

**REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY  
ARMADA NACIONAL  
SERVICIO DE OCEANOGRAFÍA HIDROGRAFÍA Y METEOROLOGÍA DE LA ARMADA**



# **CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE OLAS**

**INFORMACIÓN ESTADÍSTICA  
EN LA COSTA SUR Y ESTE  
DEL URUGUAY**

**PUBLICACIÓN N° 13**

**1ª EDICIÓN 2020**

# CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE OLAS

## INFORMACIÓN ESTADÍSTICA EN LA COSTA SUR Y ESTE DEL URUGUAY

REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

ARMADA NACIONAL



PUBLICADO POR EL  
SERVICIO DE OCEANOGRAFÍA, HIDROGRAFÍA Y METEOROLOGÍA  
DE LA ARMADA

1a EDICIÓN 2020

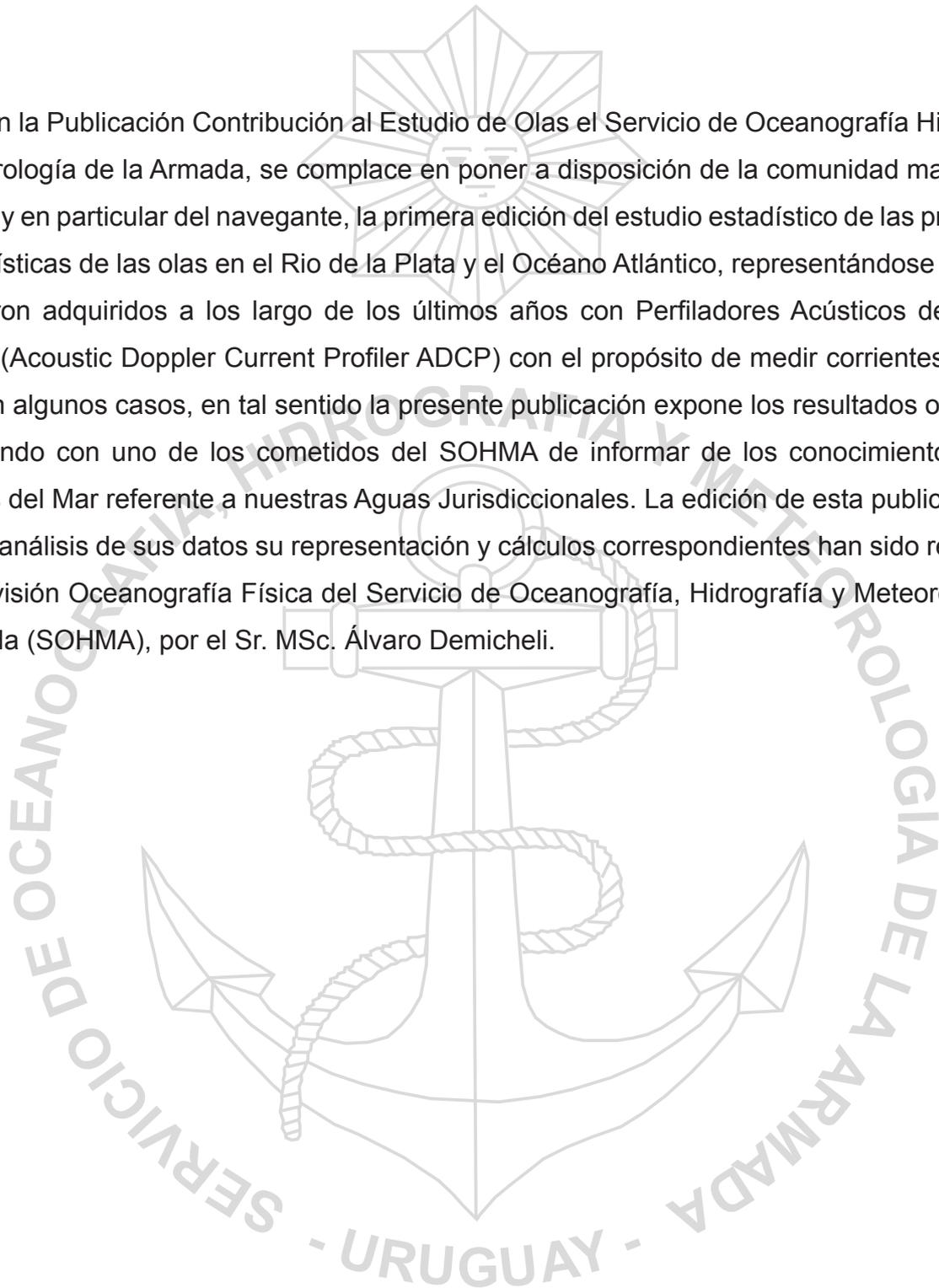
© 2020, SOHMA URUGUAY  
Todos los derechos reservados  
ISSN

Publicación  
N° 13



## PRÓLOGO

En la Publicación Contribución al Estudio de Olas el Servicio de Oceanografía Hidrografía y Meteorología de la Armada, se complace en poner a disposición de la comunidad marítima en general, y en particular del navegante, la primera edición del estudio estadístico de las principales características de las olas en el Rio de la Plata y el Océano Atlántico, representándose los datos que fueron adquiridos a los largo de los últimos años con Perfiladores Acústicos de Efectos Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler ADCP) con el propósito de medir corrientes marinas y olas en algunos casos, en tal sentido la presente publicación expone los resultados obtenidos, continuando con uno de los cometidos del SOHMA de informar de los conocimientos de las Ciencias del Mar referente a nuestras Aguas Jurisdiccionales. La edición de esta publicación así como el análisis de sus datos su representación y cálculos correspondientes han sido realizados en la División Oceanografía Física del Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), por el Sr. MSc. Álvaro Demicheli.



# INDICE

CAPÍTULO I	
Parámetros de olas	4
CAPÍTULO II	
Área de estudio	5
Materiales y métodos	6
Análisis de datos	7
CAPÍTULO III	
Resultados	8
Alturas de ola	8
Períodos de ola	10
Pendiente de olas	12
Dirección de olas	13
Análisis estacional	13
CAPITULO IV	
Conclusiones	21
BIBLIOGRAFÍA	22

## INTRODUCCION

Las olas por definición son el movimiento ondulatorio de una superficie de agua. Estas pueden condicionar directamente la navegación, las maniobras realizadas en el mar, la viabilidad de las construcciones que se realizan en zonas costeras (muelles, escolleras, murallones costeros) y la dinámica de arenas en las playas, lo cual es crítico para la construcción de viviendas en dichas áreas. Por ello, el conocimiento de su comportamiento y los fenómenos extremos de estas es de gran importancia.

En Uruguay existen registros históricos de olas mediante observadores, los cuales pueden tener mucho error, pero existe aún escasa información con métodos modernos. Mediante el uso de correntómetros acústicos se han realizado algunos trabajos en cuanto a corrientes y olas, y su relación con la resuspensión y transporte de sedimentos utilizando los datos tomados en conjunto por el SOHMA, IMFIA (Facultad de Ingeniería) e Intendencia de Montevideo (Fosatti et al, 2007; Bellón y Piedra Cueva, 2009; Simionato et al, 2011).

Se muestran a continuación datos estadísticos descriptivos, tomados en diferentes períodos de tiempo entre los años 2003 a 2018 mediante correntómetros acústicos (ADCP's) fondeados aproximadamente a 2 km de la costa. Las tres zonas muestreadas fueron Punta Carretas (Montevideo), Punta del Este (Maldonado) y La Paloma (Rocha).

Esta información inicial pretende ser una ayuda para navegantes, dando a conocer el clima de olas esperable en diferentes puntos de la costa, así como también una referencia para futuras investigaciones sobre el tema, para tomadores de decisiones y usuarios en general de nuestras aguas.

# CAPITULO I

## Parámetros de olas

La mayoría de las olas observables en la superficie del océano son generadas por la acción del viento. El tamaño y el tipo de ola generada dependen de 4 factores: La velocidad del viento, la duración del viento, el tamaño del área del océano sobre la que actúa el viento (Fetch, en inglés), y la profundidad de la zona.

Para su estudio las olas se pueden interpretar como una onda lineal, y tienen los siguientes parámetros (Fig. 1) que son de importancia para su caracterización:

**Altura:** Es la distancia vertical entre la cresta de la ola y el seno o valle consecutivo. A partir de este parámetro se puede calcular la amplitud de la onda, como  $\frac{1}{2}$  de la altura.

**Período:** Es el tiempo (medido en segundos) entre que pase una cresta y la siguiente por el mismo punto, o bien el tiempo entre valle y valle de la ola. A partir del período se puede calcular la frecuencia como  $1/\text{período}$ .

**Longitud de onda:** Es la distancia (expresada en metros) entre dos crestas consecutivas.

**Velocidad de la ola:** Se puede calcular como la longitud de onda sobre el período, y se puede expresar en nudos o en metros por segundo.

**Pendiente de la ola:** Es la altura dividida la longitud de onda. Se considera pequeña si la relación Altura/Longitud de onda es igual o menor a  $1/100$ , mediana si la relación esta entre  $1/100$  y  $1/25$ , y grande si está ente  $1/25$  y  $1/7$ . Cuando la relación es mayor a  $1/7$ , la ola se vuelve inestable y comienza a romper.

**Dirección de la ola:** Es el punto cardinal desde donde viene la ola (al igual que cuando se mide la dirección del viento). Es importante no confundir con la dirección de la corriente, la cual se mide hacia donde va.

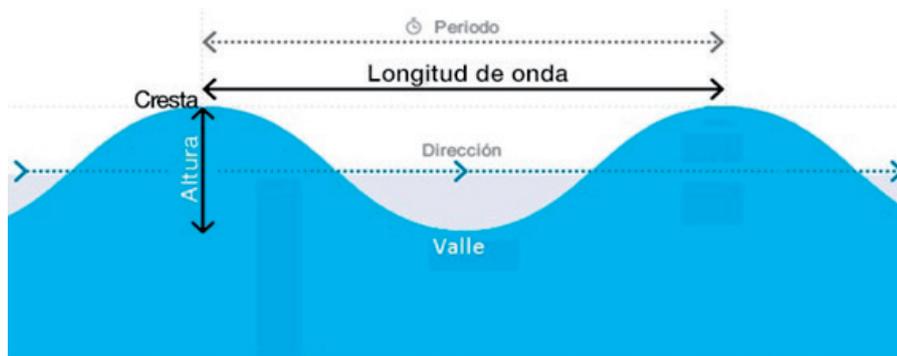


Figura 1. Parámetros básicos de una ola. Adaptado de <http://www.masmar.net>

**Rotura de las olas:** Cuando la pendiente de la ola crece lo suficiente para volverla inestable, esta empieza a romper. Esto se puede dar en mar abierto cuando se presentan velocidades altas de viento (típicamente en condiciones de temporal), o al interferir con otras olas. En las zonas costeras o donde las profundidades descienden abruptamente como en los bajos o bancos de arena, las olas pierden inercia al rozar con el fondo y se empieza a desfasar la velocidad de la cresta de la ola con la de su parte inferior, aumentando la pendiente y llegando a romper. Esto pasa cuando la profundidad del lugar es igual o menor a la mitad de la longitud de onda de la ola. Por ello la navegación cercana a la orilla, bajos u otros obstáculos someros puede implicar el peligro de que una ola rompa sobre la embarcación. En Uruguay bajos rocosos como el Falkland o bancos de arena como el "Banco Inglés" pueden presentar olas rompiendo sobre ellos, a pesar de estar a gran distancia de la costa.

## CAPITULO II

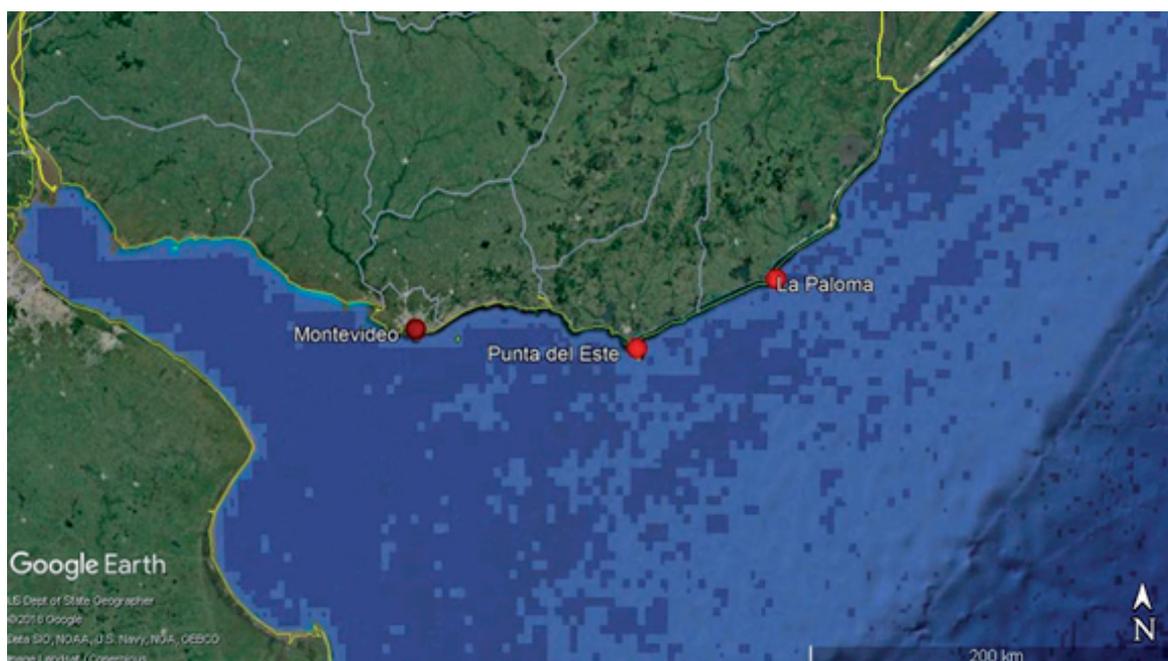
### Área de estudio

El primer punto de muestreo fue frente a Montevideo, la capital de Uruguay, en la que se acumula más de la mitad de la población total del país. Esta ciudad tiene una gran parte de su línea costera edificada y cuenta con una intensa actividad portuaria-comercial y pesquera artesanal. Montevideo se ubica en el límite entre la zona intermedia y externa del Río de la Plata, un estuario con profundidades generalmente no mayores a 10 metros. La salinidad y temperatura presentan gran variabilidad debido al aporte de agua de los ríos Paraná y Uruguay, y la intrusión de masas de agua salada provenientes del océano (Corrientes de Malvinas y Brasil, Mazzeta y Gascue, 1995). El instrumento utilizado se instaló a 2.5 millas náuticas de Punta Brava, en la zona terminal del emisario colector de la ciudad, cercano al Canal de Acceso al Puerto de Montevideo. La profundidad media del lugar es de 9 metros (Fig. 2).

Punta del Este fue el segundo lugar estudiado, ubicado en el departamento de Maldonado. Esta zona marca el límite del estuario del Río de la Plata y el comienzo de la costa Atlántica del Uruguay. Es uno de los centros de mayor actividad turística del país, cuenta con un puerto deportivo y es zona de llegada de cruceros de gran porte durante la temporada estival (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2019). La salinidad presenta valores mayores a Montevideo, siendo por lo general similar a la que se encuentra en la costa Atlántica del país, y las temperaturas son en promedio más bajas que en Montevideo. La zona de fondeo del equipo fue aproximadamente entre Punta del Este e Isla de Lobos, a 2,5 millas náuticas de la costa, y a una profundidad promedio de 14 metros (Fig. 2).

El tercer punto de muestreo fue en el departamento de Rocha, en la zona cercana al balneario La Paloma a aproximadamente 2 millas náuticas de la costa. El área forma parte de la costa Atlántica del Uruguay, con salinidades por lo general entre 23 y 33. Rocha es un centro turístico de importancia en diferentes puntos de la costa, con menor infraestructura que Maldonado. En sus aguas se desarrolla la pesca de manera industrial y también artesanal en la cercanía de la costa. La franja costera de Rocha ha sufrido un importante crecimiento de construcción en los últimos años, lo cual supone entre otras cosas un cambio en la dinámica de sedimentos, y en los procesos erosivos que se dan sobre ella (Piedra-Cueva, 2006) (Fig. 2).

Los tres puntos de estudio presentan un régimen micromareal, con mareas astronómicas semidiurnas (+300 a -180 cm de amplitud) y una importante influencia de los vientos sobre estas.



**Figura 2.** Ubicación de los puntos de fondeo de equipos ADCP enfrente a Montevideo, Punta del Este (Maldonado) y La Paloma (Rocha).

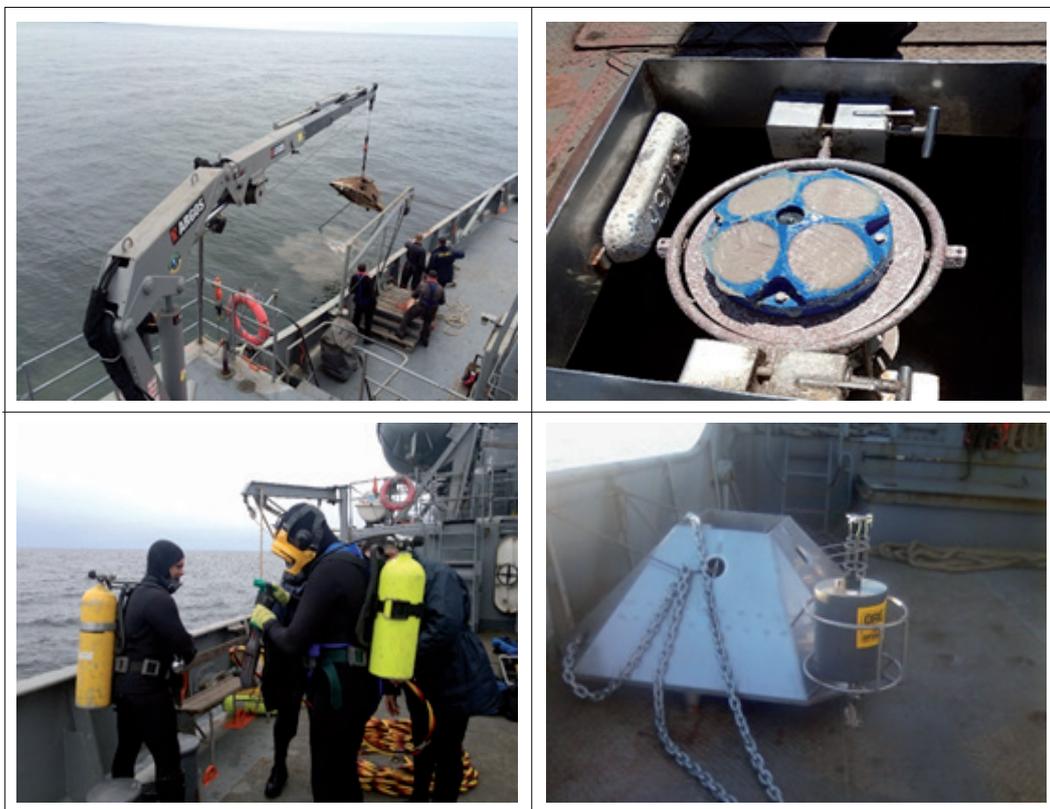
## Materiales y métodos

Se utilizaron perfiladores verticales acústicos de la marca Teledyne RD Instruments, conocidos como Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP por su sigla en inglés), los cuales aplican tecnologías de perfilado acústico para medir datos de olas y de corrientes

Éstos equipos funcionan en base al efecto Doppler, de manera similar a los radares, emitiendo pulsos de sonido en frecuencias de 600 Hz y 1200 Hz, permitiendo medir, mediante este principio, la dirección y magnitud de corrientes en diferentes capas de profundidad (con una resolución de hasta 0.5 metros) así como también la dirección, frecuencia y la altura de las olas, mientras que la profundidad a la que se encuentra el instrumento es medida mediante un sensor de presión.

Los ADCP utilizados para este estudio disponían de una autonomía de hasta 3 meses, su colocación en el fondo marino fue realizada mediante su instalación en una estructura piramidal de acero galvanizado (dentro de un soporte cardánico que asegura que el equipo quede apuntando hacia la superficie), la cual a su vez fue señalizada mediante una boya de navegación (generalmente correspondiendo a una Señal Especial en el Sistema IALA), maniobra de fondeo era señalizada mediante una cadena unida a una boya señalizadora de la navegación existente en el lugar, o bien mediante una boya de liberación acústica ("pop-up buoys") y tomando la posición de fondeo mediante GPS diferencial (Fig. 3).

Para realizar las campañas de fondeo y recuperación de la maniobra completa se contó con los buques ROU 21 Sirius, ROU 26 Vanguardia y ROU 22 Oyarvide además del personal del Grupo de Buceo de la Armada (GRUBU). En casos puntuales de realizar mantenimiento únicamente del correntómetro se utilizaron lanchas patrulleras de la Prefectura, las cuales tienen capacidad para asistir a los buzos, pero no para mover la pirámide de fondeo (Fig. 4). La maniobra completa era llevada hasta el punto de muestreo a bordo de uno de los buques mencionados, y se requirió el uso de la pluma o grúa de dichos barcos para descender la pirámide y las boyas o pesos muertos acompañantes. Para evitar golpes o daño del equipo ADCP, un buzo del GRUBU descendía con el equipo y lo instalaba en la pirámide después de fondeada la maniobra. Así también al momento de recuperar los equipos sumergidos, un buzo descendía a recuperarlo antes de que el guinche del barco levantara la maniobra completa.



**Figura 3.** Arriba izquierda: Maniobras de instalación de la pirámide, Arriba derecha: preparación del equipo ADCP, Abajo izquierda: Buzos preparándose para la colocación del equipo en el fondo, Abajo derecha: Maniobra de fondeo piramidal con boya pop-up y cadenas.



**Figura 4.** Buques utilizados para el despliegue de correntómetros ADCP. Arriba Izquierda: ROU 22 Oyarvide, Arriba derecha: ROU 26 Vanguardia, Abajo izquierda: ROU 21 Sirius. Abajo derecha: Lancha patrullera de Prefectura.

### Análisis de datos

Se calcularon los estadísticos básicos para altura, período y dirección de olas en los tres puntos de muestreo, de manera de conocer los parámetros básicos descartándose los datos erróneos. Procesada la información se efectuaron diferentes representaciones de los parámetros básicos, entre ellos:

- Gráficos de barra comparando los valores máximos y los valores promedio de altura y período de ola en cada punto muestreado
- Histogramas de frecuencias de altura y período de ola para los tres sitios con el total de datos recolectados.
- Gráficos de dispersión para cada punto de estudio del período de ola en relación a su altura, de manera de obtener la pendiente de las mismas para el total de datos recolectados.
- Histogramas circulares para los datos de dirección de ola en cada punto de muestreo.
- Graficas de Barras de altura y periodo de ola estacionalmente en cada punto muestreado
- Histogramas de frecuencia de altura y periodo estacionales por punto
- Histogramas Circulares de Dirección.

# CAPITULO III

## Resultados

En total se obtuvieron 2931 mediciones de olas entre el 2003 y el 2011 para Punta Brava, 2127 datos para Punta del Este y 880 datos para Rocha, no teniendo una continuidad completa en los datos debido a períodos en los cuales se realizó mantenimiento de los equipos o debido a problemas logísticos.

### Alturas de ola

A continuación se muestran las alturas promedio y las alturas máximas de olas del total de datos registrados para los tres puntos de la costa. Las alturas máximas corresponden generalmente a condiciones meteorológicas de temporal. Se observa que la altura de ola promedio y la máxima es mayor hacia el este del país, donde también aumenta la profundidad cerca de la costa (Fig. 5). Los histogramas de frecuencias mostraron distribuciones unimodales de los datos (con un solo pico de valores o “moda”), con la mayoría de datos alrededor de los valores promedio para cada lugar (Fig. 6).

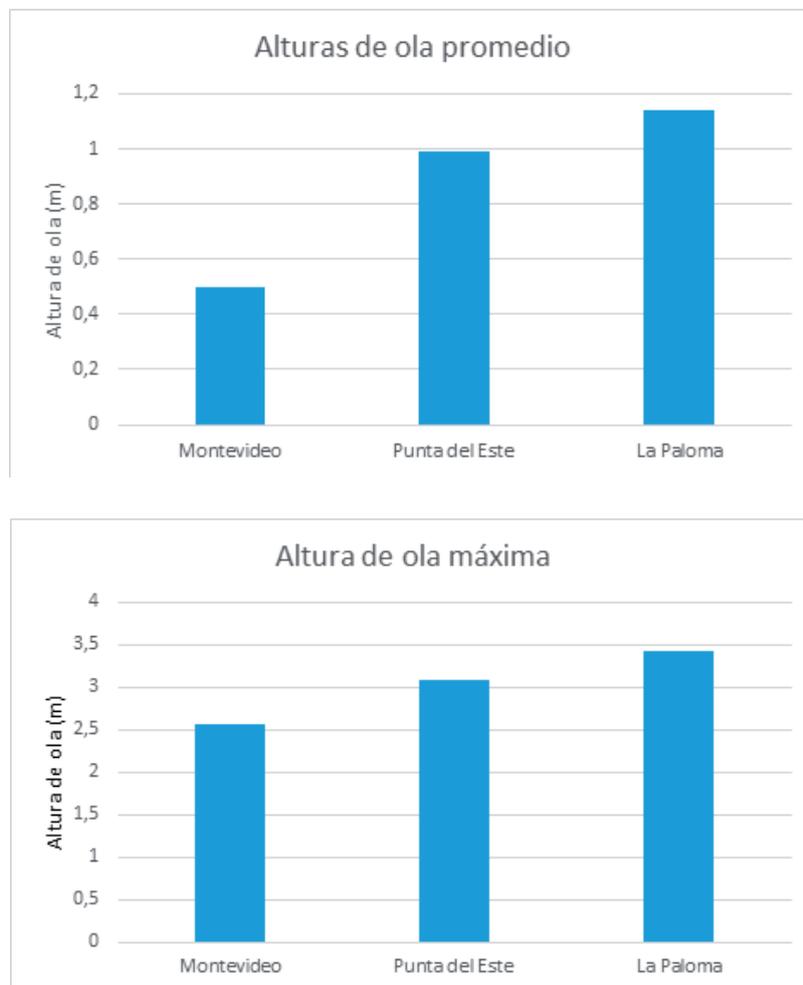


Figura 5. Alturas de ola promedio y máximas registradas para los tres puntos de muestreo estudiados.

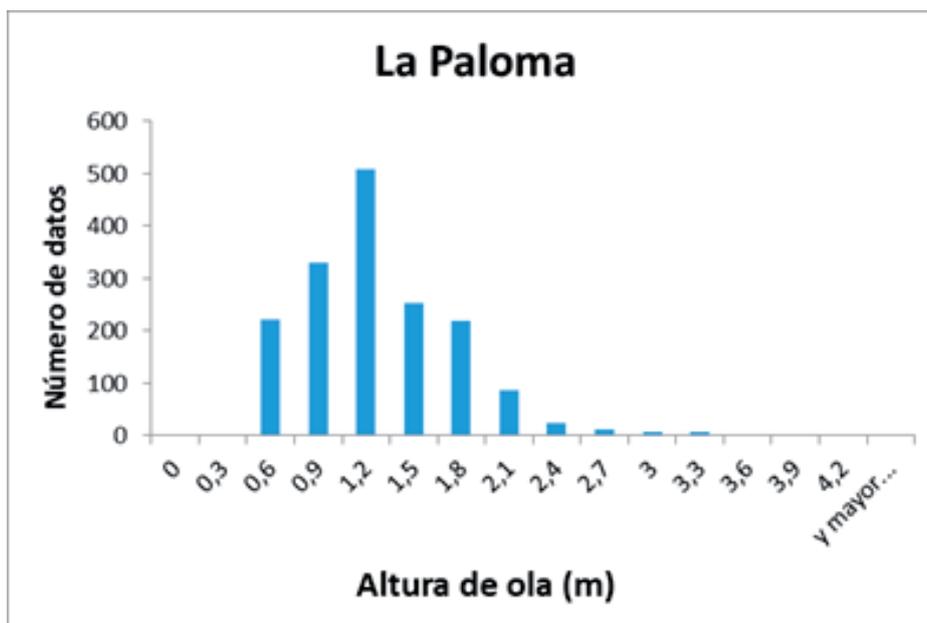
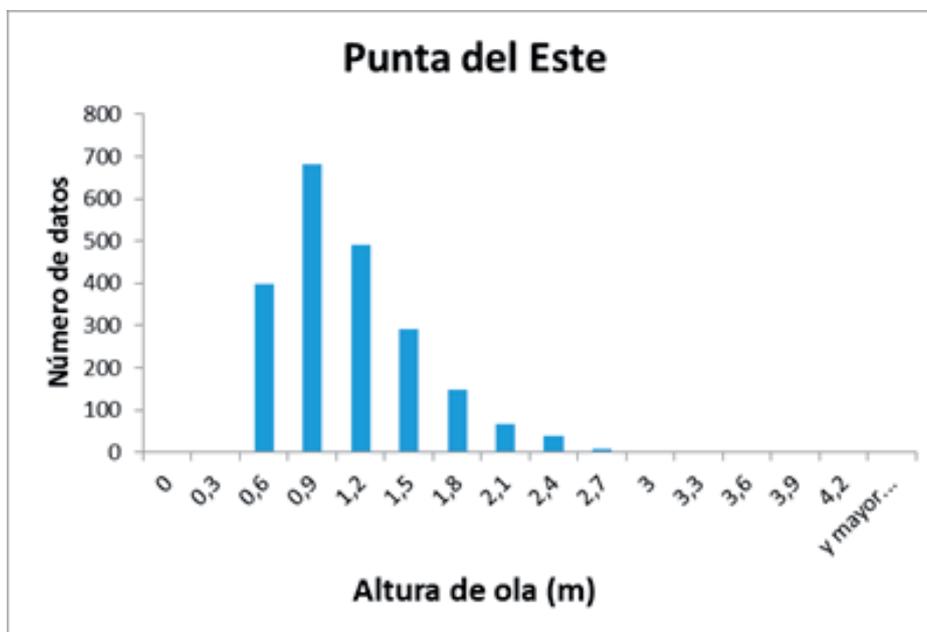


Figura 6. Histogramas de alturas de ola más frecuentes en cada punto muestreado.

## Períodos de ola

En los siguientes gráficos se observan los períodos promedio y máximos registrados para los tres puntos de muestreo. Los períodos promedio son mayores hacia el este del país, mientras que los máximos se registraron en Montevideo, con valores de hasta 25 segundos, mientras que para Punta del Este y El Palenque son menores y similares entre sí (alrededor de 18 segundos) (Fig. 7). Los histogramas de frecuencias mostraron la mayoría de datos alrededor de los valores promedio para cada lugar, y en el caso de Montevideo, la mayoría de datos caen en los intervalos más bajos de todo el rango observado (Fig. 8).

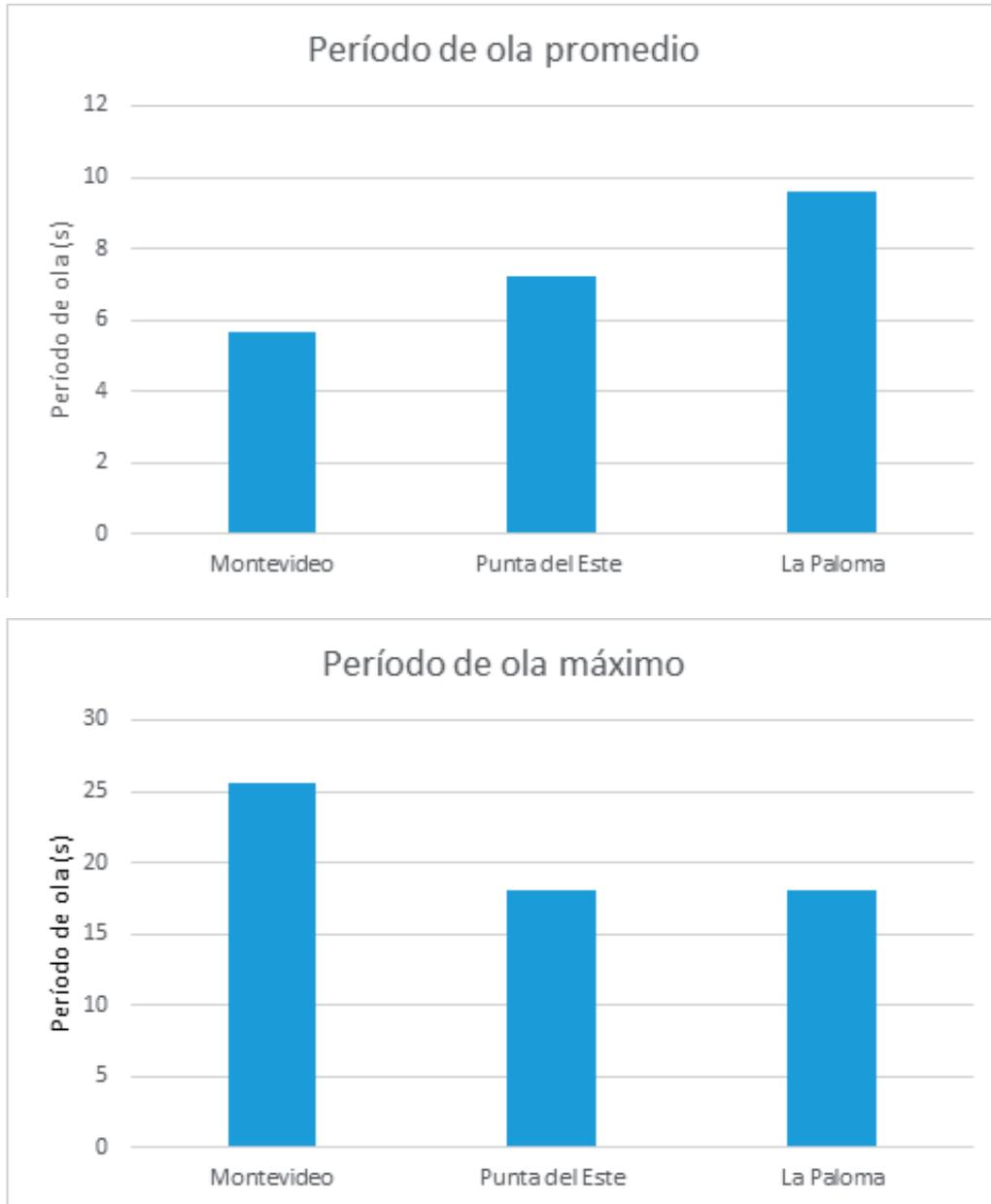


Figura 7. Períodos promedio y máximo de olas observados en los tres puntos muestreados.

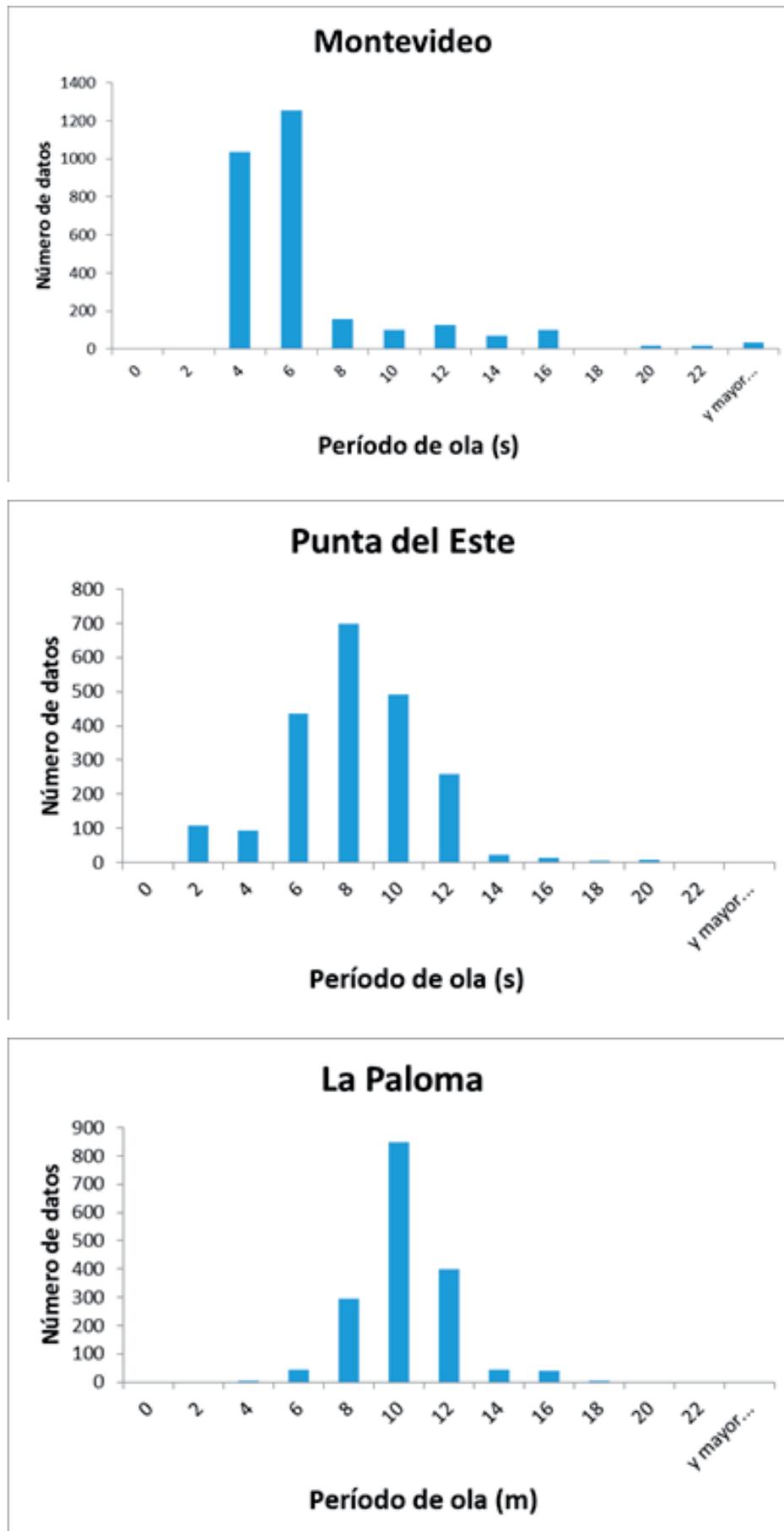


Figura 8. Histogramas de períodos de ola más frecuentes en cada punto muestreado

## Pendiente de olas

Los gráficos a continuación muestran la altura de ola en relación con su período para todos los datos obtenidos durante el estudio, en cada uno de los tres puntos de la costa estudiados. Esta relación nos indica que tan pronunciada es la pendiente de las olas y que tan cerca están de volverse inestables y romper. Los valores de período más altos, encontrados en Montevideo correspondieron a olas de tamaños pequeños (entre 0.2 y 0.5 metros) (Fig. 9).

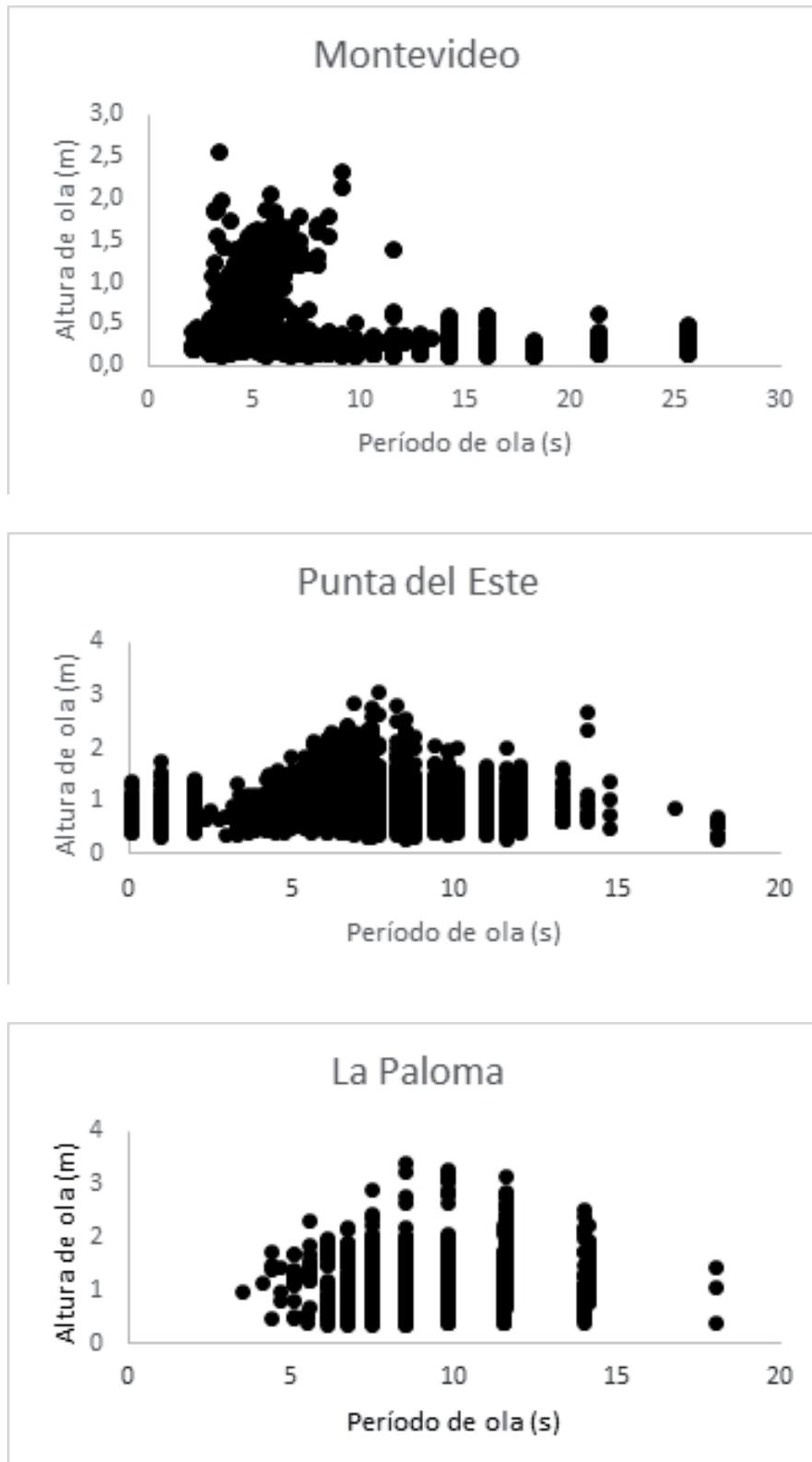


Figura 9. Pendiente de ola para el total de datos recolectados en los tres puntos estudiados.

## Dirección de olas

Se muestran a continuación gráficos circulares donde las áreas celestes indican las direcciones de las que llegan las olas más frecuentemente. El número que aparece asociado a cada área indica la cantidad de datos que presentaron direcciones de ese cuadrante. Acorde a la orientación de la costa de Uruguay, para los tres puntos estudiados la mayoría de las olas provienen del sector SE (Fig. 10).

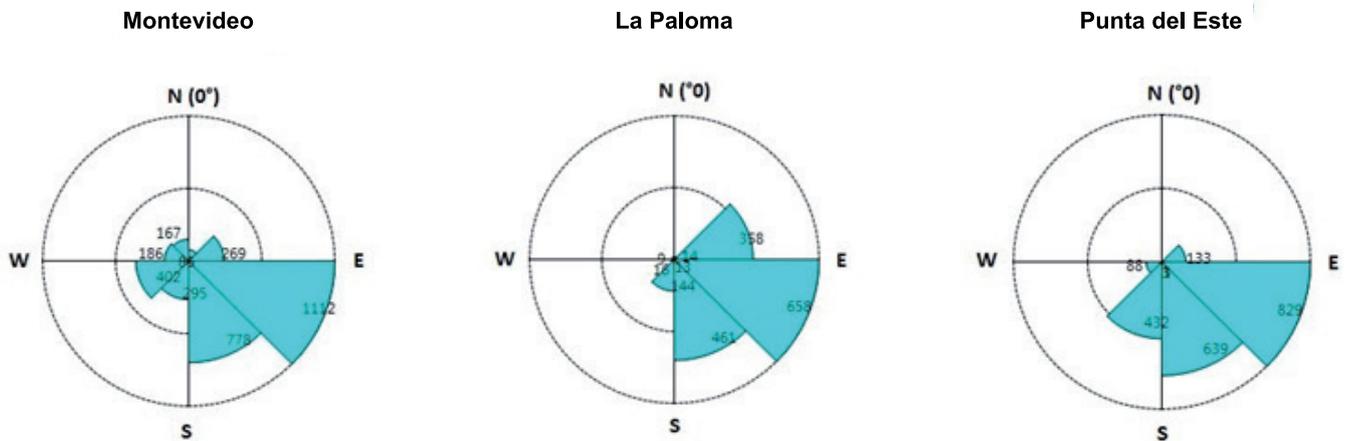


Figura 10. Histogramas circulares de direcciones de ola para los tres puntos de estudio.

## Análisis estacional

Se muestran a continuación los análisis de altura, período y dirección de olas para cada estación del año en cada punto de muestreo, de manera de observar las variaciones entre diferentes períodos del año.

### Montevideo

Las alturas promedio presentaron poca variación entre estaciones del año, siendo la mayor en primavera (0.55 m) y la menor en otoño (0.47 m) (Fig. 11). Los histogramas realizados para cada estación muestran una distribución unimodal con la mayoría de valores alrededor del promedio, y el rango de valores más amplio se dio para la primavera (fig. 12).

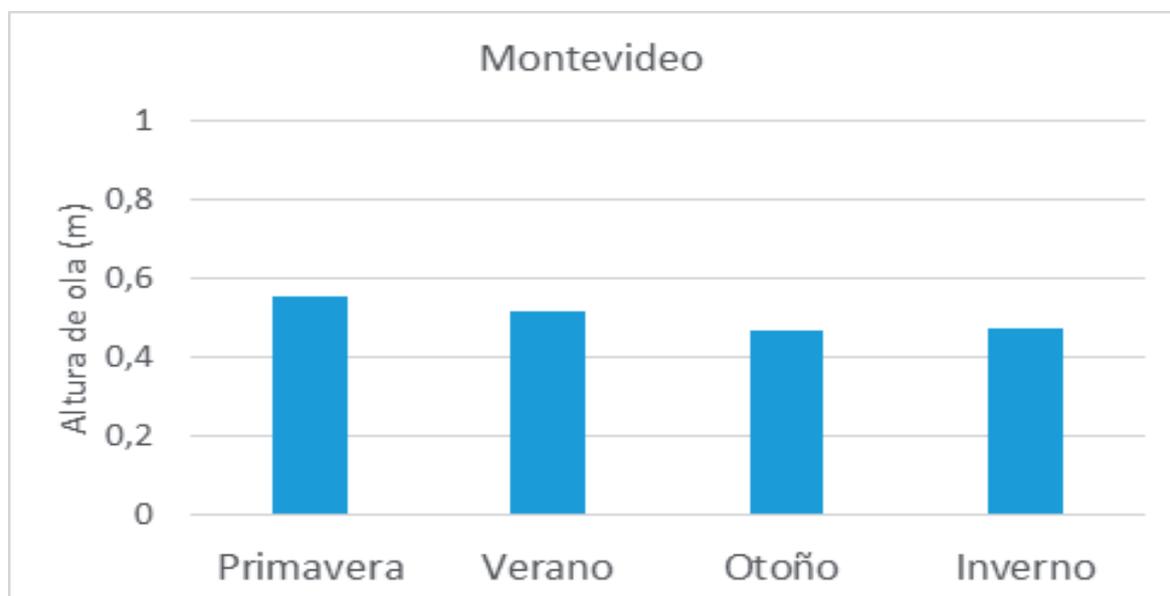


Figura 11. Alturas de ola promedio para cada estación del año en Montevideo.

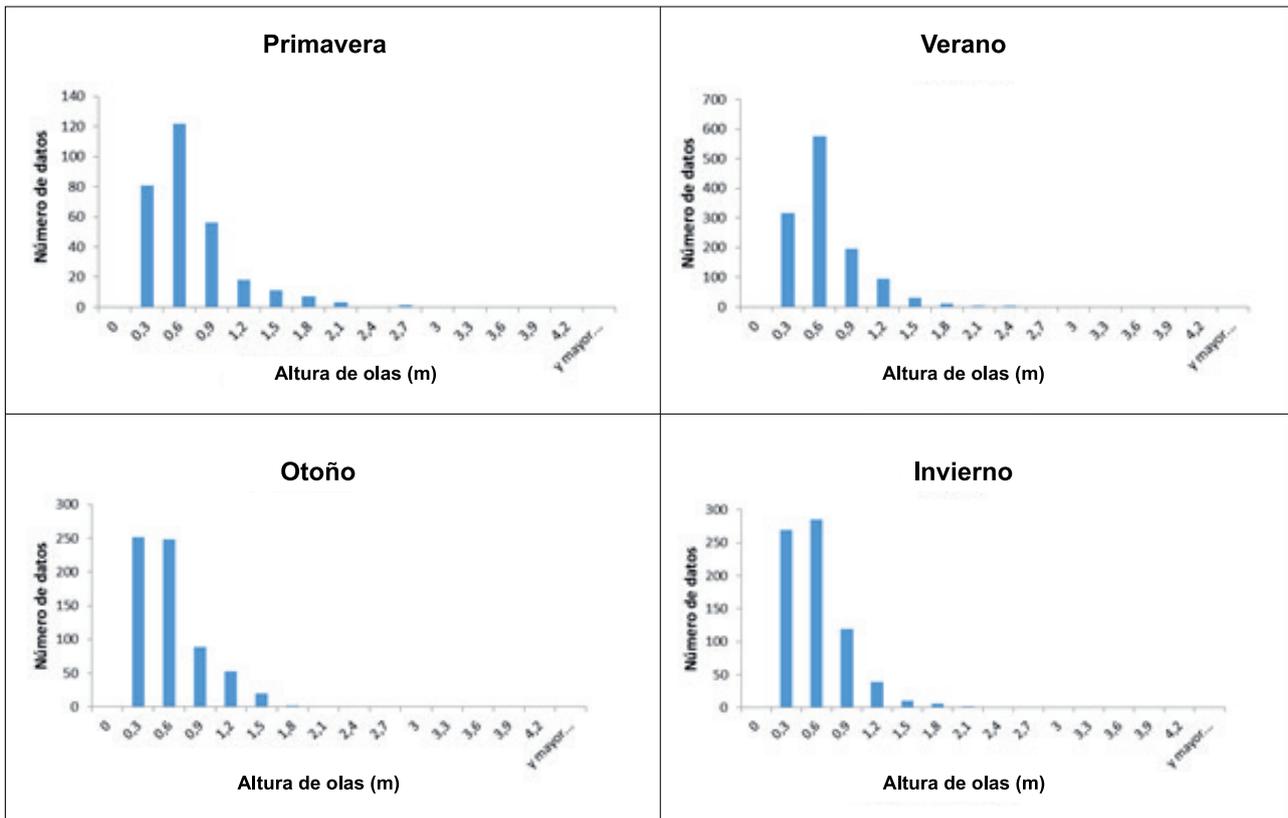


Figura 12. Histogramas de frecuencia de altura de ola para cada estación del año en Montevideo.

El período promedio de ola fue también mayor en primavera (6.8 s) y el menor se registró en verano (5.3 s) (Fig. 13). Los histogramas mostraron la mayor parte de valores en torno al promedio y pocos valores en el resto de categorías para las cuatro estaciones (fig. 14).

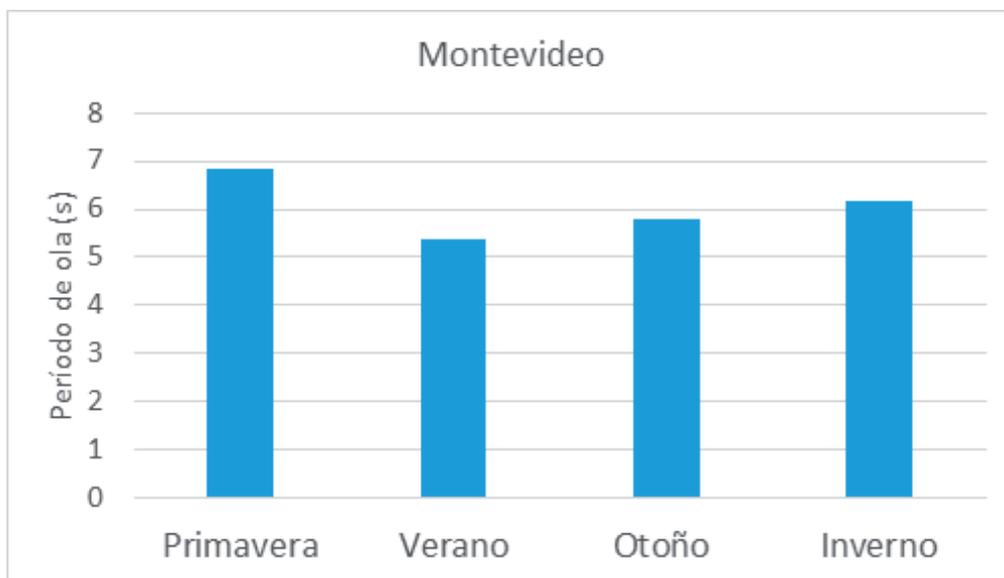


Figura 13. Períodos de ola promedio para cada estación del año en Montevideo.

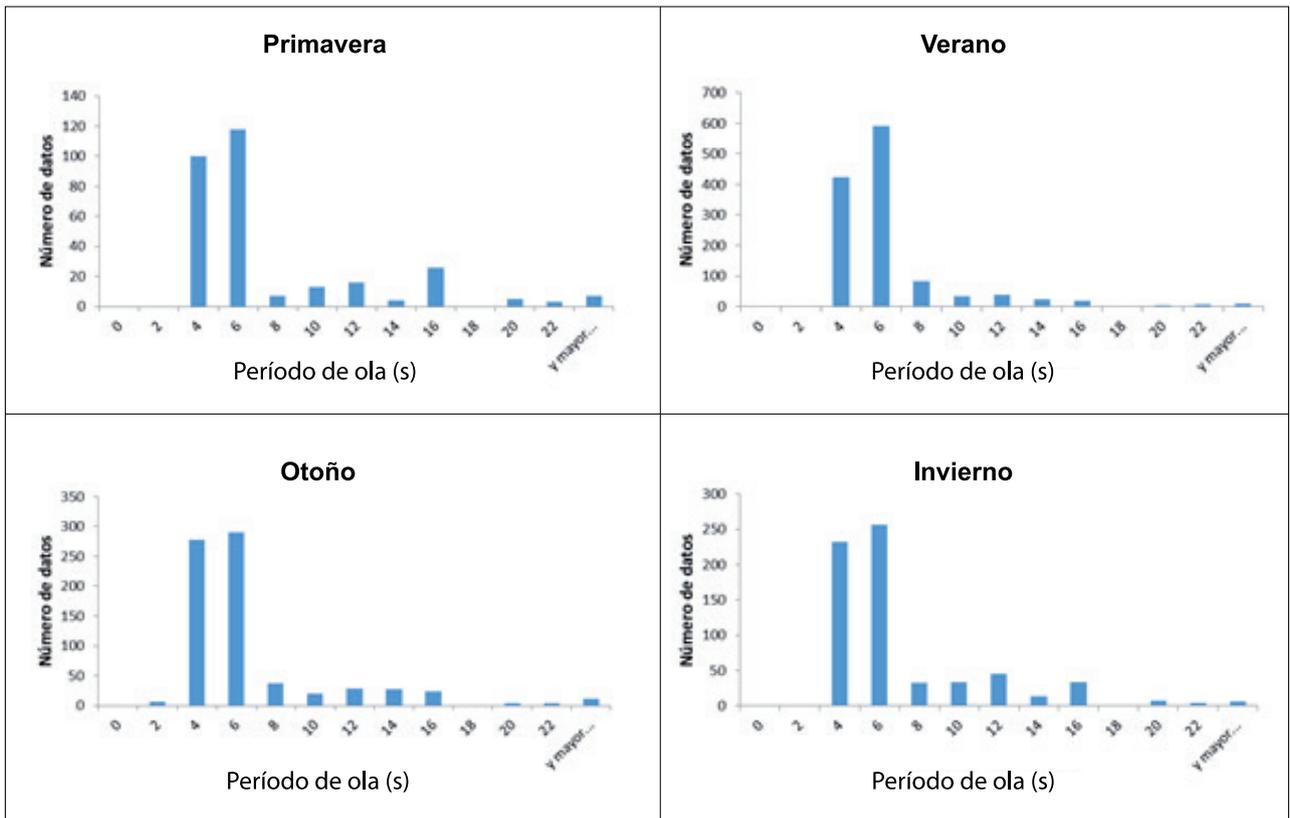


Figura 14. Histogramas de frecuencia de período de ola para cada estación del año en Montevideo.

Los histogramas de frecuencia de dirección de ola para cada estación del año mostraron que en primavera y verano, predominan marcadamente las olas de dirección entre S y E, mientras que para otoño también aparecen con frecuencia olas desde el SW, y en invierno siguen siendo predominantes las olas del SE y SW, pero también se registraron olas con direcciones del W, N y E (Fig. 15).

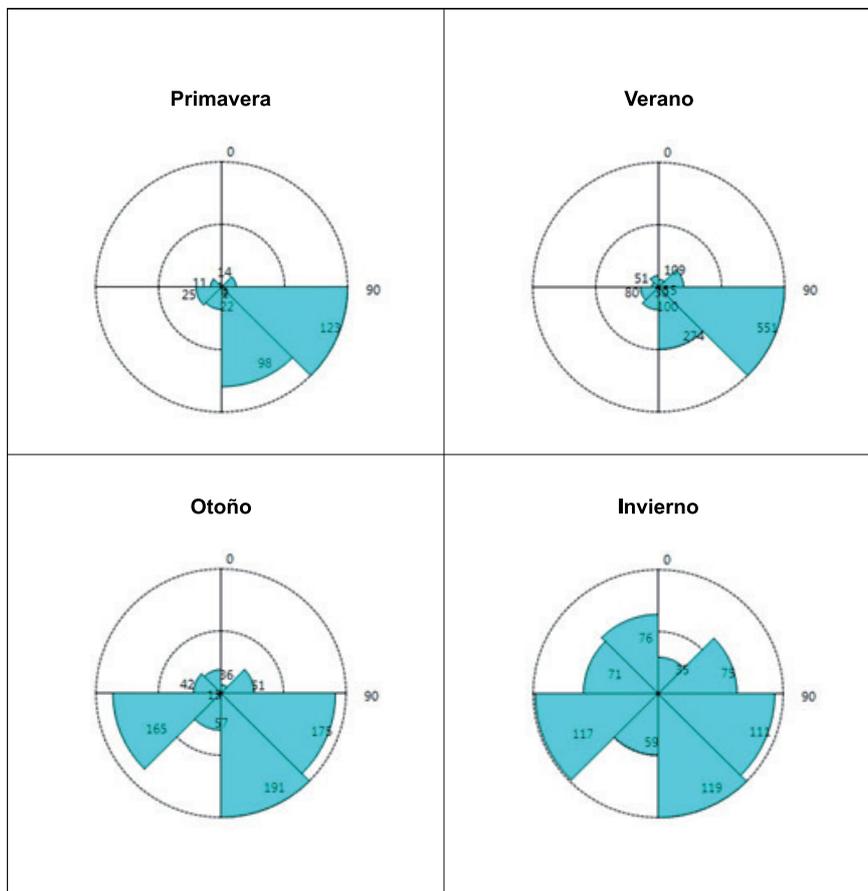


Figura 15. Frecuencias de dirección de ola para cada estación del año en Montevideo.

### Punta del Este

Las alturas de ola promedio en Punta del Este fueron mayores para invierno (1.2 m) y tuvieron valores similares en las otras estaciones del año, siendo las menores en verano (0.9 m) (Fig. 16). Los histogramas mostraron distribuciones unimodales excepto en invierno, donde se observan dos intervalos separados con la mayor frecuencia de datos (de 0.3 a 0.6 m y de 0.9 a 1.2 m) (fig. 17).

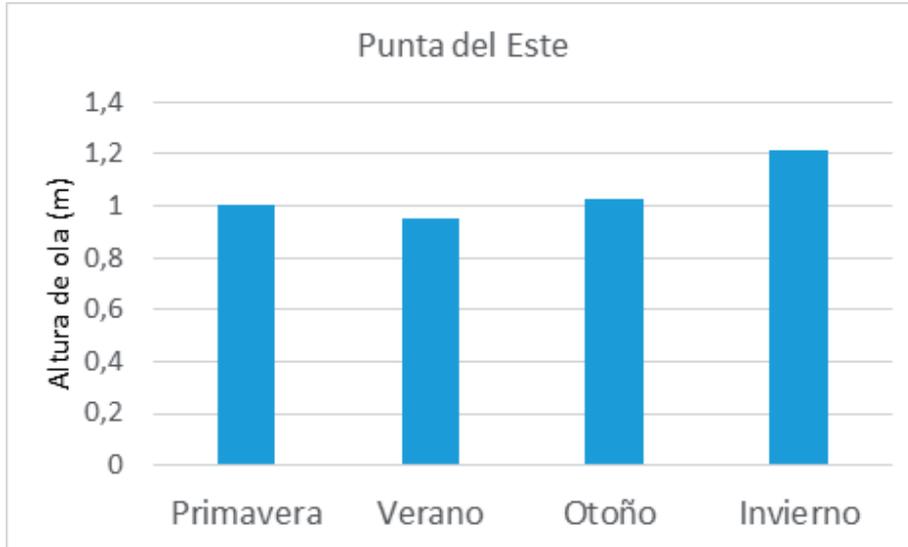


Figura 16. Alturas de ola promedio para cada estación del año en Punta del Este.

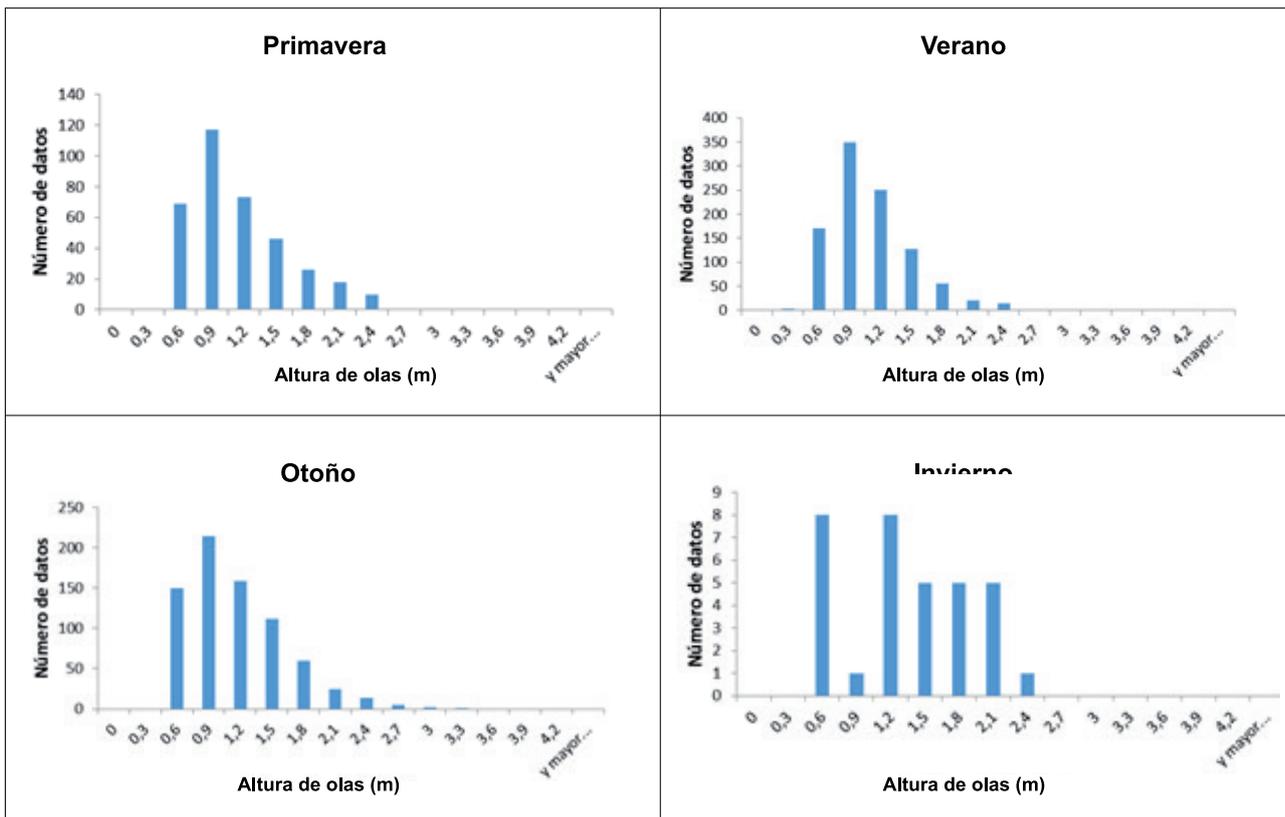


Figura 17. Histogramas de frecuencia de altura de ola para cada estación del año en Punta del Este.

Los períodos de ola fueron mayores en primavera (7.6 s), con valores similares en invierno (7.5 s) y verano (7.4 s), mientras que los menores se dieron en otoño (6.7 s) (Fig. 18). Los histogramas por estación mostraron el mismo patrón unimodal que Montevideo, apareciendo solo en otoño un segundo pico de frecuencia de datos para el intervalo de 2 a 4 s (Fig. 19).

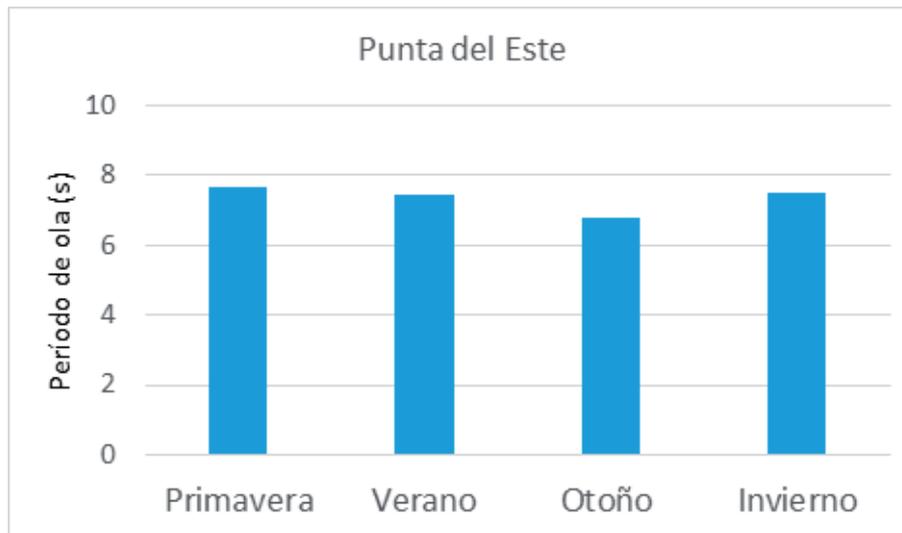


Figura 18. Períodos de ola promedio para cada estación del año en Punta del Este.

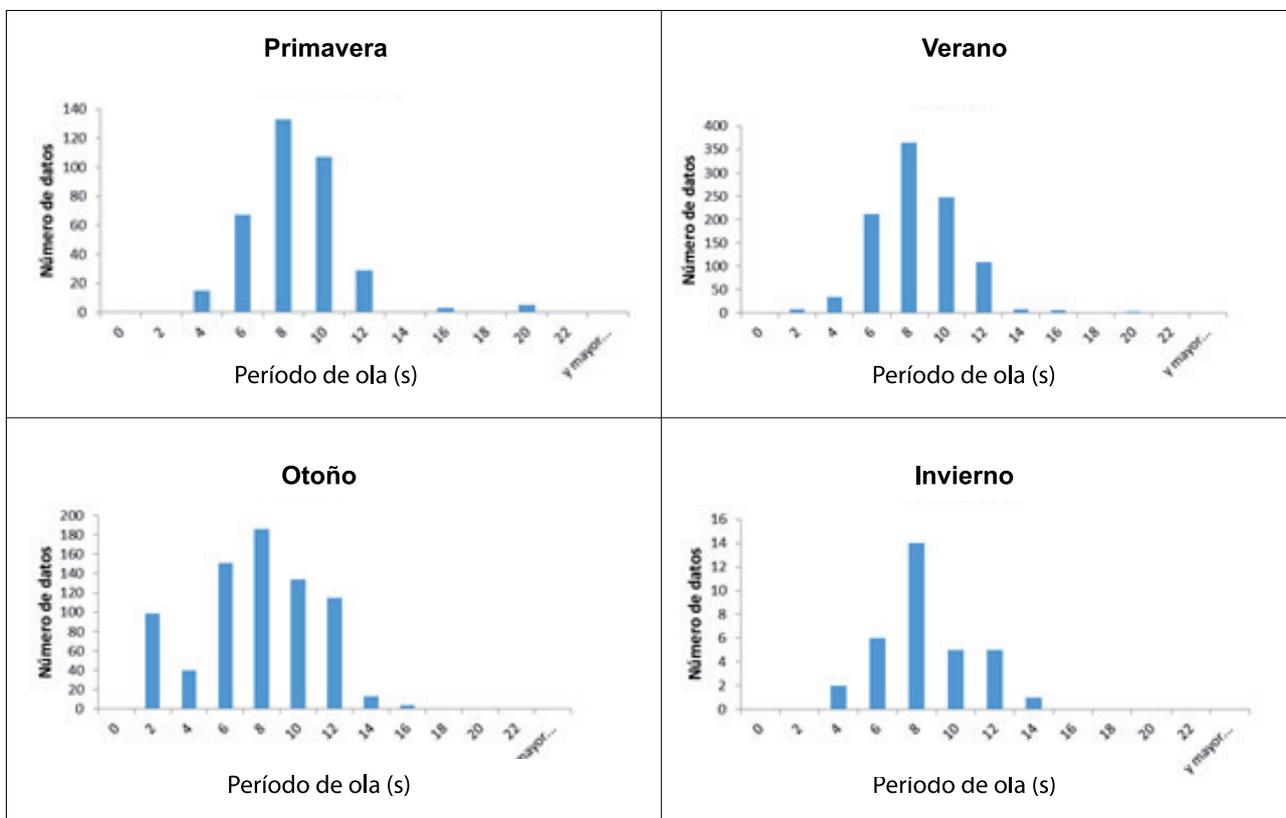


Figura 19. Histogramas de frecuencia de período de ola para cada estación del año en Punta del Este.

Las direcciones de ola en Punta del Este fueron mayoritariamente del S al E durante las cuatro estaciones, siendo más frecuentes del SE durante primavera y verano, y más frecuentes del S y SW en otoño e invierno (Fig. 20).

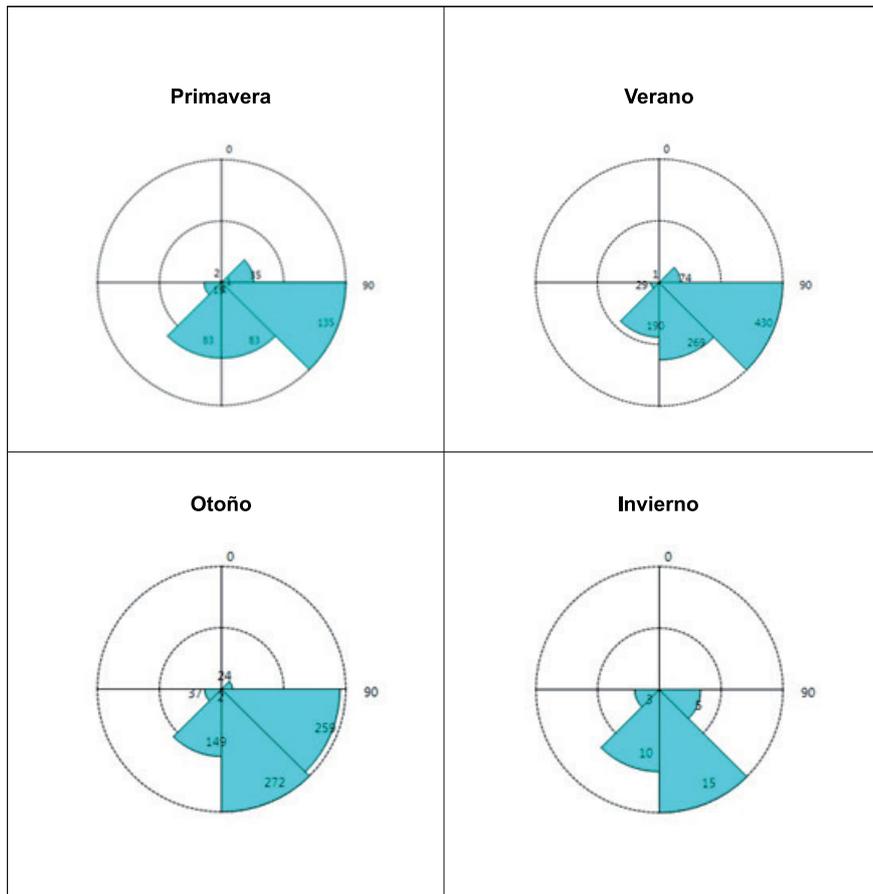


Figura 20. Frecuencias de dirección de ola para cada estación del año en Punta del Este.

### La Paloma

Las alturas de ola promedio en La Paloma fueron mayores en Invierno (1.4 m) seguidas por las de primavera (1.4 m), mientras que para otoño (0.9 m) y verano (0.76 m) fueron menores (Fig. 21). Los histogramas mostraron para todas las estaciones distribuciones unimodales, con el rango de datos más amplio para invierno (Fig. 22).

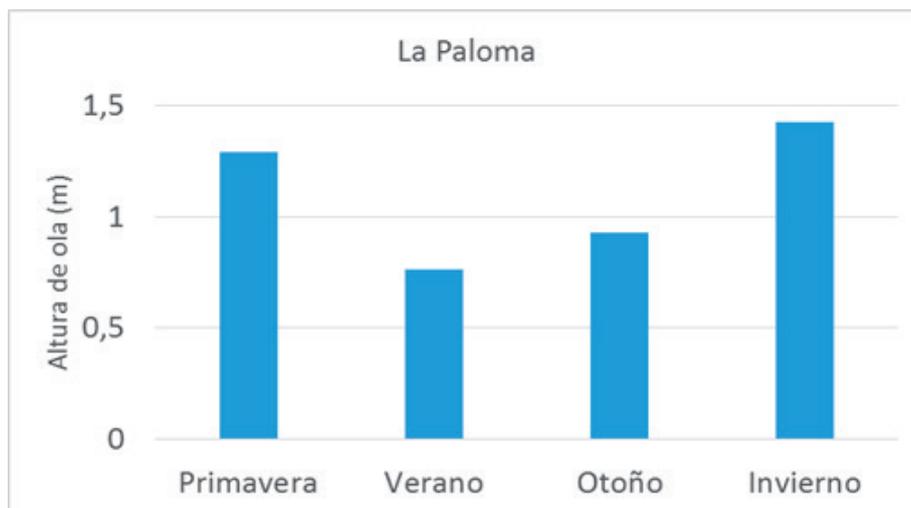


Figura 21. Alturas de ola promedio para cada estación del año en La Paloma.

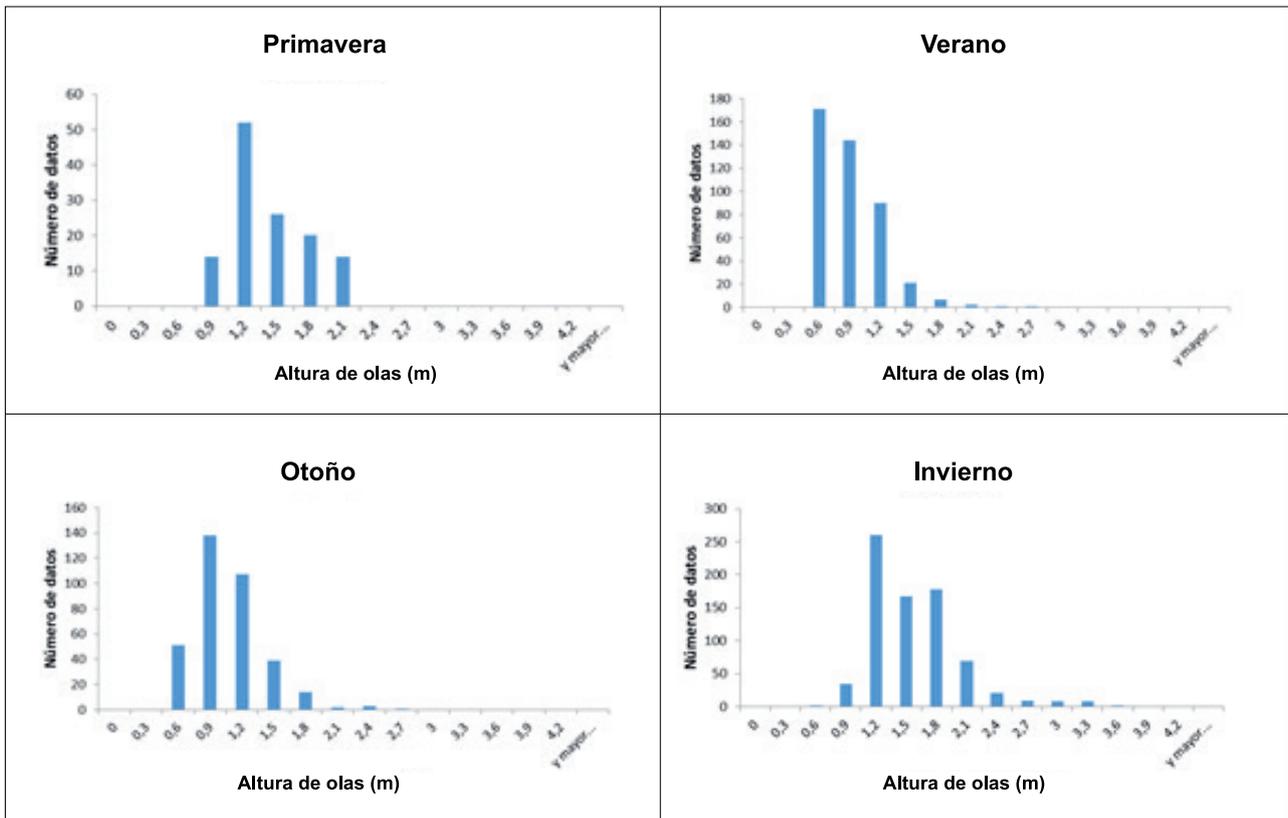


Figura 22. Histogramas de frecuencia de altura de ola para cada estación del año en La Paloma.

Los períodos de ola promedio en La Paloma fueron mayores para otoño (10.3 s) y los menores se presentaron en primavera (8.3 s). Verano e Invierno presentaron valores similares (9.4 s y 9.5 s respectivamente) (Fig. 23). Los histogramas mostraron distribuciones unimodales en las cuatro estaciones (Fig. 24).

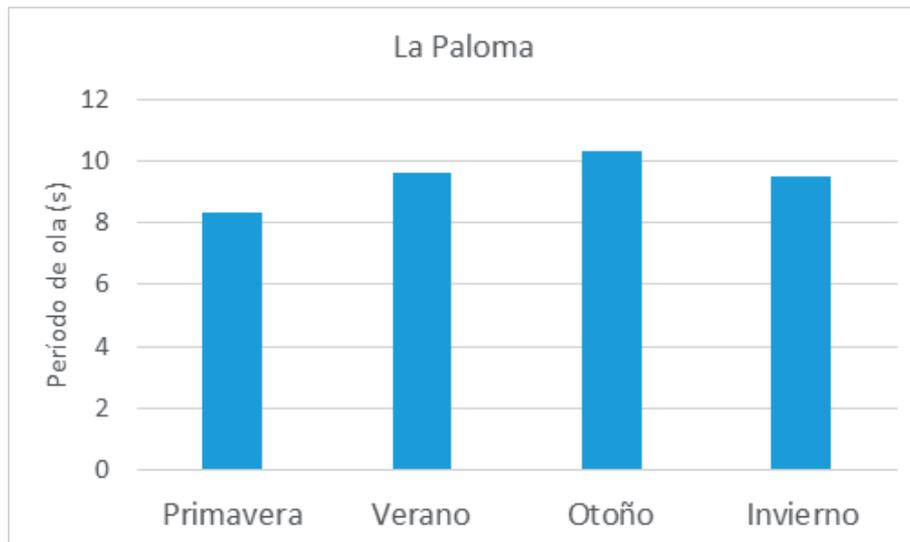


Figura 23. Períodos de ola promedio para cada estación del año en La Paloma.

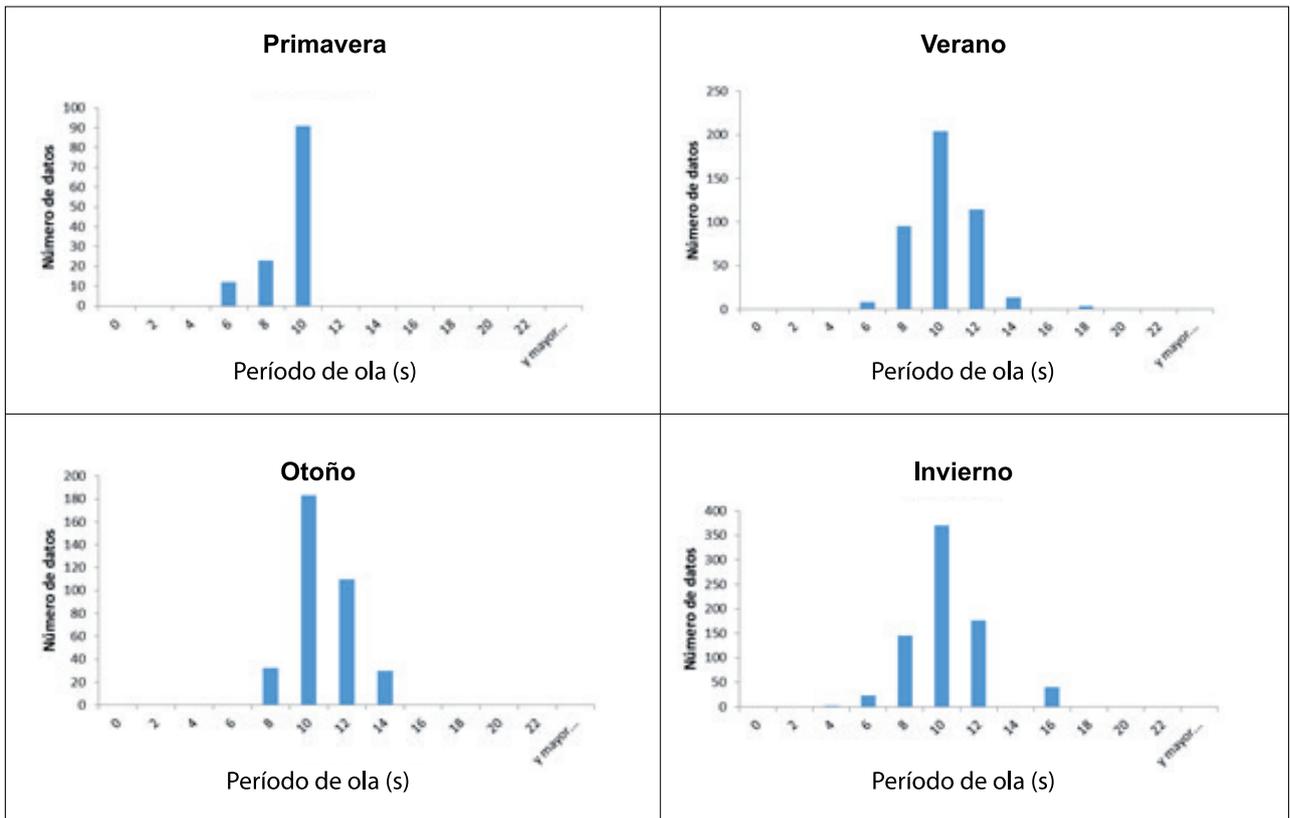


Figura 24. Histogramas de frecuencia de período de ola para cada estación del año en La Paloma.

Las direcciones de ola más frecuentes durante todo el año fueron entorno al E, apareciendo más cercanas al S- SE durante verano y otoño (Fig. 25).

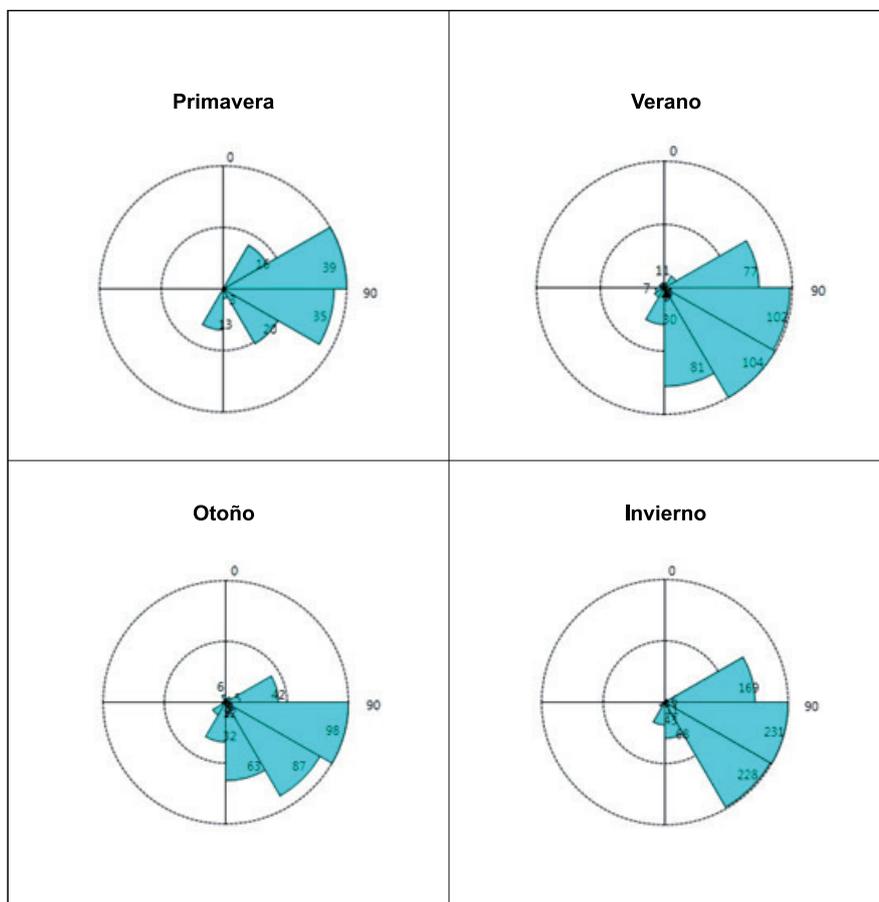


Figura 25. Frecuencias de dirección de ola para cada estación del año en La Paloma.

# CAPITULO IV

## Conclusiones

Con los datos recolectados se pudo realizar una caracterización inicial del oleaje en tres puntos de gran importancia socio-económica de la costa de Uruguay. Tanto la altura como el período de olas promedio aumentan hacia el este del país, registrando los mayores valores para Rocha, donde predominan las olas de alturas mayores a un metro, y con períodos de más de 8 segundos, correspondientes a mar de fondo (swell).

Las alturas de olas máximas siguieron la misma tendencia que las alturas promedio, siendo mayores hacia el este del país, mientras que los períodos máximos de ola registrados correspondieron a Montevideo, siendo menores en Punta del Este y Rocha con valores similares entre ambos.

Los valores máximos de período de ola registrados en Montevideo correspondieron a olas de pequeña altura (0.2 a 0.5 metros de altura).

Acorde a la dirección de la costa, la dirección predominante de las olas es del cuadrante SE, siendo menos evidente esto para los datos obtenidos en Punta Brava, probablemente debido a la posición del equipo hacia el S de la línea de costa.

El análisis por estaciones del año mostró que en La Paloma es donde ocurre una variación más notoria de alturas de ola entre ellas.

Esta primera caracterización del oleaje sirve para conocer las variaciones entre puntos de la costa y entre estaciones del año, siendo de utilidad para usuarios de nuestras aguas, investigadores y tomadores de decisiones. A futuro la continuidad de trabajos en estas y otras áreas de nuestra costa permitirá ampliar y dar mayor robustez a los resultados presentados en esta primera edición.

## BIBLIOGRAFIA

- Administración Nacional de Puertos. 2019.  
Página web: <http://www.anp.com.uy/inicio/institucional/cifras/montevideo/estadisticas>
- Bellón, D. Piedra Cueva, I. 2009. Estimating suspended solids concentrations from Acoustic Doppler Current Profiles measurements on the coast of Montevideo, Uruguay. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics RCEM 2009, Vionnet et al. (eds), 1045-1050.
- Fosatti, M. Bellón, D. Lorenzo, E. Piedra-Cueva, I. 2007. Currents measurements in the coast of Montevideo, Uruguay. Publicaciones online del Instituto de Mecánica de Fluidos (IMFIA), Facultad de Ingeniería (UdelaR).
- Hammer. 2001. Past, Statistical program.
- Mazzetta, G., V. Gascue, F., J. 1995. Estudio comparativo del comportamiento de la salinidad, la temperatura y el nivel medio del mar en las costas de Montevideo y La Paloma. Atlântica 17:5-16.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. 2019.  
Página web: <http://www.mtop.gub.uy/hidrografia/estadisticas>
- Piedra-Cueva, I. 2006. Gestión en la zona costera de Rocha: Playa la Balconada. Publicaciones online del Instituto de Mecánica de Fluidos (IMFIA), Facultad de Ingeniería (UdelaR).
- Simionato, C., Moreira, D., Piedra-Cueva, I., Fosatti, M., Guerrero, R., De Los Campos, T., & Repecaud, M. 2011. Proyecto FREPLATA-FFEM Modelado numérico y mediciones in-situ y remotas de las transferencias de sedimentos finos a través del Río de la Plata Parte a: Adquisición de datos. Frente Marítimo, 22, 237.