

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**ESTRUCTURA Y BIOMASA DE LA COMUNIDAD
DE EUFÁUSIDOS Y MISIDÁCEOS DURANTE
UN PERÍODO ANÓMALAMENTE CÁLIDO (2014-2017)
EN EL PARQUE NACIONAL CABO PULMO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

BIÓL. MAR. PHALOM DENOHI VENTURA DOMÍNGUEZ

LA PAZ, B. C. S., JUNIO DE 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.**, siendo las **10:00** horas del día **07** del mes de **Junio** de **2021** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS** para examinar la tesis titulada:

"Estructura y biomasa de la comunidad de eufáusidos y misidáceos durante un período anómalamente cálido (2014-2017) en el Parque Nacional Cabo Pulmo" de la alumna:

Apellido Paterno:	VENTURA	Apellido Materno:	DOMÍNGUEZ	Nombre (s):	PHALOM DENOHI
-------------------	---------	-------------------	-----------	-------------	---------------

Número de registro:

B 1 9 0 5 6 2

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene **_8_** % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SÍ** ☐ **NO** ☒ **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

El porcentaje de similitud es debido en parte a la metodología utilizada para el muestreo de zooplancton y obtención de variables ambientales por telemetría satelital de la serie de tiempo obtenida en el Parque Nacional Cabo Pulmo para el período 2014-2017 en referencia al período 2002-2018. Esta serie de tiempo ha sido analizada para el estudio de otros grupos del zooplancton como huevos y larvas de peces (Ahern *et al.*, 2018), zooplancton gelatinoso (Bustamante-Silveyra *et al.*, 2020), copépodos (Beltrán-Castro *et al.*, 2020) y paralarvas (Martínez-Soler *et al.*, 2021) publicados por estudiantes del proyecto CONACyT CB-2016 y proyectos institucionales de nuestro grupo de investigación.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio y del director o directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** ☒ **SUSPENDER** ☐ **NO APROBAR** ☐ la tesis por **UNANIMIDAD** ☒ o **MAYORÍA** ☐ en virtud de los motivos siguientes:

"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

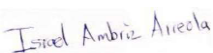
COMISIÓN REVISORA DE TESIS


DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ
Director de Tesis
Nombre completo y firma


DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ
Nombre completo y firma


M. EN C. JOSÉ RICARDO PALOMARES GARCÍA
Nombre completo y firma


DRA. ROXANA DE SILVA DÁVILA
Directora de Tesis
Nombre completo y firma


DR. ISRAEL AMBRÍZ ARREOLA
Nombre completo y firma


DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes de Junio del año 2021

El (la) que suscribe BIÓL. MAR. PHALOM DENOHI VENTURA DOMÍNGUEZ Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B190562 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ Y DRA. ROXANA DE SILVA DÁVILA

y cede los derechos del trabajo titulado:

“ESTRUCTURA Y BIOMASA DE LA COMUNIDAD DE EUFÁUSIDOS Y MISIDÁCEOS DURANTE UN
PERÍODO ANÓMALAMENTE CÁLIDO (2014-2017) EN EL PARQUE NACIONAL CABO PULMO”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: phalomdventura@gmail.com jagomezg@ipn.mx rdesilva@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. MAR. PHALOM DENOHI VENTURA DOMÍNGUEZ

Nombre y firma del alumno



Tesis Maestría en MRM Phalom Ventura Dominguez .pdf

Jun 11, 2021

22691 palabras/124186 caracteres

DR. MARIO ALBERTO CASTILLO SORIA

Tesis Maestría en MRM Phalom Ventura Dominguez .pdf

Resumen de fuentes

8%

SIMILITUD GENERAL

1	repositoriodigital.ipn.mx	INTERNET	5%
2	tesis.ipn.mx	INTERNET	<1%
3	www.biblioteca.cicimar.ipn.mx	INTERNET	<1%
4	delfin.cicimar.ipn.mx	INTERNET	<1%
5	es.wikipedia.org	INTERNET	<1%
6	Juan R. Beltrán-Castro, Sergio Hernández-Trujillo, Jaime Gómez-Gutiérrez, Armando Traviña-Castro et al. "Copepod species assemblage and carbon biomass during two anomalous w...	CROSSREF	<1%
7	www.lajar.cl	INTERNET	<1%
8	docplayer.es	INTERNET	<1%
9	www.repositoriodigital.ipn.mx	INTERNET	<1%
10	biblio.uabcs.mx	INTERNET	<1%
11	cicese.repositorioinstitucional.mx	INTERNET	<1%
12	digital.bl.fcen.uba.ar	INTERNET	<1%
13	www.colibri.udelar.edu.uy	INTERNET	<1%
14	weblogs.javahispano.org	INTERNET	<1%
15	www.mdpi.com	INTERNET	<1%
16	Nathalie Collard, Loïc Peiffer, Yuri Taran. "Heat and fluid flow dynamics of a stratovolcano: The Tacaná Volcanic Complex, Mexico-Guatemala", Journal of Volcanology and Geothermal ...	CROSSREF	<1%
17	deo.cicese.mx	INTERNET	<1%
18	www.uv.mx	INTERNET	<1%
19	google.redalyc.org	INTERNET	<1%
20	onlinelibrary.wiley.com	INTERNET	<1%
21	www.tandfonline.com	INTERNET	<1%
22	cybertesis.urp.edu.pe	INTERNET	<1%
23	doaj.org	INTERNET	<1%

Phalom Ventura Dominguez

24 mafiadoc.com
INTERNET

<1%

25 www.proteccioncivil.es
INTERNET

<1%

Se excluyeron los depósitos de búsqueda:

- Ninguno

Excluido del Informe de Similitud:

- Bibliografía
- Citas textuales
- Citas
- Coincidencias menores (10 palabras o menos)

Se excluyeron las fuentes:

- Ninguno


Phalom Ventura Domínguez

Este estudio se realizó gracias a los recursos económicos obtenidos a partir de la colaboración del Instituto Politécnico Nacional (IPN) mediante el apoyo técnico de los proyectos CONACyT de Ciencia Básica: Interacciones parasíticas de los eufáusidos y sus depredadores en el Golfo de California para inferir sus ciclos de vida (CONACyT CB201217861501) y Efecto del calentamiento del mar y la disminución de la clorofila detectados por satélite en la biomasa y abundancia del zooplancton en el Golfo de California (CONACyT CB201601284201).

Agradezco a los proyectos aprobados por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional: Detección de periodos de desove de peces mediante métodos moleculares y estructura de la comunidad de zooplancton en el Parque Nacional Cabo Pulmo” (SIP 20171275); Variabilidad semanal de la estructura de la comunidad de zooplancton en el Parque Nacional Cabo Pulmo durante 2014-2016 (SIP 20180084); Biovolumen y grupos taxonómicos del zooplancton en el Golfo de California (SIP 20195039); Estructura de la comunidad de eufáusidos y misidáceos durante un período cálido 2014–2017 en el Parque Nacional de Cabo Pulmo” (SIP20210795); Cambios en las asociaciones de paralarvas de cefalópodos del Golfo de California asociados a la variación ambiental (20102013) (SIP 20180809); Dinámica de la comunidad de paralarvas de cefalópodos del Parque Nacional de Cabo Pulmo (2014-2017) con base en un programa de muestreo de alta frecuencia (SIP 20195462); a partir de los cuales se generaron las muestras y los datos involucrados en el desarrollo de esta tesis.

Asimismo, agradezco el apoyo económico de la beca de maestría otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, agosto 2019–junio 2021) y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) del Instituto Politécnico Nacional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por las facilidades otorgadas para realizar la tesis de maestría en manejo de Recursos Marinos, particularmente al Director del CICIMAR-IPN **Dr. Sergio Hernández Trujillo**, Subdirector de Investigación y Docencia **Dr. Silverio López López**, Coordinador del Programa de Maestría **M.C. José Ricardo Palomares García**, Jefe de Departamento de Plancton y Ecología Marina Lic. Manuel Álvaro Pacheco Hoyo, Jefe del Departamento de Servicios Educativos **Lic. Humberto Heleodoro Ceseña Amador** y al **C. Cesar Servando Casas Núñez** por su incondicional y siempre amable apoyo para realizar todos los trámites y administración necesaria para realizar mi investigación y estudios en el CICIMAR-IPN.

Agradezco a mis directores de tesis **Dr. Jaime Gómez Gutiérrez** y **Dra. Roxana de Silva Dávila**, no solo por el tiempo, paciencia y apoyo como profesores y directores de esta tesis, sino también por todo el aprendizaje y motivación los cuales en su mayoría a veces surgieron de pequeñas charlas cotidianas y que, a pesar de las dificultades tanto por el tiempo como la distancia, depositaron su confianza en mí para llevar a cabo este trabajo, así como a cada uno de los miembros de mi comité tutorial, conformado por el **Dr. Octavio Aburto Oropeza** de Scripps Institution Oceanography, University of California San Diego, el **Dr. Israel Ambríz Arreola** de la Universidad de Guadalajara, **Dr. Rogelio González Armas** y **Dr. René Funes Rodríguez** (suplente) del CICIMAR-IPN y posteriormente incorporándose el **M.C. José Ricardo Palomares García** al comité tutorial por todo su apoyo y retroalimentación en la realización de la presente investigación.

Agradezco profundamente a la familia **Castro** y particularmente a **David Castro Arvizu** por su ayuda incondicional e invaluable para recolectar muestras semanales de zooplancton en CPNP (enero 2014–noviembre 2017). También agradecemos a los doctores **Carlos A. Sánchez Ortiz** (UABCS), **Octavio Aburto Oropeza** y **Brad Erisman** (SIO-UCSD) por estimular y fomentar la realización de la presente serie temporal de zooplancton en CPNP desde su inicio y a lo largo de los

cuatro años de muestreo. Al **M.C. Carlos Ramón Godínez Reyes** (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP) por los permisos otorgados para este proyecto de investigación, al director del PNCP, Amigos de Cabo Pulmo, y a los miembros del Programa Marino del Golfo de California de Biodiversidad Marina y Conservation Center (CMBC) por su ayuda en este proyecto de investigación, especialmente al **Biol. Mar. Juan José Cota-Nieto** por estar al pendiente de transportar las muestras del PNCP al CICIMAR.

Agradezco especialmente al **Dr. Eduardo González Rodríguez** y **Dr. Armando Trasviña Castro** del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) Unidad La Paz, por toda su colaboración para obtener todas las variables ambientales satelitales con ayuda también de la **M.C. Elizabeth Martínez Soler** y **Dr. Ramón Beltrán Castro** quienes inicialmente analizaron los primeros datos ambientales. Agradezco a la **M. en C. María Yesenia Torres Hernández** por el procesamiento de los datos del Perfilador de Corriente Acústico Doppler utilizados para medir la velocidad y dirección de la corriente del mar en diferentes capas de profundidad en el PNCP. También agradezco al **Dr. Jonathan Thyan** de Universidad de Illinois, USA por su análisis inicial de los datos satelitales durante su estancia sabática durante enero–junio 2018 en el CICIMAR-IPN. Agradezco a la **Dra. JeriLynn E. Peck** de Pennsylvania State University por su curso en línea “Multivariate Community Analysis using PC-ORD” realizado el 8–12 febrero, 2021 que fue relevante durante el análisis de datos de la presente investigación.

Agradezco profundamente a **M. en C. Arturo Sánchez Uvera** y **Biól. Mar. Ángel Antonio Silveyra Bustamante** por separar los eufáusidos y misidáceos de las muestras de zooplankton de la serie de tiempo de Cabo Pulmo 2014–2017 y a **Arturo Sánchez Uvera** por su formidable ayuda en la medición de la longitud total los misidáceos para completar la estimación de la biomasa de *Mysidium rickettsi*. Al **Dr. Rafael Cervantes Duarte** (jefe del Laboratorio de Química), **Dra. Alida Rosina Rosales Villa** (jefa del Departamento de Oceanología del CICIMAR-IPN) y el **Ing. Francisco Javier Barrera González** del Departamento de Oceanología, por su incondicional apoyo para realizar las mediciones de peso seco de *E. tenera* y *M.*

rickettsi, paso fundamental para la estimación de biomasa de eufáusidos y misidáceos en PNCP. Agradezco mucho al **Dr. Michel E. Hendrickx Renners** curador de la Colección Regional de Invertebrados Marinos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por recibir y procesar nuestra donación de misidáceos a la colección a su cargo y al **Dr. Michel E. Hendrickx** y **M.C. José Carlos Hernández Payán** por su invaluable asesoría para identificar los misidáceos que donamos a la Colección Regional de Invertebrados Marinos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa.

Los investigadores **Dr. Jaime Gómez Gutiérrez** y **Dra. Roxana de Silva Dávila** recibieron apoyo económico del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (Coordinación General de Posgrado e Investigación) durante 2014–2021, para la realización de los proyectos “Detección de periodos de desove de peces mediante métodos moleculares y estructura de la comunidad de zooplancton en el Parque Nacional Cabo Pulmo” (SIP 20171275); “Variabilidad semanal de la estructura de la comunidad de zooplancton en el Parque Nacional Cabo Pulmo durante 2014–2016 (SIP-20180084) y Estructura de la comunidad de eufáusidos y misidáceos durante un período cálido 2014–2017 en el Parque Nacional de Cabo Pulmo” (SIP-20210795). También, por el apoyo a los proyectos “Dinámica de la comunidad de paralarvas de cefalópodos del Parque Nacional de Cabo Pulmo (2014–2017) con base en un programa de muestreo de alta frecuencia” (SIP 20195462) y “Cefalópodos del Caribe: Estructura de la comunidad de paralarvas a diferentes profundidades” (SIP 202000169); proyectos externos de la Secretaría de Educación Pública y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SEP-CONACYT) Interacciones parasíticas de los eufáusidos y sus depredadores en el Golfo de California para inferir sus ciclos de vida CB-2012-178615-01, Efecto del calentamiento del mar y la disminución de la clorofila detectados por satélite en la biomasa y abundancia del zooplancton en el Golfo de California (CB-2016-01-284201).

Agradezco en especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (CVU: 1008753) por los apoyos económicos recibidos, así como al

Programa PIFI por la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI-IPN) (20195462, 20200169, 20210795) recibidos a lo largo de mi Maestría en el CICIMAR-IPN durante el período 2019-2021.

Agradezco a mis compañeros de grupo de zooplancton **M. en C. Elizabeth Martínez Soler, Dr. Ramón Beltrán Castro, Biol. Karen Valeria Bates Góngora, M. en C. Franklin García Fernández, M. en C. Osvaldo Hernández González** por su compañerismo y apoyo durante mi estancia en el laboratorio de Zooplancton del Departamento de Plancton y Ecología Marina. Y, sobre todo, agradezco a mi familia y amigos más cercanos por todo su entusiasmo, apoyo, pero sobre todo comprensión durante la ausencia, desconsideraciones y momentos de estrés. En especial, quiero agradecer a mi madre por sus sabios consejos, cuidados y cariño brindados.

DEDICATORIA

A Blue y Bay, quienes han sido una fuente de amor y tranquilidad muy importante para mí a lo largo de estos años.

“Water is the driving force of all nature”

—Leonardo da Vinci

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA	XI
ÍNDICE GENERAL	XII
LISTADO DE FIGURAS	1
LISTADO DE TABLAS	3
GLOSARIO	5
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES	14
HIPÓTESIS	19
OBJETIVOS	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
MATERIAL Y MÉTODOS	21
Área de Estudio	21
Serie de tiempo de Zooplancton (2014-2017)	23
Composición específica de eufáusidos y misidáceos	24

Variables ambientales	27
Análisis estadísticos	30
RESULTADOS	32
Variables Ambientales	32
Estructura y abundancia de las comunidades	38
Eufáusidos (Orden Euphausiacea)	38
Abundancia y estructura de la comunidad	38
Estructura de tallas y fases de desarrollo	44
Biomasa de Carbono de Eufáusidos	45
Misidáceos (Orden Mysida)	48
Abundancia y Estructura de la Comunidad	48
Estructura de tallas, sexo y fases de desarrollo	50
Biomasa de Carbono de Misidáceos	51
Análisis Estadísticos Multivariados	55
Análisis Clúster de dos vías	55
Análisis de Correspondencia Canónica	58
Pruebas estadísticas	61
DISCUSIÓN	63
Estructura de la comunidad de eufáusidos	65
Biogeografía y ecología del Orden Mysida en el Pacífico mexicano	69
CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS	85

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** A) Agregación epidemeral de misidáceos en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Foto: Octavio Aburto-Oropeza (Scripps Institution Oceanography, University of California San Diego). B) Hembra ovígera de *Mysidium rickettsi* recolectada en el Archipiélago de las Islas Marías (Jaime Gómez-Gutiérrez, CICIMAR-IPN). C, D) Agregación superficial de larvas (estadio Calyptopis I-III) del eufáusido *Nyctiphanes simplex* en Puerto Escondido, BCS. Fotos tomadas de Gómez-Gutiérrez *et al.* (en prensa). Peso de carbono (C) es estimado asumiendo que es el 40% del peso seco (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2012). DW= Peso seco (siglas en inglés Dry Weight); TL= Longitud Total.....13
- Figura 2.** A) Localización del Área de Estudio polígono del Parque Nacional Cabo Pulmo (PNCP) en el Golfo de California y estación del muestreo semanal en “Los Morros” (▲) y la ubicación de la serie temporal de la altura de marea (■). B) Polígono del PNCP. (■) Píxeles de extracción de datos satelitales de temperatura superficial; (○) Píxeles de extracción de datos satelitales de concentración de clorofila-a superficial; (◆) Ubicación de extracción de datos de velocidad y dirección del viento; (●) Ubicación de datos de variables físicas y (✚) Ubicación de datos de variables biológicas.....22
- Figura 3.** Condiciones oceanográficas registradas durante (2014-2017) en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Variables ambientales con sus respectivas anomalías con base en el período 2002-2018.....33
- Figura 4.** Velocidad y dirección del viento (arriba) y las corrientes superficiales (abajo) (m s^{-1}) en la región aledaña al PNCP durante 2014-2017, inferidos a partir de datos satelitales.....37
- Figura 5.** Serie semanal de eufáusidos recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Abundancia estandarizada ($\text{ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$); B) Abundancia relativa semanal(%) y C) Abundancia relativa interanual (2014-2017) (%).....39

Figura 6. Modelo exponencial entre el peso seco (DW, mg) y la longitud total (TL, mm) calculada para la especie de eufáusido <i>E. tenera</i> ; $R^2= 0.937$; $n=60$	45
Figura 7. Serie de biomasa semanal de las cuatro especies de eufáusidos más representativas de la comunidad (>96%) recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Biomasa muestral (mg C 1000 m ⁻³) B) Biomasa relativa semanal (%) y C) Biomasa relativa general (2014-2017) (%).....	47
Figura 8. Serie semanal de la abundancia de misidáceos (<i>M. rickettsi</i>) por estadio de vida recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Abundancia estandarizada (ind. 1000 m ⁻³); B) Abundancia relativa (%) y C) Abundancia relativa general (2014-2017) (%).....	49
Figura 9. Modelo exponencial resultante de la comparación entre el peso seco (DW, mg) y la longitud total (LT, mm) de <i>M. rickettsi</i> , $R^2=0.90$; $n=61$	50
Figura 10. Serie de tiempo de la biomasa de carbono de misidáceos (<i>M. rickettsi</i>) durante 2014-2017, por estadios de vida registrados en el PNCP 2014-2017. A) Serie semanal de biomasa de carbono (mg C 1000 m ⁻³) de <i>M. rickettsi</i> , por estadio de vida. B) Biomasa relativa (%) C) Biomasa relativa interanual (2014-2017) (%)..	52
Figura 11. Comparación de la biomasa (mg C 1000 m ⁻³) de copépodos (Beltrán-Castro <i>et al.</i> , 2020) con la biomasa de eufáusidos y misidáceos registrada en el PNC durante 2014-2015.....	54
Figura 12. Análisis de agrupamiento de dos vías de abundancias de eufáusidos y <i>M. rickettsi</i> por muestreo semanal, registrados en el PNCP durante 2014-2017.....	56
Figura 13. Análisis de agrupamiento de dos vías de biomasa de carbono de eufáusidos y <i>M. rickettsi</i> por muestreo semanal, registrados en el PNCP durante 2014-2017.....	57
Figura 14. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la abundancia de las especies de eufáusidos y misidáceos incluyendo exclusivamente las especies más frecuentes y abundantes (>1% de la abundancia relativa); Se muestran dos principales grupos que corresponden a la temporada fría (azul) y cálida (rojo), así como muestras más variables y dispersas entre ambas correspondientes a los meses de junio y noviembre, los meses de transición (verde).....	60

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones de regresión Peso-Longitud (TL= longitud total, mm) utilizadas para la estimación de la biomasa por individuo de cada especie expresada en peso seco (DW, mg) de cada especie con >1% de la abundancia total de eufáusidos recolectados en el Parque Nacional de Cabo Pulmo durante 2014-2017. Peso de carbono (C) es estimado asumiendo que es el 40% del peso seco (Gómez-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2012).....	25
Tabla 2. Características termohalinas de las masas de agua presentes en el sur del Golfo de California.....	29
Tabla 3. Variabilidad estacional e interanual de las condiciones ambientales (media $\pm$ DE) registradas durante 2014-2017 en el Parque Nacional Cabo Pulmo.	34
Tabla 4. Abundancia interanual estandarizada (ind. 1000 m ⁻³) y relativa (%) de las ocho especies que conforman la comunidad de eufáusidos del PNCP durante 2014-2017.....	40
Tabla 5. Abundancia estandarizada (ind. 1000 m ⁻³) por temporada fría y cálida de las ocho especies que conforman la comunidad de eufáusidos del PNCP durante 2014-2017. Especies ordenadas descendientemente por su abundancia.....	41
Tabla 6. Biomasa total anual (mg C 1000 m ⁻³) para cada una de las cuatro especies de eufáusidos numéricamente dominantes que en conjunto representaron >96.6% de la abundancia total de la comunidad de eufáusidos en PNCP durante 2014-2017.....	46
Tabla 7. Biomasa (mg C 1000 m ⁻³) total de misidáceos por estadio de vida en el PNCP durante 2014-2017.....	53

Tabla 8. Biomasa de Carbono de Copépodos, Eufáusidos y Misidáceos durante los dos primeros años de estudio 2014-2015).....	56
Tabla 9. Resumen del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la abundancia de eufáusidos y misidáceos en PNCP en función de las 14 variables ambientales analizadas durante 2014-2017. Correlación especies-ambiente, varianza explicada acumulada (77.4%) por los dos primeros ejes de la ordenación, y correlaciones de cada una de las variables en sus respectivos ejes de ordenación.....	58
Tabla 10. Resultados del análisis de Procedimiento Permutacional de Multirrespuesta (PPMR) y el Análisis Indicador de Especies (AIE) para la comparación de la estructura de la comunidad abundancia (ind. 1000 m ⁻³) y biomasa (mg C m ⁻³) de eufáusidos y misidáceos de PNCP durante 2014-2017 contrastando distintos periodos.....	62

GLOSARIO

Afinidad biogeográfica: Se refiere a la similitud entre dos o más regiones o zonas biogeográficas, ya sean filogeográficas o zoogeográficas.

Análisis de agrupamiento: Técnica de ordenamiento que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos.

Análisis de correspondencia canónica (ACC): Técnica multivariante de ordenación restringida, a través de matrices de variables dependientes (abundancia de especies por sitio de muestreo) o independientes (variables ambientales en los mismos sitios de muestreo), que trata de inferir el grado de relación entre las especies y las variables ambientales.

Área natural protegida (ANP): es una región (terrestre o acuática) cuyo fin es conservar la biodiversidad representativa de los ecosistemas existente en la región para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos biológicos, ecológicos y evolutivos.

Calyptopis: Una larva de zoea modificada típica de crustáceos eufáusidos que tiene los ojos cubiertos por el cefalotórax, carece de apéndices torácicos y tiene tres estadios larvales, Calyptopis I con abdomen no segmentado, Calyptopis II con abdomen segmentado y urópodos no desarrollados y Calyptopis III con abdomen segmentado y urópodos completamente desarrollados. Este es un estadio intermedio entre metanauplio o pseudometanauplio y furcilia.

Diagrama T-S. Relación entre la temperatura y salinidad en función de las isopletras de densidad que permite delimitar las características termohalinas de cada masa de agua presentes en una región.

Copépodo: Crustáceos de la Clase Hexanauplia, Subclase Copepoda generalmente de tamaño microscópico altamente abundantes en ecosistemas de agua dulce o salada. Se conocen más de 15,000 especies descritas (parásitos incluidos) y se distinguen por tener un solo ojo resultado de la evolución de dos ojos que se fusionaron, y las antenas principales son

articuladas y las largas que las secundarias. Poseen cuatro pares de apéndices torácicos que les sirven para nadar y vestigios de un quinto par que en algunas especies de son más notorios.

Diversidad de especies: Número de diferentes especies (riqueza de especies) combinada con la abundancia relativa de individuos dentro de cada una de esas especies (uniformidad de especies) en una unidad de muestreo o área determinada.

Euphausiacea: Orden que incluye crustáceos holoplanctónicos conocidos como eufáusidos que incluye una especie de la familia Benteuphausiidae y 85 especies en la familia Euphausiidae.

Euphausiidae: Familia de crustáceos holoplanctónicos con 85 especies marinas. Se caracterizan por la presencia de branquias externas no cubiertas por un caparazón y larvas calyptopis y furcilia. Tienen forma de camarón, también conocidos como krill.

Furcilia: Larva intermedia de eufáusido en el que el desarrollo ocular es casi adulto, pero se conservan apéndices natatorios birrámeos. Los ojos compuestos completamente desarrollados, móviles y se proyectan más allá de los lados del caparazón. Las antenas todavía tienen una función natatoria. Se están desarrollando los pares anteriores de patas torácicas y pleópodos. Las espinas del telson disminuyen en número en las sucesivas etapas de su desarrollo; el número de espinas en el telson es variable entre y dentro de las especies.

Juvenil (eufáusido): Todos los apéndices (pereiópodos y pleópodos) están desarrollados y el telson tiene solo una espina terminal más dos pares de espinas posterolaterales, asumiendo así su forma final. El juvenil es esencialmente una forma adulta, pero sin gónadas desarrolladas. El tamaño de la primera madurez se alcanza típicamente a la mitad de la longitud total máxima para cada especie.

Masa de agua: Volumen de agua marina que tiene un origen común y una combinación distintiva de rango de temperatura, salinidad y densidad.

Metanauplio: La forma general es como en el nauplio, pero la función de natación de las mandíbulas se ha perdido. Las antenas y las antenas todavía tienen una función natatoria. Las mandíbulas, maxílulas y maxilípedos se presentan como pequeñas yemas.

Migración vertical: Desplazamiento que realizan las especies en la columna de agua generalmente con periodicidad diaria. La migración vertical ontogénica se presenta durante el desarrollo larvario a adulto e implica una proporción predominante en algún estrato de profundidad en diferentes fases de desarrollo morfológico hasta alcanzar el hábitat de los adultos.

Morfotipo: Concepto de especie basado solamente en las características morfológicas de los individuos, sin considerar ningún otro factor biológico.

Nauplio: El nauplio eufáusido es típico de los nauplios de muchos grupos de crustáceos. El cuerpo es ovalado y no segmentado, sin ojos compuestos y solo con tres pares de extremidades. Las antenas son simples (no ramificadas), mientras que tanto las antenas como las mandíbulas son birrámeas y natatorias.

Parque Marino: Áreas marinas específicas y delimitadas destinadas a preservar unidades ecológicas de interés para la ciencia y áreas que aseguren el mantenimiento y diversidad de especies, como también aquellas asociadas a su hábitat. En ellos, no se puede realizar ninguna actividad, salvo aquellas que se autoricen con propósitos de observación, investigación o estudio.

Parque Nacional: Áreas terrestres, marinas, o una combinación de ambas, en estado natural o seminatural, con escasa o nula población humana, designada para proteger la integridad ecológica de uno o más ecosistemas de importancia internacional, regional o nacional y manejada principalmente con fines de conservación de ecosistemas.

Plancton: Palabra de origen griego que significa “errante”, son organismos principalmente microscópicos que no poseen capacidades natatorias suficientes para contrarrestar el movimiento y transporte de las corrientes. Puede ser marino o de agua dulce.

Pseudometanauplio: esta etapa está presente solo en algunos géneros de eufáusidos que presentan una estrategia de desove en sacos ovígeros. La forma general es como en el nauplio, pero se ha perdido la función de natación de las mandíbulas. Las mandíbulas y los maxilares se presentan como pequeños brotes.

Taxón (Taxa en plural): Unidad taxonómica, nombrada o no; es decir, población o conjunto de poblaciones de organismos a los que generalmente se supone filogenéticamente relacionados y con caracteres comunes que diferencian la unidad (género, familias, orden, etc) de otras unidades semejantes.

RESUMEN

Se plantea la hipótesis de que los eufáusidos y misidáceos, a pesar de ocurrir en menor abundancia que los Copépodos, podrían aportar una mayor biomasa disponible por su mayor tamaño y comportamiento gregario en el PNCP. La estructura de la comunidad de los eufáusidos y misidáceos se analizó a partir de 155 muestras diurnas de zooplancton recolectadas semanalmente en superficie durante 2014–2017 en el PNCP. Este período fue anómalamente cálido debido a una onda regional de calor (2014) y a El Niño 2015–2016, cuando se registró una baja concentración de clorofila-a superficial, en comparación con la climatología de 2002–2018. La abundancia promedio de eufáusidos (8,649 ind. 1000 m⁻³) fue mayor que la de los misidáceos (4,697 1000 m⁻³). La comunidad de los eufáusidos incluyó ocho especies principalmente de afinidad tropical (98.9% larvas calyptopis y furcilia, con 1.3–10.3 mm, 3.5±1.5 LT). *Euphausia distinguenda*, *Nyctiphanes simplex*, *E. eximia* y *E. tenera* conformaron >96.6% de la abundancia total de eufáusidos. La abundancia de *N. simplex* (nerítica subtropical) disminuyó y *E. distinguenda* y *Stylocheiron carinatum* (oceánicas tropicales) aumentó durante El Niño 2015–2016. La comunidad de misidáceos estuvo formada por juveniles y adultos de cinco especies (1.7–10.9 mm LT). *Mysidium rickettsi* (nerítica demersal) constituyó el 99.9% de la abundancia. La biomasa total de las cuatro especies de eufáusidos más abundantes (2.99E+07 mg C 1000 m⁻³) fue más de dos veces mayor que la biomasa de *M. rickettsi* (1.33E+07 mg C 1000 m⁻³). El CCA (con 13 variables ambientales) mostró que la abundancia de las especies dadas por los ejes 1 y 2 estuvieron negativamente asociadas con la npp (-0.73, eje 1) y positivamente con el biovolumen zooplanctónico (0.55) así como negativamente con el MEI.v2 (-0.58, eje 2) y positivamente con el rango de marea (0.264). En términos de biomasa, eufáusidos y misidáceos registraron menor biomasa que los copépodos (9.36E+06 mg C 1000 m⁻³) en el PNCP durante 2014–2015.

Palabras clave: Sucesión estacional, Onda de calor marina, La Mancha, El Niño, Golfo de California.

ABSTRACT

Although euphausiids (1.7%) and mysida (0.6%) have a lower relative abundance than copepods (64%) in the zooplankton community of Cabo Pulmo National Park (CPNP), due to their gregarious behavior and greater size, here is tested the hypothesis that euphausiids and mysida provide higher biomass than copepod available for zooplanktophagous predators. The community structure of euphausiids and mysida was analyzed from 155 diurnal samples of zooplankton collected weekly at the surface during 2014–2017 at the CPNP. This period was abnormally warm due to a marine heat wave (2014) and El Niño 2015–2016, recording anomalously low sea surface concentration of chlorophyll-a compared to the time series of 2002–2018. Euphausiids (8,649 ind. 1000 m⁻³) had a higher average abundance than mysida (4,697 ind. 1000 m⁻³). The structure of the euphausiid community included eight species mainly of tropical affinity (98.9% calyptopis and furcilia larvae, with 1.3–10.3 mm, 3.5 ± 1.5 TL). *Euphausia distinguenda*, *Nyctiphanes simplex*, *E. eximia* and *E. tenera* accounted for >96.6% of the total abundance of euphausiids. The abundance of the subtropical neritic species *N. simplex* decreased and the tropical oceanic species *E. distinguenda* and *Stylocheiron carinatum* increased during El Niño 2015–2016. Juveniles and adults of five mysida species (1.7–10.9 mm TL) accounted for the mysida community. However, the demersal neritic species *Mysidium rickettsi* attain about 99.9% of the total abundance. The total biomass of the four most abundant euphausiid species ($2.99\text{E}+07$ mg C 1000 m⁻³) was three times higher than the total biomass of *M. rickettsi* ($1.33\text{E}+07$ mg C 1000 m⁻³). The CCA as a function of 13 environmental variables showed that axis 1 was negatively associated with npp (-0.73) and positively correlated with Zooplankton biovolume, and the second axis was negatively associated with MEI.v2 (-0.58), and positively correlated with Tidal range (0.264). It is concluded that although only euphausiid larvae were collected, they contributed more than the juveniles and adults of *M. rickettsi* (possibly underestimated). During 2014–2015, both components contributed less population biomass than copepods ($9.36\text{E}+06$ mg C 1000 m⁻³) at CPNP.

Keywords: Seasonal succession, Marine heat wave, The Blob, El Niño, Gulf of California

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Cabo Pulmo (PNCP) (23° 27'N, -109° 25'O) es el arrecife de coral más septentrional del océano Pacífico Oriental (Reyes-Bonilla, 1997) y por su posición geográfica al sur del Golfo de California, así como por su actual estado de conservación es un ecosistema ecotonal de elevada diversidad biológica y moderada biomasa (Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla, 2005; Oropeza *et al.*, 2011, 2015). El sur del Golfo de California tiene una moderada productividad primaria debido a su ubicación geográfica subtropical-tropical (Hidalgo-González & Álvarez-Borrego, 2004; Lluch-Cota, 2007). Las condiciones hidrográficas del sur del golfo son altamente dinámicas debido a la influencia de las masas de agua modificada de la Corriente de California, del Golfo de California, la masa de agua Transicional y el Agua superficial Tropical que predomina en la región sur del Golfo de California durante todo el año (Castro *et al.*, 2006; Portela *et al.*, 2016).

Durante 2013-2014 ocurrieron eventos discretos pero prolongados de presencia de agua anómalamente cálida en el Pacífico norte, conocidos como Ondas de Calor Marinas (MHW, por sus siglas en inglés), presentes simultáneamente, pero independientes del evento 'La Mancha' (The Blob, en inglés) que se presentó en el Pacífico Norte, así como del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur ENSO en su fase cálida de El Niño (2015-2016) (Peterson *et al.*, 2015, 2017). Estos procesos climáticos han provocado anomalías positivas persistentes en la temperatura superficial del mar de hasta 3°C por encima de la media a lo largo del Pacífico Noreste (Kintisch, 2015; Durazo *et al.*, 2017) y sur del Golfo de California (Sánchez-Velasco *et al.*, 2017; Ahern *et al.*, 2018; Beltrán-Castro *et al.*, 2020; Martínez-Soler *et al.*, 2021).

Los cambios en la distribución, abundancia, estructura de la comunidad y estrategias de alimentación de numerosos organismos zooplanctónicos han sido reportados durante los eventos anómalamente cálidos del 2014–2015 (Kintisch, 2015; Cavole *et al.*, 2016; Sánchez-Velasco *et al.*, 2017; Beltrán-Castro *et al.*, 2020; Martínez-Soler *et al.*, 2021). Durante julio-octubre típicamente se registra una tropicalización estacional de la comunidad de zooplancton en el

Golfo de California por efecto del avance de la masa de agua superficial tropical que transporta zooplancton de afinidad tropical a altas latitudes incrementando la riqueza, pero disminuyendo en promedio el biovolumen del zooplancton (Brinton & Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 1986; Lavaniegos, 1996; Lavaniegos *et al.*, 1989; De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017).

Este cambio sucesional se ha observado en las comunidades de eufáusidos en el Golfo de California en cuatro cruceros realizados en cuatro meses no consecutivos en 1957 (Brinton & Townsend, 1980) y mediante una serie de tiempo mensual de feb-ago en 1990 en la Bahía de La Paz (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002). Por lo que los cambios sucesionales en la estructura de la comunidad de los eufáusidos durante un ciclo anual completo y su variabilidad interanual aún son desconocidos en el Golfo de California.

La plataforma continental del PNCP es estrecha y por consecuencia la comunidad de zooplancton en el parque presenta un componente oceánico como ha sido demostrado para la comunidad de ictioplancton (Ahern *et al.*, 2018); zooplancton gelatinoso (Silveyra-Bustamante *et al.*, 2020), copépodos (Beltrán-Castro *et al.*, 2020) y paralarvas (Martínez-Soler *et al.*, 2021).

Los eufáusidos y misidáceos forman densas agregaciones, enjambres y cardúmenes que atraen a numerosos depredadores zooplanctófagos siendo además un componente de biomasa y función relevante en los ciclos biogeoquímicos y flujo de energía en los ecosistemas pelágicos (Ritz, 1994; Rupert & Barnes, 1996; Siegel, 2000; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2014, en prensa) (Fig. 1A-D).

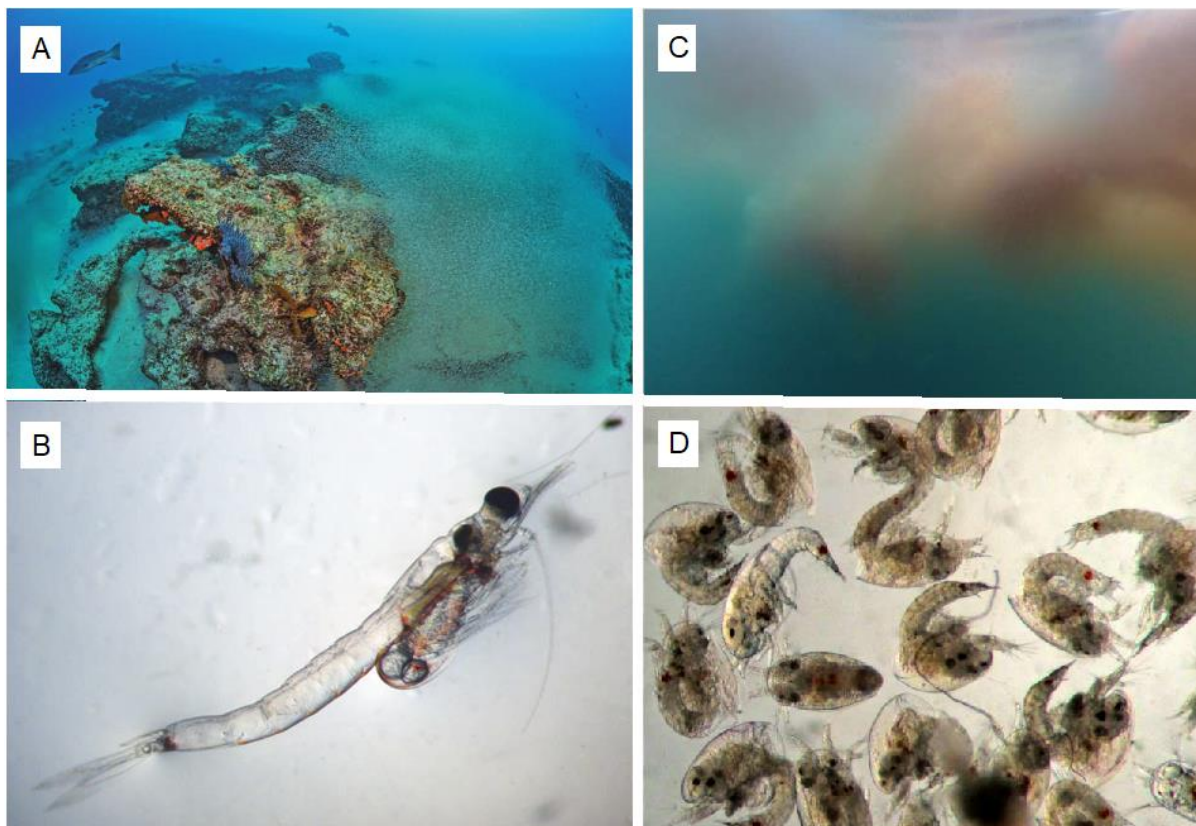


Figura 1. A) Agregación epidemeral de misidáceos en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Foto: Octavio Aburto-Oropeza (Scripps Institution Oceanography, University of California San Diego). B) Hembra ovígera de *Mysidium rickettsi* recolectada en el Archipiélago de las Islas Marías (Jaime Gómez-Gutiérrez, CICIMAR-IPN). C, D) Agregación superficial de larvas (estadio Calyptopis I-III) del eufáusido *Nyctiphanes simplex* en Puerto Escondido, BCS. Fotos tomadas de Gómez-Gutiérrez *et al.* (en prensa).

La presente tesis de maestría investiga el efecto de las condiciones anómalamente cálidas registradas durante 2014–2017 con relación a la serie climatológica de 2002-2018 sobre la fenología de la abundancia y biomasa de las comunidades de eufáusidos (krill) y misidáceos en Parque Nacional Cabo Pulmo. Esta es la primera investigación de variabilidad con resolución semanal de las especies de eufáusidos y misidáceos en el Golfo de California y en el Océano Pacífico.

ANTECEDENTES

En el PNCP ha sido ampliamente investigada la recuperación en biomasa de peces bentónicos, demersales y pelágicos una vez que se implementó su protección en 1995 (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011, 2015; Egerton *et al.*, 2018). Estudios previos sobre zooplancton se han centrado en la función trófica ecológica del zooplancton como presa de conjuntos de especies de peces (Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilera, 2016).

La estructura de la comunidad de zooplancton ha sido investigada de manera sistemática a partir de una serie de tiempo de zooplancton con frecuencia semanal en el PNCP. La serie de zooplancton del PNCP inició en enero 2014 y finalizó en noviembre 2017. Está motivada por el interés de identificar genéticamente los huevos y larvas de peces para conocer cuántas especies de peces desovan en el PNCP (Ahern *et al.*, 2018). Además del ictioplancton (Ahern *et al.*, 2018), se han investigado grupos taxonómicos de zooplancton gelatinosos (Silveyra-Bustamante *et al.*, 2020), copépodos (Beltrán-Castro *et al.*, 2020) y paralarvas de cefalópodos (Martínez-Soler *et al.*, 2021). Adicionalmente, se cuenta con la abundancia del zooplancton identificado a grandes grupos taxonómicos a lo largo de esta serie de tiempo (Gómez-Gutiérrez *et al.*, en prensa).

Los eufáusidos han sido ampliamente investigados en el Golfo de California a partir de extensos cruceros oceanográficos realizados desde 1957 a la actualidad (Mundhenke, 1969; Brinton & Townsend, 1980; Lavaniegos *et al.*, 1989; Lavaniegos, 1996; Färber-Lorda *et al.*, 2010; Tremblay *et al.*, 2010; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2010a-c, 2012; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017). De estas investigaciones, se conoce que la estructura de la comunidad de los eufáusidos en el Golfo de California incluye 13 de las 86 especies descritas del mundo (Brinton & Townsend, 1980; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017).

La región norte y central del Golfo de California está numéricamente dominada por *Nyctiphanes simplex* Hansen, 1911 (transicional) y *Nematoscelis difficilis* Hansen, 1911 (templada) y la región sur del golfo por *Euphausia distinguenda*

Hansen, 1911 como parte de una asociación de otras seis especies tropicales, cuatro de las cuales son especies endémicas del Pacífico Oriental Tropical: *E. distinguenda*, *Euphausia eximia* Hansen, 1911, *Euphausia lamelligera* Hansen, 1911 y *Nematoscelis gracilis* Hansen, 1910 (Färber-Lorda et al., 2010; Ambriz-Arreola et al., 2012, 2017, 2018). La especie de eufáusido numéricamente dominante en la boca del Golfo de California (durante crucero de junio 1993) es la especie nerítica de baja afinidad al oxígeno *Euphausia lamelligera*, seguida de *E. eximia*, *E. tenera* y *E. distinguenda* (Färber-Lorda et al., 2010). Lavaniegos et al. (1989) compararon la estructura de la comunidad de once especies de eufáusidos en la parte central y sur del Golfo de California durante Mar 1983 y Mar-Abr 1984 evidenciando las diferencias comunitarias durante el periodo de máxima intensidad de El Niño 1982-1983 y su posterior relajación en 1984. La abundancia de eufáusidos fue asociada a la abundancia de ballena azul *Balaenoptera musculus* en la parte suroeste del Golfo de California (Gendron, 1992).

Una serie de tiempo mensual (febrero-agosto 1990) realizada en la Bahía de La Paz registró siete especies de eufáusidos de afinidad transicional y ecuatorial (*N. simplex*, *N. difficilis*, *N. gracilis*, *E. distinguenda*, *E. eximia*, *Euphausia tenera* Hansen, 1905 y *Stylocheiron affine* Hansen, 1910) (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002). Al sur del Golfo de California, en una serie de tiempo mensual realizada en Cabo Corrientes, Jalisco, durante 1996–1998 se identificaron ocho especies, de las cuales *E. distinguenda* contribuyó con el 88–90% de la abundancia total de eufáusidos y *E. lamelligera* contribuyó con ~7% (Ambriz-Arreola et al., 2012, 2018). En el Golfo de Tehuantepec (enero 1989) la especie costera *E. lamelligera* dominó (91.6%) sobre la *E. distinguenda* más oceánica (7.3%) (Färber-Lorda et al., 1994).

En términos de la distribución vertical de los eufáusidos, Brinton (1979) investigó la distribución vertical (<800 m) y abundancia de las asociaciones de eufáusidos en relación con la temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto a lo largo de un transecto latitudinal en el Pacífico oriental tropical (3°S–25°N) encontrando principalmente especies de afinidad tropical en la boca del

Golfo de California. También estableció que los eufáusidos comprenden aproximadamente el 13% del biovolumen de zooplancton en el Pacífico Oriental Tropical (Brinton, 1979).

La región suroeste del Golfo de California donde se localiza el PNCP está influenciada por agua transicional formada por la mezcla del Agua del Golfo de California, agua modificada de la Corriente de California, Agua Tropical Superficial durante todo el año y agua de transición de la mezcla de estas tres masas de agua (Portela *et al.*, 2016). Se espera que la abundancia relativa de la comunidad de eufáusidos en el PNCP sea más similar a la reportada en Cabo Corrientes que a la reportada en Bahía de La Paz (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002; Ambriz-Arreola *et al.*, 2012, 2018). De esta forma, la comunidad de eufáusidos en el PNCP se espera que sea predominantemente tropical con baja riqueza específica (numéricamente dominada en abundancia y biomasa por *E. distinguenda* seguida probablemente de *E. lamelligera*) durante todo el año, con poca variabilidad estacional e interanual debido a la presencia de agua transicional durante todo el año (Portela *et al.*, 2016).

La estructura de la comunidad y sucesión estacional de los misidáceos es casi desconocida y su riqueza de especies y distribución se ha inferido a partir de cruceros oceanográficos de amplia cobertura (Brinton *et al.*, 1986; Harrison & Bowman, 1987; Price *et al.*, 1994; Hendrickx & Hernández-Payán 2018, 2020; Hernández-Payán 2020a; Hernández-Payán & Hendrickx 2020a, 2020b).

Hernández-Payán & Hendrickx (2020a) mencionaron que los misidáceos han sido considerablemente menos estudiados en hábitats neríticos donde pueden alcanzar elevada abundancia en hábitats de manglares, macroalgas, pastos marinos, bosques de coral negro y arrecifes coralinos y rocosos. Durante el verano se han observado grandes densidades de misidáceos en el PNCP, pero su identidad taxonómica es aún desconocida (Gómez-Gutiérrez *et al.*, en prensa; Aburto-Oropeza comunicación personal) (Fig. 1A).

Se han reportado ocho especies de Lophogastrida y 19 especies de misidáceos (estuarinas y marinas) para el Pacífico Mexicano de las 1,132

especies actualmente conocidas en el mundo (Hernández-Payán & Hendrickx 2020a). Esta riqueza conocida en el Pacífico mexicano representa cerca del 7% de los misidáceos registrados para todo el Pacífico Este (Alaska a Chile) (Price, 2004; Brusca & Hendrickx, 2005; Ortiz *et al.*, 2012; Meland *et al.*, 2015; Hernández-Payán & Hendrickx, 2020a). Las especies de los géneros *Petalophthalmus* y *Boreomysis* se distribuyen en aguas oceánicas profundas, las del género *Siriella* se distribuyen al oeste de México lejos de la costa, la especie *Euchaetomera plebeja* se ha registrado en profundidades de 95-110 m, mientras que las especies *Chlamydopleon banniri*, *Mysidopsis* y *Proneomysis* son de afinidad costera y de hábitats poco profundos. La especie *Mysidium pumae* fue descrita recientemente a partir de muestras superficiales colectadas en Mazatlán, Sinaloa (Ortiz *et al.*, 2017). Hernández-Payán & Hendrickx (2020a) mencionaron que, una campaña de muestreo en aguas someras, en particular cerca de las playas arenosas, permitirá obtener material de las especies típicas de estos hábitats.

Es posible que el misidáceo numéricamente dominante en el Parque Nacional de Cabo Pulmo sea *Mysidium rickettsi*. Esta especie fue descrita a partir de muestras recolectadas por Ricketts & Steinbeck en 1940 en Punta Marcial, BCS (marzo 23-24, 1940), Puerto San Carlos (abril 4, 1940), Sonora (Harrison & Bowman, 1987; Notarbartolo-di-Sciara, 1988) y reportada de manera abundante en el Archipiélago de Islas Marías (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2014). Sin embargo, la estructura de la comunidad de misidáceos en hábitats neríticos el Golfo de California es prácticamente desconocida.

La fenología de la composición específica de los eufáusidos, pero no de los misidáceos, a partir de series de tiempo es solo conocida en febrero a agosto 1990 en Bahía de La Paz (De Silva-Dávila & Palomares-García *et al.*, 2002) y sur de Cabo Corrientes (Golfo de California) (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012, 2018). La contribución en biomasa de eufáusidos y misidáceos en el PNCP aún no ha sido cuantificada.

Beltrán-Castro *et al.* (2020) reportó que, aunque los copépodos en el PNCP (2014-2017) tienen tallas <0.3 mm longitud del prosoma, su elevada

abundancia relativa (64%) de la estructura de la comunidad de zooplancton constituyen el grueso del aporte de biomasa zooplanctónica en la región. Ellos cuantificaron la biomasa expresada en Carbono en 21 de las 49 especies de copépodos registradas en el PNCP durante 2014-2015 (Beltrán-Castro *et al.*, 2020).

Aunque los eufáusidos y misidáceos conforman <3% de la abundancia total del zooplancton, debido a que los individuos juveniles y adultos pueden medir hasta 30 mm de longitud total su contribución relativa a la biomasa comunitaria puede ser superior a la de su abundancia. Debido a lo anterior, posiblemente tienen una función trófica semejante al de los copépodos en términos energéticos para la comunidad de zooplancton del PNCP en términos de biomasa.

HIPÓTESIS

La comunidad de eufáusidos y misidáceos del PNCP estará numéricamente dominada por especies de afinidad nerítico-tropical (*Euphausia distinguenda* y *Euphausia lamelligera*) y por *Mysidium rickettsi* costero, con esporádicas incursiones del eufáusido subtropical *Nyctiphanes simplex* que predomina en la parte central y norte del Golfo de California. Esta predominancia de especies tropicales estará promovida por el calentamiento superficial anómalo del mar (onda de calor marina regional en 2014 y El Niño 2015-2016).

La mayor biomasa del zooplancton disponible para los depredadores zooplanctófagos en el PNCP posiblemente está representada por copépodos (64% de la abundancia total del zooplancton), pero las densas agregaciones de eufáusidos (1.7%) y misidáceos (0.8%) que tienen un mayor tamaño corporal que los copépodos, determinará que sean un componente relevante en términos de biomasa.

OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer la estructura de la comunidad de los eufáusidos y misidáceos en términos de riqueza, abundancia y biomasa en el Parque Nacional de Cabo Pulmo durante el período 2014–2017 caracterizado por presentar intensas y persistentes anomalías predominantemente positivas de temperatura superficial del mar y negativas de concentración de clorofila-a superficial en comparación con la climatología de 2002–2018.

Objetivos específicos

1. Analizar las condiciones ambientales presentes en PNCP y su variabilidad estacional e interanual durante 2014–2017 a partir de temperatura superficial del mar, concentración de clorofila-a superficial del mar, dirección y velocidad de los vientos y corrientes superficiales, rango de marea, salinidad, altura promedio de la superficie del mar, profundidad de la capa de mezcla, producción primaria neta y concentración de oxígeno disuelto obtenidos mediante datos satelitales, Índice MEI.v2 y precipitación.
2. Identificar la composición específica de la comunidad de eufáusidos y misidáceos, y su variabilidad en términos de abundancia y biomasa de Carbono durante la serie de zooplancton semanal del PNCP durante 2014–2017.
3. Analizar la asociación estacional e interanual de la abundancia y biomasa de los eufáusidos y misidáceos en función de las condiciones ambientales inferidas a partir de telemetría satelital.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

Cabo Pulmo es el ecosistema de arrecife de coral más septentrional del Pacífico Oriental y el único del Golfo de California (Reyes-Bonilla, 1997); este fue establecido como un Área Natural Protegida con la categoría de Parque Nacional (1995) así como sitio RAMSAR desde 2008 por presentar además una elevada biodiversidad y ahora mayor biomasa (Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla, 2005; Aburto-Oropeza *et al.*, 2011, 2015). El polígono del PNCP tiene un área aproximada de 71 km² (Fig. 2) y corresponde a un ecosistema de plataforma continental dominado por corrientes de marea con un flujo en dirección hacia el norte durante la temporada cálida (junio-noviembre) y hacia el sur durante la temporada fría (diciembre-mayo) (Trasviña-Castro *et al.*, 2012; Torres-Hernández, 2017; Carrillo-Aguilar, 2018; Martínez-Soler *et al.*, 2021).

Particularmente, el patrón de estas corrientes suele ser más intenso durante verano e invierno, en comparación con primavera y otoño (Reyes-Bonilla, 1993). Aunado a esto, dada su ubicación geográfica en la zona de transición entre el Pacífico Noreste y el Pacífico Este Tropical, el desarrollo de eventos climáticos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) así como sistemas de baja presión (tormentas, huracanes) representan las más importantes fuentes de variabilidad interanual (Pennington *et al.*, 2006).

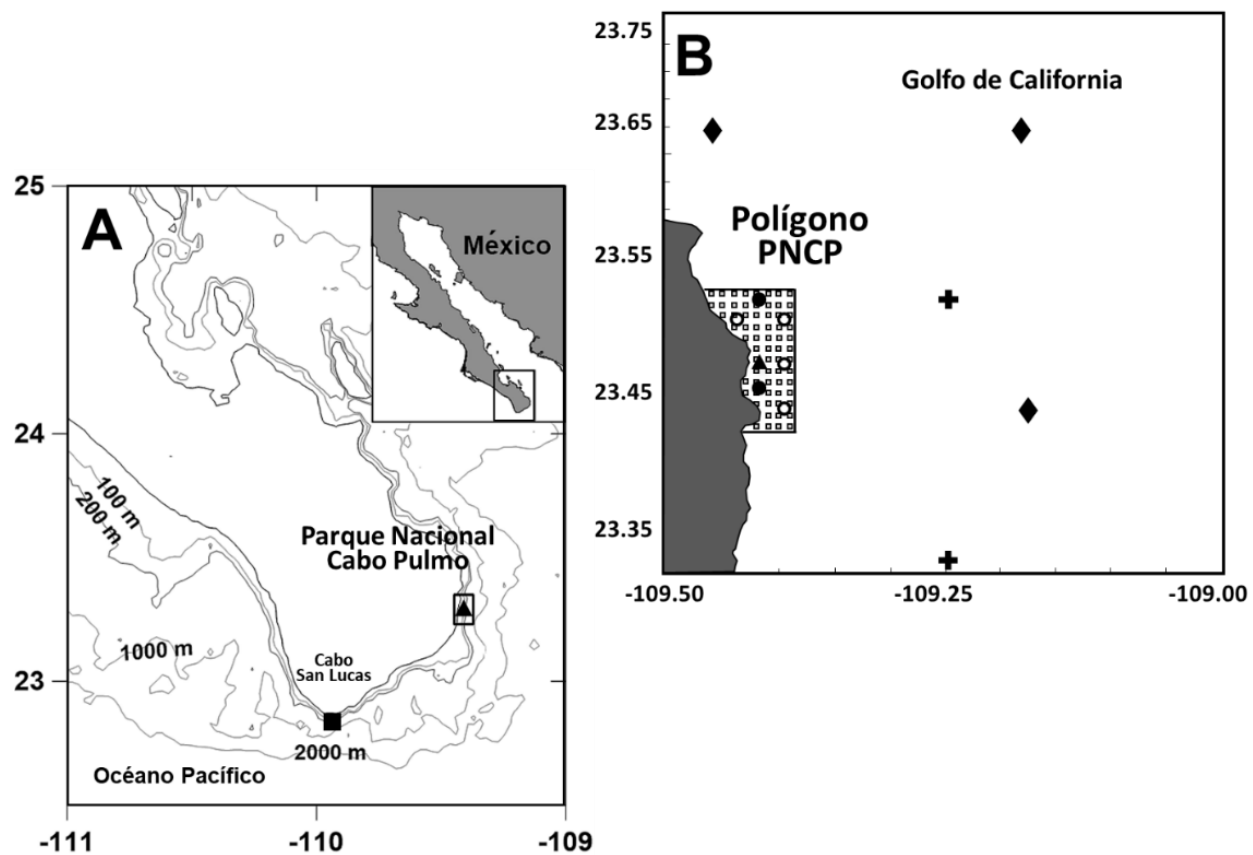


Figura 2. A) Localización del Área de Estudio polígono del Parque Nacional Cabo Pulmo (PNCP) en el Golfo de California y estación del muestreo semanal en “Los Morros” (▲) y la ubicación de la serie temporal de la altura de marea (■). B) Polígono del PNCP. (□) Píxeles de extracción de datos satelitales de temperatura superficial; (○) Píxeles de extracción de datos satelitales de concentración de clorofila-a superficial; (◆) Ubicación de extracción de datos de velocidad y dirección del viento; (●) Ubicación de datos de variables físicas y (⊕) Ubicación de datos de variables biológicas.

Serie de tiempo de Zooplancton (2014-2017)

Se recolectaron con frecuencia aproximadamente semanal 155 muestras de zooplancton en el Parque Nacional Cabo Pulmo, Baja California Sur, México (23°25'N, 109°25'O) entre enero 2014 y noviembre 2017 (Fig. 2). Este período incluye un año anómalamente cálido asociado con una onda de calor regional observada simultáneamente pero independiente de “La Mancha” registrada en la región central del Pacífico Norte, seguida del evento El Niño 2015–2016 con una ligera relajación de las anomalías positivas de temperatura en el 2017 (Kintisch, 2015; Peterson *et al.*, 2015; 2017; Torres-Hernández, 2017; Sánchez-Velasco *et al.*, 2017; Carrillo-Aguilar, 2018; Martínez-Soler *et al.*, 2021).

El mesozooplancton se recolectó utilizando una red de zooplancton tipo CalCOFI de forma cónica (60 cm de diámetro de boca; 330µm de luz de malla) a <5 m de profundidad durante diez minutos (Smith & Richardson, 1977). Las muestras de zooplancton se recolectaron durante el día (8:30–18:30 h), aunque el 79% de las muestras de zooplancton se recolectaron antes del mediodía. La red de zooplancton se equipó con un flujómetro digital calibrado de General Oceanics (modelo 2030R6) para estimar el volumen de agua de mar filtrada y estimar la abundancia estandarizada de los grupos taxonómicos de zooplancton y las especies de eufáusidos y misidáceos (ind. 1000 m⁻³) (Smith & Richardson, 1977).

Las muestras de zooplancton se colaron con un tamiz de 300 µm de luz de malla para eliminar el agua de mar y se preservaron en etanol al 96% no desnaturalizado, con un cambio completo de etanol después de 24 h. El biovolumen de zooplancton se midió utilizando el método estándar del volumen desplazado (Beers, 1976). Para estimar la abundancia relativa de los copépodos, eufáusidos y misidáceos en la comunidad zooplanctónica del PNCP se identificaron y contados todos los grupos taxonómicos de zooplancton a partir de tres alícuotas consecutivas de 10 ml obtenidas con una pipeta Stempel calibrada (capacidad de 10 ml) a partir de las muestras recolectadas y aforadas a 250 ml (Sánchez-Uvera & Silveyra-Bustamante, datos sin publicar).

Los individuos de cada grupo taxonómico se contaron a partir de la primera alícuota. En las dos alícuotas adicionales se contaron solo los especímenes de grupo taxonómicos no previamente observado en las alícuotas previas de esa misma muestra. El número total de especímenes contados por grupo taxonómico se extrapoló al número de alícuotas tomadas y luego al volumen total de la muestra (250 ml) para posteriormente estimar su abundancia estandarizada de acuerdo con Smith & Richardson (1979). La abundancia estandarizada de cada grupo taxonómico (ind. 1000 m⁻³) se estimó posteriormente dividiendo la abundancia de cada especie entre el volumen de agua de mar filtrada obtenida en cada fecha de muestreo (Smith & Richardson, 1977) y se estandarizó a 1,000 metros cúbicos de agua filtrada. La abundancia relativa de los grupos de zooplancton se calculó a partir de la abundancia estandarizada promedio de todas las muestras de zooplancton de la serie 2014–2017.

Composición específica de eufáusidos y misidáceos

Los eufáusidos y misidáceos de cualquier estadio de vida fueron separados y puestos en viales de cristal por los técnicos del proyecto (M. en C. Arturo Sánchez-Uvera y Biól. Mar. Ángel Antonio Silveyra Bustamante). Se identificó a los organismos por estadios de desarrollo y a nivel de especie. Los eufáusidos fueron identificados taxonómicamente por estadio de desarrollo (calyptopis, furcilia, juvenil y adulto) a nivel de especie mediante las claves de identificación de Baker *et al.* (1990) y Brinton *et al.* (1999). Asimismo, los misidáceos fueron identificados mediante los criterios taxonómicos diagnósticos reportados en Harrison & Bowman (1987), Ortiz *et al.* (2012) y Wittmann & Wirtz (2019).

Aunque la abundancia específica estandarizada es un indicador ecológico de la estructura de la comunidad de eufáusidos y misidáceos, ésta no necesariamente es un indicador de la influencia ecológica en términos tróficos (energética) debido al distinto tamaño y composición bioquímica de cada especie. Por lo anterior, se estimó la biomasa de carbono (mg C 1000 m⁻³) de los eufáusidos

y misidáceos por especie a partir de su abundancia estandarizada utilizando ecuaciones de regresión de peso-longitud expresadas en peso seco (mg) y en milímetros (mm) para las especies de eufáusidos y misidáceos numéricamente dominantes en la región con >1% de abundancia total (Tabla 1) (Lavaniegos, 1995; Gómez-Gutiérrez & Robinson, 1997; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996, 2012; Riaño, 2011).

Tabla 1. Ecuaciones de regresión Peso-Longitud (mm) utilizadas para la estimación de la biomasa por individuo de cada especie expresada en peso seco (mg) de cada especie con >1% de la abundancia total de eufáusidos recolectados en el Parque Nacional de Cabo Pulmo durante 2014-2017. Peso de carbono (C) es estimado asumiendo que es el 40% del peso seco (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2012). DW= Peso seco (siglas en inglés Dry Weight); TL= Longitud Total.

Especies	Modelo de regresión Peso-Longitud (Peso seco)	Referencias
<i>Nyctiphanes simplex</i>	DW= 0.005371 (TL) ^{2.316} ; r ² = 0.76	Gómez-Gutiérrez <i>et al.</i> (1996; 2012)
<i>Euphausia eximia</i>	DW= 0.001057 (TL) ^{3.10037} ; r ² = 0.94	Gómez-Gutiérrez & Robinson (1997)
<i>Euphausia distinguenda</i>	DW Hembras= 0.003(TL) ^{2.969} ; r ² = 0.83 DW Machos= 0.002(TL) ^{3.340} ; r ² = 0.80	Riaño (2011)

Para las especies de eufáusidos o misidáceos de las que actualmente no existe una ecuación publicada o disponible de peso-longitud se realizó la regresión peso-longitud siguiendo el método estándar (Gómez-Gutiérrez & Robinson, 1997). Se midió la longitud total (LT) de 60 especímenes de *Euphausia tenera* y 61 especímenes de *Mysidium rickettsi* del mayor rango de tallas posible mediante el uso de un estereoscopio Carl Zeiss SV11 con micrómetro calibrado en el ocular. Un total de 130 cápsulas de estaño fueron secuencialmente numeradas en la parte inferior de cada una de ellas y secadas en una estufa red Line Binder por 24 h a 60°C (±1°C) y posteriormente pesadas individualmente en una balanza analítica (Radwag Balances & Scales, MYA 2.3Y, precisión ± 1 µg, Polonia). Posteriormente, cada espécimen fue sacado del vial previamente preservado con alcohol al 96%, secado sobre papel secante y puesto en una cápsula de estaño (previamente secada y pesada) y fue pesado de nuevo en la balanza analítica, para obtener el

peso húmedo de cada espécimen. Cada espécimen en su cápsula de estaño fue secado por 24 h a 60°C en la misma estufa. Después de este proceso de secado, cada espécimen en su cápsula de estaño fue pesado de nuevo para obtener el peso seco con la misma balanza analítica. Se aplicó un modelo de regresión lineal potencial para ajustar los datos de peso y longitud para obtener la ecuación predictiva del peso seco a partir de la longitud total de los especímenes de cada especie con el programa Excel.

La biomasa de las especies numéricamente dominantes se expresó en peso de carbono a partir de la medición de longitud total >30 especímenes por especie por muestra de zooplancton a lo largo de la serie de zooplancton. Para calcular el peso en Carbono de cada organismo medido (mg C/ind.) se asumió que el 40% del peso seco del crustáceo representa el contenido de carbono de cada espécimen de eufáusido y misidáceo (Gómez-Gutiérrez & Robinson, 1997; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996, 2012). Con el peso medio en carbono se estimó la biomasa total de cada especie utilizando la siguiente ecuación:

$$B = W_{\mu} \times 10^{-3}D$$

Donde: W_{μ} es la media del peso de carbono por especie (expresado en μg por individuo) y D es la abundancia total estandarizada de la especie respectiva (ind. m^{-3}) (Miyashita *et al.*, 2009). La biomasa calculada en peso en carbono integrada por muestra de zooplancton ($\mu\text{g C}/1000 \text{ m}^3$) de eufáusidos y misidáceos fue comparada con la biomasa de las especies de copépodos publicada a partir de la serie de tiempo del PNCP durante 2014-2015 (Beltrán-Castro *et al.*, 2020). La biomasa en Carbono de copépodo incluye las 21 especies de copépodos con abundancia >1% de toda la comunidad de 49 especies registrada en el PNCP (Beltrán-Castro *et al.*, 2020). Se calculó la proporción de biomasa integrada por muestra de zooplancton de copépodos vs eufáusidos, misidáceos y ambos juntos. Posteriormente el promedio de la biomasa de las 155 muestras de zooplancton permitió calcular la biomasa aportada por cada uno de estos tres grupos taxonómicos disponible a depredadores en el PNCP. Desafortunadamente aún no existe información disponible de biomasa de copépodos para el periodo 2016 y 2017.

Variables ambientales

Se determinó la variabilidad semanal de la temperatura de la superficie del mar y la concentración superficial de clorofila-a (Chl-a), velocidad y dirección del viento y las corrientes superficiales a partir de la información satelital registrada en el polígono de 71 km² del Parque Nacional Cabo Pulmo (PNPC) durante 2014–2017. Las condiciones del período 2014-2017 fueron comparadas con las de las series de tiempo ambientales de los años 2002–2018 generadas por el Dr. Eduardo González-Rodríguez (CICESE-La Paz) previamente reportadas en Martínez-Soler *et al.* (2021). La amplitud de las mareas diarias (rango de marea) se obtuvo de las predicciones modeladas de la altura de la superficie del mar de Cabo San Lucas (78 km al sur del PNCP) (CICESE, www.predmar.cicese.mx). Los valores diarios por encima de la media permiten detectar periodos de mareas vivas y los valores diarios por debajo de la media periodos de mareas muertas. Estas variables ambientales fueron previamente analizadas en tres estudios previos realizados en el PNCP (Ahern *et al.*, 2018; Silveyra-Bustamante *et al.*, 2020; Beltrán-Castro *et al.*, 2020; Martínez-Soler *et al.*, 2021).

La temperatura de la superficie del mar (TSM) fue el producto diario de 1 km² del nivel 4 del multisensor de ultra-alta resolución (MUR) del grupo de alta resolución de temperatura de la superficie del mar (GHR SST, <https://www.ghrsst.org/>) (Chin *et al.*, 2013). Los datos TSM tienen cobertura global con alta resolución espacio temporal, sin problemas de nubosidad (ideal para estudios de procesos de pequeña escala y alta frecuencia en áreas costeras). Las imágenes satelitales de la concentración de clorofila-a (mg m⁻³) se obtuvieron a partir de composiciones de ocho días del satélite COPERNICUS de la Agencia Espacial Europea (ESA) con una resolución de 4 km² (www.marine.copernicus.eu). El valor semanal de ambas variables se consideró como el valor promedio de TSM y Chl-a en los ocho píxeles más cercanos a las coordenadas de la estación (búsqueda por octantes). Se construyeron series temporales (2014–2017) y se

calcularon anomalías mensuales sobre los valores promedio mensuales para todas las series satelitales (2002–2018). La TSM extraída del área de PNCP incluyó 64 píxeles y la de concentración de clorofila-a incluyó 6 píxeles dentro del polígono PNCP.

La dirección de las corrientes superficiales (u , v), también fueron obtenidas del sitio COPERNICUS. Valores de dirección de los vientos fueron obtenidos del sitio de la NOAA-NCEP North American Regional Reanalysis (NARR) con una resolución de 32 km^2 dando dirección (u , v) en grados. La velocidad del viento y de las corrientes superficiales fueron posteriormente estimadas por la hipotenusa de ambos ángulos expresado en m s^{-1} (www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.narr.monolevel.html).

En una segunda fase de análisis ambiental se obtuvieron seis variables ambientales adicionales mediante modelos asimilados obtenidos del sitio COPERNICUS. Las tres variables físicas ($9 \times 9 \text{ km}$) obtenidas fueron la salinidad (g kg^{-1}), altura promedio del nivel del mar (m) y profundidad de la capa de mezcla (m), así como tres variables biológicas, profundidad del máximo de clorofila-a (m), productividad primaria neta (npp, por sus siglas en inglés) ($\text{mg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) y concentración superficial de oxígeno disuelto ($\text{mmol O}_2 \text{ m}^{-3}$).

El modelo de asimilación de datos mundial tiene una resolución espacial de $25 \times 25 \text{ km}$, de los cuales dos píxeles se localizan dentro del polígono de PNCP de donde se promedió ambos valores para cada fecha de muestreo. Se obtuvo también, la precipitación pluvial promedio semanal de la región de La Rivera, Baja California Sur, localizada 27 km al norte del PNCP a partir de los datos publicados en la página web de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, www.smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form).

Adicionalmente, se obtuvieron los valores bimensuales del índice Multivariado del ENSO (MEI vers. 2, Multivariate ENSO Index Version 2 en inglés) de la página web de la NOAA Physical Sciences Laboratory (www.psl.noaa.gov/enso/mei/) que combina variables oceánicas y atmosféricas para proveer en un solo índice una evaluación de El Niño Oscilación del Sur

(ENSO). El índice bimensual MEI.v2 es la serie de tiempo de la función ortogonal empírica (EOF) combinada principal de cinco variables diferentes: presión al nivel del mar (SLP), temperatura de la superficie del mar (TSM), el componente zonal (U) y el componente meridional (V) del viento de superficie y radiación de onda larga saliente (OLR) sobre la cuenca del Pacífico tropical (30° S-30° N; 100° E-70° W). Un valor positivo mayor a 1 indica sin ambigüedad condiciones de El Niño y mayor a -1 indica sin ambigüedad condiciones de La Niña.

Se realizó un análisis de diagrama T-S de la temperatura superficial del mar y la salinidad superficial inferidas mediante observaciones satelitales para identificar las masas de agua presentes en el Parque Nacional Cabo Pulmo durante 2014-2017 siguiendo los criterios definidos de masas de agua TEOS10 descritos en Portela *et al.* (2016) (Tabla 2). Este análisis dividió en grupos las fechas de muestreo separando la temporada fría (dic-mayo y cálida (jun-nov) de cada año.

Tabla 2. Características termohalinas de las masas de agua presentes en el sur del Golfo de California.

Masas de agua	Temperatura (°C)		Salinidad (g kg ⁻¹)		Estrato (m)
	EOS-80	TEOS-10	EOS-80	TEOS-10	
Agua de la Corriente de California	12-18	10-21	<34.5	<34.6	0-150
Agua Superficial Tropical	>18	>25.1	<34.9	<34.6	0-50
Agua del Golfo de California	>12	>12	>34.9	>35.1	0-150
Agua Subsuperficial Subtropical	9-18	9-18	34.5-35.0	34.6-35.1	75-400
Agua Intermedia del Pacífico	4-9	4-9	34.5-34.8	34.6-34.9	400-1000

EOS= International Equation of State (EOS-80); TEOS= Thermodynamic Equation of Seawater 2010 (TEOS-10). Tomado de Portela *et al.* (2016)

Análisis estadísticos

Con la abundancia y biomasa estandarizada de los eufáusidos y misidáceos se realizó un análisis de agrupamiento de dos vías para inferir si existen unidades de muestreo que se agrupen por período estacional: temporada fría (diciembre-junio) vs. temporada cálida (julio-noviembre), entre años (variabilidad interanual, 2014-2017) o entre periodos climáticos asociados a la onda de calor regional (enero-agosto 2014) y El Niño 2015–2016 que duró de enero 2015 a febrero 2016 de acuerdo con análisis de Martínez-Soler *et al.* (2021).

Adicionalmente, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (Ter Braak, 1986) para explorar el grado de relación entre la abundancia de eufáusidos y misidáceos con los gradientes ambientales de las variables analizadas. Ambos estadísticos fueron calculados con el software PC-ORD v6 (McCune & Mefford, 2011). Para lo anterior, se construyeron tres matrices: 1) matriz de abundancia estandarizada de eufáusidos y misidáceos por especie (ind. 1000 m⁻³), 2) matriz de biomasa en carbono estandarizada de eufáusidos y misidáceos por especie (mg C 1000 m⁻³) y 3) matriz de variables ambientales que incluyó TSM, concentración de Chl-a, velocidad y dirección del viento a 10 m de la superficie del mar y de la corriente superficial, rango diario de mareas, salinidad, altura promedio de la superficie del mar en relación con el geoide, profundidad de la capa de mezcla (MLD), profundidad del máximo de clorofila-a (DCM), productividad primaria neta (npp), concentración superficial de oxígeno disuelto y el índice MEI.v2.

Las abundancias de eufáusidos y misidáceos se transformaron a $\log_{10}(x+1)$ y las variables ambientales se relativizaron por columna utilizando el programa PC-ORD (v.6) para evitar sesgo a alguna variable por sus diferencias en los intervalos de las unidades de cada variable. El análisis estadístico CCA se realizó excluyendo las especies de eufáusidos o misidáceos con <1% de la abundancia total.

Finalmente, se contrastaron las hipótesis estadísticas de establecen que no existen diferencias significativas en la estructura de la comunidad, en términos de abundancia y/o biomasa de carbono entre dos o más grupos de entidades de

muestreo mediante el Procedimiento Permutacional Multirrespuesta (PPMR, Multi-response Permutation Procedures, MRPP en inglés) (McCune & Mefford, 2011) utilizando el algoritmo $C(I) = n(I)/\sum(n(I))$, y el índice de similitud de Sørensen (Bray-Curtis), así como grupos definidos mediante variables categóricas comparando temporadas fría y cálida, estacionalidad característica del Golfo de California y trimestral, años (2014, 2015, 2016 y 2017) períodos en los que se presentaron tanto el evento ENSO en su fase cálida El Niño 2015-2016 como la Onda de Calor Marina Regional 2014 contra el resto de la serie. Para describir las especies responsables de las diferencias entre grupos, se utilizó el Análisis de Especies Indicadoras (ISA). Ambas pruebas estadísticas fueron realizadas mediante el programa PC-Ord 6.0 (McCune & Mefford, 2011).

RESULTADOS

Variables Ambientales

La temperatura superficial del mar (TSM) registrada durante 2014–2017 en el PNCP tuvo un patrón estacional característico del Golfo de California, el cual consiste en una temporada fría (diciembre-mayo) y una cálida (julio-octubre) con junio y noviembre como meses de transición. De abril a septiembre de 2014 (promedio anual $26.9 \pm 3.0^{\circ}\text{C}$) y 2015 (promedio anual $26.7 \pm 3.2^{\circ}\text{C}$) tuvieron mayores temperaturas que los de 2016 ($26.2 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$) y 2017, similar de oct-dic en los cuatro años y 2017 fue el año más frío de los cuatro años (promedio anual $26.3^{\circ}\text{C} \pm 3.5^{\circ}\text{C}$).

Las anomalías mensuales de TSM en referencia al período 2002–2018 mostraron valores anómalos predominantemente positivos durante toda la serie 2014–2017 en el PNCP. Las anomalías fueron más altas ($+1.5$ – 2.9°C) y prolongadas durante 2014 y 2015 que durante 2016 y 2017 cuando inclusive se observaron algunos meses con anomalías negativas de hasta -1.4°C en octubre 2016. 4A, eje vertical primario) (Fig. 3).

El Índice Multivariado de El Niño/Oscilación del Sur (MEI.v2) presentó valores positivos (≥ 0.5) a partir de mayo 2015 hasta mayo 2016. 4A, eje vertical secundario) indicando el desarrollo de El Niño correlacionado positivamente con las anomalías de TSM y la altura promedio del mar de PNCP. El evento “El Niño 2015-2016” mantuvo una duración de aproximadamente un año, y registró los máximos índices del MEI.v2 durante septiembre y octubre 2015 (2.21°C) disminuyendo progresivamente hasta su conclusión en abril-mayo 2016.

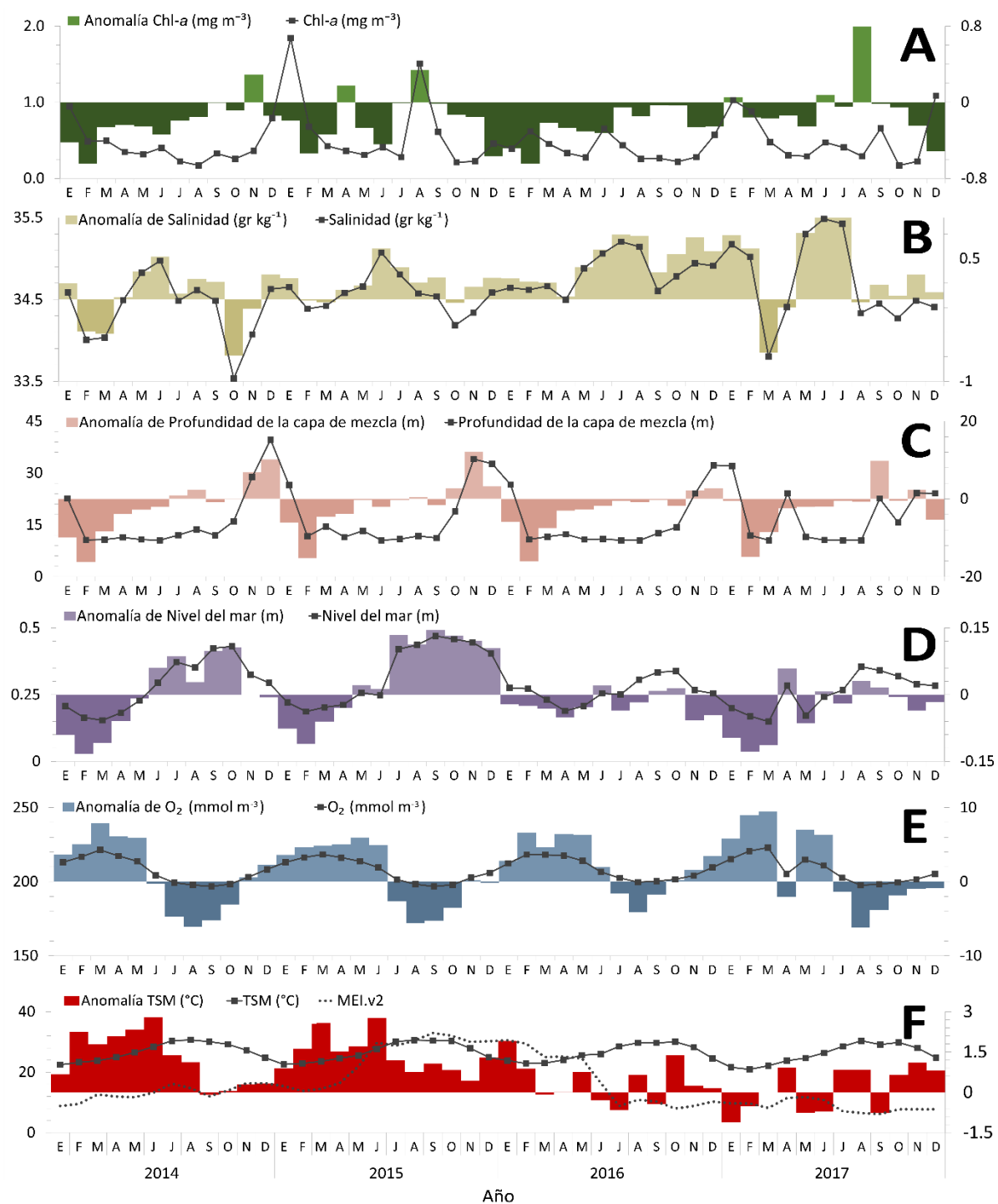


Figura 3. Condiciones oceanográficas registradas durante (2014-2017) en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Variables ambientales con sus respectivas anomalías con base en el período 2002-2018.

Durante 2014-2017, la concentración de clorofila-a superficial (Chl-a) fue ligeramente más alta durante la temporada fría, con promedios generales de 0.353 y 0.314 mg Chl-a m⁻³ durante las temporadas fría y cálida, respectivamente.

La Chl-a varió tanto estacional como interanualmente, con los valores más altos durante la temporada cálida de 2015 (0.49 ± 0.54 mg Chl-a m⁻³) y la temporada fría de 2017 (0.49 ± 0.28 mg Chl-a m⁻³) y las más bajas concentraciones durante la temporada cálida de 2014 (0.19 ± 0.09 mg Chl-a m⁻³) y la temporada fría de 2016 (0.23 ± 0.06 mg Chl-a m⁻³) (Tabla 3).

Tabla 3. Variabilidad estacional e interanual de las condiciones ambientales (media ± DE) registradas durante 2014-2017 en el Parque Nacional Cabo Pulmo.

Variables ambientales	2014		2015		2016		2017	
	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría
TSM (°C)	29.9 ± 1.13	24.74 ± 1.88	29.82 ± 1.43	24.31 ± 1.71	28.38 ± 1.67	24.68 ± 1.62	28.64 ± 1.96	23.96 ± 3.11
SSH (m)	0.37 ± 0.06	0.22 ± 0.07	0.41 ± 0.09	0.25 ± 0.09	0.29 ± 0.04	0.23 ± 0.04	0.3 ± 0.05	0.21 ± 0.06
MLD (m)	12.84 ± 2.96	19.83 ± 11.45	12.43 ± 4.18	18.62 ± 10	11.52 ± 1.66	16.45 ± 9.13	12.72 ± 3.81	18.93 ± 9.98
Sal (g kg ⁻¹)	34.42 ± 0.51	34.33 ± 0.33	34.64 ± 0.31	34.54 ± 0.21	34.98 ± 0.25	34.73 ± 0.2	34.85 ± 0.6	34.8 ± 0.53
DCM (m)	89.76 ± 18.99	86.83 ± 9.7	84.82 ± 9.84	73.86 ± 7.08	89.22 ± 9.16	80.46 ± 6.05	90.44 ± 19.4	75.66 ± 9.7
nppv (mg m ⁻³ d ⁻¹)	5.99 ± 0.66	2.17 ± 0.67	5.67 ± 0.84	2.44 ± 1.7	5.28 ± 1	2.69 ± 1.7	5.4 ± 1.67	2.44 ± 1.24
O ₂ (ml L ⁻¹)	29.9 ± 1.13	24.74 ± 1.88	29.82 ± 1.43	24.31 ± 1.71	28.38 ± 1.67	24.68 ± 1.62	28.64 ± 1.96	23.96 ± 3.11
Chl-a (mg m ⁻³)	0.19 ± 0.09	0.37 ± 0.25	0.49 ± 0.54	0.36 ± 0.32	0.24 ± 0.1	0.23 ± 0.06	0.35 ± 0.33	0.49 ± 0.28
Vien (m s ⁻¹)	2.6 ± 1.17	2.66 ± 1.97	2.36 ± 1.53	3.21 ± 2.27	2.41 ± 1.14	2.91 ± 2.06	2.84 ± 1.48	2.58 ± 1.68
Corr (m s ⁻¹)	0.2 ± 0.11	0.15 ± 0.09	0.17 ± 0.07	0.09 ± 0.04	0.1 ± 0.05	0.13 ± 0.05	0.09 ± 0.06	0.1 ± 0.07
BVZ (ind 1000 m ⁻³)	137.5 ± 117.51	390.97 ± 452.4	209.19 ± 172.06	427.6 ± 319	197.58 ± 135.5	207.1 ± 170.37	539.44 ± 277.1	349.43 ± 386.7
Rmar (m)	1.15 ± 0.36	1.12 ± 0.37	1.23 ± 0.34	1.2 ± 0.37	1.13 ± 0.43	1.17 ± 0.42	1.13 ± 0.44	1.12 ± 0.41
Pps (mm sem ⁻¹)	21.93 ± 39.2	0.21 ± 1.13	7.88 ± 12.25	5.77 ± 17.7	11.61 ± 25.35	0.52 ± 1.05	17.62 ± 59.33	0.3 ± 0.53

SSH= Altura de la superficie del mar (Sea Surface Height); MLD= Profundidad de la capa de mezcla (Mixed Layer Depth); DCM= Máximo de clorofila profundo (Deep Chlorophyll Maximum); nppv= Producción Primaria Neta (Net Primary Production per unit Volume); Vie= Intensidad del viento a 10 m de la superficie del mar; Cor= Velocidad de las Corrientes Superficiales; Rmar= Rango de marea; Pps= Precipitación pluvial semanal.

La profundidad promedio del máximo de Chl-a (DCM) tuvo una variabilidad estacional e interanual, siendo más somera durante la temporada fría que durante la temporada cálida (de todos los años). La menor profundidad promedio del DCM se registró durante la temporada fría de 2015 (73.9 m) y 2017 (75.7 m). Las mayores profundidades del DCM se registraron durante la temporada cálida de 2014 (89.8 m) y 2017 (90.4 m).

Durante la serie de tiempo 2014-2017 se registraron predominantemente anomalías negativas de concentración de Chl-a respecto a la serie histórica 2002-2018. Las anomalías negativas de Chl-a se asocian a periodos con anomalías positivas de TSM durante 2014 y 2015. Sin embargo, las anomalías negativas de Chl-a persistieron a lo largo del período de estudio.

Por otro lado, la salinidad superficial del mar promedio incrementó interanualmente desde 2014 hasta 2017, tanto en la temporada fría como en la cálida. Las menores salinidades se registraron durante 2014 (temporada fría $\bar{x}$ = 34.33 y cálida 34.42). Aunque la mayor salinidad promedio se registró durante la temporada cálida de 2016 ($\bar{x}$ = 34.98), la salinidad de la temporada fría del 2016 ($\bar{x}$ = 34.73) fue menos salina que lo observado en 2017 (temporada fría $\bar{x}$ = 34.8 y cálida 34.85).

El diagrama T-S delimitando las características termohalinas de las masas de agua presentes en el Golfo de California (Portela *et al.*, 2016) (Tabla 4) mostró la presencia de agua Transicional (TTW) durante la mayor parte de la temporada fría de cada año. El agua Superficial Tropical de alta temperatura y baja salinidad ocurrió principalmente durante la época cálida y particularmente durante el evento El Niño 2015-2016. Sin embargo, el agua del Golfo de California (AGC) estuvo presente únicamente durante la época fría de 2017.

El patrón de velocidad y dirección de los vientos mostró un patrón estacional característico de la circulación monzónica del Golfo de California. Los vientos fueron predominantes del noroeste de noviembre a mayo y del sureste de junio a septiembre durante los cuatro años (2014–2017). La velocidad del viento varió entre 0.20 y 8.6 m s⁻¹ aunque aproximadamente el 65% de los registros tuvo baja velocidad de viento (<3 m s⁻¹). Las menores velocidades del viento fueron

registradas durante la temporada fría 2016. La velocidad anual promedio del viento fue mayor de durante 2015 (2.85 m s^{-1}) que durante el resto de la serie (2014, 2.63 m s^{-1} ; 2016 y 2017 2.71 m s^{-1}).

La dirección y velocidad de las corrientes de marea superficiales durante 2014-2016 fue predominantemente hacia el norte con un patrón más variable durante el segundo semestre de 2016 con flujo predominantemente hacia el sur. La velocidad de la corriente superficial en PNCP disminuyó progresivamente de 0.17 m s^{-1} durante 2014 a 0.10 m s^{-1} en 2017. La intensidad de la corriente superficial varió entre 0.010 y 0.50 m s^{-1} . La velocidad de la corriente superficial fue más alta en la temporada cálida con respecto a la fría en 2014 y 2015, registrándose un patrón inverso en 2016 y 2017 (Fig.4).

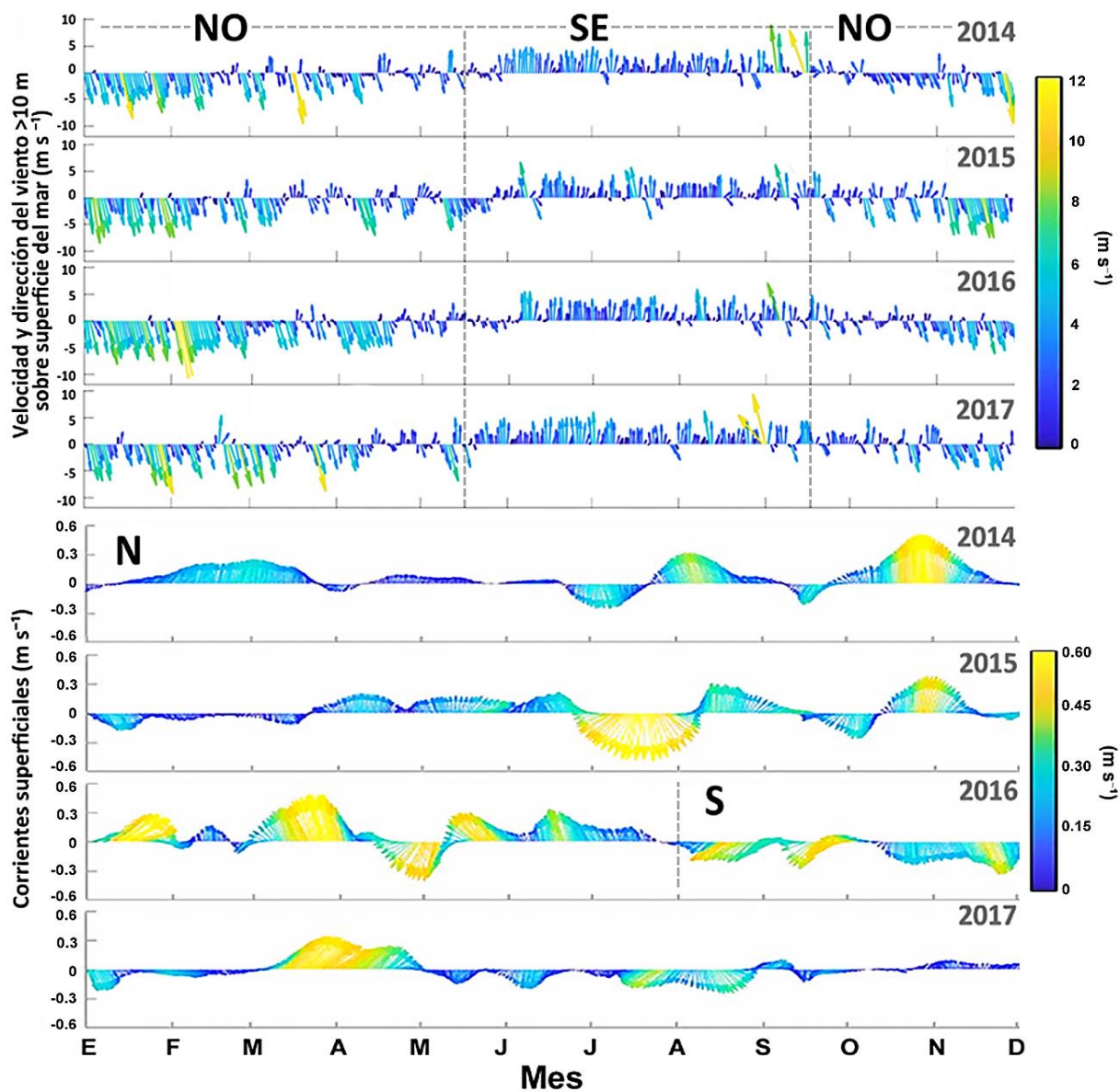


Figura 4. Velocidad y dirección del viento (arriba) y las corrientes superficiales (abajo) (m s^{-1}) en la región aledaña al PNCP durante 2014-2017, inferidos a partir de datos satelitales. Figura realizada a partir de Martínez-Soler (2020).

Estructura y abundancia de las comunidades

Los eufáusidos y misidáceos estuvieron presentes durante virtualmente toda la serie de tiempo. Sin embargo, los eufáusidos estuvieron presentes en 140 muestras de zooplancton y los misidáceos en 114 muestras de zooplancton de las 155 muestras de zooplancton analizadas del PNCP durante 2014-2017. Asimismo, los misidáceos presentaron menor abundancia durante el 2014 respecto al resto de la serie de tiempo.

Eufáusidos (Orden Euphausiacea)

Abundancia y estructura de la comunidad

La estructura de la comunidad de eufáusidos en el PNCP durante 2014-2017 estuvo conformada por ocho especies pertenecientes a cuatro géneros *Euphausia distinguenda* Hansen, 1908 (especie tropical-oceánica, endémica del Pacífico Oriental Tropical, 39%), *Nyctiphanes simplex* Hansen, 1911 (subtropical-nerítica, 30.2%), *Euphausia tenera* Hansen, 1905 (circumtropical-oceánica, 16.9%) y *Euphausia eximia* Hansen, 1911 (tropical-oceánica, endémica del Pacífico Oriental Tropical, 10.6%), fueron las especies numéricamente más abundantes en la serie de tiempo (Fig. 5). Estas cuatro especies acumularon el 97% de la abundancia total de eufáusidos. *Stylocheiron carinatum* Sars, 1883 (templado-tropical, oceánica), *Euphausia lamelligera* Hansen, 1911 (tropical-nerítica, endémica del Pacífico Oriental Tropical), *Nematoscelis gracilis* Hansen, 1910 (circumtemplado-tropical, oceánica) y *Stylocheiron affine* Hansen, 1910 (templado-tropical, oceánica) fueron considerablemente menos abundantes (Tabla 4).

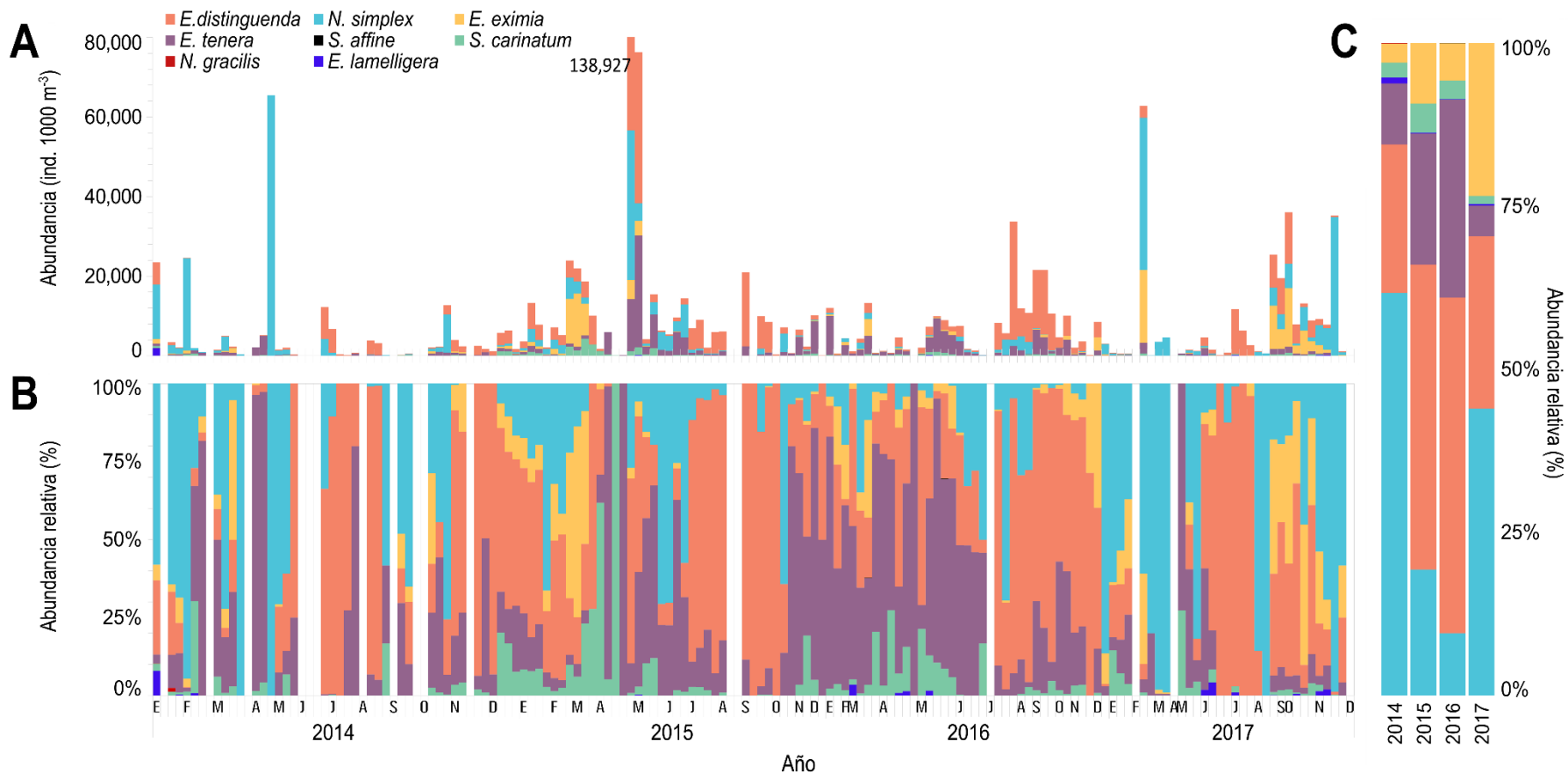


Figura 5. Serie semanal de eufáusidos recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Abundancia estandarizada (ind. 1000 m⁻³); B) Abundancia relativa semanal(%) y C) Abundancia relativa interanual (2014-2017) (%).

Tabla 4. Abundancia interanual estandarizada (ind. 1000 m⁻³) y relativa (%) de las ocho especies que conforman la comunidad de eufáusidos del PNCP durante 2014-2017.

Especies	2014	%	2015	%	2016	%	2017	%	Total	%
<i>E. distinguenda</i>	48,431	23	228,516	47	127,127	51	71,272	26	368,503	39
<i>N. simplex</i>	131,453	62	94,623	19	23,647	10	118,780	44	475,346	30
<i>E. tenera</i>	20,650	10	98,660	20	74,919	30	12,706	5	128,733	17
<i>E. eximia</i>	6,252	3	45,183	9	14,102	6	63,193	23	206,294	11
<i>S. carinatum</i>	4,901	2	22,197	5	7,105	3	3,356	1	37,560	3
<i>E. lamelligera</i>	1,881	1	194	0	220	0	611	0	2,905	0.2
<i>N. gracilis</i>	76	0.04	-	-	-	-	-	-	76	0.01
<i>S. affine</i>	-	-	-	-	36	0.15	-	-	36	0.003
Total	213,644		489,373		247,156		269,918		1,219,453	100

Las mayores densidades de eufáusidos ocurrieron durante mar-abril de cada año particularmente en 2014, 2015 y 2017 y típicamente menor abundancia durante la época cálida (Tabla 5). *E. distinguenda* estuvo presente durante casi toda la serie de tiempo con mayores densidades durante el Niño 2015-2016, un patrón semejante tuvo *E. tenera*. *N. simplex* estuvo presente en altas abundancia durante las temporadas frías con mínimas densidades durante el 2016 asociado a El Niño y máximas densidades en 2014 y 2017. *E. eximia* tuvo baja frecuencia de aparición, principalmente durante la temporada fría de cada año teniendo sus mayores densidades en 2017.

Tabla 5. Abundancia estandarizada (ind. 1000 m⁻³) por temporada fría y cálida de las ocho especies que conforman la comunidad de eufáusidos del PNCP durante 2014-2017. Especies ordenadas descendientemente por su abundancia.

Especies	Fría	Cálida	Total
<i>E. distinguenda</i>	219,683	255,663	475,346
<i>N. simplex</i>	289,739	78,763	368,503
<i>E. tenera</i>	147,871	58,423	206,294
<i>E. eximia</i>	84,354	44,378	128,733
<i>S. carinatum</i>	32,867	4,692	37,560
<i>E. lamelligera</i>	2,572	333	2,905
<i>N. gracilis</i>	76	-	76
<i>S. affine</i>	36	-	36
Total	777,200	442,253	1,219,453

La estructura de la comunidad de eufáusidos durante el 2014 y 2016 estuvo conformada por 7 especies y 2015 y 2017 por seis especies. *N. gracilis* solo apareció en 2014 y *S. affine* solo apareció en 2016. El resto de las especies se observaron en todos los años. En 2015 la comunidad de eufáusidos alcanzó la mayor abundancia de todo el período de estudio (489,373 ind.1000 m⁻³). Durante este año, la comunidad estuvo conformada por las mismas seis especies que en 2014, pero *S. carinatum* no se registró y *Euphausia distinguenda* fue la numéricamente dominante (47%) seguida de *E. tenera* (20%).

Durante el 2014 la comunidad estuvo numéricamente dominada por la especie subtropical *N. simplex* (62%), la cual alcanzó su máxima abundancia promedio mensual a finales de la temporada fría, durante el mes de abril ($\bar{x}$ = 21,800 ind. /1000 m³). Sin embargo, la abundancia de esta especie disminuyó drásticamente durante la temporada cálida mostrando un ligero incremento únicamente durante el mes de octubre ($\bar{x}$ = 2,800 ind. 1000 m⁻³). *E. distinguenda* (22.7%) mostró un incremento en su abundancia promedio mensual durante la temporada cálida de este año, alcanzando sus máximos valores ($\bar{x}$ = 2,020 ind. /1000 m³) durante el mes de junio y manteniendo una abundancia relativamente constante el resto del año (con excepción del mes de septiembre). El eufáusido circumtropical *E. tenera* (9%) presentó una abundancia

relativamente constante durante la temporada fría con un pico máximo a finales de esta, durante el mes de abril ($\bar{x}$ = 2,260 ind. /1000 m³), mientras que durante temporada cálida esta especie disminuyó, volviendo a incrementar en octubre, de forma similar a *N. simplex*. Las especies *E. eximia* y *S. carinatum*, presentaron sus máximos promedios mensuales durante la temporada fría disminuyendo e incluso ausentándose durante varios meses dentro de la temporada cálida. Asimismo, ambas presentaron su máxima abundancia promedio durante la temporada fría.

En 2015, la comunidad de eufáusidos estuvo dominada por la especie tropical *E. distinguenda* (47%), la cual duplicó su abundancia relativa respecto al 2014. Esta especie mantuvo una abundancia promedio relativamente constante con dos picos máximos al final de la temporada fría y cálida, en los meses de abril y septiembre ($\bar{x}$ = 16,580 y 8,580 ind. /1000 m³, respectivamente). Sin embargo, a partir de septiembre su abundancia promedio mensual disminuyó drásticamente (<1,200 ind. /1000 m³) permaneciendo así el resto de este año. La segunda especie numéricamente dominante durante 2015 fue *E. tenera* (20%), la cual incrementó en 1/3 su abundancia respecto a 2014, presentó sus picos máximos durante las temporadas de transición, particularmente al final de la temporada fría ($\bar{x}$ = 10,000 y 4,120 ind. /1000 m³) y disminuyó durante las temporadas fría y cálida. Similarmente, *E. eximia* y *S. carinatum*, las cuales también incrementaron su abundancia relativa respecto a 2014, presentaron sus máximos valores de abundancia durante la temporada fría, así como sus dos picos máximos ($\bar{x}$ = 7,120 y 2,820 y ind. /1000 m³, respectivamente) a finales de esta. Por último, la especie subtropical *N. simplex*, mostró un decremento tanto en su abundancia relativa como en su abundancia promedio mensual con respecto a 2014, presentando su máxima abundancia promedio mensual durante el mes de abril ($\bar{x}$ = 7,510 ind. /1000 m³), a finales de la temporada fría y disminuyendo drásticamente durante la temporada cálida.

En 2016 la especie *E. distinguenda* se mantuvo como la especie numéricamente dominante dentro de la comunidad de eufáusidos (51%), sin embargo, mantuvo abundancias relativamente bajas a las anteriores durante la mayor parte del año, presentando sus mayores promedios mensuales durante la época cálida en los meses de julio y septiembre ($\bar{x}$ = 9,480 y 13,340 ind. /1000 m³), los cuales, además,

fueron menores a los de 2015. Asimismo, la segunda especie numéricamente dominante, *E. tenera* (30%) al igual que *S. carinatum*, aunque nuevamente presentaron su pico de máxima abundancia promedio mensual ($\bar{x}$ = 4,480 y 700 ind. /1000 m³, respectivamente) durante la transición de la temporada fría a cálida, como años anteriores, estas presentaron su segundo máximo promedio mensual ($\bar{x}$ = 3,780 y 540 ind. /1000 m³, respectivamente) durante la temporada cálida y no al final de esta. Asimismo, aunque *E. tenera* incrementó su abundancia relativa respecto a 2015, la abundancia relativa de *S. carinatum* fue menor (3%) que en 2015 (5%), aunque aún superior a la de 2014 (2%). Durante 2016 la abundancia relativa del eufáusido subtropical *N. simplex* (10%) continuó disminuyendo, mostrando un patrón estacional similar al de *E. tenera*, pero presentando su pico de máxima abundancia promedio mensual en agosto durante la temporada cálida ($\bar{x}$ = 3,250 ind. /1000 m³).

Durante el 2017, la comunidad de eufáusidos volvió a estar dominada en abundancia por el eufáusido subtropical *N. simplex* (44%) aunque la distribución de la abundancia entre las especies fue más equitativa. *N. simplex* presentó su mayor abundancia promedio mensual ($\bar{x}$ = 12,780 ind. /1000 m³) durante la temporada fría al igual que en 2014, aunque posteriormente presentó un segundo pico durante el mes de noviembre ($\bar{x}$ = 11,440 ind. /1000 m³) en la transición de temporada cálida a fría.

La segunda especie numéricamente más abundante durante este año fue *E. distinguenda* (26%), la cual disminuyó su abundancia relativa respecto a 2016, presentando un patrón de abundancia similar al de ese año, con su pico de máxima abundancia promedio mensual únicamente durante la temporada cálida, en los meses de junio, septiembre y octubre ($\bar{x}$ = 6,710; 9,070 y 5,760 ind. /1000 m³, respectivamente).

Asimismo, las especies *E. eximia* (24%), *E. tenera* (5%) y *S. carinatum* (1%) presentaron un patrón de abundancia muy similar al de *N. simplex*, con un primer pico de abundancia durante febrero en la temporada fría ($\bar{x}$ = 6,090; 900 y 210 ind. /1000 m³), pero un segundo en la temporada cálida durante el mes septiembre ($\bar{x}$ = 4,880, 1,430 y 350 ind. /1000 m³). Por último, *E. lamelligera*, a pesar de estar presente durante los cuatro años de estudio, esta mantuvo una baja abundancia promedio mensual, con su mayor abundancia promedio mensual durante la temporada fría de

2014 ($\bar{x}$ = 470 ind. /1000 m³) aunque una mayor frecuencia de aparición durante los años 2016 y 2017 en 3 y 5 meses, respectivamente).

Estructura de tallas y fases de desarrollo

Durante el período 2014-2017, 99% de la estructura de la comunidad de eufáusidos en PNCP estuvo constituida principalmente por larvas calyptopis (26%, n= 618) y furciliias (73%, n= 1,735). A partir de la medición de longitud total de 2,317 eufáusidos se obtuvo un rango entre 1.3-10.3 mm de longitud total (LT). La talla máxima se obtuvo durante noviembre de 2017 y correspondió a un individuo adulto de *E. lamelligera*, mientras que el individuo de menor talla se obtuvo de una larva calyptopis de *E. distinguenda* durante el julio de 2014. La longitud promedio de las ocho especies recolectadas durante 2014-2017 fue 3.5 ± 1.5 mm LT (mediana= 3.2 mm LT). La mayor parte de la comunidad de eufáusidos (69%) osciló entre 2-5 mm.

Las calyptopis presentaron tallas entre 1.3-2.6 mm LT, con una talla promedio de 2.1 ± 0.3 mm LT. Las larvas furcilia presentaron tallas entre 2.3-6.9 mm (LT) con una talla promedio de 3.4 ± 0.7 mm (LT). Los juveniles presentaron tallas entre 4.2-7.7 mm (LT) con promedio de 5.7 ± 0.7 mm y los adultos presentaron tallas entre 6.3 hasta los 10.3 mm (LT) con un promedio de 7.8 ± 0.7 mm (LT).

Las mediciones de las diferentes tallas (longitud total, TL) (mm) y peso seco (DW, mg) de 60 individuos de *E. tenera* se ajustaron a un modelo de tipo potencial de la forma $Y = aX^b$ (Fig.6), donde la relación entre LT y DW es igual a:

$$DW = 0.0011(TL)^{2.8161}$$

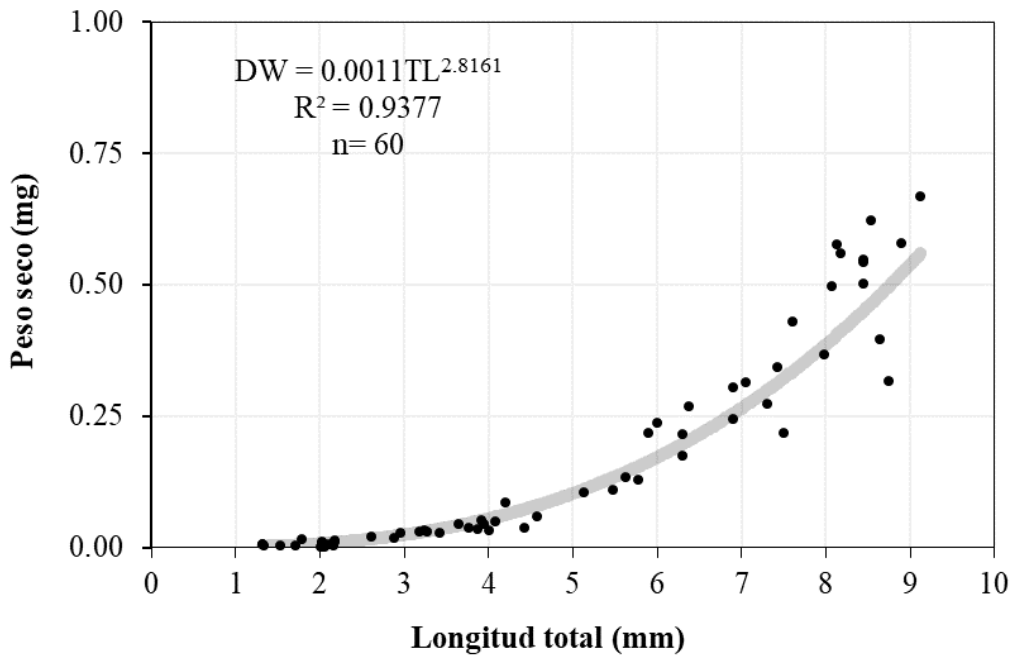


Figura 6. Modelo exponencial entre el peso seco (DW, mg) y la longitud total (TL, mm) calculada para la especie de eufáusido *E. tenera*; $R^2 = 0.937$; $n = 60$.

Biomasa de Carbono de Eufáusidos

La distribución de la biomasa de la comunidad de eufáusidos mostró una variación tanto estacional como interanual. Durante 2014-2017, la biomasa en carbono de *N. simplex*, *E. distinguenda*, *E. eximia* y *E. tenera* (que constituyen en conjunto >96.6% de la estructura de la comunidad en términos de abundancia) fue de $6.50\text{E}+07 \text{ mg C } 1000 \text{ m}^{-3}$. En general, *E. distinguenda* y *N. simplex* fueron las especies de eufáusidos que aportaron la mayor cantidad de biomasa ($\text{mg C } 1000 \text{ m}^{-3}$). La mayor biomasa de carbono de eufáusidos se registró durante 2015 y 2017 ($2.25\text{E}+07$ y $2.10\text{E}+07 \text{ mg C } 1000 \text{ m}^{-3}$, respectivamente). Durante 2014, *E. distinguenda* (48%, $3.35\text{E}+06$) y *N. simplex* (44%, $3.07\text{E}+06$) proporcionaron >92% del aporte total de biomasa de la comunidad de eufáusidos. Sin embargo, durante 2015 y 2016, un 75-80% de la biomasa de la comunidad estuvo representado principalmente por *E. distinguenda* ($1.09\text{E}+07$ y $1.8\text{E}+07 \text{ mg C } 1000 \text{ m}^{-3}$, respectivamente). Finalmente, durante 2017, la distribución de la biomasa en la comunidad de eufáusidos fue más equitativa, y estuvo representada nuevamente por *E. distinguenda* (41%) *N. simplex*

(33%) y *E. eximia* (25%) la cual obtuvo su mayor cantidad de biomasa durante este año. *E. tenera* mantuvo aportes relativamente bajos de biomasa a lo largo de 2014-2017 (<11%) (Fig. 7).

Asimismo, *N. simplex* y *E. tenera* registraron un mayor aporte de biomasa particularmente durante la temporada fría (67 y 78%, respectivamente), en contraste con *E. distinguenda*, la cual no varió relativamente entre temporadas (cálida, 57%; fría, 43%) y *E. eximia*, la cual registró el 70% de su biomasa durante la temporada cálida (Tabla 6).

Tabla 6. Biomasa total anual (mg C 1000 m⁻³) para cada una de las cuatro especies de eufáusidos numéricamente dominantes que en conjunto representaron >96.6% de la abundancia total de la comunidad de eufáusidos en PNCP durante 2014-2017.

Especie	2014		2015		2016		2017	
	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría
<i>E. distinguenda</i>	1.39E+06	1.96E+06	5.17E+06	1.28E+07	8.69E+06	2.20E+06	7.92E+06	7.90E+05
<i>E. eximia</i>	3.99E+02	9.97E+04	5.37E+02	6.57E+05	1.70E+05	8.16E+05	4.68E+06	4.90E+05
<i>E. tenera</i>	1.04E+05	3.49E+05	2.45E+05	1.70E+06	4.12E+05	1.14E+06	1.72E+05	9.86E+04
<i>N. simplex</i>	3.87E+05	2.68E+06	5.67E+05	1.40E+06	7.79E+05	3.36E+05	2.51E+06	4.32E+06

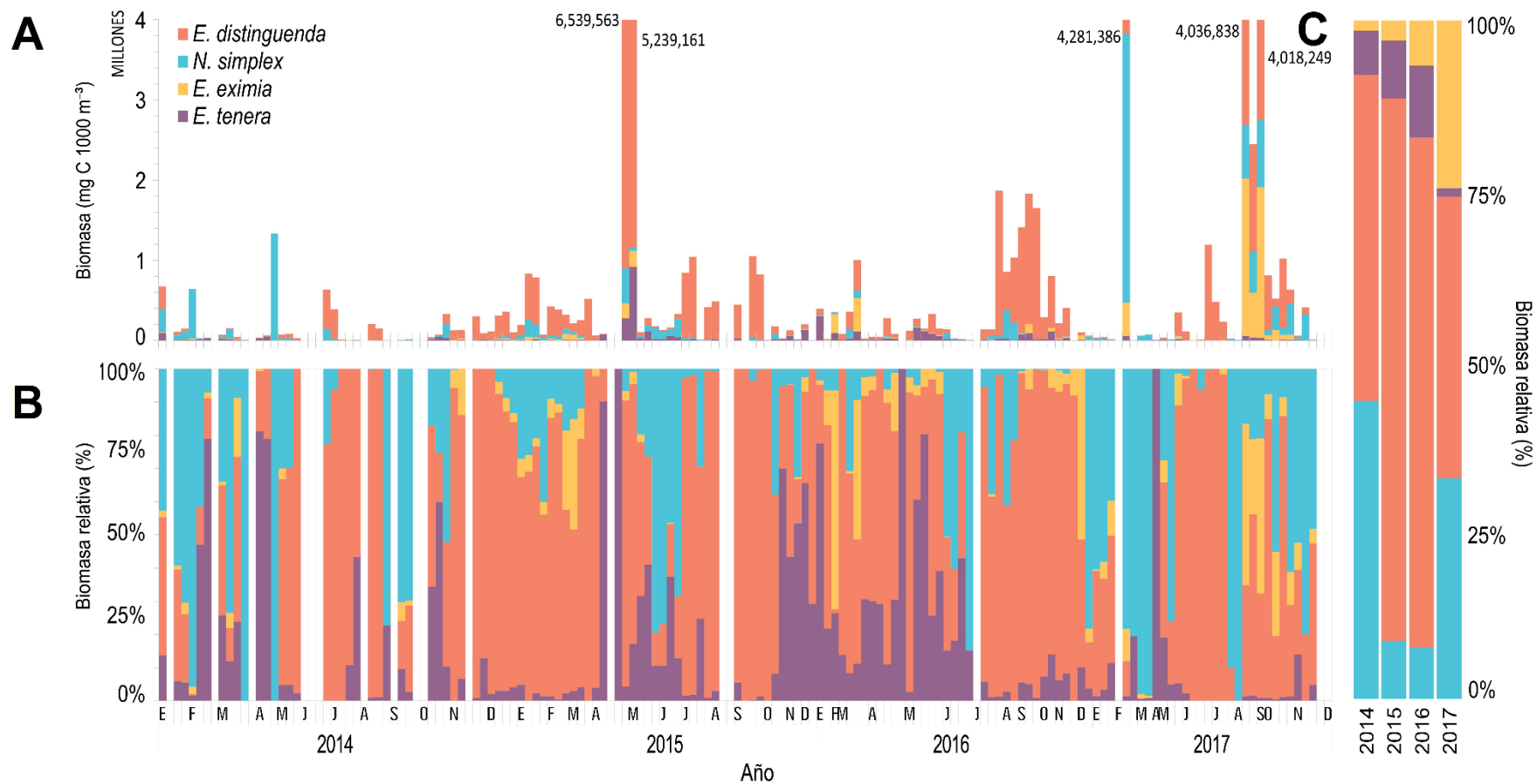


Figura 7. Serie de biomasa semanal de las cuatro especies de eupáusidos más representativas de la comunidad (>96%) recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Biomasa muestral (mg C 1000 m⁻³) B) Biomasa relativa semanal (%) y C) Biomasa relativa general (2014-2017) (%).

Misidáceos (Orden Mysida)

Abundancia y Estructura de la Comunidad

Cinco especies conformaron la comunidad de misidáceos: *Mysidium rickettsi* (nerítica demersal) que constituyó el 99.9% de la abundancia mientras que las otras cuatro especies *Metamysidopsis elongata* (Holmes, 1900), *Cubanomysis jimenesi* Bacescu, 1968, *Siriella gracilis* Dana, 1852 y *Haplostylus bengalensis* (Hansen, 1910) no fueron numéricamente relevantes (<9 indiv.) aunque se pudo observar su ausencia particularmente durante 2017, año con las menores anomalías positivas de temperatura.

La serie semanal de abundancia relativa por estadio de vida de *M. rickettsi* mostró que los machos, hembras y hembras ovígeras estuvieron presentes a lo largo de todo el año, pero aportaron < 10% de la abundancia total. Los adultos presentaron abundancia relativa alta durante inicios de 2014 y durante 2016. Los juveniles aportaron el 91% de la abundancia relativa de la población de *M. rickettsi* mantuvieron abundancias elevadas durante 2014-2017, particularmente durante verano de 2015. *M. rickettsi* mostró sus mayores abundancias durante el verano de cada año y fue particularmente abundante durante la primera mitad el 2015.

La serie semanal de abundancia relativa por estadio de vida de *M. rickettsi* mostró que los machos, hembras y hembras ovígeras estuvieron presentes a lo largo de todo el año, pero aportaron < 10% de la abundancia total. Los adultos presentaron abundancia relativa alta durante inicios de 2014 y durante 2016 (Fig. 8). Los juveniles aportaron el 91% de la abundancia relativa de la población de *M. rickettsi* mantuvieron abundancias elevadas durante 2014-2017, particularmente durante verano de 2015. *M. rickettsi* mostró sus mayores abundancias durante el verano de cada año y fue particularmente abundante durante la primera mitad el 2015.

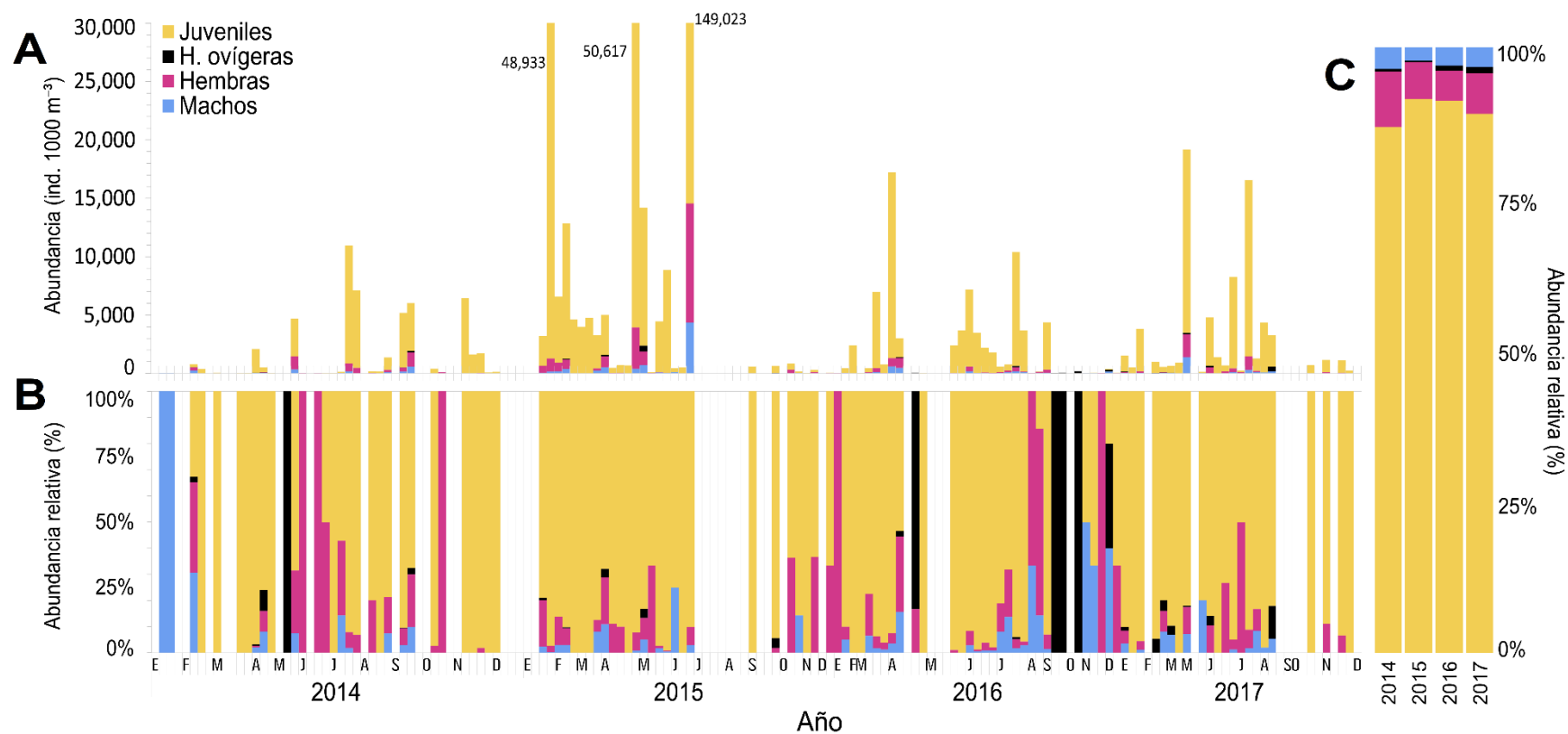


Figura 8. Serie semanal de la abundancia de misidáceos (*M. rickettsi*) por estadio de vida recolectados en el PNCP durante 2014-2017. A) Abundancia estandarizada (ind. 1000 m⁻³); B) Abundancia relativa (%) y C) Abundancia relativa general (2014-2017) (%).

Estructura de tallas, sexo y fases de desarrollo

Los misidáceos presentaron un rango de longitud total de 1.7-10.9 mm de LT con un promedio de 4.9 mm LT. La talla de *M. rickettsi* se mantuvo relativamente constante durante todo el período de estudio excepto del 2014, año en el que se obtuvo el menor promedio de tallas. La mayor parte de la población de *M. rickettsii* (69%) estuvo entre 2 y 5 mm LT. En general (2014-2027), las fases larvales calyptopis presentaron tallas desde 1.3-2.9 mm LT, con una talla promedio de 2.1 ± 0.2 mm LT. Las larvas furcilia oscilaron desde 2.0-8.9 mm (LT) con una talla promedio de 3.9 ± 1.1 mm (LT). Por otro lado, los individuos juveniles presentaron tallas desde 4.2-8.1 mm (LT) (5.9 ± 0.8 mm) y los adultos oscilaron desde 6.3 hasta los 10.3 mm (LT) (8 ± 0.8 mm) (LT). Las mediciones de los 61 individuos de la especie *M. rickettsi* (longitud total, TL) (mm) y peso seco (mg) se ajustaron a un modelo de tipo potencial de la forma $Y = aX^b$ (Fig. 9) en donde su relación estuvo expresada como:

$$DW = 0.0026(TL)^{2.5359}$$

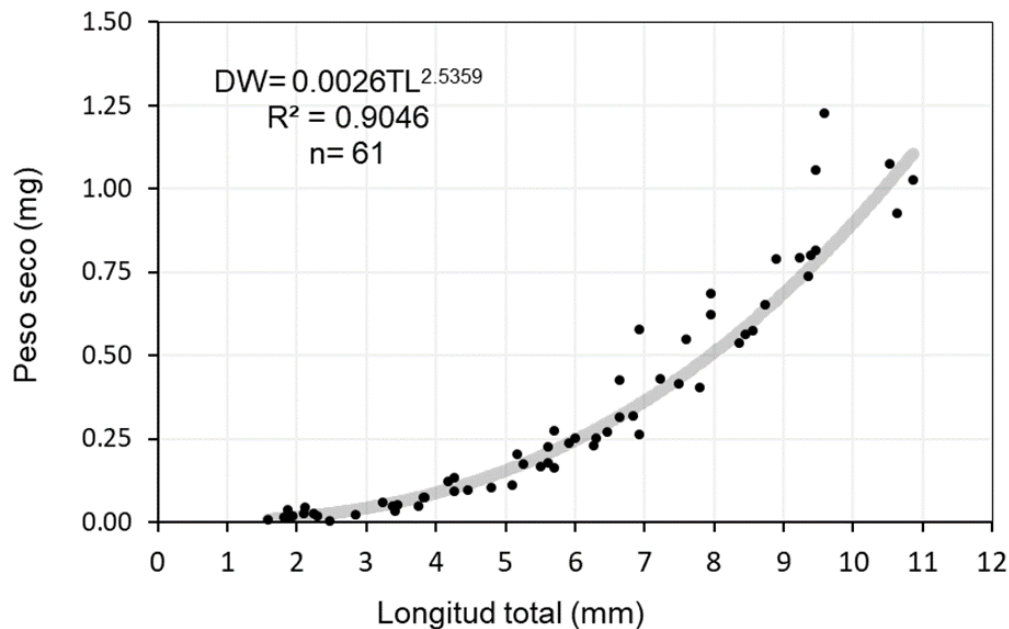


Figura 9. Modelo exponencial resultante de la comparación entre el peso seco (DW, mg) y la longitud total (LT, mm) de *M. rickettsi*, $R^2=0.90$; $n=61$.

Biomasa de Carbono de Misidáceos

En términos de biomasa de carbono, los juveniles aportaron más del 55% de la abundancia relativa, e interanualmente, aportaron más carbono durante el 2015 que en el resto de los años. El aporte de carbono por las hembras fue mayor durante 2014, mientras que el de los machos y las hembras grávidas fue durante 2017. Los juveniles aportaron el 68% de la biomasa de carbono total durante 2014-2017. Las hembras contribuyeron con el 19%, los machos (10%) y hembras grávidas (3%) de la biomasa total de *M. rickettsi*.

La biomasa de carbono total de misidáceos en el PNCP fue de $1.86\text{E}+07$ mg C 1000 m^{-3} durante 2014-2017. Durante 2015, el aporte de carbono *M. rickettsi* fue más de cinco veces mayor ($1.16\text{E}+07$, $\bar{x}= 2.91\text{E}+05$ mg C 1000 m^{-3}) que el promedio de los otros tres años. La menor biomasa de carbono de *M. rickettsi* se registró durante el 2014 ($1.65\text{E}+06$ mg C 1000 m^{-3}). Los juveniles aportaron casi cuatro veces más carbono que el valor más alto registrado para hembras grávidas durante 2015 y hasta 255 veces más que el valor más bajo de aporte de carbono por hembras durante 2014. Asimismo, la biomasa de esta especie mostró una variabilidad estacional entre temporadas fría y cálida (Golfo de California) durante 2015 y 2016, donde el 60% de su biomasa fue registrada durante la temporada fría, aunque se registró una mayor biomasa particularmente durante el mes de junio de cada año.

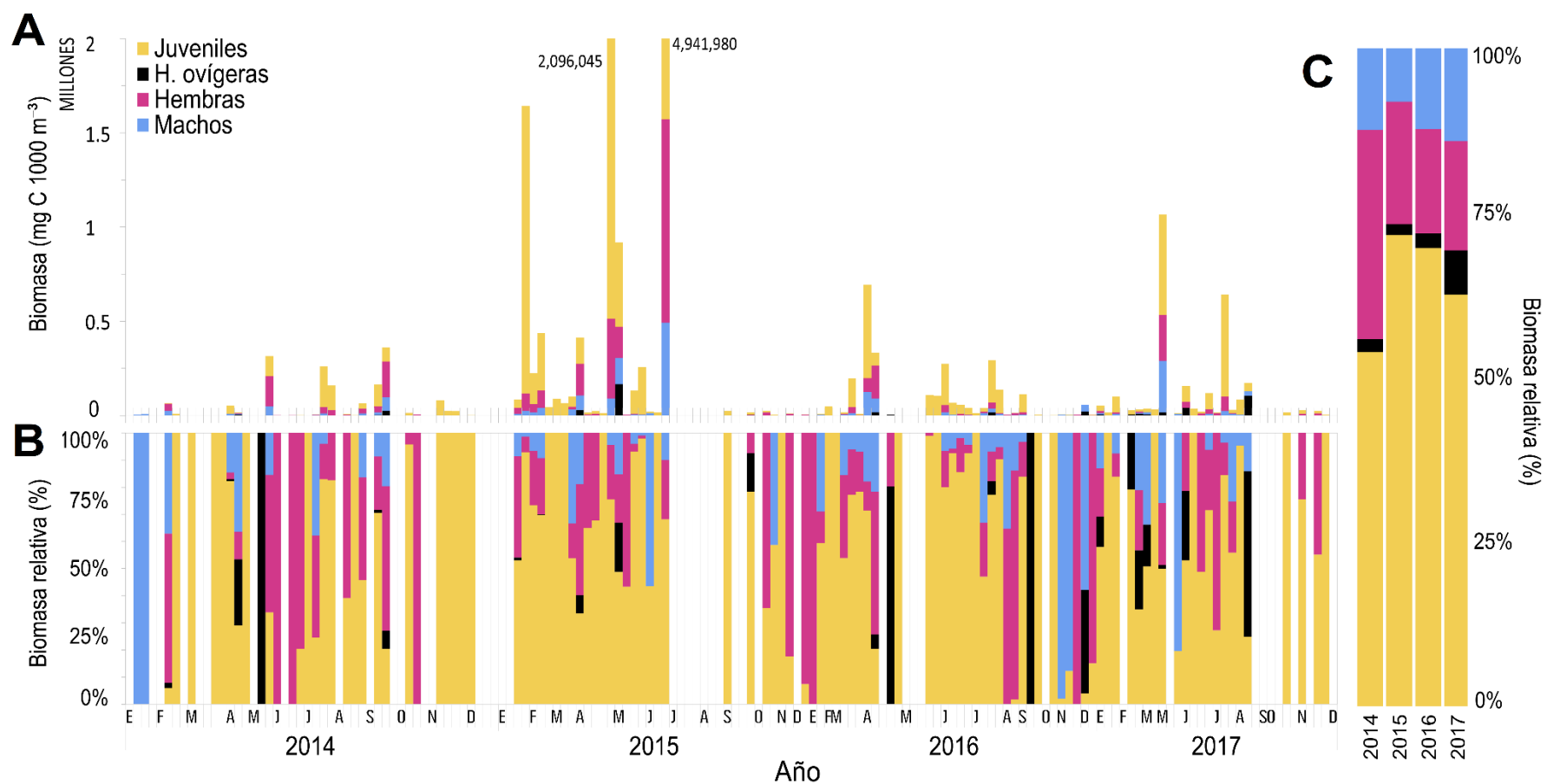


Figura 10. Serie de tiempo de la biomasa de carbono de misidáceos (*M. rickettsi*) durante 2014-2017, por estadios de vida registrados en el PNCP 2014-2017. A) Serie semanal de biomasa de carbono (mg C 1000 m⁻³) de *M. rickettsi*, por estadio de vida. B) Biomasa relativa (%) C) Biomasa relativa interanual (2014-2017) (%).

Tabla 7. Biomasa (mg C 1000 m⁻³) total de misidáceos por estadio de vida en el PNCP durante 2014-2017.

Estadio	2014	2015	2016	2017
Juveniles	204,641	940,373	325,863	383,099
Hembras	32,602	198,685	60,103	184,154
Hembras ovígeras	526,873	2,161,692	417,891	452,732
Machos	890,418	8,321,678	1,843,943	1,702,482

Finalmente, para contrastar la hipótesis que los eufáusidos y misidáceos por tener mayor tamaño y formar agregaciones sociales pueden tener mayor biomasa que los copépodos se comparó la biomasa en carbono de copépodos durante (Beltrán-Castro *et al.*, 2020) con la de los eufáusidos y misidáceos durante 2014 y 2015. En general, la biomasa promedio semanal proporcionada por las cuatro especies de eufáusidos más abundantes (97% abundancia) y *M. rickettsi* (99% abundancia) fue menor que la proporcionada por las 21 especies de copépodos más abundantes (95% abundancia) (Tabla 8) (Fig. 11, arriba). Sin embargo, la biomasa semanal por especie de misidáceo fue mayor (245,870 mg C 1000 m⁻³) en comparación con la biomasa semanal por especie de copépodo o de eufáusido (115,554 y 108,342 mg C 1000 m⁻³, respectivamente) (Fig. 11, abajo). Por otro lado, la biomasa promedio semanal de los tres grupos fue mayor durante 2015 respecto a 2014. La biomasa promedio semanal de copépodos fue dos veces mayor en 2015 respecto a 2014, mientras que la biomasa de eufáusidos se triplicó y la de misidáceos fue 6.5 veces mayor (Tabla 8).

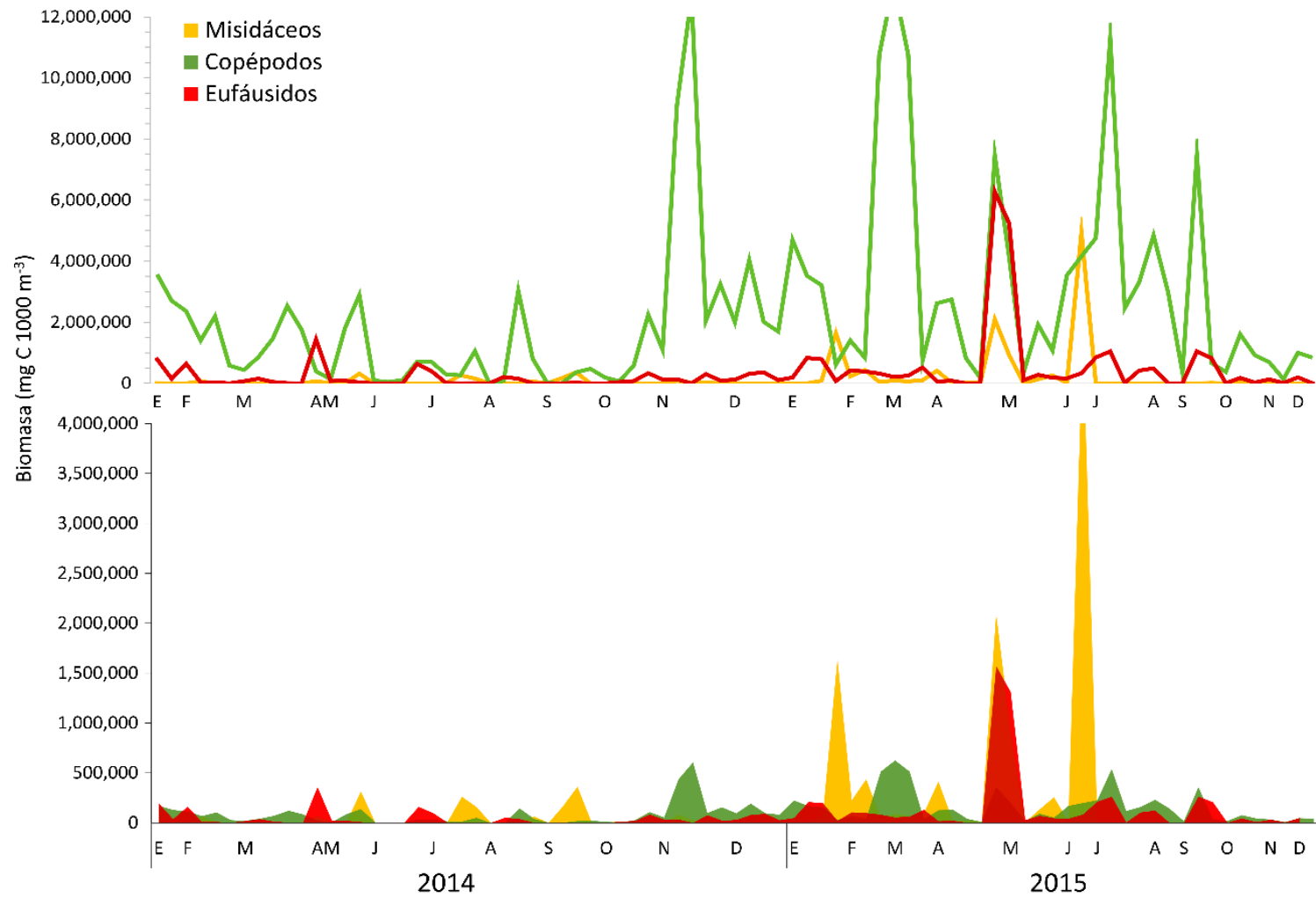


Figura 11. Comparación de la biomasa de carbono de copépodos (Beltrán-Castro *et al.*, 2020) con la biomasa de euphausiidos y misidáceos registrada en el PNCP durante 2014-2015. Biomasa total (arriba); Biomasa promedio por especie (abajo).

Tabla 8. Biomasa de carbono de copépodos, eufáusidos y misidáceos de la serie de zooplancton del PNCP durante los dos primeros años de estudio (2014-2015).

	2014		2015	
	Total	Promedio	Total	Promedio
Copépodos	5.61E+07	1.65E+06	1.22E+08	3.31E+06
Eufáusidos	5.06E+06	2.02E+05	2.29E+07	6.55E+05
Misidáceos	1.57E+06	6.81E+04	1.16E+07	4.47E+05

Análisis Estadísticos Multivariados

Análisis Clúster de dos vías

El análisis de agrupamiento de dos vías utilizando las matrices de abundancia y biomasa de carbono de las especies de eufáusidos y misidáceos, incluyendo como factor la estacionalidad cálida, fría y de transición, separó a los muestreos semanales en dos grupos con un corte de similitud de 24.6% para la de abundancia (Fig. 12) y 27.8% para la biomasa (Fig. 13) mostrando dos grupos de especies en cada una de ellas.

En ambas, el primer grupo (G1) incluyó muestras colectadas principalmente en fechas con fuertes anomalías en los que la abundancia y biomasa de carbono fueron máximos y relacionados con el grupo A de las especies dominantes *M. rickettsi*, *N. simplex*, *E. distinguenda* y *E. tenera*. El segundo grupo (G2) incluyó un mayor número de muestras de años con las anomalías menos intensas, como en 2017 y pocas muestras de la temporada cálida del 2015 (Figs. 12 y 13).

- Bray-Curtis, Flexible-Beta
- 2 grupos
- Corte al 24.6% de similitud

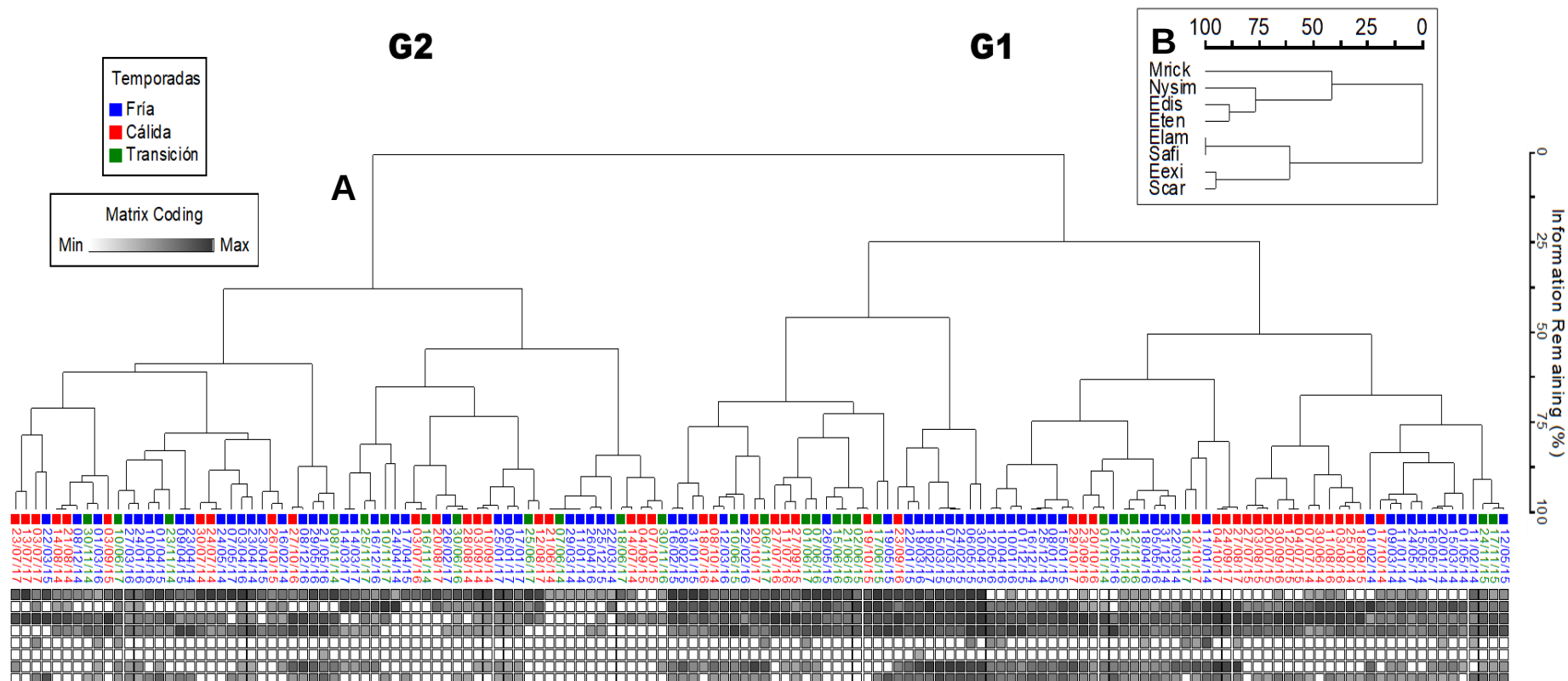


Figura 12. Análisis de agrupamiento de dos vías de abundancias de eufáusidos y *M. rickettsi* por muestreo semanal, registrados en el PNCP durante 2014-2017.

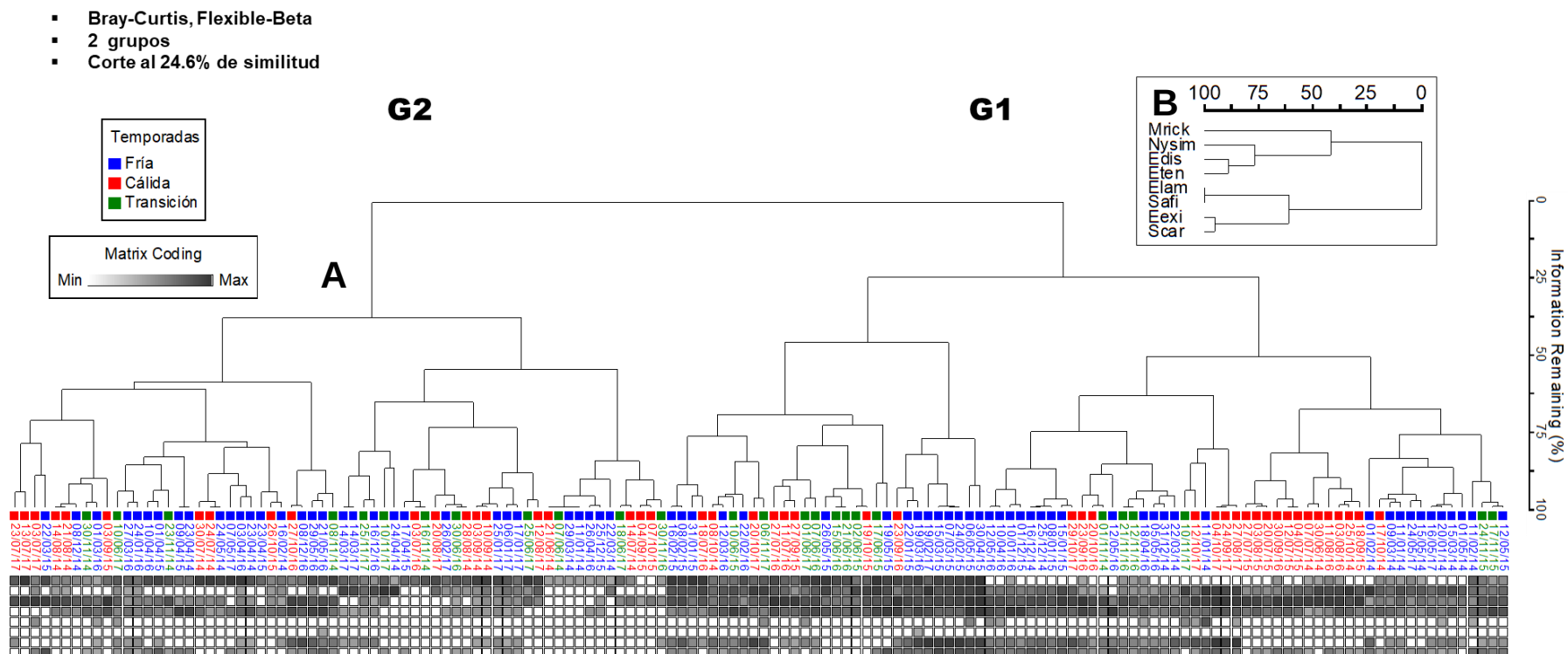


Figura 13. Análisis de agrupamiento de dos vías de biomasa de carbono de eufáusidos y *M. rickettsi* por muestreo semanal, registrados en el PNCP durante 2014-2017.

Análisis de Correspondencia Canónica

El análisis de Correspondencia Canónica (ACC) utilizando como variable categórica la estacionalidad, explicó en sus dos primeros ejes el 77.4% de la varianza de la abundancia de las especies de eufáusidos y misidáceos (>1% de la abundancia total) y en los tres primeros el 94% de la varianza, con correlaciones bajas pero significativas (Eje 1= 0.574, Eje 2= 0.477, $p= 0.0031$) (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la abundancia de eufáusidos y misidáceos en PNCP en función de las 14 variables ambientales analizadas durante 2014-2017. Correlación especies-ambiente, varianza explicada acumulada (77.4%) por los dos primeros ejes de la ordenación, y correlaciones de cada una de las variables en sus respectivos ejes de ordenación.

Ejes	1	2	3
Eigenvalores:	0.038	0.026	0.014
Correlación			
Especie-ambiente (Pearson):	0.574	0.477	0.42
% Varianza explicada en datos de especies			
Abundancia de especies	9.2	15.6	19
% Explicado Acumulado	45.5	77.4	94
Variables ambientales			
Salinidad	-0.495	0.2281	-0.1758
Profundidad de Capa de Mezcla (MLD)	0.4046	-0.2943	0.098
Productividad primaria neta (npp)	-0.7302	-0.1537	0.4735
TSM (°C)	-0.5628	-0.3791	0.4163
Chl- <i>a</i> superficial	0.1182	0.1734	0.2845
Intensidad del viento en superficie (10m)	0.206	-0.1589	0.1265
Intensidad de las Corrientes Superficiales (<10m)	-0.1362	-0.4746	0.0898
Rango de marea	-0.1891	0.2644	-0.1114
Biovolumen zooplanctónico	0.5535	-0.0464	0.3103
Índice MEI.v2	-0.243	-0.5831	-0.5849

Monte Carlo test (499 permutaciones); Eje 1= p -value= 0.0020, Eje 2= p -value= 0.0020

El eje 1 mostró estar negativamente asociado con la npp (-0.73) y positivamente con el biovolumen zooplanctónico (0.55), mientras que el eje 2 se correlacionó negativamente con la el MEI.v2 (-0.58), y positivamente con el rango de marea (0.264), es decir una variabilidad interanual asociada con el evento El Niño, mostrando además dos grupos de unidades de muestreo claros de la temporada fría y cálida con unidades de muestreo intermedias entre estos dos grupos correspondientes a los meses de transición (jun y nov).

E. distinguenda estuvo asociada a muestras de zooplancton recolectadas durante la temporada cálida con alta TSM y alto promedio del nivel medio del mar (característico del evento El Niño 2015-2016) a lo largo de la variabilidad del eje 2. El resto de los eufáusidos tuvieron sus mayores densidades predominantemente durante temporada fría en el PNCP caracterizado por tener las menores temperaturas registradas en la región y altas concentraciones de oxígeno disuelto superficial a lo largo del eje 2.

Por otro lado, *M. rickettsi* estuvo cerca del centro del ordenamiento ACC debido a que es una especie residente y aparece bajo condiciones estacionalmente frías con el eje 2, pero incrementó su abundancia durante el evento El Niño 2015-2016 por su asociación directa con el MEI.v2 a lo largo de la variabilidad del eje 1 (Fig. 14).

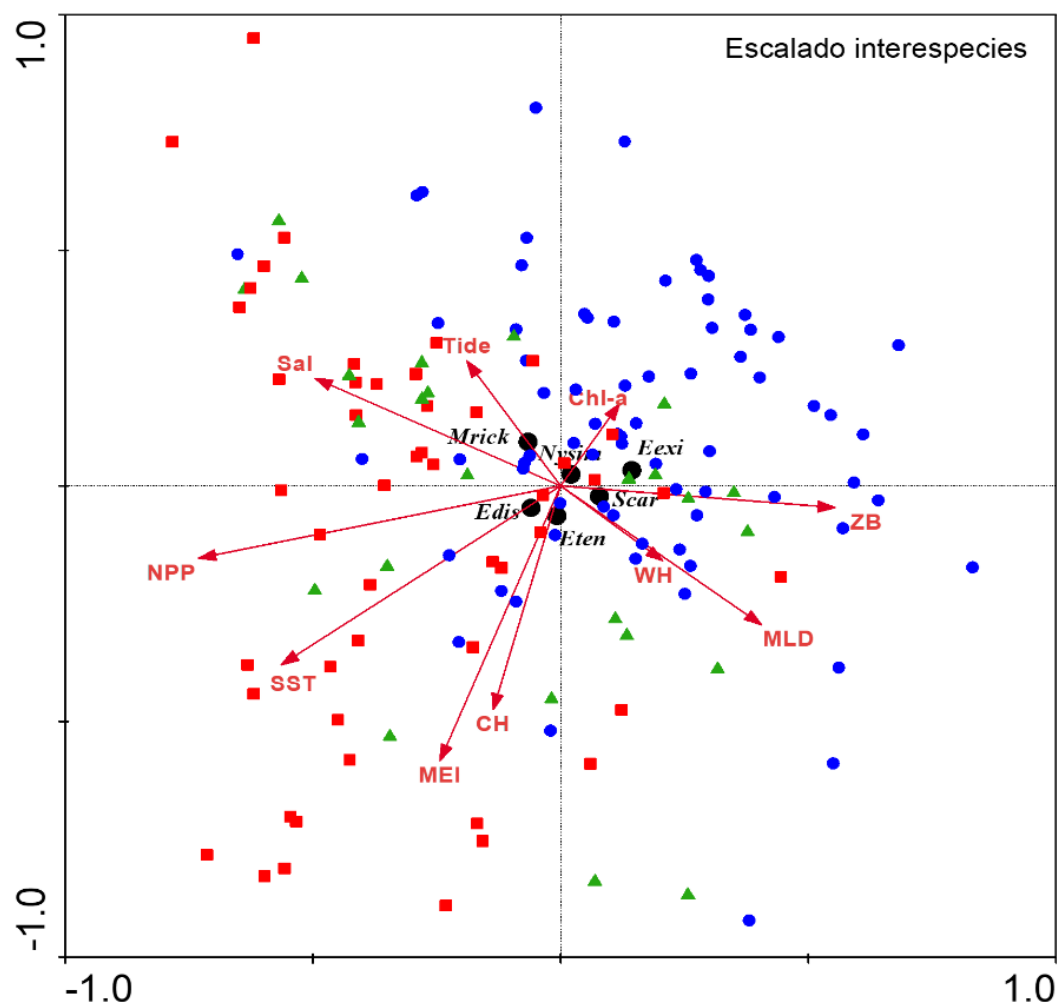


Figura 14. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de la abundancia de las especies de eufáusidos y misidáceos incluyendo exclusivamente las especies más frecuentes y abundantes (>1% de la abundancia relativa); Se muestran dos principales grupos que corresponden a la temporada fría (azul) y cálida (rojo), así como muestras más variables y dispersas entre ambas correspondientes a los meses de junio y noviembre, los meses de transición (verde).

Pruebas estadísticas

El Procedimiento de Permutación de Multirrespuesta (PPMR, MRPP, por sus siglas en inglés) en conjunto con el análisis de especies indicadoras (ISA) establecieron que existen diferencias significativas en la abundancia de eufáusidos y misidáceos entre los cuatro años (2014-2017) ($p= 0.00002637$), estacionalidad comparando la temporada fría (dic-may) y cálida (jun-nov) ($p= 0.00024917$), estacionalidad del Golfo de California, esto es temporadas fría (dic-may), cálida (jul-oct) y transición (jun y nov) ($p= 0.00012563$), estaciones del año trimestrales (primavera, verano, otoño e invierno) y comparando la OCM ocurrida durante 2014 en comparación con la abundancia en el resto de la serie de tiempo ($p= 0.00319908$) y el evento El Niño 2015-2016 en comparación con la abundancia en el resto de la serie de tiempo ($p = 0.00048241$) (Tabla 10).

El ISA (AIE) de los eufáusidos y misidáceos tuvo distinto comportamiento en términos de abundancia (significativamente distintas las especies con moderada a baja abundancia poblacional como *E. eximia*, *E. lamelligera*, y *S. carinatum*) y biomasa (significativamente distintas las especies numéricamente dominantes de eufáusidos (4 spp.) y el misidáceo *M. rickettsi*) (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados del análisis de Procedimiento Permutacional de Multirrespuesta (PPMR) y el Análisis Indicador de Especies (AIE) para la comparación de la estructura de la comunidad abundancia (ind. 1000 m⁻³) y biomasa (mg C m⁻³) de eufáusidos y misidáceos de PNCP durante 2014-2017 contrastando distintos periodos.

Comparación	Especie	Maxgrp	IV (%)	Abundancia					
				ISA (p-value)	Estadístico T	Obs. Delta	Exp. Delta	A	MRPP (p-value)
Años (2014-2017)	<i>E. lamelligera</i>	4	13	0.0160	-6.368	0.441	0.455	0.030	0.0000
Temporadas F y C	<i>E. eximia</i>	1	45	0.0012	-6.354	0.447	0.455	0.017	0.0003
	<i>S. carinatum</i>	1	49	0.0008					
Estacionalidad F, C y T	<i>E. eximia</i>	1	32	0.0176	-5.937	0.444	0.455	0.023	0.0001
	<i>S. carinatum</i>	1	38	0.0022					
Estacionalidad Trimestral	<i>E. eximia</i>	4	37	0.0002	-10.435	0.432	0.455	0.050	0.0000
	<i>S. carinatum</i>	4	27	0.0204					
OCM 2014	<i>E. eximia</i>	2	39	0.0432	-4.274	0.449	0.455	0.012	0.0032
	<i>S. carinatum</i>	2	44	0.0366					
El Niño 2015-2016	<i>S. carinatum</i>	1	53	0.0002	-5.821	0.447	0.455	0.016	0.0005
Biomasa									
Años (2014-2017)	<i>N. simplex</i>	4	31	0.0140	-4.081	0.591	0.602	0.019	0.0014
	<i>E. eximia</i>	4	30	0.0154					
	<i>E. tenera</i>	3	36	0.0016					
Temporadas F y C	<i>E. distinguenda</i>	2	53	0.0290	-3.333	0.597	0.602	0.009	0.0094
Estacionalidad F, C y T	<i>E. distinguenda</i>	2	42	0.0040	-4.888	0.591	0.602	0.018	0.0006
	<i>E. tenera</i>	1	39	0.0493					
	<i>M. rickettsi</i>	1	29	0.0483	-8.410	0.579	0.602	0.039	0.0000
OCM 2014	<i>N. simplex</i>	4	35	0.0018					
	<i>E. distinguenda</i>	3	30	0.0290					
	<i>E. eximia</i>	4	32	0.0054					
	<i>M. rickettsi</i>	2	50	0.0376	-2.443	0.598	0.602	0.006	0.0276
	<i>E. distinguenda</i>	2	56	0.0051					
	<i>E. eximia</i>	2	47	0.0032					
El Niño 2015-2016	<i>E. tenera</i>	2	54	0.0164					
	<i>E. distinguenda</i>	1	52	0.0450	-2.971	0.598	0.602	0.008	0.0146
	<i>E. tenera</i>	1	61	0.0001					

F= fría (dic-may), C= Cálida (jul-oct), T = transición (jun y nov); OCM= Onda Cálida Regional 2014; Maxgrp= Grupo con el máximo IV% observado; IV%= Valor indicador del ISA.

DISCUSIÓN

La presente investigación demostró que la estructura de la comunidad de eufáusidos (8 spp.) y misidáceos (5 spp.) aporta menos biomasa que los copépodos (49 spp.) reportados por Beltrán-Castro *et al.* (2020) en el Parque Nacional de Cabo Pulmo (comparando únicamente 2014-2015) a pesar de los eufáusidos y misidáceos que forman densas agregaciones sociales y tienen mayor tamaño corporal que los copépodos. Esto fue debido a que: 1) el 98.9% de los eufáusidos recolectados fueron larvas calyptopis y furcilia (<4 mm LT) como consecuencia del muestreo exclusivamente diurno de la serie de tiempo ya que los eufáusidos juveniles y adultos son usualmente colectados durante la noche (Lavaniegos, 1996; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017) y 2) aunque se colectaron juveniles y adultos del orden Mysida, estos posiblemente estuvieron submuestreados debido a que la especie numéricamente dominante *M. rickettsi* (99.9%) tiene una población demersal residente y estable en el PNCP y el muestreo con la red superficial probablemente subestimó la abundancia de estas agregaciones (Fig. 1). Cuando una agregación, enjambre o cardumen es colectado con una red de zooplancton la muestra usualmente muestrea una desproporcional dominancia de la especie con relación al resto de la comunidad de zooplancton (Ritz, 1994; Ritz *et al.*, 2011). Sin embargo, el comportamiento social de los eufáusidos y misidáceos concentra la biomasa y se espera que las cuatro especies de eufáusidos más abundantes tuvieron tres veces mayor que la biomasa integrada de *M. rickettsi*. Se ha observado que *M. rickettsi* atrae a peces zooplanctófagos con sus grandes agregaciones y enjambres arriba del arrecife rocoso del PNCP. Egerton *et al.* (2018) demostraron mediante métodos hidroacústicos que la densidad, biomasa y tamaño de los peces fueron significativamente más altos dentro del PNCP (299%, 144% y 52% respectivamente) que afuera en las áreas de protección del parque. Esto presupone una mayor presión de depredación por peces en el PNCP que fuera de este. Se desconoce cómo sería la comunidad de zooplancton en el PNCP si se muestreara durante la noche cuando los eufáusidos adultos típicamente migran verticalmente cerca de la superficie y de noche tienen menos evasión a las redes

(Brinton, 1967; 1979; Lavaniegos, 1996; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017) o cerca del fondo del mar y el arrecife donde *M. rickettsi* tiende a concentrarse (Fig. 1).

La mayoría de las especies de eufáusidos en el Pacífico Este Tropical (ETP) presentan patrones de migración vertical diaria, permaneciendo en profundidad durante el día y ascendiendo hacia la superficie durante la noche (Cushing, 1951; Roger, 1971; Brinton, 1979). Aunado a esto, existen diferencias ontogénicas en la migración vertical, donde las clases de mayores tallas migran más que las pequeñas (Brinton, 1979; Rodríguez & Mullin, 1986). Sameoto *et al.* (1987) y Brinton (1979) encontraron en el Pacífico Este Tropical una mayor concentración de eufáusidos adultos entre los 300-350 m durante el día; mientras que los individuos juveniles se concentraron entre 80-170 m, con pocos individuos por encima de la termoclina en su mayoría a juveniles de <7 mm de longitud total. Lavaniegos (1996) también encontró diferencias significativas entre muestreos durante el día y durante la noche en las seis más abundantes especies de eufáusidos en una estación en el centro del Golfo de California. Juveniles y adultos del género *Euphausia* han sido observados realizando migraciones verticales nocturnas desde los 70 m hasta la zona de neuston (<5 m) en el ETP (Sameoto *et al.*, 1987). Las especies *E. distinguenda*, *E. eximia* (oceánicas endémicas del Pacífico Tropical) y *E. tenera* (oceánica circumtropical) suelen ocupar la capa de 0-50 m durante la noche (Roger, 1974; Brinton, 1979). Capturando además mayores abundancias de individuos de tallas grandes de *E. eximia* en la zona mesopelágica durante el día que durante la noche (Sameoto *et al.*, 1987). Por otro lado, se ha registrado que la especie templado-tropical *S. carinatum* suele migrar desde los 150 m durante el día hasta la capa superficial durante la noche (Brinton, 1967; Baker, 1970). Sameoto *et al.* (1987) encontraron que a pesar de que la mayoría de eufáusidos del género *Stylocheiron* en el Pacífico Este Tropical mostró poca o ninguna evidencia de desempeñar migraciones verticales, lo cual coincide con diversos estudios (Roger, 1967, 1974; Brinton, 1967, 1979), únicamente *S. carinatum* mostró evidencia de migraciones verticales concentrándose por encima de la termoclina (<30 m) durante la noche. Por lo tanto, el muestreo diurno de la serie de Cabo Pulmo explica por qué fueron recolectados casi exclusivamente eufáusidos en fase larval calyptopis y furcilia.

Estructura de la comunidad de eufáusidos

La estructura de la comunidad de eufáusidos en el Golfo de California ha sido estudiada principalmente a partir de cruceros oceanográficos en todo el golfo (Brinton & Townsend, 1980; Lavaniegos *et al.*, 1989), la boca del golfo (Färber-Lorda *et al.*, 2010); la parte central y norte del golfo (Lavaniegos, 1996; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017). Sin embargo, estos estudios han proveído evidencia de cambios en la estructura de la comunidad de eufáusidos solo a escala estacional e interanual. La fenología de la comunidad de eufáusidos únicamente ha sido documentada a nivel mensual en Bahía de La Paz de Febrero a agosto 1990 (De Silva-Dávila *et al.*, 2002) y al sur de Cabo Corrientes Jalisco en 1996-1998 (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012, 2018; Franco Gordo *et al.*, 2015). La estructura de la comunidad de eufáusidos en términos de abundancia relativa entre las especies observada en el PNCP fue más similar a la comunidad observada en Cabo Corrientes (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012, 2018) que la serie de tiempo en Bahía de La Paz (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002) y que la estructura de la comunidad de eufáusidos en la porción centro y norte del Golfo de California (Brinton & Townsend, 1980; Lavaniegos *et al.*, 1989; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017). Esta similitud de la comunidad con la de regiones sureñas también fue cuantitativamente notada con la comunidad de zooplancton a grandes grupos y la de especies de Copépodos (Beltrán-Castro *et al.*, 2020). En la región de Cabo Corrientes predomina una asociación de especies de eufáusidos afinidad tropical, donde predomina la especie tropical oceánica *E. distinguenda* (>88%) seguida de *E. lamelligera* (7%) con variación estacional en la intensidad y duración de las surgencias costeras forzadas por vientos y en caso particular por las condiciones climáticas-oceanográficas del evento El Niño 1997-1998. La región del PNCP está influenciada por Agua del Golfo de California (principalmente en 2017 de acuerdo con el diagrama T-S) pero la mayor parte del período de estudio prevalecieron condiciones termohalinas dentro del rango de Agua Transicional *sensu* Portela *et al.* (2016). Diversos estudios han reportado que en esta región la circulación está dominada por la extensión tropical de la Corriente de California con flujo hacia el ecuador, así como

por la Corriente Costera mexicana que mantiene un flujo en dirección hacia los polos (Lavín *et al.*, 2006; Gómez-Valdivia *et al.*, 2015).

La presente serie de tiempo semanal demostró el efecto que las condiciones anómalamente cálidas registradas durante 2014-2017 en las comunidades de eufáusidos y misidáceos de PNCP. *N. simplex* que es la especie numéricamente dominante en la región central y norte del Golfo de California (Brinton & Townsend, 1980; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017) disminuyó su abundancia durante El Niño 2015–2016 en PNCP y tuvo incursiones estacionales principalmente durante la temporada fría desapareciendo o presentándose en bajas densidades en la temporada cálida de cada año. *Nyctiphanes simplex* no fue un residente permanente en el PNCP durante 2014-2017 presentándose únicamente cuando agua proveniente del norte se transporta por advección sobre la plataforma continental del PNCP. Franco-Gordo *et al.* (2015) reportaron *N. simplex* durante algunos meses consecutivos en Cabo Corrientes durante un año anómalamente frío del 2011. De esta forma, debido a que los cuatro años fueron anómalamente más cálidos que la serie 2002-2018 (Ahern *et al.*, 2018; Beltrán-Castro *et al.*, 2020; Martínez-Soler *et al.*, 2021) es previsible la menor predominancia de *N. simplex* en el PNCP con relación a la abundancia relativa en latitudes mayores del Golfo de California (>60%) (Brinton & Townsend, 1980; Lavaniegos *et al.*, 1989; De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002; Ambriz-Arreola *et al.*, 2017). Fue notable la ausencia de la especie templada *Nematoscelis difficilis* en la serie de tiempo del PNCP; considerando que esta es la segunda especie más abundante en el centro y norte del golfo (Brinton & Townsend, 1980). Durante el evento El Niño 2015-2016 aumentaron su abundancia las especies oceánicas tropicales *E. distinguenda* y *Stylocheiron carinatum*.

El calentamiento anómalo ocurrido durante 2014-2015 han sido previamente atribuidas a una onda de calor regional (OCR; MHV, por sus siglas en inglés) ocurrida durante 2014, así como un evento ENSO en su fase cálida “El Niño 2015-2016” de mayo de 2015 a mayo de 2016 en sincronización con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), los cuales han sido registrados en el PNCP en estudios previos de larvas de peces, zooplancton gelatinoso, copépodos y paralarvas (Ahern *et al.*, 2018; Silveyra-Bustamante *et al.*, 2020; Beltrán-Castro *et al.*, 2020; Martínez-Soler *et al.*,

2021). Además, se registraron algunas pocas anomalías negativas de TSM a partir de mitad de 2016 a causa de un debilitamiento de El Niño en su fase débil de “La Niña” (Kintisch, 2015; Schiermeier, 2015; Durazo *et al.*, 2017; Sánchez-Velasco *et al.*, 2017).

Durante 2014–2017 se registró una sucesión interanual de la comunidad de eufáusidos con predominancia (en términos de abundancia y biomasa) de la especie tropical oceánica *E. distinguenda* durante 2015 y 2016 coincidiendo con un evento ENSO en su fase cálida El Niño ($MEI.v2 > +0.5^{\circ}\text{C}$), mientras que, durante los años 2014 y 2017, en la temporada fría el eufáusido subtropical nerítico *N. simplex* representó la mayor parte de la población de eufáusidos en el PNCP. Estos resultados son similares a la comunidad de eufáusidos de la región de Cabo Corrientes, donde *E. distinguenda* fue la especie más abundante durante 1996-1998 bajo la influencia de evento El Niño 1997-1998 y no la especie nerítica tropical *E. lamelligera* como había sido previamente documentado en la boca del Golfo de California (Brinton, 1962;1979; Gómez-Gutiérrez & Hernández-Trujillo, 1994; Färber-Lorda *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a que la dominancia de *E. distinguenda* fue consistente en 1996 antes de El Niño y los picos de máxima abundancia de esta fueron registrados durante la época de surgencia, sugieren que la variabilidad estacional de las surgencias y su relajación ejerce una mayor influencia de procesos de abajo hacia arriba (conocidos en inglés como “*bottom-up*”) que el evento El Niño 1997-1998 en la región de Cabo Corrientes (Ambriz-Arreola *et al.*, 2012). La abundancia y dominancia de *E. distinguenda* en PNCP disminuyó posterior al evento El Niño (Tabla 5). Esto sugiere que las condiciones anómalas pudieron haber favorecido la reproducción temporal *in situ* y con ello la dominancia de *E. distinguenda* sobre la especie subtropical *N. simplex*. Paradójicamente la especie tropical endémica del Pacífico Oriental Tropical *E. eximia*, tuvo su mayor densidad poblacional en el 2017 cuando la dominancia de *E. distinguenda* disminuyó.

El aporte de biomasa de carbono de los eufáusidos tuvo una respuesta más compleja que los cambios temporales de la abundancia en respuesta a las condiciones ambientales anómalamente cálidas. La biomasa de carbono promedio para toda la comunidad de eufáusidos durante 2015 fue similar a la del 2017 a pesar de que durante 2015 la comunidad de eufáusidos estuvo dominada por *E.*

distinguenda (47% de la abundancia relativa) y durante el 2017 estuvo dominada por *N. simplex* (44% de la abundancia relativa). Sin embargo, durante 2014, cuando *N. simplex* dominó 62% de la abundancia (su abundancia estuvo concentrada únicamente durante la época fría), la biomasa de carbono integrada para la comunidad fue prácticamente la mitad que en 2016 con la predominancia de *E. distinguenda*. Esto es también explicado por el incremento en la abundancia relativa de *E. eximia* (23%).

Estas diferencias interespecíficas interanuales son comparables porque casi todos los especímenes recolectados fueron larvas calyptopis y furcilia, ya que en fase adultos *E. distinguenda* (8.5 mm) es considerablemente más pequeña que los adultos de *N. simplex* (16-21 mm) (Baker *et al.*, 1990; Gómez-Gutiérrez, 1995; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2012). Lilly & Ohman (2018) infirieron a partir de un análisis de 70 años en el programa CalCOFI como los eufáusidos respondieron en abundancia a siete eventos “El Niño” y la onda de calor marina (OCM) ocurrida en 2014 en California. Ellos, encontraron que la biomasa total de zooplankton estuvo solo modestamente influenciada por estos eventos de calentamiento anómalo, y, por el contrario, la distribución de la abundancia de los eufáusidos si se vio sustancialmente alterada. Lavaniegos *et al.* (2019) documentaron los cambios de la comunidad de eufáusidos en la costa occidental de la península de Baja California durante los eventos anómalamente cálidos del 2014 (“El Blob” que ocurrido en una amplia área del Pacífico norte con de TSM de +3°C) y el evento El Niño 2015-2016. De una comunidad con 30 especies de eufáusidos, *Euphausia eximia*, *Nematoscelis difficilis*, *Nyctiphanes simplex* y *Stylocheiron affine* comprendieron >90% de la frecuencia de ocurrencia. La comunidad de eufáusidos presentó en 2014-2016 una inusual dominancia de especies tropical-ecuatorial (*E. eximia*, *E. recurva* y *S. affine*), y la disminución significativa de especies subárticas (*Euphausia pacifica* y *Thysanoessa spinifera*) y de transición (*N. difficilis* y *Thysanoessa gregaria*). La biomasa de *N. simplex* mostró anomalías negativas durante el Blob, pero no durante El Niño 2015-2016 (Lavaniegos *et al.*, 2019). La región del PNCP mostró esta predominancia temporal de especies de origen tropical que posiblemente cambie durante años anómalamente fríos.

Biogeografía y ecología del Orden Mysida en el Pacífico mexicano

Respecto a la comunidad de misidáceos, esta ha sido escasamente conocida principalmente desde un contexto taxonómico o a partir de cruceros oceanográficos como parte de los grandes grupos de zooplancton o estudios de fauna mesopelágica y batipelágica. Recientemente, se describió una nueva especie del género *Mysidium* colectada en Mazatlán, Sinaloa (Ortiz *et al.*, 2016) evidenciando el desconocimiento de su estructura poblacional o cualquier aspecto de su biología y ecología.

Solo misidáceos juveniles y adultos fueron recolectados en el PNCP durante la serie de tiempo de zooplancton 2014–2017. Esto fue debido a que los misidáceos tienen un desarrollo embrionario (naupliode) y larval (post-naupliode) dentro del saco ovífero de la hembra y éstos se liberan como pequeños juveniles (San Vicente *et al.*, 2014). La presente investigación demostró que *M. rickettsi* es una especie residente y numéricamente dominante del PNCP con presencia de una población estable durante toda la serie de tiempo 2014–2017 y reproducción estacional evidenciada por hembras ovíferas, típicamente durante la temporada cálida. La densidad de *M. rickettsi* fue seguramente subestimada debido a que se ha observado que esta especie forma densos enjambres epidemerales en el PNCP, particularmente sobre los arrecifes rocosos y coralinos. Por esta razón, los arrastres superficiales con la red de zooplancton superficial no reflejan la abundancia de la población de manera adecuada (Fig. 1A, B). Ciertas especies de misidáceos de aguas someras pueden formar agregaciones de miles de individuos durante el día y dispersarse durante la noche cuando garantizan su alimentación (Modlin, 1990).

Por otro lado, las otras cuatro especies de misidáceos: *Metamysidopsis elongata* Holmes, 1900, *Cubanomysis jimenesi* Bacescu, 1968, *Siriella gracilis* Dana, 1852 y *Haplostylus bengalensis* Hansen, 1910, recolectadas durante la serie, tuvieron extremada baja abundancia relativa (<0.1%) así como una baja frecuencia de aparición, por lo que no existe evidencia que éstas tengan una población estable en

el PNCP y posiblemente sean especies de afinidad oceánica debido a la estrecha plataforma continental en el PNCP (Ahern *et al.*, 2018; Martínez-Soler *et al.*, 2021).

Hernández-Payán & Hendrickx (2020a) realizaron una revisión bibliográfica y de sus muestras recolectadas en cruceros oceanograficos de la fauna del orden Mysida en el Pacífico mexicano, estableciendo un total de 19 especies, entre las que se encuentran *S. gracilis* y *M. rickettsi*. Sin embargo, las especies *M. elongata*, *C. jimenesi* y *H. bengalensis*, encontradas en el presente estudio en el PNCP, no han fueron incluidas en el listado de especie sde misidáceos de aguas del Pacífico de México por Hernández-Payán & Hendrickx (2020a). De esta forma, estas especies serían el primer registro en el noroeste de México. Sin embargo, *M. elongata* no incluida en el listado de Hernández-Payán & Hendrickx (2020a) fue reportada en tres estudios en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, evaluando su crecimiento y supervivencia (Ortega-Salas *et al.*, 2015), fecundidad (Ortega-Salas *et al.*, 2018) y desarrollo embrionario (Ortega-Salas *et al.*, 2020). Hernández-Payán & Hendrickx no incluyeron *M. elongata* en las especies del noroeste de México por que cuando solicitaron material para verificación de la identificación taxonómica las muestras ya no estaban disponibles (M.E. Hendrickx, comunicación personal, 18 de junio, 2021). Dado que en el presente trabajo se coincidió con la identificación de *M. elongata* realizada por Ortega-Salas *et al.* (2015; 2018; 2020) es altamente probable que esta especie sea parte de la fauna del orden Mysida en el Pacífico mexicano este en esta región. Todas estas especies junto con las especies *C. jimenesi* y *H. bengalensis* reportadas en el PNCP en el presente investigación incrementa la actual riqueza de especies de misidaceos de 19 especies (Hernández-Payán & Hendrickx, 2020a) a 23 especies en aguas del Pacífico Mexicano.

La evaluación de la riqueza de Misidáceos se ha logrado como parte de un esfuerzo de numerosas muestras en alta mar en cruceros oceanográficos que han permitido aumentar de manera considerable el conocimiento taxonómico y de distribución y abundancia de los misidáceos de las costas del Pacífico (Hendrickx & Hernández-Payán, 2018, 2020; Hernández-Payán, 2020; Hernández-Payán & Hendrickx, 2020a, 2020b,c). Sin embargo, ninguna de estas especies ha sido muestreada e investigada con el esfuerzo de una serie tiempo semanal que *M.*

rickettsi, no solo en la costa Pacífica de México sino en todo el Pacífico Este, una región notablemente submuestreada para misidáceos (Price, 2004).

Harrison & Bowman (1987) describieron *M. rickettsi* a partir de especímenes recolectados durante la expedición de Ricketts y Steinbeck en 1940 al sur de Punta Marcial, BCS (Mar 23-24, 1940), Puerto San Carlos (Abr 4, 1940), Sonora (Ricketts & Steinbeck, 1941; Brusca, 2020) y a partir de especímenes obtenidos en la década de 1980 a través del contenido estomacal de dos especies de mantarrayas *Mobula* capturadas entre La Ventana e Isla Cerralvo, BCS recolectada por Notarbartolo-di-Sciara (1988). De acuerdo con Notarbartolo-di-Sciara (1988) los especímenes jóvenes de *M. thurstoni* (<13 cm LT) examinados en invierno subsistieron casi exclusivamente del eufáusido *N. simplex* (97.9%) y en menor medida *Mysidium* sp. (1.8%) y todos los especímenes de *M. munkiana* se alimentaron casi exclusivamente de *Mysidium* sp. (97.84%). Mientras que los adultos *M. thurstoni* y *M. japonica* capturados durante los meses más cálidos se alimentaron exclusivamente con juveniles y adultos de *N. simplex*. Gómez-Gutiérrez *et al.* (en prensa) muestrearon fotos y videos de *Mobula* sp. alimentándose de densas agregaciones de larvas calyptopis y furcilia de *N. simplex* en Loreto, BCS. Esto evidenció el alto grado de especialización en todas las especies de *Mobula* de alimentarse de agregaciones de eufáusidos y misidáceos costeros debido a que el resto de las presas consumidas (copépodos, larvas de estomatópodos, decápodos, anfípodos, huevos de peces, krill *N. difficilis*) son tan raras (<0.35) que probablemente se ingirieron accidentalmente (Notarbartolo-di-Sciara, 1988). Estos resultados indican que las rayas del diablo son altamente eficientes para localizar y seleccionar su alimento preferido facilitado por el comportamiento social de *N. simplex* y *M. rickettsi* de formar agregaciones, enjambres y cardúmenes *sensu* Ritz (1994).

Gómez-Gutiérrez *et al.* (2014) reportaron que *M. rickettsi*, al igual que en el PNCP, fue la especie de misidáceo numéricamente dominante (99.99%) en el Archipiélago de Islas Marías (21°32'00"N; -106°28'00"O) donde apareció solo un espécimen de otra especie (preliminarmente identificada como *Siriella pacifica* Holmes, 1900 (<0.01%). *Siriella pacifica* no fue incluida en el listado de especies de Mysida en México de Hernández-Payán & Hendrickx (2020a), posiblemente por su

presunta incertidumbre en la identificación taxonómica debido a que esta especie fue descrita y previamente reportada en California pero reportada al norte de Santa Rosalía, BCS (<https://www.gbif.org/es/species/2220832>) y en San Carlos Cove, BC (Mar 30-31, 1940) (Brusca, 2020). El registro de *M. rickettsi* en el Archipiélago de Islas Marías fue ~400 km al sur de su rango de distribución previamente reportado (Harrison & Bowman, 1987; Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Brusca, 2020). Densas agregaciones y cardúmenes de *M. rickettsi* fueron observadas en la Isla San Pedro Mártir (28°22'49" N, -112°18'25" O) en Julio 2018 asociadas a bosques de macroalgas y coral negro (Gómez-Gutiérrez & Sánchez-Ortiz, pers. comm.) Esto implica que *M. rickettsi* es una especie residente dominante y tróficamente relevante para depredadores zooplanctófagos en hábitats neríticos epidemersales desde el Archipiélago de Islas Marías hasta al menos San Pedro Mártir, siendo este su rango de distribución actualmente conocido de esta especie.

Notarbartolo-di-Sciara (1988) explícitamente mencionó que no existen estudios disponibles de la biología de *Mysidium sp.* que es ampliamente investigada en el presente estudio donde se conoce que esta especie se reproduce todo el año con mayores densidades en la época cálida y no parece estar negativamente influenciada por eventos anómalos como la onda de calor marina de 2014 y El Niño 2015-2016.

Banner (1954) mencionó que a pesar de que algunas especies neríticas de misidáceos (familia Mysidae, Haworth, 1825) migran lo suficientemente cerca de la superficie para ser capturadas por una red de plancton ordinaria, es necesario arrastrar con redes largas y gruesas en aguas inmediatamente sobre los fondos donde la mayor parte pasa gran parte de su vida. Además, Banner (1954) menciona que cuando se lleva a cabo un muestreo adecuado, se puede esperar que el número de especies de mísidos al menos se cuadruplique. Debido a la naturaleza del muestreo de esta serie de tiempo de zooplancton es necesario continuar con la evaluación de las comunidades de eufáusidos y misidáceos mediante muestreos nocturnos para consolidar las observaciones realizadas y ampliar el panorama de la dinámica de la biomasa en el Parque Nacional Cabo Pulmo.

CONCLUSIONES

La comunidad de eufáusidos (8 spp.) y misidáceos (5 spp.) del PNCP estuvo numéricamente dominada por especies de afinidad tropical (*Euphausia distinguenda* y *Euphausia eximia*) y por el misidáceo *Mysidium rickettsi* costero (con población residente), con esporádicas incursiones durante la temporada fría del eufáusido nerítico subtropical *Nyctiphanes simplex* que usualmente predomina en la parte central y norte del Golfo de California promovida por el calentamiento superficial anómalo del mar causado por la onda de calor regional en 2014 y El Niño 2015-2016.

A pesar de que los eufáusidos (1.7%) y misidáceos (0.8%) forman densas agregaciones y tienen mayor tamaño corporal que los copépodos (64% de la abundancia total del zooplancton), la biomasa promedio semanal de las comunidades de eufáusidos (predominantemente larvas) y misidáceos fue menor que la biomasa de la comunidad de copépodos (21 spp.). Los copépodos representan mayor biomasa disponible para los depredadores zooplanctófagos, aunque no en forma concentrada por comportamiento social como ocurre con los eufáusidos y misidáceos en el PNCP.

REFERENCIAS

- Aburto-Oropeza, O., B. Erisman, G.R. Galland, I. Mascareñas-Osorio, E. Sala, & E. Ezcurra. 2011. Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. *PLoS One*, 6(8): 23601.
- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, J. Moxley, A. Sánchez-Rodríguez, I. Mascareñas-Osorio, C. Sánchez-Ortiz, B. Erisman, & T. Ricketts, 2015. A framework to assess the health of rocky reefs linking geomorphology, community assemblage, and fish biomass. *Ecol. Indic.*, 52: 353–361.
- Ahern, A.L.M., J. Gómez-Gutiérrez, O. Aburto-Oropeza, R.J. Saldierna-Martínez, A.F. Johnson, A.E. Harada, A. Sánchez-Uvera, B. Erisman, D.I. Castro-Arvizu, & R.S. Burton. 2018. DNA sequencing of fish eggs and larvae reveals high species diversity and seasonal changes in spawning activity in the southeastern Gulf of California. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 592: 159-179.
- Álvarez-Filip, L., & H. Reyes-Bonilla. 2005. Comparison of community structure and functional diversity of fishes at Cabo Pulmo coral reef, western Mexico between 1987 and 2003, *Proceedings of the 10th ICRS, Okinawa*, 2(1): 265-275.
- Ambriz-Arreola, I., J. Gómez-Gutiérrez, M. del Carmen Franco-Gordo, B.E. Lavaniegos, & E. Godínez-Domínguez. 2012. Influence of coastal upwelling–downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican Central Pacific. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 451: 119-136.
- Ambriz-Arreola, I., J. Gómez-Gutiérrez, M. del Carmen Franco-Gordo, R.J. Palomares-García, L. Sánchez-Velasco, C.J. Robinson & B.A. Seibel. 2017. Vertical pelagic habitat of euphausiid species assemblages in the Gulf of California. *Deep-Sea Res. Part I*, 123, 75-89.
- Ambriz-Arreola, I., J. Gómez-Gutiérrez, M. del Carmen Franco-Gordo, V. Plascencia-Palomera, R. Gasca, E.R. Kozak, & B.E. Lavaniegos. 2018. Seasonal succession of tropical community structure, abundance, and biomass of five zooplankton taxa in the central Mexican Pacific. *Cont. Shelf Res.*, 168: 54-67.

- Arizpe-Covarrubias, O. 2008. Capítulo Caracterización del arrecife coralino de Cabo Pulmo. En: Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, B.C.S. UCSD, UABCS, CONACyT, Baja California Sur, México. Ed. Gámez, A.E.
- Baker, A. 1970. The vertical distribution of euphausiids near Fuerteventura. Canary Islands ("Discovery" SOND cruise, 1965). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 50: 031-342.
- Baker, A., P. Boden, & E. Brinton. 1990. A practical guide to the euphausiids of the world. *Natural History Museum Publications*, London, pp. 96.
- Banner, A.H. 1954. The Mysidacea and Euphausiacea. Gulf of Mexico, its origin, waters, and marine Life. *Fish. Bull.*, 55: 447-448.
- Beers, J.R. 1976. Volumetric methods. En: H.F. Steedmann (ed.), Zooplankton fixation and preservation. Monographs on oceanographic methodology, UNESCO Press, Paris, 4: 55–60.
- Bonilla, H. R. 1997. Cabo Pulmo Reef: A new marine reserve in the Gulf of California. *Conserv. Biol.*, 11: 838.
- Brinton, E. 1967. Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. *Limnol. Oceanogr.*, 12(3): 451-483.
- Brinton, E. 1979. Parameters relating to the distribution of planktonic organisms especially euphausiids in the eastern tropical Pacific. *Prog. Oceanogr.* 8: 125–189.
- Brinton, E. & A.W. Townsend. 1980. Euphausiids in the Gulf of California—the 1957 cruises. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 21: 211-236.
- Brinton, E., A. Fleminger, & D. Siegel-Causey, 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, 27: 228-266.
- Brinton, E., M.D. Ohman, A.W. Townsend, M.D. Knight & A.L. Bridgeman. 1999. Euphausiids of the World Ocean, Series: World Biodiversity Database CD-ROM Series. *Expert Center for Taxonomic Identification, Amsterdam*.
- Brusca, R.C. 2020. The 1940 Ricketts-Steinbeck Sea of Cortez Expedition, with annotated lists of species and collection sites. *J Southwest*, 62(2): 218-334.
- Brusca, R.C. & M.E. Hendrickx. 2005. Cap. 12. Crustacea 4. Lophogastrida, Mysida, Amphipoda Tanaideacea & Cumacea, pp. 139-154. In: A Distributional checklist of

- the macrofauna of the Gulf of California, Mexico. Part I. Invertebrates. Hendrickx, M.E., R.C. Brusca & L.T. Findley (eds.). Arizona-Sonora Desert Museum. 429 pp.
- Carrillo-Aguilar, L.A. 2018. *Señales interanuales de temperatura superficial del mar y su efecto en la hidrografía en el Parque Nacional Cabo Pulmo*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Baja California Sur, 37 p.
- Castro, R., R. Durazo, A. Mascarenhas, C.A. Collins & A. Trasviña. 2006. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. *Deep-Sea Res. Part I.*, 53(1): 188-200.
- Cavole, L.M., A.M. Demko, R.E. Diner, A. Giddings, I. Koester, C.M. Pagniello, M.L. Paulsen, A. Ramirez-Valdez, S.M. Schwenck, N.K. Yen, M.E. Zill, & P.J.S. Franks. 2016. Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography*, 29(2): 273-285.
- Chin, T.M., J. Vazquez & E. Armstrong. 2013. A multi-scale, high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Algorithm Theoretical Basis Document*, Version 1, 13.
- Cushing, D.H. 1951. The vertical migration of planktonic crustaceans. *Biol. Rev. Cambridge Philosoph. Soc.*, 26(1): 158–192.
- De Silva-Dávila, R., & J.R. Palomares-García. 1998. Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in Bahía de la Paz, Baja California Sur, Mexico. *J. Crust Biol.*, 18(3): 490-498.
- De Silva-Dávila, R. & J.R. Palomares-García. 2002. Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, BCS, México. *Contributions to the study of the East Pacific crustaceans*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF, 109-125.
- De Silva-Dávila, R., J.R., Palomares-García, E., González-Rodríguez, & V. Maldonado-López, 2004. Varamiento de *Nematoscelis difficilis* en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Contributions to the study of the East Pacific crustaceans*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF, 1-9.

- Dufrêne, M. & P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67(1): 345-366.
- Durazo, R., R. Castro, L.E. Miranda, F. Delgadillo-Hinojosa & A. Mejía-Trejo. 2017. Anomalous hydrographic conditions off the northwestern coast of the Baja California Peninsula during 2013–2016. *Cienc. Mar.*, 43(2): 81-92.
- Egerton, J.P., A.F. Johnson, J. Turner, L. LeVay, I. Mascareñas-Osorio, & O. Aburto-Oropeza, 2018. Hydroacoustics as a tool to examine the effects of marine protected areas and habitat type on marine fish communities. *Sci. Rep.*, 8: 1-12.
- Färber-Lorda, J., M.F. Lavin, M.A. Zapatero, & J.M. Robles, 1994. Distribution and abundance of euphausiids in the Gulf of Tehuantepec during wind forcing. *Deep Sea Res. Part I: Oceanogr. Res. Pap.*, 41(2): 359-367.
- Färber-Lorda, J., A. Trasviña & P. Cortés-Verdín. 2010. Summer distribution of euphausiids in the entrance of the Sea of Cortés in relation to hydrography. *Deep-Sea Res. Part I.*, 57(7-8): 631-641.
- Franco-Gordo, C., I. Ambriz-Arreola, E.R. Kozak, J. Gómez-Gutiérrez, V. Plascencia-Palomera, E. Godínez-Domínguez & Á. Hinojosa-Larios. 2015. Seasonal succession of zooplankton taxonomic assemblages in coastal surface waters of the Bahía de Navidad, México. *Hidrobiológica*. 23(3): 335-345.
- Gómez-Gutiérrez, J. & C.J Robinson. 1997. Circadian biomass and abundance changes of five euphausiids along the west coast of Baja California Mexico, December 1993. *Sci. Mar.*, 61(1): 27-35.
- Gómez-Gutiérrez, J., J.R. Palomares-García, & D. Gendron. 1995. Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, Mexico, during the weak ENSO 1986-1987. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 120(1): 41-51.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. De Silva-Dávila, & B. Lavaniegos-Espejo, 1996. Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 138: 309-314.
- Gómez-Gutiérrez, J., N. Tremblay, S. Martínez-Gómez, C.J. Robinson, J. Del Ángel-Rodríguez, C. Rodríguez-Jaramillo & C. Zavala-Hernández. 2010a. Biology of the subtropical sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* in the northwestern

- seas of Mexico: Vertical and horizontal distribution patterns and seasonal variability of brood size. *Deep-Sea Res. Part I.*, 57(7-8): 606-615.
- Gómez-Gutiérrez, J., C. Rodríguez-Jaramillo, J. Del Ángel-Rodríguez, C.J. Robinson, C. Zavala-Hernández, S. Martínez-Gómez, & N. Tremblay, 2010b. Biology of the subtropical sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* in the northwestern seas of Mexico: Interbrood period, gonad development, and lipid content. *Deep-Sea Res. Part I.*, 57(7-8): 616-630.
- Gómez-Gutiérrez, J., C.J. Robinson, S. Kawaguchi, & S. Nicol, 2010c. Parasite diversity of *Nyctiphanes simplex* and *Nematoscelis difficilis* (Crustacea: Euphausiacea) along the northwestern coast of Mexico. *Dis. Aquat. Org.*, 88(3), 249-266.
- Gómez-Gutiérrez, J., S. Martínez-Gómez & C.J. Robinson. 2012. Seasonal growth, molt, and egg production of *Nyctiphanes simplex* (Crustacea: Euphausiacea) juveniles and adults in the Gulf of California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 455: 173-194.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. Funes-Rodríguez, K. Arroyo-Ramírez, C.A. Sánchez-Ortiz, J.R. Beltrán-Castro, S. Hernández-Trujillo, R.J. Palomares-García, O. Aburto-Oropeza & E. Ezcurra. 2014. Oceanographic mechanisms that possibly explain dominance of neritic-tropical zooplankton species assemblages around the Islas Marías Archipelago, Mexico. *Lat. Ame. J. Aquat. Res.* 42(5): 1009-1034.
- Gómez-Gutiérrez, J., H. Lozano-Cobo, A. Sánchez-Uvera, R. Beltrán-Castro & A. Silveyra-Bustamante. En prensa. Capítulo Zooplancton Marino. En: Estudio de la Biodiversidad del Estado de Baja California Sur. *Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) en colaboración con CICIMAR, UABCS y CIBNOR*. Gómez Gallardo, A. & Melo Barrera, N. (Eds.), La Paz, BCS, Mexico.
- Harrison, E.B. & T.E. Bowman. 1987. *Mysidium rickettsi*, a new species mysid from the Gulf of California. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 100: 674-679.
- Hendrickx, M.E. & J.C. Hernández-Payán. 2018. Redescription of the mysid *Petalophthalmus armiger* Willemoes-Suhm, 1875 (Crustacea: Mysida: Petalophthalmidae) and distribution off western Mexico. *Zootaxa*, 4444(3): 283–298. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4444.3.4>

- Hendrickx, M.E. & J.C. Hernández-Payán. 2020. Rediscovery and redescription of *Hansenomysis lucifugus* (Faxon, 1893) (Crustacea, Mysida, Petalophthalmidae) in the eastern Pacific. *Zootaxa* 4729(3): 416–428. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4729.3.8>
- Hernández-Payán, J.C. 2020. Biodiversidad y distribución de misidáceos pelágicos (Crustacea: Peracarida: Mysida) en aguas nerítico-oceánicas del Pacífico mexicano *Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, Sinaloa*. 198 pp.
- Hernández-Payán, J.C. & M.E. Hendrickx. 2020a. Revaluación de la fauna de Lophogastrida y Mysida (Crustacea: Peracarida) del Pacífico mexicano. *Geom. Zool.*, 2(3): 49-59.
- Hernández-Payán, J.C. & M.E. Hendrickx. 2020b. *Neobirsteiniamysis inermis* (Willemoes-Suhm, 1874) (Peracarida, Mysida, Mysida) in western Mexico. *Nauplius* 28: e2020043. <https://doi.org/10.1590/2358-2936e2020043>
- Hernández-Payán, J.C. & M.E. Hendrickx. 2020c. *Amblyopsoides ohlinii* (W.M. Tattersall, 1951) (Peracarida, Mysida, Mysidae) off western Mexico. *Zootaxa* 4878(1): 169-181. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4878.1.8>
- Hidalgo-González, R.M. & S. Alvarez-Borrego. 2004. Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep-Sea Res. II.*, 51: 739-752.
- Kintisch, E., 2015. “The Blob” invades Pacific, flummoxing climate experts. *Science*, 348(6230): 17-18.
- Lavaniegos, B.E. 1995. Production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in Vizcaino Bay, western Baja California. *J. Crust. Biol.*, 15(3): 444-453.
- Lavaniegos, B.E. 1996. Vertical distribution of euphausiid life stages in waters adjacent to Baja California. *Fish. Bull.*, 94: 300-312.
- Lavaniegos, B.E., J.R. Lara-Lara & E. Brinton. 1989. Effects of the 1982-83 El Niño event on the euphausiid populations of the Gulf of California. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 30: 73-87.
- Lavaniegos, B.E., M. Jiménez-Herrera, & I. Ambriz-Arreola 2019. Unusually low euphausiid biomass during the warm years of 2014–2016 in the transition zone of

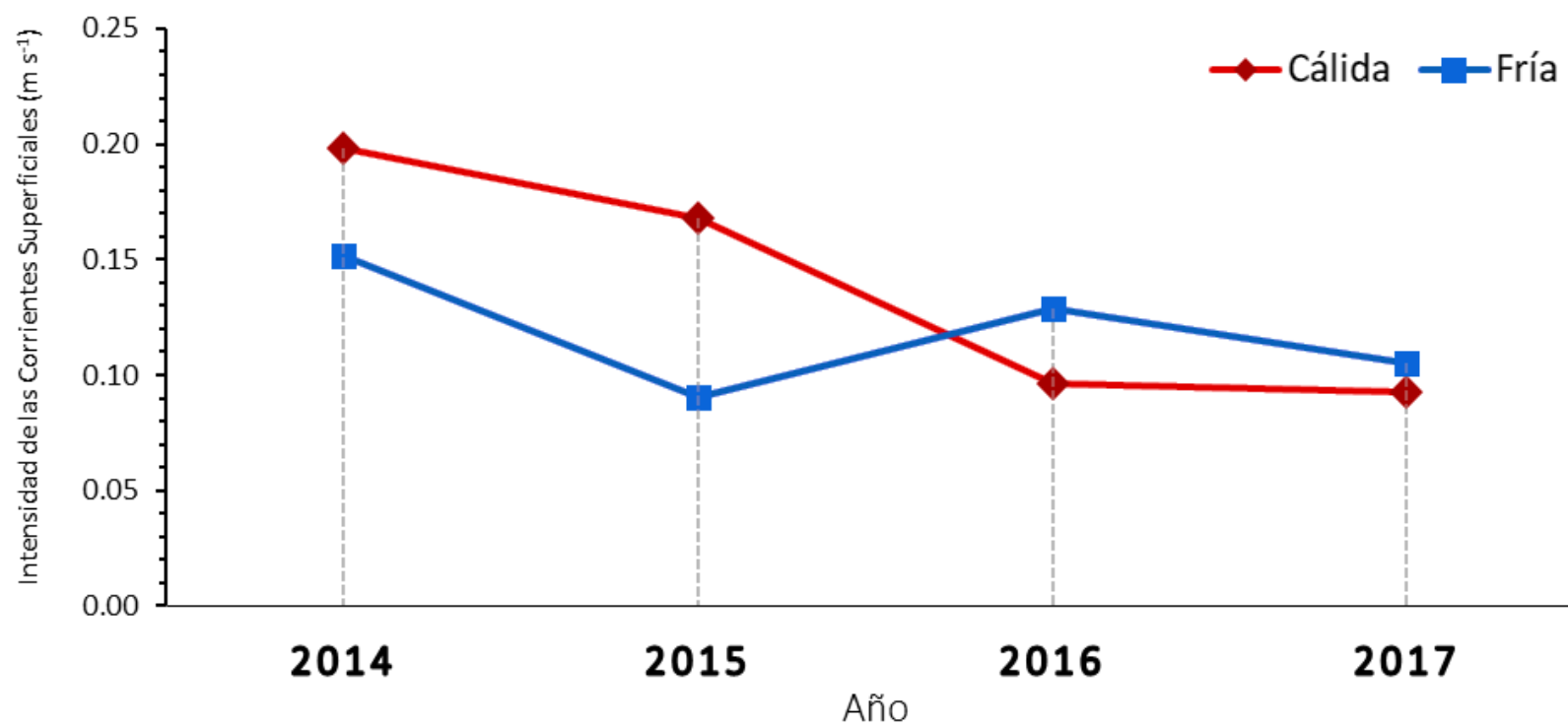
- the California Current. *Deep Sea Res. Part II: Topical Stud. Oceanogr.*, 169: 104638.
- Lluch-Cota, S.E., E.A. Aragon-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J.J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M.E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S.G. Marinone, M.O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C.A. Salinas-Zavala, R.A. Schwartzlose, A.P. Sierra-Beltrán, 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progr. Oceanogr.*, 73(1): 1-26.
- Lluch-cota, S.E. 1999. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanol. Acta.* 23(6):731-740.
- López-Cortés, D.J., Bustillos-Guzmán, J.J., & Gárate-Lizárraga, I. 2006. Unusual mortality of krill (Crustacea: Euphausiacea) in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Pacific Sci.*, 60(2): 235-242.
- Mantua, N.J., & S.R. Hare. 2002. The Pacific decadal oscillation. *J. Oceanogr.*, 58(1): 35-44.
- Martínez-Soler, E., J. Gómez-Gutiérrez, R. De Silva-Dávila, E. González-Rodríguez & O. Aburto-Oropeza. 2021. Cephalopod paralarval species richness, abundance, and size structure during the 2014–2017 anomalous warm period in the southern Gulf of California. *J Plankton Res.*, 43(2): 224-243.
- Meland, K., J. Mees, M. Porter, & K.J. Wittmann. 2015. Taxonomic review of the orders Mysida and Stygiomysida (Crustacea, Peracarida). *PloS One*, 10(4): 1-28.
- McCune, B. & M.J. Mefford. 2011. PC-ORD. *Multivariate analysis of ecological data*. Version 4.0. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon. 237.
- Miyashita, L.K., M. De Melo Junior, & R.M. Lopes. 2009. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. *J. Plankton Res.*, 31(8): 815-826.
- Modlin, R.F. 1990. Observations on the aggregative behavior of *Mysidium columbiae*, the mangrove mysid. *Mar. Ecol.*, 11(3): 263-275.

- Mundhenke, D.J. 1969. The relationships between water masses and euphausiids in the Gulf of California and the Eastern Tropical Pacific. *Doctoral dissertation. Naval Postgraduate School, California*, 119p.
- Notarbartolo-di-Sciara, G. 1988. Natural history of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fish. Bull.*, 86(1): 45-66.
- Ortega-Salas, A.A., J. Núñez, S. Rendón & A. Nuñez. 2018. Fecundidad de *Metamysidopsis elongata* (Crustacea: Mysidae) de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Hidrobiológica*, 28(1): 103-108.
- Ortega-Salas, A.A., L.J. Núñez-Lecuanda & S. Rendón. 2020. Embryonic development of *Metamysidopsis elongata* (Crustacea: Mysidae) in the Bay of Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 15(1): 16-22.
- Ortiz, M., I. Winfield & S. Cházaro-Olvera. 2012. Lista actualizada y clave ilustrada para los géneros de misidáceos (Crustacea, Peracarida) del Mar Intra-americano. *Rev. Mex. Biodiver.*, 83(4): 983-1003.
- Ortiz, M., M. Hendrickx, I. Winfield & S. Cházaro-Olvera. 2016. El género *Mysidium* Dana, 1852 (Crustacea, Peracarida, Mysida) en el trópico americano: síntesis y clave de identificación de las especies. *Rev. Invest. Mar.*, 37(1): 69-85.
- Ortiz, M., M.E. Hendrickx & I. Winfield. 2017. A new species of *Mysidium* (Peracarida: Mysida: Mysidae) from the eastern tropical Pacific. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 97(1): 113-117.
- Pennington, J.T., K.L. Mahoney, V.S. Kuwahara, D.D. Kolber, R. Calienes & F.P. Chavez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in oceanography*, 69(2-4): 285-317.
- Peterson, W.T., M. Robert & N. Bond. 2015. The warm Blob-conditions in the northeastern Pacific Ocean. *PICES Press*, 23(1): 36.
- Peterson, W.T., J.L. Fisher, P.T. Strub, X. Du, C. Risien, J. Peterson & C.T. Shaw, 2017. The pelagic ecosystem in the Northern California Current off Oregon during the 2014–2016 warm anomalies within the context of the past 20 years. *J. Geophys. Res. Oceans*, 122(9): 7267-7290.

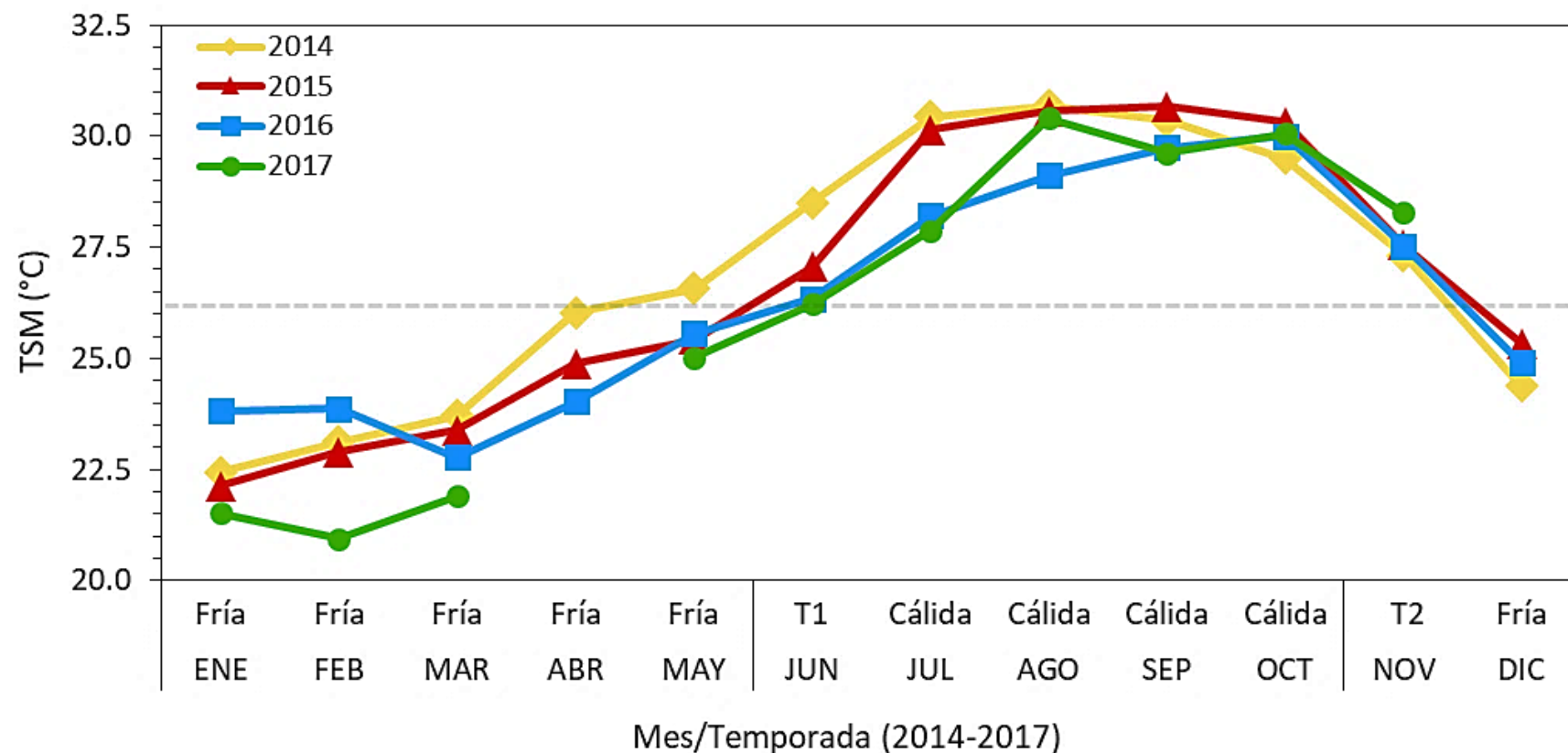
- Portela, E., E. Beier, E.D. Barton, R. Castro, V. Godínez, E. Palacios-Hernández & A. Trasviña. 2016. Water masses and circulation in the tropical Pacific off central Mexico and surrounding areas. *J. Physical Oceanogr.*, 46(10): 3069-3081.
- Price, W. 2004. An annotated checklist for the order Mysida (Crustacea: Malacostraca: Peracarida) from the Pacific coast of the Americas (Alaska to Chile). *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans*, 3(3): 53-77.
- Price, W.R., R. Heard & L. Stuck. 1994. Observations on the genus *Mysidopsis* Sars, 1864 with the designation of a new genus *Americamysis* and the description of *A. alloni* and *A. stucki* (Peracarida, Mysidacea, Mysidae) from the Gulf of Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 107: 680-698.
- Reyes Bonilla H. 1993. The 1987 Coral Reef Bleaching at Cabo Pulmo Reef, Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 52: 832-837.
- Riaño, M.M. 2011. *Diferenciación morfológica de eufáusidos de la Bahía de Todos Santos (Baja California) y del Pacífico Tropical mexicano*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, BC, México.
- Ritz, D.A. 1994. Social aggregation in pelagic invertebrates. *Adv. Mar. Biol.*, 30: 155-216.
- Rodríguez, J., & M.M. Mullin. 1986. Diel and interannual variation of size distribution of oceanic zooplanktonic biomass. *Ecology*, 67(1): 215-222.
- Roger, C. 1971. Distribution verticale des euphausiacés (crustacés) dans les courants équatoriaux de l'Océan Pacifique. *Mar. Biol.*, 10(2): 134-144.
- Roger, C. 1974. Bathymetrical distributions and vertical migrations of Euphausiacea (Crustaceans) in the tuna fishing zones of the tropical South Pacific, *Cah. OESTOM Ser Oceanogr.*, 12(1): 221-239.
- Ruppert, E & R. Barnes. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana, México.
- Salas, A.A.O., L.J. Núñez, R.S. Rendón, & P.A. Núñez. 2015. Growth and survival of *Metamysidopsis elongata* (Crustacea: Mysidae) from Mazatlán Bay, Sinaloa, Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 57(2):106.

- Sameoto, D., L. Guglielmo & M.K. Lewis. 1987. Day/night vertical distribution of euphausiids in the eastern tropical Pacific. *Mar. Biol.*, 96(1): 235-245.
- Sánchez-Velasco, L., E. Beier, V.M. Godínez, E.D. Barton, E. Santamaría-del-Angel, S.P.A. Jiménez-Rosenberg & S.G. Marinone. 2017. Hydrographic and fish larvae distribution during the “Godzilla El Niño 2015–2016” in the northern end of the shallow oxygen minimum zone of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *J. Geophys. Res. Oceans*, 122(3): 2156–2170.
- Siegel, V. 2000. Krill (Euphausiacea) demography and variability in abundance distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(S3):151-167.
- Silveyra-Bustamante, A.A., Gómez-Gutiérrez, J., González-Rodríguez, E., Sánchez, C., Schiariti, A., & M.A. Mendoza-Becerril. 2020. Seasonal variability of gelatinous zooplankton during an anomalously warm year at Cabo Pulmo National Park, Mexico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 48(5), 779–793.
- Smith, P. & S. Richardson. 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larvae surveys. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 175: 100.
- Ter Braak, C.J. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5): 1167–1179.
- Trasviña, A.T., O. Aburto-Oropeza, E. Ezcurra & O. Zaytsev. 2012. Observaciones de corrientes en el Parque Nacional de Cabo Pulmo, Baja California Sur: mediciones Eulerianas en verano, otoño e inicios del invierno. *GEOS*, 32: 323–341.
- Tremblay, N., J., Gómez-Gutiérrez, T., Zenteno-Savín, C.J. Robinson, & L. Sánchez-Velasco. 2010. Role of oxidative stress in seasonal and daily vertical migration of three krill species in the Gulf of California. *Limnol. Oceanogr.*, 55(6): 2570-2584.
- Torres-Hernández, M.Y. 2017. Estructuras de mesoescala y pulsos de clorofila en la entrada al Golfo de California. *Tesis de Maestría. CICESE, BCS, México*, 52p.
- Wittmann, K.J. & P. Wirtz. 2019. Revision of the amphiamerican genus *Mysidium* Dana, 1852 (Crustacea: Mysida: Mysidae), with descriptions of two new species and the establishment of two new subgenera. *Europ. J. Taxonomy*, (495): 1-48.

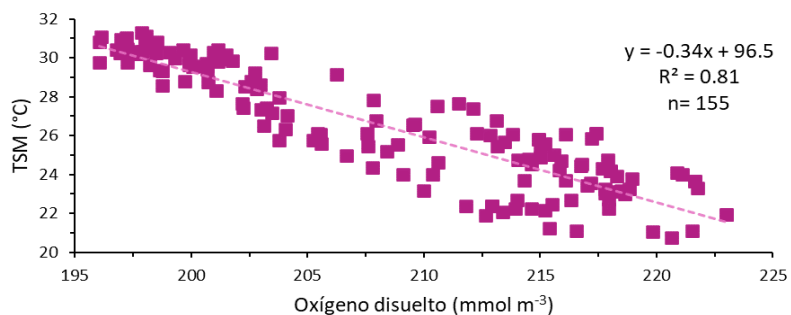
ANEXOS



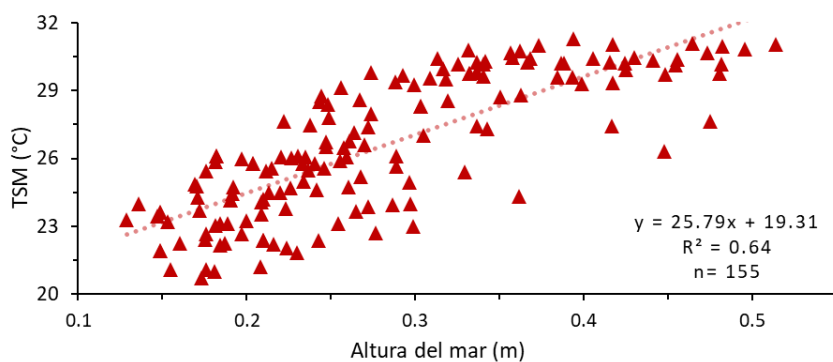
ANEXO A. Variación interanual de la intensidad promedio de las corrientes superficiales (m s^{-1}) en el PNCP durante 2014-2017.



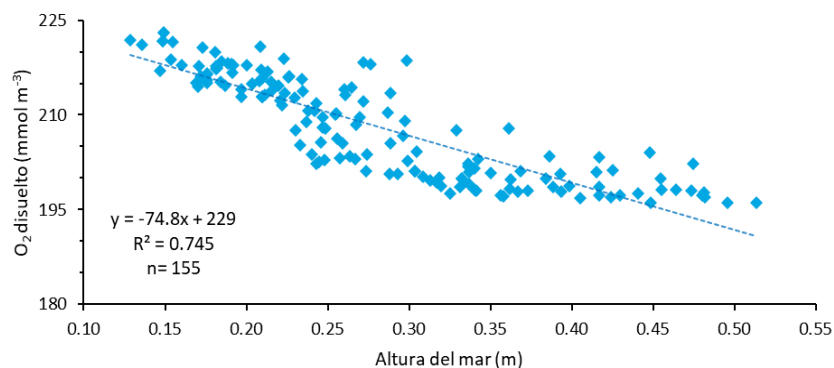
ANEXO B. Comportamiento mensual de la TSM (°C) en el PNCP durante 2014-2017, mostrando las temporadas frías (diciembre-mayo), cálidas (julio-octubre) y las transiciones (Hidalgo-González & Álvarez-Borrego, 2004). Línea punteada= TSM promedio ($\bar{x}$ = 26.2°C).



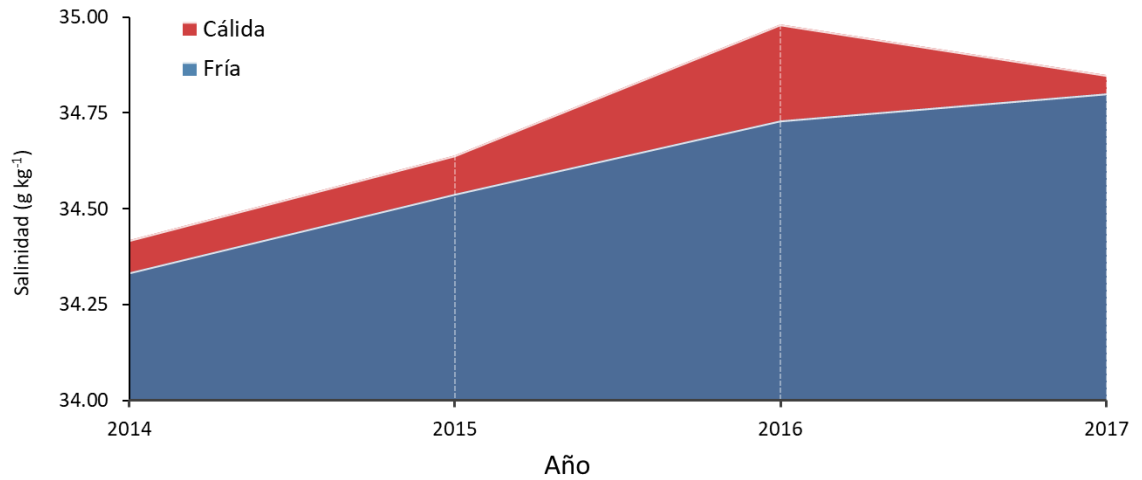
ANEXO C. Relación negativa entre la temperatura superficial del mar (TSM, °C) y el oxígeno disuelto (mmol O₂ m⁻³) en PNCP durante 2014-2017.



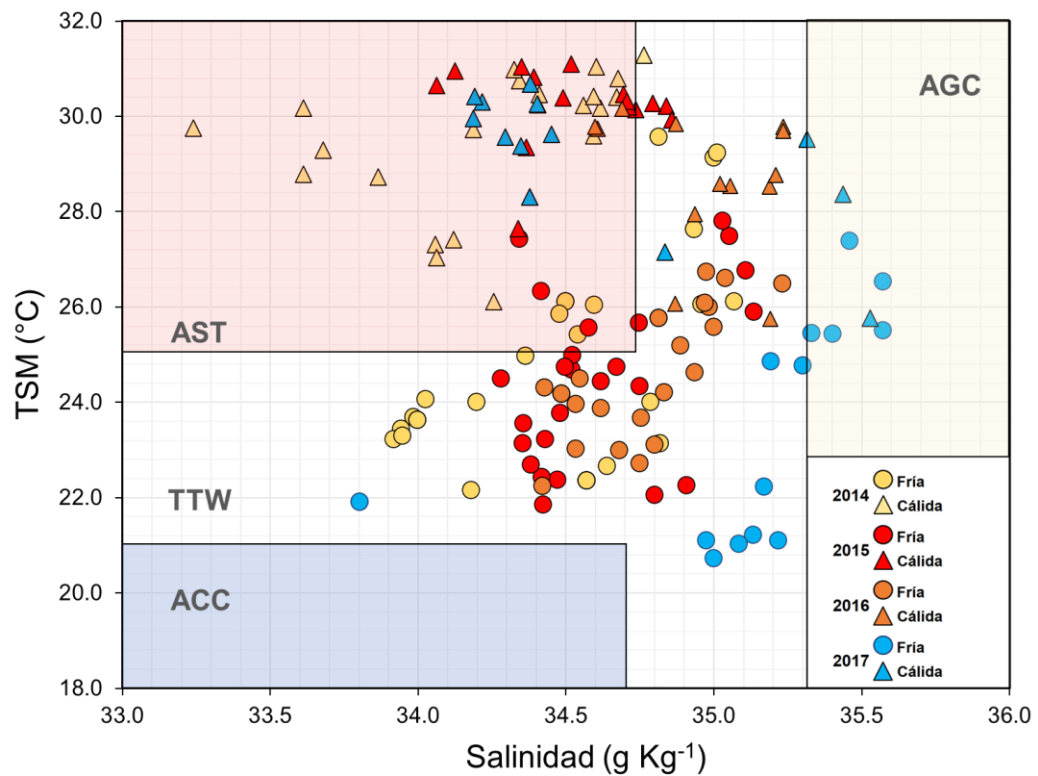
ANEXO D. Relación positiva entre la temperatura superficial del mar (TSM, °C) y la altura promedio del mar en PNCP durante 2014-2017.



ANEXO E. Relación negativa entre la altura promedio del mar y el O₂ disuelto (mmol m⁻³) en PNCP durante 2014-2017.

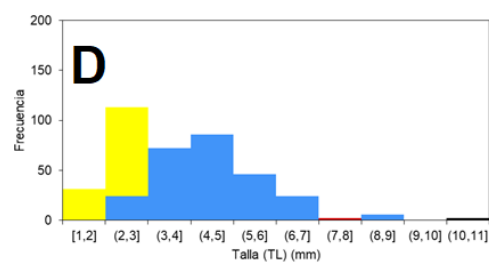
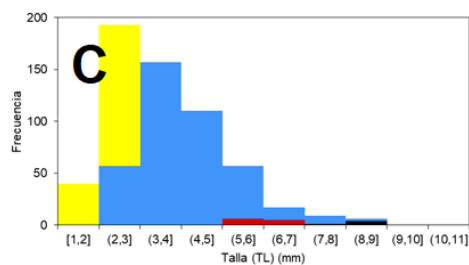
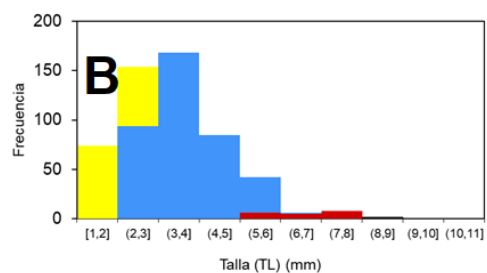
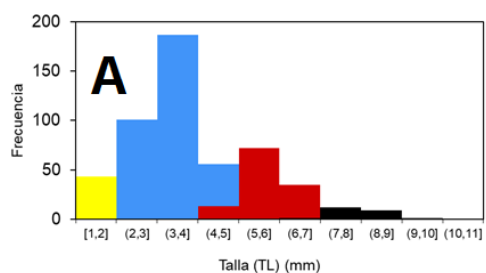
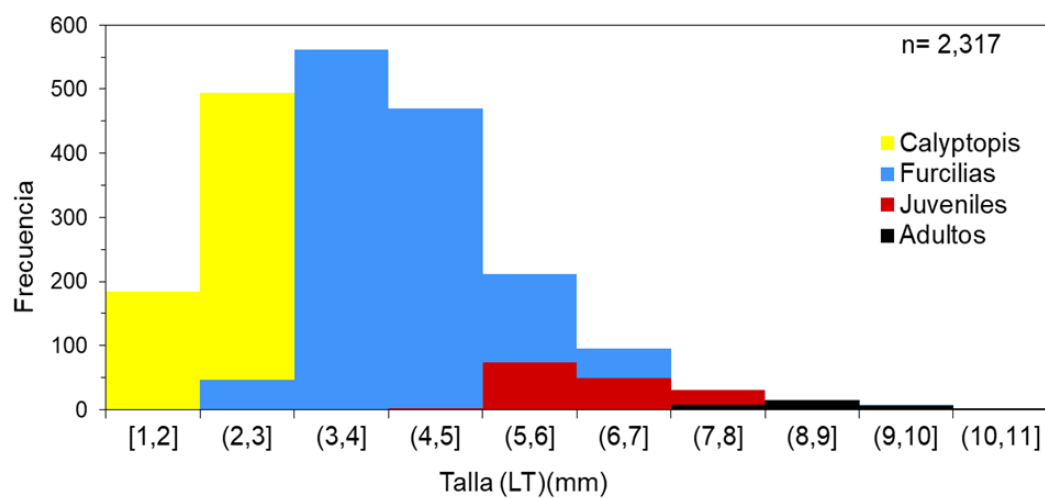


ANEXO F. Salinidad superficial promedio (g kg^{-1}) registrada interanual y estacionalmente durante 2014-2017 en el PNCP.

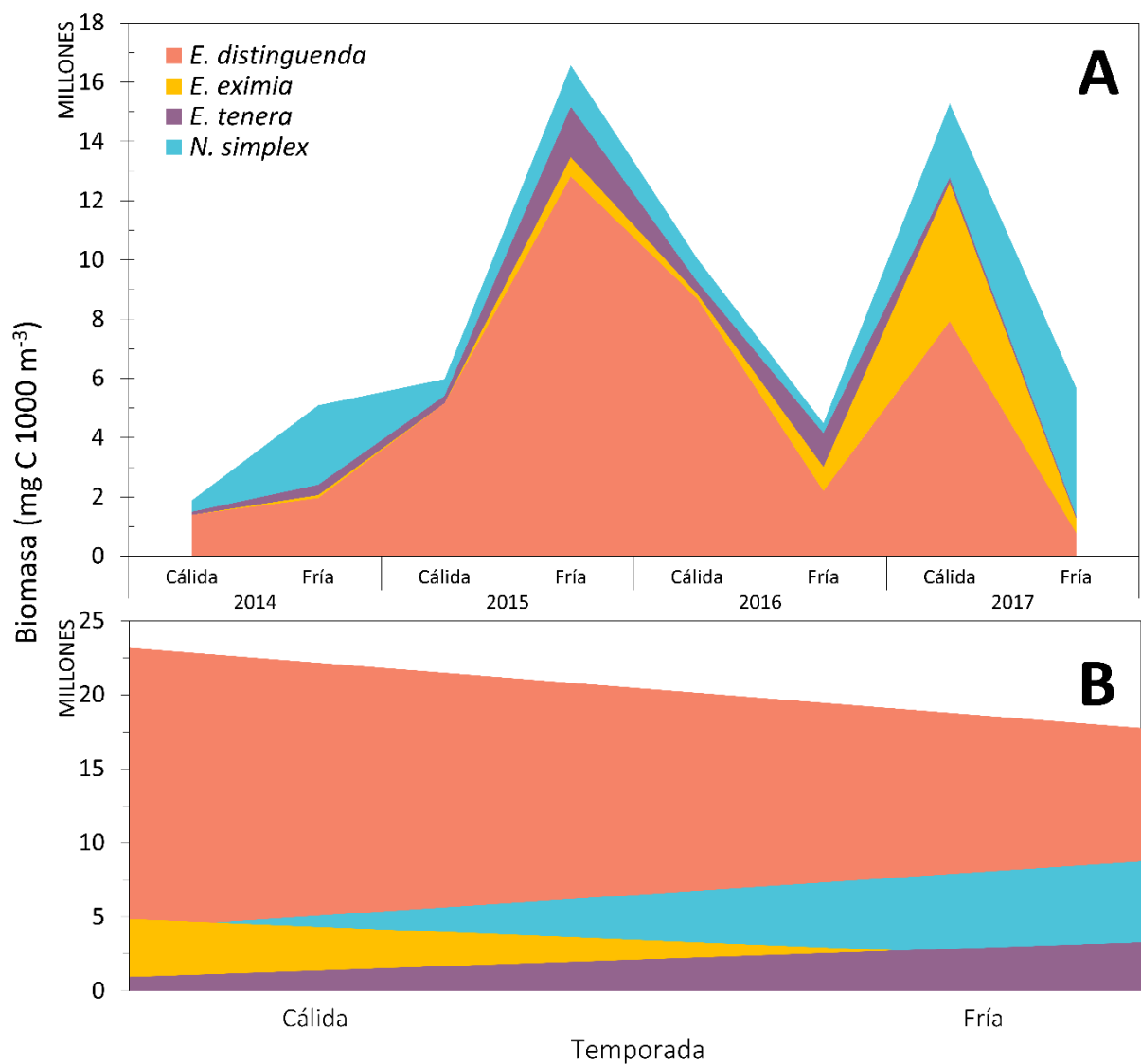


ANEXO G. Diagrama T-S superficial del Golfo de California inferido a partir de datos satelitales, delimitando las masas de agua (Portela *et al.*, 2016) divididas por época fría

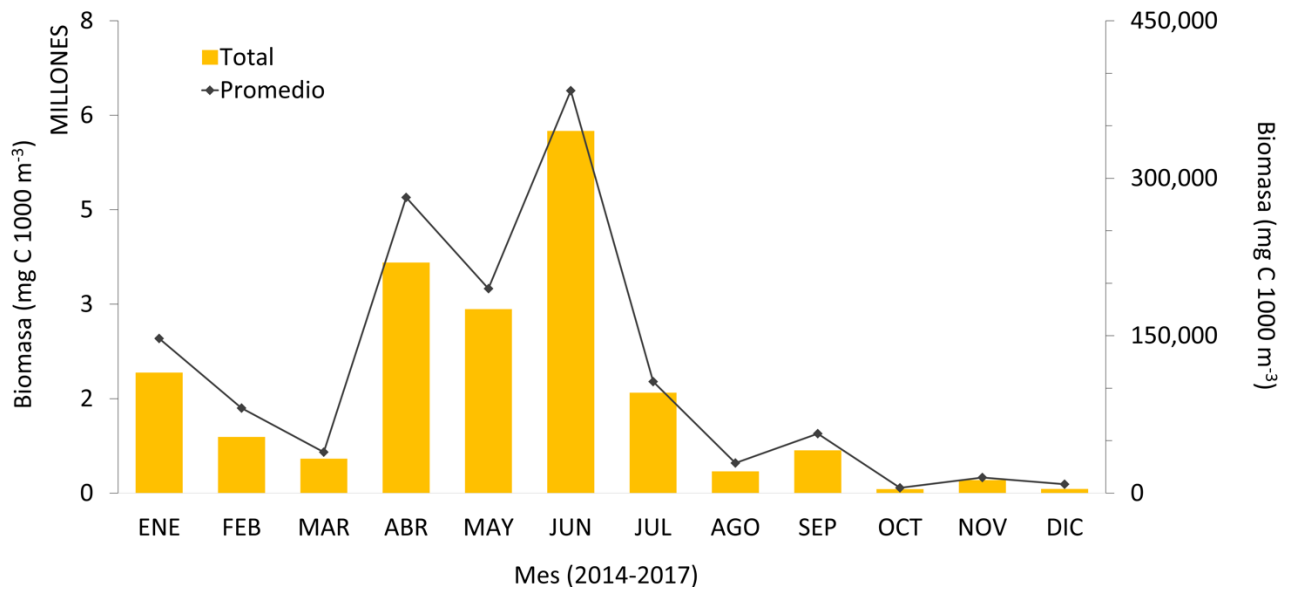
(dic-jun) y cálida (jul-nov) y por año. AST = Agua Superficial Tropical, ACC = Agua de la Corriente de California, AGC = Agua del Golfo de California, TTW = Agua Transicional Tropical.



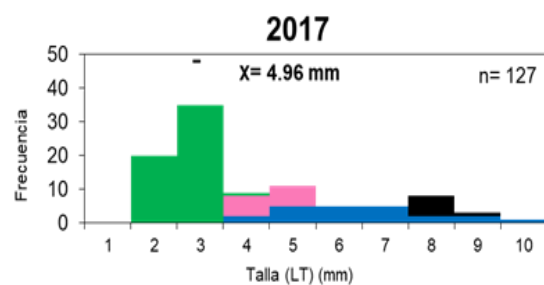
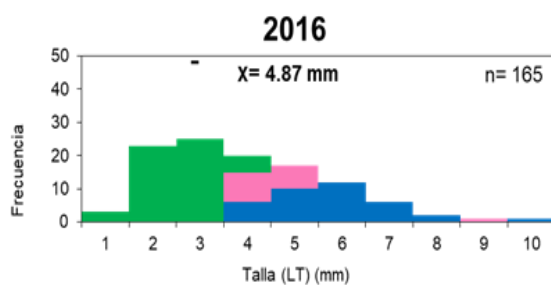
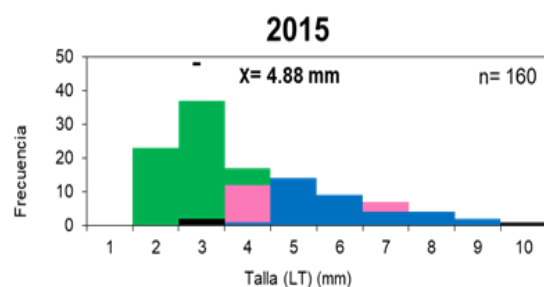
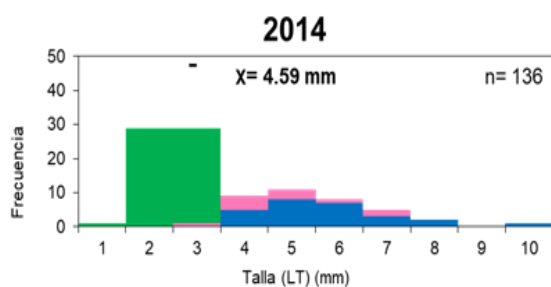
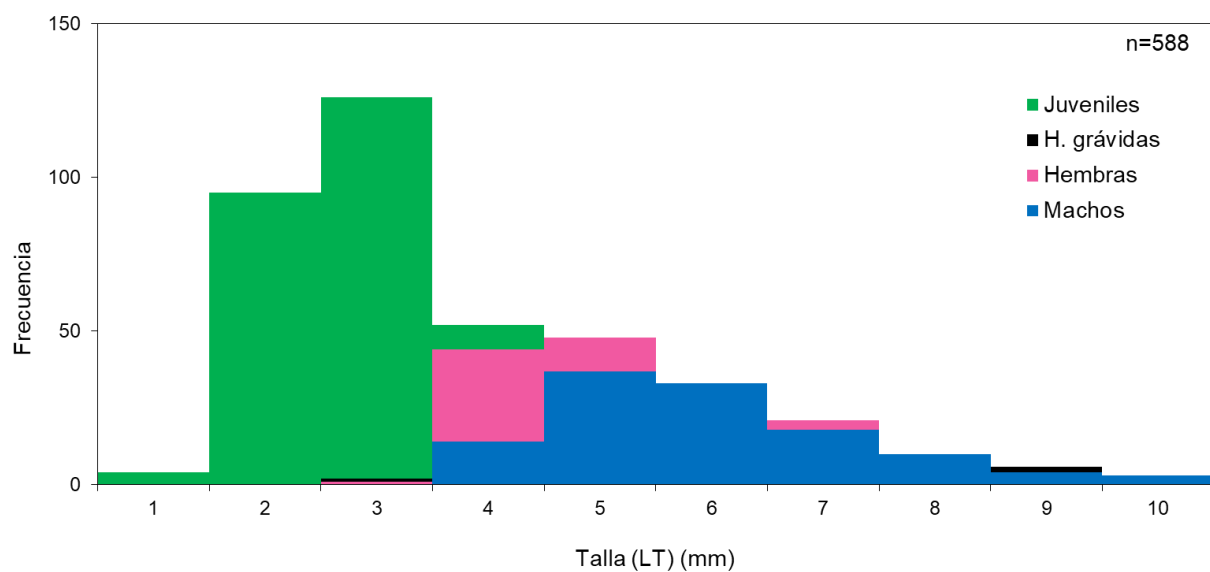
ANEXO H. Distribución interanual de tallas (LT, mm) de la comunidad de eufáusidos en PNCP durante 2014-2017. A) 2014, B) 2015, C) 2016 y D) 2017.



ANEXO I. Variación estacional de la biomasa de las cuatro especies de eufáusidos más abundantes que en conjunto conforman el 97% de la estructura de la comunidad. A) Biomasa estacional-interanual. B) Biomasa general (2014-2017).



ANEXO J. Biomasa total y promedio mensual de *M. rickettsi* en PNCP durante 2014-2017.



ANEXO K. Distribución interanual de tallas (LT, mm) de la comunidad de misidáceos en PNCP durante 2014-2017. A) 2014, B) 2015, C) 2016 y D) 2017.