with oceanographic conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 685–702.
- Mancilla-Peraza, M., Palacios-Hernández, E., y López-Castillo, G. (1993). Variabilidad hidrográfica de bahía Vizcaino, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3), 265–284.
- Mauchline, J., y Fischer, L. R. (1969). The biology of euphausiids. *Advances in Marine Biology*, 7, 1–454.
- McPhaden, M. J. (1999). Genesis and Evolution of the 1997-98 El Niño. *Science*, 283(5404), 950–954.

- McPhaden, M. J. (2002). El Niño and La Niña: causes and global consequences. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 1, 353–370.
- McPhaden, M. J., y Zhang, X. (2009). Asymmetry in zonal phase propagation of ENSO sea surface temperature anomalies. *Geophysical Research Letters*, 36(13).
- Nicol, S., y Endo, Y. (1999). Krill fisheries: Development, management and ecosystem implications. *Aquatic Living Resources*, 12(2), 105–120.
- Palacios-Hernández, E., Argote-Espinosa, M. L., Amador-Buenrostro, A., y Mancilla-Peraza, M. (1996). Simulación de la circulación barotrópica inducida por viento en Bahía Sebastián Vizcaíno 1996. *Atmosfera*, vol 9, 171–188.
- Peterson, W. T., y Miller, C. . (1977). Seasonal cycle of zooplankton abundance and species composition along the central Oregon coast. *Fishery Bulletin*, 75(4), 717–724.
- Pillar, S. C., Barange, M., y Hutchings, L. (1991). Influence of the frontal system on the cross-shelf distribution of *Euphausia lucens* and *Euphausia recurva* (Euphausiacea) in the southern Benguela. *South African Journal of Marine Science*, 11, 475–481.
- Reid, J., Roden, G., y Wyllie, J. (1958). Studies of the California Current System. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep*, 6, 27–56.
- Rice, D., Wolman, A., y Braham, H. (1984). The gray whale, *Eschrichtius robustus*. *Marine Fisheries Review*, 46(4), 7–14.
- Rykaczewski, R. R., y Checkley, D. M. (2008). Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 65, 279–285.
- Santora, J. A., Sydeman, W. J., Schroeder, I. D., Wells, B. K., y Field, J. C. (2011). Mesoscale structure and oceanographic determinants of krill hotspots in the California Current: Implications for trophic transfer and conservation. *Progress in Oceanography*, 91(4), 397–409.
- Sars, G. (1885). Report on the Schizopoda collected by HMS Challenger during the years 1873-76. *Reports on the Scientific Results of the Voyage of HMS Challenge*, 13, 37.
- Scripps Institution of Oceanography. (1962). Results of current measurements with drogues, 1958-1961. Scripps Institution of Oceanography Referente 62-27. *Univ. California, San Diego*, 11.
- Siegel, V. (2000). Krill (Euphausiacea) life history and aspects of population dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 130–150.

- Simpson, J. J. (1984). El Niño-induced onshore transport in the California Current during 1982-1983. *Geophysical Research Letters*, 11(3), 233–236.
- Smith, P., y Richardson, S. (1977). Standard techniques for pelagic fish egg and larva surveys. *FAO Fish. Tech. Pap*, 175, 100.
- Sverdrup, H., y Fleming, R. (1941). The waters off the coast of southern California, March to July 1937. *University of California Press*.
- Theilacker, G., Lo, N. C. H., y Townsend, A. W. (1993). An immunochemical approach to quantifying predation by euphausiids on the early stages of anchovy. *Marine Ecology Progress Series*, 92, 35–35.
- Todd, R. E., Rudnick, D. L., Davis, R. E., y Ohman, M. D. (2011). Underwater gliders reveal rapid arrival of El Niño effects off California's coast. *Geophysical Research Letters*, 38(3), 1–5.
- Tremblay, N., Gómez-Gutiérrez, J., Zenteno-Savín, T., Robinson, C. J., y Sánchez-Velasco, L. (2010). Role of oxidative stress in seasonal and daily vertical migration of three krill species in the Gulf of California. *Limnology and Oceanography*, 55(6), 2570–2584.
- US GLOBEC. (1994). A science plan for the California Current. United States GLOBEC Ocean Ecosystem Dynamics, Report 11, Department of Integrative Biology. *University of California, Berkeley, California*, 124.
- Venrick, E., y Hayward, T. (1984). Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys. *CalCOFI Reports*, 25, 74–79.
- Wang, C., Deser, C., y Yu, J. (2012). El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A Review. In *Coral Reefs of the Eastern Pacific* (pp. 1–46).
- Wolf, S. G., Sydeman, W. J., Hipfner, J. M., Abraham, C. L., Tershy, B. R., y Croll, D. A. (2009). Range-wide reproductive consequences of ocean climate variability for the seabird Cassin's Auklet. *Ecology*, 90(3), 742–753.
- Wyllie, J. G. (1960). The water masses of Sebastian Vizcaino Bay. *CalCOFI Reports*, 8, 83–93.

## Anexo

Figuras de alturas dinámicas a 0 y a 200m del ATLAS IMECOCAL  
(datos no publicados).

