



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Tesis de Doctor en Biología

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DEL ZOOPLANCTON EN LA ZONA DE
DESLIZAMIENTO DE LA PLAYA DE PEHUEN CO (PCIA. DE BUENOS
AIRES): RESPUESTA AL PASAJE DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

Carla Alejandra Baleani

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2021

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Biología de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) perteneciente al Centro Científico Tecnológico Bahía Blanca (CCT-CONICET-BB), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), durante el período comprendido entre el 1 de agosto de 2016 y 20 de agosto de 2020, bajo la dirección de la Dra. María Cintia Piccolo (IADO-CONICET) y la Dra. María Clara Menéndez (IADO-CONICET).

Lic. Carla Alejandra Baleani



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/...../....., mereciendo la calificación de (.....)

A mis papás

AGRADECIMIENTOS

A mis directoras de tesis la Dra. María Cintia Piccolo y la Dra. María Clara Menéndez, por darme la oportunidad de realizar el doctorado, por aportarme su conocimiento y por el apoyo y confianza durante estos años.

A la Dra. María Cintia Piccolo y el Dr. Gerardo Perillo por dejarme formar parte de este gran grupo de trabajo.

A la Universidad Nacional del Sur (UNS) y en particular al Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia (DBByF) por aceptarme como estudiante de posgrado.

Al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por abrirme las puertas y permitir la utilización de sus instalaciones para el desarrollo de esta tesis.

Al consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por la beca otorgada, gracias a la cual pude realizar mis tareas.

A la Dra. María Clara Menéndez por su dedicación constante, paciencia y gran aporte de conocimiento biológico.

A Sofía Dutto, Anabela Berasategui, Cecilia Carcedo y Emilia Bravo por su aporte de conocimiento y ayuda desinteresada en todo momento con el reconocimiento taxonómico de las especies.

A Fabián, Andrea, Julieta, Gian, Lucas y Juan por su buena onda y ayuda en las campañas de muestreo.

A Jorge por ser mi gran sostén técnico en el trabajo de campo y por su predisposición para ayudarme siempre en los muestreos de tormentas, te llevaré siempre en mi corazón amigo.

Al Dr. Alejandro Vitale por el diseño y construcción de los sensores y por su aporte de conocimiento desinteresado.

A mis compañeros de la biblioteca por crear un hermoso clima de trabajo con las charlas, mates y consejos diarios.

A, mi mamá, mi papá y mis hermanos por su apoyo incondicional, sacrificio y compañía desde el comienzo de mis estudios.

A Lucho por su amor incondicional, su ayuda, paciencia e incentivo diario en la búsqueda de mi mejor versión, te amo.

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DEL ZOOPLANCTON EN LA ZONA DE DESLIZAMIENTO DE LA PLAYA DE PEHUEN CO (PCIA. DE BUENOS AIRES): RESPUESTA AL PASAJE DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

RESUMEN

La zona de deslizamiento es un área en el cual se genera un importante intercambio de nutrientes entre la playa y el mar, funcionando como una zona de transición entre ambos ambientes. Esta característica la transforma en un ambiente con cualidades únicas en la trama trófica de los ecosistemas costeros marinos debido a su alta productividad. La presente tesis se divide en dos secciones. La primera sección consiste en el estudio de la estructura y dinámica del zooplancton en condiciones de buen tiempo y su relación con las variables ambientales (físicoquímicas y meteorológicas). Luego de identificar la abundancia y características generales del zooplancton en diferentes condiciones de buen tiempo, la segunda sección de la tesis se focaliza en el estudio del efecto de las tormentas y fuertes vientos sobre el zooplancton de la zona de deslizamiento, analizando la variabilidad de la comunidad zooplanctónica luego del pasaje de distintos sistemas atmosféricos. La playa de Pehuen Co se localiza al sudoeste de la provincia de Buenos Aires y se caracteriza por ser una playa intermedia-disipativa- dominada por arena fina y numerosos afloramientos rocosos. Entre diciembre de 2016 y julio de 2019 se realizaron muestreos de zooplancton, mediciones *in situ* de variables físicoquímicas (temperatura, salinidad, altura de ola, velocidad de la corriente litoral) y se tomaron muestras de agua para la posterior determinación de la concentración del material particulado en suspensión, materia orgánica y clorofila-a. Todos estos muestreos se realizaron mensualmente y en condiciones de buen tiempo. Además, se obtuvo información de variables meteorológicas (temperatura del aire, precipitación, velocidad y dirección del viento) de una estación localizada en la costa. Con los datos obtenidos se realizó el análisis del clima de la región y se analizó la estructura y dinámica temporal del zooplancton en la zona de deslizamiento de Pehuen Co y su relación con las

principales variables ambientales. Del análisis de las variables ambientales (físicoquímicas y meteorológicas) en condiciones de buen tiempo, se observó un aumento de la temperatura media anual junto con un incremento en las precipitaciones en comparación con estudios anteriores, evidenciando una notable variabilidad climática. El zooplancton de la zona de deslizamiento en condiciones de buen tiempo presentó una fuerte estacionalidad, principalmente explicada por cambios en la temperatura del agua, siendo los copépodos *Acartia tonsa* y *Paracalanus parvus* los taxa dominantes durante el período de muestreo. Ambos copépodos estuvieron presentes todo el año, sin embargo, *A. tonsa* estuvo dominado ampliamente en el mes de marzo y *P. parvus* en julio-agosto. Se registraron también copépodos típicos de aguas de plataforma interior tales como *Ctenocalanus vanus*, *Calanoides carinatus*, *Labidocera fluviatilis* y *Euterpina acutifrons* especialmente en agosto de 2018. Se registraron también abundancias altas del sergéstido *Peisos petrunkevitchi* en el mes de septiembre de 2017 y del misidáceo *Arthromysis magellanica* en agosto y octubre de 2017. Se observó una relación directa entre la abundancia del zooplancton y las características hidrodinámicas de la zona de deslizamiento (velocidad de la corriente litoral y altura de la ola), observándose las abundancias más bajas durante los días de muestreo con mayores velocidades de corriente litoral y mayor altura de ola. Esto sugirió que las características hidrodinámicas del área juegan un rol fundamental que controla los cambios a escala local y a corto plazo de las abundancias de los organismos.

Durante el mismo período de estudio (diciembre 2016 - julio 2019) se realizaron muestreos de zooplancton, variables físicoquímicas y meteorológicas durante el pasaje de 17 sistemas atmosféricos dentro de los cuales se incluyeron eventos de tormenta y fuertes vientos. Los muestreos se realizaron antes y después de los eventos. En trece de estos eventos de tormenta se incluyeron además mediciones en alta frecuencia de altura de ola y nivel de agua suministrados por un sensor EMAC localizado en aguas de la zona de deslizamiento. Debido a que los vientos más fuertes en el área de estudio son los causados por el pasaje de centros ciclónicos con dirección de viento provenientes del sector S, SE, SW

y W, particularmente estos episodios fueron los considerados para el estudio. Por lo tanto, se tuvieron en cuenta los eventos de tormentas y fuertes vientos a velocidades del viento superiores a 17 m s^{-1} provenientes del sector S, SE, SW y W. Los eventos de viento se agruparon en cuatro tipos de acuerdo a su dirección predominante del viento y su duración en horas: eventos de corta duración del SE-SW y W ($\leq 6 \text{ h}$) y eventos de larga duración del SE-SW y W ($> 6 \text{ h}$). Los resultados más relevantes se observaron sobre la abundancia del zooplancton. Sin embargo, también se evidenciaron cambios en la composición de la comunidad zooplanctónica luego del pasaje de los episodios de viento. Los eventos de corta duración se asociaron con un aumento en la abundancia del zooplancton, siendo *A. tonsa* y *P. parvus* las especies dominantes. Dentro de los eventos de corta duración, los de viento predominante del W se asociaron con la presencia de copépodos típicos de la plataforma continental interior (*C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis*), mientras que en los eventos de viento de corta duración del SE-SW se observó un mayor número de taxa pertenecientes al plancton adventicio en comparación con los casos de viento del W. En cuanto a los casos de larga duración, estos se asociaron con una disminución significativa en la abundancia, siendo *A. tonsa* y *P. parvus* los copépodos dominantes. Dentro de este grupo, los casos de viento del SE-SW se asociaron con un aumento de taxa correspondientes al plancton adventicio. En conclusión, se evidenció una fuerte interacción físico-biológica en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Cambios en las variables atmosféricas producto del pasaje de eventos de tormenta y fuertes vientos provocan alteraciones en la circulación del agua, generando un aumento en las velocidades de las corrientes litorales, mayor altura de ola, influenciando significativamente en la dinámica de la comunidad zooplanctónica generando cambios en la composición y en la abundancia. Esto caracteriza al área de estudio como un ambiente sumamente dinámico e inestable en un corto plazo de tiempo.

STRUCTURE AND DYNAMICS OF ZOOPLANKTON IN THE SURF ZONE OF PEHUEN CO BEACH (PROVINCE OF BUENOS AIRES): RESPONSE TO THE PASSAGE OF ATMOSPHERIC SYSTEMS

ABSTRACT

The surf zone represents a transition area between the beach and the open sea, playing an important role in transporting materials and exchanging nutrients with these adjacent environments. This characterizes it in a unique area in the trophic web of coastal marine ecosystems due to its high productivity. This thesis presents two sections. The first section focuses on the study of the structure and dynamics of a zooplankton community in good weather conditions and its relationship with environmental variables (physicochemical and meteorological) on the zooplankton composition and abundance. After identifying the abundance and general characteristics of zooplankton in different good weather conditions, the second section concentrates on the effect of storm and wind events in the surf zone zooplankton, focusing on the zooplankton variability after a passage of different atmospheric systems. Pehuen Co beach is located on the southwest coast of Buenos Aires Province. It is an intermediate-dissipative sandy beach, dominated by fine sand and the presence of rock outcrops. Monthly sampling was performed between December 2016 and July 2019. Qualitative and quantitative measurements were taken for the surf zone zooplankton, physicochemical variables (water temperature, salinity, wave height, the velocity of the littoral current), and water samples for determination of a suspended particulate matter, particulate organic matter, and Chlorophyll-a. All these samplings were carried out monthly and in good weather conditions. Furthermore, meteorological variables (air temperature, precipitations, wind velocity, and direction) were obtained from the EMAC station located on the coast. In the first place, a climate characterization was carried out for Pehuen Co. Then, the temporal dynamic of the zooplankton community and their environmental regulation was analyzed. Compared to than reported in previous studies, the environmental variables show an increase

in annual air temperature as well as an increment in annual precipitation. This evidence an important climatic variability. The surf zone zooplankton showed a strong seasonality, mainly affected by changes in water temperature. Two species were dominant throughout the sampling period: *Acartia tonsa* and *Paracalanus parvus*. The copepod *A. tonsa* was present in all the samples, dominated in March, while *P. parvus* was observed in almost all the samples, dominated in July-August. Also, copepods of the inner shelf zones such as *Ctenocalanus vanus*, *Calanoides carinatus*, *Labidocera fluviatilis*, and *Euterpina acutifrons* were recorded in August-2018. Despite the dominance of Copepoda in surf waters, were observed a change in this typical structure from August to October-2017, when *Peisus petrunkevitchi* and *Arthromysis magellanica*, respectively, dominated the surf waters. Variation in significant wave height and velocity of littoral current affected zooplankton abundances in surf waters. Low zooplankton abundances were associated with sampling days with high speeds and waves, suggesting that the surf zone hydrodynamics may be a fundamental mechanism that controls the short-term local-scale changes in zooplankton abundances.

During the same study period (December 2016 - July 2019) a total of 17 storm and wind events were sampled before and after the events. In all cases, zooplanktonic, physicochemical, and meteorological (high-frequency data of wind velocity and direction) samplings were carried out in the area. For 13 storm events only, high-frequency environmental data (wave height and water level) were obtained at the EMAC surf zone station. Considering that the strongest winds in the study area are those caused by the passage of atmospheric systems with wind direction coming from the S, SE, SW, and W sectors, particularly these episodes were used in the present study. The events were grouped into four types as regards wind direction and duration in hours: *SE-SW/W short-duration events* (≤ 6 h) and *SE-SW/W long-duration events* (> 6 h). The most relevant results were observed on the abundance of zooplankton. However, changes in the composition of the zooplankton community were also evidenced after the passage of strong winds episodes.

Short-duration events were associated with an increase in zooplankton abundances, being *A. tonsa* and *P. parvus* the dominant species. Within *short-duration* events, *W* wind-events were associated with the presence of the inner continental shelf copepods (*C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis*), whereas in the samples of winds from the *SE-SW* sector, a greater number of adventitious taxa in comparison with the *W* events were recorded. Regarding *long-duration* cases, they were associated with a significant decrease in zooplankton abundances, being *A. tonsa* and *P. parvus* the dominant taxa. Within this group, *SE-SW* wind-events were associated with the presence of adventitious fraction taxa. In conclusion, a strong physical-biological interaction was evidenced in the surf zone of Pehuen Co beach. Changes in atmospheric variables as a result of the passage of storm events and strong winds cause alterations in the water circulation, generating an increase in the speed of the littoral current, wave height, influencing the zooplankton composition and abundance. The zooplankton community showed changes in response to physical variations such as wind, waves, currents, and turbulence, evidence that the surf zone is a highly dynamic and unstable environment on a short-term time scale.

ÍNDICE

Portada	
Prefacio	
Agradecimientos	
Resumen	
Abstract	

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL	17
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	23
1.1.1 Hipótesis de trabajo	23
1.1.2 Objetivos general y específicos	23
2. ÁREA DE ESTUDIO	24
2.1. Pehuen Co.....	24

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTO	29
1. INTRODUCCIÓN	29
2. MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.1. Tareas de campo	31
2.1.1. Medición de variables fisicoquímicas	32
2.2. Tareas de laboratorio	33
2.2.1. Determinación de la concentración de clorofila-a.....	33
2.2.2. Determinación de MPS y MOP	33
2.2.3. Determinación de nutrientes inorgánicos disueltos	33
2.3. Registro de las variables meteorológicas	34
2.4. Análisis estadístico.....	35
3. RESULTADOS.....	35
3.1. Caracterización de variables fisicoquímicas de la zona de deslizamiento	35
3.1.1. Temperatura del agua	35
3.1.2. Salinidad.....	36
3.1.3. Clorofila-a.....	37
3.1.4. Material particulado en suspensión y materia orgánica particulada	37

3.1.5. Nutrientes inorgánicos disueltos	38
3.1.6. Velocidad y dirección de la corriente litoral (VCL, DCL)	39
3.1.7. Altura significativa de las olas	41
3.2. Variables meteorológicas	41
3.2.1. Velocidad y dirección del viento	41
3.2.2. Temperatura del aire	42
3.2.3. Precipitaciones	43
3.3. Análisis estadístico: variación temporal de variables fisicoquímicas y meteorológicas	44
3.3.1. Correlación de Spearman	44
3.3.2. Análisis de componentes principales (ACP)	46
4. DISCUSIÓN	49
5. CONCLUSIÓN	55

CAPÍTULO 3

DINÁMICA TEMPORAL DE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES..... 56

1. INTRODUCCIÓN	56
2. MATERIALES Y MÉTODOS	58
2.1. Tareas de campo	58
2.1.1. Muestreo del zooplancton.....	58
2.1.2. Medición de las variables fisicoquímicas	59
2.2. Tareas de laboratorio	60
2.2.1. Análisis cualitativo y cuantitativo del zooplancton	60
2.2.2. Frecuencia de ocurrencia	61
2.2.3. Análisis de las variables fisicoquímicas	61
2.3. Análisis estadístico de los datos.....	61
3. RESULTADOS.....	62
3.1. Análisis cualitativo del zooplancton	62
3.2. Análisis cuantitativo del zooplancton	65
3.2.1. Abundancia del zooplancton.....	65
3.2.2. Relación entre el zooplancton y las variables ambientales	71
3.2.2.1. Correlación de Spearman	71
3.2.2.2. Análisis de distancia basado en modelos lineales (DISTML).....	71
4. DISCUSIÓN	74
5. CONCLUSIÓN	79

CAPÍTULO 4

EFFECTO DEL PASAJE DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS SOBRE LA COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA	81
1. INTRODUCCIÓN	81
2. MATERIALES Y MÉTODOS	83
2.1. Tareas de campo	84
2.1.1. Muestreo del zooplancton.....	84
2.1.2. Medición de variables fisicoquímicas y meteorológicas	85
2.2. Tareas de laboratorio	86
2.3. Análisis de los datos	86
3. RESULTADOS.....	92
3.1. Caracterización de los eventos	92
3.1.1. Eventos de viento predominante del sector SE-SW.....	92
3.1.2. Eventos de viento predominante del sector W.....	99
3.2. Comunidad zooplanctónica de la zona de deslizamiento: composición y abundancia	103
3.3. Análisis multivariado	109
4. DISCUSIÓN.....	112
5. CONCLUSIÓN.....	121

CAPÍTULO 5

EFFECTO DE LAS TORMENTAS SOBRE EL ZOOPLANCTON DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTO: PROPUESTA METODOLÓGICA UTILIZANDO DATOS DE ALTA FRECUENCIA	122
1. INTRODUCCIÓN	122
2. MATERIALES Y MÉTODOS	124
2.1. Datos biológicos.....	124
2.1.1. Muestreo del zooplancton.....	124
2.1.2. Tareas de laboratorio.....	126
2.2. Datos físicos: Monitoreo de alta frecuencia	126
2.2.1. Datos meteorológicos	126
2.2.2. Datos de nivel de agua y altura de olas	126
2.3. Análisis de los datos	128
3. RESULTADOS.....	131
3.1. Características de la comunidad zooplanctónica.....	131
3.2. Características de los eventos de tormenta.....	135
3.3. Relación entre las variables físicas y biológicas.....	138
4. DISCUSIÓN.....	142
5. CONCLUSIÓN.....	148

CAPÍTULO 6	
CONCLUSIONES FINALES	149
REFERENCIAS	153

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

Las playas de arena comprenden aproximadamente dos tercios de las costas desprovistas de hielo (McLachlan y Brown, 2006). Estos ambientes son sistemas dinámicos caracterizados por amplias fluctuaciones de las condiciones ambientales debido al patrón de vientos regionales y locales, a la acción de las olas y a las corrientes litorales, lo cual genera cambios en las propiedades del sedimento (McLachlan y Brown, 2006). Durante siglos, estos ambientes han sido ampliamente utilizados por el hombre, siendo en la actualidad una de las áreas con mayor presión antrópica debido al desarrollo de actividades recreativas (turismo), minería, contaminación, explotación pesquera, interrupción del transporte de arena debido a la expansión de las poblaciones humanas, etc. (Defeo *et al.*, 2009; McLachlan y Defeo, 2018). Estos ecosistemas presentan una alta biodiversidad y brindan una amplia gama de funciones y servicios ecosistémicos tales como absorción de la energía de las olas y amortiguación, filtración de grandes volúmenes de agua de mar, descomposición de materiales orgánicos contaminantes, descomposición de detrito, reciclaje de nutrientes, áreas de cría para juveniles de peces, etc. (Defeo *et al.*, 2009; Dugan *et al.*, 2015).

En un perfil de una playa de arena típica se definen los siguientes sub-ambientes: La *playa posterior o distal*, la *playa frontal* y la *playa exterior* (Perillo, 2003). La *playa posterior o distal (backshore)* es la zona hidráulica *subaérea* comprendida entre el médano frontal y la cresta de la berma, la cual coincide con el alcance máximo de la marea media. Este sector de la playa permanece en condiciones subaéreas la mayor parte del tiempo y solo se cubre de agua durante eventos de mareas extraordinarias y/o tormentas (Figura 1).

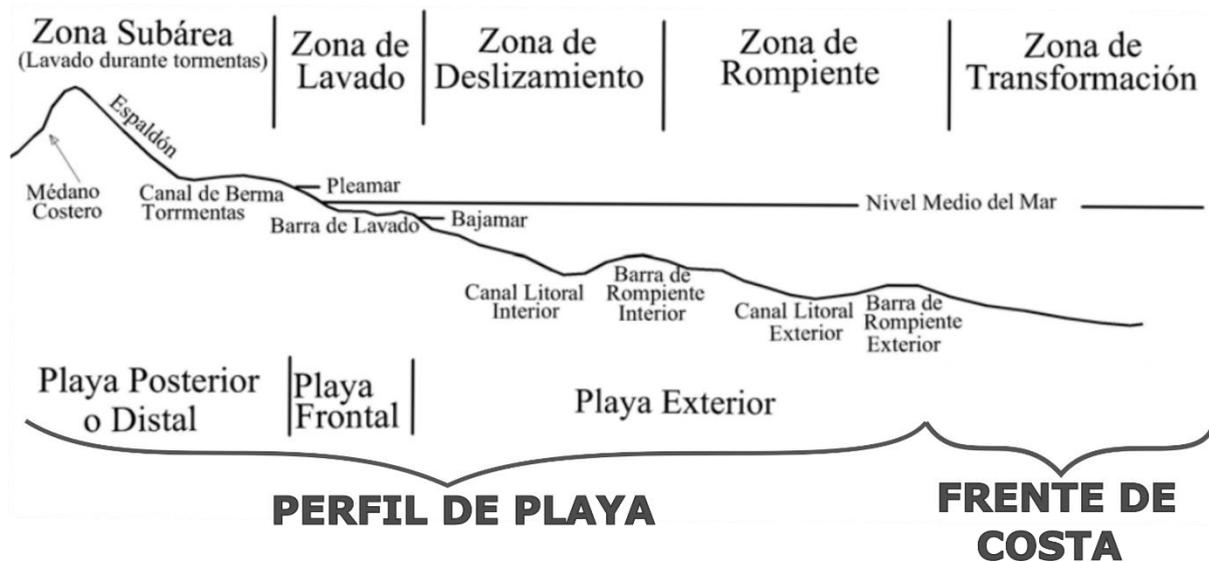


Figura 1. Perfil transversal de una playa típica donde se muestran las zonas hidráulicas en la parte superior y los elementos morfológicos básicos en la parte inferior (Modificado de Perillo, 2003).

La *playa frontal (foreshore)* es la zona hidráulica de *lavado (swash zone)* que se extiende desde la parte más alta del alcance de la marea, la cual coincide con la cresta de la berma, hasta la línea de marea baja (Figura 1). Debido a la variación diaria de la marea, a esta zona se la denomina zona *intermareal*. Luego se encuentra la *playa exterior (offshore)*, la cual corresponde al sector de la playa que se encuentra permanentemente sumergido (Figura 1). Este sector se divide a su vez en dos zonas hidráulicas: la zona de deslizamiento (*surf zone*) y la zona de rompiente (*breaker zone*). En la primera, se encuentran las corrientes de retorno (*rip currents*), de lavado y la corriente de deriva litoral (*litoral currents*). En la segunda, como su nombre lo indica, rompen las olas debido a la transformación que sufren los frentes de olas por la fricción con el fondo en el frente de costa (*shoreface*) (Perillo y Codignotto, 1989). Todas estas áreas están fuertemente vinculadas entre sí, principalmente por el intercambio de sedimentos, formando en su conjunto un único sistema geomorfológico llamado **zona litoral activa** (McLachlan y Defeo, 2018). La zona de deslizamiento es un área en la cual se genera un importante intercambio de materia orgánica, inorgánica y nutrientes entre la playa y el mar, funcionando como zona de transición entre ambos ambientes (McLachlan y Defeo, 2018).

Además, representa un sitio único en la trama trófica de los ecosistemas marinos costeros debido a su alta productividad (McLachlan y Defeo, 2018). A pesar de su gran importancia a nivel ecológico, económico y social, estos ecosistemas están subrepresentados en la literatura científica. Varios estudios se han enfocado en la morfodinámica de estas zonas, principalmente considerando los procesos erosivos debido a inundaciones producto de tormentas (Russell, 1993; Guerin *et al.*, 2018) o al movimiento y alteración de los médanos costeros que generan daños en la estructura de la costa (Dingler y Reiss, 2002; Viles y Goudie, 2003; Ruggiero *et al.*, 2005). Otros trabajos se han enfocado en los procesos hidrodinámicos y su influencia en el transporte de sedimentos (*p. ej.*, Holman *et al.*, 1981; Thorton *et al.*, 1996; Aagaard y Masselink 1999; Perillo, 2003; Senechal *et al.*, 2011; Aagaard *et al.*, 2013; Van Rijn, 2013).

A partir del año 2000, estos ambientes han sido objeto de estudios relacionados con la estructura, composición, distribución y adaptaciones de las comunidades fitoplanctónicas, de larvas y juveniles de peces y de organismos bentónicos. Los estudios sobre el fitoplancton en zonas de deslizamiento están principalmente enfocados en los cambios de estas comunidades debido a variables físicas como el viento (*p. ej.*, Odebrecht *et al.*, 2010; Odebrecht *et al.*, 2014). Otros trabajos evaluaron las variaciones en la estructura de las comunidades de organismos bentónicos observándose que los principales elementos que la modifican son factores hidrodinámicos como la velocidad de la corriente litoral, la pendiente de la playa, la altura de las olas, la marea y el material particulado en suspensión (Domínguez-Granda *et al.*, 2004; Marin Jarrin y Shanks, 2011; Marin Jarrin *et al.*, 2015; 2016 y 2017). Respecto a larvas, juveniles y adultos de peces, se han hallado variaciones en estas comunidades influenciadas principalmente por variables físicas tales como la velocidad de la corriente litoral (*p. ej.*, Watt-Pringle y Strydom, 2003; Strydom *et al.*, 2007; Inoue *et al.*, 2008). Sin embargo, solo unos pocos trabajos se han orientado al estudio de las comunidades zooplanctónicas en zonas de deslizamiento de playas de arena. Debido a la alta turbulencia y su dinámica energética en general, las mediciones en esta zona no son seguras y fáciles

de llevar a cabo, razón por la cual se asume que los estudios en estos ambientes han sido relegados. En términos generales, las comunidades zooplanctónicas en la zona de deslizamiento están compuestas principalmente por copépodos, así como por organismos gelatinosos y larvas planctónicas de invertebrados bentónicos (*p. ej.*, Avila *et al.*, 2009; Da Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2013; Oliveira-Santos *et al.*, 2016; McLachlan y Defeo, 2018). Estos organismos poseen un rol clave en estas aguas, actuando como nexo entre productores primarios, materia orgánica disuelta y niveles tróficos superiores (Rodrigues *et al.*, 2019). Además, las comunidades zooplanctónicas representarían el principal alimento para larvas, juveniles y/o adultos de peces, los cuales aprovecharían estas aguas con fines reproductivos, de cría y/o alimentación (De Lancey, 1989). Trabajos realizados principalmente en zonas de deslizamiento de playas tropicales y/o subtropicales han evidenciado que variables como la temperatura y la salinidad afectan fuertemente la dinámica del zooplancton (*p. ej.*, Avila *et al.*, 2009; Da Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2011, 2013; Oliveira-Santos *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2019). En Argentina, existe solo un trabajo realizado en la playa de Monte Hermoso, localidad balnearia adyacente al área de estudio, en el cual se ha evidenciado que tanto la variación de la temperatura como la concentración de material particulado en suspensión y clorofila-*a* explican el patrón estacional de la comunidad zooplanctónica (Menéndez *et al.*, 2019).

Las tormentas y fuertes vientos generan cambios en las condiciones físicas de los ecosistemas costeros, ocasionando un impacto en las comunidades biológicas que habitan estas aguas (Weatherdon *et al.*, 2016). Estos eventos incrementan la acción erosiva del oleaje y producen un significativo ascenso del nivel medio del mar (Marcomini y López, 1997), generando en algunos casos grandes daños sobre las zonas costeras a nivel mundial (*p. ej.*, Perillo y Piccolo, 1991; Russell, 1993; Nicolae-Lema *et al.*, 2017; Guerin *et al.*, 2018). Sumado a esto, el aumento de tormentas en las zonas costeras producto de la variabilidad climática pone a estos ecosistemas bajo una gran presión (Defeo *et al.*, 2009; McLachlan y Defeo, 2018). Los eventos de vientos severos en el área de estudio son causados habitualmente por

el pasaje de centros ciclónicos sobre el sur de la provincia de Buenos Aires o la Patagonia. Estos episodios se caracterizan por fuertes vientos ($>17 \text{ m s}^{-1}$) provenientes del S, SE, SW o del sector W (Aliaga *et al.*, 2017) y suelen estar asociados a frentes fríos (centros de baja presión) lo que genera mal tiempo y condiciones de inestabilidad (Celemín, 1984). Teniendo en cuenta los procesos de interacción físico-biológica en zonas costeras, hay evidencia de que el zooplancton es altamente sensible a los cambios hidrodinámicos, respondiendo rápidamente a las alteraciones del ambiente (Marqués *et al.*, 2006). Hay estudios que demuestran la influencia del viento sobre la distribución del plancton en ambientes costeros debido a procesos de mezcla ocasionados por la turbulencia (Villate *et al.*, 1994). En este trabajo los autores observaron que la turbulencia generada por la acción de fuertes vientos, influyó en la organización espacial de la comunidad zooplanctónica en el estuario de Bilbao, superando la acción de la marea. Sumado a esto, se ha demostrado que los cambios en la dirección y velocidad el viento genera un aumento significativo en la diversidad de especies, influyendo en el transporte del zooplancton en el estuario de Solís Grande, Uruguay (Gómez Erache *et al.*, 2000). Una situación similar se observó en el Estuario de Bahía Blanca (EBB) detectándose modificaciones en los patrones de distribución espacial del zooplancton, con vientos superiores a 11 m s^{-1} (Menéndez *et al.*, 2012). Con respecto a las playas de arena, los efectos de las tormentas y fuertes vientos sobre la biota marina han sido estudiados mayormente en las comunidades bentónicas que habitan la zona intermareal y en las comunidades fitoplanctónicas de la zona de deslizamiento (Galluci y Netto, 2004; Cochoa *et al.*, 2006; Alves y Pezzuto, 2009; Machado *et al.*, 2016; Corte *et al.*, 2017; Tarrago y Ozorio, 2016; Corte *et al.*, 2018). Sin embargo, no existen trabajos relacionados con los efectos de las tormentas sobre las comunidades zooplanctónicas de la zona de deslizamiento de playas arenosas. El estudio de la influencia de las tormentas y fuertes vientos sobre el zooplancton resulta sumamente necesario para comprender el funcionamiento de las comunidades zooplanctónicas en la zona de deslizamiento.

Específicamente en el área de estudio, los trabajos de investigación sobre diferentes temáticas son amplios, especialmente en lo que respecta a la zona terrestre de la playa. En Pehuen Co, estudios geológicos y estratigráficos han sido ampliamente desarrollados debido a la presencia de huellas y restos fósiles, lo que ha llevado a declarar el área como reserva geológica, paleontológica y arqueológica (*p. ej.*, Tomassini *et al.*, 2010; Aramayo *et al.*, 2015; Melchor *et al.*, 2018). Otros estudios han sido orientados a la geomorfología del área, en los cuales se observó la importante erosión y los grandes cambios geomorfológicos ocasionados por los fuertes vientos que azotan la playa (Bustos *et al.*, 2009; 2011b). Desde el punto de vista climático e impacto antrópico, diferentes trabajos han analizado la evolución de perfiles de playa con distinta cobertura antrópica del médano (Bustos *et al.*, 2011b; 2012; 2016a), en los cuales se ha visualizado una importante erosión de los mismos, afectando en gran medida la dinámica geomorfológica de la playa de arena. Por otro lado, Perillo *et al.* (2014) y Semeoshenkova *et al.* (2017) demostraron que la influencia antrópica sobre el medioambiente es muy marcada, siendo algunos efectos irreversibles o que requieren cambios drásticos de la conducta socioeconómica con el fin de preservar el medio natural. En estos estudios se analizaron las interacciones entre la sociedad y el medio ambiente, identificando distintas problemáticas como el turismo y el desarrollo urbano, entre otras, como responsables de la gran erosión de los médanos y el cambio negativo del estado ecológico y ambiental de la playa. También Bustos *et al.* (2017) han evaluado el riesgo de erosión costera mediante la utilización de indicadores, con el fin de realizar planes de manejo para mitigar el impacto en la zona costera. Por último, Piccolo *et al.* (2017) han analizado los efectos de las tormentas severas sobre la costa de Pehuen Co, concluyendo que estas constituyen poderosos agentes modificadores de los espacios costeros, intensificando la erosión. En todos los estudios mencionados anteriormente, se señala la importancia de implementar planes de manejo costero integral. Con respecto a las comunidades biológicas marinas, existe un trabajo de la fauna intermareal bentónica (Carcedo *et al.*, 2014), en el cual se dan a conocer los patrones espaciales y temporales que regulan los ensambles macrobentónicos de estas comunidades. Sin embargo, para la playa de Pehuen Co, no existen en la literatura

estudios de las comunidades zooplanctónicas de la zona de deslizamiento y su interacción con el medioambiente. Esta tesis representa la primera contribución dedicada a estudiar la dinámica del zooplancton en la zona de deslizamiento durante diferentes épocas del año y bajo diferentes condiciones meteorológicas. Los resultados obtenidos constituyen un aporte al conocimiento de la interacción físico-biológica de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co y representan la primera evidencia respecto de la influencia de factores ambientales sobre la estructura y dinámica del zooplancton.

1.1. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.1.1 Hipótesis de trabajo

Las hipótesis de trabajo de la presente tesis son las siguientes:

En una escala de tiempo estacional:

- La estructura y dinámica del zooplancton en la zona de deslizamiento de las playas de arena se encuentra principalmente influenciada por la temperatura del agua debido a la marcada estacionalidad que caracteriza la región.

En una escala de tiempo más corta:

- La dirección y velocidad de los de fuertes vientos asociados a sistemas sinópticos (p. ej., eventos de tormentas, líneas de inestabilidad, anticiclones, etc.) influyen en la distribución de la comunidad zooplanctónica, afectando fuertemente la abundancia y composición de las especies, principalmente debido al aumento de la turbulencia generada en la zona de deslizamiento (vientos fuertes, altas velocidades de corrientes litorales y gran altura de las olas).

1.1.2 Objetivos general y específicos

El objetivo general de esta tesis consiste en determinar variaciones en la composición taxonómica y abundancia de la comunidad zooplanctónica de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co, en relación con las variables fisicoquímicas y meteorológicas. Respecto a esta última, se consideraron condiciones de calma, eventos de tormenta y fuertes vientos.

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

1. Analizar el clima de la localidad balnearia de Pehuen Co durante el período de estudio.
2. Analizar las variables meteorológicas y su influencia sobre las variables fisicoquímicas del agua de mar en la zona de deslizamiento.
3. Estudiar en forma cualitativa y cuantitativamente la comunidad zooplanctónica del área de estudio y determinar la dinámica temporal de la composición y abundancia.
4. Relacionar las condiciones ambientales (temperatura del agua y del aire, salinidad, clorofila-a, material particulado en suspensión, materia orgánica particulada, velocidad de la corriente litoral, altura significativa de la ola y velocidad y dirección del viento) prevalentes en el área de estudio con la presencia y distribución temporal de los organismos zooplanctónicos de la zona de deslizamiento.
5. Analizar los eventos de tormenta y fuertes vientos, a partir de mediciones en alta y baja frecuencia de datos meteorológicos y oceanográficos, mediante la utilización de estaciones de monitoreo autónomo (EMAC) y mediciones biológicas *in situ*.
6. Examinar la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica antes y después de cada uno de los eventos de tormenta y fuertes vientos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Pehuen Co

La playa de Pehuen Co está localizada en la costa sudoeste de la provincia de Buenos Aires 38° 59' 51" S; 61° 33' 16" W (Figura 2). Si bien esta playa es en general considerada como disipativa (Bustos *et al.*, 2011a; Delgado *et al.*, 2012), presenta características físicas típicas de una playa de estado morfodinámico intermedio, dominada por arena fina y la presencia de afloramientos rocosos (Perillo *et al.*, 2011).



Figura 2. Localización geográfica del área de estudio y sitio de muestreo (punto negro) en la zona de deslizamiento de la playa de arena de Pehuen Co.

En general, su costa es baja con un ancho promedio de playa de 143 m. Presenta un régimen mesomareal con mareas semidiurnas. La altura media de pleamar es 3,12 m y la de bajamar 0,76 m (Servicio meteorológico Nacional, 2009). Esta playa de arena está enmarcada por una línea de médanos frontales (Bustos *et al.*, 2012), los cuales son de baja altura y se encuentran cubiertos de vegetación en las áreas más alejadas de la costa. A medida que estos se van acercando a la costa, alcanzan alturas de 10 m aproximadamente, siendo algunos vegetados y otros no (Bustos, 2012). Estas características le otorgan rasgos especiales en cuanto a su dinámica y morfología costera (Figura 3).

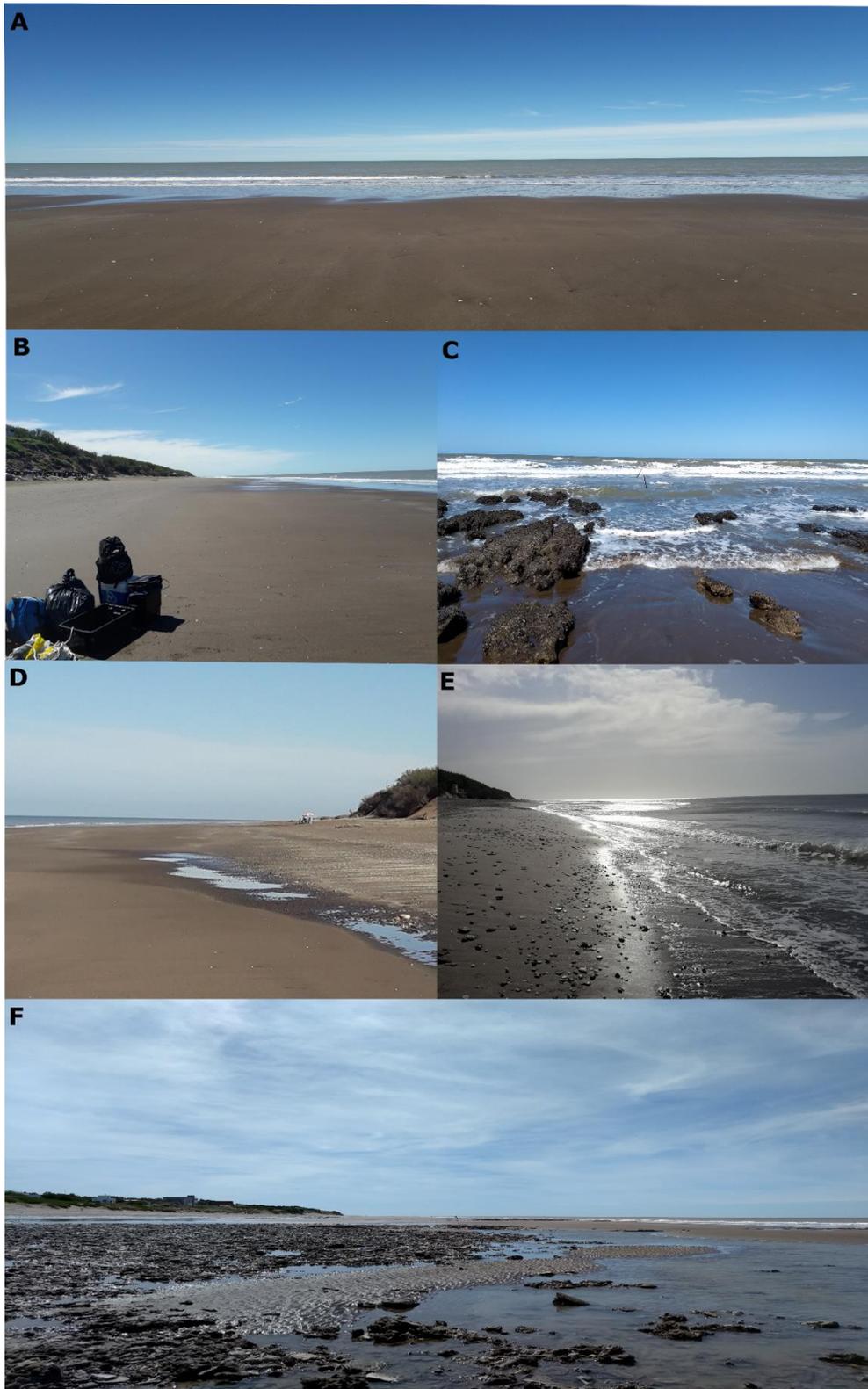


Figura 3. Paisajes de la playa de Pehuen Co. **A, C y E:** zona de deslizamiento; **B y D:** playa de en bajamar; **C y F:** afloramientos rocosos en la zona de deslizamiento (fuente: fotografías tomadas personalmente y por Gian Marco Mavo Manstretta en las campañas de muestreo).

Las aguas de Pehuen Co se caracterizan por temperaturas que alcanzan los 23 °C en los meses de verano, siendo las temperaturas en la plataforma continental de 17 °C (Martos y Piccolo, 1988). Estudios han demostrado que esta zona costera está altamente influenciada por la pluma del EBB (Delgado *et al.*, 2013; Menéndez *et al.*, 2016). Los vientos en la región se generan por el paso de sistemas sinópticos anticiclónicos y ciclónicos lo que origina un aumento de las olas, las cuales se superponen a las provenientes de la plataforma continental (Delgado *et al.*, 2012). Los vientos predominantes son del N y NW (Aliaga *et al.*, 2017), siendo de mayor intensidad en los meses de primavera y verano, principalmente en diciembre y enero. Su velocidad media varía entre 2 y 7 m s⁻¹ (Bustos *et al.*, 2011b). En los meses de verano y debido a un proceso de surgencia ocasionado por vientos persistentes e intensos del sector N, se producen acumulaciones significativas de la medusa venenosa *Olindias sambaquiensis*, viéndose altamente afectada la industria del turismo en la región (Brendel *et al.*, 2017). Debido a la orientación general E-W de la playa, los intensos vientos del N causan afloramientos costeros (surgencia), fenómeno que consiste en el ascenso a la superficie de masas de agua profundas, ricas en nutrientes, debido al movimiento de aguas superficiales mar adentro. Estas masas de aguas profundas traen consigo a *O. sambaquiensis*, permitiéndoles alcanzar la costa y ocasionando daños importantes para los turistas (Mianzan y Zamponi, 1988). Por otro lado, la playa se ve regularmente afectada por tormentas con fuertes vientos que soplan desde los cuadrantes SE a SW durante los meses de otoño-invierno. Las tormentas que provienen del sector SW generalmente afectan el área durante uno o dos días con fuertes lluvias y fuertes vientos del SW, con ráfagas de más de 20 m s⁻¹. La región también se ve afectada por un tipo de tormenta regional típica llamada "Sudestada", la cual ocurre con mayor frecuencia entre los meses de abril y noviembre. Este tipo de tormentas se caracteriza por lluvias ligeras, bajas temperaturas y fuertes vientos del cuadrante SE, con velocidades medias de más de 9 m s⁻¹ y ráfagas que superan los 30 m s⁻¹. La influencia de este tipo de evento generalmente dura una semana (Delgado *et al.*, 2012). Este fenómeno genera un incremento de la altura de las olas produciendo un ascenso del

nivel medio del mar (Marcomini y López, 1997) que afecta la estructura de la costa generando una importante erosión (Bustos *et al.*, 2011b, 2012).

La primera sección de la tesis (capítulos dos y tres) están basados en información correspondiente a períodos de “buen tiempo”, esto por lo general se dio bajo la influencia de anticiclones. El capítulo dos se enfoca en el estudio de las variables ambientales de la zona de deslizamiento, mientras que el capítulo tres se basa en el estudio de la estructura y dinámica del zooplancton y su relación con las variables ambientales (físicoquímicas y meteorológicas). Los objetivos 1 y 2 se abordaron en el capítulo dos, mientras que los objetivos 3 y 4 fueron tratados en el capítulo tres. Luego de identificar la abundancia y características generales del zooplancton en condiciones de buen tiempo, la segunda sección de la tesis (capítulos cuatro y cinco), se focaliza en el estudio del efecto de las tormentas y fuertes vientos sobre el zooplancton de la zona de deslizamiento, analizando la variabilidad de la comunidad zooplanctónica luego del pasaje de distintos sistemas atmosféricos. El capítulo cuatro se enfoca en el efecto del pasaje de distintos sistemas atmosféricos (*p. ej.*, tormentas, líneas de inestabilidad, anticiclones, etc.) sobre la comunidad zooplanctónica, integrando datos de la velocidad y dirección del viento medidos en alta frecuencia con datos de baja frecuencia (muestreos discretos de variables físicoquímicas y biológicas). El capítulo cinco se enfoca específicamente en los efectos de tormentas sobre el zooplancton, en el cual se propone una metodología utilizando sólo datos oceanográficos (altura de ola y nivel de agua) y meteorológicos (estación meteorológica) medidos en alta frecuencia. Los objetivos 4 y 5 fueron los tratados en ambos capítulos. Por último, el capítulo 6 resume las conclusiones finales de la tesis.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTO

1. INTRODUCCIÓN

Las playas de arena brindan una amplia gama de funciones y servicios ecosistémicos tales como absorción y amortiguación de la energía de las olas, filtración de grandes volúmenes de agua de mar, descomposición de materiales orgánicos contaminantes, descomposición de detrito, reciclaje de nutrientes, área de cría para juveniles de peces, etc. (Defeo *et al.*, 2009; Dugan *et al.*, 2015). Por otro lado, la utilización de estos ambientes por el hombre genera diversas problemáticas como la contaminación del agua, la modificación de la fauna y la flora y la alteración del hábitat, lo cual pone a estos ambientes en un alto grado de vulnerabilidad., 2012).

Los estudios de monitoreo ambiental costero contribuyen al conocimiento del estado del ambiente marino y también proporcionan importantes contribuciones para el avance de distintas estrategias de desarrollo costero sustentable. Varios estudios han analizado las características de las variables fisicoquímicas (clorofila-a, materia orgánica, material particulado en suspensión, entre otras) y meteorológicas (vientos, temperatura del aire y precipitación) en áreas costeras estuarinas y mar abierto, sin embargo, estas zonas poco profundas y de gran importancia recreativa y ecológica han recibido poca atención respecto a esta temática. La mayoría de los estudios internacionales se han llevado a cabo en las costas sudafricanas donde se ha demostrado el aporte de nutrientes de aguas subterráneas (Campbell y Bate, 1996) y la influencia de variables físicas como el viento y la energía de las olas en la dinámica de la zona de deslizamiento y la morfología de la playa (Talbot y Bate 1988, 1989, 1990). Trabajos realizados en las costas del sur de Brasil confirmaron la influencia de variables meteorológicas en la dinámica y en la ecología de la zona de deslizamiento (Odebrecht *et al.*, 1995, 2010, 2014; Rezende 1995; Rezende y Brandini, 1997;

Röriq y García, 2003; Röriq *et al.*, 2006). A nivel nacional, se han llevado a cabo estudios en los cuales se ha corroborado la importante influencia de las variables ambientales en las playas de arena de las localidades balnearias de Monte Hermoso (Huamantínco, 2012; Brendel *et al.*, 2017; Menéndez *et al.*, 2016), Pehuen Co (Bustos, 2012) y Necochea (Merlotto *et al.*, 2016).

La información meteorológica es un factor clave para determinar las características de un lugar siendo una herramienta fundamental en el estudio ambiental (Bustos, 2012). Pues las condiciones del tiempo atmosférico originan diferentes procesos en la zona de deslizamiento que afectan la presencia de las diferentes especies marinas. El viento es la variable meteorológica más importante, dado que genera olas y estas originan corrientes litorales, diferentes alturas de olas, etc. (Huamantínco, 2012; Bértola *et al.*, 2007; Fiore *et al.*, 2009; Caló *et al.*, 2000). Un aumento en la velocidad de los vientos o tormentas de arena arrastradas por el viento genera una mayor mezcla en la columna de agua y consecuentemente, un aumento en la concentración de material en suspensión (Odebrecht *et al.*, 2010). Le siguen en importancia las precipitaciones y la temperatura del aire (Bértola *et al.*, 2007 Merlotto y Piccolo, 2009; Merlotto *et al.*, 2016). Considerando los procesos de interacción mar-atmósfera en la zona de deslizamiento, el estudio de la dinámica temporal de las variables ambientales (físicoquímicas y meteorológicas) realizados en este capítulo sirve como línea de base para la comprensión de estos ecosistemas sumamente energéticos.

El objetivo del presente capítulo es determinar la variación temporal de las principales variables físicoquímicas (temperatura del agua, salinidad, clorofila-a, material particulado en suspensión, materia orgánica particulada, nutrientes inorgánicos disueltos, altura significativa de la ola, velocidad y dirección de la corriente litoral) y meteorológicas (temperatura del aire, precipitación, dirección y velocidad del viento) en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección hace referencia a las actividades realizadas en las campañas de muestreo mensuales, a los métodos utilizados en el procesamiento y análisis de las muestras colectadas en la zona de estudio.

2.1. Tareas de campo

Se efectuaron un total de 29 campañas de muestreo con periodicidad mensual entre diciembre de 2016 y julio de 2019 (Tabla 1). Todas las mediciones y toma de muestras se realizaron en una estación fija (39°00' 19.55" S; 61°32' 53.50" W) durante las horas de luz y en marea bajante, en profundidades que oscilaron entre los 0,7 y 1,2 m (Figura 2). En la elección de los días de muestreo, se tuvo en cuenta que las condiciones climáticas fueran favorables para poder realizar las mediciones en forma segura (viento leve y olas de escasa altura). Ello significó que durante las campañas de muestro, por lo general, se observara la influencia de anticiclones en el área de estudio.

Tabla 1. Fechas de las campañas mensuales realizadas durante esta tesis en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

2016	2017	2018	2019
-	2 enero	2 enero	-
-	20 febrero	20 febrero	21 febrero
-	22 marzo	27 marzo	-
-	28 abril	20 abril	9 abril
-	17 mayo	24 mayo	8 mayo
-	1 junio	29 junio	-
-	4 julio	16 julio	2 julio
-	23 agosto	16 agosto	-
-	8 septiembre	4 septiembre	-
-	10 octubre	11 octubre	-
-	13 noviembre	29 noviembre	-
19 diciembre	19 diciembre	21 diciembre	-

En cada oportunidad se realizaron las actividades que se describen a continuación:

2.1.1. Medición de variables fisicoquímicas

La temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) y la conductividad/salinidad (mS cm^{-1}) se determinaron *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica *HORIBA U10*[®] debidamente calibrada previo a cada campaña. En cada oportunidad, se colectaron muestras de agua para la determinación de la concentración de clorofila-*a* (Clo-*a*, $\mu\text{g L}^{-1}$), distML en suspensión (MPS, mg L^{-1}), materia orgánica particulada (MOP, mg L^{-1}) y nutrientes inorgánicos disueltos (Nitritos, Nitratos, Fosfatos y Silicatos, μM). Todas las muestras se obtuvieron utilizando bidones de plástico previamente acondicionados (lavados con agua destilada y detergente no iónico) (Gardolinski *et al.*, 2001; Monbet y McKelvie, 2006). Las muestras refrigeradas fueron trasladadas al laboratorio evitando la exposición a la luz y usando heladeras portátiles con gel frío. La velocidad (VCL) y la dirección (DCL) de la corriente litoral se midieron utilizando una boya flotante en la zona de deslizamiento. Para el cálculo de la VCL (m s^{-1}), se midieron los metros recorridos por la boya flotante en un minuto. Para determinar la dirección predominante de la corriente litoral, se observó hacia cuál de las dos direcciones paralelas a la costa (Oeste-Este o Este-Oeste), se dirigió el dispositivo. Se realizaron 30 lecturas consecutivas de ambas variables, las cuales fueron tomadas en un punto fijo localizado exactamente a 0,5 m sobre el fondo de arena, siguiendo la metodología propuesta por Schneider (1981). La altura significativa de las olas (H_s) se estimó visualmente. En un primer paso, se alineó la altura del ojo del observador con la altura de la cresta de la ola. Se estimaron las alturas de un total de 30 olas y luego se seleccionaron las 10 más altas y se obtuvo su promedio. Este procedimiento se repitió tres veces. Posteriormente, se obtuvo el promedio de los tres conteos consecutivos realizados y se estimó entonces el valor medio del tercio de la ola más alta (H_s) que arribó a la costa (McLachlan *et al.*, 2018).

2.2. Tareas de laboratorio

El trabajo de laboratorio comprendió dos tipos de tareas, aquellas realizadas inmediatamente después de las campañas y las que consistieron en la aplicación de metodología analítica para la determinación de las variables ambientales.

2.2.1. Determinación de la concentración de clorofila-a

Para la determinación de Clo-a, se filtraron 200-300 ml del agua recogida en la zona de deslizamiento, utilizando filtros Whatman GF/F de 25 mm de diámetro, los cuales posteriormente se conservaron en sobres de papel aluminio en oscuridad en freezer a -80 °C. La concentración de Clo-a se realizó siguiendo el método recomendado por APHA-AWWA-WEF (1998). El procedimiento prosiguió con la extracción del pigmento con acetona 90% como solvente y la lectura de los extractos utilizando un fluorómetro *SLM-4800*. Los filtros con la muestra se colocaron en tubos tipo *Falcon* con 8 ml de acetona 90%, cubiertos con papel aluminio. El filtro se destruyó con un agitador y se homogeneizó la solución. Posteriormente, se la dejó reposar en oscuridad y refrigeración durante 24 horas. Pasado ese tiempo, las muestras fueron centrifugadas para su posterior lectura.

2.2.2. Determinación de MPS y MOP

La determinación de las concentraciones de MPS y MOP se realizó siguiendo el método gravimétrico. Se filtraron entre 200 y 500 ml de agua de mar con filtros GF/F de 45 mm de diámetro, previamente muflados a 530 °C. Posteriormente, los filtros fueron secados en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso constante (un día aproximadamente) y luego, fueron pesados para la estimación del material particulado. Para la determinación de MOP, se muflaron a 530 °C durante tres horas y se volvieron a pesar, calculando la concentración de MOP como la diferencia entre ambos pesos (Calliari *et al.*, 2005).

2.2.3. Determinación de nutrientes inorgánicos disueltos

Para la determinación de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), sílice disuelto (SiD) y fosfatos (PO_4^{3-}) se utilizaron métodos estandarizados descritos en APHA-AWWA-WEF (1998). Para ello, el agua previamente colectada se filtró con filtros Whatman GF/F de 47 mm de diámetro.

Los NO_2^- y NO_3^- fueron determinados empleando un destilador Buchi por el método Kjeldahl (límite de detección 0,1 a 6000 μM). Los SiD y PO_4^{3-} fueron analizados utilizando un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES), Shimadzu 9000 Simultáneo de Alta Resolución (límite de detección 0,5 a 5000 μM). Para valores por debajo del límite analítico se utilizó el valor del límite de detección ($X=\text{límite de detección}$). Todas las determinaciones de nutrientes inorgánicos disueltos fueron llevadas a cabo en el laboratorio de Servicios Analíticos de Suelos, Plantas y Ambiente (LABSPA) CERZOS-CONICET-UNS.

2.3. Registro de las variables meteorológicas

Para el estudio meteorológico de la región se utilizaron los datos provistos por una estación meteorológica automática de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) emplazada en la playa de Monte Hermoso, situada aproximadamente a 20 km de la zona de muestreo ($38^\circ 59' 18.13'' \text{ S}$, $61^\circ 18' 43.83'' \text{ W}$). Esta estación pertenece al sistema de redes de monitoreo del Instituto Argentino de Oceanografía (<http://emac.iado-conicet.gob.ar/2019/datosenvivo.php?idestacion=MH00>). Las estaciones meteorológicas costeras son sistemas modulares de bajo costo, cuya característica distintiva es la flexibilidad por parte del usuario para la configuración del monitoreo (frecuencia de muestreo, variables ambientales) de acuerdo con las necesidades de trabajo (Vitale *et al.*, 2018b). El intervalo de muestreo es de cinco minutos, transmitiendo cada 30 minutos vía GPRS a un servidor central en el IADO. La estación utilizada en esta investigación está equipada con sensores de dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, humedad y precipitación. Fue enteramente desarrollada en las instalaciones del instituto. Para el análisis de las condiciones meteorológicas del área de estudio se utilizaron los datos de la velocidad y la dirección del viento (m s^{-1}), temperatura del aire ($^\circ\text{C}$) y precipitación (mm) correspondientes al período de estudio diciembre 2016 - julio 2019. Los datos de velocidad del viento se analizaron calculando un promedio desde 72 horas anteriores al muestreo hasta el momento en el que se hizo efectivo el mismo, siendo ese valor promedio el utilizado como representativo de dicho

muestreo. Los datos de temperatura del aire se analizaron calculando un promedio mensual, mientras que los de precipitación se utilizó el valor de la sumatoria de precipitación registrada durante el mes.

2.4. Análisis estadístico

Para determinar las relaciones entre las distintas variables ambientales (físicoquímicas y meteorológicas) se efectuó un análisis de correlación de Spearman y un análisis de componentes principales (ACP). El ACP se realizó con el objetivo de conocer las relaciones entre las distintas variables ambientales e identificar sus principales fuentes de variación. En el uso del ACP se eligió el coeficiente de Spearman debido a las diferentes escalas y varianza de las variables físicoquímicas y meteorológicas incorporadas en el estudio. Se utilizó el programa *XLSTAT* versión 2014.5.03.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de variables físicoquímicas de la zona de deslizamiento

En esta sección se describe la dinámica temporal de las principales variables físicoquímicas obtenidas durante el transcurso de esta tesis en la columna de agua de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Para ello, se analizaron los datos obtenidos en las campañas de muestreo realizadas entre diciembre de 2016 - julio de 2019.

3.1.1. Temperatura del agua

La temperatura del agua presentó una clara variación estacional, con valores mínimos en los meses de invierno y máximos en los de verano (Figura 4). El valor mínimo fue 7,6 °C en junio de 2018 y el máximo 25 °C en febrero de 2017. El valor medio durante el período de estudio fue $16,1 \pm 5,3$ °C.

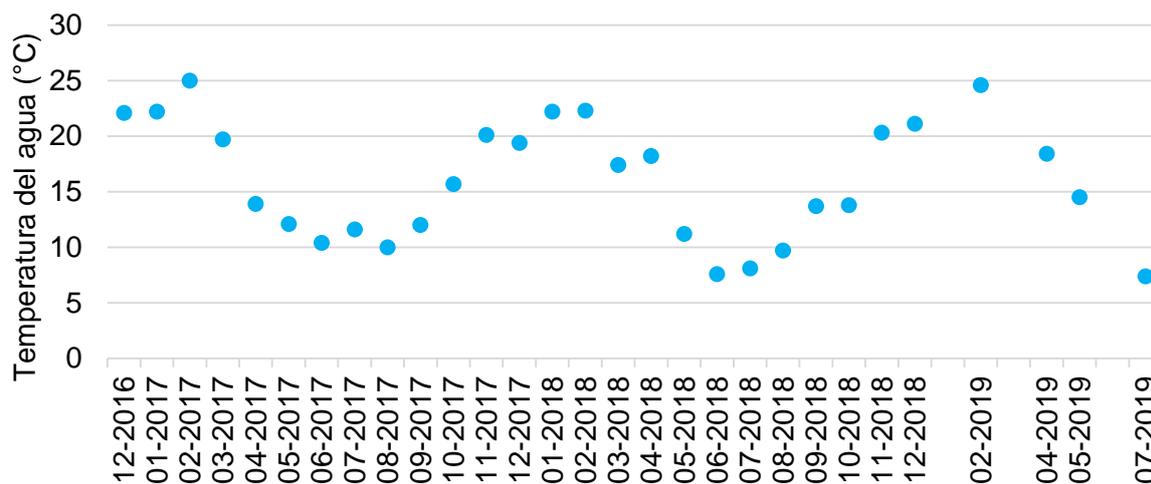


Figura 4. Temperatura del agua (°C) medida mensualmente en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.1.2. Salinidad

La salinidad presentó un valor mínimo de 31,5 en agosto de 2017 y un máximo de 35,4 en el mes de marzo de 2018, siendo el valor medio $33,2 \pm 1,1$. En 2017 los valores mínimos se observaron mayormente en la época invernal y máximos en la época estival. En 2018 la salinidad fue algo más variable, presentando valores máximos en la época estival y mínimos en la primavera (Figura 5).

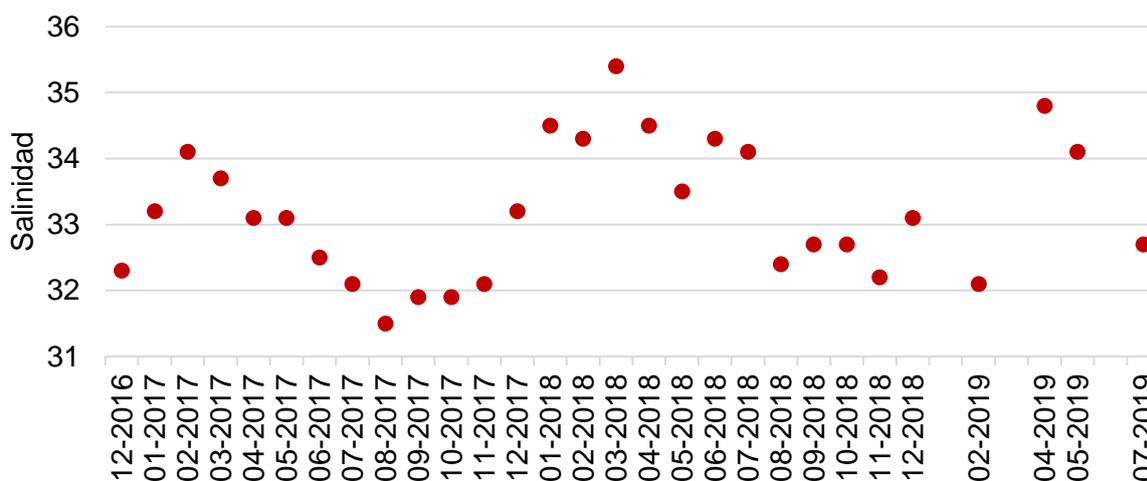


Figura 5. Salinidad del agua medida mensualmente en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.1.3. Clorofila-a

La concentración de Clo-a presentó importantes fluctuaciones durante el período de estudio y no se detectó una tendencia clara. El valor medio fue $7,6 \pm 4,2 \mu\text{g L}^{-1}$ siendo el valor mínimo $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ en febrero de 2017 y el máximo de $19,6 \mu\text{g L}^{-1}$ en agosto de 2018 (Figura 6).

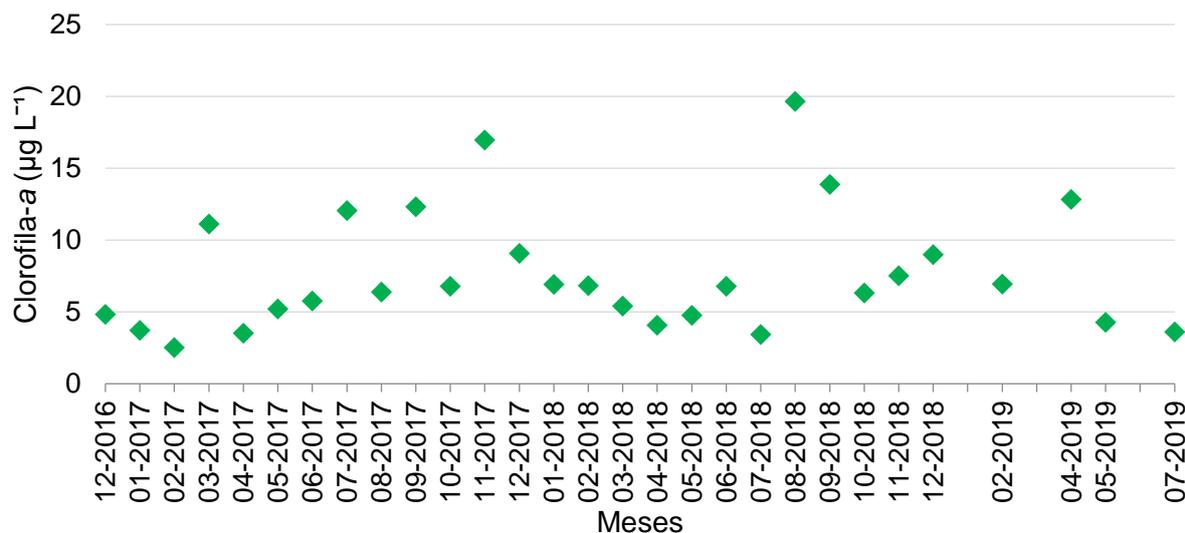


Figura 6. Variación de la concentración de clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) medida mensualmente en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.1.4. Material particulado en suspensión y materia orgánica particulada

La concentración de MPS mostró una gran variabilidad durante el período de estudio, sin un patrón estacional definido. El valor medio fue $179,8 \pm 105,1 \text{ mg L}^{-1}$, siendo el valor máximo $444,8 \text{ mg L}^{-1}$ en el mes de julio de 2018 y el mínimo $45,2 \text{ mg L}^{-1}$ en enero de 2017. La concentración de MOP también fue fluctuante y sin un patrón estacional claro. El valor máximo fue $93,8 \text{ mg L}^{-1}$ en marzo de 2018 y el valor mínimo, de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$ en diciembre 2016. El valor medio durante el período de estudio fue de $21,1 \pm 19,7 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 7).

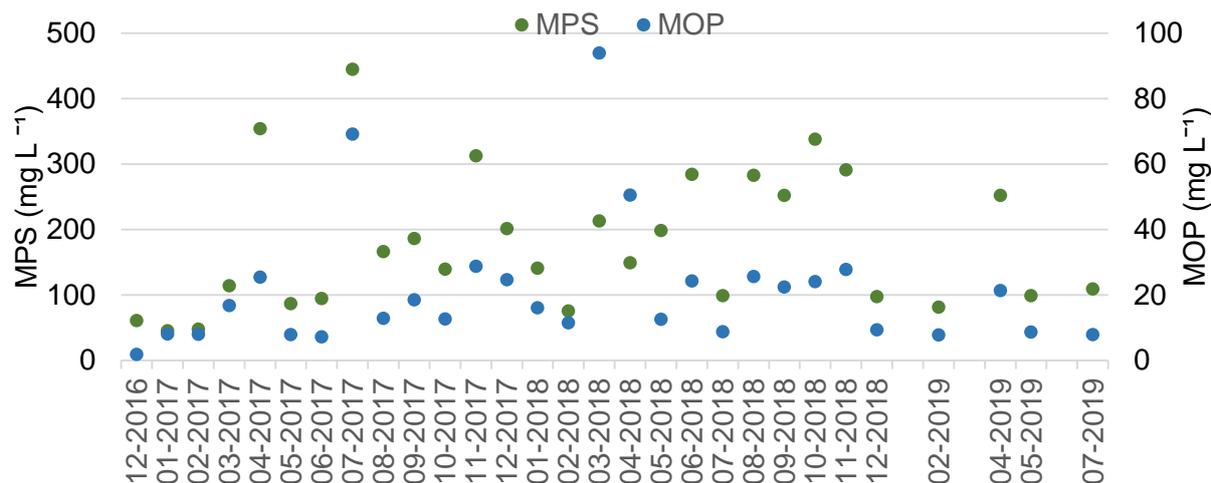


Figura 7. Variación mensual de la concentración de MPS y MOP (mg L⁻¹) en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.1.5. Nutrientes inorgánicos disueltos

La concentración de nutrientes inorgánicos disueltos varió ampliamente durante el período de muestreo. Los valores de PO_4^{3-} y $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ fueron en general mayores y más fluctuantes durante 2017, en comparación con 2018 y 2019. En cambio, los SiD fluctuaron durante todo el período de estudio, sin presentar diferencias de concentraciones entre años. Los $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ presentaron un valor medio de $1,1 \pm 1,2 \mu\text{M}$, con un valor mínimo de $0,26 \mu\text{M}$ en abril de 2017 y un máximo de $5,51 \mu\text{M}$ en enero de 2017 (Figura 8). En cuanto a los PO_4^{3-} , siguieron el mismo patrón que los compuestos nitrogenados, variando entre un mínimo de $0,1$ y un máximo de $5,3 \mu\text{M}$, arrojando un valor medio de $0,69 \pm 1 \mu\text{M}$. La relación N: P arrojó una media de $3,46 \mu\text{M}$ siendo el máximo valor de la relación de $9,8 \mu\text{M}$ en enero de 2017. Las concentraciones de SiD presentaron un valor medio de $10,6 \pm 4,3 \mu\text{M}$, con un valor mínimo de $3,4 \mu\text{M}$ en julio de 2017 y un máximo de $18,3 \mu\text{M}$ en mayo de 2017 (Figura 8).

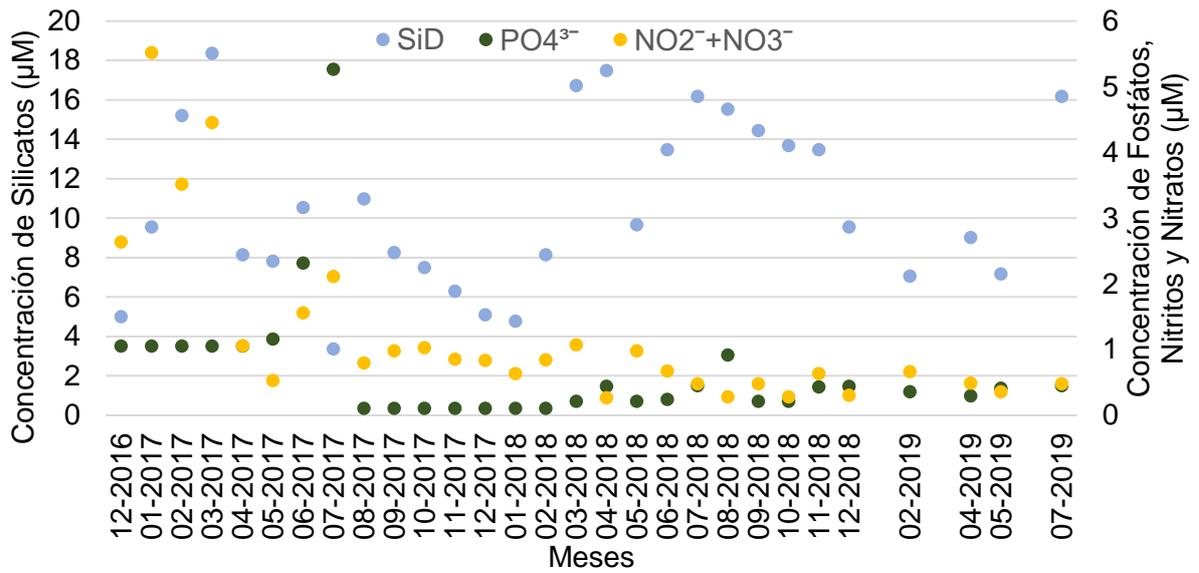


Figura 8. Concentración mensual de nitritos+nitratos ($\text{NO}_2^-+\text{NO}_3^-$), fosfatos (PO_4^{3-}) y silicatos (SiD) en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.1.6. Velocidad y dirección de la corriente litoral (VCL, DCL)

La VCL resultó máxima en el mes de noviembre de 2017 ($1,05 \text{ m s}^{-1}$) y mínima en febrero de 2017 ($0,05 \text{ m s}^{-1}$). El valor medio fue $0,27\pm 0,18 \text{ m s}^{-1}$ (Tabla 2). La DCL fue mayormente con dirección Este (80%), siendo sólo el 20% de las mediciones con dirección Oeste.

Tabla 2. Velocidad de la corriente litoral ($m s^{-1}$), altura significativa de la ola (m) y dirección de la corriente litoral medidas mensualmente en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Período diciembre 2016 - julio 2019. Abreviaturas: VCL: velocidad de la corriente litoral; H_s : Altura significativa de la ola; DCL: dirección de la corriente litoral.

Fecha	H_s (m)	VCL ($m s^{-1}$)	DCL
dic-16	0,20	1,03	Oeste
ene-17	0,40	0,40	Este
feb-17	0,40	0,05	Este
mar-17	0,40	0,34	Este
abr-17	0,53	0,30	Este
may-17	0,50	0,33	Este
jun-17	0,20	0,21	Este
jul-17	0,30	0,13	Este
ago-17	0,20	0,16	Oeste
sep-17	0,30	0,23	Este
oct-17	0,50	0,26	Este
nov-17	0,80	1,05	Este
dic-17	0,30	0,18	Este
ene-18	0,20	0,34	Oeste
feb-18	0,30	0,30	Oeste
mar-18	0,43	0,16	Este
abr-18	0,20	0,11	Oeste
may-18	0,70	0,10	Este
jun-18	0,30	0,06	Este
jul-18	0,70	0,23	Este
ago-18	0,33	0,15	Este
sep-18	0,20	0,18	Oeste
oct-18	0,30	0,11	Este
nov-18	0,30	0,29	Este
dic-18	0,30	0,08	Este
feb-19	0,36	0,26	Oeste
abr-19	0,30	0,11	Este
may-19	0,40	0,22	Este
Jul-19	0,30	1,02	Este

3.1.7. Altura significativa de las olas

Con respecto a H_s , el valor máximo (0,8 m) se registró en noviembre de 2017, coincidiendo con el valor máximo de VCL. El valor mínimo fue 0,2 m en diciembre 2016, junio y agosto de 2017, enero, abril y septiembre de 2018 (Tabla 2).

3.2. Variables meteorológicas

A continuación, se analizan las variables meteorológicas medidas en alta frecuencia utilizando las estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) en la zona de estudio durante el período diciembre 2016 - julio 2019.

3.2.1. Velocidad y dirección del viento

Durante el período de estudio, la velocidad media del viento fue de $4,7 \text{ m s}^{-1}$. La dirección predominante correspondió al sector N-NNW (29,74%), con una velocidad media de $5,1 \text{ m s}^{-1}$. Las mayores velocidades correspondieron al cuadrante E-ESE-SE (13,37%) con una velocidad media de $5,2 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 9), siendo el año 2017 el más ventoso (velocidad media anual= $4,9 \text{ m s}^{-1}$). La velocidad promedio mensual del viento mostró un patrón estacional, con medias mensuales altas durante la primavera-verano y medias mensuales bajas durante el invierno. El mes más ventoso fue noviembre de 2017, con una media mensual de $6,4 \text{ m s}^{-1}$. El mes menos ventoso fue mayo, con una velocidad media de $3,6 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 10).

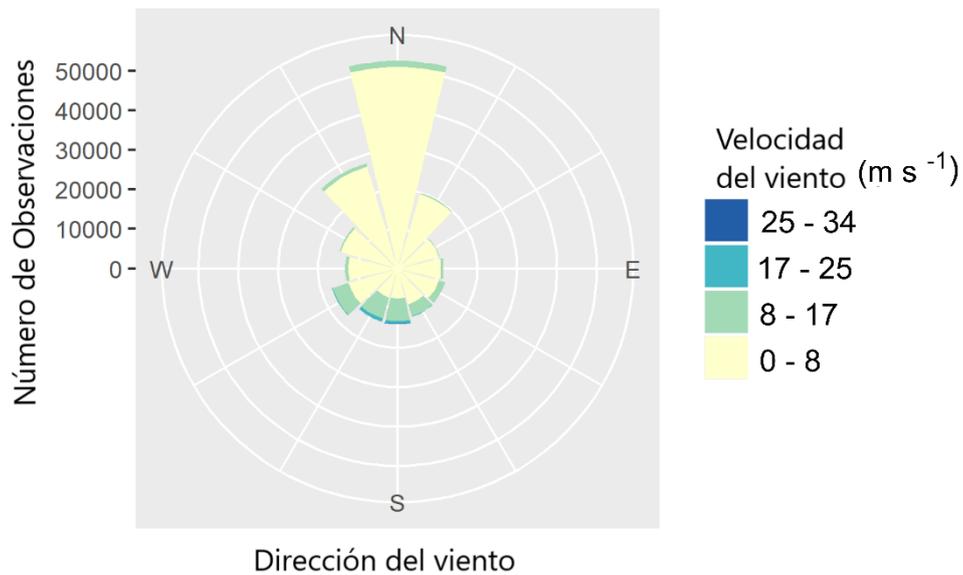


Figura 9. Rosa de los vientos en donde se observa la velocidad y dirección predominante (m s^{-1}) durante todo el período de muestreo.

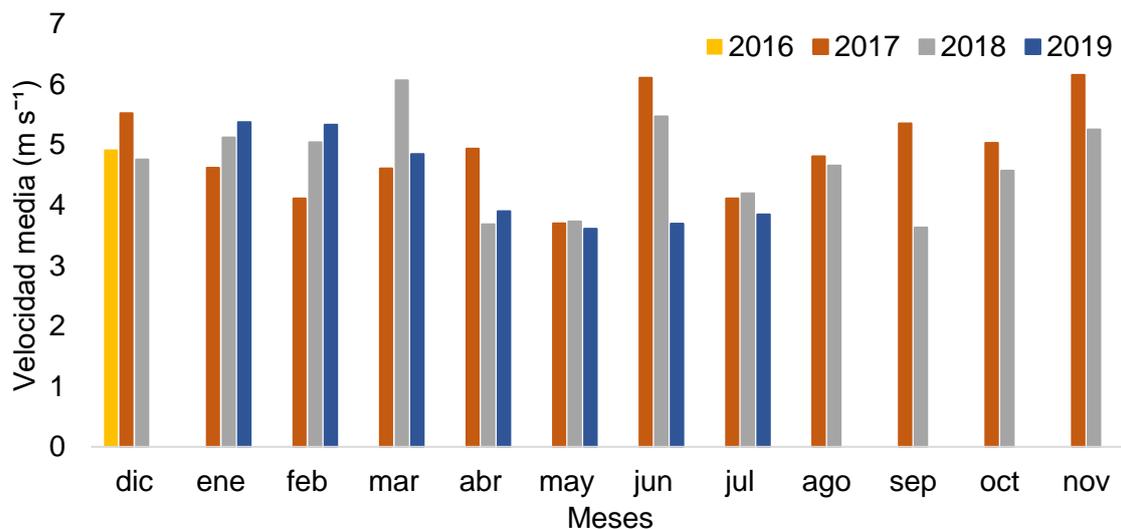


Figura 10. Velocidad media mensual del viento. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.2.2. Temperatura del aire

La temperatura media del aire durante el período de estudio fue $15,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y evidenció una variación estacional típica, con valores mínimos en los meses de invierno y máximos en verano (Figura 11). La temperatura media mensual máxima fue $23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de enero de 2018 y la media mensual mínima, $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el mes de junio de 2018. Las

temperaturas medias anuales durante el período de estudio resultaron similares, siendo 14,2 °C en el 2017 y 14,7 °C en el 2018.

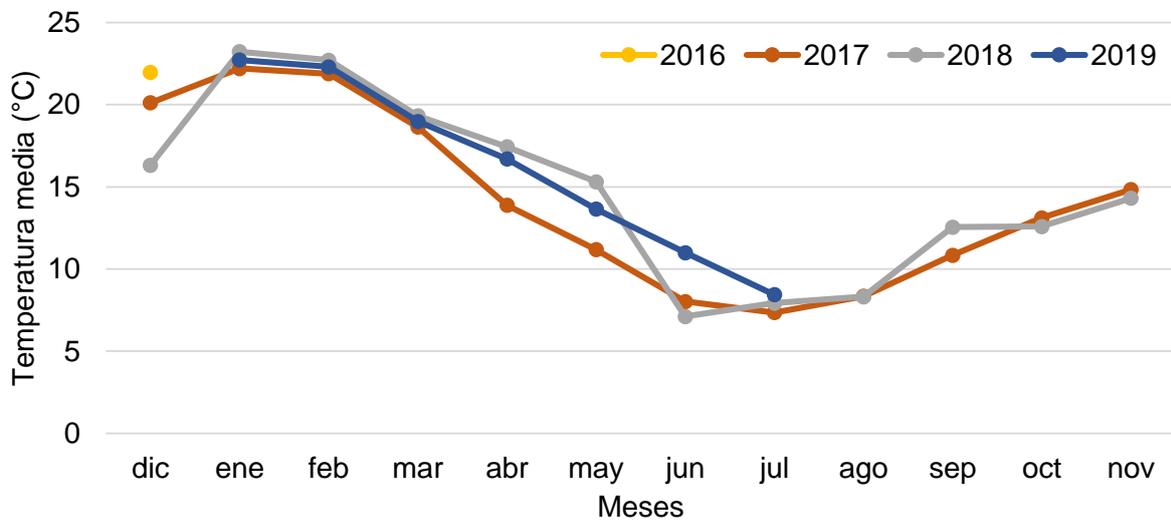


Figura 11. Temperatura media mensual del aire (\pm desvío estándar) (°C) obtenidas de datos de la estación EMAC. Período diciembre 2016 - julio 2019.

3.2.3. Precipitaciones

Durante el período de muestreo las precipitaciones mostraron una estacionalidad marcada, con los valores más altos durante los meses de verano (204,4 mm en marzo-2017 y 168,2 mm en enero-2017) y los más bajos en invierno (3,4 mm en julio-2019) (Figura 12). La media anual fue 666,4 mm. El volumen total de las precipitaciones registradas durante el período de estudio fue 1653,4 mm, siendo el 2017 el año más lluvioso, con un total de 743 mm mientras que en el 2018 se registraron 589,8 mm (Figura 12).

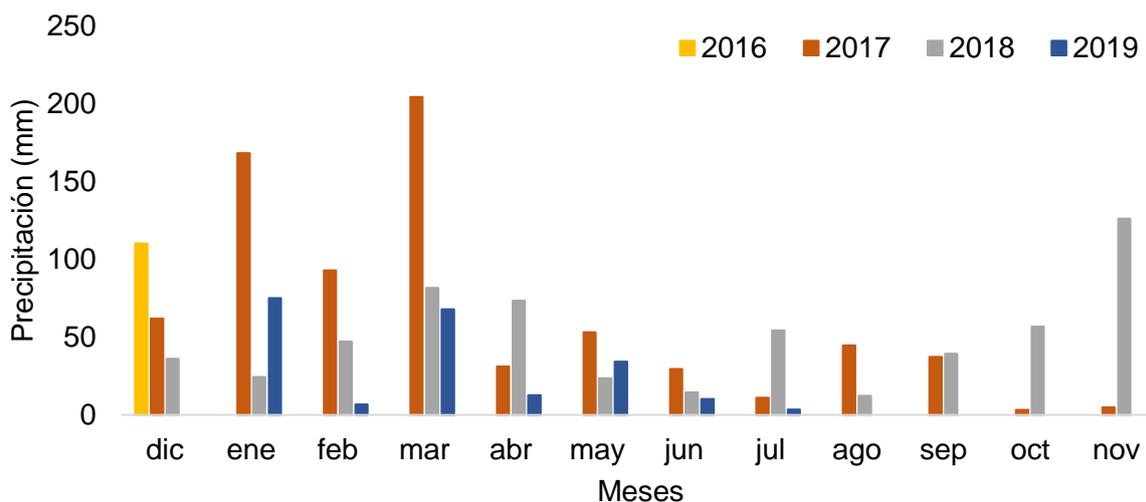


Figura 12. Precipitación mensual durante el período diciembre 2016 - julio 2019.

3.3. Análisis estadístico: variación temporal de variables fisicoquímicas y meteorológicas

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico de los datos para estudiar la relación entre las variables fisicoquímicas y meteorológicas de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

3.3.1. Correlación de Spearman

La temperatura del aire se correlacionó positivamente con la temperatura del agua, la salinidad, la precipitación y la VCL; y negativamente con el MPS (Tabla 3). Por otro lado, la velocidad del viento estuvo positivamente correlacionada con la concentración de Clo-a y negativamente con PO_4^{3-} . Por otra parte, la VCL se correlacionó negativamente con la concentración de SiD. La MOP se correlacionó positivamente con la Clo-a y el MPS y a su vez, este último se correlacionó positivamente con la Clo-a y negativamente con la temperatura del agua (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz de correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas y meteorológicas. Los datos en negrita indican valores significativos ($p < 0,01$). T agua: temperatura del agua; Clo-a: clorofila-a; MPS: material particulado en suspensión; MOP: materia orgánica particulada; $\text{NO}^{3-}+\text{NO}^{2-}$: nitratos y nitritos; PO_4^{3-} : fosfatos; SiD: silicatos; H_s : altura significativa de la ola; VCL: velocidad de la corriente litoral; T aire: temperatura del aire.

Variables	T agua	Salinidad	Clo-a	MPS	MOP	$\text{NO}^{3-}+\text{NO}^{2-}$	PO_4^{3-}	SiD	H_s	VCL	Viento	T aire	Precipitación
Temp. agua	1												
Salinidad	0,3389	1											
Clo-a	0,0594	-0,3532	1										
MPS	-0,3968	-0,2650	0,4458	1									
MOP	-0,1266	-0,0050	0,4433	0,8562	1								
$\text{NO}^{3-}+\text{NO}^{2-}$	0,2696	-0,0344	-0,1240	-0,2007	-0,1299	1							
PO_4^{3-}	-0,0907	0,0781	-0,3501	-0,2483	-0,2814	0,2069	1						
SiD	-0,3217	0,1434	-0,2242	0,0416	0,1380	-0,2182	0,1715	1					
H_s	-0,0025	0,2175	-0,2320	0,0114	0,0152	0,2159	0,0845	0,0128	1				
VCL	0,3594	-0,1161	0,0437	-0,2477	-0,1983	0,3402	0,0030	-0,4086	0,1809	1			
Viento	0,2707	-0,2792	0,5374	0,2207	0,3537	-0,0234	-0,5008	-0,2516	-0,0213	0,0064	1		
Temp. aire	0,9433	0,3780	-0,0002	-0,3973	-0,1384	0,2767	-0,1426	-0,2835	0,0256	0,3715	0,2018	1	
Precipitación	0,3601	0,2398	-0,2892	-0,2818	-0,0167	0,2125	0,2005	0,3428	-0,1042	0,1611	-0,0557	0,3870	1

3.3.2. Análisis de componentes principales (ACP)

Las tres primeras componentes obtenidas a partir del ACP explicaron el 56,48 % de la variabilidad total observada. Las variables que contribuyeron al primer componente (CP1) fueron la temperatura del agua, las concentraciones de MPS, NO_2^- y NO_3^- , la temperatura del aire y la precipitación. El segundo componente (CP2) estuvo mayormente explicado por la concentración de Clo-a y SiD y la velocidad del viento. Por último, la salinidad, la concentración de MOP y la VCL se hallaron representadas en el componente 3 (CP3). En la tabla 4 se muestran las correlaciones entre las variables y los tres primeros componentes. En el gráfico bidimensional de las dos primeras componentes (CP1 y CP2) se visualiza la disposición de las variables, las variables suplementarias (años) y el grado de correlación entre las mismas (Figura 13a). El ordenamiento de las fechas de muestreo (Figura 13b) puso en evidencia la variación interanual, así como la variabilidad estacional a lo largo de un mismo año de muestreo, siendo el año 2017 el de mayor variabilidad entre meses. Se puede observar también una clara agrupación de los meses de distintos años pertenecientes a una misma estación, evidenciando una fuerte estacionalidad para la región a lo largo de todo el período de muestreo. Las muestras correspondientes al año 2017 mostraron una estacionalidad menos marcada en comparación al año 2018. Esto se deduce a partir del ordenamiento del ACP donde se visualiza que los meses correspondientes a una misma estación del año 2018 están más agrupados entre sí, respecto de los meses de una misma estación correspondiente a los otros años de muestreo, por ejemplo, el año 2017. Los meses de verano presentaron los valores más altos de precipitaciones y nutrientes nitrogenados disueltos ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$). Los meses correspondientes al otoño e invierno de 2017, se caracterizaron por presentar altos valores de MPS y SiD, sin embargo, las temperaturas no fueron tan bajas en comparación con los otros años. Los meses correspondientes a la primavera 2017, se caracterizaron por presentar los vientos más fuertes y las concentraciones de MPS y Clo-a más elevadas.

Tabla 4. Análisis de componentes principales. correlaciones entre las variables estudiadas (T agua: temperatura del agua; Clo-a: clorofila-a; MPS: material particulado en suspensión; MOP: materia orgánica particulada; NO³⁻+NO²⁻: nitratos y nitritos; PO₄³⁻: fosfatos; SiD: silicatos; H_s: altura significativa de la ola; VCL: velocidad de la corriente litoral; T aire: temperatura del aire; Precip.: precipitación) y los tres primeros componentes (CP1, CP2 y CP3) del ACP, los cuales explican el 56,48 % de la varianza. Los valores en negrita corresponden a las correlaciones significativas en cada eje.

	CP1	CP2	CP3
T agua	0,7713	0,5063	0,2173
Salinidad	0,4352	-0,1929	0,5544
Clo-a	-0,4549	0,6507	-0,0047
MPS	-0,7421	0,3711	0,2057
MOP	-0,4128	0,2772	0,5786
NO ³⁻ +NO ²⁻	0,6253	-0,0364	-0,2584
PO ₄ ³⁻	-0,0050	-0,2454	-0,3397
SiD	-0,0988	-0,5493	0,5005
H _s	-0,0018	0,0775	-0,2186
VCL	0,2977	0,4954	-0,5276
Viento	-0,0599	0,7880	0,2089
T aire	0,8397	0,4121	0,2323
Precip.	0,6531	-0,1486	0,2469

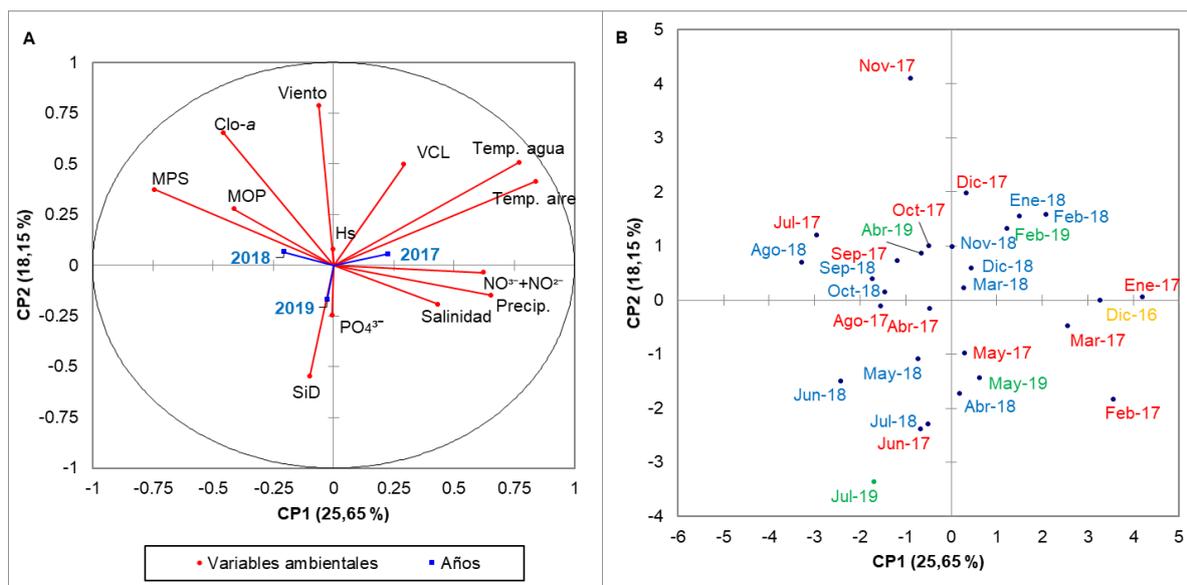


Figura 13. Representación bidimensional del análisis de componentes principales en el espacio de los dos primeros componentes (CP1 y CP2) **A:** Correlación entre las variables fisicoquímicas, meteorológicas y años (variables suplementarias) y los dos primeros componentes (CP1 y CP2), **B:** fechas de muestreo. T agua: temperatura del agua; Clo-a: clorofila-a; MPS: material particulado en suspensión; MOP: materia orgánica particulada; $\text{NO}^{3-} + \text{NO}^{2-}$: nitratos y nitritos; PO_4^{3-} : fosfatos; SiD: silicatos; H_s : altura significativa de la ola; VCL: velocidad de la corriente litoral; T aire: temperatura del aire; Precip.: precipitación.

El año 2018 evidenció la estacionalidad más fuerte. Como es esperable, los meses de verano presentaron las temperaturas más elevadas y los meses de otoño e invierno, las temperaturas más bajas registradas en el período de estudio. A su vez, los meses de otoño e invierno se caracterizaron por altas concentraciones de MPS y SiD, coincidiendo con el otoño-invierno 2017, lo cual se observa por el similar agrupamiento. La primavera 2018 se caracterizó por ser poco ventosa y con elevadas concentraciones de MOP. Las muestras correspondientes al año 2019 fueron explicadas por la CP2. Los meses de verano se agruparon de manera similar al año 2018. En cuanto al otoño e invierno, estas muestras se agruparon de manera similar a las del resto de los años, presentando altas concentraciones

de SiD durante el invierno. Por último, a lo largo del CP3, las muestras se ordenaron de acuerdo con la salinidad, MOP y VCL, siendo los meses de noviembre y diciembre de 2017 los de mayores VCL y julio de 2017, el mes con mayores concentraciones de MOP. En cuanto a la salinidad, el otoño del 2018 fue el que registró los mayores valores, coincidiendo con la marcada estacionalidad observada este año.

4. DISCUSIÓN

La playa de Pehuen Co se encuentra localizada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en el partido de Coronel Rosales (Bustos, 2012), en la subregión de la región pampeana llamada Altiplano templado de las colinas de Ventania (Aliaga *et al.*, 2017). Esta zona está caracterizada por su clima templado, con inviernos y veranos térmicamente bien diferenciados. Las temperaturas medias del aire fluctuaron estacionalmente, siendo la media durante todo el período de estudio (15,1 °C) algo mayor a la mencionada por Bustos (2012), quien registró una media anual para la región de 14,3 °C en el año 2005. La estacionalidad de las precipitaciones fue marcada, siendo mayores en verano, con totales anuales que superaron los valores registrados por Bustos (2012), cuyos valores de precipitación total anual no superaron los 500 mm durante el período 2005-2009. En cuanto a la velocidad y dirección del viento, las medias anuales en esta tesis fueron algo menores a las publicadas por Bustos *et al.* (2012) (6,3 m s⁻¹) para el período 2005-2007, con valores medios anuales de 4,9 m s⁻¹ (2017) y 4,6 m s⁻¹ (2018). Los valores máximos se observaron en primavera, alcanzando medias diarias de hasta 5,6 m s⁻¹ lo cual denota la presencia de fuertes vientos en la zona, siendo estos predominantemente del N, NW y NE. Sin embargo, los vientos con mayores velocidades provinieron del sector S, SE y SW. Si bien todavía no se dispone de una serie larga de tiempo para la región, este estudio permitió comparar datos actuales con información previa publicada, observándose una importante variabilidad climática en el área de estudio. El aumento de la temperatura media anual junto con el aumento de las precipitaciones anuales, indicaría que la zona muestra cierta variabilidad climática, siendo este período de

estudio más húmedo y caluroso en comparación con años anteriores (2005-2009). Sin embargo, no sucedió lo mismo con la velocidad del viento, la cual fue menor en el período de estudio comparado con el período 2005-2009, observándose una disminución de las velocidades medias anuales de un período a otro. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Brendel *et al.* (2017) para la zona costera de Monte Hermoso, situada a 25 km de Pehuen Co.

La temperatura del agua presentó una variación estacional clara, con valores máximos en los meses de verano y mínimos en los de invierno. Los datos registrados en esta tesis coinciden con los indicados en trabajos previos publicados en el área de estudio (Bustos, 2012; Carcedo, 2014) y en zonas cercanas como el balneario de Monte Hermoso (Huamantínco, 2012; Menéndez *et al.*, 2016). Se observó una alta correlación entre la temperatura del aire y la temperatura del agua (Delgado, 2013; Perillo *et al.*, 2014; Delgado *et al.*, 2016), evidenciando que la temperatura del agua responde fuertemente a las variaciones de la temperatura del aire. En nuestra región, la temperatura de la superficie del mar está muy acoplada con variaciones de temperatura del aire, evidenciando un fuerte calor intercambio entre el mar y la atmósfera (Perillo *et al.*, 2004; Delgado, 2013; Delgado *et al.*, 2016). Se asume esta interacción debido a los procesos de calentamiento y enfriamiento, que parecen ocurrir primero cerca de la costa (en aguas < 2 m) y posteriormente en alta mar (Delgado 2013; Delgado *et al.*, 2016). Por otro lado, hay evidencia de que la zona costera de Pehuen Co está muy influenciada por la presencia de la columna de agua procedente de la EBB, el cual se caracteriza por veranos cálidos (26 ° C) e inviernos fríos (7 ° C) (*p. ej.*, Piccolo y Perillo 1990; Menéndez *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2016). Sumado a estas evidencias, vale la pena nombrar la presencia de restos de *Spartina spp.* pertenecientes a las marismas típicas encontradas en el EBB, en las costas de Pehuen Co y Monte Hermoso, reforzando una vez más la llegada de las aguas del EBB a estas costas. Además, trabajos realizados en el área demuestran que el sedimento en suspensión de Monte Hermoso (obviamente de Pehuen Co

por estar más cerca) corresponden al EBB (Perillo y Cuadrado, 1990; Cuadrado y Perillo, 1990).

La salinidad mostró un patrón de distribución temporal claro lo largo del período de estudio. Los valores registrados coinciden con los esperados para el área de estudio (Bustos, 2012) y para áreas cercanas como el balneario de Monte Hermoso (Huamantínco, 2014; Delgado *et al.*, 2016; Menéndez *et al.*, 2016). Se observaron diferencias interanuales significativas, siendo 2017 un año cuya salinidad estuvo más asociada a las variaciones de la temperatura del aire, altas salinidades se hallaron en verano y bajas en invierno debido a los procesos de evaporación que caracterizan cada estación del año (Piccolo y Perillo, 1990). En cambio, en 2018 no se observó un patrón temporal claro, las salinidades más altas se registraron en el invierno/otoño mientras que las más bajas se observaron en primavera. En términos generales, la salinidad de toda esta zona costera está asociada, no sólo a la evaporación típica del agua sino además al régimen de precipitaciones regionales y a las descargas fluviales de agua dulce, principalmente del río Negro, río Colorado y la pluma del EBB (Cuadrado *et al.*, 2002; Lucas *et al.*, 2005; Delgado, 2013; Delgado *et al.*, 2015). Con respecto a la evaporación, esto se evidenció claramente en 2017, año en el cual la salinidad podría haber estado estrechamente asociada a los cambios en la temperatura del aire posiblemente por los procesos de evaporación que aumentan los niveles de salinidad en la zona de deslizamiento. Sin embargo, no se observaron asociaciones de la salinidad con la precipitación. Ciertamente otros procesos locales, particularmente asociados a la hidrodinámica característica de la zona de deslizamiento, originaron los cambios en la salinidad observados en la primavera del 2018.

Las concentraciones de Clo-a fueron variables durante el período de muestreo, encontrándose en un rango comprendido entre 2,5 y 19,6 $\mu\text{g L}^{-1}$. Estos valores fueron altos comparados con aquellos reportados para la plataforma interior (valores entre 0,5 y 2,85 $\mu\text{g L}^{-1}$, Delgado *et al.*, 2016). Por lo tanto, se asume que la zona de deslizamiento es más productiva que las aguas de la plataforma interior adyacente. Sin embargo, los valores

resultaron bajos si los comparamos con playas en donde se registran acumulaciones de diatomeas en las zonas de deslizamiento (concentraciones de hasta $1600 \mu\text{g L}^{-1}$) (Odebrecht *et al.*, 1995, 2010, 2014; Rörig y García, 2003). Sin embargo, se observó una correlación significativa de la Clo-a con velocidades de viento fuertes y altas concentraciones de MPS y MOP. Esto último podría asociarse a los procesos hidrodinámicos que caracterizan a la zona de deslizamiento ya que la turbulencia generada por las olas al romper, podría ocasionar la resuspensión de nutrientes del fondo y de diatomeas bentónicas, dando como resultado concentraciones altas de MPS -y turbidez- y clorofila (Menéndez *et al.*, 2019). La zona de deslizamiento se caracteriza por ser un entorno físicamente dinámico y altamente productivo, lo cual se evidencia a través de importantes interacciones tróficas (Stull *et al.*, 2016). En noviembre de 2017 se registraron valores altos de Clo-a junto con altas velocidades de viento, las cuales superaron los 11 m s^{-1} . Como resultado de esto, se generaron olas de gran altura. Este fenómeno podría haber generado la resuspensión de la Clo-a depositada en el fondo de la zona de deslizamiento, situándola en la columna de agua y probablemente poniéndola a disposición de los consumidores primarios presentes en estas aguas (Odebrecht *et al.*, 1995). De esta manera, podría pensarse que la turbulencia generada por las olas al romper es, en parte, responsables de la gran productividad de este ecosistema. Además, debemos tener en cuenta que los vientos fuertes en la plataforma interna generan pulsos importantes de productividad primaria pelágica (Calliari, 2007), quizás parte de esa producción generada en estas aguas sea advectada a la zona litoral activa por circulación del agua, resultando una inyección de nutrientes a la zona fótica. De esta manera, podría sugerirse que ambos procesos representarían el inicio de una serie de interacciones en la columna de agua responsables de la productividad de este ecosistema.

En efecto, el área de estudio se caracteriza por ser una zona con alta concentración de material particulado en suspensión. Las concentraciones de MPS y MOP durante el período de estudio estuvieron significativamente correlacionadas y fueron altas en comparación con las registradas en otros estudios en la región (Perillo y Cuadrado, 1990;

Menéndez *et al.*, 2016). Los altos niveles de sedimentos se explicarían en primera instancia por la turbulencia generada por las olas al romper. A su vez, en estas zonas se suma el aporte de sedimentos finos provenientes de la pluma del EBB (Perillo y Cuadrado, 1990; Delgado, 2013). Un ejemplo de estas condiciones se observó en el mes de abril de 2017, donde el MPS presentó un valor de 354,16 mg L⁻¹ debido a los fuertes vientos provenientes del sudoeste, con ráfagas superiores a 11 m s⁻¹ dos días previos muestreo.

Las concentraciones de nutrientes fueron variables a lo largo del período de estudio. Los valores de PO₄³⁻ y NO₂⁻+NO₃⁻ fueron en general mayores y más fluctuantes durante el 2017 en comparación con 2018 y 2019. En cambio, los SiD fluctuaron durante todo el período de estudio, sin presentar diferencias de concentraciones entre años. Las concentraciones registradas de nutrientes inorgánicos disueltos resultaron similares a los citados para otras zonas de deslizamiento cercanas al área de estudio (Menéndez *et al.*, 2016). Sin embargo, fueron algo mayores a las registradas por Gayoso y Muglia (1991) en la zona de deslizamiento de Pehuen Co durante el período noviembre 1989 - marzo 1991. En las zonas de deslizamiento de las playas del Noreste del océano Pacífico, en Washington (Lewin, 1978), Sudáfrica (Campbell y Bate, 1997, 1998) y sur de Brasil (Niencheski *et al.*, 2007; Odebrecht *et al.*, 2010, 2014), los compuestos nitrogenados (NO₂⁻+NO₃⁻), en comparación con el PO₄³⁻ y el SiD, suele ser un nutriente limitante. En este estudio, los NO₂⁻+NO₃⁻ y la relación N: P resultaron más bajos que los valores registrados en playas de Brasil (Odebrecht *et al.*, 2010). Por otro lado, en playas de arena al sur de Brasil, los valores altos de NO₂⁻+NO₃⁻ se relacionaron con extremos períodos de gran precipitación (Odebrecht *et al.*, 2010). En este estudio, si bien estadísticamente los NO₂⁻+NO₃⁻ no se correlacionaron significativamente con las precipitaciones, resultaron más altos durante los períodos lluviosos. Las descargas de aguas subterráneas se han mencionado como la principal fuente de nutrientes para el mantenimiento de las diatomeas en la zona de deslizamiento en las playas de Sudáfrica (Campbell y Bate, 1991, 1998) y sur de Brasil (Niencheski *et al.*, 2007; Odebrecht *et al.*, 2014). A pesar de que no hay información certera en el área de Pehuen Co, en general cabe destacar

que el flujo de agua subterránea en el área de estudio tiene una orientación dominante N-S hacia la costa, generando descargas hacia el mar (Andes *et al.*, 2019). Por lo tanto, la influencia de la descarga de aguas subterráneas podría ser una fuente principal de compuestos nitrogenados en el área de estudio, generando aportes de nutrientes que afectarían la productividad en las zonas de deslizamiento. Los PO_4^{3-} no mostraron un patrón claro durante el período de muestreo. Las concentraciones fueron similares a las registradas en otros ecosistemas costeros (Rörig y García, 2003; Odebrecht *et al.*, 2010), sin embargo, resultaron más altos que las reportadas por Gayoso y Muglia (1991) en la zona de estudio.

Las concentraciones de SiD fueron variables y resultaron similares a las encontradas en otras zonas de deslizamiento (Pontal do Sul, 4.43-10.47 μM) (Rezende, 1995). Sin embargo, fueron mayores a las registradas por Gayoso y Muglia (1991) y más bajas a las observadas en aguas costeras del sur de Brasil (Rörig y García, 2003). Además, las concentraciones de SiD en la zona de deslizamiento de Pehuen Co resultaron en general mayores a las concentraciones mínimas de silicato necesarias para la absorción de las diatomeas y su crecimiento ($>7 \mu\text{M}$; Dugdale *et al.*, 1981), excepto en 4 ocasiones en las cuales los valores se encontraron entre 5-7 μM . Esto último lleva a suponer que el silicato no estaría siendo una limitante para el crecimiento y desarrollo de las diatomeas (Odebrecht *et al.*, 2010). Por otro lado, las concentraciones de SiD en la zona de deslizamiento estuvieron negativamente correlacionadas con la VCL y los valores más altos de SiD coincidieron con los meses más lluviosos.

La VCL y H_s no presentaron correlaciones significativas con otras variables, sin embargo, en ciertos muestreos (noviembre-2017) se demostró que la acción de las olas, el viento y las corrientes generaron un aumento de la Clo-*a*, resultados que se observaron también en otros ambientes similares (Rörig y García, 2003). A partir del análisis de componentes principales, se infiere que las variaciones en los parámetros ambientales se deben por un lado a cambios estacionales de la temperatura del aire y por ende del agua, lo cual se observa en la CP1. Sin embargo, en la CP2 se visualiza la importancia de variables

como la velocidad del viento, la cual genera cambios en el ambiente en el corto plazo con consecuencias directas sobre otras variables como la Clo-*a* y los nutrientes inorgánicos disueltos.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran una gran interacción mar-atmósfera en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. En particular, el aumento de la velocidad del viento genera turbulencia, mayor altura de las olas y un incremento de la velocidad de la corriente litoral. Esto último afectaría de manera directa las concentraciones de Clo-*a*, MPS, MOP y nutrientes inorgánicos en aguas de la zona de deslizamiento, lo que explicaría en parte la alta productividad de estos ambientes. En conclusión, además de la fuerte estacionalidad observada en la zona de estudio para algunas variables fisicoquímicas (ej. temperatura), otros factores (ej. vientos) afectarían procesos dinámicos (olas, turbulencia) en una escala de tiempo más corta que la estacional afectando probablemente la productividad de estas aguas.

CAPÍTULO 3

DINÁMICA TEMPORAL DE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES

1. INTRODUCCIÓN

La zona de deslizamiento es un ecosistema altamente productivo que sustenta una fauna costera sumamente diversa: desde comunidades fitoplanctónicas y zooplanctónicas hasta larvas, juveniles y adultos de peces, así como numerosos invertebrados bentónicos (*p. ej.*, Schlacher *et al.*, 2008; Manning *et al.*, 2013; Dugan *et al.*, 2015; McLachlan y Defeo, 2018). A pesar de la importancia ecológica de las zonas de deslizamiento, el conocimiento actual se centra principalmente en las variaciones de las comunidades fitoplanctónicas (*p. ej.*, Odebrecht *et al.*, 2010; Odebrecht *et al.*, 2014), de la macrofauna bentónica (*p. ej.*, Domínguez-Granda *et al.*, 2004; Marin Jarrin y Shanks, 2011; Marin Jarrin *et al.*, 2015, 2017) y de las larvas, juveniles y adultos de peces (*p. ej.*, Watt-Pringle y Strydom, 2003; Strydom *et al.*, 2007; Inoue *et al.*, 2008; Marin Jarrin *et al.*, 2016) presentes en estos ambientes, siendo muy pocos los estudios relacionados con la dinámica de las comunidades zooplanctónicas.

El zooplancton juega un rol esencial en las zonas de deslizamiento, actuando como nexo entre los productores primarios, la materia orgánica disuelta incorporada por el bacterioplancton heterotrófico y los niveles tróficos superiores (Rodrigues *et al.*, 2019). DeLancey (1989) demostró que el zooplancton representa el alimento principal para las larvas y juveniles de peces que visitan ocasionalmente estas aguas. Considerando entonces que, en estas zonas, las comunidades zooplanctónicas representan el principal alimento tanto para diferentes estadios de peces como para la macrofauna bentónica, los cambios que se produzcan en esta comunidad tendrían un impacto relevante en los ecosistemas de playas arenosas (Defeo *et al.*, 2009). Las comunidades zooplanctónicas de las zonas de deslizamiento son de las menos estudiadas en el mundo, principalmente por la dificultad experimentada en los muestreos debido a la alta dinámica que caracteriza estas aguas

(McLachlan y Defeo, 2018). La mayoría de los estudios se han centrado en playas de arena de climas tropicales y subtropicales como Brasil (Avila *et al.*, 2009; Da Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2011, 2013; Oliveira-Santos *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2019), Egipto (Aboul Ezz *et al.*, 2014), India (Ku Sahu *et al.*, 2012) y México (Aldecoa-Fernández *et al.*, 2019), mientras que muy pocos se han desarrollado en áreas de clima templado como Estados Unidos (DeLancey, 1987; Morgan *et al.*, 2016; Stull *et al.*, 2016) y Argentina (Menéndez *et al.*, 2019).

Las variables ambientales (temperatura, salinidad, precipitación, etc.) afectan la distribución espacio-temporal de los organismos planctónicos en las zonas de deslizamiento de las playas de arena (Aboul Ezz *et al.*, 2014; Stull *et al.*, 2016; Menéndez *et al.*, 2019). La temperatura y la salinidad han sido señaladas como las principales variables que afectan la dinámica del zooplancton en playas de arena de climas subtropicales (*p. ej.*, Pinheiro *et al.*, 2013; Oliveira-Santos *et al.*, 2016). Estudios preliminares muestran que los cambios en la salinidad asociados a variaciones en la precipitación generan un impacto significativo en la dinámica local del zooplancton en las playas de Ajuruteua, Brasil (Da Costa *et al.*, 2011). Entender la influencia que ejercen las variables ambientales en la dinámica del zooplancton en las zonas de deslizamiento, permitirá una mejor comprensión del funcionamiento de estos sistemas costeros y proporcionará conocimiento de base que podrá ser utilizado en otros estudios en áreas similares.

Los objetivos de presente capítulo son: (i) establecer la dinámica temporal de la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co y (ii) analizar la influencia de variables ambientales tales como la temperatura del agua y del aire, la salinidad, la concentración de Clo-*a*, material particulado en suspensión, materia orgánica particulada, la velocidad de la corriente litoral, la altura significativa de la ola y la velocidad y dirección del viento en la variación temporal de los organismos que componen esta comunidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección hace referencia a las actividades realizadas en las campañas de muestreo mensuales y a los métodos utilizados en el procesamiento y análisis de las muestras de zooplancton colectadas en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

2.1. Tareas de campo

Se efectuaron un total de 29 campañas de muestreo con periodicidad mensual entre diciembre de 2016 y julio de 2019 (Tabla 1). Todas las mediciones y toma de muestras se realizaron en una estación fija (39°00'19.5 5 " S; 61°32'53.50" W) (Figura 2) durante las horas de luz y en marea bajante (ver Capítulo 2).

2.1.1. Muestreo del zooplancton

La comunidad zooplanctónica se analizó con periodicidad mensual en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (Figura 14A). Los muestreos de zooplancton se realizaron en marea bajante utilizando una red cónica de 300 μm de apertura de poro, con un diámetro de boca de 0,50 m (Figura 14B). Las muestras se obtuvieron mediante arrastres a pie paralelos a la línea de costa, en profundidades que variaron entre 0,7 y 1,2 m (Figura 14A y C), en contracorriente y durante aproximadamente 200 m. En la red se añadió un flujómetro mecánico General Oceanics® con el fin de registrar el volumen de agua filtrado en cada arrastre, el cual fluctuó entre 2,65 y 58,19 m^3 , arrojando un promedio de 15,21 m^3 . Las muestras se fijaron *in situ* con solución de formaldehído (40%) hasta una concentración final cercana al 4% (Figura 14D). Es importante destacar que el tamaño de poro de la red utilizada subestima la captura de los primeros estadios de copépodos y otros organismos más

pequeños pertenecientes al plancton, por lo tanto, en esta tesis se consideraron principalmente los cambios en la abundancia de copepoditos de estadio avanzado y adultos.



Figura 14. Metodología de muestreo biológico en la zona de deslizamiento de Pehuen Co. **A)** arrastre a pie paralelo a la costa, **B)** y **C)** red cónica de zooplancton, **D)** colecta de la muestra biológica para su posterior fijación. Fuente: archivo personal del Lic. Van Waarde Gustavo.

2.1.2. Medición de variables fisicoquímicas

Se midieron *in situ* las siguientes variables fisicoquímicas: temperatura del agua (°C), salinidad, VCL (m s^{-1}), H_s (m) y se tomaron muestras de agua de la zona de deslizamiento

para el posterior análisis de la concentración de Clo-a ($\mu\text{g L}^{-1}$), MPS y MOP (mg L^{-1}). La metodología utilizada en el muestreo de campo fue detallada en el capítulo 2.

2.2. Tareas de laboratorio

2.2.1. Análisis cualitativo y cuantitativo del zooplancton

Las muestras de zooplancton se estudiaron cualitativa y cuantitativamente con el fin de obtener la composición específica y la abundancia de los taxa presentes en la zona de deslizamiento de Pehuen Co. El análisis cualitativo permitió la identificación y determinación de los organismos presentes en las muestras al menor nivel taxonómico posible. Para esto, se utilizó literatura taxonómica específica: Báez (1997), Boltovskoy (1999), Rodrigues y Vieira (2012), entre otros. Previo a su análisis, las muestras se lavaron con agua de mar filtrada para eliminar el formaldehído. Cada muestra se colocó en una caja de Petri y se observó bajo lupa binocular. En los casos en los que fue necesario la disección o extracción de apéndices para la identificación de los organismos, los mismos se montaron en glicerina gelatinada en un portaobjetos y se observaron bajo microscopio binocular convencional y microscopio estereoscópico. Los organismos determinados fueron posteriormente asignados a las fracciones que corresponden al zooplancton: holoplancton (organismos que durante todo su ciclo vital forman parte de la comunidad planctónica), meroplancton (organismos que están en el plancton durante una parte de su vida, luego, pasan a formar parte de otras comunidades) y plancton adventicio (formas bentónicas que ocasionalmente pueden hallarse en la columna de agua formando parte del plancton).

El análisis cuantitativo se llevó a cabo por conteo total o por alícuotas, dependiendo de la abundancia de cada muestra. Para el conteo total, cada muestra se colocó en un filtro de tela de nylon ($300 \mu\text{m}$) sostenido por un embudo el cual se ubicó dentro de un vaso de precipitado con agua de mar. Luego, se analizaron porciones extraídas de la muestra en cámara de recuento tipo Bogorov de acrílico hasta su recuento total (Harris *et al.*, 2000). En el caso de las alícuotas, se contó el 10% de cada muestra. Las muestras se colocaron en un vaso de precipitado y se las llevó a volumen conocido (500 ml). Luego, se contaron un total

de 10 alícuotas de 5 ml cada una, previa homogeneización de la muestra en cada oportunidad (Boltovskoy, 1981). Para el cálculo de la abundancia de individuos en cada muestra, se consideró el volumen total de agua filtrada a través de la red, la cual se utilizó para calcular el número de individuos por metro cúbico de agua (ind. m⁻³).

2.2.2. Frecuencia de ocurrencia

La frecuencia de ocurrencia se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$F = Pa/P \times 100 \quad (1)$$

donde,

Pa = número de muestras en que el taxón en cuestión está presente

P = número total de muestras

Se consideraron taxa constantes a aquellos donde $F > 50 \%$, comunes cuando $10 \% > F < 50 \%$ y raros cuando $F < 10 \%$.

2.2.3. Análisis de las variables fisicoquímicas

Se analizaron las muestras de agua con el fin de determinar las siguientes variables: Clo-a, MPS, MOP. Los datos de temperatura del aire (°C) y velocidad del viento (m s⁻¹) se obtuvieron de una estación meteorológica automática de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) localizada en en la playa de Monte Hermoso (38° 59' 18.13" S, 61° 18' 43.83" W). La metodología utilizada para su análisis fue detallada en el capítulo 2.

2.3. Análisis estadístico de los datos

Para determinar la variación temporal de los datos de abundancia del zooplancton, se confeccionaron gráficos y tablas con valores absolutos y porcentajes de abundancia. Para el estudio de la relación entre las variables biológicas y ambientales, se consideraron todos los taxa encontrados y las siguientes variables ambientales: temperatura del agua y del aire, salinidad, Clo-a, MPS, MOP, VCL, Viento y H_s. Consecuentemente, se realizó un análisis de Spearman con el objetivo de correlacionar las variables ambientales con la dinámica

zooplanctónica. El conjunto de variables ambientales y datos biológicos fueron analizados utilizando un análisis de distancia basado en modelos lineales (DISTML) con el fin de evaluar la relación entre las variables ambientales y las abundancias de los diferentes taxa. Este modelo utiliza algoritmos de ordenamiento espacial para encontrar la varianza entre los datos originales y luego, la varianza dentro del modelo lineal creado por el mismo análisis. Previo a esto, se aplicaron las transformaciones correspondientes: raíz cuadrada para todos los datos (biológicos y ambientales). Previo al DISTML, se obtuvieron las matrices de similitud para los datos ambientales (distancia Euclídea) y de abundancia (distancia de Bray y Curtis). De todas las variables ambientales, se seleccionaron aquellas que resultaron significativas para el análisis, utilizando el criterio de selección “paso a paso” y R^2 basado en 999 permutaciones. Los resultados del DISTML se visualizaron mediante un análisis de redundancia basado en distancia (dbADR). Todos los análisis se ejecutaron utilizando el programa PRIMER v6 + PERMANOVA Package (Anderson *et al.*, 2008; Clarke y Gorley, 2015).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis cualitativo del zooplancton

Durante el período de estudio, se registraron un total de 54 taxa (Tabla 5). Del total hallado, 14 correspondieron al holoplancton (29,62 %), 22 al meroplancton (37,03 %) y 18 al plancton adventicio (33,33 %). Copepoda (9) y Cnidaria (10) constituyeron los grupos más importantes en términos de número de taxa registrados. Los taxa que conformaron al holoplancton resultaron ser los de mayor frecuencia durante el período de estudio (Tabla 5), siendo los copépodos el grupo mejor representado dentro de esta fracción. Otros taxa observados fueron los misidáceos, medusas, quetognatos y apendicularios. El meroplancton estuvo principalmente constituido por algunas medusas y larvas planctónicas de invertebrados bentónicos, aunque también se registraron algunas formas correspondientes a organismos del necton (huevos y larvas de peces) (Tabla 5). El plancton adventicio estuvo

principalmente representado por isópodos, anfípodos, cumáceos, tanaidáceos, ostrácodos, larvas megalopas de grápsidos y foraminíferos (Tabla 5).

El copépodo *Acartia tonsa* se registró en la totalidad de las muestras (100% de ocurrencia) y junto con *Paracalanus parvus* (93%), fueron las especies con mayor frecuencia de ocurrencia (Tabla 5). Otros taxa del holoplancton como *Ctenocalanus vanus* (59%), *Euterpina acutifrons* (52%), el misidáceo *Arthromysis magellanica* (52%) y el quetognato *Parasagitta friderici* (52%), se registró en una gran cantidad de muestras. En cuanto al meroplancton, las larvas de cangrejos grápsidos (62% de ocurrencia) y de poliquetos espiónidos (31%) fueron las de mayor ocurrencia durante el período de estudio. Por último, los anfípodos *Hartmanodes ratmanae* (86%) y *Monocorophium insidiosum* (62%) fueron los de mayor ocurrencia dentro del plancton adventicio.

Tabla 5. Frecuencia de ocurrencia (FO) de los taxa correspondientes al zooplancton registrados en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019). Las líneas horizontales separan el holoplancton (superior), el meroplancton (medio) y plancton adventicio (inferior).

Grupo de pertenencia	Taxa	FO(%)
Copepoda	<i>Acartia tonsa</i>	100
Copepoda	<i>Paracalanus parvus</i>	93
Copepoda	<i>Ctenocalanus vanus</i>	59
Copepoda	<i>Calanoides carinatus</i>	28
Copepoda	<i>Labidocera fluviatilis</i>	31
Copepoda	<i>Eurytemora americana</i>	3
Copepoda	<i>Euterpina acutifrons</i>	52
Copepoda	Cyclopoida	7
Cnidaria	<i>Liriope tetraphylla</i>	31
Mysidacea	<i>Arthromysis magellanica</i>	52
Mysidacea	<i>Neomysis americana</i>	31
Decapoda	<i>Peisos petrunkevitchi</i>	7
Appendicularia	<i>Oikopleura dioica</i>	21
Chaetognatha	<i>Parasagitta friderici</i>	52
Decapoda	Decapoda (larva) no ident.	10

Decapoda	Grapsidae (larva)	62
Decapoda	<i>Pinnixa patagoniensis</i>	14
Decapoda	<i>Pachycheles spp.</i>	28
Copepoda	<i>Monstrilla helgolandica</i>	7
Cirripedia	Cirripedia (larva)	21
Cnidaria	<i>Obelia spp.</i>	10
Cnidaria	<i>Beroe ovata</i>	14
Cnidaria	<i>Coryne gracilis</i>	3
Cnidaria	<i>Gossea brachymera</i>	3
Cnidaria	<i>Turritopsis nutricola</i>	21
Cnidaria	<i>Clytia spp.</i>	10
Cnidaria	<i>Eucheilota ventricularis</i>	3
Cnidaria	<i>Amphinema dinema</i>	3
Cnidaria	Ceriantharia (larva)	10
Mollusca	Bivalvia (larva)	17
Annelida	Spionidae (larva)	31
Annelida	Polychaeta (larva)	17
Chordata	Teleostei (huevo)	21
Chordata	<i>Engraulis anchoita</i> (larva)	7
Chordata	<i>Paralichthys orbignyanus</i> (larva)	3
Chordata	Teleostei (larva)	7
<hr/>		
Amphipoda	<i>Hartmanodes ratmanae</i>	86
Amphipoda	<i>Monocorophium insidiosum</i>	62
Amphipoda	Phoxocephalidae	3
Amphipoda	Phoxocephalopsidae	21
Amphipoda	Ischyroceridae	7
Amphipoda	Atylidae	10
Amphipoda	Amphipoda no ident.	10
Isopoda	Gnathiidae	21
Isopoda	Idoteidae	24
Isopoda	Serolidae	21
Isopoda	Isopoda no ident.	3
Decapoda	Grapsidae (larva)	41
Annelida	<i>Sabellaria nanella</i>	3
Cumacea	Cumacea	24
Tanaidacea	Tanaidacea	3
Copepoda	Harpacticoida	34
Ostracoda	Ostracoda	3
Foraminifera	Foraminifera	24

3.2. Análisis cuantitativo del zooplancton

3.2.1. Abundancia del zooplancton

La abundancia del zooplancton total mostró una fuerte tendencia estacional, variando entre 6,9 ind. m⁻³ (diciembre 2016) y 39221 ind. m⁻³ (mayo-2019) (Figura 15, Tabla 6). A su vez, se observó una contribución de diferentes taxa en distintos momentos del año. Del análisis cuantitativo, se encontró que el grupo altamente dominante en términos de abundancia fue el holoplancton (97,2%), siendo los copépodos los principales representantes (Figura 15, Tabla 6). El meroplancton y plancton adventicio solo representaron el 3,1 y 0,4% de la abundancia del zooplancton total, respectivamente (Figura 16).

Tabla 6. Valores medios, mínimos y máximos de abundancia (ind. m⁻³) por taxón registrado en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019). Las líneas horizontales separan el holoplancton (superior), el meroplancton (medio) y plancton adventicio (inferior).

Grupo de pertenencia	Taxa	Media (ind. m ⁻³)	Mín (ind. m ⁻³)	Máx (ind. m ⁻³)
Copepoda	<i>Acartia tonsa</i>	2415,1	1,9	37217,4
Copepoda	<i>Paracalanus parvus</i>	711,7	0,0	4143,3
Copepoda	<i>Ctenocalanus vanus</i>	60,6	0,0	1125,3
Copepoda	<i>Calanoides carinatus</i>	30,9	0,0	573,4
Copepoda	<i>Labidocera fluviatilis</i>	18	0,0	479,6
Copepoda	<i>Eurytemora americana</i>	2,1	0,0	60,1
Copepoda	<i>Euterpina acutifrons</i>	3,9	0,0	18,7
Copepoda	Cyclopoida	2,3	0,0	66,9
Cnidaria	<i>Liriope tetraphylla</i>	14,6	0,0	359,8
Mysidacea	<i>Arthromysis magellanica</i>	45,4	0,0	479,1
Mysidacea	<i>Neomysis Americana</i>	1,5	0,0	11,7
Decapoda	<i>Peisos petrunkevitchi</i>	33,2	0,0	838,7
Appendicularia	<i>Oikopleura dioica</i>	0,8	0,0	10
Chaetognatha	<i>Parasagitta friderici</i>	8,7	0,0	80,4
Decapoda	Decapoda (larva)	3,4	0,0	97,2
Decapoda	Grapsidae (larva)	4,8	0,0	39,4
Decapoda	<i>Pinnixa patagoniensis</i>	0,1	0,0	2,7

Decapoda	<i>Pachycheles spp.</i>	0,5	0,0	3,7
Copepoda	<i>Monstrilla helgolandica</i>	0,3	0,0	7,5
Cirripedia	Cirripedia (larva)	5,0	0,0	126,5
Cnidaria	<i>Obelia spp.</i>	1,8	0,0	0,1
Cnidaria	<i>Beroe ovata</i>	4,9	0,0	0,2
Cnidaria	<i>Coryne gracilis</i>	0,1	0,0	3,7
Cnidaria	<i>Gossea brachymera</i>	0,0	0,0	0,6
Cnidaria	<i>Turritopsis nutricola</i>	0,4	0,0	6,2
Cnidaria	<i>Clytia spp.</i>	0,1	0,0	2,5
Cnidaria	<i>Eucheilota ventricularis</i>	0,0	0,0	0,6
Cnidaria	<i>Amphinema dinema</i>	0,0	0,0	0,6
Cnidaria	Ceriantharia (larva)	0,0	0,0	1,3
Mollusca	Bivalvia (larva)	0,2	0,0	3,9
Annelida	Spionidae (larva)	53,2	0,0	1438,8
Annelida	Polychaeta (larva)	0,3	0,0	6,2
Chordata	Teleostei (huevo)	0,4	0,0	4,3
Chordata	<i>Engraulis anchoita</i> (larva)	0,3	0,0	7,8
Chordata	<i>Paralichthys orbignyanus</i> (larva)	0,0	0,0	0,02
Chordata	Teleostei (larva)	0,0	0,0	0,1
Amphipoda	<i>Hartmanodes ratmanae</i>	3,3	0,0	20,6
Amphipoda	<i>Monocorophium insidiosum</i>	3,2	0,0	48,2
Amphipoda	Phoxocephalidae	0,0	0,0	0,6
Amphipoda	Phoxocephalopsidae	0,2	0,0	3,7
Amphipoda	Ischyroceridae	0,0	0,0	0,8
Amphipoda	Atylidae	0,0	0,0	0,2
Amphipoda	Amphipoda no ident.	0,0	0,0	0,6
Isopoda	Gnathiidae	3	0,0	34,1
Isopoda	Idoteidae	0,2	0,0	2,6
Isopoda	Serolidae	0,2	0,0	1,9
Isopoda	Isopoda no ident.	0,0	0,0	0,1
Decapoda	Grapsidae (larva)	1,7	0,1	31,3
Annelida	<i>Sabellaria nanella</i>	0,0	0,0	0,1
Cumacea	Cumacea	1,8	0,0	48,2
Tanaidacea	Tanaidacea	0,0	0,0	0,6
Copepoda	Harpacticoida	1,4	0,0	15,6
Ostracoda	Ostracoda	0,1	0,0	2,9
Foraminifera	Foraminifera	0,4	0,0	7,5

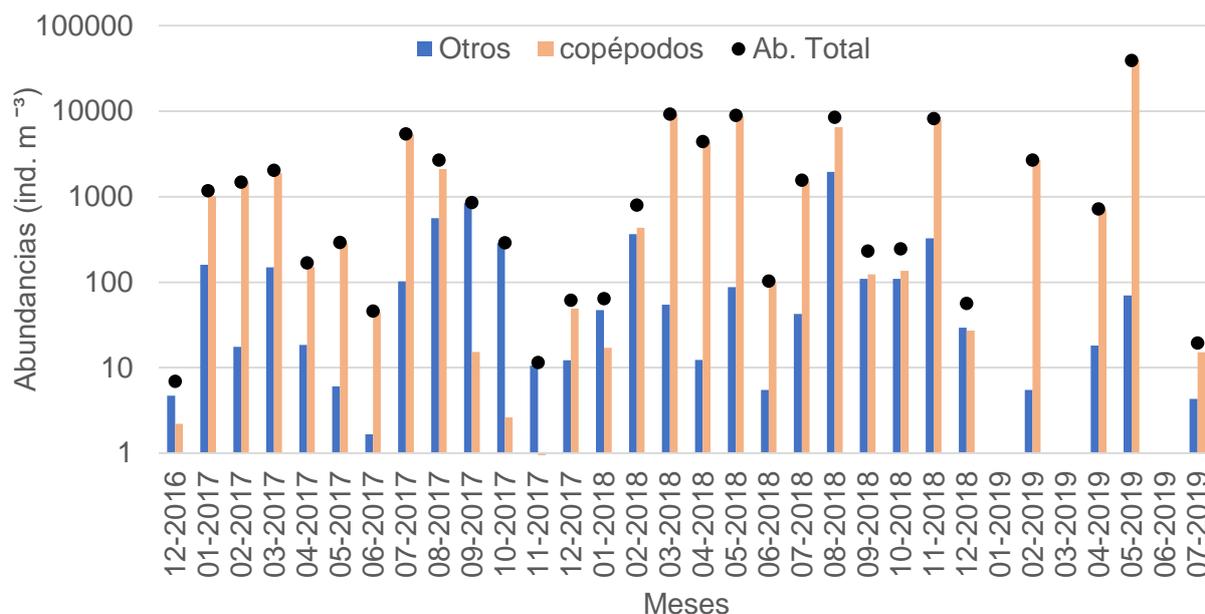


Figura 15. Abundancias mensuales (ind. m⁻³) del zooplancton total (Ab. Total), copépodos y el resto de los grupos (Otros) en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019).

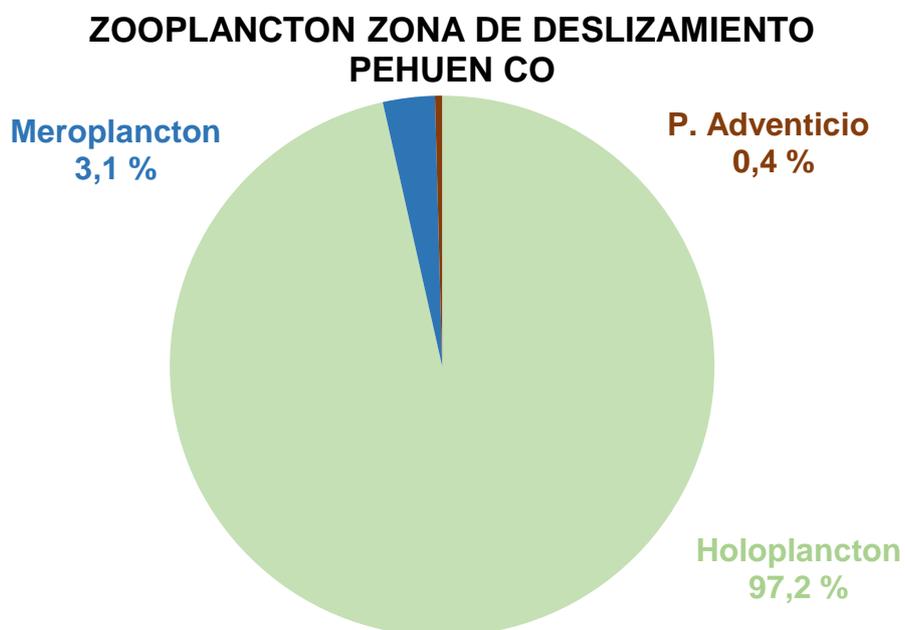


Figura 16. Porcentaje de la abundancia del holoplancton, meroplancton y plancton adventicio respecto al zooplancton total durante el período de

estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019).

En términos de abundancia, el holoplancton fue la fracción más contribuyente durante el período de estudio (Figura 17), siguiendo con el meroplancton y el plancton adventicio cuyos principales aportes se registraron durante primavera-verano, siendo casi nula la abundancia de estos grupos en otoño-invierno (Figura 17). Las especies más abundantes del holoplancton fueron *A. tonsa* y *P. parvus* (Figura 18 y 19 A y B). Las mayores abundancias de la primera se registraron en mayo de 2019 (37217 ind. m⁻³) (Figura 19 A). *P. parvus* resultó más abundante durante el período invernal, con un máximo de 4143 ind. m⁻³ en agosto de 2018 (Figura 19 B). Otros copépodos que aportaron a la abundancia del holoplancton fueron *C. vanus* y *C. carinatus*, con abundancias de hasta 1125 y 573,4 ind. m⁻³ respectivamente. Las mayores abundancias de estos copépodos (agosto-2018) coincidieron con los máximos registrados para *P. parvus* (Figura 19 C). El sergéstido *P. petrunkevitchi* y el misidáceo *A. magellanica* fueron otros taxa importantes en términos numéricos dentro del holoplancton. *P. petrunkevitchi* sólo se registró en el mes de septiembre de 2017, con una abundancia de 838,7 ind. m⁻³, mientras que *A. magellanica* se asoció a los meses de invierno y la primavera, con 479,1 ind. m⁻³ en agosto y 281,1 ind. m⁻³ en octubre de 2017 (Figura 19 D).

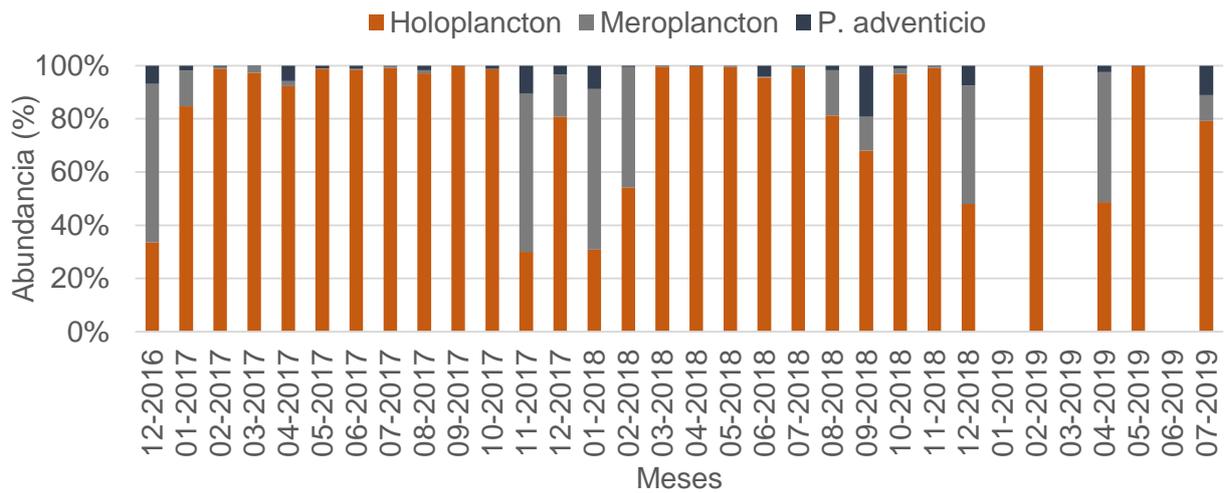


Figura 17. Variación mensual de la contribución porcentual (%) de cada fracción a la abundancia total del zooplancton en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019).

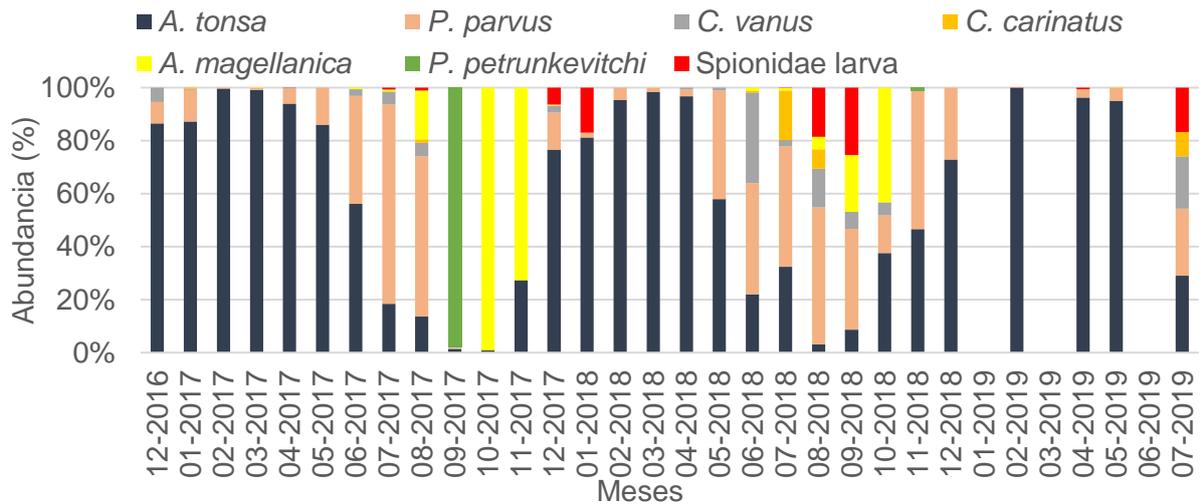


Figura 18. Abundancias mensuales (%) de los taxa más abundantes en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (diciembre 2016 - julio 2019).

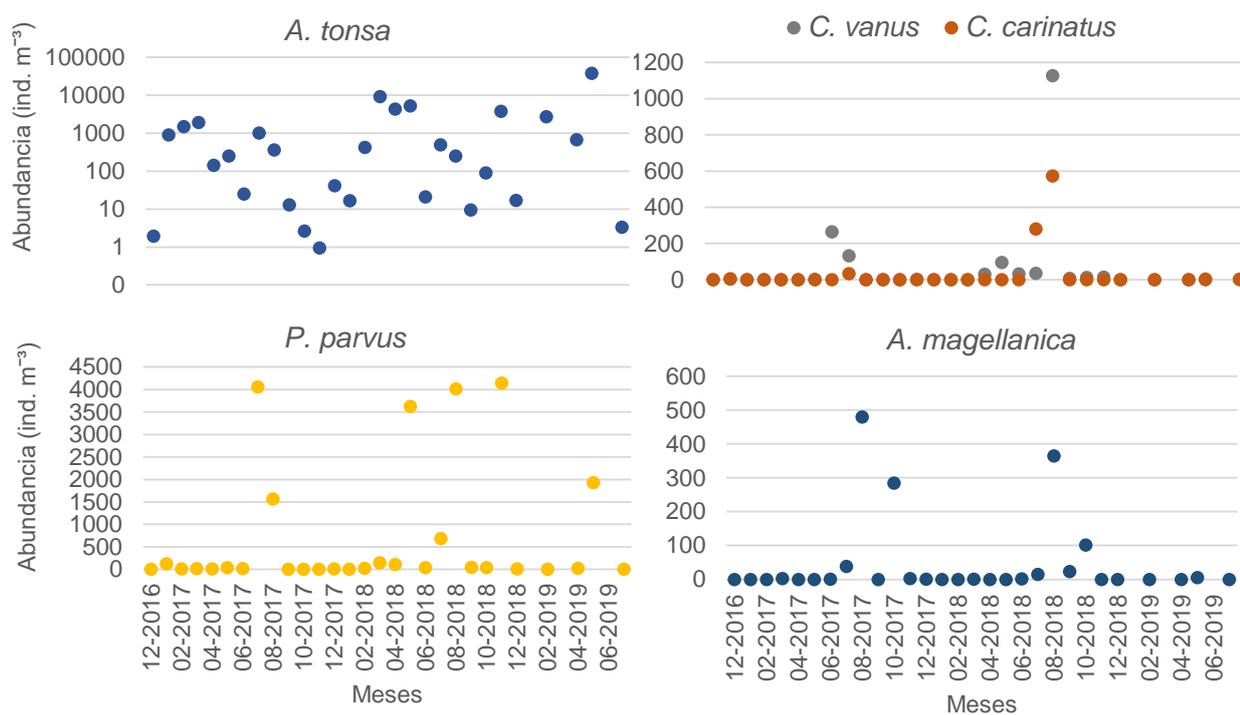


Figura 19. Abundancias (ind. m⁻³) de las principales especies del holoplancton (*A. tonsa*, *C. vanus*, *C. carinatus*, *P. parvus* y *A. magellanica*) durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Nótese las diferentes escalas en el eje de las abundancias.

Las medusas fueron abundantes en la zona de deslizamiento (0 - 359,8 ind. m⁻³), especialmente durante los meses de verano, siendo *Liriope tetraphylla* la especie más abundante con un máximo de 359,8 ind. m⁻³ en febrero de 2018 (Tabla 6). Otros taxa registrados regularmente, aunque en bajas abundancias, fueron *L. fluviatilis*, *P. friderici* y *E. acutifrons* (Tabla 6). Las especies más representativas del meroplancton fueron las larvas de espionidos, con abundancias máximas de 1438 ind. m⁻³ en agosto de 2018. Las larvas de cirripedios y grápsidos presentaron abundancias de hasta 126,5 y 39,4 ind. m⁻³ en enero y marzo de 2017, respectivamente (Tabla 6). El plancton adventicio comprendió un porcentaje muy bajo de la abundancia del zooplancton total (Figura 16). Las especies más representativas desde el punto de vista numérico fueron los anfípodos *H. hartmanae* y *M.*

insidiosum, con valores máximos de 16,8 y 48,2 ind. m⁻³ en enero de 2017 y agosto de 2018, respectivamente. El isópodo gnathiidae presentó máximos de 34,1 ind. m⁻³ en septiembre de 2018 (Tabla 6).

3.2.2. Relación entre el zooplancton y las variables ambientales

3.2.2.1. Correlación de Spearman

Se encontraron correlaciones negativas significativas entre *A. tonsa* y *C. vanus* ($r = -0,455$; $p < 0,01$) y entre *A. tonsa* y *A. magellanica* ($r = -0,483$; $p < 0,008$). Por otro lado, *C. vanus* se correlacionó positivamente con *C. carinatus* ($r = 0,523$; $p < 0,004$) y con la abundancia de larvas de espiónidos ($r = 0,429$; $p < 0,02$), mientras que entre *P. parvus* y *C. carinatus* la correlación fue positiva ($0,455$; $p < 0,01$). Con respecto a la relación entre las variables ambientales y las abundancias de los taxa hallados, se observó que *P. parvus*, *C. vanus*, *A. magellanica* y *C. carinatus* se correlacionaron negativamente con la temperatura del agua ($r = -0,636$; $p < 0,0003$; $r = -0,706$; $p < 0,0001$ y $r = -0,445$; $p < 0,01$; $r = -0,531$; $p < 0,003$ respectivamente) y la temperatura del aire ($r = -0,620$; $p < 0,0004$; $r = -0,643$; $p < 0,0002$; $r = -0,512$; $p < 0,005$; $r = -0,471$; $p < 0,01$ respectivamente) mientras que *A. tonsa* lo hizo positivamente con ambas ($r = 0,436$ y $0,525$; $p < 0,003$). Además, las abundancias de los principales taxa (*A. tonsa* y *P. parvus*) se correlacionaron significativamente con la salinidad, positivamente en el caso de *A. tonsa* ($r = 0,612$; $p < 0,0005$) y negativamente en el caso de *C. vanus* ($r = -0,532$; $p < 0,003$) y *A. magellanica* ($r = -0,471$; $p < 0,01$). Por otro lado, las abundancias de *A. tonsa* y *A. magellanica* se correlacionaron positivamente con la concentración de Clo-a ($r = -0,424$; $p < 0,02$) y MPS ($r = 0,437$; $p < 0,01$). Por último, *C. vanus* se correlacionó negativamente con H_s ($r = -0,376$; $p < 0,04$).

3.2.2.2. Análisis de distancia basado en modelos lineales (DISTML)

Las variables seleccionadas por el modelo DISTML explicaron el 51% de la variabilidad total observada en la comunidad. El eje primario de la dbADR describió el 28,24% de la variación total y el 58,04% de la variación dentro del modelo lineal creado por DISTML (Figura 20). El eje secundario describió el 22,86% de la variación total y el 41,96 % de la

variación ajustada por el modelo. Las variables seleccionadas por el análisis fueron la temperatura del aire y del agua, salinidad y la VCL, las cuales resultaron altamente significativas (Tabla 7). El resto de las variables ambientales no estuvieron correlacionadas con las abundancias de la comunidad (Figura 20). No se observó una diferencia interanual marcada, los meses correspondientes a distintos años se agruparon estacionalmente, dejando en evidencia la marcada estacionalidad en el área de estudio. Los meses más fríos se agruparon a la izquierda del dbADR, mientras que los más cálidos lo hicieron a la derecha, coincidiendo con altas temperaturas del agua y del aire (Figura 20). Por último, se observa que tres meses pertenecientes a diferentes estaciones (noviembre y diciembre de 2017 y julio de 2019) se agruparon coincidiendo con altas VCL (Figura 20).

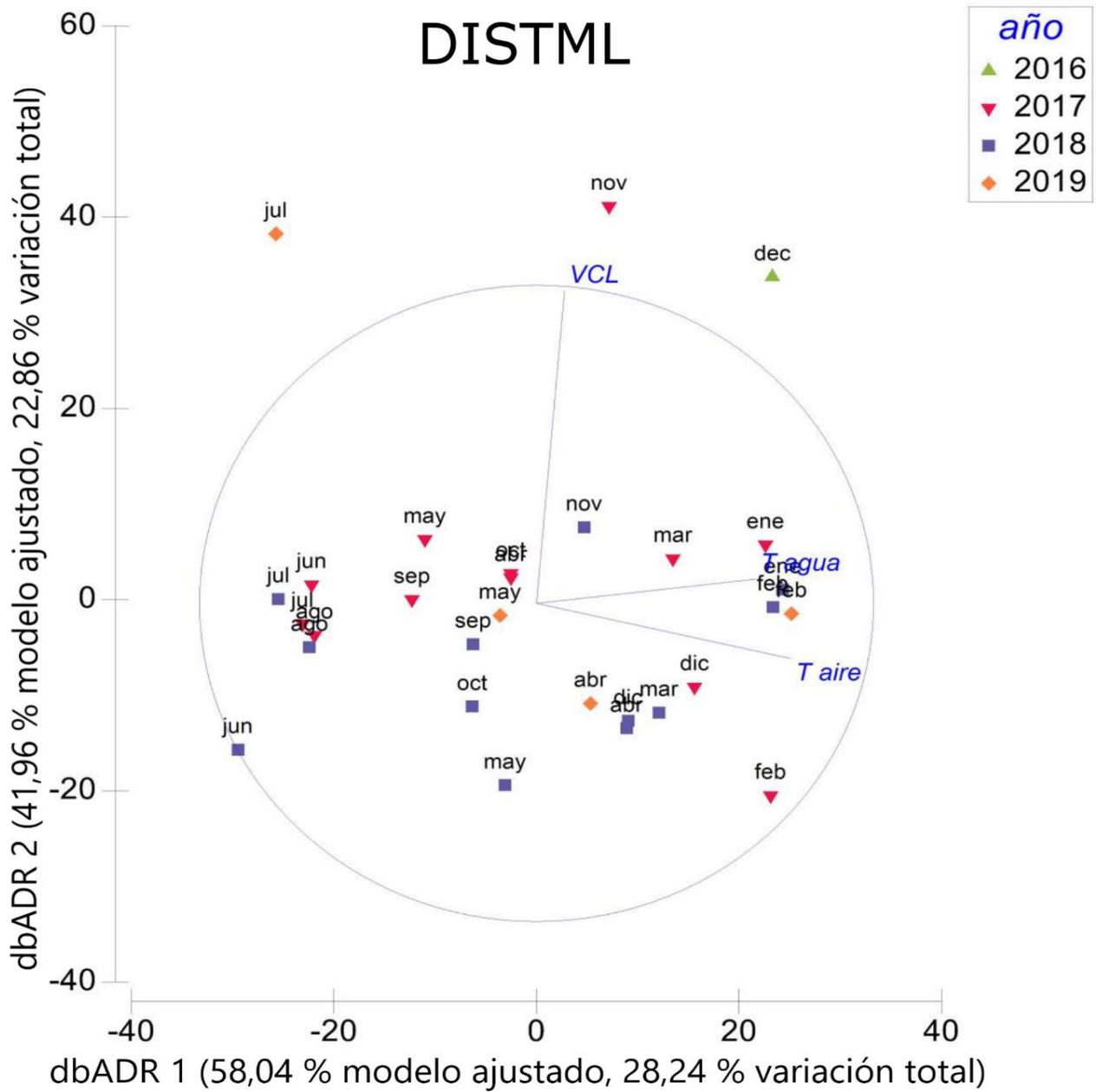


Figura 20. dbADR del análisis DISTML considerando variables ambientales y biológicas. La variación del modelo ajustado se refiere a la varianza dentro del modelo lineal creado durante el análisis DISTML, mientras que la variación total se refiere a la varianza dentro de los datos originales. VCL: velocidad de la corriente litoral; T agua: temperatura del agua; T aire: temperatura del aire.

Tabla 7. Resultados del test marginal para las variables incluidas en el análisis DISTML. T° agua: temperatura del agua (°C); T° aire: temperatura del aire (°C); Salinidad, Clo-*a*: clorofila-*a* (μ L⁻¹); viento (m s⁻¹); H_s: altura de la ola (m); MPS: material particulado en suspensión (mg L⁻¹); MOP: materia orgánica particulada (mg L⁻¹) y VCL: velocidad de la corriente litoral (m s⁻¹).

Variable	Pseudo-F	<i>P</i>	Prop.
T° agua	3,2737	0,002	0,10814
T° aire	3,4718	0,002	0,11394
Salinidad	2,1997	0,037	0,07533
MPS	1,3639	0,17	0,04809
MOP	1,1085	0,325	0,03944
Clo- <i>a</i>	1,178	0,26	0,04181
H _s	0,79343	0,623	0,02855
VCL	2,4363	0,012	0,08277
Viento	1,1822	0,272	0,04195

4. DISCUSIÓN

Durante el período de estudio, se observó una clara variación estacional en la estructura de la comunidad del zooplancton en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. A pesar de la alta energía/turbulencia que caracteriza esta zona, la comunidad zooplanctónica resultó muy diversa, constituida tanto por organismos estuarinos típicos como por otros característicos de aguas neríticas costeras. Las abundancias del zooplancton total resultaron similares a las registradas en zonas de deslizamiento cercanas (Menéndez *et al.*, 2019), así como a las reportadas para la Bahía de Monterrey (Estados Unidos) (Morgan *et al.*, 2016) y aguas subtropicales/tropicales (Da Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2013). Sin

embargo, resultaron aproximadamente un orden de magnitud menor a las mencionadas en estudios similares en otras aguas templadas (Stull *et al.*, 2016). La dinámica temporal de las abundancias de los taxa dominantes (*A. tonsa*, *P. parvus*) se asoció fuertemente a cambios en la temperatura del agua y del aire, observándose una clara sucesión estacional de los mismos. La dominancia de los copépodos ha sido reportada en otras zonas de deslizamiento (Da Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2013; Menéndez *et al.*, 2019). En el caso del meroplancton, las larvas de invertebrados bentónicos y las medusas fueron los taxa más abundantes, especialmente en los meses de primavera y verano. Esto podría asociarse en parte con los patrones de reproducción de las poblaciones de adultos de organismos bentónicos cercanas (*p. ej.*, Marques *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2011). Por otro lado, el plancton gelatinoso ha sido reportado como muy abundante en zonas costeras cercanas a nuestra área de estudio (Dutto *et al.*, 2017; Schiariti *et al.*, 2018). El EBB y la plataforma continental adyacente son zonas con una gran diversidad de hidromedusas y ctenóforos, en comparación con otras áreas de la plataforma continental del océano Atlántico (Dutto *et al.*, 2017). Las abundancias del plancton adventicio no resultaron elevadas en comparación con las de las otras fracciones, sin embargo, fueron superiores a las encontradas en playas cercanas (Menéndez *et al.*, 2019). Esto podría asociarse a la velocidad del viento observada en los días previos a los muestreos, ya que las mayores abundancias fueron registradas en los meses más ventosos de la primavera. La turbulencia originada por las olas, producto del viento, generaría la resuspensión de los organismos bentónicos en aguas someras como las de la zona de deslizamiento de Pehuen Co. Por otro lado, algunas especies como los anfípodos *M. incidiosum* y Phoxocephalopsidae evidenciaron un patrón estacional, siendo más abundantes en los meses de invierno, mientras que los isópodos Gnathiidae, lo fueron a fines del invierno y principios de la primavera.

Desde el punto de vista cuantitativo, los taxa más abundantes fueron *A. tonsa* y *P. parvus*. *A. tonsa* es una especie estuarina típica, mencionada como uno de los componentes más importantes del zooplancton costero en latitudes templadas, subtropicales y cálidas del

océano Atlántico y Pacífico de Sudamérica (*p. ej.*, Menéndez *et al.*, 2012b; Muxagata *et al.*, 2012; Rice *et al.*, 2015; Aguilera *et al.*, 2016) así como en aguas costeras y estuarios de Europa (Leandro *et al.*, 2007; Marques *et al.*, 2007). Esta especie es generalmente abundante en los meses más cálidos (*p. ej.*, Primo *et al.*, 2009; Chen y Hares, 2011; Menéndez *et al.*, 2012a; Howson *et al.*, 2017). De hecho, en este trabajo, las máximas abundancias se registraron hacia fines del verano (marzo), a pesar de que estuvo presente todo el ciclo anual. Las mayores abundancias de *A. tonsa* coincidieron con altas concentraciones de Clo-*a*. Esta especie se asocia comúnmente con aguas eutróficas (Cardoso *et al.*, 2004; Pardal *et al.*, 2004), con altas concentraciones de materia orgánica (Marques *et al.*, 2007). En el EBB, *A. tonsa* se encuentra presente durante todo el año, con mayores abundancias en los meses de verano (Menéndez *et al.*, 2012b). En los meses más fríos, *Eurytemora americana* es el taxón dominante en el estuario, alcanzando las mayores abundancias durante la floración de fitoplancton de invierno-primavera. En los últimos 20 años, *E. americana* se ha convertido en el copépodo más abundante entre agosto y octubre, excluyendo a la especie nativa y dominante *A. tonsa* debido a una mayor eficiencia en el forrajeo durante la floración fitoplanctónica (Hoffmeyer, 2004). Entre junio y octubre, *A. tonsa* coexiste con el copépodo invasivo *E. americana* en una relación competitiva (Hoffmeyer, 2004). Sin embargo, en aguas de la zona de deslizamiento de playas adyacentes al estuario, *A. tonsa* coexiste con *P. parvus*. Esta última especie estuvo presente la mayor parte del año, siendo dominante durante los meses más fríos, alcanzando su máximo en julio y agosto. Este copépodo de tamaño pequeño es una especie costera nerítica, comúnmente observada en la zona externa del estuario y en aguas de la plataforma interior adyacentes al mismo. Este copépodo ha sido mencionado en otros estudios de regiones templadas y tropicales (Bowman, 1971; Liang y Uye, 1996; Calbet *et al.*, 2001), especialmente en aguas superficiales (hasta los 100 metros de profundidad). Además, se lo considera uno de los principales componentes en términos de biomasa y tasa de producción en aguas costeras de la plataforma interior (Morgan *et al.*, 2003; Islama *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2008; Moon *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2011). Este copépodo

ingiere ciliados, dinoflagelados y nanoflagelados en grandes cantidades, además de alimentarse de fitoplancton (Suzuki *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2010).

En el área de estudio también se hallaron copépodos característicos de aguas de la plataforma interior adyacente tales como *C. carinatus*, *L. fluviatilis*, *C. vanus* y *E. acutifrons*. Las últimas dos especies han sido ya reportadas en otros estudios en zonas de deslizamiento de playas de arena. *C. vanus* fue mencionado para las playas de Tramandaí al sur de Brasil (Avila *et al.*, 2009), mientras que el copépodo bento-pelágico *E. acutifrons* se ha mencionado como taxón dominante en las costas del norte de Brasil (Costa *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2011, 2013), asociando su presencia con altas concentraciones de MPS y con eventos de resuspensión asociados a las condiciones energéticas que caracterizan estas aguas (Pinheiro *et al.*, 2013). La mayoría de estos copépodos son típicos de aguas neríticas, y su ocurrencia fue muy variable, lo que puede estar asociado a una intensa afluencia marina que afecta a las aguas de oleaje y consecuentemente a la comunidad de plancton. Estos resultados estarían reflejando la coexistencia de especies estuarinas y neríticas, evidenciando la conexión entre estos ecosistemas. La dominancia observada de copépodos en la zona de deslizamiento es relevante considerando que forman una presa primaria de depredadores más grandes como especies de Misidáceos y otros decápodos (Defeo *et al.*, 2009). En consecuencia, algunos organismos como el sergéstido *P. pretunquévitchi*, y los misidáceos *A. magellanica* se registraron en estas aguas durante agosto y octubre en asociación con una gran abundancia de copépodos. Por lo tanto, el gran dominio de los copépodos en las aguas de la zona de deslizamiento es un factor crucial para la productividad anual de las playas arenosas, ya que es un vínculo importante en el flujo de carbono desde el fito- y microzooplancton hasta el zooplancton y necton más grandes. Esta situación podría estar evidenciando el rol ecológico de la zona de deslizamiento como zona de alimentación para otras especies (Boschi, 2016; McLachlan y Defeo, 2018).

Tanto las variables ambientales como las principales especies zooplanctónicas registradas mostraron una dinámica estacional marcada. Aguas con temperatura medio-alta

(14,5-24,6 °C) se relacionaron con el predominio de *A. tonsa* mientras que con temperaturas más bajas (7,4-14 °C), con altas abundancias de *P. parvus*. La variabilidad estacional del zooplancton ha sido ya reportada en otros estudios en zonas costeras templadas (Calbet *et al.*, 2001; Marques *et al.*, 2007; Badylak y Philips, 2008; Marques *et al.*, 2009; Stull *et al.*, 2016) y se ha relacionado principalmente con los procesos metabólicos del zooplancton dependientes de la temperatura (Leandro *et al.*, 2007; Marques *et al.*, 2009). Una leve estacionalidad se ha observado también para las concentraciones de MPS, MOP y Clo-a. Altas abundancias de *A. tonsa* y *A. magellanica* se correlacionaron con altas concentraciones de Clo-a y MPS, respectivamente. Esto último sugiere que estas variables fisicoquímicas también influyen, aunque en menor medida que la temperatura, la variabilidad estacional del zooplancton de la zona de deslizamiento.

Durante este estudio, se observó una relación estrecha entre la abundancia del zooplancton y las características hidrodinámicas de la zona de deslizamiento, sugiriendo que estas últimas representan un mecanismo fundamental que controla los cambios a escala local y en el corto plazo de la abundancia de los organismos, más allá de los cambios estacionales esperados. Abundancias bajas de zooplancton se asociaron a días de muestreo con altas velocidades de la corriente litoral y altura de ola, particularmente en los meses de diciembre y noviembre de 2017 y julio de 2019, y especialmente para el copépodo *C. vanus*. Esto último, se observa en las correlaciones negativas de esta especie con la altura de ola, así como en el análisis de DISTML para la VCL. Se ha sugerido que los organismos planctónicos, especialmente los de mayor tamaño (y mayor capacidad natatoria), pueden abandonar la zona de deslizamiento en condiciones de alta turbulencia (McLachlan y Defeo, 2018). Por ejemplo, Watt-Pringle y Strydom (2003) observaron que numerosas larvas de peces suelen concentrarse en los canales de las zonas de deslizamiento, indicando una selección activa del hábitat con el objetivo de permanecer en áreas con menor velocidad de corriente y/o acción reducida de olas. Por otro lado, Layman (2000) relacionó la alta concentración de peces en estos canales con una menor turbulencia, con la acumulación de alimento

(zooplancton) y detrito y con la protección que ofrecen estas aguas contra predadores (*p. ej.*, DeLancey, 1989; Gibson *et al.*, 1998; Harvey, 1998). Sin embargo, aún no existen estudios de este tipo para organismos planctónicos de tamaño pequeño-mediano en zonas de deslizamiento. En otras zonas costeras, el zooplancton de talla media-chica (mesozooplancton) puede utilizar mecanismos activos y/o pasivos para evitar ser llevado por la corriente (*p. ej.*, Castel y Veiga, 1990; Morgan *et al.*, 1997; Dauvin *et al.*, 1998; Roman *et al.*, 2001; Naylor, 2006; Menéndez *et al.*, 2012a). Por ejemplo, algunos copépodos pueden migrar verticalmente en respuesta a la marea y así mantener su posición horizontal dentro de la columna de agua (*p. ej.*, Devreker *et al.*, 2008). En otros sistemas, la presencia de estos organismos se asocia con la turbidez, lo que sugiere que los mismos procesos físicos atrapan y concentran tanto sedimentos como zooplancton (*p. ej.*, Roman *et al.*, 2001). A su vez, el viento y la turbulencia asociada, han sido mencionados como factores condicionantes de la distribución del zooplancton en estuarios (Villate, 1994; Gómez-Erache *et al.*, 2000; Menéndez *et al.*, 2012a; Hsieh *et al.*, 2010) sugiriendo que los nadadores más débiles actuarían como partículas pasivas mientras que nadadores más fuertes, podrían responder en cierta medida a las condiciones del flujo de agua. El hecho de que en otros ambientes sucedan ciertos mecanismos conocidos y estudiados, plantea la posibilidad de que una situación similar ocurra ó quizás alguna especie de selección de hábitat por parte de estos copépodos en las zonas de deslizamiento de las playas de arena, lo cual les permita evitar condiciones adversas, o más en general para modular su distribución espacial. En este estudio claramente las condiciones físicas como el aumento de la VCL y H_s , así como también de la energía turbulenta de este sistema costero son las fuerzas impulsoras a corto plazo a escala local detrás del uso de otros hábitats.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la comunidad zooplanctónica de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co presenta una fuerte estacionalidad,

principalmente explicada por cambios en la temperatura del agua. Otras variables tales como la concentración de MPS, MOP y Clo-*a* también afectan esta variación temporal, aunque en menor medida. La dinámica temporal de las abundancias de los taxa dominantes se asoció fuertemente a cambios en la temperatura, observándose una clara sucesión estacional de los mismos. *A. tonsa* en meses más cálidos y *P. parvus* en meses más fríos. En ciertas épocas del año, probablemente debido a circulaciones del agua, especies de copépodos neríticos (*C. vanus*, *C. carinatus*) y otros crustáceos más grandes (*A. magellanica*, *P. petrunkevitchi*) son encontrados en ciertas ocasiones en estas aguas. Por último, se observó una relación estrecha entre las bajas abundancia del zooplancton y el aumento en la intensidad de la VCL y H_s (y la turbulencia asociada), sugiriendo que las variables físicas representan un mecanismo fundamental que controla los cambios en una escala temporal más reducida que la estacional. Esto último demuestra la importancia de considerar estos factores hidrodinámicos en el estudio de la variabilidad temporal de las comunidades biológicas en zonas de deslizamiento.

CAPÍTULO 4

EFFECTO DEL PASAJE DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS SOBRE LA COMUNIDAD

ZOOPLANCTÓNICA

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son ambientes que se encuentran bajo una gran presión antrópica debido a las múltiples actividades que se desarrollan en ellas (Defeo *et al.*, 2009). A nivel mundial, el aumento de eventos meteorológicos extremos (tormentas, sudestadas, fuertes vientos) producto de la variabilidad climática ha incorporado una preocupación extra a las modificaciones de las costas (Defeo *et al.*, 2009; Orlando *et al.*, 2019). Las tormentas, a través de la acción del viento y las olas, representan uno de los mayores riesgos en zonas de deslizamiento de playas de arena, ya que pueden alterar drásticamente el estado geomorfológico y las características biológicas de sus aguas (Aubrey, 1983; Brown, 1996; McLachlan y Brown, 2006). Los episodios de vientos severos en la región son ocasionados generalmente por el pasaje de centros ciclónicos ubicados sobre la Patagonia o al Sur de la provincia de Buenos Aires. Estos fenómenos están muchas veces asociados a frentes fríos (centros de baja presión), generando condiciones de gran inestabilidad y mal tiempo (Celemín, 1984). Estos eventos están a su vez caracterizados por vientos de altas velocidades ($> 17 \text{ m s}^{-1}$) provenientes del S, SE (sudestada), SW o del sector W (Aliaga *et al.*, 2017). Generalmente, en la zona de estudio, los vientos provenientes del sector S suelen estar acompañados de precipitaciones que mayormente pueden durar de uno a tres días, aunque algunos pueden durar hasta una semana (Delgado *et al.*, 2012). En nuestro país, investigaciones relacionadas con el efecto de tormentas y fuertes vientos en playas de arena (*p. ej.*, Bértola *et al.*; 2007; Caló *et al.*, 2000; Bustos *et al.*, 2011), han demostrado la importante erosión y los cambios geomorfológicos que estos sistemas ocasionan. Por ejemplo, se han analizado los efectos de diferentes direcciones de viento sobre la playa en la localidad de Monte Hermoso, corroborando que las tormentas más erosivas son las originadas por frentes

fríos o centros de baja presión caracterizados por fuertes vientos del sector S/SW (Huamantínco *et al.*, 2012).

Considerando los procesos de interacción físico-biológico en las zonas costeras, se tiene conocimiento de que el zooplancton responde rápidamente a las alteraciones del ambiente a través de una sensibilidad extrema a los cambios hidrodinámicos (Marqués *et al.*, 2006). Hay evidencia de que el viento condiciona intensamente la distribución del plancton en estos ambientes debido a los procesos de mezcla ocasionados por la turbulencia. La dirección y velocidad del viento son factores clave, en conjunto con la geomorfología, dado que regulan patrones de distribución espacial del zooplancton en el corto plazo. Villate *et al.* (1994) observaron que, en presencia de vientos moderados a fuertes, la turbulencia inducida por el mismo gobierna la organización espacial de las poblaciones zooplanctónicas en el Puerto Deportivo El Abra-Getxo (estuario de Bilbao), superando la acción de la marea. Al mismo tiempo, Gómez Erache *et al.* (2000) demostraron que los cambios en la dirección (S a E-NE) y velocidad ($5,5$ a 9 m s^{-1}) de los vientos provocan un incremento considerable en la diversidad de especies, influyendo directamente en el transporte de especies zooplanctónicas en el estuario de Solís Grande (Uruguay). Además, en el EBB, Argentina, se ha demostrado que los vientos con dirección SE superiores a 11 m s^{-1} , modifican los patrones de distribución espacial del zooplancton esperados a partir de la entrada y salida de la marea en el estuario, principal fuente de energía (Menéndez *et al.*, 2012). Con respecto a las playas de arena, existen pocos estudios enfocados en los efectos de tormentas y fuertes vientos sobre comunidades biológicas. Estos trabajos están principalmente enfocados en comunidades fitoplanctónicas y bentónicas (Galluci y Netto, 2004; Cochoa *et al.*, 2006; Alves y Pezzuto, 2009; Machado *et al.*, 2016; Corte *et al.*, 2017; Tarrago y Ozorio, 2016). En cuanto al zooplancton, solamente Morgan *et al.* (2017a) ha reportado que la variación espacio-temporal de los procesos hidrodinámicos de la zona de deslizamiento podrían regular el transporte del plancton y el asentamiento de las larvas bentónicas, con potencial efectos sobre la dinámica y estructura de las comunidades de las playas de arena. Sin embargo, se desconoce el efecto

particular de eventos de fuertes vientos sobre la dinámica de las comunidades zooplanctónicas. El estudio de la influencia de episodios de viento sobre el zooplancton resulta sumamente importante para lograr un mejor entendimiento del funcionamiento de las comunidades zooplanctónicas en zonas de deslizamiento. De esta manera, podrán predecirse futuros cambios en las comunidades debido al aumento de los eventos de tormenta producto del cambio climático.

Como ya se mencionó anteriormente, la hipótesis propuesta en el presente capítulo es que tanto la velocidad y dirección del viento asociado a sistemas sinópticos (*p. ej.*, tormentas, líneas de inestabilidad, anticiclones, etc.) afectan fuertemente la distribución de los organismos zooplanctónicos en la zona de deslizamiento de playas de arena. Los objetivos son: (i) analizar la velocidad, dirección y duración (en horas) del viento durante diferentes episodios de viento utilizando datos meteorológicos medidos en alta frecuencia (estaciones EMAC), (ii) analizar la composición y abundancia del zooplancton de la zona de deslizamiento antes y después de cada uno de los eventos y (iii) determinar la influencia de estos sobre la estructura de la comunidad del zooplancton en todas sus fracciones (holoplancton, meroplancton y plancton adventicio), integrando datos físicos de alta y baja frecuencia (estaciones meteorológicas y muestreos discretos). De este modo, se pretende evaluar por primera vez para la zona y para la comunidad científica en general, los cambios en el corto plazo de la estructura de la comunidad zooplancton generados por episodios de fuertes vientos en aguas de la zona de deslizamiento de una playa de arena templada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección hace referencia a las actividades realizadas en las campañas de muestreo que ocurrieron durante los años 2017, 2018 y el primer semestre de 2019, y a los métodos utilizados en el procesamiento y análisis de las muestras colectadas en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

2.1. Tareas de campo

2.1.1. Muestreo del zooplancton

La realización de los muestreos requirió de una precisa predicción de cada uno de los eventos, los cuales se identificaron mediante un monitoreo diario utilizando imágenes satelitales, modelos de predicción numérica del clima (<http://tempo.cptec.inpe.br/>) y altura de las olas pronosticadas por Windguru (<https://www.windguru.cz/73671>) y el Servicio Meteorológico Nacional (<https://www.smn.gob.ar/>). Durante todo el período de estudio, se pronosticaron y muestrearon un total de 17 eventos de fuertes vientos (Tabla 8). Para ello, se tomaron muestras biológicas antes y después de cada uno de los eventos. Del total de eventos (17), 14 se desarrollaron en otoño/invierno (período con mayor frecuencia de tormentas en la región), mientras que 3 de ellos, se efectuaron en primavera/verano (Tabla 8). Todas las mediciones y toma de muestras se realizaron durante las horas diurnas en marea bajante en una estación fija (39°00'19.5 5 " S; 61°32'53.50" W) (Figura 2). La metodología utilizada en el muestreo de campo fue detallada en el capítulo 3.

Tabla 8. Detalle del muestreo de los 17 eventos de viento que azotaron la playa de Pehuen Co. Se muestra en la tabla el tipo de evento, el número de días y la fecha del muestreo biológico antes y después del evento. Además, se especifica la fecha de inicio, umbral máximo de energía y finalización del evento. C-duración: corta duración; L-duración: larga duración; MB: muestreo biológico.

Evento N°	Tipo de evento	MB Pre-evento (días/hs)	Fecha y hora del MB Pre-evento	Inicio del evento (fecha/hora)	Umbral de máx. Energía del evento (fecha/hora)	Fin del evento (fecha/hora)	MB Post-evento (días/hs)	Fecha y hora del MB Post-evento
1	C-duración	2 días, 13h	17/05/2017 12:30	19/05/2017 01:30	19/05/2017 02:30	19/05/2017 06:12	1 días, 6h	20/05/2017 12:40
2	L-duración	5 días, 5h	20/05/2017 12:40	25/05/2017 17:50	26/05/2017 12:30	26/05/2017 20:38	4 días, 13h	31/05/2017 09:00
3	L-duración	5 días, 13h	31/05/2017 10:00	05/06/2017 23:00	06/06/2017 13:40	07/06/2017 06:30	4 h	07/06/2017 10:20
4	C-duración	5 días	07/06/2017 10:20	12/06/2017 10:50	12/06/2017 13:10	12/06/2017 16:44	17 h	13/06/2017 10:00
5	L-duración	3 días, 8h	13/06/2017 10:00	16/06/2017 18:40	18/06/2017 04:20	18/06/2017 23:22	11 h	19/06/2017 10:00
6	C-duración	12 días, 2h	19/06/2017 10:00	02/07/2017 12:40	02/07/2017 13:50	02/07/2017 17:10	1 días, 23h	04/07/2017 16:00
7	L-duración	10 días, 10h	04/07/2017 16:00	15/07/2017 02:30	15/07/2017 21:20	17/07/2017 08:00	6 h	17/07/2017 13:40
8	C-duración	1 días, 11h	16/08/2017 13:15	18/08/2017 11:49	18/08/2017 11:59	18/08/2017 16:02	4 días, 18h	23/08/2017 09:00
9	L-duración	2 días, 4h	08/09/2017 10:30	11/09/2017 07:15	11/09/2017 10:14	11/09/2017 21:09	13 h	12/09/2017 10:20
10	C-duración	15 h	15/03/2018 10:30	16/03/2018 01:17	16/03/2018 01:57	16/03/2018 08:12	5 días	21/03/2018 09:00
11	C-duración	2 días, 14h	21/03/2018 10:30	24/03/2018 02:37	24/03/2018 02:37	24/03/2018 09:26	3 días	27/03/2018 09:00
12	L-duración	2 días, 2h	20/04/2018 11:15	22/04/2018 14:12	22/04/2018 15:07	22/04/2018 23:30	11 h	23/04/2018 10:40
13	L-duración	5 días, 13h	16/05/2018 10:40	21/05/2018 00:27	21/05/2018 05:42	21/05/2018 10:57	3 días	24/05/2018 09:00
14	L-duración	8 días, 6h	15/06/2018 10:00	23/06/2018 15:56	23/06/2018 16:56	24/06/2018 09:08	5 días	29/06/2018 09:00
15	L-duración	4 días, 6h	16/07/2018 10:30	21/07/2018 05:11	21/07/2018 06:11	21/07/2018 16:41	2 días, 16h	24/07/2018 09:30
16	L-duración	4 días, 2h	21/02/2019 12:00	25/02/2019 01:54	25/02/2019 04:19	25/02/2019 22:12	2 días, 11h	28/02/2019 09:00
17	L-duración	3 días, 23h	08/05/2019 12:30	12/05/2019 11:30	12/05/2019 12:04	13/05/2019 07:36	11 h	13/05/2019 18:00

2.1.2. Medición de variables fisicoquímicas y meteorológicas

En cada oportunidad, se midieron *in situ* las siguientes variables fisicoquímicas: temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, VCL (m s^{-1}), altura de ola (H_s) (m), y se tomaron muestras de agua en la zona de deslizamiento para el posterior análisis de la concentración de Clo-*a* ($\mu\text{g L}^{-1}$). La velocidad (*V*) y dirección del viento (*DV*) se obtuvieron de una estación meteorológica automática EMAC (<http://emac.iado-conicet.gob.ar/2019/datosenvivo.php?idestacion=MH00>) perteneciente al Instituto Argentino de Oceanografía y emplazada en la playa de Monte Hermoso ($38^{\circ} 59'18.13'' \text{S}$, $61^{\circ} 18'43.83'' \text{W}$). La metodología utilizada en el muestreo de campo de las variables fisicoquímicas fue detallada en el capítulo 2.

2.2. Tareas de laboratorio

El trabajo de laboratorio comprendió dos tipos de tareas, aquellas realizadas inmediatamente después de las campañas y las que consistieron en la aplicación de metodología analítica para la determinación de las variables ambientales. Las muestras de zooplancton se estudiaron cualitativa y cuantitativamente, con el fin de obtener la composición específica y la abundancia de los taxa presentes en el área de estudio. Los organismos fueron agrupados de la siguiente manera: holoplancton, meroplancton y plancton adventicio. La metodología utilizada en el laboratorio para el análisis de las muestras fue detallada en los capítulos 2 y 3.

2.3. Análisis de los datos

El procedimiento de trabajo consistió primero en detectar la presencia de un evento de viento o de tormenta en la zona de estudio, mediante los mapas sinópticos del tiempo atmosférico. Luego, se calculó la duración de los eventos. Para determinar esta variable se estableció un valor crítico de viento que sea mayor o igual a 17 m s^{-1} ($2,97 \text{ Kwh}$). Este valor se basó en las publicaciones realizadas en la zona de estudio (Bustos *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2012), las cuales establecen que vientos mayores a 9 m s^{-1} son considerados vientos moderados a fuertes, típicos de las tormentas denominadas “*Sudestadas*” o de los frentes

fríos provenientes del sector sudoeste que son comunes en la costa bajo estudio. Bajo este criterio de selección (vientos mayores a 17 m s^{-1}), se garantizó que todos los eventos estudiados sean comparables entre sí, dado que presentaron una dinámica similar (Tabla 8). Los eventos de viento de tormenta ($> 17 \text{ m s}^{-1}$ ó $> 2,97 \text{ Kwh}$) registrados por la estación EMAC, fueron detectados utilizando la función llamada “*find peak*”. Estos valores máximos detectados se asignaron como el umbral máximo de energía del viento (E_{vi}) de los eventos (Figura 21). Luego se aplicó un umbral mínimo de E_{vi} de $0,31 \text{ Kwh}$ (8 m s^{-1}) para el cálculo de la duración de los mismos. El cálculo de la duración se realizó utilizando la información de viento de la estación EMAC y su consecutivo procesamiento empleando el programa R. Cabe aclarar que como el régimen de marea es semidiurno en el área de estudio, se debe considerar que luego de aproximadamente 6 h, el flujo del agua cambia de dirección afectando la hidrodinámica del área y junto con ello, la dinámica del zooplancton. Los procesos físicos que ocurren en una tormenta con duración menor de 6 h (tiempo menor a la mitad de un ciclo de marea) podrían ser potencialmente diferentes a los de una tormenta de más de 6 h de duración (más de la mitad de un ciclo de marea). De esta manera, se utilizó 6 h como valor umbral para diferenciar los eventos de corta y larga duración. Por lo tanto, la “duración del evento de tormenta o fuerte viento” se convirtió en una variable importante a considerar para determinar las características del impacto de la tempestad sobre el ecosistema. De esta manera, la duración de los eventos de viento y de tormentas se definió como el período de tiempo en el que la energía del viento osciló entre el umbral mínimo de E_{vi} (8 m s^{-1}), ascenso a la máxima intensidad del viento registrada y su posterior descenso a 8 m s^{-1} (Figura 21). Por lo tanto, la duración de los eventos se cuantificó entre los dos umbrales mínimos de E_{vi} encontrados, que representan el inicio y el final de la mayor turbulencia generada por estos fenómenos debido al viento (círculos azules en la Figura 21, Tabla 8). Según la escala de Beaufort, las velocidades del viento entre $5,6$ y $7,8 \text{ m s}^{-1}$ (20 a 28 km h^{-1}) generan una brisa moderada con formación de pequeñas olas, las cuales se van haciendo cada vez más altas (<https://www.rmets.org/metmatters/beaufort-scale>). Además, trabajos realizados en otros sistemas costeros establecieron que los vientos superiores a $7-8 \text{ m s}^{-1}$ son considerados lo

suficientemente fuertes como para aumentar la turbulencia y la mezcla vertical en la columna de agua (Gómez-Erache *et al.*, 2000; Incze *et al.*, 2001). Teniendo en cuenta toda esta información, un umbral mínimo de 8 m s^{-1} permitiría determinar con certeza el inicio y el final de la tormenta en el presente estudio. Por otro lado, se definió el post-evento para una mejor comprensión del diseño de muestreo realizado. El post-evento fue definido como el tiempo entre el umbral mínimo de E_{vi} (8 m s^{-1}) y el valor de velocidad de viento en el cual se considera que el sistema vuelve a su estado basal (brisa leve $4/5 \text{ m s}^{-1}$ y sin precipitación). Alcanzar esta situación de calma llevó desde algunas horas hasta días. De esta manera, algunos muestreos post-evento han sido realizados varios días luego de la tormenta en estudio (límite inferior cercano a 4 m s^{-1}). Sin embargo, es importante resaltar que siempre se aseguró de que dichos muestreos sean realizados dentro del rango establecido de viento ($8 - 4/5 \text{ m s}^{-1}$) y que no haya ocurrido otro evento de viento luego del evento en estudio para que el muestreo post-evento no se vea alterado por el mismo, pudiendo potencialmente generar cambios en el sistema.

Se calculó también la potencia instantánea del viento (P_{vi}) de la siguiente manera:

$$P_{vi} = \frac{1}{2}\rho_a V^3 \quad (2)$$

donde,

ρ_a = densidad del aire ($\rho_a = 1,23 \text{ kg m}^{-3}$)

V = velocidad del viento (m s^{-1})

A partir de la potencia instantánea del viento (P_{vi}), se calculó la energía del viento (E_{vi}) por unidad de tiempo (horas) (Elliott *et al.*, 1987). La energía del viento acumulada ($E_{vi \text{ acum}}$) se calculó como la sumatoria de los valores detectados por el sensor de E_{vi} para cada una de las tormentas con el fin de determinar la cantidad de energía del viento que se transfirió a la zona de deslizamiento durante el pasaje de cada ventisca. Esta suma de E_{vi} se calculó de la siguiente manera:

$$\sum_{i=n}^m E_{vi}(i). dt \quad (3)$$

donde,

n = valor de la sumatoria de los 10 minutos de cada medición del valor de E_{vi} al comienzo de la tormenta

m = valor de la sumatoria de los 10 minutos de cada medición del valor de E_{vi} al final de la tormenta

dt = frecuencia de muestreo de la velocidad del viento (5 minutos)

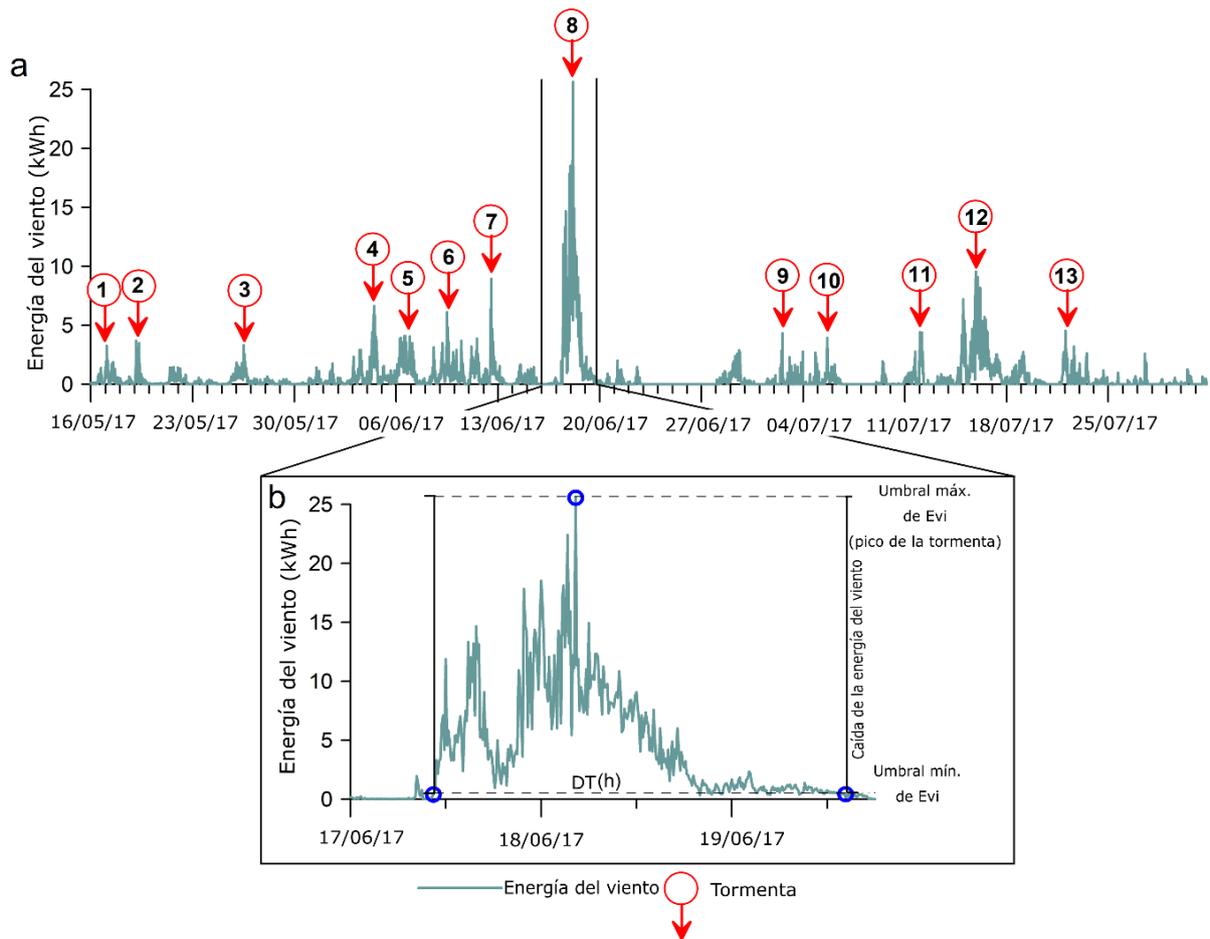


Figura 21. (a) Energía del viento calculada durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Los círculos rojos corresponden a los eventos de de viento registrados y muestreados en durante el período de estudio **(b)** Vista ampliada de un temporal en la cual se muestra la duración de la tormenta (DT), que es el período en el que la energía eólica osciló entre los dos umbrales mínimos de E_{vi} encontrados. Los círculos azules muestran los valores de energía registrados: energía al inicio del evento, umbral máximo y energía al final del evento, respectivamente.

En principio, un análisis de comparación entre los muestreos antes y después del evento fue elaborado con el objetivo de visualizar el comportamiento de la comunidad frente al pasaje de los eventos de viento. Luego, un análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) fue realizado con el fin de determinar grupos de similitud en los días de muestreo luego del pasaje de cada episodio de viento (Kruskal y Wish, 1978). Debido a la alta

variabilidad entre el muestreo biológico antes y después del evento, se consideraron solo los muestreos posteriores al evento para el procedimiento nMDS. Esta situación nos permitió evitar la interferencia de la estacionalidad dada por los días de muestreo previos al evento. Este análisis se realizó para generar un ordenamiento de las condiciones post-evento una vez explicados y establecidos los patrones pre- y post-evento en el análisis de comparación. El NMDS generó un ordenamiento de las muestras pos-evento en un espacio bidimensional en el que se identificaron diferentes grupos. Este análisis se basó en una técnica de matriz triangular obtenida a partir de la utilización del índice de similitud de Bray-Curtis sobre los datos previamente transformados mediante raíz cuadrada con el fin de disminuir la influencia de aquellos organismos muy abundantes (Clarke y Warwick, 1994; Legendre y Gallagher, 2001). Se analizó también la contribución de cada taxa a la similitud promedio de Bray-Curtis dentro de cada grupo utilizando el procedimiento de porcentaje de similitud (SIMPER). Luego, un análisis de similitud unidireccional (ANOSIM) fue utilizado para probar si la estructura de la comunidad difería significativamente entre los grupos. Posteriormente, el conjunto de variables ambientales (temperatura del agua, salinidad, Chl-a, VCL, H_s, duración del evento, V, E_{vi acum} y DV) y los datos biológicos pos-eventos fueron analizados mediante la rutina de exploración de variables ambientales que mejor se correlacionan con las similitudes de la muestra de la comunidad biológica (BIOENV). Esta rutina selecciona las variables ambientales que mejor explican la variación en la comunidad biológica, a través del análisis de correlación de Spearman, mediante la maximización de la correlación de rangos entre sus respectivas matrices de similitud. Los valores cercanos a 1 representan las variables ambientales que mejor explican los cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica (Clarke y Ainsworth, 1993). Finalmente, los valores de las variables ambientales antes y después del evento (temperatura del agua, salinidad, Chl-a, VCL, H_s) fueron analizados mediante la prueba U de Mann-Whitney, con el fin de evaluar diferencias entre las dos configuraciones de de muestras. El manejo de los datos y los análisis multivariados se realizaron utilizando programas estadísticos apropiados como Microsoft Excel, PRIMER v6 + PERMANOVA Package

(Anderson *et al.*, 2008; Clarke y Gorley, 2015), y R (R core team 2018) utilizando los paquetes *pracma* (Borchers, 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los eventos

Teniendo en cuenta todos los casos analizados (17), se diferenciaron aquellos eventos con viento predominante de los cuadrantes SE-SW (12) y eventos de viento predominante del sector W (5). Para una mejor interpretación de los datos, los eventos mencionados se explican por separado.

3.1.1. Eventos de viento predominante del sector SE-SW

Durante el período de estudio se registraron un total de 12 eventos con viento predominante del cuadrante SE-SW (Figura 22). Estos eventos fueron originados por el paso de sistemas ciclónicos con características sinópticas que difieren entre sí. Cinco de los eventos se consideraron casos de vientos del sudeste (SE), también llamados “*Sudestadas*”, el resto de los eventos se consideraron del sudoeste (SW) (Figura 22).

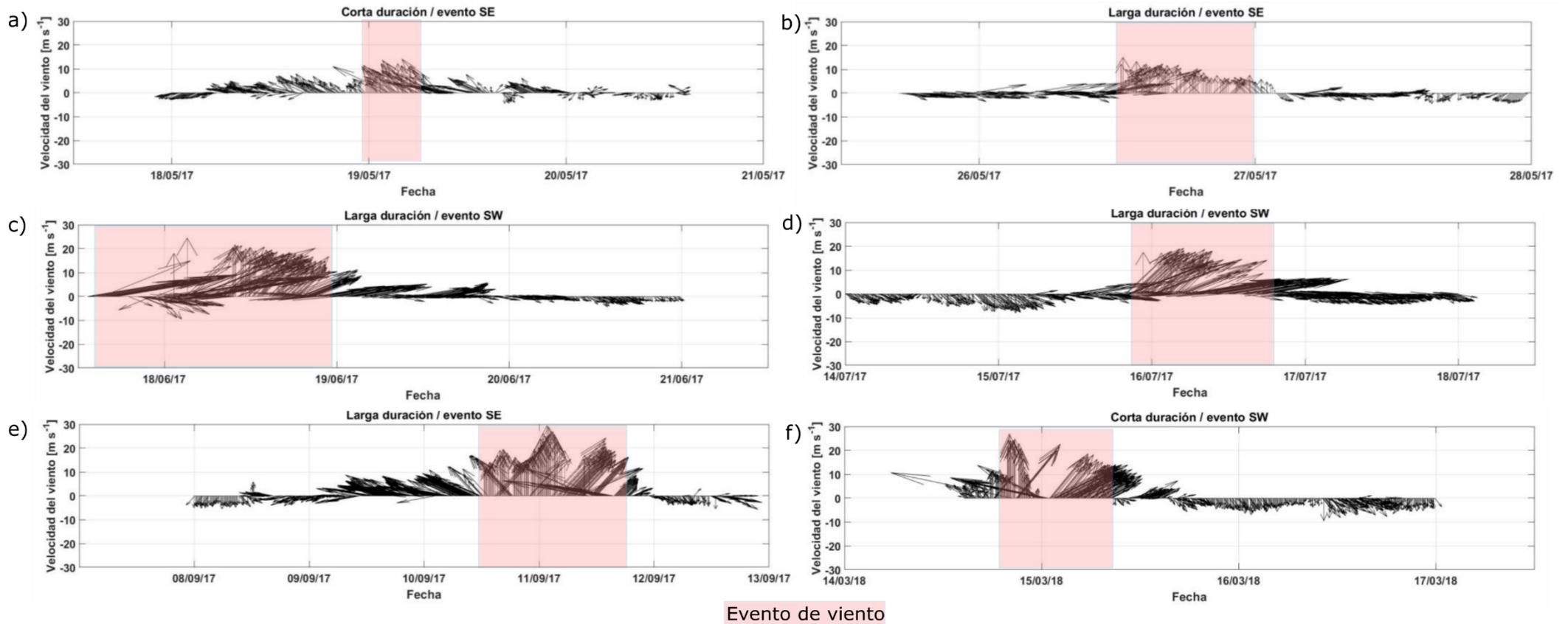
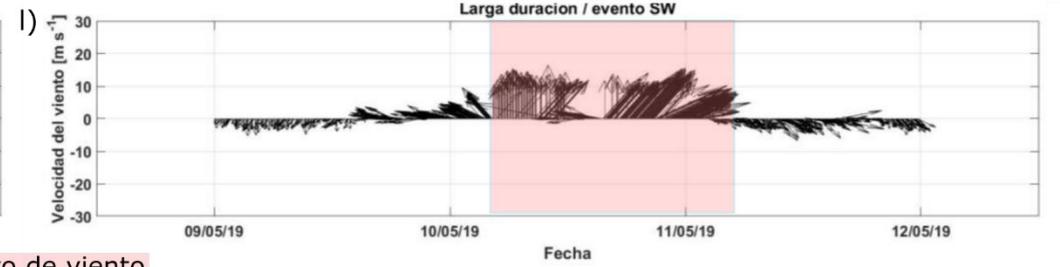
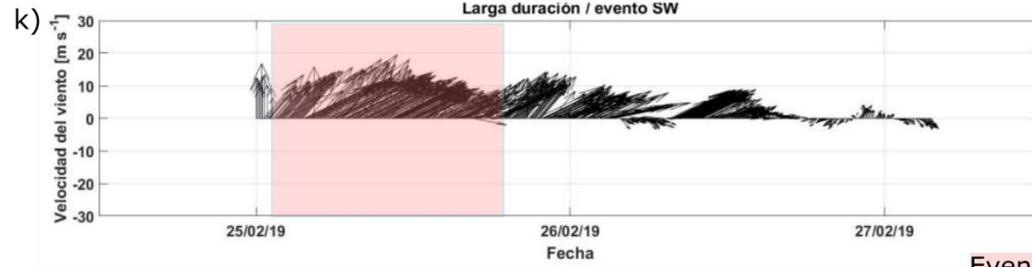
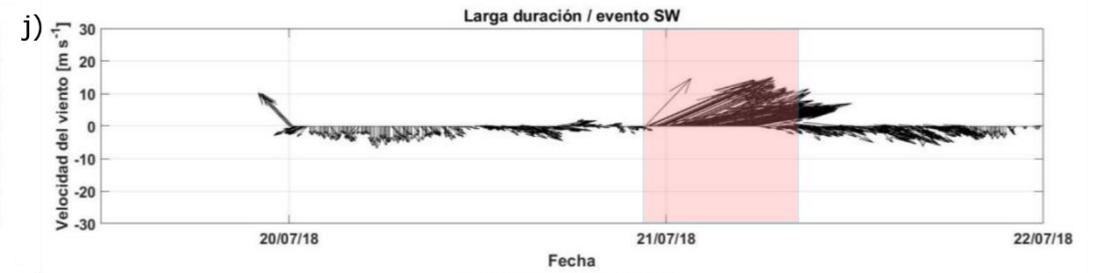
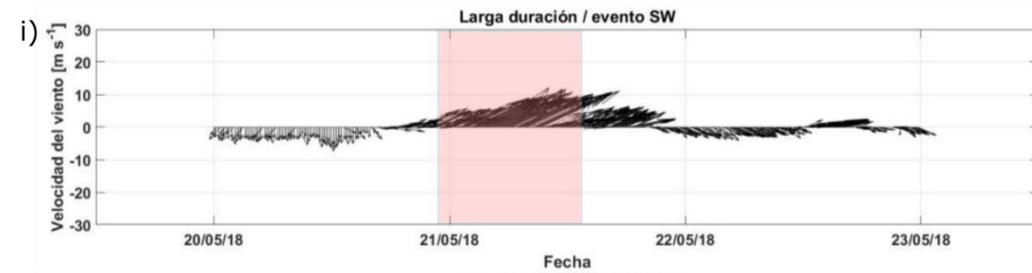
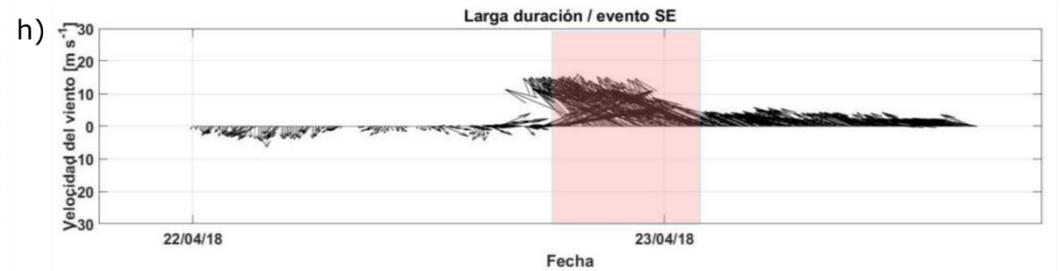
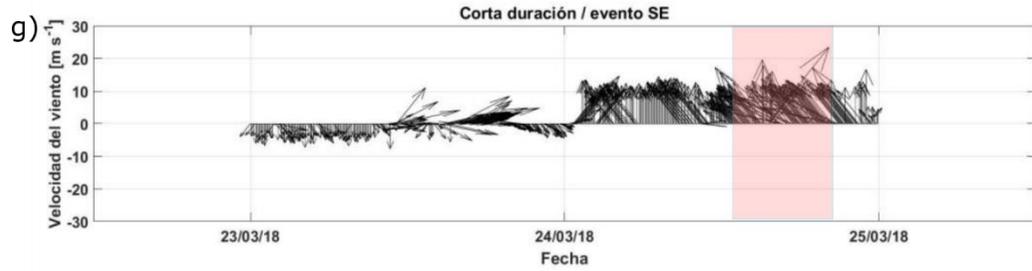


Figura 22. Dirección e intensidad del viento (representada por la longitud de las flechas) durante los eventos que corresponden a vientos provenientes de los cuadrantes SE-SW en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. La dirección del viento se indica de acuerdo con la convención meteorológica, es decir, la dirección desde la cual sopla el viento. La duración del evento de viento se indica en color rojo.



Evento de viento

Figura 22 (continuación).

Las Sudestadas se caracterizaron por vientos persistentes del SE, los cuales se originaron por el pasaje de un ciclón (o anticiclón) localizado sobre la Patagonia o al Sur de la provincia de Buenos Aires. Generalmente, esta situación suele estar acompañada de lluvias que duran entre uno y tres días, en casos excepcionales extendiéndose hasta seis días. En este estudio, se observó que los ciclones que generaron las sudestadas permanecieron varios días en la región (Figura 23).

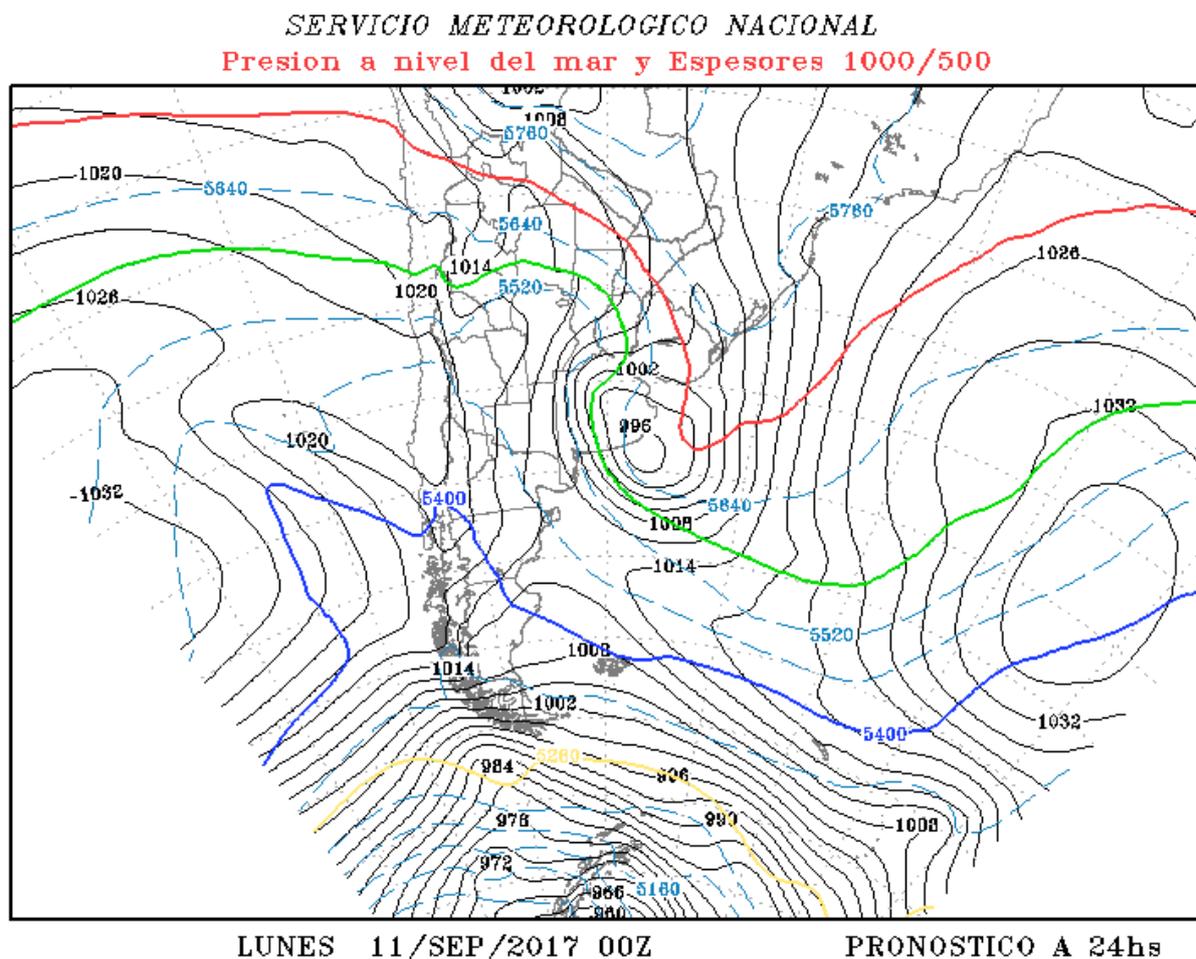


Figura 23. Ejemplo de condición sinóptica de los eventos caracterizados por vientos proveniente de los cuadrantes SE-SW. En el mapa se observa el centro de baja presión (ciclón) ubicado en la región. En este caso, el mapa pertenece al día 11 septiembre de 2017.

La velocidad máxima del viento registrada durante estos eventos fue $34,9 \text{ m s}^{-1}$ ($127,7 \text{ km h}^{-1}$) el 18 de junio de 2017 y la mínima, $17,6 \text{ m s}^{-1}$ (64 km h^{-1}) el 26 de mayo de 2017. La $E_{vi \text{ acum}}$ mostró una tendencia similar, con un valor máximo después del paso del sistema ciclónico el 18 de junio de 2017 ($1.559,3 \text{ kWh}$), y un valor mínimo el 24 de marzo de 2018 ($13,1 \text{ kWh}$). La duración de los eventos varió entre $4,7$ (19 de mayo de 2017) y $53,5 \text{ h}$ (15 de julio de 2017), siendo nueve del total de los eventos caracterizados como eventos de larga duración ($> 6 \text{ h}$) y tres como eventos de corta duración ($\leq 6 \text{ h}$) (Tabla 9).

Tabla 9. Principales condiciones meteorológicas de los eventos de viento estudiados en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Abreviaturas: $E_{vi \text{ acum}}$ = energía acumulada del viento.

Evento N°	Duración del evento (h)	Velocidad del viento (m s^{-1})	Dirección del viento	$E_{vi \text{ acum}}$ (kWh)
1	4,7	18,3	SE	33,9
2	26,8	17,6	SE	148,4
3	31,5	22,2	W	359,9
4	5,9	24,5	W	108,9
5	52,7	34,9	SW	1.559,3
6	4,5	19,3	W	20,7
7	53,5	25,1	SW	965,1
8	4,2	18	W	16,4
9	13,9	30,4	SE	707,7
10	6,9	22	SW	172,9
11	6,8	25,5	SE	13,1
12	9,3	18,7	SE	207,4
13	10,5	20,7	SW	195,6
14	17,2	22,8	W	595,3
15	11,5	21,3	SW	201,2
16	20,3	23,6	SW	325,3
17	20,1	22,8	SW	598,5

La amplitud anual de las variables fisicoquímicas dependió fundamentalmente de la época del año. Diferencias no significativas ($p > 0,1$) fueron detectadas para las mismas (temperatura del agua, salinidad, Clo-*a*, VCL y H_s) entre los muestreos pre- y post-evento de viento, demostrando que estas variables presentaron una marcada variación estacional la cual estaría anulando el efecto del evento de viento (Tabla 10). Durante el período de estudio, la mayor diferencia pre/post-evento en la temperatura del agua se observó en el evento del 25 de febrero de 2019 (4,5 C° mayor en el muestreo pre-evento), mientras que la menor diferencia pre/post-evento se detectó el 24 de marzo de 2018, siendo la misma temperatura en ambos muestreos. La salinidad mostró mínimas diferencias entre el pre y el post-evento, siendo de 0 a 1 en todos los eventos de viento predominante del cuadrante SE-SW. Las diferencias entre muestreos pre/post-evento para la Clo-*a* fluctuaron entre 13,3 µg L⁻¹ (evento del 18 de junio de 2017) y 0,2 µg L⁻¹ (evento del 15 de marzo de 2017) con mayor concentración en el muestreo posterior al evento para ambos. La VCL mostró diferencias mínimas entre los muestreos pre/post-evento, siendo de 0 a 0,4 m s⁻¹ en todos los eventos de viento del sector SE-SW. Finalmente, la mayor diferencia entre los muestreos pre/post-evento para la H_s se registró el 9 de septiembre de 2017 (0,8 m) siendo mayor después del evento, mientras que la menor diferencia fue el 21 de mayo de 2018, siendo el mismo valor para ambos muestreos (Tabla 10).

Tabla 10. Variables fisicoquímicas medidas pre- y post-evento de viento en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Abreviaturas: Temp. Agua = temperatura del agua, Clo-a = Clorofila-a, VCL = velocidad de la corriente litoral, H_s = altura significativa de la ola.

Evento N°	Fecha del evento	Temp. Agua (°C)		Salinidad		Clo-a (µg L ⁻¹)		VCL (m s ⁻¹)		H _s (m)	
		PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
1	19/05/2017	12,1	14,6	33	33	5,2	7,3	0,3	0,4	0,4	0,8
2	26/05/2017	11,8	10,4	33	32	8,4	5,7	0,1	0,2	0,5	0,4
3	06/06/2017	10,4	9,5	32	33	5,7	2,7	0,2	0,1	0,4	0,4
4	12/06/2017	9,5	8,6	32	32	2,7	2,8	0,1	0,1	0,4	0,8
5	18/06/2017	8,6	8,3	32	32	2,8	16,1	0,1	0,1	0,8	0,9
6	02/07/2017	8,3	11,6	32	32	12	12	0,1	0,1	0,9	0,5
7	15/07/2017	11,6	7,4	32	31	12	12,7	0,1	0,3	0,5	0,9
8	18/08/2017	9,2	10	31	31	16,4	6,4	0,1	0,2	0,2	1,2
9	11/09/2017	12,5	11,5	32	31	12,3	17	0,2	0,4	0,3	1,1
10	15/03/2018	18,8	17,4	34	34	4,4	4,6	0,2	0,2	1,1	0,8
11	24/03/2018	17,4	17,4	34	34	4,6	5,4	0,2	0,2	0,8	0,4
12	22/04/2018	18,2	17	34	33	4,1	4,5	0,1	0,5	0,2	1,3
13	21/05/2018	14,2	11,2	33	33	3,7	4,8	0,2	0,2	0,9	0,9
14	23/06/2018	8,2	7,6	33	34	4,1	6,8	0,3	0,1	0,9	0,3
15	21/07/2018	8,1	6,3	33	32	3,4	4,1	0,2	0,1	0,7	0,6
16	25/02/2019	24,6	20,1	33	34	6,9	9,7	0,3	0,3	0,4	0,7
17	12/05/2019	14,5	14,4	34	34	4,3	4,8	0,2	0,2	0,4	0,7

3.1.2. Eventos de viento predominante del sector W

Se registraron cinco eventos con vientos predominantes del cuadrante W durante el período de estudio (Figura 24). En todos los casos, se observó una vaguada, consecuencia del paso de un frente frío (Figura 25). Este fenómeno se caracteriza por ser una onda que origina vientos muy fuertes (en estos casos predominantemente del sector W) y gran inestabilidad en toda la región (Figura 25). La velocidad máxima registrada fue de $24,5 \text{ m s}^{-1}$ (90 km h^{-1}) el 12 de junio de 2017 y la mínima, de 18 m s^{-1} el 18 de agosto de 2017 (Tabla 9). La $E_{vi \text{ acum}}$ mostró valores máximos después del paso del evento el 23 de junio de 2018 (595,3 kWh) y un valor mínimo, después del caso del 18 de agosto de 2017 (16,4 kWh). La duración del evento de viento varió de 4,2 h (18 de agosto de 2017) a 31,5 h (6 de junio de 2017). Sólo dos eventos fueron de larga duración ($> 6 \text{ h}$) mientras tres de ellos se consideraron de corta duración ($\leq 6 \text{ h}$) (Tabla 9). Diferencias no significativas ($p > 0,1$) fueron detectadas para las variables fisicoquímicas (temperatura del agua, salinidad, Clo-a, VCL y H_s) entre los muestreos pre- y post-evento de viento, demostrando que las mismas presentaron una marcada variación estacional la cual estaría anulando el efecto del evento de viento (Tabla 10). Durante el período de estudio, la mayor diferencia pre/post-evento en la temperatura del agua se observó en el evento del 2 de julio de 2017 (3,3 C° mayor en el muestreo post-evento), mientras que la menor diferencia pre/post-evento se detectó el 23 de junio del 2018, siendo 0,6 °C más cálido en el muestreo pre-evento. La salinidad mostró el mismo patrón que los eventos de viento del sector SE-SW, arrojando mínimas diferencias entre ambos muestreos. Las diferencias entre muestreos pre/post-evento para la Clo-a oscilaron entre $10 \mu\text{g L}^{-1}$ (evento del 18 de agosto de 2017) siendo mayor en el muestreo pre-evento y $0 \mu\text{g L}^{-1}$ (evento del 2 de julio de 2017) sin diferencia entre muestreos. La VCL mostró el mismo patrón que los eventos de viento del sector SE-SW, con diferencias mínimas entre ambos muestreos, siendo de 0 a 0.2 m s^{-1} en todos los eventos de viento del cuadrante W. Finalmente, la mayor diferencia entre los muestreos pre/post-evento para la

H_s se registró el 23 de junio del 2018 (0,6 m) siendo mayor antes del evento, mientras que la menor diferencia se detectó el 6 de junio del 2017, siendo el mismo valor para ambos muestreos (Tabla 10).

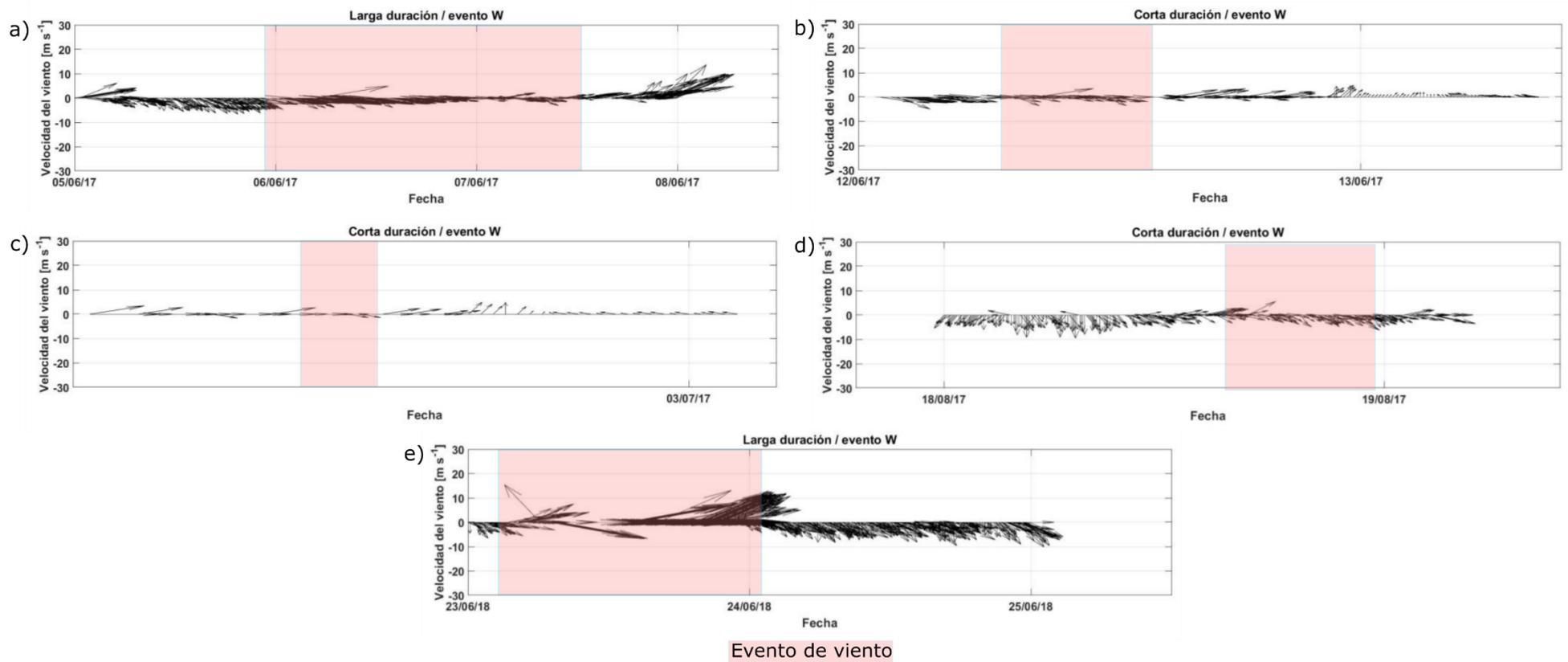


Figura 24. Dirección e intensidad del viento (representada por la longitud de las flechas) durante los eventos de vientos fuertes que corresponden a vientos proveniente del sector W en Pehuen Co. La dirección del viento se indica de acuerdo con la convención meteorológica, es decir, la dirección desde la cual sopla el viento. La duración de los eventos se indica en color rojo.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
Presion a nivel del mar y Espesores 1000/500

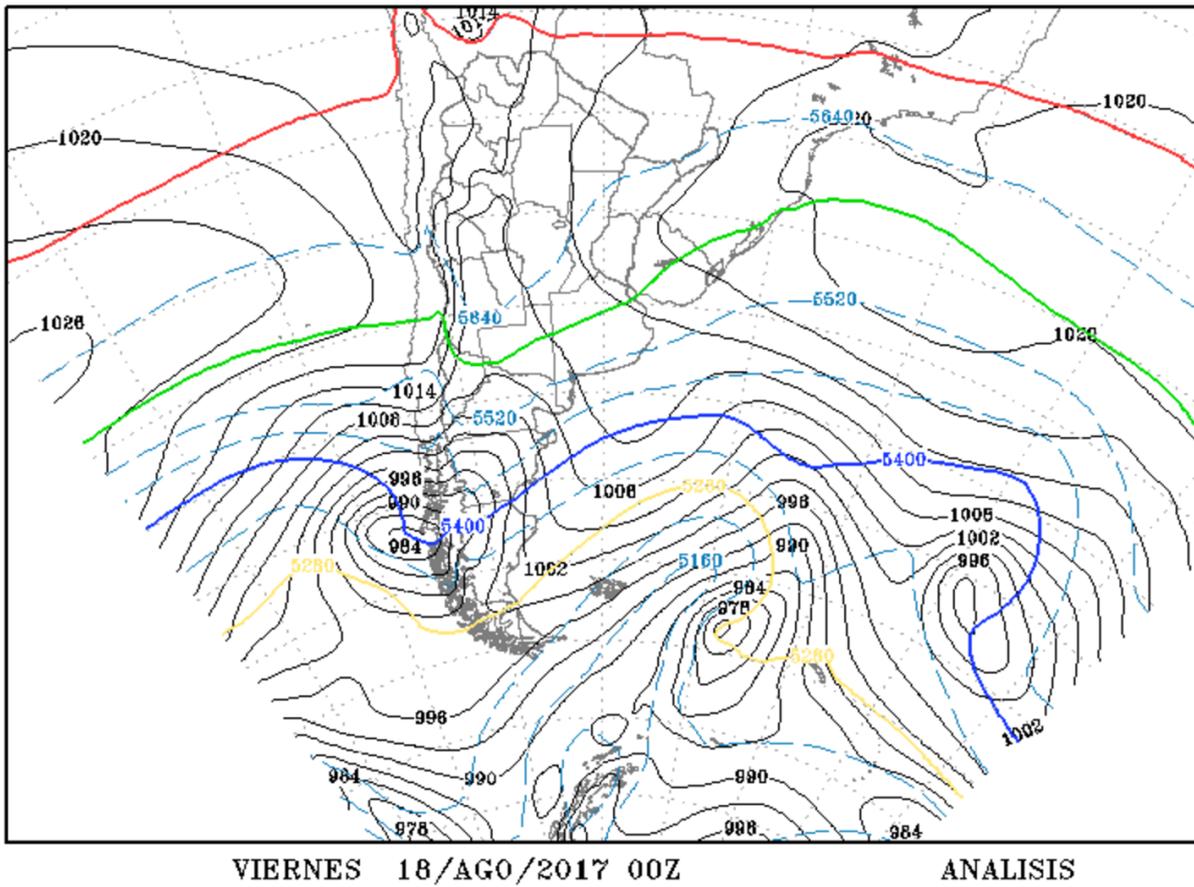


Figura 25. Ejemplo de un mapa sinóptico que originó un evento caracterizado por vientos provenientes del sector W. Se observa la formación de una vaguada sobre la región como consecuencia del paso de un frente frío. En este caso el mapa pertenece al día 18 agosto de 2017.

3.2. Comunidad zooplanctónica de la zona de deslizamiento: composición y abundancia

Teniendo en cuenta todos los muestreos (antes y después de los eventos) la comunidad zooplanctónica estuvo representada por un total de 53 taxa, incluidas especies, géneros y en algunas ocasiones, categorías taxonómicas superiores. La fracción holoplanctónica representó el 26,41% del total de los taxa observados mientras que los porcentajes restantes correspondieron al meroplancton (33,96%) y plancton adventicio (39,62%). El holoplancton (14 taxa) estuvo principalmente representado por copépodos (7), siendo estos crustáceos los más importantes en términos de número de taxa y abundancia. Entre estos últimos, predominaron dos especies: *A. tonsa* y *P. parvus*, los cuales estuvieron presentes en todos los muestreos antes y después e los eventos. Otras especies de copépodos como *C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis* se registraron especialmente después de los eventos de viento del sector W, evidenciando una importante influencia de aguas de la plataforma interior adyacente al área de estudio. Dentro del holoplancton, se observaron también misidáceos, decápodos, quetognatos, apendicularios y medusas. Sin embargo, estos taxa no mostraron un patrón claro respecto a los muestreos antes y después de los eventos. La fracción meroplanctónica (17 taxa) estuvo compuesta principalmente por poblaciones de poliquetos, decápodos adultos y huevos de peces, observándose también algunas medusas y larvas zoea de cangrejos. El plancton adventicio (22 taxa) estuvo representado por varias especies de crustáceos: adultos bentónicos de anfípodos, isópodos, cumáceos, ostrácodos y tanaidáceos. Esta última fracción estuvo bien representada en términos de número de taxa en los muestreos después de los eventos de viento (SE-SW y W).

Desde el punto de vista cuantitativo, la tendencia general en ambos casos (vientos SE-SW y W) fue de un importante incremento de la abundancia total del zooplancton después de los eventos de corta duración (< 6 h) y una disminución de la abundancia total después de los eventos de larga duración (> 6 h) (Figuras 26 y 27). En los de larga duración, la

disminución de la abundancia fue evidente para el holoplancton y meroplancton, sin embargo, el plancton adventicio mostró un aumento en su abundancia, el cual fue sustancialmente mayor en los muestreos post-evento del sector SE-SW (Figuras 26 y 27). La abundancia total del zooplancton varió entre 7,4 (12 de septiembre de 2017) y 9.292,7 ind. m⁻³ (27 de marzo de 2018) después de los vientos SE-SW; mientras que después del viento W, fluctuó entre 38,1 (7 de junio de 2017) y 5.424,9 ind. m⁻³ (4 de julio de 2017). El holoplancton fue la fracción mejor representada en términos de número de organismos en ambos casos (SE-SW y W). Esta fracción representó entre el 9,2 y el 99% de las abundancias totales del zooplancton después de los eventos. En este grupo, *A. tonsa* fue la especie dominante luego de los eventos de viento del sector SE-SW, con abundancias máximas de 9.079,1 ind. m⁻³ (27 de marzo de 2018). En cambio, el copépodo *P. parvus* fue el dominante luego de los eventos de viento del W, con abundancias máximas de 4.455,5 ind. m⁻³ (4 de julio de 2017) (Tabla 11). Es importante aclarar que los casos de viento del W registrados ocurrieron en las estaciones de otoño-invierno, mientras que los eventos de viento SE-SW ocurrieron durante todo el año.

Se observó la presencia de especies típicas de la plataforma interna como *C. vanus*, *E. acutifrons*, *L. fluviatilis*, *C. carinatus* luego de eventos de viento del W, evidenciando una importante influencia de estas aguas en la zona de deslizamiento bajo estas condiciones (Tabla 11). El meroplancton y el plancton adventicio fueron en general menos abundantes que el holoplancton y representaron entre 0,1-40,4% y 0-79,9% de las abundancias totales del zooplancton, respectivamente. Esta última fracción se registró comúnmente después de los eventos de viento, con abundancias máximas el 19 de junio de 2017 (nectoquetas de poliquetos bentónicos: 24 ind. m⁻³; Isopoda: 45 ind. m⁻³) y el 17 de julio de 2017 (nectoquetas de poliquetos bentónicos: 37 ind. m⁻³; Isopoda: 17 ind. m⁻³) evidenciando una mayor resuspensión de organismos de fondo luego de los eventos de viento (Tabla 11).

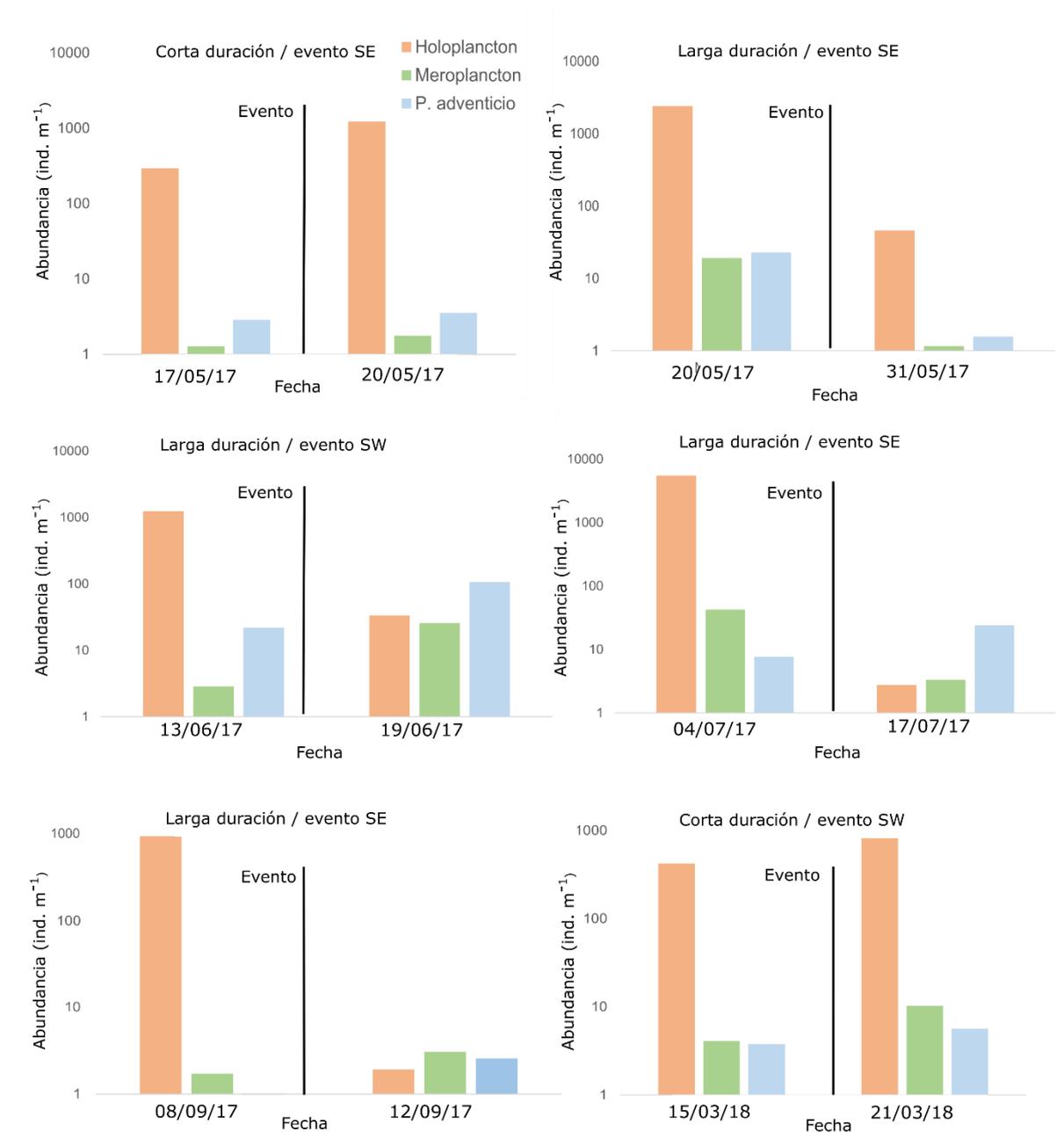


Figura 26. Abundancias de holoplancton, meroplancton y plancton adventicio antes y después de los eventos de vientos del sector SE-SW de larga y corta duración durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. La fecha de los eventos se muestra en el gráfico con línea negra. La abundancia se expresa en escala logarítmica.

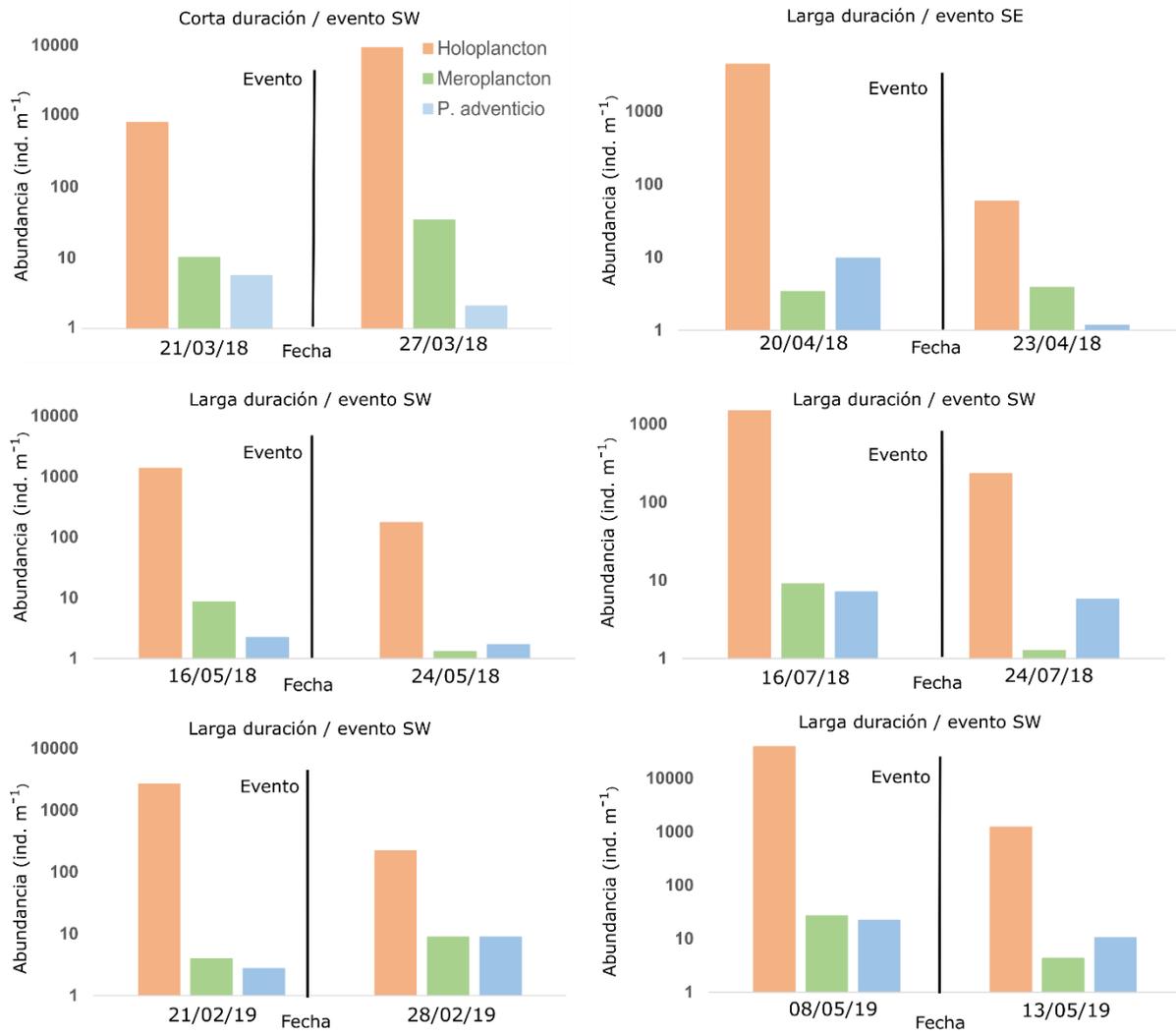


Figura 26 (continuación).

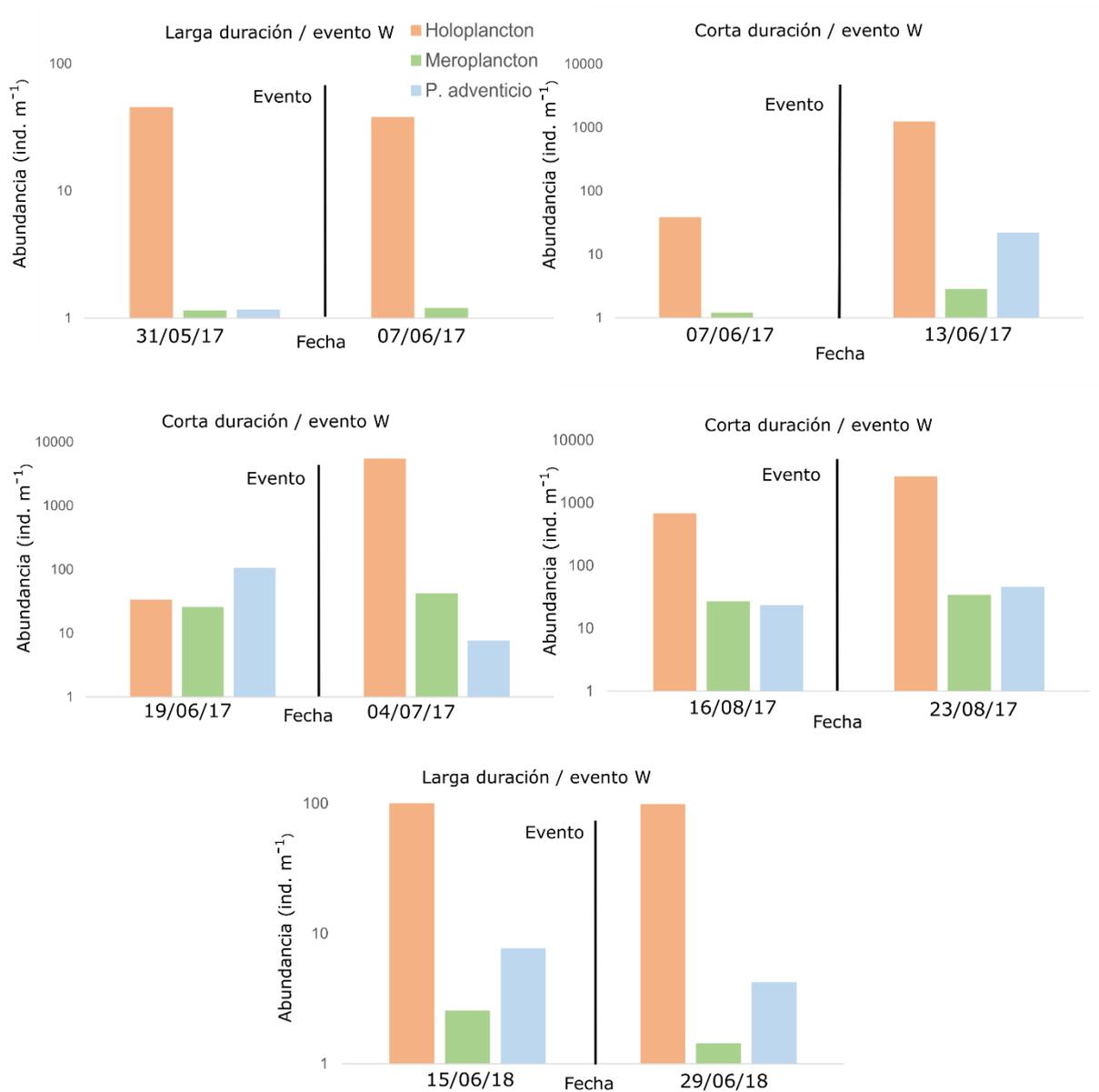


Figura 27. Abundancias de holoplancton, meroplancton y plancton adventicio antes y después de los eventos de vientos del sector W de larga y corta duración. Las fechas de los eventos se muestran en el gráfico con línea negra. La abundancia se expresa en escala logarítmica.

Tabla 11. Abundancias medias (ind. m⁻³) de las 19 especies más abundantes registradas antes (A) y después (D) de los eventos de viento (SE-SW/W de corta y larga duración) durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

Taxa	Eventos SE-SW de corta duración		Eventos W de corta duración		Eventos SE-SW de larga duración		Eventos W de larga duración	
	A	D	A	D	A	D	A	D
<i>Acartia tonsa</i>	483,8	3694,6	62,9	570,6	5433,9	187,4	31,4	13,1
<i>Paracalanus parvus</i>	15,3	48,4	138,5	2147,7	911,3	20,6	35,9	34,6
<i>Ctenocalanus vanus</i>	0	0	8,1	135,8	54,3	3	3,3	16,6
<i>Calanoides carinatus</i>	0	0	12	11,3	31,4	1,5	0	1,2
<i>Labidocera fluviatilis</i>	6,4	0,3	0,6	0,8	3,3	0,9	0	1,3
<i>Euterpina acutifrons</i>	0,2	4,2	2,4	12,9	6,9	0,7	1,1	2,6
<i>Liriope tetraphylla</i>	1,5	3,7	0	0	0,2	0,8	0	0
<i>Parasagitta friderici</i>	2,6	9,9	10	18,8	4,6	0,6	0,1	0
<i>Cyrtograpsus altimanus</i> (L-zoea)	1,2	1,8	0,8	0	2,9	1	0,7	0
Polychaeta (L)	0,4	2,5	8,1	0	0	3,1	0	0,2
Spionidae (L)	0	0	3,4	21,7	4,4	0	0	0
Grapsidae (L-megalopa)	1,2	6,2	5	0	0,7	0,9	0	0,1
<i>Corophium spp.</i>	1,7	1,1	3,1	0,8	1,9	1,7	0,6	0,2
Gammaridae	0,1	0	2	0	0	0,8	0	0
Phoxocephalopsidae	0,2	0,1	3,4	0,8	0,1	1,4	0,4	0,2
Amphipoda non id.	0,1	0,1	0	2,8	0	0,2	0,1	0
Isopoda	0	0	0,1	0	0	1,2	0	0
Cumacea	0,1	0,1	0,9	0,6	0,3	1,2	1,2	0
Harpacticoida	0,2	0,2	1,4	3,8	0,6	1,2	0,3	0,6
Abundancia muy baja								
Abundancia baja								
Abundancia media								
Abundancia alta								
Abundancia muy alta								

3.3. Análisis multivariado

El análisis de clasificación y ordenación separó las muestras en cuatro grupos principales, los cuales se corresponden principalmente con la duración de los eventos y la dirección predominante del viento. En la Figura 28 se muestra la ordenación bidimensional de las muestras por NMDS. Los grupos 1 y 2 incluyeron tres muestras cada uno y los grupos 3 y 4, incluyeron dos y nueve muestras, respectivamente. Los grupos 1 y 2 representaron los eventos de corta duración, correspondiendo al grupo 1 los eventos con vientos del sector W, mientras que el grupo 2 incluyó eventos con vientos del sector SE-SW. Estos grupos se caracterizaron por un aumento de la abundancia total después del evento (mitad superior de la parcela, Figura 28). Por otro lado, los grupos 3 y 4 representaron los eventos de larga duración (mitad inferior de la gráfica, Figura 28), perteneciendo al grupo 3 los eventos con vientos del sector W, mientras que el grupo 4 abarcó los eventos con vientos de los sectores SE-SW. Estos dos últimos grupos, se caracterizaron por una disminución de la abundancia total después del evento. Al mismo tiempo, los eventos del W se agruparon a la izquierda de la gráfica (grupos 1 y 3), mientras que los eventos SE-SW se agruparon a la derecha del NMDS (grupos 2 y 4), mostrando una diferencia sustancial en la dirección del viento (W, SW y SE de izquierda a derecha del gráfico, respectivamente).

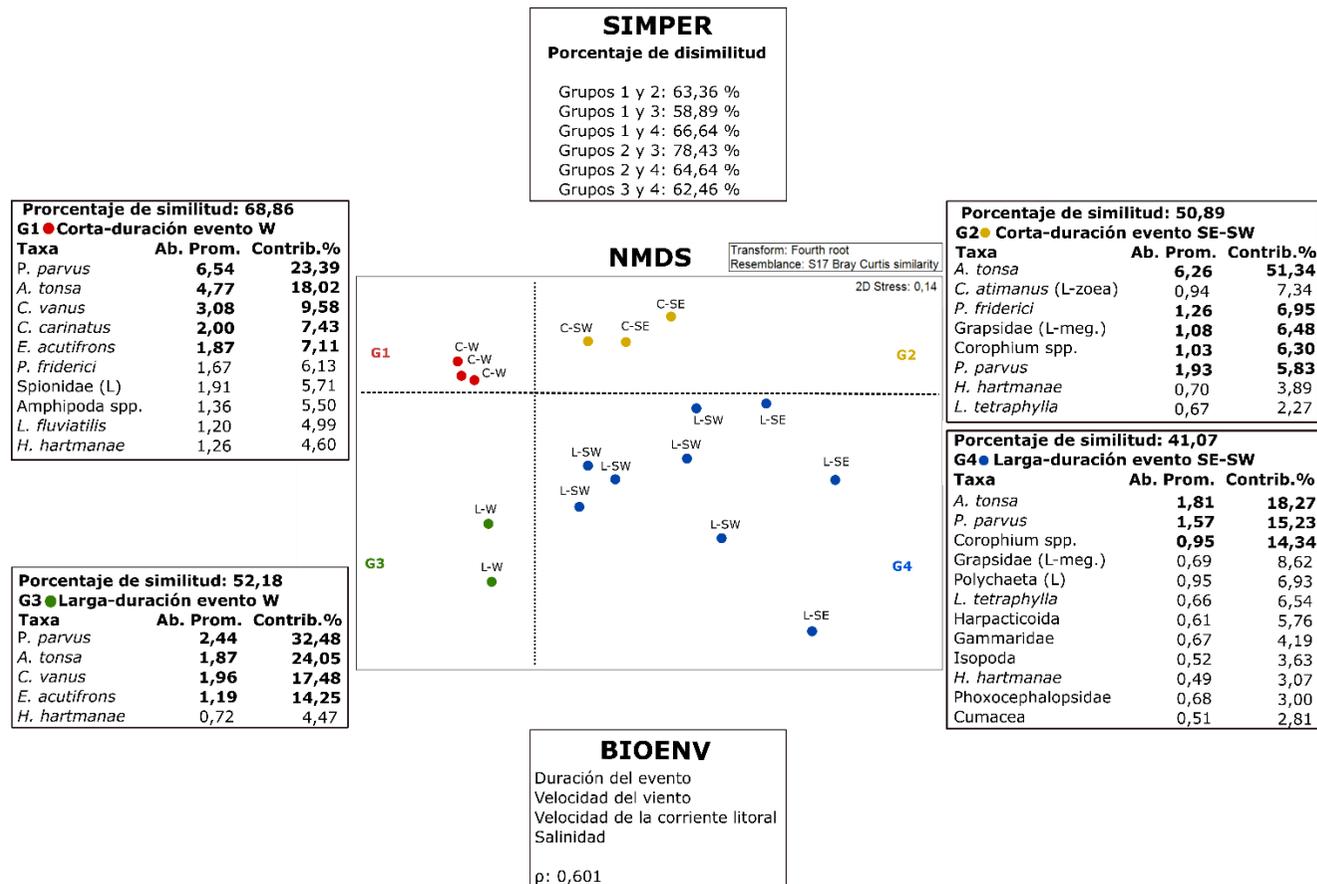


Figura 28. Análisis de ordenamiento multidimensional (NMDS) de la abundancia total del zooplankton después de los eventos de tormenta. El gráfico muestra cuatro grupos correspondiendo principalmente a la duración del evento y dirección del viento. Además, se muestran los resultados del Análisis de similitud (SIMPER) entre grupos descritos por ANOSIM, mostrando los porcentajes de las especies y los taxa que más contribuyen a la discriminación de grupo y el análisis BIOENV visualizando las variables ambientales que influyeron significativamente en la comunidad biológica.

A través del análisis de similitud (SIMPER) se identificaron los taxa que contribuyeron con las diferencias observadas entre los grupos obtenidos a través del NMDS (Figura 28). Teniendo en cuenta los resultados del SIMPER, los copépodos *A. tonsa* y *P. parvus* tipificaron todos los grupos, encontrándose en mayores abundancias en los grupos 1 y 2, y en menor abundancias en los grupos 3 y 4 (Figura 28). Por lo tanto, las diferencias entre los grupos fueron dadas principalmente por una variación en sus abundancias relativas. Otros taxa también contribuyeron a las diferencias entre los grupos. Los taxa que tipificaron al grupo 1, además de *P. parvus* y *A. tonsa* fueron los copépodos de la plataforma interna *C. vanus*, *C. carinatus* y *E. acutifrons*. También estuvieron presentes el quetognato *P. friderici*, larvas de Spionidae y anfípodos (Figura 28). El grupo 2 estuvo representado principalmente por el copépodo *A. tonsa*. Otros taxa como larvas zoea de grápsidos *C. altimanus*, *P. friderici*, larvas megalopa de grápsidos, *Corophium* sp. y *P. parvus* estuvieron presentes en este grupo, aunque con menores abundancias (Figura 28). Los grupos 3 y 4 se caracterizaron por una baja abundancia total, siendo *P. parvus* y *A. tonsa* las especies representativas del holoplancton en ambos grupos. Sin embargo, se observaron diferencias importantes en cuanto al número de taxa y su composición, siendo cuantitativamente mayor el número de organismos del plancton adventicio en el grupo 4 respecto del grupo 3. El grupo 3 se caracterizó por la presencia de *C. vanus* y *E. acutifrons* (especies de plataforma interna). Contrario a esto, el grupo 4 se caracterizó por especies de la fracción adventicia: *Corophium* sp., larvas megalopa de grápsidos y larvas de poliquetos principalmente. Otros taxa que tipificaron al grupo 4 fueron *L. tetraphylla*, copépodos harpacticóideos, anfípodos de la familia Gammaridae, isópodos, anfípodos de la familia Phoxocephalopsidae y la especie *H. hartmanae*, y Cumáceos (Figura 28).

El ANOSIM mostró diferencias significativas entre los grupos ($R_{\text{global}} = 0,624$, $p = 0,005$). El test de comparación de a pares mostró diferencias significativas en todos los pares de comparaciones ($R > 0,77$, $p < 0,05$), con la excepción de la comparación entre los grupos 3 y 4 ($R = 0,325$, $p = 0,06$). La rutina BIOENV mostró que, entre todas las posibles

combinaciones de las nueve variables ambientales, la **duración de los eventos** y la **velocidad del viento** fueron las dos principales variables que influyeron sobre la comunidad zooplanctónica (composición y abundancia) observada en el NMDS ($\rho = 0,601$). Una combinación de VCL y salinidad también arrojaron un alto nivel de correlación ($\rho = 0,601$) (Figura 28). Por otro lado, la temperatura del agua, $E_{vi\ acum}$, H_s y Clo-a también estuvieron altamente correlacionados ($\rho > 0,580$) generando una importante influencia sobre la comunidad zooplanctónica.

4. DISCUSIÓN

Los procesos meteorológicos generados por el pasaje de las tormentas y los fuertes vientos explican gran parte de la variabilidad biológica en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. En particular, en este estudio se comprueba la presencia de cambios en la comunidad zooplanctónica (composición y abundancia) luego del pasaje de tempestades de viento de diferentes características. Las distintas direcciones (SE-SW y W) y la duración de los eventos de viento ($> \text{ó} \leq 6$ h) generaron diferentes condiciones físicas en la zona de deslizamiento, las cuales alteraron de manera desigual el ecosistema generando cambios en la composición y abundancia de las comunidades zooplanctónicas. Considerando todos los casos analizados durante este estudio, se los agrupó en cuatro tipos de eventos teniendo en cuenta tanto la dirección (SE-SW y W) como la duración del evento (horas): eventos de corta duración y eventos de larga duración, y dentro de cada grupo: eventos de viento del W y eventos de viento del SE-SW. De esta manera, la “dirección del viento” junto con la “duración del evento” se convirtieron en importantes variables a tener en cuenta para determinar la característica del impacto de un evento meteorológico en la comunidad zooplanctónica de la zona de deslizamiento. Si bien la comunidad zooplanctónica se vio muy afectada por el pasaje de eventos de tormenta en su composición y abundancia, los efectos más importantes se observaron sobre las especies dominantes, los copépodos *A. tonsa* y *P. parvus*. Los taxa registrados antes y después de los eventos coincidieron con los reportados previamente para el área de estudio en otras condiciones

climáticas (Baleani *et al.*, 2020). *A. tonsa* fue la especie representativa durante los casos muestreados en los meses cálidos, mientras que *P. parvus* lo fue en los eventos ocurridos en los meses más fríos. Los taxa presentes y dominantes en cada caso estudiado concuerdan con la variación estacional esperada para el área de estudio la cual fue abordada en el capítulo 3 de la presente tesis.

Los eventos de corta duración se asociaron con un aumento en la abundancia del zooplancton después del pasaje de la tormenta. Durante el transcurso de estos breves eventos meteorológicos, la energía de las olas y el nivel del agua se intensifican aumentando considerablemente la turbulencia en la zona de deslizamiento (Perillo *et al.*, 2003). La energía de las olas que llegan a la costa genera un incremento del nivel medio del agua, mucho mayor al esperado en condiciones de calma (Russell, 1993). Se han observado aumentos del nivel medio del agua como consecuencia de episodios de tormentas en ecosistemas costeros, los cuales han ocasionado importantes daños en la playa frontal (Guerin *et al.*, 2018). Morgan *et al.* (2017a) propusieron un modelo hidrodinámico en el cual explican cómo los organismos zooplanctónicos pueden ser transportados a la zona de deslizamiento de acuerdo al comportamiento natatorio individual (preferencia de profundidad y hundimiento en respuesta a la turbulencia) y su relación con los momentos de calma frente a los vientos provenientes del mar (onshore winds). Estos autores demostraron que en los momentos en los que sopló viento proveniente del mar, los organismos zooplanctónicos se desplazaron hacia la zona de deslizamiento, siendo impulsados por corrientes superficiales inducidas por las altas velocidades del viento marino. Esto generaría altas concentraciones de plancton en las zonas de deslizamiento (Morgan *et al.*, 2017a). En este estudio, la acumulación de zooplancton en la zona de deslizamiento luego de los eventos de corta duración, podría llegar a explicarse por una situación hidrodinámica similar a la estudiada por Morgan *et al.* (2017a). Si bien en los casos analizados en este capítulo no se presentan datos de alta frecuencia de altura de la ola y nivel de agua, se asume que un aumento del nivel de agua producto de la energía de las olas sucede durante los eventos de corta

duración. Probablemente, en los casos de vientos de corta duración, se retienen individuos en la zona de deslizamiento debido al apilamiento de agua producto de la turbulencia, dando como resultado un aumento de las abundancias luego del evento (Figura 29).

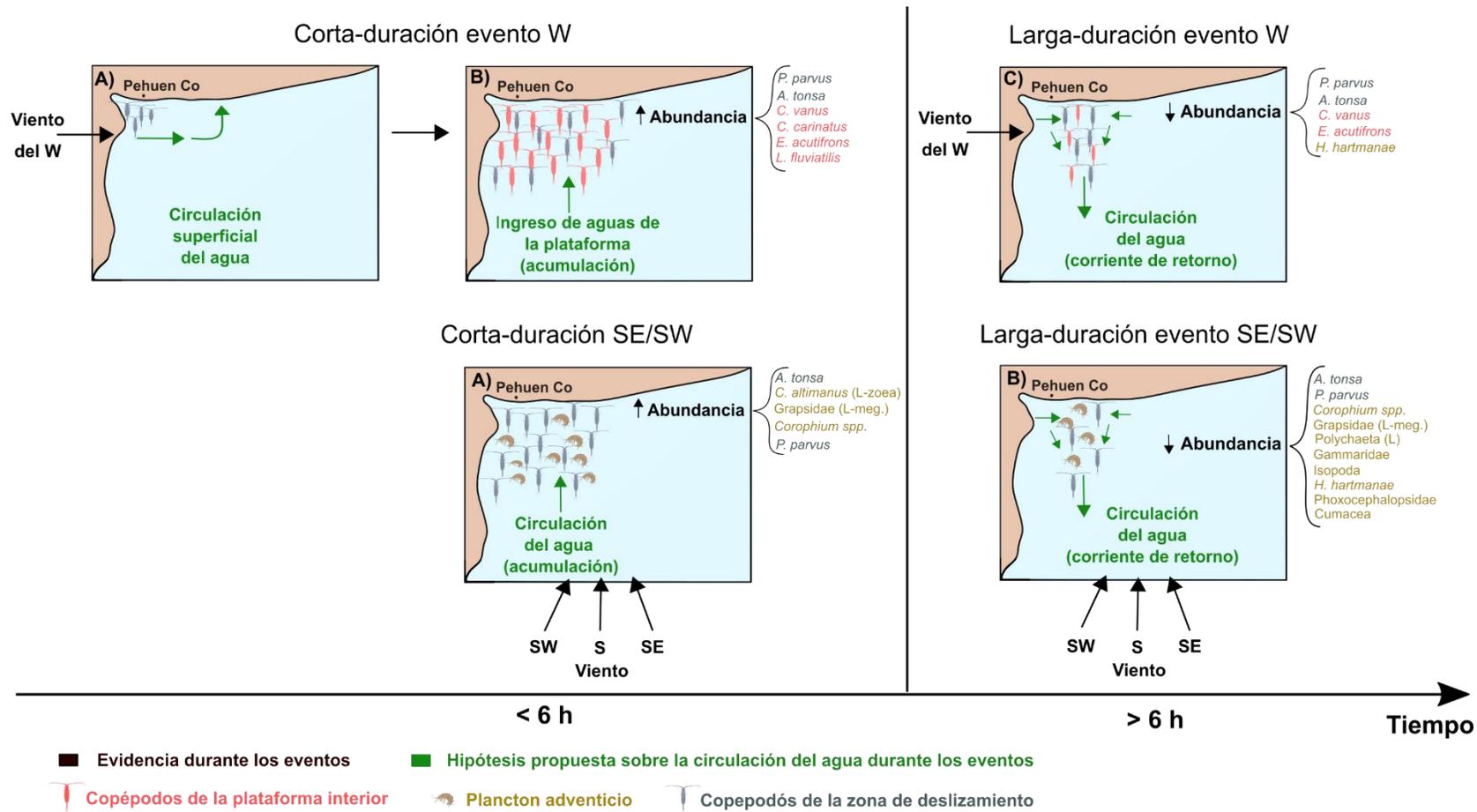


Figura 29. Representación gráfica de las hipótesis propuestas sobre los mecanismos de circulación del agua y las evidencias visualizadas durante los cuatro tipos de eventos registrados a lo largo del período de estudio. En el diagrama se muestran los eventos de viento del W y SE/SW de corta y larga duración en la parte superior e inferior y de izquierda a derecha, respectivamente. Además se muestra la composición taxonómica del zooplancton después de los eventos clasificados como copépodos de la plataforma interior, plancton adventicio y copépodos de la zona de deslizamiento.

Teniendo en cuenta la composición taxonómica de los eventos de corta duración, se identificaron diferencias entre los eventos de viento del SE-SW y los eventos del W. Los del W de corta duración, se asociaron con la presencia de especies de la plataforma interior como *C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis*, evidenciando una importante influencia de estas aguas en la zona de deslizamiento durante estos eventos. Sin embargo, en los del SE-SW, se observó un mayor número de taxa del plancton adventicio, mostrando resuspensión de fondo durante estos eventos. Por otro lado, *A. tonsa* y *P. parvus* estuvieron presentes luego de todos los eventos de corta duración, independientemente de la dirección del viento (Figura 29). McLachlan y Defeo (2018) clasificaron al zooplancton de la zona de deslizamiento en taxa *residentes* y *no residentes*. Los organismos *residentes* presentan una ocurrencia regular, pudiendo ser formas planctónicas o bento-planctónicas. Estas especies son advectada de forma más o menos continua y bajo la mayoría de las condiciones ambientales (estado de playa, vientos, etc.) desde mar adentro hacia la zona de deslizamiento. Los taxa *no residentes*, como por ejemplo organismos típicos de la plataforma continental interior, tienen una presencia esporádica en estas aguas producto de la advección ocasional debido a condiciones menos frecuentes (corrientes inducidas por vientos de ciertas características, tormentas, etc.). Estos taxa *no residentes* pueden ser organismos de las fracciones holoplanctónica (micro, meso y macrozooplancton) y meroplanctónica (larvas de formas adultas bentónicas) (McLachlan y Defeo, 2018). En este estudio, las especies *A. tonsa* y *P. parvus* son consideradas especies *residentes*. Estos copépodos fueron encontrados con mayores abundancias en los muestreos post-eventos de corta duración, independientemente de la dirección del viento registrada. Estos organismos planctónicos concuerdan con la variación estacional esperada para el área de estudio, la cual fue detallada en el capítulo 3 de esta tesis. Con respecto a los taxa *no residentes* o visitantes (especies de plataforma interior), solo estuvieron presentes después de los eventos de viento W, evidenciando un cambio de la circulación costera el cual permitió que aguas de la plataforma interior interactúen con las de la zona de deslizamiento. Durante los eventos de corta duración del W, los vientos soplaron paralelos a la costa por lo que,

debido a una circulación superficial, ingresan aguas de la plataforma continental interior adyacente (Lopes *et al.*, 1999). Esta situación permitiría la acumulación de organismos planctónicos en la zona de deslizamiento (Figura 29). Este fenómeno explicaría la presencia esporádica de taxa visitantes en las aguas de la zona en estudio. La presencia aleatoria de especies *no residentes* luego de eventos de viento y/o tormentas ha sido evidenciada en otros estudios, especialmente en comunidades macrobentónicas (Carcedo *et al.*, 2014) las cuales se ven afectadas por la llegada de organismos como el gasterópodo *Pleurobranchaea incospicua*, *Polycirrus sp.*, el gusano *Sabellaria nanella*, octocorales y briozoos de áreas adyacentes. Los taxa más abundantes después de los eventos de viento del sector W fueron *C. vanus*, *C. carinatus* y *E. acutifrons*. Los copépodos *C. vanus* y *C. carinatus* son organismos de talla mediana/grande y son comúnmente hallados en aguas de la plataforma continental interior (profundidades < 50 m) y media (~ 50 - 100 m) entre los 34° - 41° S (Cepeda *et al.*, 2018). Estos calanoideos son buenos indicadores de sistemas productivos (Sabatini y Martos 2002). Su presencia en la plataforma interior adyacente al área de estudio se asocia muchas veces al aprovechamiento de los picos máximos de fitoplancton que ocurren cuando se generan los “bloom” de diatomeas (Carreto *et al.*, 1995). En este estudio, su presencia en la zona de deslizamiento se asoció meramente al ingreso de aguas de la plataforma interior generado por un cambio en la circulación del agua producto de los vientos que soplaron paralelos a la costa. Por otro lado, los copépodos bento-pelágicos de tamaño pequeño como *E. acutifrons* forman parte del ensamblaje de copépodos del área faunística de la plataforma interior, siendo dominantes en la comunidad mesozooplanctónica durante todo el año (Viñas *et al.*, 2013b; Cepeda *et al.*, 2018). *L. fluviatilis* también ha sido comúnmente reportado luego de eventos de viento del sector W. Esta especie es típica de aguas costera de la plataforma interior, la cual se encuentra generalmente restringida a 34° - 41° S (la plataforma norte de Argentina) (Cepeda *et al.*, 2018). Otro organismo holoplanctónico como el quetognato *P. friderici* también ha sido reportado después de los eventos de corta duración, independientemente de la dirección de los vientos (W o SE-SW). Esta especie es considerada visitante y su aparición se asoció

principalmente a la advección por corrientes inducida por el viento, las olas y las mareas luego de estos eventos. Estos quetognatos se caracterizan por ser depredadores activos de organismos planctónicos, cuya dieta está compuesta principalmente de copépodos (Feigenbaum, 1991; Casanova, 1999), siendo las presas más comunes en esta área *C. carinatus* y *C. vanus*, entre otros (Sato *et al.*, 2011). En este estudio, la presencia de estos carnívoros se asocia al arribo de las masas de agua que llegan a la zona de deslizamiento luego de los eventos de corta duración siendo acarreados, junto con sus presas que cohabitan en las aguas de plataforma interna (copépodos). En el caso del meroplancton el patrón no fue claro, observándose larvas zoea de grápsidos como los contribuyentes más importantes de los taxa *no residentes* luego de algunos eventos de corta duración del SE-SW, mientras que las larvas de espionidos lo fueron luego de algunos eventos de corta duración del W. Su aparición esporádica podría deberse al momento del año en el que se registraron dichos eventos. Los eventos de viento del SE-SW se registraron en los meses más cálidos, coincidiendo con el período de reproducción activa de numerosos organismos (Spivak, 1997). Los patrones de reproducción asociados a la estacionalidad ya han sido informados en otras aguas costeras y estuarinas (Marques *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2011). En cuanto al plancton adventicio, la tendencia entre ambos tipos de eventos de corta duración (vientos SE-SW y W) no fue clara. Sin embargo, la presencia del anfípodo *Corophium* sp. manifiesta la diferencia entre ellos, estando presentes en los eventos de corta duración SE-SW. *Corophium* sp. fue descrita como una especie bentónica, pero con cierta capacidad natatoria (Hughes, 1988). En condiciones de laboratorio, este anfípodo rara vez realiza nados a más de unos 25 cm del fondo (Medaws y Reid, 1966). Esto último indicaría que, a pesar de la turbulencia en la zona de deslizamiento, los organismos bentónicos permanecen cerca del fondo. Sin embargo, la presencia de estos organismos en nuestro estudio revela que los eventos de SE-SW afectarían considerablemente su comportamiento. Probablemente, los vientos SE-SW provocan más turbulencia en la zona de deslizamiento que los vientos del W, generando una resuspensión importante del fondo, haciendo que estos organismos sean hallados en la columna de agua. Además, el modelo propuesto por

Morgan *et al.* (2017) mencionado anteriormente, sugiere que durante el forzamiento de vientos provenientes del mar (onshore winds = vientos del SE-SW), el flujo bentónico puede transportar larvas hacia la zona de deslizamiento (Fujimura *et al.*, 2014; Shanks *et al.*, 2014; Navarrete *et al.*, 2015) favoreciendo el suministro de las mismas hacia hábitats costeros de asentamiento (Thorson, 1964; Queiroga y Blanton, 2005). Posteriormente, estas especies se hunden en respuesta a la turbulencia con el fin de asentarse para luego desarrollarse como adultos bentónicos (Fuchs y DiBacco, 2011; Roy *et al.*, 2012; Fuchs *et al.*, 2013). Esta hipótesis podría llegar a explicar la presencia de estadios larvarios tardíos de grápsidos (megalopa) después de un evento de corta duración de SE-SW. Si bien no hay trabajos en la literatura científica que evalúen la resuspensión de organismos bentónicos en la zona de deslizamiento luego del pasaje de tormentas, estudios realizados en la zona intermareal de las playas de arena de Brasil han reportado un incremento de organismos bentónicos después del paso de eventos de tormenta (*p. ej.*, Machado *et al.*, 2016; Tarrago y Ozorio, 2016). Además, se ha mencionado la mortalidad masiva de ellos debido a eventos de tormenta en otras playas de Brasil, como consecuencia de procesos erosivos (Fitch, 1950; McLachlan *et al.*, 1996; Galluci y Netto, 2004).

Con respecto a los eventos de larga duración, se han asociado con una importante disminución en la abundancia luego del paso de los mismos. La zona de deslizamiento quedó totalmente “vacía” de organismos planctónicos, en paralelo con un incremento en la abundancia del plancton adventicio. Esta situación fue más evidente en los eventos de vientos del sector SE-SW que en los del sector W. Durante este tipo de eventos, se produce una sobrecarga de agua en la zona costera, producto de las olas que llegan al área (Russell, 1993). Este apilamiento de agua en la costa favorece el aumento en la intensidad de las corrientes generadas en el área, equilibrándose las mismas por las corrientes de retorno (Perillo *et al.*, 1996; Thorton *et al.*, 1996; Aagaard *et al.*, 2013; Van Rijn, 2013). La disminución de la abundancia podría deberse al transporte de material que se produce durante la rápida variación del nivel del mar luego de estos eventos, lo cual provocaría que

los organismos zooplanctónicos sean transportados por la corriente de retorno aguas afuera de la zona de deslizamiento (Morgan *et al.*, 2017a) (Figura 29). A pesar de las bajas abundancias registradas luego de los eventos de larga duración, se detectaron diferencias en la composición de la fauna entre ambos tipos de eventos. Dentro de los eventos de larga duración, los del SE-SW se asociaron con la presencia de organismos del plancton adventicio tales como larvas megalopa de grápsidos, isópodos, anfípodos y cumáceos. En los eventos de viento del W estas taxa no se registraron, siendo hallado solo el anfípodo *H. hartmanae*. Por lo tanto, el mismo patrón detectado para eventos de corta duración del SE-SW se encontró para los casos de larga duración del SE-SW, ratificando que los vientos del S generan más turbulencia en la zona de deslizamiento que los vientos del W, provocando una resuspensión considerable del fondo marino y como consecuencia, de organismos bentónicos (Lohrer *et al.*, 2006). Varios estudios sobre organismos bentónicos han reportado que los isópodos y anfípodos tienden a abandonar el sustrato mostrando migraciones hacia el plancton con las mareas, particularmente durante las mareas altas nocturnas (McLachlan y Brown, 2006). Esta situación podría ser la responsable de una mayor resuspensión de organismos hiper-bentónicos luego de los eventos de larga duración SE-SW, los cuales duran en su mayoría más de un ciclo de marea (12 h). En conclusión, vale la pena señalar que la dirección del viento parece ser una variable esencial a considerar en la zona de deslizamiento, dependiendo además de la orientación y geomorfología de la playa. Además del conocimiento general de que los eventos de viento de diferente naturaleza (de larga/corta duración, del SE-SW/W) inducen condiciones de alta energía en los ambientes costeros con consecuencias significativas en la morfología de la playa, los distintos efectos sobre los organismos zooplanctónicos también deberían considerarse en estudios comunitarios en playas de arena. No sólo las fuertes velocidades de viento son cruciales para determinar la variabilidad en la estructura de la comunidad, sino también la dirección y duración del mismo, lo cual determinan las características del flujo de agua en esta zona.

5. CONCLUSIÓN

Se estudiaron distintas tormentas que originaron eventos de fuertes vientos. Los eventos se clasificaron de acuerdo a su duración y a la dirección de viento predominante. Se realizaron muestreos de zooplancton antes y después de cada evento con el fin de evaluar en detalle los cambios en la comunidad ante el pasaje de estos eventos. Se demostró que, ante el pasaje de un evento meteorológico, la comunidad zooplanctónica es afectada tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Los eventos se agruparon en cuatro tipos teniendo en cuenta la dirección predominante del viento y la duración de estos en horas: eventos de corta duración del SE-SW y W (≤ 6 h) y eventos de larga duración del SE-SW y W (> 6 h). Los eventos de corta duración se asociaron con un aumento en la abundancia zooplanctónica luego del pasaje de la tormenta, siendo *A. tonsa* y *P. parvus* las especies dominantes y por lo tanto más afectadas. Dentro de los eventos de corta duración, los casos de viento predominante del W se asociaron con la presencia de copépodos típicos de la plataforma continental interior (*C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis*), evidenciando una importante influencia de estas aguas en la zona de deslizamiento durante estos eventos. No obstante, en los eventos de viento del sector SE-SW se observó un mayor número de taxa pertenecientes al plancton adventicio, mostrando una gran resuspensión de fondo durante los mismos. En cuanto a los casos de larga duración, estos se asociaron con una disminución significativa en la abundancia del zooplancton. Dentro de este grupo, los eventos del SE-SW se asociaron con la presencia de taxa del plancton adventicio. Estos resultados muestran cuán variable puede ser la estructura de la comunidad zooplanctónica en una escala corta de tiempo, evidenciando que tanto la dirección y duración de los eventos de viento influyen de manera diferente y notoria sobre la composición y abundancia del zooplancton en aguas de la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Esta variabilidad debe ser necesariamente considerada en estudios de comunidades zooplanctónicas en sistemas costeros similares con el fin de poder reconocer cambios a corto plazo de la comunidad zooplanctónica.

CAPÍTULO 5

EFFECTO DE LAS TORMENTAS SOBRE EL ZOOPLANCTON DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTO: PROPUESTA METODOLÓGICA UTILIZANDO DATOS DE ALTA FRECUENCIA

1. INTRODUCCIÓN

Como se indicó en varias oportunidades en los diferentes capítulos de esta tesis, la zona que se genera luego de la rompiente de las olas, tienen un nivel energético muy alto que influye no sólo en la geomorfología de la playa sino en la dinámica del material o especies en suspensión en esa zona (Perillo *et al.*, 2011). En una escala espacial, las variables ambientales pueden cambiar en cuestión de decenas de metros a kilómetros mientras que temporalmente, existen variaciones turbulentas del orden de segundos, horas (mareas), días, meses o escalas estacionales, interanuales, etc. Los eventos de tormenta provocan cambios importantes en las playas de arena en una escala de tiempo menor a la estacional, especialmente en términos de morfología costera (inundaciones/erosión) (Slott *et al.*, 2006; Bustos *et al.*, 2011b; Barnard *et al.*, 2015; Masselink *et al.*, 2016). Asimismo, la acción del viento durante estos eventos, puede producir un incremento en la altura media de las olas y la velocidad de las corrientes costeras, lo cual lleva a un aumento en el nivel medio del mar (Bustos *et al.*, 2011b; Masselink *et al.*, 2016). Son escasos los trabajos relacionados con los efectos que estos eventos pueden tener sobre las comunidades biológicas en playas de arena y la mayoría de ellos se basan en las comunidades bentónicas que habitan el intermareal (Cochoa *et al.*, 2006; Alves y Pezzuto, 2009; Machado *et al.*, 2016; Corte *et al.*, 2017; Tarrago y Ozorio, 2016). Ciertas investigaciones han sugerido que la variación espacio-temporal en la hidrodinámica de la zona de deslizamiento regula el abastecimiento de alimento planctónico y reclutamiento de larvas, con posibles efectos cascada sobre la dinámica y estructura de las comunidades de las playas de arena (Shanks *et al.*, 2014; Morgan *et al.*, 2016; Morgan *et al.*, 2017a). Se ha especulado también que las especies más

grandes y/o robustas pueden abandonar la zona de deslizamiento durante condiciones turbulentas (McLachlan y Defeo, 2018), sin embargo, se desconoce las consecuencias de estos procesos sobre los organismos zooplanctónicos más pequeños (mesozooplancton 200 μm - 20 mm).

Los procesos hidrodinámicos generados durante los eventos de tormenta son generalmente de corta duración (ej. horas, días) (Birkemeier, 1979; Lizarraga-Arcienaga *et al.*, 2007), siendo detectados de una manera adecuada a través de un monitoreo continuo de las variables ambientales que se ven afectadas (viento, olas, corrientes, nivel del mar). Los sensores automatizados representan una tecnología ampliamente utilizada para el conocimiento y mejor entendimiento de la dinámica de los sistemas naturales. A través de estos, se accede a una mayor frecuencia de medición y cobertura espacial que las alcanzadas a través de la observación humana en baja frecuencia (Porter *et al.*, 2009). Al medir en alta frecuencia, se puede establecer un intervalo de medición del orden de minutos y, por lo tanto, identificar y analizar patrones espacio-temporales de procesos físicos que ocurren en una escala temporal más corta que la frecuencia de muestreo habitual (Vitale *et al.*, 2018b). Su uso es muy extenso, pudiéndose emplear tanto en aplicaciones experimentales como en monitoreos ecológicos (*p. ej.*, Porter *et al.*, 2009, Rode *et al.*, 2016, Andersen *et al.*, 2020). El requerimiento de programas de monitoreo continuo para la obtención de una caracterización precisa de los efectos de la variabilidad climática en los sistemas costeros ha aumentado a nivel mundial (Dörnhöfer y Oppelt, 2016; IPCC, 2019). Varios estudios físicos han monitoreado eventos de tormentas en zonas costeras utilizando datos de alta frecuencia (*p. ej.*, Corte *et al.*, 2017; Guérin *et al.*, 2018; Cabezas-Rabadán, 2019), sin embargo, solo Corte *et al.* (2017), en las playas de Brasil, combinó la aplicación de este tipo de información con muestreos biológicos que vinculan comunidades bentónicas de la zona intermareal con la altura de las olas. Este trabajo evidenció un claro aumento en la diversidad beta (grado de cambio en la composición entre diferentes comunidades biológicas) luego del paso de eventos de tormenta. Actualmente, no existen estudios que

utilicen datos de alta frecuencia que permitan visualizar la evolución de estos eventos y al mismo tiempo, exploren los cambios del zooplancton durante las tormentas en las aguas de la zona de deslizamiento de playas de arena.

Los objetivos del presente capítulo son: (i) analizar la variación de las variables físicas durante eventos de tormenta integrando datos meteorológicos y oceanográficos medidos en alta frecuencia (ii) explorar la influencia de estos eventos sobre indicadores comunitarios como la abundancia del zooplancton, riqueza específica y diversidad. De esta manera, se pretende evaluar los cambios a corto plazo en la estructura de la comunidad de zooplancton producidos por el pasaje de tormentas en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co, estableciendo también el grado de interacción entre las condiciones atmosféricas y oceanográficas con el sistema pelágico. Cabe destacar que estos estudios son los primeros que se publican en la temática.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Datos biológicos

2.1.1. Muestreo del zooplancton

Durante el período de estudio comprendido entre mayo y julio de 2017 fue posible analizar un total de 13 tormentas (Tabla 12). En la mayoría de los casos se realizaron muestreos biológicos antes y después de las tormentas (Tabla 12), siempre que las condiciones climáticas fueran seguras para poder ingresar al mar. Bajo condiciones climáticas adversas, además del riesgo humano, la red de zooplancton se colmata de arena, impidiendo el normal funcionamiento de la misma.

Tabla 12. Detalle del muestreo de los 13 eventos de viento que azotaron la playa de Pehuen Co. Se muestra en la tabla el tipo de evento, el número de días y la fecha del muestreo biológico antes y después del evento. Además, se especifica la fecha de inicio, umbral máximo de energía y finalización del evento. C-duración: corta duración; L-duración: larga duración; MB: muestreo biológico.

Evento N°	Tipo de evento	MB Pre-evento (días/hs)	Fecha y hora del MB Pre-evento	Inicio del evento (fecha/hora)	Umbral de máx. Energía del evento (fecha/hora)	Fin del evento (fecha/hora)	MB Post-evento (días/hs)	Fecha y hora del MB Post-evento
1	C-duración			16/05/2017 23:10	17/05/2017 02:00	17/05/2017 05:20		
2	C-duración	2 días, 13h	17/05/2017 12:30	19/05/2017 01:30	19/05/2017 02:30	19/05/2017 06:12	1 día, 6h	20/05/2017 12:40
3	L-duración	5 días, 5h	20/05/2017 12:40	25/05/2017 17:50	26/05/2017 12:30	26/05/2017 20:38	4 días, 13h	31/05/2017 09:00
4	L-duración			04/06/2017 07:00	04/06/2017 12:00	04/06/2017 17:20		
5	L-duración	5 días, 13h	31/05/2017 10:00	05/06/2017 23:00	06/06/2017 13:40	07/06/2017 06:30	4 h	07/06/2017 10:20
6	C-duración			09/06/2017 09:30	09/06/2017 11:50	09/06/2017 16:50		
7	C-duración	5 días	07/06/2017 10:20	12/06/2017 10:50	12/06/2017 13:10	12/06/2017 16:44	17 h	13/06/2017 10:00
8	L-duración	3 días, 8h	13/06/2017 10:00	16/06/2017 18:40	18/06/2017 04:20	18/06/2017 23:22	11 h	19/06/2017 10:00
9	C-duración	12 días, 2h	19/06/2017 10:00	02/07/2017 12:40	02/07/2017 13:50	02/07/2017 17:10	1 día, 23h	04/07/2017 16:00
10	C-duración			05/07/2017 14:10	07/07/2017 16:00	07/07/2017 19:40		
11	C-duración			11/07/2017 23:50	12/07/2017 00:50	12/07/2017 06:50		
12	L-duración	10 días, 10h	04/07/2017 16:00	15/07/2017 02:30	15/07/2017 21:20	17/07/2017 08:00	6 h	17/07/2017 13:40
13	L-duración			21/07/2017 19:40	22/07/2017 01:10	22/07/2017 05:00		

La realización de los muestreos requirió de una precisa predicción de cada uno de los eventos de tormenta. La metodología de muestreo empleada durante las tormentas fue detallada en el capítulo 4. Todas las mediciones y toma de muestras se efectuaron durante las horas de luz, en marea bajante y en una estación fija (39°00'19.5 5 " S; 61°32'53.50" W), con profundidades que variaron entre 0,7 y 1,2 m (Figura 2 y Figura 30c). La metodología utilizada en el muestreo de campo fue detallada en el capítulo 3.

2.1.2. Tareas de laboratorio

Las muestras de zooplancton se analizaron cualitativa y cuantitativamente, con el fin de obtener la composición taxonómica específica y la abundancia de los taxa registrados. La metodología utilizada en el laboratorio fue detalla en el capítulo 3 y 4.

2.2. Datos físicos: Monitoreo de alta frecuencia

2.2.1. Datos meteorológicos

Los datos de viento (velocidad, dirección) se obtuvieron de la estación mencionada en capítulos previos. Desde 2007, esta estación proporciona mediciones de variables meteorológicas en tiempo real, que incluyen la temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento y radiación solar, con una frecuencia de muestreos de 5 minutos (Figura 30e). La estación meteorológica transmite la información a un servidor del IADO con una frecuencia de 30 min, vía GPRS. Como ya se mencionó, las partes electrónicas y mecánicas de las estaciones costeras se desarrollaron íntegramente en el IADO-CONICET. Los sensores de velocidad del viento utilizan un sensor óptico reflectante para contar las revoluciones, el cuerpo del sensor fue construido en acero inoxidable y Delrin.

2.2.2. Datos de nivel de agua y altura de olas

En este capítulo se incorporan las mediciones de altura y período de olas y nivel de agua para el estudio de la influencia de los eventos de tormenta sobre la comunidad

zooplanctónica de la zona de deslizamiento. Estas variables fueron medidas en otra estación EMAC ubicada en la zona de deslizamiento de Pehuen Co (39° 0' 7.26" S, 61° 31' 6.20" W) (Figura 30a). Esta estación consta de un conjunto de sensores desplegados a lo largo de una sección transversal a la línea de costa de aproximadamente 200 m, abarcando desde la zona sub-aérea en la playa distal hasta la línea de bajamar en sicigia (Figura 30a). Esta estación es la primera realizada en Argentina e incluso, no se tiene conocimiento de otra similar en América Latina. La estación permite medir de forma continua la temperatura del agua, sedimento y aire. Además, utilizando un sensor de presión ubicado en el extremo del tendido, se registra el nivel de agua, altura y período de olas (Figura 30d). La estación constituye un sistema modular de bajo costo cuya característica distintiva es la flexibilidad por parte del usuario para la configuración del monitoreo. Esta se conforma por un adquisidor central alimentado por energía solar (Figura 30b). Los datos se calculan cada 10 minutos y se transmiten al servidor del IADO cada 30 minutos vía GPRS. La información de presión se recopila con una frecuencia de 2 Hz durante 2 minutos, y luego, la altura de las olas y los períodos significativos se calculan *in situ* utilizando el método clásico de cruce por cero (Drapper, 1963). El nivel de agua se calcula como el promedio directo de los datos de presión de 10 minutos. Del valor obtenido de la altura significativa de la ola (H_s), se tomó el máximo valor de altura de ola y su correspondiente valor de período (T) detectado por los sensores durante el tiempo que duró la tormenta. Estos datos pueden observarse en tiempo real en: <http://emac.iado-conicet.gob.ar/2019/datosenvivo.php?idestacion=PHCO>. Esta estación fue diseñada, desarrollada y calibrada en el IADO por el Dr. Alejandro J. Vitale, investigador especializado del IADO-CONICET.

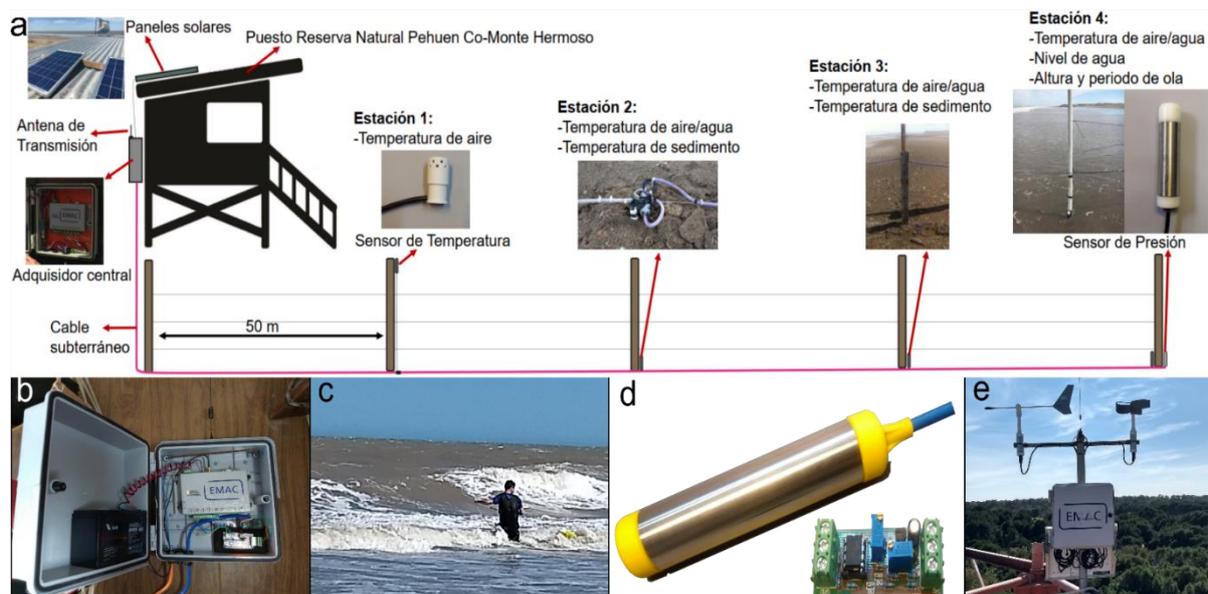


Figura 30. (a) Diagrama que muestra la configuración de la estación de monitoreo fisicoquímico costero (EMAC) localizada en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co (modificado de Mavo *et al.*, 2018). (b) Estación de monitoreo fisicoquímico costero (EMAC) en la playa. (c) Muestreo biológico en la zona de deslizamiento. (d) Sensores de nivel de agua, altura y período de ola y temperatura del aire y del agua en la zona de deslizamiento. (e) Estación Meteorológica Costera EMAC (velocidad y dirección del viento) ubicada en la playa de la ciudad de Monte Hermoso, a 20 km hacia el E del área de muestreo.

2.3. Análisis de los datos

La riqueza específica (S) y el índice de diversidad de Shannon (H') fueron calculados para todas las muestras biológicas. La derivada (variación o cambio de la variable en función del tiempo) de la abundancia del zooplancton total, holoplancton, meroplancton, plancton adventicio, S y H' entre los muestreos biológicos se computó con el fin de determinar la tasa de cambio o variación de cada una ante el paso de la tormenta. La duración de los eventos de tormenta se calculó utilizando los datos de viento registrados y su consecutivo procesamiento empleando el programa R. En el presente estudio los eventos de viento se

identificaron cuando el viento supero los 17 m s^{-1} , teniendo en cuenta solo los vientos superiores a 17 m s^{-1} para el análisis. La potencia instantánea del viento (P_{vi}) fue evaluada y a partir de la misma, la energía del viento (E_{vi}) por unidad de tiempo (en horas). Además, se computó la energía del viento acumulada ($E_{vi \text{ acum}}$) como la suma de E_{vi} para cada episodio de viento con el fin de determinar la cantidad de energía del viento que se transfirió a la zona de deslizamiento durante el pasaje de cada tormenta. Las fórmulas y metodologías utilizadas para el análisis de la potencia del viento, energía del viento y duración de los eventos de tormenta fueron detalladas en el capítulo 4.

La potencia de la ola (P_o) por unidad de cresta se definió de la siguiente manera:

$$P_o = (\rho_a g^2 / 64\pi) H_s^2 T \quad (4)$$

donde,

ρ_a = densidad del agua de mar ($\rho = 103$

0 kg m^{-3})

g = aceleración de la gravedad ($g = 9,81 \text{ m seg}^{-2}$)

H_s = altura significativa de la ola (m)

T = período de la ola (s)

Con respecto a los datos de marea, se realizó una corrección de las mediciones utilizando datos de referencia del nivel del agua (datos pronosticados de las mareas) obtenidos del Servicio de Hidrografía Naval (http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp). La corrección se realizó debido a que hay un tiempo de diferencia de 20 minutos entre la marea pronosticada obtenida del servicio de Hidrografía Naval de Monte Hermoso respecto del nivel medido en Pehuen Co por el sensor EMAC. De esta manera, el nivel de agua medido con el sensor de la estación EMAC se superpuso con el nivel de agua pronosticado para visualizar las diferencias entre ambos registros. Se calcularon las diferencias de los niveles de agua entre

el dato pronosticado y el medido (durante pleamares y bajamares) para todos los temporales durante dos o más ciclos de mareas, dependiendo de la duración de las tormentas. La obtención de estos valores se realizó de la siguiente manera: El sensor arrojó por día 144 datos (1 dato cada 10 min) de los cuales se utilizaron 2 datos de pleamar y bajamar por día, respectivamente. De esta manera, se compararon los valores medidos con los valores pronosticados por el Servicio de Hidrografía Naval (2 datos de pleamar y bajamar por día, respectivamente). Primeramente, se realizó un gráfico para visualizar la diferencia entre los datos medidos por el sensor y los datos pronosticados por el servicio (Figura 33). Luego se compararon y se calcularon las diferencias entre los valores de pleamar medidos y los de pleamar pronosticados, lo mismo para los valores de bajamar. De esta manera se obtuvieron 4 valores diarios: 2 correspondientes a la diferencia entre los valores de pleamar y otros dos correspondientes a los valores de bajamar. De esos dos valores, se tuvo en cuenta el que arrojaba máxima diferencia entre el dato medido y el pronosticado. Por lo tanto se contó con un valor para la pleamar y un valor para la bajamar por día. En los casos donde las tormentas fueron de corta duración (< 6h), se tuvo en cuenta la diferencia entre la pleamar pronosticada y la pleamar medida durante el tiempo que duró esa tormenta y no todo el ciclo de marea, el mismo procedimiento se realizó con los datos de bajamar.

Para determinar las relaciones entre los datos físicos de alta frecuencia (duración de la tormenta (DT), $E_{vi\ acum}$, altura significativa de la ola (H_s), P_o y nivel de agua) y los datos biológicos de baja frecuencia (variación entre los días de muestreo de la abundancia total = dA/dt , abundancia del holoplancton = dHo/dt , abundancia del meroplancton = dM/dt , abundancia del plancton adventicio = dPA/dt , $H = dH'/dt$ y $S = dS/dt$) se realizó un análisis de correlación de Spearman y un análisis de regresión lineal. En aquellas ocasiones en las que pasó más de una tormenta entre muestreos biológicos, se consideró el evento más cercano ocurrido antes del muestreo. El manejo de datos y los análisis estadísticos se llevaron a cabo en programas estadísticos apropiados como Microsoft Excel, PRIMER v6 + PERMANOVA

Package (Anderson *et al.*, 2008; Clarke y Gorley, 2015), y R (R core team 2018) utilizando los paquetes pracma (Borchers, 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Características de la comunidad zooplanctónica

Durante el período de estudio, la comunidad zooplanctónica estuvo representada por un total de 33 taxa. El holoplancton representó un 30,3% del total de taxa hallados mientras que los porcentajes restantes correspondieron al meroplancton (30,3%) y al plancton adventicio (39,4%) (Tabla 13). Esta última fracción estuvo muy bien representada en términos de número de taxa hallados, especialmente luego del pasaje de las tormentas. El holoplancton estuvo representado principalmente por copépodos, siendo estos crustáceos los más importantes tanto en número de taxa como en abundancia. El meroplancton estuvo principalmente representado por larvas de poblaciones de adultos bentónicos como poliquetos y crustáceos decápodos. La fracción adventicia estuvo principalmente constituida por especies de adultos bentónicos del orden Isopoda, Amphipoda y Cumacea.

Tabla 13. Abundancia promedio (ind. m⁻³) por taxa registrados durante todo el período de muestreo en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co.

Categoría	Taxa	Abundancia promedio (ind. m ⁻³)
Holoplancton	<i>Acartia tonsa</i>	4.810,22
	<i>Paracalanus parvus</i>	4.989,31
	<i>Ctenocalanus vanus</i>	277,58
	<i>Calanoides carinatus</i>	0,29
	<i>Labidocera fluviatilis</i>	1,30
	<i>Euterpina acutifrons</i>	33,74
	<i>Arthromysis magellanica</i>	118,54
	<i>Neomysis americana</i>	11,87
	<i>Oikopleura dioica</i>	0,94
	<i>Parasagitta friderici</i>	55,73
Meroplancton	Grapsidae (larva)	0,48

	Porcellanidae (larva)	0,94
	<i>Cyrtograpsus altimanus</i> (larva)	23,65
	<i>Coryne gracilis</i>	3,77
	Ceriantharia (larva)	0,31
	Bivalvia (larva)	1,08
	Spionidae (larva)	38,66
	Polychaeta (larva)	26,30
	Teleostei (huevo)	0,94
	Teleostei (larva)	0,14
Plancton adventicio	<i>Amphipoda spp.</i>	5,20
	Ischyoceridae	0,51
	<i>Hartmanodes hartmanae</i>	10,19
	Phoxocephalopsidae	11,38
	Phoxocephalidae	5,18
	<i>Corophium sp.</i>	9,13
	Isopoda	2,05
	Ancinidae	0,18
	Guathiidae	0,88
	<i>Idoteidae sp.</i>	12,25
	Cumacea	3,52
	Harpacticoida	6,18
	Foraminífera	24,13

La abundancia del zooplancton total fluctuó entre 39 (7 de junio) y 5.425 ind. m⁻³ (17 de julio) durante todo el período de estudio (Tabla 14). El holoplancton fue la fracción mejor representada en términos de número de organismos, simbolizando entre el 20 y el 99% de la abundancia del zooplancton total. Dentro de este grupo, predominaron dos especies, los copépodos *A. tonsa* y *P. Parvus*, con abundancias máximas de 1.193 (20 de mayo) y 4.055 ind. m⁻³ (17 de julio), respectivamente. El meroplancton y el plancton adventicio fueron menos abundantes que el holoplancton y constituyeron el 0,5 y el 79% de las abundancias totales de zooplancton, respectivamente. Esta última fracción se registró especialmente después del pasaje de los eventos de tormenta, con abundancias máximas registradas el 19 de junio (nectoquetas de poliquetos bentónicos: 24 ind. m⁻³; Isopoda: 45 ind. m⁻³) y el 4 de julio (nectoquetas de poliquetos bentónicos: 37 ind. m⁻³; Isopoda: 17 ind. m⁻³) (Tabla 14).

Tabla 14. Resumen de los datos biológicos. Fecha del muestreo biológico durante el otoño-invierno 2017 en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co, abundancia total del zooplancton (AT), holoplancton (H), meroplancton (M) y plancton adventicio (PA), riqueza (S) e índice de diversidad (H') y sus respectivos cambios entre las fechas de muestreo (dA/dt, dHo/dt, dM/dt, dPA/dt, dS/dt, dH'/dt).

Muestreo biológico	AT (ind. m ⁻³)	dA/dt	Ho (ind. m ⁻³)	dHo/dt	M (ind. m ⁻³)	dM/dt	PA (ind. m ⁻³)	dPA/dt	S	dS/dt	H'	dH'/dt
17/05/2017	293		290		0,3		2,7		12		0,5	
20/05/2017	1.211	297,6	1.207	297,4	1,7	0,5	2,2	-0,2	7	-1,6	0,1	-0,1
31/05/2017	45	-264,1	45	-261,6	0,1	-2,1	0,4	-0,4	11	0,4	1,1	0,1
07/06/2017	39	-1,1	38	-0,9	0,2	0,1	0	-0,1	10	-0,1	0,7	-0,1
13/06/2017	1.240	200,3	1.225	197,7	4,8	0,7	10,5	1,7	14	0,7	0,8	0
19/06/2017	162	-179,6	68	-192,7	35,2	5,1	58,9	8,1	15	0,2	1,7	0,1
04/07/2017	5.425	346,1	5.376	349,1	41,5	0,4	7,5	-3,4	11	-0,3	0,8	-0,1
17/07/2017	30	-417,7	6	-415,7	3,2	-2,9	20,5	1	13	0,1	1,6	0,1

3.2. Características de los eventos de tormenta

Todos los eventos de tormenta analizados en este estudio se caracterizaron por condiciones atmosféricas de inestabilidad, lluvia y fuertes vientos, los cuales superaron los 17 m s^{-1} (62 km h^{-1}). En todos los casos monitoreados, las velocidades altas de viento y las grandes alturas de las olas generaron un incremento superior al metro con respecto al valor medio del nivel de agua ($\pm 2 \text{ m}$ en condiciones de pleamar). Se estudiaron y monitorearon un total de 13 tormentas (Tabla 15).

Tabla 15. Fecha de los eventos de tormenta, datos meteorológicos y oceanográficos medidos y/o calculados durante los eventos de tormenta en otoño-invierno de 2017 en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Abreviaturas: $E_{vi \text{ acum}}$ = energía acumulada del viento, H_s = altura significativa de la ola, T = período de la ola, P_o = potencia de la ola.

Tormenta N°	Fecha de las tormentas	Duración de la tormenta (h)	Velocidad del viento (m s^{-1})	Dirección del viento	$E_{vi \text{ acum}}$ (kWh)	H_s (m)	T (s)	P_o (kW m^{-1})
1	17/05/2017	6,8	17,5	0	50,9	0,16	5,7	0,1
2	19/05/2017	4,7	18,3	135	33,9	0,31	4,9	0,2
3	26/05/2017	26,8	17,6	180	148,4	0,57	4,7	0,8
4	04/06/2017	18,3	22,2	248	194,6	0,56	4,7	0,7
5	06/06/2017	31,5	18,9	270	359,9	0,29	5,5	0,2
6	09/06/2017	9,1	21,6	248	100,1	0,25	3,7	0,1
7	12/06/2017	5,9	24,5	263	108,9	0,57	4,5	0,7
8	18/06/2017	52,7	34,9	225	1559,3	1,05	5,5	3,1
9	02/07/2017	4,5	19,3	263	20,7	0,2	4,7	0,1
10	05/07/2017	5,9	18,7	225	51,3	0,29	2,9	0,1
11	12/07/2017	6,9	19,4	315	97,1	0,18	3,7	0,1
12	15/07/2017	53,5	25,1	203	965,1	1,06	6,9	3,8
13	22/07/2017	9,9	19,6	338	98,8	0,17	5,3	0,1

Las direcciones predominantes del viento durante las tormentas fueron de los sectores SE-SW (64,3%). La velocidad máxima del viento registrada durante las tormentas fue $34,9 \text{ m s}^{-1}$ ($125,6 \text{ km h}^{-1}$) el 18 de junio y la mínima $17,5 \text{ m s}^{-1}$ (63 km h^{-1}) el 17 de mayo (Tabla 15, Figura 31). $E_{vi \text{ acum}}$ mostró una tendencia similar a la velocidad del viento, con un

valor máximo luego del paso de la tormenta del 18 de junio (1.559,3 kWh) y un valor mínimo el 2 de julio (20,7 kWh) (Tabla 15). La duración de las tormentas varió de 4,5 h (2 de julio) a 53,5 h (15 de julio), siendo nueve eventos superiores a 6 h (larga duración), mientras que cuatro de ellos inferiores a 6 h (corta duración).

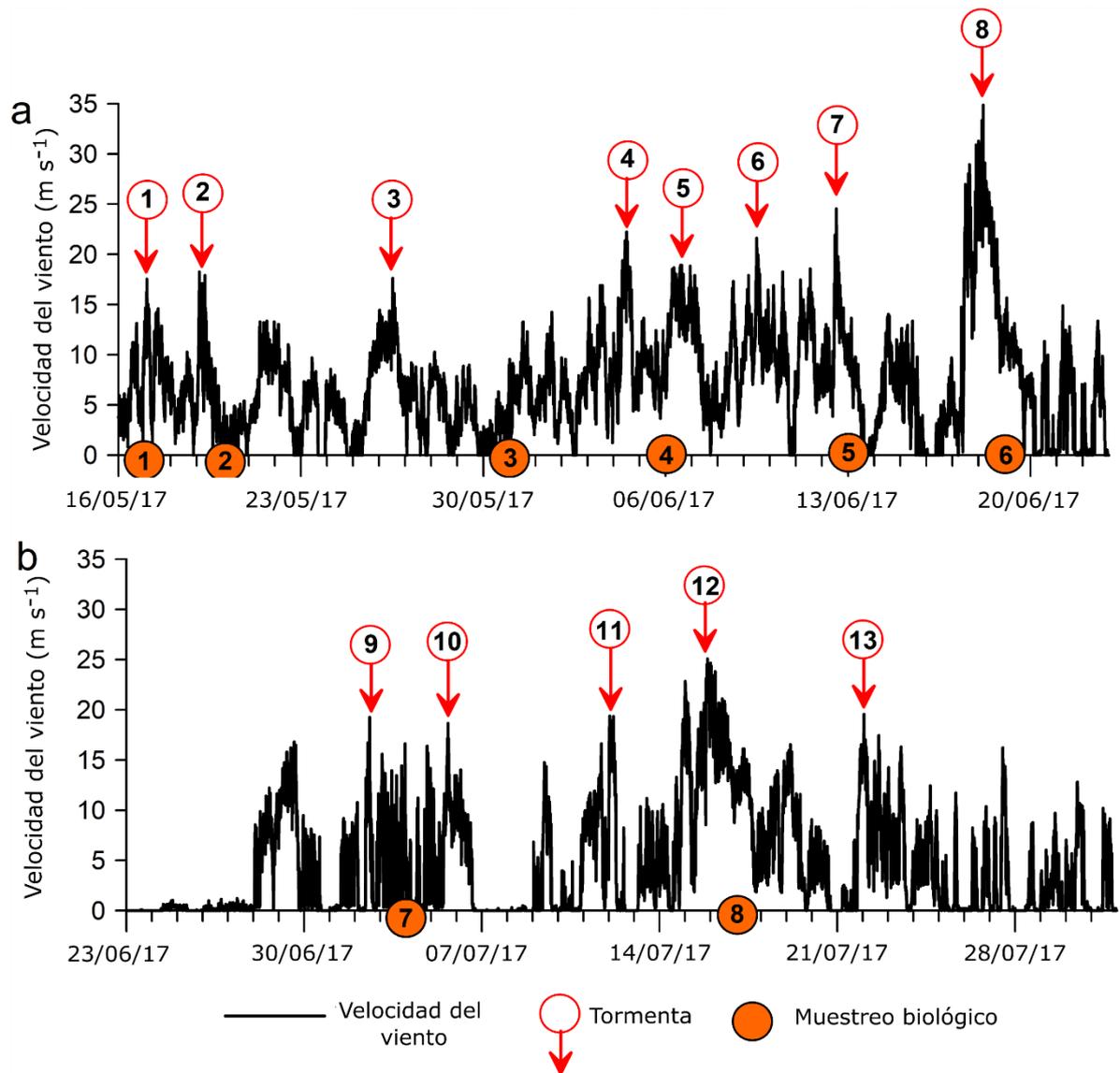


Figura 31. Velocidad del viento registrada durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Los eventos de tormenta se identifican con círculos rojos y los muestreos biológicos con círculos naranjas.

La playa de Pehuen Co se caracteriza por tener olas relativamente bajas, con alturas que rara vez superan los 0,4 m. Sin embargo, durante estos eventos de tormenta, la altura de ola registró un valor máximo de 1,06 m con un período de 6,9 s (15 de julio). El valor de H_s y T más bajo fue registrado el 17 de mayo, arrojando valores de 0,16 m y 5,7 s, respectivamente (Figura 32, Tabla 15). El nivel máximo de agua registrado fue de 4,24 m el 15 de julio y el mínimo, de 2,59 m el 2 de julio (Figura 33, Tabla 15). El P_o mostró un claro incremento luego del paso de las tormentas: los valores máximos ocurrieron el 15 de julio ($3,8 \text{ kW m}^{-1}$) y los valores mínimos el 12 de julio ($0,06 \text{ kW m}^{-1}$) (Tabla 15).

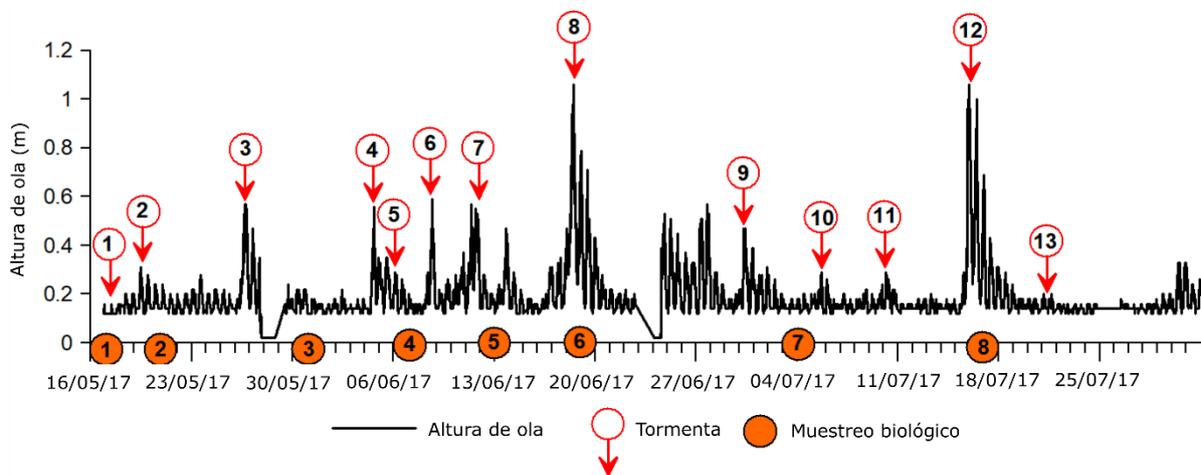


Figura 32. Altura de ola (m) registrada durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Los eventos de tormenta se reflejan en los aumentos significativos en la altura de las olas (círculos rojos) y los muestreos biológicos se muestran en el eje x (círculos naranjas).

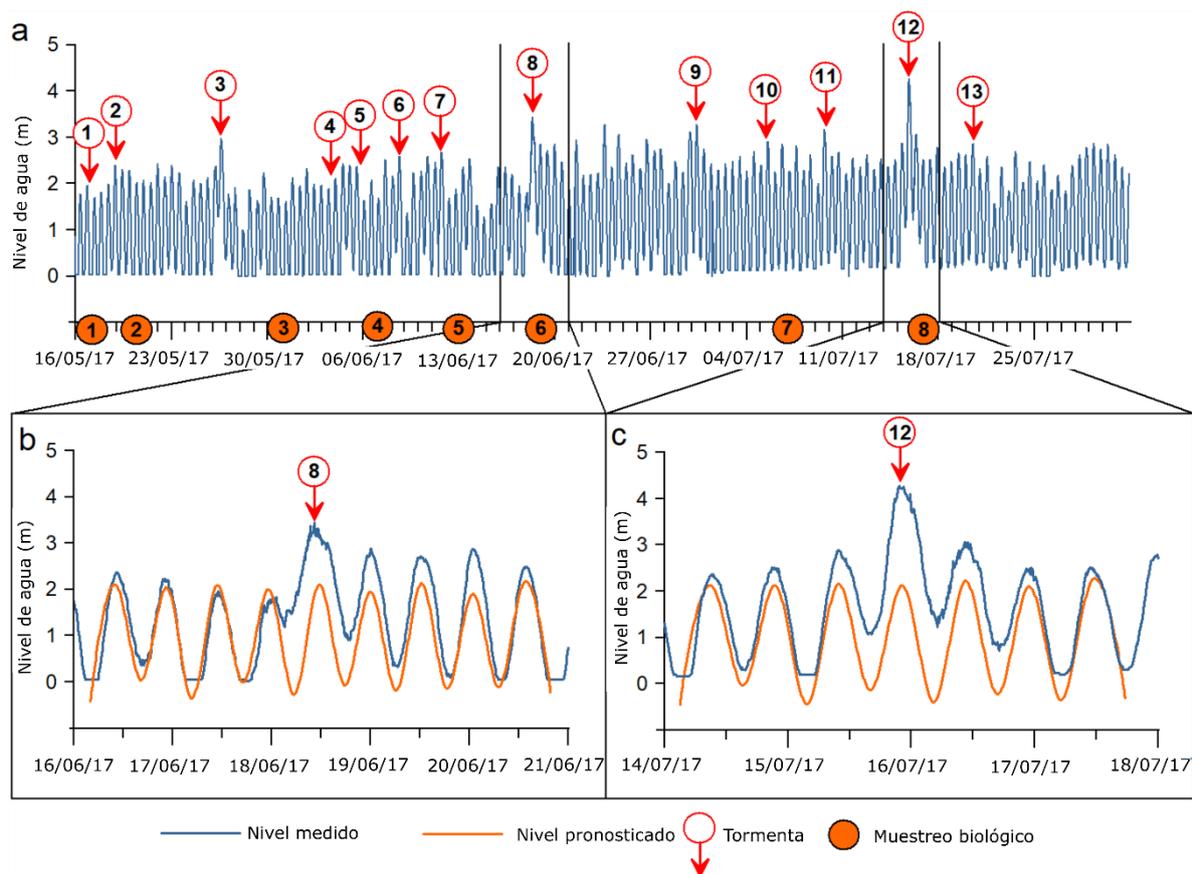


Figura 33. (a) Nivel de agua (m) durante el período de estudio en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. **(b, c)** Comparación de los niveles de agua medido (línea azul) y el pronosticado por las tablas de marea (línea roja). El desajuste entre ambas curvas destaca el efecto en la marea generado por los fuertes vientos durante los eventos de tormenta. Las tormentas se identifican con círculos rojos y los muestreos biológicos con círculos naranjas.

3.3. Relación entre las variables físicas y biológicas

De las 13 tormentas registradas, siete fueron las que se asociaron con muestreos biológicos. El dA/dt arrojó siempre valores positivos después de las tormentas de corta duración (< 6 h), como las del 19 de mayo (297,6), 12 de junio (200,3) y 2 de julio (346,1) (Tabla 13). El copépodo *A. tonsa* fue la especie dominante luego del evento ocurrido el 19 de mayo, mientras que luego de las tormentas registradas el 12 de junio y el 2 de julio, *P. parvus* fue la especie más abundante. Contrariamente a lo ocurrido con las tormentas de corta duración, los valores de dA/dt fueron negativos luego de las de larga duración (> 6 h), las cuales ocurrieron el 26 de mayo (-264,1), 4 de junio (-1,1), 18 de junio (-179,6) y 15 de

julio (-417,7) (Tabla 13). *A. tonsa* fue la especie dominante después de la tormenta del 26 de mayo, mientras que *P. parvus* lo fue luego de los eventos ocurridos el 4 de junio, 18 de junio y 15 de julio. A diferencia de dA/dt , dS/dt y dH'/dt fueron generalmente positivos después de las tormentas de larga duración: 26 de mayo ($dS/dt = 0,4$; $dH'/dt = 0,1$), 18 de junio ($dS/dt = 0,2$; $dH'/dt = 0,1$) y el 15 de julio ($dS/dt = 0,1$; $dH'/dt = 0,1$) (Tabla 13). En las dos últimas tormentas mencionadas, la mayoría de los organismos observados después de los eventos correspondieron al plancton adventicio. Además, se observó una gran cantidad de Sabellariidae (organismo que forma arrecifes intermareales-submareales en el área de estudio), probablemente arrancados producto del paso de la ventisca. El pasaje de estas tormentas generó no solo una fuerte erosión en las zonas intermareal y submareal de la playa (es decir, lo suficiente para erosionar los arrecifes de Sabellariidae), sino también cambios significativos en la playa superior. De hecho, Mavo *et al.* (2018) registró un retroceso de 7 m del médano en el evento del 15 de julio. A diferencia de las tormentas de larga duración, dS/dt y dH'/dt fueron generalmente negativos después del paso de las tormentas de corta duración: 19 de mayo ($dS/dt = -1,6$; $dH'/dt = -0,1$) y 2 de julio ($dS/dt = -0,3$; $dH'/dt = -0,1$) (Tabla 13).

El análisis de correlación de Spearman mostró una correlación negativa de dA/dt con: DT ($\rho = -0,96$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,80$), $E_{vi\ acum}$ ($\rho = -0,82$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,41$), H_s ($\rho = -0,85$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,75$), P_o ($\rho = -0,96$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,73$), la diferencia entre marea baja pronosticada y medida ($\rho = -0,99$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,95$) y la diferencia entre marea alta pronosticada y medida ($\rho = -0,86$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,75$) (Tabla 16, Figura 34). El dHo/dt presentó el mismo patrón que el dA/dt debido a la dominancia de los copépodos *A. tonsa* y *P. parvus* durante el período de estudio ($\rho > 0,7$, $p < 0,05$). Por otro lado, el dPA/dt se correlacionó positivamente con la $E_{vi\ acum}$ ($\rho = 0,71$, $p = 0,08$) y H_s ($\rho = 0,76$, $p = 0,06$) (Tabla 16). A diferencia de dA/dt , dH'/dt se correlacionó positivamente con todas estas variables físicas ($\rho > 0,7$, $p < 0,05$). Además, dH'/dt se correlacionó negativamente con dA/dt ($\rho = -0,78$, $p < 0,05$) y positivamente con S ($\rho = 0,75$, $p = 0,06$). Las variables físicas (DT, $E_{vi\ acum}$,

H_s , P_o , Dif.MB y Dif.MA) se correlacionaron positivamente entre sí ($\rho > 0,7$, $p < 0,05$). La correlación más importante entre las variables físicas fue la correlación positiva entre DT y la diferencia entre la marea baja pronosticada y medida ($\rho = 0,92$, $p < 0,05$), $E_{vi\ acum}$ ($\rho = 0,92$, $p < 0,05$) y P_o ($\rho = 0,85$, $p < 0,05$) (Tabla 16).

Tabla 16. Matriz de correlación de Spearman entre todas las variables medidas y/o calculadas. En negrita se muestran los valores de correlación significativos ($p < 0,05$). Abreviaturas: DT = duración de la tormenta, $E_{vi\ acum}$ = energía del viento acumulada, H_s = altura significativa de la ola, P_o = potencia de la ola, Dif. MB = diferencia entre marea baja pronosticada y medida, Dif. MA = diferencia entre marea alta pronosticada y medida, dA/dt = cambios en la abundancia total del zooplancton, cambios en S = riqueza, dH'/dt = cambios en H' , dHo/dt = cambios en la abundancia del holoplancton, dM/dt = cambios en la abundancia del meroplancton, dPA/dt = cambios en la abundancia del plancton adventicio.

Variables	DT	$E_{vi\ acum}$	H_s	P_o	Dif. MB	Dif. MA	dA/dt	S	dH'/dt	dHo/dt	dM/dt	dPA/dt
DT	1											
$E_{vi\ acum}$	0,9286	1										
H_s	0,7711	0,8434	1									
P_o	0,8571	0,8810	0,9519	1								
Dif. MB	0,9177	0,8539	0,8766	0,9515	1							
Dif. MA	0,7381	0,7381	0,9639	0,9286	0,8539	1						
dA/dt	-0,9683	-0,8214	-0,8547	-0,9643	-0,9991	-0,8571	1					
S	0,4671	0,5270	0,5758	0,3832	0,3804	0,4791	-0,3784	1				
dH'/dt	0,8214	0,7857	0,8729	0,8214	0,8108	0,7857	-0,7857	0,7568	1			
dHo/dt	-0,9643	-0,8214	-0,8547	-0,9643	-0,9991	-0,8571	0,9888	-0,3784	-0,7857	1		
dM/dt	-0,3214	-0,0714	-0,0364	-0,3214	-0,5225	-0,1429	0,5879	0,3604	0,0061	0,5000	1	
dPA/dt	0,5714	0,7143	0,7638	0,5714	0,3604	0,6071	-0,3929	0,7027	0,5357	-0,3929	0,4643	1

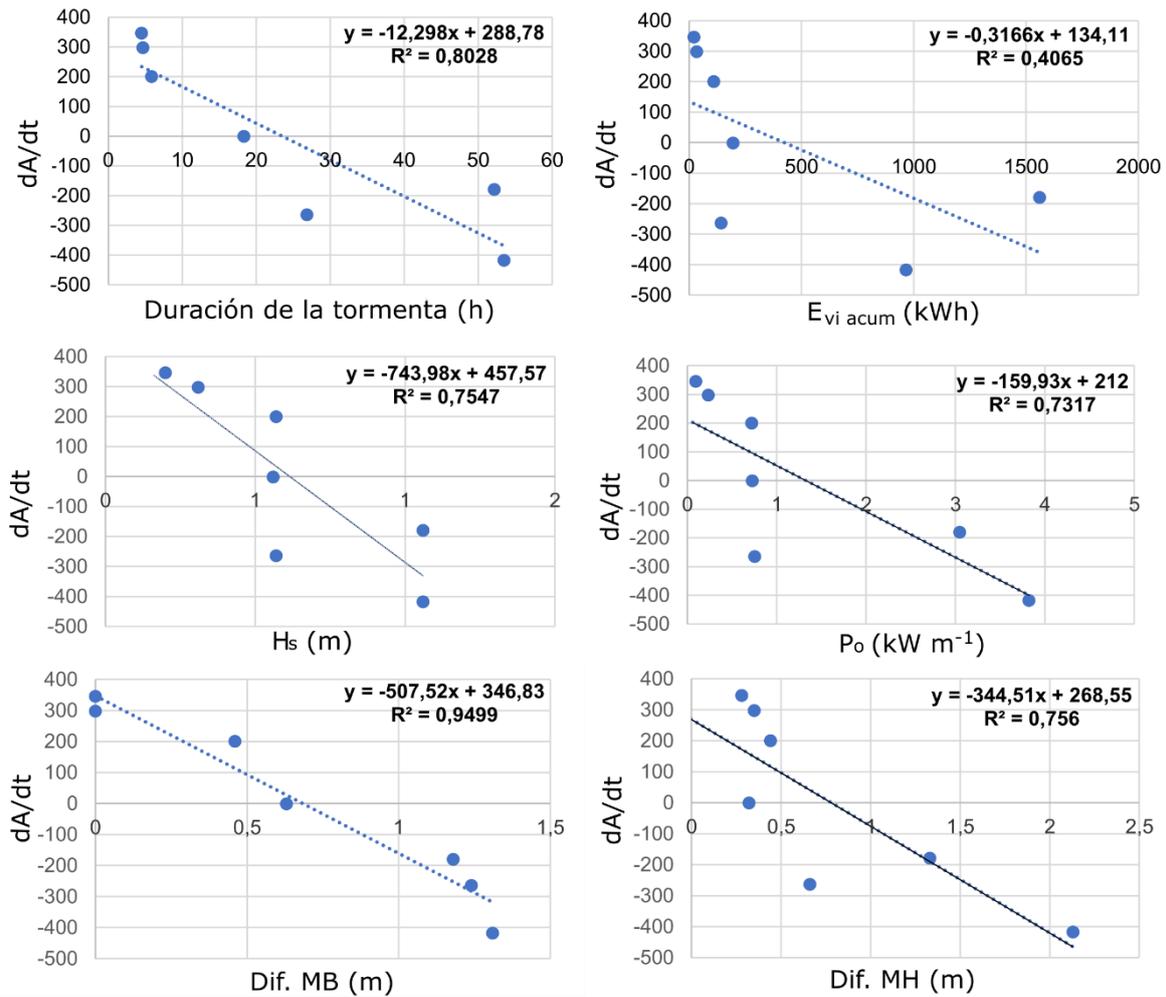


Figura 34. Diagrama de dispersión ($p < 0,05$) de los cambios en la abundancia del zooplancton total (dA/dt) frente a **(a)** duración de la tormenta (h), **(b)** $E_{vi\ acum}$ (kWh), **(c)** H_s (m), **(d)** P_o ($kW\ m^{-1}$), **(e)** diferencia entre marea baja pronosticada y medida (m), **(f)** diferencia entre marea alta pronosticada y medida (m).

4. DISCUSIÓN

Los eventos de tormenta estudiados generaron grandes alteraciones en las condiciones hidrodinámicas de la zona de deslizamiento, así como una erosión significativa de la playa y los médanos de Pehuen Co (G.M. Mavo, comunicación personal). Durante todos los eventos monitoreados, las olas fueron entre 50 y 300% más altas que el valor promedio para condiciones de calma, por lo que la energía inducida por las olas sumado a las intensas

velocidades del viento, ocasionó la inundación de la playa posterior. Los fuertes vientos que soplaron desde el mar junto con las grandes olas, produjeron un aumento del nivel de agua que inundó la costa, situación que no se espera en condiciones regulares (> 1 m por encima de las condiciones esperadas) (Bustos *et al.*, 2011b). Además, se observaron variaciones importantes en la abundancia del zooplancton, en la diversidad y en la riqueza específica después de cada evento de tormenta.

Las tormentas analizadas se agruparon, como en el capítulo precedente, en dos tipos respecto a la duración en el tiempo (horas): tormentas de corta duración (< 6 h), las cuales se asociaron a cambios positivos (aumento) en la abundancia de zooplancton después del paso de la tormenta; y tormentas de larga duración (> 6 h), caracterizadas por cambios negativos (disminución) en la abundancia después del pasaje del evento de tormenta. Los taxa registrados durante todos los casos de tormentas coincidieron con los reportados previamente para el área de estudio (Baleani *et al.*, 2020). La zona de deslizamiento de Pehuen Co se caracteriza por presentar un gran número de taxa, con una alta dominancia de copépodos del orden Calanoida (Baleani *et al.*, 2020). En términos generales, como se mencionó anteriormente, *A. tonsa* y *P. parvus* reflejaron muy bien la dinámica estacional de la abundancia zooplanctónica total, siendo *A. tonsa* la especie representativa durante los eventos de tormenta en los meses más cálidos (20 y 31 de mayo), mientras que *P. parvus* lo fue durante los eventos de tormenta muestreados en los meses más fríos (7, 13 y 19 de junio; 4 y 17 de julio). Esto último es lo esperable de acuerdo con la variación observada para el área de estudio y descrita en el capítulo 3 de la presente tesis.

En el primer grupo (tormentas de corta duración), se observó un claro incremento del nivel del agua en la zona de deslizamiento, el cual pudo haber sido responsable de la mayor abundancia de organismos zooplanctónicos en esa zona. Las abundancias del zooplancton luego del paso de la tormenta fueron entre 400 y 3000% más altas que las registradas antes del evento. Las condiciones dinámicas de la zona de deslizamiento son el resultado de la combinación de varios procesos, cada uno contribuyendo con diferente intensidad y duración.

Como ya se ha discutido en el capítulo 4, durante estos eventos, principalmente en aquellos caracterizados por fuertes vientos del cuadrante S-SW, la energía del viento y de las olas aumentó, aumentando significativamente la turbulencia (Perillo *et al.*, 1996). La energía de las olas que llegan a la costa genera un incremento del nivel medio del agua, mucho mayor al esperado en condiciones de calma (Russell, 1993). Este aumento del nivel medio del agua producto de la configuración de las olas (*wave setup*) se ha observado como consecuencia de episodios de tormentas en ecosistemas costeros, contribuyendo con importantes daños e inundaciones a las costas (Guerin *et al.*, 2018). Morgan *et al.* (2017a) han reportado la acumulación de organismos planctónicos en una zona de deslizamiento de una playa de arena ubicada en la Bahía de Monterrey, EE. UU. Estos autores han mencionado múltiples mecanismos como responsables del transporte de larvas y otros organismos zooplanctónicos desde el mar hacia la zona de deslizamiento, entre los cuales podemos mencionar los eventos de surgencia, vientos provenientes del mar (onshore winds) y grandes alturas de olas generadas cerca de la superficie como consecuencia de las corrientes de deriva (Tilburg, 2003; Fewings *et al.*, 2008; Lentz *et al.*, 2008). Por otro lado, se ha mencionado que los organismos pueden ser transportados hacia la costa por flujo bentónico, el cual se produce específicamente cerca del fondo (Fujimura *et al.*, 2014; Shanks *et al.*, 2014; Navarrete *et al.*, 2015).

El grado en que el zooplancton ingresa a la zona de deslizamiento depende principalmente de la variación espacial de la hidrodinámica del área, la cual se genera mediante una interacción entre las olas y la morfología costera, teniendo muchas variantes entre las distintas morfologías de las playas que van desde disipativas a reflectivas (Wright y Short, 1984; McLachlan y Brown, 2006). De hecho, Morgan *et al.* (2017a) reportó concentraciones de zooplancton mucho más altas en playas disipativas en comparación con playas reflectivas. Estos autores desarrollaron un modelo hidrodinámico tridimensional teniendo en cuenta el comportamiento natatorio individual de los organismos zooplanctónicos y su relación con los momentos de calma frente a los vientos provenientes del mar (onshore

winds) para determinar cómo los organismos zooplanctónicos pueden ser transportados a la zona de deslizamiento (Fujimura *et al.*, 2013; 2014), el cual ya fue mencionado en el capítulo 4. Los autores demostraron que los vientos provenientes del mar (onshore winds) generaron concentraciones de plancton en la zona de deslizamiento, el cual se hundió hacia el fondo luego de encontrarse con una mayor turbulencia en la zona de deslizamiento (Morgan *et al.*, 2017a). Teniendo en cuenta las altas abundancias zooplanctónicas y el significativo aumento del nivel de agua registrado en este estudio, la acumulación de zooplancton en la zona de deslizamiento luego de los eventos de corta duración se explica por una situación hidrodinámica similar al modelo propuesto por Morgan *et al.* (2017a). Tanto el sedimento en suspensión como las comunidades zooplanctónicas quedarían inevitablemente atrapados en esta acumulación de agua en la zona de deslizamiento (la cual pudo corroborarse con los datos de alta frecuencia medidos), como resultado de los intensos y constantes vientos del sector S (onshore winds).

En el segundo grupo (tormentas de larga duración), se observó una disminución significativa en la abundancia de organismos planctónicos luego del pasaje de los eventos de tormenta, en paralelo con un incremento de abundancia del plancton adventicio e índice de diversidad. La sobrecarga de agua en la zona de deslizamiento como resultado de su acumulación durante varios ciclos de marea, favoreció el aumento en la intensidad de las corrientes generadas en el área, equilibrándose debido a la corriente de retorno y a la disminución del viento (Thorton *et al.*, 1996; Aagaard *et al.*, 2013; Van Rijn, 2013). Del mismo modo, las olas extremas durante las tormentas y las corrientes de retorno son las responsables del gran transporte de sedimentos hacia el mar, lo que contribuye a la erosión de las playas (Bustos *et al.*, 2011; Masselink *et al.*, 2016). Como ya se discutió en el capítulo 4, la teoría del transporte de organismos planctónicos hacia la zona de deslizamiento está confirmada por un estudio previo (Morgan *et al.*, 2017), el cual muestra que, durante el flujo de intensos vientos hacia la costa, el zooplancton cerca de la superficie se desplaza hacia la zona de deslizamiento gracias a las corrientes impulsadas por el viento, hundiéndose luego

en las turbulentas aguas de esa zona, siendo transportados mar adentro por corrientes de retorno.

En el caso de Pehuen Co, además del transporte de masa y energía directamente relacionado con la rompiente de las olas en la zona de deslizamiento, se observan un conjunto de corrientes litorales y micro-corrientes de retorno. Las micro-corrientes de retorno son inducidas por las olas y son generadas por el lavado retrocedente en la zona de deslizamiento (Gerardo Perillo, comunicación personal) (Figura 35). Estas tienen un ancho de 0,5-0,8 m y longitudes del orden de 2-5 m, con aproximadamente 2-3 m de separación entre ellas. Teniendo en cuenta las bajas abundancias observadas pos-tormenta y el rango de marea registrado, el cual fue sustancialmente más alto, se podría suponer que tanto los sedimentos como los organismos zooplanctónicos fueron arrastrados aguas afuera de la zona de deslizamiento. La turbulencia generada por tormentas de larga duración en aguas de deslizamiento de Pehuen Co no solo produjeron una resuspensión de los sedimentos del fondo (Lohrer *et al.*, 2006), sino también de los organismos bentónicos, que son, en parte, responsables del incremento del índice de diversidad. Además, se reconoció una gran cantidad de especies bentónicas (especialmente Sabellariidae) flotando en la zona de deslizamiento después de que estas tormentas de larga duración las arrancaron del fondo marino. La obtención de datos de alta frecuencia nos facilitó información única para explicar con mayor certeza los cambios de la comunidad zooplanctónica luego del pasaje de una tormenta. Además, estos datos permitieron visualizar con mayor claridad la evolución de las variables físicas durante el pasaje de los eventos. Por otro lado, se destaca que la duración de la tormenta es una variable crucial para explicar variaciones del zooplancton en aguas de la zona de deslizamiento. Esta variable determina en definitiva la concentración de organismos (abundancia) en aguas de la zona de deslizamiento, lo cual generaría un impacto sustancial en el ecosistema. Además del conocimiento general de que las tormentas inducen

altas condiciones energéticas en estos ambientes costeros con importantes consecuencias en la geomorfología, también es importante considerar los efectos sobre la biota planctónica.

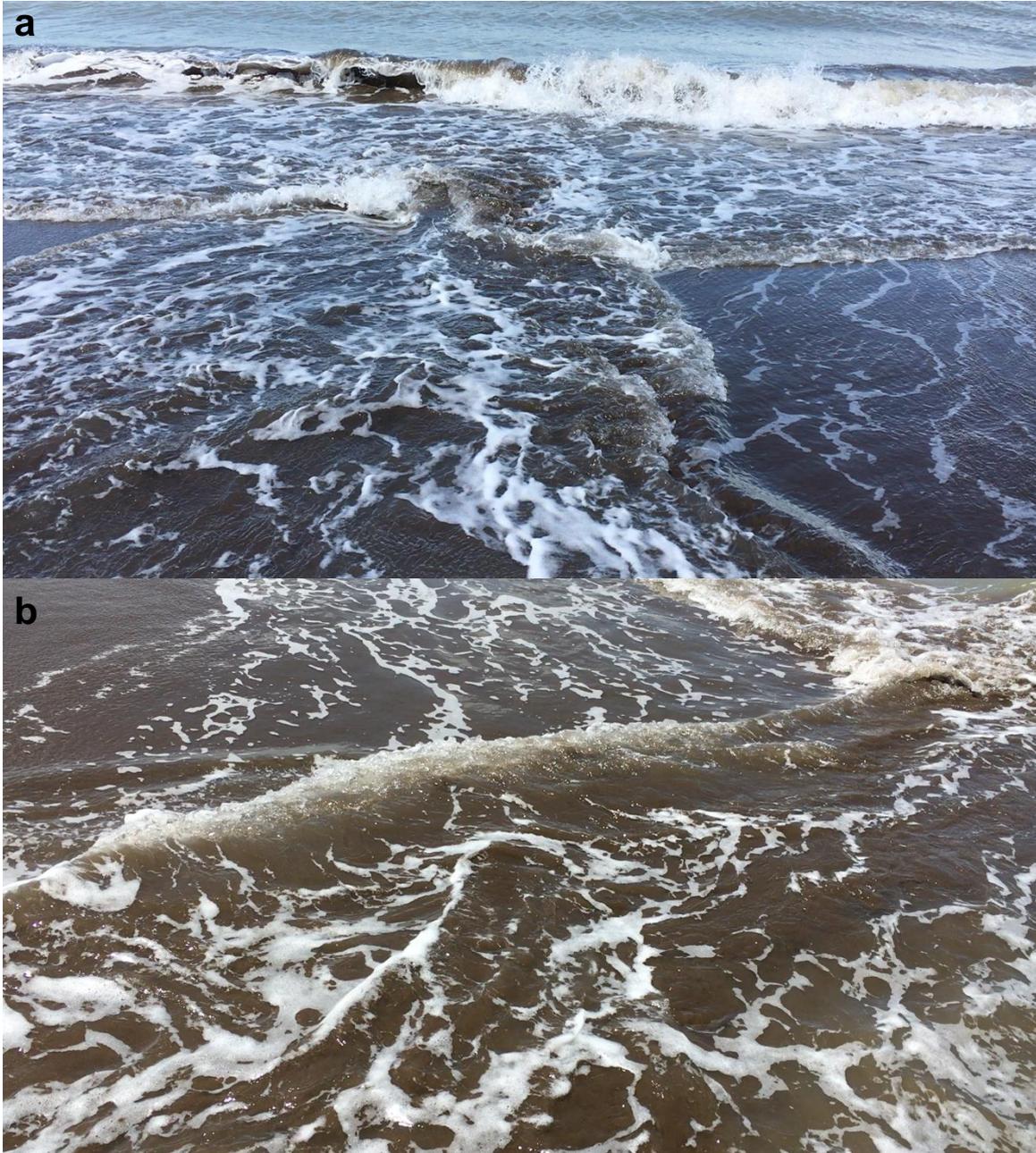


Figura 35. Fotos que muestran en vista lateral **(a)** y frontal **(b)** las micro-corrientes de retorno formadas por el retro lavado descendente en la zona de lavado, con una importante concentración de sedimento en suspensión siendo trasportados hacia el mar. Fuente: archivo personal del Dr. Gerardo Perillo.

5. CONCLUSIÓN

En el presente estudio se monitorearon en detalle 13 eventos de tormenta consecutivos utilizando una estación costera que capturó datos de alta frecuencia (duración de la tormenta, $E_{vi\ acum}$, altura significativa de la ola, P_o y nivel de agua). Así, se analizó la variabilidad de la comunidad zooplanctónica luego del pasaje de eventos de tormenta en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. El acceso a datos de alta frecuencia nos brindó información muy valiosa no solo para visualizar la evolución de variables físicas durante el pasaje de una tormenta, sino también para explicar en detalle los cambios de la comunidad zooplanctónica que habitan estas aguas. Cabe destacar, que, a conocimiento del autor de esta tesis, no se han publicado trabajos sobre este tema en la literatura. Las tormentas se agruparon en dos tipos en cuanto a su duración: tormentas de corta duración (<6 h) y tormentas de larga duración (> 6 h), que a su vez se asociaron con un aumento o disminución de la abundancia de zooplancton, respectivamente. Estos resultados muestran cuán variable es la estructura de la comunidad zooplanctónica en una escala relativamente corta de tiempo en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co. Teniendo en cuenta que se prevé que la actividad e intensidad de las tormentas aumenten en un futuro cercano, el conocimiento de las respuestas de las comunidades biológicas a estos eventos es muy necesario. Se considera que el presente aporte constituye un paso inicial hacia una investigación integral sobre las interacciones físico-biológicas durante eventos climáticos extremos en una zona de deslizamiento de playa arenosa. Esta variabilidad se debe tener en cuenta para cualquier estudio de zooplancton realizado en sistemas similares con un régimen energético alto, pero también para registrar cambios en la comunidad zooplanctónica a una escala temporal corta.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES FINALES

En este trabajo de investigación se estudió en primera instancia, la variabilidad temporal de diferentes variables fisicoquímicas (temperatura del agua, salinidad, Clo-a, MPS, MOP, nutrientes inorgánicos disueltos, H_s, VCL y DCL) y meteorológicas (temperatura del aire, precipitación, dirección y velocidad del viento) en la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co durante el período diciembre 2016 - julio 2019. Luego, se identificó por primera vez la composición general de la comunidad zooplanctónica que habita estas aguas. Se describió también la dinámica temporal (estacional) de la abundancia del zooplancton total, de las fracciones que lo componen (holoplancton, meroplancton, plancton adventicio) y de los taxa numéricamente más importantes. La variación temporal de la comunidad se relacionó con la dinámica de las variables ambientales mencionadas. Por otro lado, se evaluaron los cambios en el corto plazo de esta comunidad frente al pasaje de eventos de tormenta y fuertes vientos.

Los resultados obtenidos durante el período de muestreo (2017-2019) evidenciaron un aumento de la temperatura media anual del aire y un incremento de las precipitaciones en comparación con estudios previos, siendo el período de estudio en esta tesis mucho más húmedo y caluroso que los años previos. Esto evidencia una importante variabilidad climática de la zona de estudio. Además, se demostró una importante interacción mar-atmósfera en el área de estudio. Sumado a la fuerte estacionalidad observada en estas aguas para algunas variables fisicoquímicas (ej. temperatura), otros factores (ej. viento) afectarían procesos dinámicos (olas, turbulencia) en el corto plazo. En particular, el aumento de la velocidad del viento genera turbulencia, un aumento en la altura de las olas y un incremento de la velocidad de la corriente litoral, afectando de manera directa a las concentraciones de Clo-a, MPS, MOP y nutrientes inorgánicos. Esta situación explicaría en parte la alta productividad de estos ambientes.

La zona de deslizamiento se caracterizó por albergar una gran diversidad de taxa, constituida principalmente por organismos estuarinos típicos, así como por otros característicos de aguas neríticas costeras. El zooplancton mostró una fuerte estacionalidad, asociada principalmente a cambios en temperatura del agua y del aire. Se observó una clara sucesión estacional de dos copépodos dominantes: *A. tonsa* dominó en los meses cálidos y *P. parvus* en los más fríos. Además de los cambios temporales en la comunidad zooplanctónica producto de la fuerte estacionalidad, en una escala temporal más reducida, variables tales como la velocidad de la corriente litoral y la altura de la ola generaron cambios sustanciales en la abundancia del zooplancton.

Luego de identificar la abundancia y características generales del zooplancton en diferentes condiciones de buen tiempo, el estudio se centró en el efecto de eventos de tormentas y fuertes vientos sobre el zooplancton de la zona de deslizamiento. El estudio se dividió en dos secciones. Una de ellas analizó los eventos de tormentas a través de mediciones en alta frecuencia de viento (velocidad/dirección), medición en baja frecuencia de variables ambientales y muestreos discretos de zooplancton. En la segunda sección, se analizaron eventos de tormenta y fuertes vientos agregando dos variables físicas medidas en alta frecuencia: olas y nivel de agua, lo cual se relacionó con la dinámica del zooplancton (mediciones discretas). Cabe destacar que estas investigaciones son las primeras que se realizan en zona de deslizamiento de playas de arena, especialmente para comunidades zooplanctónicas.

Se analizaron un total de 17 episodios de fuertes vientos. Los resultados indicaron que el pasaje de estos eventos produjo alteraciones significativas en la hidrodinámica de la zona de deslizamiento, lo que generó cambios notorios en la abundancia y composición de la comunidad zooplanctónica. Se demostró que la dirección del viento afectó significativamente las abundancias, así como también la composición del zooplancton. Los eventos se agruparon en cuatro tipos de acuerdo a la dirección predominante del viento y su duración en horas: eventos de corta duración del SE-SW y W (≤ 6 h) y eventos de larga

duración del SE-SW y W (> 6 h). Los eventos de corta duración se asociaron con un aumento en la abundancia zooplanctónica luego del pasaje de la tormenta, siendo *A. tonsa* y *P. parvus* las especies dominantes. Dentro de los eventos de corta duración, los de viento del W se asociaron con la presencia de copépodos pertenecientes a la plataforma continental interior (*C. vanus*, *C. carinatus*, *E. acutifrons* y *L. fluviatilis*), mientras que los eventos del SE-SW estos copépodos no se registraron, sin embargo, en estos últimos eventos se detectó un mayor número de organismos de la fracción adventicia en comparación con los casos de viento del W. En cuanto a los eventos de larga duración, estos se asociaron con una disminución significativa en la abundancia de los copépodos dominantes. Dentro de este grupo, los eventos de viento del SE-SW se asociaron con un aumento del plancton adventicio. Los resultados muestran que la estructura de la comunidad zooplanctónica en la zona de deslizamiento está significativamente influenciada en el corto plazo por cambios en la hidrodinámica de estas aguas debido al flujo de fuertes vientos. Se demostró que tanto la dirección como la velocidad del viento, así como también la duración de los eventos, afectan la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica en aguas de la zona de deslizamiento.

En la segunda sección, trece eventos de tormentas consecutivos que impactaron sobre la playa del balneario fueron analizados con un monitoreo en alta frecuencia del nivel de agua y altura de la ola, además de las otras variables ambientales mencionadas. Las tormentas se agruparon en dos tipos en función de su duración: tormentas de corta duración (< 6 h) y tormentas de larga duración (> 6 h), que a su vez se asociaron con un aumento o disminución de la abundancia de zooplancton, respectivamente. Se observó que las tormentas afectaron notablemente la abundancia del zooplancton, principalmente a las especies dominantes, observándose diferencias relacionadas con las características y periodicidad de la tormenta. Estos resultados demostraron que la duración de la tormenta parece ser una variable crucial a considerar en las aguas de la zona de deslizamiento de playas de arena. Esta variable determina la variabilidad de la abundancia del zooplancton,

estableciendo un impacto diferencial en el ecosistema en estudio en una escala corta de tiempo. Por otro lado, la utilización de sensores para medición en alta frecuencia de variables ambientales permitió establecer con mayor precisión la duración de las tormentas y la observación de importantes procesos como el aumento en el nivel de agua y la altura de la ola, los cuales no pueden ser fácilmente medidos y/o observados mediante los métodos tradicionales en baja frecuencia. Esto permitió además un mejor entendimiento de la dinámica costera ante eventos de tormenta.

En conclusión, la zona de deslizamiento de la playa de Pehuen Co evidenció un alto acoplamiento entre factores físicos y biológicos. Fluctuaciones en las variables atmosféricas producto del pasaje de tormentas ocasionaron cambios en la circulación del agua, se incrementaron las velocidades de las corrientes litorales, se generó mayor altura de ola y turbidez, influyendo todo esto en la dinámica del zooplancton. El zooplancton mostró cambios significativos en la composición y abundancia en respuesta a variaciones en las condiciones físicas (viento, olas, corrientes, turbulencia), caracterizando al área como un sistema altamente inestable y cambiante en una escala de tiempo reducida.

REFERENCIAS

- Aagaard, T., Masselink, G., 1999. In Beach and Shoreface Morphodynamics. eds Short, A. D. 72-118. John Wiley & Sons, Chichester.
- Aagaard, T., Greenwood, B., Hughes, M., 2013. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. *Earth-Sci. Rev.* 124, 32-50.
- Aboul Ezz, S.M., Heneash, M.M.H., Gharib, M.S., 2014. Variability of spatial and temporal distribution of zooplankton communities at Matrouh beaches, South-Eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Egypt. J. Aquat. Res.* 40, 283-290.
- Aguilera, V.M., Vargas, C.A.V., Lardies, M.A., Poupin, M.J., 2016. Adaptive variability to low-pH river discharges in *Acartia tonsa* and stress responses to high PCO₂ conditions. *Mar. Ecol.* 37, 215-226.
- Aldecoa-Fernández, R.G., Ladah, L.B., Morgan, S.G., Dibble, C.D., Solana-Arellano, E., Filonov, A., 2019. Delivery of zooplankton to the surf zone during strong internal tidal forcing and onshore winds in Baja California. *Marine Ecology Progress Series.* 625, 15-26.
- Aliaga, V.S., Ferrelli, F., Piccolo, M.C., 2017. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *Int. J. Climatol.* 37, 1237-1247.
- Alvez Dos Santos, E., Pezzuto, P.R., 2009. Effect of cold fronts on the benthic macrofauna of exposed sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Braz. J. Oceanogr.* 57, 73-96.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, R.K., 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods*. Plymouth: PRIMER-E Ltd.
- Andes, T., Martínez, A.M., Menéndez, M.C., Pereyra, M.T., Perillo, G.M.E., Mavo Masntretta, G.M., 2019. Influencia de la descarga de agua subterránea en la playa de Pehuen Co (provincia de Buenos Aires), Argentina). V Reunión Argentina de Geoquímica de la superficie (RAGSU). La Plata, Buenos Aires.
- APHA-AWWA-WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Aramayo, S.A., Manera, T., Bastianelli, N.V., Melchor, R.N., 2015. Pehuen Co: Updated taxonomic review of a late Pleistocene inchnological site in Argentina. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology.* 439, 144-165. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.07.006>
- Aubrey, D.G., Emery, K.O., 1983. Eigenanalysis of recent United Stated sea levels. *Continental Shelf Res.* 2 (1), 21-33. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(83\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0278-4343(83)90020-1).
- Avila, T.R., Pedrozo, C.S., Bersano, J.G.F., 2009. Variação temporal do zooplancton da Praia de Tramandaí, Rio Grande do Sul, com ênfase em Copepoda. *Iheringia, Ser. Zool.* 99, 18-26.
- Badylak, S., Phlips, E.J., 2008. Spatial and temporal distributions of zooplankton in Tampa Bay, Florida, including observations during a HAB event. *J. Plankton Res.* 30, 449-465.
- Báez, P., 1997. Key to the families of decapod crustacean larvae collected off northern Chile during an El Niño event. *Investig. Mar.* 25, 167-176.
- Baleani, C.A., Menéndez, M.C., Piccolo M.C., 2020. Surf zone zooplankton temporal dynamics and their environmental regulation in a southwestern Atlantic sandy beach (Pehuen Co, Argentina). *J. Sea Res.* 156, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101833>.

- Barletta, R.D.C., Calliari, L.J., 2001. Determinação da Intensidade das Tempestades que actuam no Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre. 28 (2), 117-124. ISSN 1807-9806. doi.org/10.22456/1807-9806.20276.
- Bértola, G.R., 2007. Morfodinámica de playas del sudeste de la Provincia de Buenos Aires (1983-2004). *Latin America journal of Sedimentology and Basin Analysis* 13, 31-57.
- Boltovskoy, D., 1999. South Atlantic Zooplankton, 1st edition. Backhuys Publishers, Leiden.
- Boltovskoy, D., 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación especial del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina, 937 pp.
- Boltovskoy, D., 1999. South Atlantic Zooplankton. 1th edition. Leiden: Backhuys Publishers.
- Boschi, E.E., 2016. Los crustáceos de interés pesquero y otras especies relevantes en los ecosistemas marinos. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero INIDEP. In: Boschi, E.E. (Ed.), *El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros*, tomo 6. Mar del Plata, pp. 271.
- Bowman, T.E., 1971. The distribution of calanoid copepods off the southeastern United States between cape hatteras and southern Florida. *Smithson. Contrib. Zool.* 96, 1-58.
- Brendel, A.S., Dutto, M.S., Menéndez, M.C., Huamantínco Cisneros, M.A. Piccolo, M.C., 2017. Wind pattern change along a period of coastal occurrence variation of a stinging medusa on a SW Atlantic beach. *Anuario do Instituto de Geociencias* 40, 303-315.
- Brown A.C., 1996. Behavioural plasticity as a key factor in the survival and evolution of the macrofauna on exposed sandy beaches. *Revista Chilena de Historia Natural.* 69, 469-474.
- Bustos M.L., Piccolo M.C., Perillo G.M.E., 2009. Cambios en la geomorfología de la playa de Pehuén Co debido a la actividad de las olas el 26 de julio de 2007. *Actas de las V jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. EdiUNS, Bahía Blanca, Argentina. ISBN 978-987-1620-02-9.
- Bustos, M.L., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., 2011a. Efectos geomorfológicos de fuertes vientos sobre playas. El caso de la playa de Pehuén Co, Argentina. *Cuad. Investig. Geográfica.* 37, 121-142.
- Bustos, M. L., Piccolo, M.C., 2011b. Desconfort térmico en verano e invierno para la localidad de Pehuen Co, Argentina. *Nimbus*, 27-28, 63-76, ISSN 1139-7136.
- Bustos, M.L., 2012. Estudio integrado ambiental del balneario Pehuen Co. PhD thesis. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca, Argentina.
- Bustos, M.L. y Piccolo M.C., 2012. Esquema de información de clima para turismo aplicado al balneario Pehuen Co, Argentina., Nº 8, 29-40, ISSN 1139-2169.
- Bustos, M.L., Perillo, G.M.E. y Piccolo, M.C., 2016. Dinámica de perfiles de playa en zonas con médanos frontales modificados en Pehuen Co (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis.* 23 (2), 133-149. ISSN 1851- 4979.
- Bustos, M.L., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., 2017. Evaluación del riesgo de erosión en ciudades costeras de la provincia de Buenos Aires (Argentina). En *Vulnerabilidad de las Zonas Costeras de Latinoamérica al Cambio Climático*. Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.), Cap. 7, 133-148. ISBN 978-607-606-416-0. 476 pp.

- Calbet, A., Garrido, S., Saiz, E., Alcaraz, M., Duarte, C.M., 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. *J. Plankton Res.* 23, 319-331.
- Calliari, D., Andersen, C.M., Thor, P., Gorokhova, E., Tiselius, P., 2005. Biomass and composition of the phytoplankton in the Río de la Plata: Large-scale distribution and relationship with environmental variables during a spring cruise. *Continental Shelf Research.* 25 (2), 197-210.
- Calliari, D., 2007. Short-term changes in the concentration and vertical distribution of chlorophyll and in the structure of the microplankton assemblage due to a storm. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 2, (1),13-22.
- Calo, J., Fernández, E., Marcos, A., Aldacour, H., 1998. Análisis preliminar del balance sedimentario de la playa de Pehuén Co, provincia de Buenos Aires, Argentina. *GEOACTA.* 23, 1-12.
- Caló J., Fernández., Marcos A., Aldacour H., Varela P., 2000. "Comparación del efecto de dos tormentas en la ciudad de Monte Hermoso, Argentina", en *GEOACTA*, Bahía Blanca. 25, 40-48.
- Cardoso, G.C., Garcia, R., de Souza, A.L., Pereira, O.G., CMS, de A., Pires, A.J.V., Bernardino, F.S., 2004. Performance of Simental steers fed sorghum silage, sugar cane and straw rice treated or not with anhydrous ammonia. *Rev. Bras. Zootec.* 33, 2132-2139.
- Campbell, E.E., Bate, G.C., 1996. Groundwater as a possible controller of surf diatom biomass. *Revista Chilena de Historia Natural.* 69, 503-510.
- Campbell, E. E., Bate, G.C., 1997. Coastal features associated with diatom discoloration of surf-zones. *Botanica Marina.* 40, 179-185.
- Campbell, E.E., Bate, G.C., 1998. Tide-induced pulsing of nutrient discharge from an unconfined aquifer into an *Anaulus australis*-dominated surf-zone. *Water SA.* 24, 365-370.
- Carcedo, M.C., 2014. Diversidad y estructura de las comunidades macrobentónicas de dos playas de arena del sur de Buenos Aires. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina (195 pp.).
- Carcedo, C., Fiori, S., Piccolo, M.C., López Abbate, M.C., Bremec, C., 2015. Variations in macrobenthic community structure in relation to changing environmental conditions in sandy beaches of Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 166, 56-64. doi: 10.1016/j.ecss.2015.03.005
- Carreto, J.I., Montoya, N.G., Carignan, M.O., 2016. Environmental and biological factors controlling the spring phytoplankton bloom at the Patagonian shelf-break front – degraded fucoxanthin pigments and the importance of microzooplankton grazing. *Prog Oceanogr.* 146:1–21. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.05.002>
- Castel, J., Veiga, J., 1990. Distribution and retention of the copepod *Eurytemora affinis* hirundoides in a turbid estuary. *Mar. Biol.* 107 (1), 119-128.
- Chen, G., Hares, M., 2011. Cryptic diversity and comparative phylogeography of the estuarine copepod *Acartia tonsa* on the US Atlantic coast. *Mol. Ecol.* 20, 2425-2441.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2015. Getting started with PRIMER v7. PRIMER-E: Plymouth, Plymouth Marine Laboratory. 20.

- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 1994. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth, U.K.: *Natural Environment Research Council, Marine Laboratory*. 144p.
- Cochoa, A.R., Lorenzi, L., Borzone, C.A.A., 2006. influência da passagem de uma frente meteorológica na distribuição da macrofauna bentônica mesolitoral de uma Praia arenosa exposta. *Trop. Oceanogr.* 34, 59-71.
- Corte, G.N., Schlacher, T.A., Checon, H.H., Barboza, C.A.M., Siegle, E., Coleman, R.A., Amaral, A.C.Z., 2017. Storm effects on intertidal invertebrates: increased beta diversity of few individuals and species. *PeerJ.* 5, 33-60.
- Corte, G.N., Gonçalves-Souza, T., Herminio checon, H., Siegle, E., 2018. When time affects space: Dispersal ability and extreme weather events determine metacommunity organization in marine sediments. *Marine Environmental Reseach.* 136, 139-152. DOI: 10.1016/j.marenvres.2018.02.009
- Cuadrado, D.G., Perillo, G.M.E., 1990. Nearsurface suspended sediments in Monte Hermoso beach (Argentina): II. Statistical Analysis. *Journal of Coastal Research* 6(4):991 - 998.
- Cuadrado, D.G., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., 2002. Hydrography of the inner shelf offshore Bahia Blanca estuary, Argentina. *Thalassas*, 18, 45-56.
- Da Costa, K.G., Pinheiro, P.R.S., Melo, C.A.R., de, O.S.O.M., Pereira, L.C.C., Da Costa, R.M., 2011. Effects of seasonality on zooplankton community dynamics in the macrotidal coastal zone of the Amazon region. *J. Coast. Res.* 64, 364-368.
- Dauvin, J.C., Thiébaud, E., Wang, Z., 1998. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the seine ROFI (region of freshwater influence) (eastern English Channel). *J. Plankton Res.* 20 (6), 1145-1167.
- Davis, R.E., 1985. Drifter observations of coastal surface currents during CODE: The method and descriptive view. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90 (C3), 4741-4755.
- De Jorge, V.N., 2000. Importance of temporal and spatial scales in applying biological and physical process knowledge in coastal management, an example for the Ems estuary. *Cont Shelf Res.* 20, 1655-1686.
- De Jorge, V.N., Van Beusekom, J.E.E., 1995. Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnology and Oceanography.* 40, 766-778. <https://doi.org/10.4319/lo.1995.40.4.0776>.
- Defeo O., McLachlan, A., 2005. Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series.* 295, 1-20.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F., 2009. Threats to Sandy Beach Ecosystems: A Review. 81. pp. 1-12.
- DeLancey, L.B., 1987. The summer zooplankton of the surf zone at Folly Beach, South Carolina. *J. Coast. Res.* 3, 211-217.
- DeLancey, L.B., 1989. Trophic relationship in the surf zone during the summer at Folly Beach, South Carolina. *J. Coast. Res.* 5, 477-488.
- Delgado, A.L., Perillo, G.M.E., Vitale, A.J., Piccolo, M.C., 2012. Preliminary analysis of waves in the coastal zone of Monte Hermoso and Pehuén Co, Argentina. *J. Coastal. Res.* 28, 843-852.

Delgado, A.L., 2013. Estudio integrado ambiental de la plataforma continental interior y media de la zona de El Rincón, Argentina. PhD Thesis, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.

Delgado, A.L., Loisel, H., Jamet, C., Vantrepotte, V., Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., 2015. Seasonal and inter-annual analysis of chlorophyll-a and inherent optical properties from satellite observations in the inner and mid-shelves of the south of Buenos Aires Province (Argentina). *Remote Sensing*. 7 (9), 11821-11847.

Delgado, A.L., Menéndez, M.C., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., 2016. Hydrography of the inner continental shelf along the southwest Buenos Aires Province, Argentina: influence of an estuarine plume on coastal waters. *Journal of Coastal Research*. 33 (4), 907-016. doi:10.2112/JCOASTRES-D-16-00064.1.

Devreker, D., Souissi, S., Molinero, J.C., Nkubito, F., 2008. Trade-offs of the copepod *Eurytemora affinis* in mega-tidal estuaries: insights from high frequency sampling in the Seine Estuary. *Journal of Plankton Research*. 30 (12), 1329-1342

Dingler, J.R., Reiss, T.E., 2002. Changes to Monterey Bay beaches from the end of the 1982-83. El Niño through the 1997-98. *El Niño. Marine Geology*. 181, 249-263.

Dominguez-Granda, L., Fockedey, N., De mey, M., Beyst, B., Cornejo M del, P., Calderón, J., Vincx, M., 2004. Spatial patterns of the surf zone hyperbenthic fauna of Valdivia Bay (Ecuador). *Hydrobiologia* 529, 205-224.

Drapper, L., 1963. The analysis and presentation of wave data: a plea from uniformity. *Proceedings 10th Coastal Engineering Conference* 1, 1-11.

Dugan, J.E., Hubbard, D.M., Nielsen, K.J., Altstatt, J., Bursek, J., 2015. Baseline Characterization of Sandy Beach Ecosystems along the South Coast of California. (*Final Report*). 113 pp.

Dugdale, R.C., Jones Jr, B.H., Maclsaac, J.J., 1981. Adaptation of nutrient assimilation. In T. Platt (Ed.). Ottawa: Canadian Bulletins of Fisheries and Aquatic Sciences. *Physiological bases of phytoplankton ecology*. 234-250 pp.

Dutto, M.S., Genzano, G.N., Schiariti, A., Lecanda, M.J., Hoffmeyer, M.S., 2017. Medusae and ctenophores from the bahía Blanca estuary and neighboring inner shelf (southwest Atlantic Ocean, Argentina). *Mar. Biodivers. Rec.* 10 (14), 1-10.

Elliott, D.L., Holladay, C.G., Barchet, W.R., Foote, H.P., Sandusky, W.F. 1987. Wind Energy Resource Atlas of the United States, Solar Energy Research Institute, Golden, Co.

Fiore, M., D'Onofrio, E.E., Pousa, J.L., Schnack, E.J. Y Bértola, G.R., 2009. Storm surge and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*, 29, 1643-1649.

Gallucci, F., Netto, S. A., 2004. Effects of the passage of cold fronts over a coastal site: an ecosystem approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 281, 79-92.

Gardolinski, P.C.F.C., Hanrahan, G., Achterberg, E.P., Gledhill, M., Tappin, A.D., House, A.W., Worsfold, P.J., 2001. Comparison of sample storage protocols for the determination of nutrients in natural waters, *Water Research*. 35, (15), 3670-3678. ISSN 0043-1354, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00088-4).

Gayoso, A.M., Muglia, V.H., 1991. Blooms of the surf-zone diatom *Gonioceros armatus* (Bacillariophyceae) on the South Atlantic coast (Argentina). *Diatom Research*. 6, 247-253.

Gibson, R.N., Pihl, L., Burrows, M.T., Modin, J., Wennhage, H., Nickell, L.A., 1998. Diel movements of juvenile plaice *Pleuronectes platessa* in relation to predators, competitors, food

availability and abiotic factors on a microtidal nursery ground. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 165, 145-159.

Gómez-Erache, M., Norbis, W., Bastreri, D., 2000. Wind effect as forcing factor controlling distribution and diversity of copepods in a shallow temperate estuary (Solís Grande, Uruguay). *Scientia Marina*. 64 (1), 87-95.

Guérin, T., Bertin, X., Coulombier, R., De Bakker, A., 2018. Impacts of wave-induced circulation in the surf zone on wave setup. *Ocean Modelling*. 123, 86-97.

Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M., 2000. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press. London San Diego, 673 pp.

Harvey, C.J., 1998. Use of sandy beach habitat by *Fundulus majalis*, a surf-zone fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 164, 307-310.

Hoffmeyer, M.S., 2004. Decadal change in zooplankton seasonal succession in the Bahía Blanca estuary, Argentina, following introduction of two zooplankton species. *Journal of Plankton Research* 26 (2), 181-189.

Holman, R. A., 1981. Infragravity energy in the surf zone, *J. Geophys. Res.* 86(C7), 6442-6450, doi:10.1029/JC086iC07p06442.

Howson, U.A., Buchanan, G.A., Nickels, J.A., 2017. Zooplankton community dynamics in a Western Mid-Atlantic Lagoonal estuary. *J. Coast. Res.* 78, 141-168.

Hsieh, H.L., Fan, L.F., Chen, C.P., Wu, J.T., Liu, W.C., 2010. Effects of semidiurnal tidal circulation on the distribution of holo- and meroplankton in a subtropical estuary. *Journal of Plankton Research*. 32 (6), 829-841.

Huamantínco, M.A., 2012. Efecto de la variabilidad climática del balneario Monte Hermoso sobre su geomorfología costera y el confort climático. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina (262 pp.)

Huamantínco, M.A., Bustos, M.L., Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., 2014. Impacto de tormentas severas invernales en Monte Hermoso y Pehuen Co (Argentina). Conference Paper. XXVII Reunión científica de la asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG). ISBN 978-987-33-5605-6.

Huang, S.C., Kreeger, D.A., Newell, R.I.E., 2003. Tidal and seasonal variation in the quantity and composition of seston in a North American, mid-Atlantic salt-march. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 56, 547-560.

Inoue, T., Suda, Y., Sano, M., 2008. Surf zone fishes in an exposed sandy beach at Sanrimatsubara, Japan: does fish assemblage structure differ among microhabitats? *Estuarine. Coast Shelf Sci.* 77, 1-11.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N. (eds.)].

Islama, M.S., Uedab, H., Tanakaa, M., 2006. Spatial and seasonal variations in copepod communities related to turbidity maximum along the Chikugo estuarine gradient in the upper Ariake Bay, Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 68, 113-126.

- Kruskal, J. B., Wish, M., 1978. *Multidimensional Scaling*. Sage Publications, Beverly Hills, CA. 487 pp.
- Ku. Sahu, B., Baliarsingh, S.K., Srichandan, S., Sahu, K.C., 2012. Zooplankton Abundance and Composition in Surf Zone of Gopalpur Port, East Coast of India-A Case Study. *Marine Science*. 2 (6), 120-124.
- Layman, C.A., 2000. Fish assemblage structure of the shallow ocean surf-zone on the eastern shore of Virginia Barrier islands. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 51, 201-213.
- Leandro, S.M., Morgado, F., Pereira, F., Queiroga, H., 2007. Temporal changes of abundance, biomass and production of copepod community in a shallow temperate estuary (ria de Aveiro, Portugal). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 74, 215-222.
- Lee, C.R., Kang, H.K., Choi, K.H., 2011. Latitudinal distribution of mesozooplankton community in the northwestern Pacific Ocean. *Ocean. Polar. Res.* 33, 337-347.
- Lewin, J., 1978. Blooms of surf-zone diatoms along the coast of the Olympic Peninsula, Washington. IX: factors controlling the seasonal cycle of nitrate in the surf at Copalis Beach (1971 through 1975). *Estuarine and Coastal Marine Science*. 7, 173-183.
- Liang, D., Uye, S., 1996. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. III. *Paracalanus sp.* *Mar. Biol.* 127, 219-227.
- Lopes, R.M., Brandini, F.P., Gaeta, S.A., 1999. Distribution patterns of epipelagic copepods off Rio de Janeiro (SE Brazil) in summer 1991/1992 and winter 1992. *Hydrobiologia*. 411, 161-174.
- Lucas, A.J., Guerrero, R.A., Mianzan, H.W., Acha, E.M., Lasta, C.A., 2005. Coastal oceanographic regimes of the Northern Argentine Continental Shelf (34–43°S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 65, 405-420.
- Machado, P.M., Costa, L.L., Suciú, M.C., Tavares, D.C., Zalmon I.R., 2016. Extreme storm wave influence on sandy beach macrofauna with distinct human pressures. *Mar. Poll. Bull.* 107, 125-135.
- NMS (National Meteorological Service), 1992. *Estadísticas Climatológicas 1981-1990*. Secretaría de Aeronáutica de la Nación, Buenos Aires, Argentina.
- Manning, L.M., Peterson, C.H., Fegley, S.R., 2013. Degradation of surf-fish foraging habitat driven by persistent sedimentological modifications caused by beach nourishment. *Bull. Mar. Sci.* 89, 83-106.
- Marcomini, S.C., López, R.A., 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Rev. Asociación Argentina de Sedimentología*. 2, 79-96.
- Marin Jarrin, J.R., Shanks, A.L., 2011. Spatio-temporal dynamics of the surf-zone faunal assemblages at a Southern Oregon sandy beach. *Mar. Ecol.* 32 (2), 232-242.
- Marin Jarrin, J.R., Mino Quezada, S.L., Dominguez-Granda, L.E., Guartatanga Argudo, S.M., Cornejo, M.P., 2015. Spatio-temporal variability of the surf-zone fauna of two Ecuadorian sandy beaches. *Mar. Freshw. Res.* 66, 1-12.
- Marin Jarrin, J.R., Teel, D.J., Miller, J.A., 2016. Stock-specific movement and distribution of juvenile Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, in sandy beach surf zone of Oregon and Washington, USA. *Est. Coasts*. 39, 759-766.

- Marin Jarrin, J.R., Vanaverbeke, J., Fockedey, N., del, M., Cornejo, P., de Grunauer, R., Dominguez-Granda, L., 2017. Surf zone fauna of Ecuadorian sandy beaches: spatial and temporal patterns. *J. Sea Res.* 120, 41-49.
- Marques, S.C., Azeiteiro, U.M., Martinho, F., Pardal, M.A., 2007. Climate variability and planktonic communities: the effect of an extreme event (severe drought) in a southern European estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 73, 725-734.
- Marques, S.M., Azeiteiro, U.M., Martinho, F., Viegas, I., Pardal, M.A., 2009. Evaluation of estuarine mesozooplankton dynamics at a fine temporal scale: the role of seasonal, lunar and diel cycles. *J. Plankton Res.* 31, 1249-1263.
- Martos, P., Piccolo, M.C., 1988. Hydrography of the Argentine continental shelf between 38 and 42 S. *Continental shelf Reseach.* 8 (9), 1043-1056.
- Masselink, G., Castelle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., Floc'h., 2016. Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophys. Res. Lett.* 43, 2135-2143. doi:10.1002/ 2015GL067492.
- Mavo Manstretta, G.M., Vitale, A.J., Perillo, G.M.E. Monitoreo de erosión costera mediante relevamientos con UAV: caso Pehuén Co. XVI Reunión Argentina de Sedimentología.
- McLachlan A., A. Brown., 2006. *The Ecology of Sandy Shores*, 2nd edn. Elsevier Academic Press, Burlington, MA.
- McLachlan, A., Defeo, O., 2018. *The Ecology of Sandy Shores*, 3rd edition. Elsevier Academic Press, London, United Kingdom.
- McLachlan, A., Defeo, O., Short, A.D., 2018. Characterising sandy beaches into major types and states: implications for ecologists and managers. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 215, 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.027>.
- Melchor, R.N., Feola, S.F., Manera de Bianco, T., 2018. Canid Paleoichnology: Taxonomic Review and Producers of *Canipeda* from the Late Pleistocene of Argentina. *An International Journal for Plant and Animal Traces.* 26 (2), 85-107. <https://doi.org/10.1080/10420940.2018.1447466>
- Menéndez, M.C., Dutto, M.S., Piccolo, M.C., Hoffmeyer, M.S., 2012b. The role of the seasonal and semi-diurnal tidal cycle on mesozooplankton variability in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina). *ICES J. Mar. Sci.* 69 (1), 389-398.
- Menéndez, M.C., Piccolo, M.C., Hoffmeyer, M.S., 2012a. Short-term variability on mesozooplankton community in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina): influence of tidal cycles and local winds. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 112, 11-22.
- Menéndez, M.C., Delgado, A.L., Berasategui, A.A., Piccolo, M.C., Hoffmeyer, M.S., 2015. Seasonal and tidal dynamics of water temperature, salinity, chlorophyll-a, suspended particulate matter, particulate organic matter, and zooplankton abundance in a shallow, mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research.* doi:10.2112 /JCOASTRES-D-14-00236.
- Menéndez, M.C., Fernández Severini, M.D., Buzzi, N.S., Piccolo, M.C. Perillo, G.M.E., 2016. Assessment of surf zone environmental variables in a Southwestern Atlantic sandy beach (Monte Hermoso, Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment.* 188, 496 doi:10.1007/s10661-016-5495-9.

- Menéndez, M.C., Baleani, C.A., Amodeo, M., Acha, E., Piccolo, M.C., 2019. Assessment of surf zone zooplankton dynamics in a southwestern Atlantic sandy beach: seasonal cycle and tidal height influence. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 227, 106-307.
- Merlotto, A., Bértola, G.R., Piccolo, M.C., 2016. Hazard, vulnerability and coastal erosion risk assessment in Necochea Municipality, Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Coastal Conservation.* 20, 351-362. DOI: 10.1007/s11852-016-04477-7.
- Merlotto, A., Piccolo, M.C., 2009. Tendencia climática de Necochea-Quequén (1956-2006), Argentina. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. *Investigaciones Geográficas.* 50, 143-167. ISSN: 0213-4691.
- Mianzan, H.W., Zamponi, M.O., 1988. Estudio bioecológico de Olindias sambaquiensis Müller, 1861 (Limnomedusae, Olindiidae) en el área de Monte Hermoso, II. Factores meteorológicos que influyen en su aparición. *Iheringia.* 2, 63-68.
- Monbet, P., McKelvie, I.D., 2006. Handbook of water Analysis. Chapter 8 - Phosphates. In Book: Handbook of water Analysis. Publisher: CRC Press. Ed. Nollet M.L.M.
- Moon, S., Oh, H., Soh, H., 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. *Ocean. Polar. Res.* 32, 411-426.
- Morgan, C.A., Cordell, J.R., Simenstad, C.A., 1997. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Mar. Biol.* 129 (2), 309-317.
- Morgan, C.A., Peterson, W.T., Emmett, R.L., 2003. Onshore-offshore variations in copepod community structure off the Oregon coast during the summer upwelling season. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 249, 223-236.
- Morgan, S.G., Shanks, A.L., Fujimura, A.G., Reniers, A.J.H.M., MacMahan, J., Griesemer, C.D., Jarvis, M., Brown, J., 2016. Surfzone hydrodynamics as a key determinant of spatial variation in rocky intertidal communities. *Proc. R. Soc. B* 283 s.
- Morgan, S.G., Shanks, A.L., MacMahan, J., Reniers, J.H.M. Ad., Griesemer, C.D., Jarvis, M., Fujimura, A.G., 2017. Surf zones regulate larval supply and zooplankton subsidies to nearshore communities. *Association for the Science of Limnology and Oceanography.* 62, 2811-2828. <https://doi.org/10.1002/Ino.10609>.
- Muxagata, E., Amaral, W.J.A., Barbosa, C.N., 2012. *Acartia tonsa* production in the Patos lagoon estuary, Brazil. *ICES J. Mar. Sci.* 69, 475-482.
- Naylor, E., 2006. Orientation and navigation in coastal and estuarine zooplankton. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology.* 39 (1), 13-24.
- Neves L.P., P. Rodrigues da Silva & C.E. Bemvenuti. 2008. Temporal variability of benthic macrofauna on Cassino beach, southernmost Brazil. *Iheringia, Série Zoologia,* 98: 36-44.
- Nicolae-Lerma, A., Pedreros, R., Robinet, A., Sénéchal, N., 2017. Simulating wave setup and runup during storm conditions on a complex barred beach. *Coast. Eng.* 123, 29-41.
- Niencheski, L.F.H., Windom, H.L., Moore, W.S., Jahnke, R.A., 2007. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, southern Brazil. *Marine Chemistry.* 106, 546-561.

- Odebrecht, C., Segatto, A.Z., Freitas, C.A., 1995. Surf-zone chlorophyll a variability at Cassino Beach, southern Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 41, 81-90.
- Odebrecht, C., Bergesch, M., Rörig, L.R., Abreu, P.C., 2010. Phytoplankton interannual variability at Cassino Beach, southern Brazil (1992-2007), with emphasis on the surf zone diatom *Asterionellopsis glacialis*. *Estuar. Coasts* 33, 570-583.
- Odebrecht, C., Preez, D.R., Abreu, P.C., Campbell, E.E., 2014. Surf zone diatoms: a review of the drivers, patterns and role in sandy beaches food chains. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 150 (A), 24-35.
- Oliveira-Santos, N.M., Martins-García, T., de Oliveira-Soares, M., 2016. Micro- and mesozooplankton communities in the surf zone of a tropical sandy beach (equatorial southwestern Atlantic). *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 44, 247-255.
- Orlando, L., Ortega, L., Defeo, O., 2019. Multi-decadal variability in sandy beach area and the role of climate forcing. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 218, 197-203.
- Orlando, L., Ortega, L., Defeo, O., 2020. Urbanization effects on sandy beach macrofauna along an estuarine gradient. *Ecological Indicators*. 111, 106036. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106036>
- Pardal, M.A., Cardoso, P.G., Sousa, J.P., Marques, J.C., Raffaelli, D., 2004. Assessing environmental quality: a novel approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 267, 1-8.
- Perillo, G.M.E., 2003. *Dinámica del Transporte de Sedimentos*. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial (2), La Plata. pp. 201.
- Perillo, G.M.E., Codignotto, J.O., 1989. Ambientes costeros. En: Bossi, G.E. (ed.):1 Simposio de Ambientes y Modelos Sedimentarios, *Boletín Sedimentológico*. 4, 137-159.
- Perillo, G.M.E., Cuadrado, D.G., 1990. Nearsurface Suspended Sediments at Monte Hermoso Beach, Argentina: I. Descriptive Characteristics. *Journal of Coastal Research*. 6 (4), 981-990
- Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., 1990. Physical characteristics of the Bahía Blanca estuary (Argentina). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 31, 303-317.
- Perillo, G.M.E., 1996. *Dinámica del transporte de Sedimentos*. La plata. Argentina: Asociación Argentina de Sedimentología. 201 pp. ISBN 987-96296-1-2.
- Perillo G.M.E., Piccolo, M.C., Parodi, E., Freije, R.H., 2000. The Bahía Blanca Estuary, Argentina. In: U. Seeliger, B. Kjerfve (eds.). *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Environmental Science Series. Springer Verlag, Berlín: 205-217.
- Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., Palma, E.D., Pérez, D.E., Pierini, J.O., 2004. Oceanografía Física. In M.C. Piccolo & M.S. Hoffmeyer (Eds.), *El Ecosistema del Estuario de Bahía Environ Monit Assess (2016) 188:496* Page 11 of 12 496 Author's personal copy *Blanca* (pp. 61 - 67). Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur (EdiUNS).
- Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., 2011. Global variability in estuaries and coastal settings. En: Wolanski, E. y McLusky, D.S. (eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Waltham: Academic Press. 1, 7-36.
- Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., Revollo Sarmiento, G.N., Alberdi, E.D.A., 2011. preliminary analysis of flat-gravel transport over a sandy beach, Pehuén Co, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. 18, 105-120.

Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., 1991. Tidal Response in the Bahía Blanca Estuary. *Journal of Coastal Research*. 1, 437-449.

Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., Bustos, L.M., Huamantínco Cisneros, A., London, S., Scordo, F., Rojas, M., 2014. Evolución de los ambientes costeros de la Provincia de Buenos Aires (Argentina): ¿Cambio climático o efectos antrópicos? *Cambio Climático y sistemas socioecológicos. Revista Virtual REDESMA*. 7, 38-48.
<https://cebem.org/revistaredesma/vol14>.

Piccolo, M.C., Merlotto, A., Bustos, M.L., Huamantínco Cisneros, M.A., Garcia, M.C., 2017. Tormentas severas: ¿Cuán vulnerables son las costas del sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina)? En *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático*. Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.), Cap 14, p. 283-296. (ISBN 978-607-606-416-0). 476 pp.

Pinheiro, S.C.C., Leite, N.R., da Costa, V.B., da Costa, K.G., Pereira, L.C.C., da Costa, R.M., 2011. Spatial-temporal influence of hydrological variables on the diversity and abundance of copepods on an equatorial macrotidal beach in the Brazilian Amazon region. *J. Coast. Res.* 64, 425-429.

Pinheiro, S.C.C., Magalhães, A., da Costa, V.B., Pereira, L.C.C., da Costa, R.M., 2013. Temporal variation of zooplankton on a tropical Amazonian beach. *J. Coast. Res.* 2, 1838-1843.

Porter, J.H., Nagy, E., Kratz, T.K., Hanson, P., Collins, S.L., Arzberger, P., 2009. New eyes on the world: advanced sensors for ecology. *BioScience*. 59, 385-397.

Primo, A.L., Azeiteiro, U.M., MarquesSC, M.F., Pardal, M.A., 2009. Changes in zooplankton diversity and distribution pattern under varying precipitation regimes in a southern temperate estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 82, 341–347.

Ramírez, F.C., Sabatini, M.E., 2000. The occurrence of Calanidae species in waters off Argentina. *Hydrobiologia*. 1 (3), 21-42.

Rezende, K.R.V., 1995. Dinâmica temporal do fitoplâncton de zona de arrebatção da praia de Pontal do Sul (Paranaguá- PR). MSc. Thesis, Universidade de São Paulo.

Rezende, K.R.V., Brandini, F.P., 1997. Variação sazonal do fitoplâncton da zona de arrebatção da Praia de Pontal do Sul (Pontal do Paraná, PR). *Neritica*. 11, 49-62.

Rhoads, D.C., Tenore, K.R., Browne, M., 1975. The role of suspended bottom mud in nutrient cycles of shallow embayments. In: Cronin, L.E. (Ed.), *Estuarine Research. I. Chemistry, Biology and the Estuarine System*. Academic Press., New York, pp. 563-579.

Rice, E., Dam, H.G., Stewart, G.M., 2015. Impact of climate change on estuarine zooplankton: surface water warming in Long Island sound is associated with changes in copepod size and community structure. *Estuar. Coasts* 38, 13.23.

Rodrigues, M.A., Agostini, V.O., Ozorio, C.P., 2019. Short-term temporal variations in the zooplankton community of the surf zone influenced by estuarine discharge. *Regional Studies in Marine Science* 29, 1-10.

Rodrigues, F.L., Vieira, J.P., 2012. Surf zone abundance and diversity at two sandy beaches separated by long rocky jetties. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 93, 867-875.

- Roman, M.R., Holliday, D.V., Sanford, L.P., 2001. Temporal and spatial pattern of zooplankton in the Chesapeake Bay turbidity maximum. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 213, 215-227.
- Röriq, L.R., Garcia, V.M.T., 2003. Accumulations of the surf-zone diatom *asterionellopsis glacialis* (castracane) round in cassino beach, southern Brazil, and its relationship with environmental factors. *J. Coast. Res.* 19, 167-177.
- Röriq, L.T., de Almeida, T.C.M., Garcia, V.M.T., 2006. Structure and succession of the surf-zone phytoplankton in Cassino Beach, southern Brazil. *Journal of Coastal Research.* 39, 1246-1250.
- Ruggiero, P., Kaminsky, G., Gelfenbaum, Voigt, B., 2005. Seasonal to interannual morphodynamics along a high-energy dissipative littoral cell. *J. Coast. Res.* 21 (3), 553-578.
- Russell, P.E., 1993. Mechanisms for beach erosion during storms. *Continental Shelf Research.* 13 (11), 1243-1265.
- Schiariti, A., Dutto, M.S., Carrara Morandini, A., Nagata, R.M., Pereyra, D.Y., Puente Tapia, F.A., Diaz Briz, L., Genzano, G., 2018. An overview of the medusozoa from the southwestern atlantic. In: Hoffmeyer, M.S., Sabatini, M., Brandini, F.P., Calliari, D.L., Santinelli, N. (Eds.), *Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic - from the Subtropical to the Subantarctic Realm.* Springer, pp. 413-452.
- Schlacher, T.A., Schoeman, D.S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A., 2008. Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Mar. Ecol.* 29, 70-90.
- Schneider, C., 1981. The Littoral environment observation (LEO) data collection program. In: *Coastal Engineering Research Center. Coastal Engineering Technical AID NO*, pp. 81-85.
- Schoeman, D.S., Richardson, A.J., 2002. Investigating biotic and abiotic factors affecting recruitment of an intertidal clam on an exposed sandy beach using a generalized additive model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 276, 67-81.
- Semeoshenkova, V., Newton, A., Rojas, M., Piccolo, M.C., Bustos, M.L., Huamantincó Cisneros, M.A., Berninsone, L.G., 2017. A combined DPSIR and SAF approach for the adaptive management of beach erosion in Monte Hermoso and Pehuen Co (Argentina). *Ocean & Coastal Management.* 143, 63-73. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.015>).
- Senechal, N., Coco, G., Bryan, K.R., Holman, R.A., 2011. Wave runup during extreme storm conditions. *Journal Geophysical Research.* 116, 7-32. [Doi.org/10.1029/2010JC006819](https://doi.org/10.1029/2010JC006819).
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN), 2009. *Tablas de Marea.* Departamento de Artes Gráficas del Servicio de Hidrografía Naval. Publicación H-610, Buenos Aires, pp. 140-144.
- Sherman, D.J., Barron, K.M., Ellis, J.T., 2002. Retention of beach sands by dams and debris basins in southern California. *Journal of Coastal Research SI* 36, 662-674.
- Stech, J.L., Lorenzetti, J.A., 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *J Geoph Research.* 97(6), 9507-9520.
- Strydom, N., 2007. Jetski based plankton towing as a new method of sampling larval fishes in shallow marine habitats. *Environ. Biol. Fish.* 78, 299-306.

- Stull, K.J., Cahoon, L.B., Lankford, T.E., 2016. Zooplankton abundance in the surf zones of nourished and unnourished beaches in Southeastern North Carolina, US.A. *J. Coast. Res.* 32, 70-77.
- Sun, X.H., Sun, S., Li, C.L., Zhang, G.T., 2008. Seasonal and spatial variation in abundance and egg production of *Paracalanus parvus* (Copepoda: Calanoida) in/out Jiaozhou Bay, China. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 79, 637-643.
- Suzuki, K., Nakamura, Y., Hiromi, J., 1999. Feeding by the small calanoid copepod *Paracalanus* sp. on heterotrophic dinoflagellates and ciliates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 17, 99-103.
- Talbot, M.M.B., Bate, G.C., 1988. The relative quantities of live and detrital organic matter in a beach-surf ecosystem. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 121, 255-264.
- Talbot, M.M.B., Bate, G.C., 1989. Beach morphodynamics and surf-zone diatom populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 129, 231–241.
- Talbot, M.M.B., Bate, G.C., Campbell, E.E., 1990. A review of the ecology of surf-zone diatoms, with special reference to *Anaulus australis*. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review.* 28, 155-175.
- Tarrago, L.D., Ozorio, C.P., 2016. Influence of storm surges on intertidal meiofauna of an exposed
Sandy beach. *Brazilian Journal of Oceanog.* 65 (4), 709-714.
- Thornton, E., Humiston, R., Birkemeier, W., 1996. Bar/trough generation on a natural beach. *J. Geophys. Res. Oceans.* 101 (5), 12097-12110.
- Tomassini, R.L., Montalvo, C.I., Manera, T., Oliva, C., 2010. Estudio tafonómico de los mamíferos pleistocenos del yacimiento de Playa del Barco (Pehuen Co), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana.* 47 (2), 137-152.
- Van Rijn, L.C., 2013. Basic hidrodinamic Processes in the coastal zone. www.leovanrijn-sediment.com.
- Viles, H.A., Goudie, A.S., 2003. Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews.* 61, 105-131.
- Villate, F., 1994. Temporal variability of the spatial distribution of the zooplankton community in a coastal embayment of the Basque country in relation to physical phenomena. *Hydrobiologia.* 288 (1),79-95.
- Vitale, A.J., Genchi, S.A., Piccolo, M.C., 2018a. Assessing the Surface Radiation Balance and Associated Components in an Intertidal Wetland. *Journal of Coastal Research.* ISSN: 0749-0208. 35 (1), 158-164.
- Watt-Pringle, P., Strydom, N.A., 2003. Habitat use larval fishes in a temperate South African surf zone. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 58, 765-774.
- Weatherdon LV, Magnan AK, Rogers AD, Sumaila UR, Cheung WWL. 2016. *Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: an update. Frontiers in Marine Science Epub ahead of print April 19 2016 DOI 10.3389/fmars.2016.00048.*
- Wu, C.J., Chiang, K.P., Liu, H., 2010. Diel feeding pattern and prey selection of mesozooplankton on microplankton community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 390, 134-142.

