



**Presentación de memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico.**

**Tema:**

# **Caracterización de las marejadas del verano 2015-16 y su relación con fenómeno “El Niño”**

**Expone:**

**Diego Ignacio Becerra Godoy**

**Revisores:**

Dra. Catalina Aguirre

Dr. Aldo Montecinos

Comandante Luis Vidal

Valparaíso, 8 de enero 2018



# Crece potencial destructivo Cierran principales puertos y balnearios del país por fuertes marejadas

por EFE | 8 febrero, 2016



Fuente: [www.diariodelaconstrucción.cl](http://www.diariodelaconstrucción.cl)

Inte

L

n

26/  
reg  
mel

G

en la  
inco

protección en la costa por marejad

# Objetivos

## General:

- Caracterizar las marejadas del verano 2015-16 y determinar su relación con el fenómeno El Niño

## Específicos:

- Comparar datos observados *in situ* con datos de simulaciones numéricas de oleaje.
- Determinar la influencia del fenómeno El Niño en las marejadas de dirección NW del verano en Chile.
- Estimar como la posición de la generación de la tormenta afecta en la magnitud de las marejadas en Chile.

- Vinculación de ciclones extratropicales con ENOS (Eichler and Gottschalck 2013, Eichler and Higgins 2005)
- Vinculación del oleaje con ENOS (Gulev and Grigorieva 2004, Izaguirre et al. 2011, Kumar et al. 2016)
- Condiciones geográficas de Chile (Generación y exposición del NW).

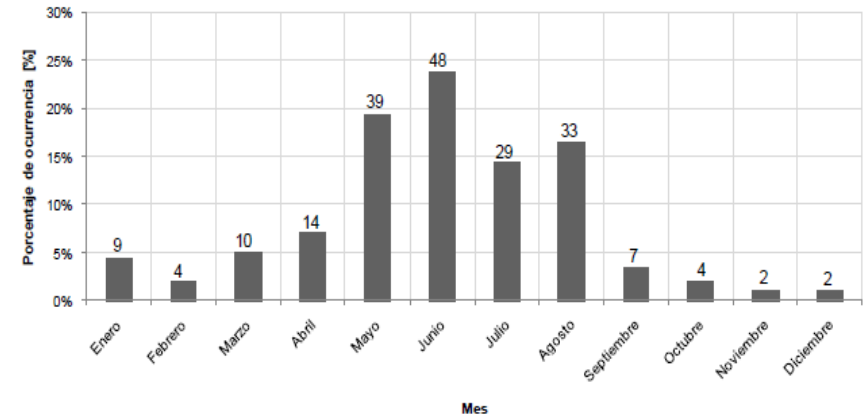
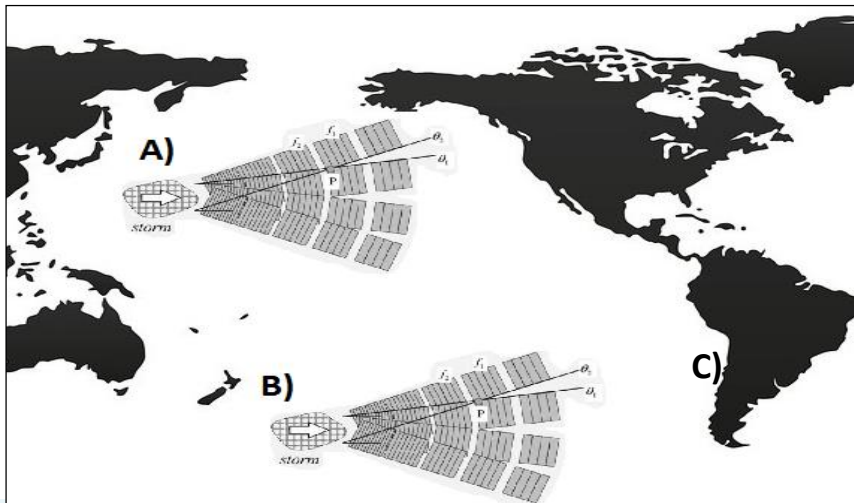


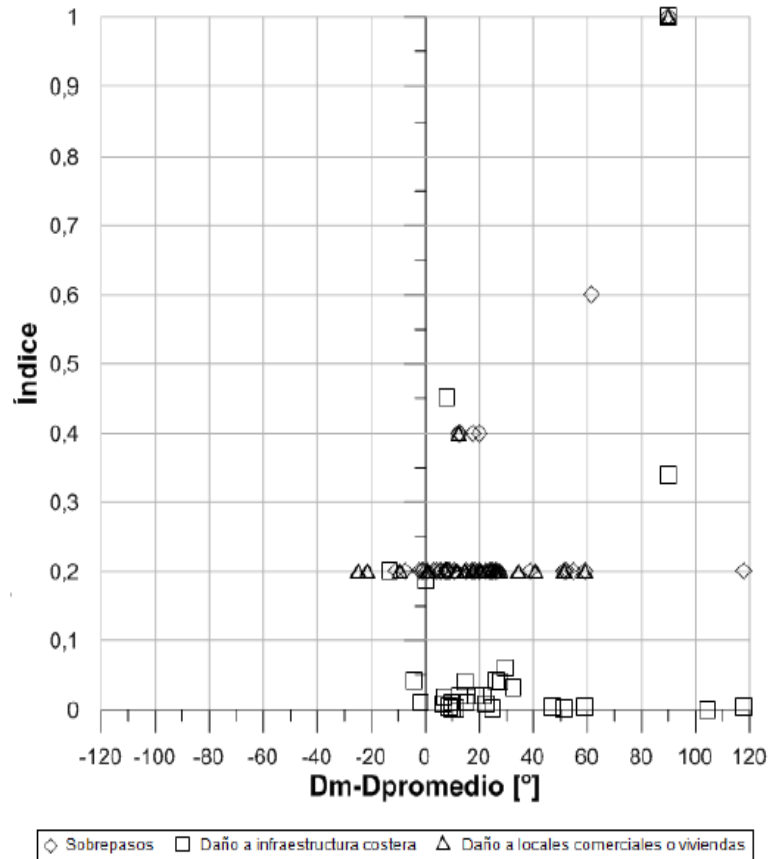
Figura 6-2: Distribución mensual total eventos de marejadas que produjeron daños, 1823-2015. Valores sobre las barras indican la cantidad de eventos identificados para cada mes (Fuente: Adaptado de Campos et al., 2015).

Fuente: R. Campos, 2016



Fuente: Adaptado de Holthuijen 2007

- ✓ Mayor frecuencia de daños en invierno austral (total= 110 casos).
- ✓ Menor frecuencia de daños en verano austral (total= 15 casos).



- ✓ Gran parte de los daños se ubican para valores superiores a 0 en la relación  $D_m/D_{promedio}$ , lo cual indica que gran parte de los daños se producen para condiciones de oleaje con valores más cercanos al Norte.
- ✓ La influencia de la dirección del oleaje sobre los daños y/o impactos de las marejadas se debe que las obras marítimas se diseñan para niveles energéticos asociados a la dirección más frecuente (SW) y no para direcciones de olas provenientes del NW.

**Figura 6-24:** Relación  $D_m/D_{promedio}$  para marejadas con los tipos e índices normalizados de daños (Fuente: Adaptado de Campos **et al.**, 2015).

Fuente: R. Campos, 2016

# METODOLOGÍA

## FUENTES DE INFORMACIÓN:

- Boya Watchkeeper 2010 Y 2015-16.
- **SIPROL**® (Octubre 2015 a abril 2016)
- CAWRC CSIRO (1979-2010)
- Sistema de pronóstico del clima (**CFS**)
- Reanálisis del Sistema de Pronóstico del Clima(**CFSR**)

Nodos rojos: **SIPROL**®

Nodos amarillos: CAWRC CSIRO

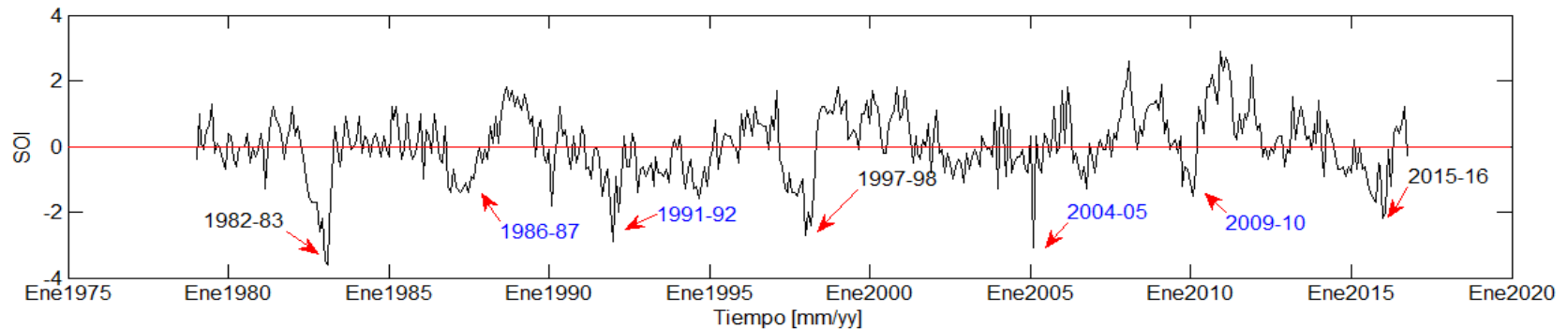


## ANÁLISIS DE CORRELACIÓN:

$$\text{Anomalía} = X - \bar{X}$$

Donde  $X$  corresponde al promedio mensual y  $\bar{X}$  a la climatología

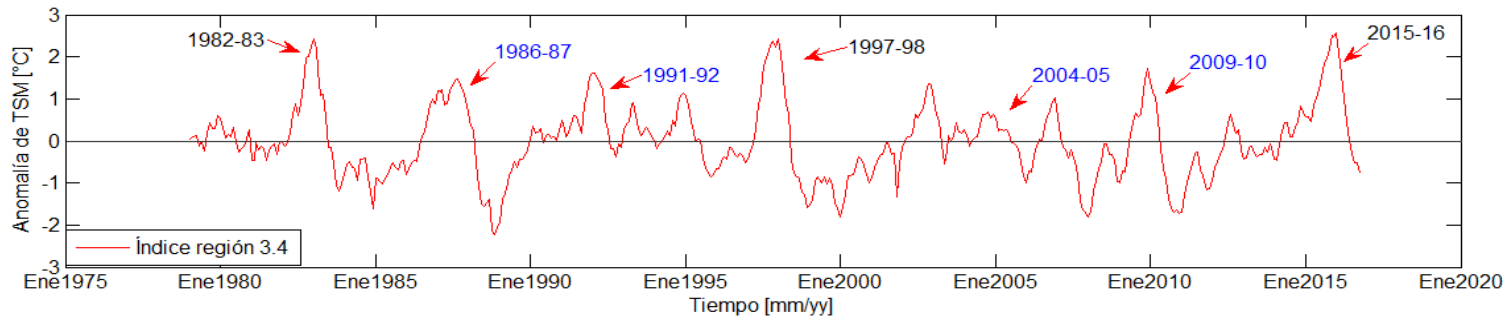
- Índice de Oscilación del Sur (SOI)
- Presión atmosférica superficial
- Velocidad de viento superficial
- Altura de ola significativa



**SOI se calcula como la diferencia entre las anomalías de presión atmosféricas a nivel del mar entre Tahiti y Darwin.**

**SOI (mensual) indica presencia El Niño con valores negativos.**

- ANÁLISIS DE COMPUESTOS:**
- Clasificación del fenómeno El Niño, considerando anomalías TSM [ $^{\circ}\text{C}$ ] de región 3.4:
    - El Niño Débil  $0.5^{\circ} < \text{Débil} < 1^{\circ}$
    - El Niño Moderado  $1^{\circ} < \text{Moderado} < 1.5^{\circ}$
    - El Niño Fuerte  $1.5^{\circ} < \text{Fuerte} < 2^{\circ}$
    - El Niño Extremo  $2^{\circ} < \text{Extremo}$ .

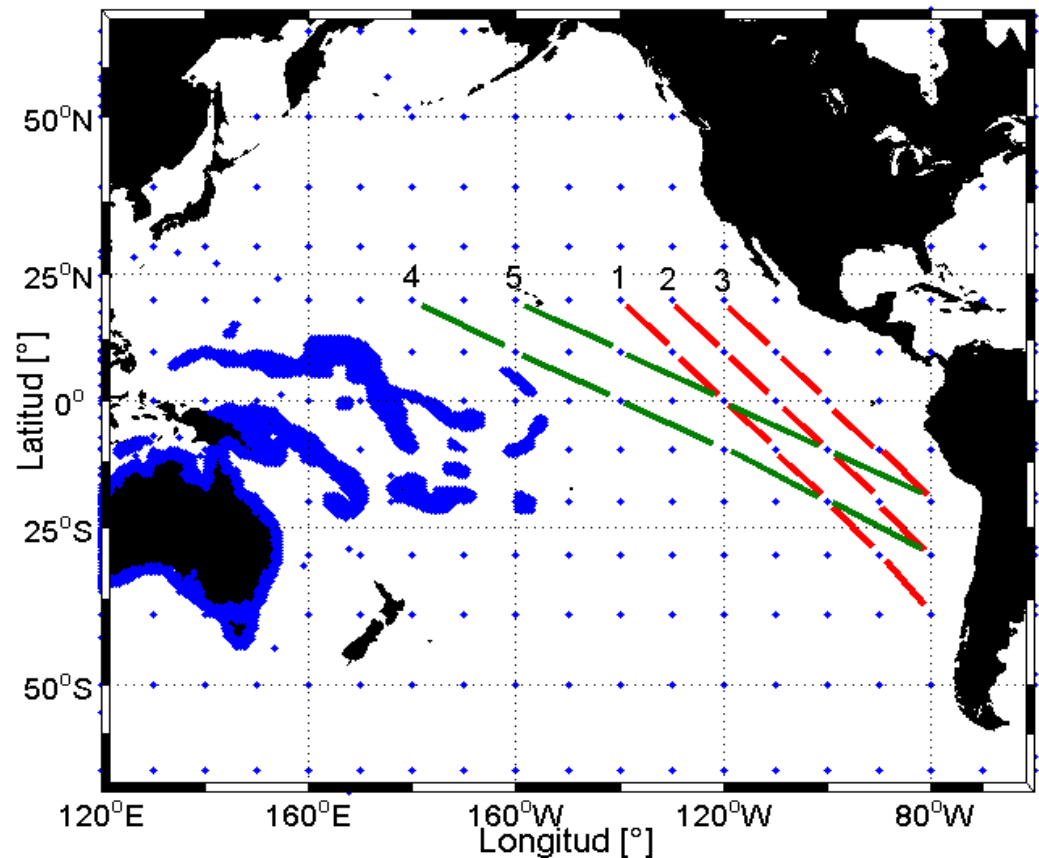
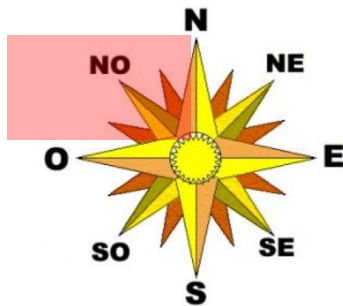


- Se seleccionaron tres eventos El Niño Extremo, **1982-83, 1997-98 y 2015-16.**
- Cálculo de anomalías de **SIPROL®** a través de climatología de CWRC CSIRO.



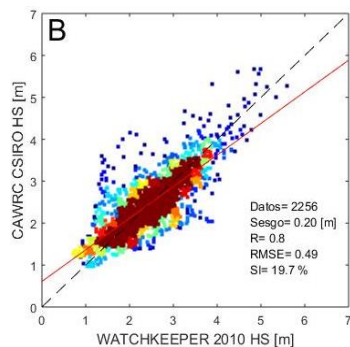
## ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE ENERGÍA

- Boyas virtuales CAWRC CSIRO.
- Energía del cuarto cuadrante ( $270^\circ$  a  $360^\circ$ ) para todas las frecuencias.
- Diagrama Hovmoller (Distancia v/s tiempo)

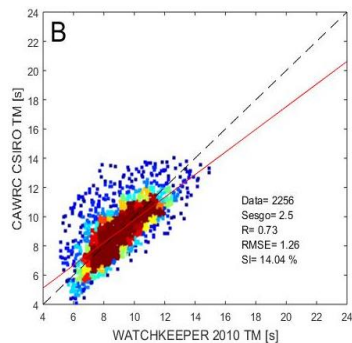


## VALIDACIÓN CAWRC CSIRO CON BOYA WATCHKEEPER 2010:

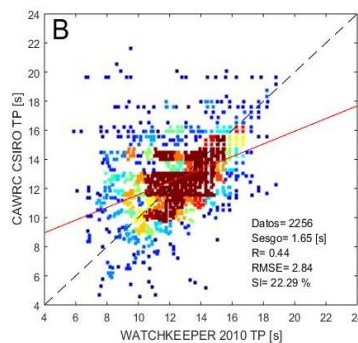
Altura de ola



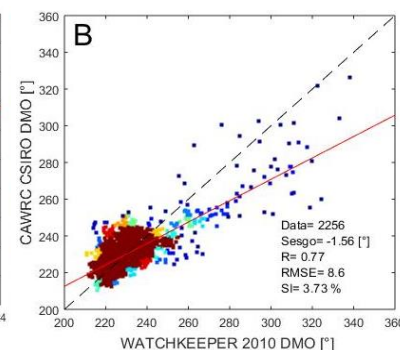
Periodo media



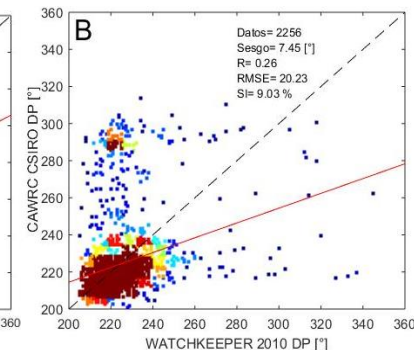
Periodo peak



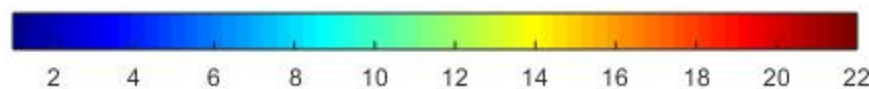
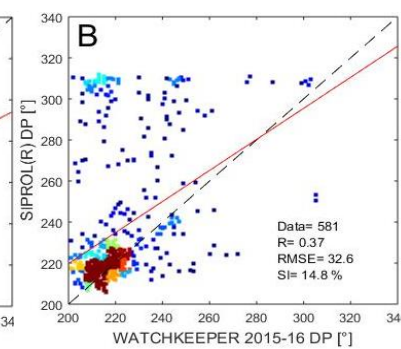
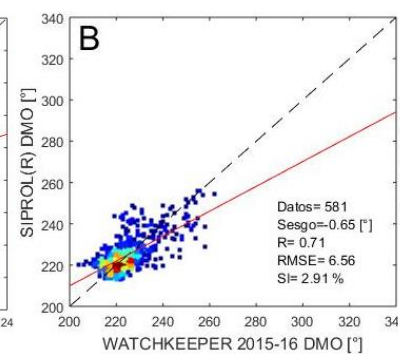
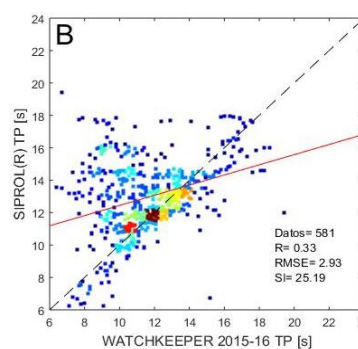
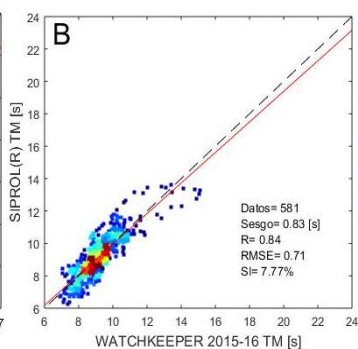
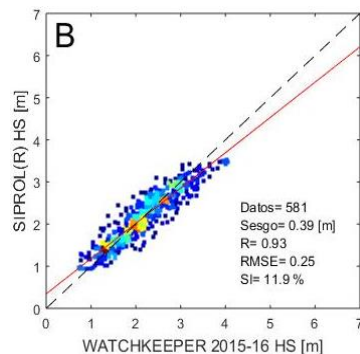
Dirección media



Dirección peak



## VALIDACIÓN SIPROL® CON BOYA WATCHKEEPER 2015-16:



Posición boya:  
 Latitud: 30°S  
 Longitud: 80°W  
 Nivel del mar: Valparaíso

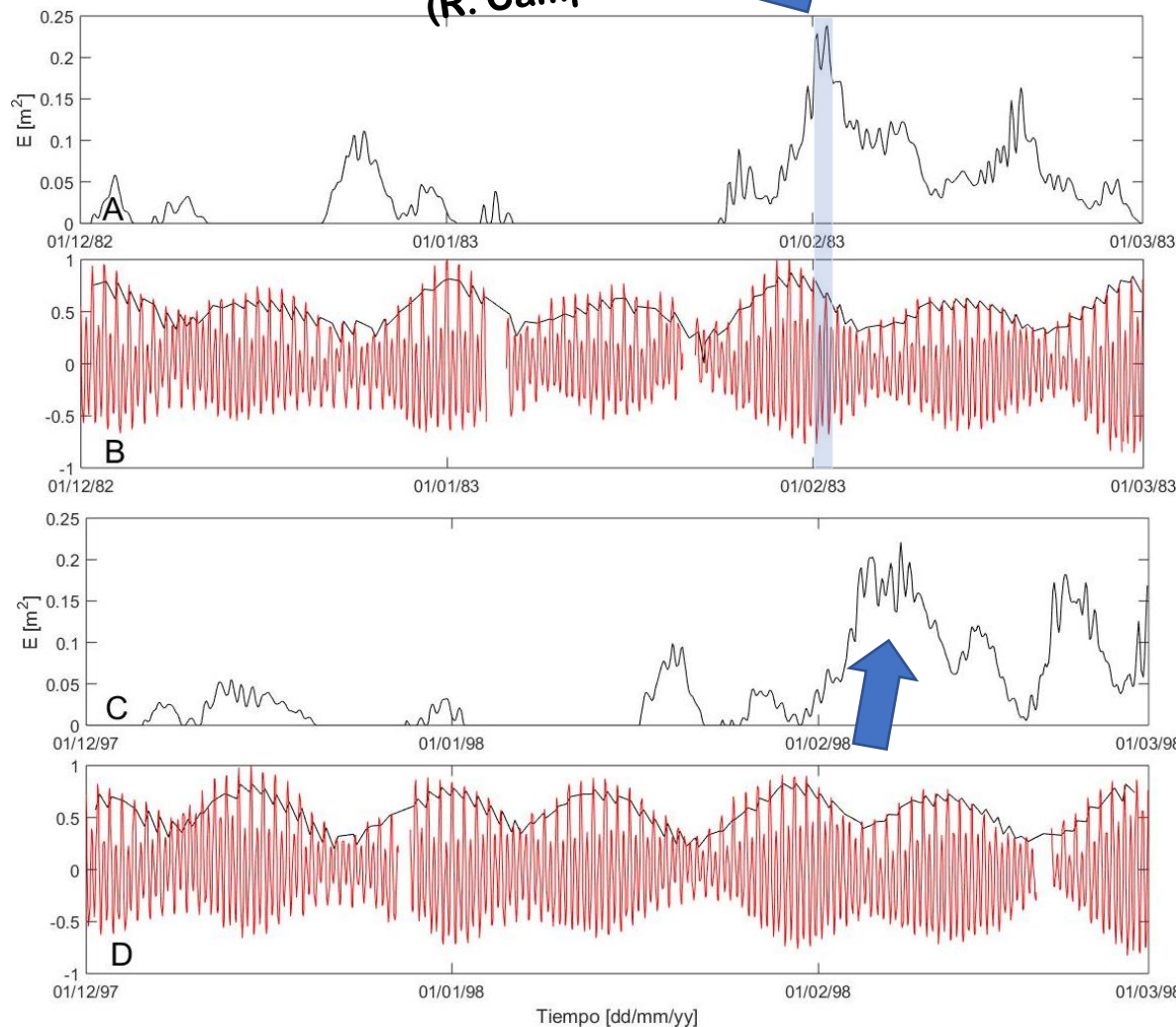
**Verano austral El Niño  
 Extremo 1982-83.**

Daños registrados: Muelle Club  
 de Yates La Herradura destruido  
 por marejadas (2 febrero 1983).

**Verano austral El Niño  
 Extremo 1997-98.**

Daños registrados: No hay registro.

**Impactos en la costa**  
 (R. Campos, 2016)



**No hay impactos en  
 la costa (R. Campos, 2016)**

El Niño Extremo 2015-16.

Posición boya:

Latitud: 32° 59.217'S

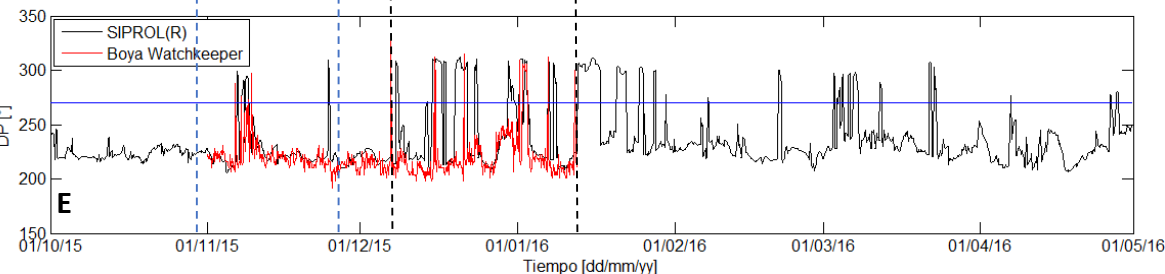
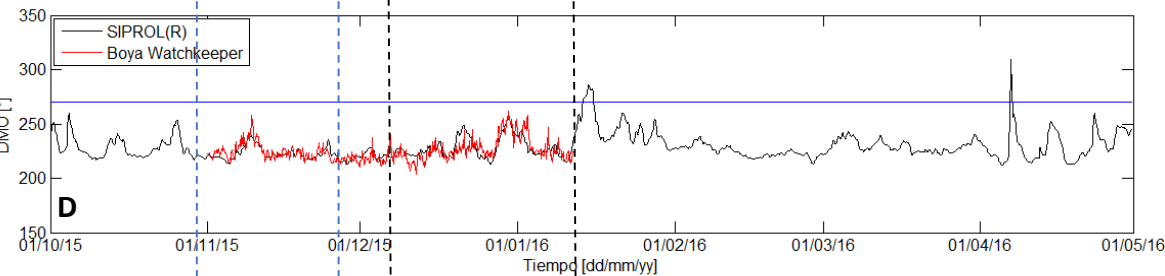
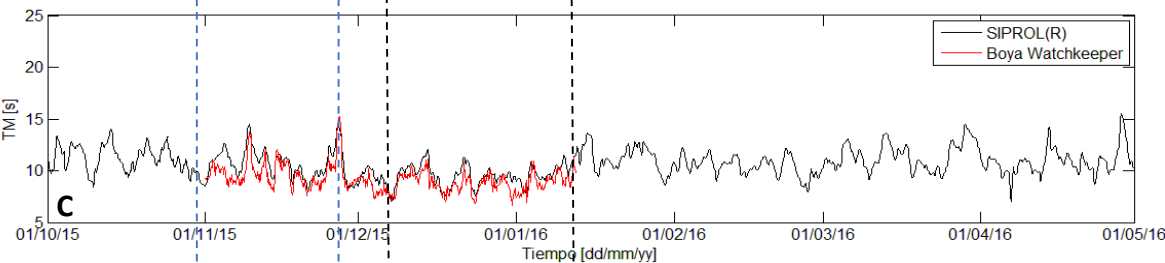
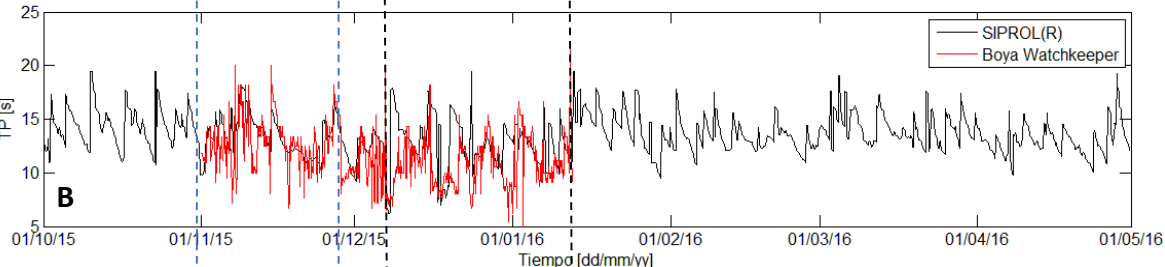
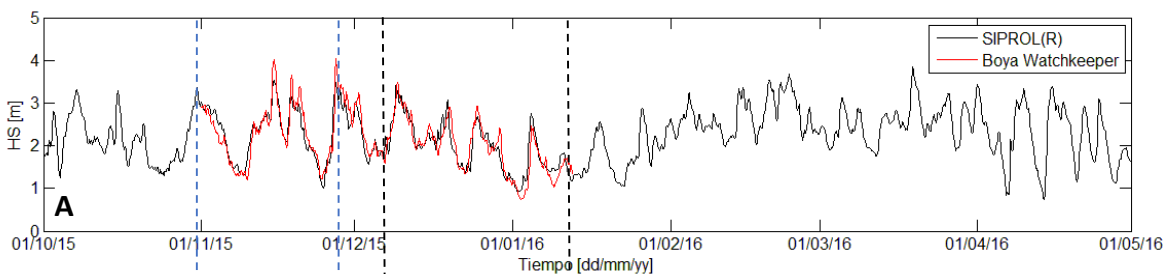
Longitud: 71° 49.433'W

## Parámetros del Pacífico Sur

- ✓ Altas alturas de olas (2 a 4 m)
- ✓ Bajos periodos peak (10 a 15 s)
- ✓ Bajas direcciones peak (<240°)

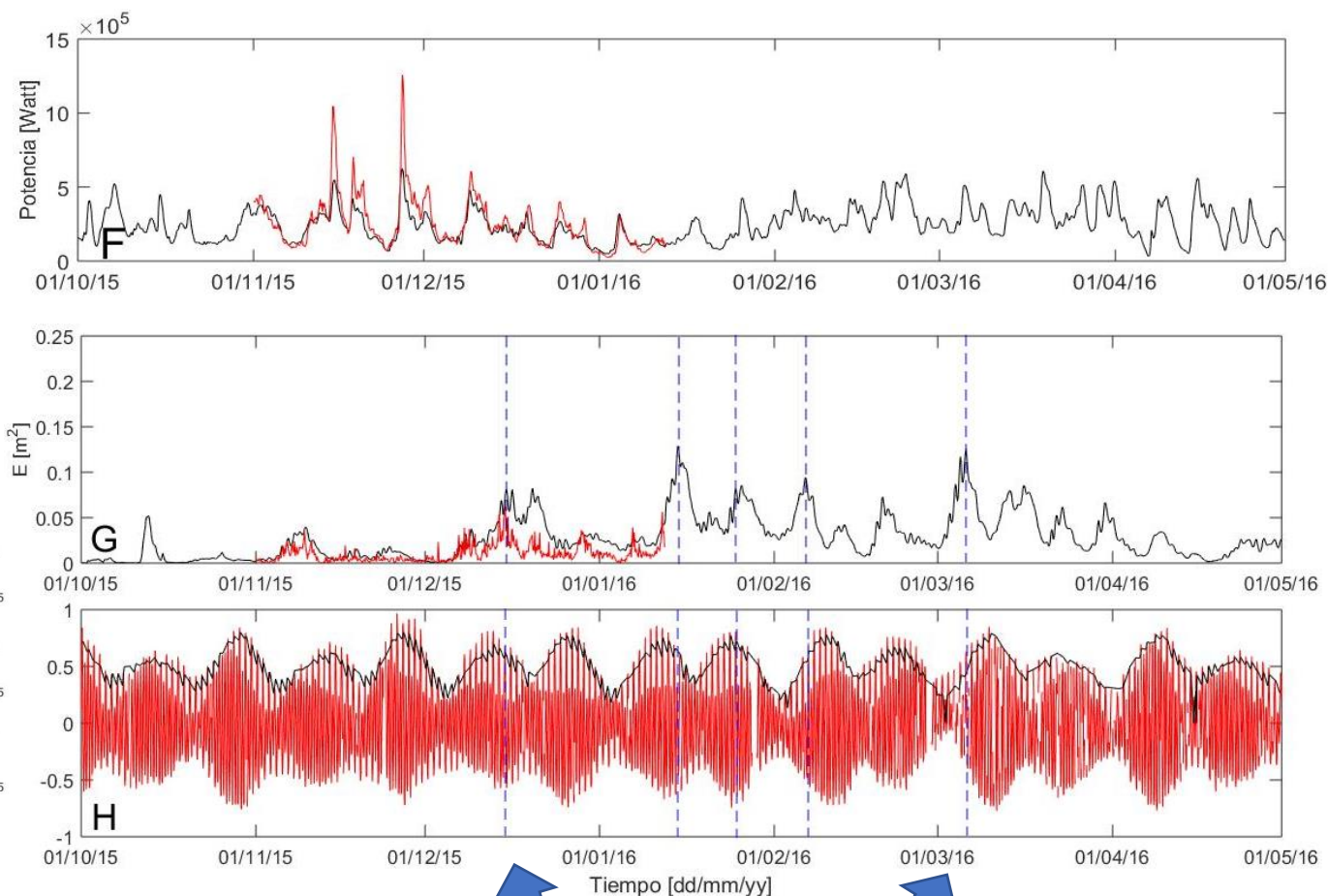
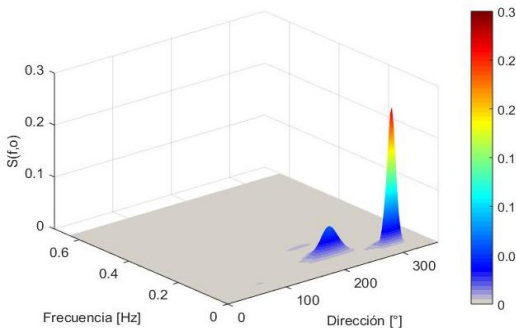
## Parámetros del Pacífico Norte

- ✓ Bajas alturas de olas (1 a 1.8 m)
- ✓ Altos periodos peak (15 a 22 s)
- ✓ Altas direcciones peak (>300°)



$$P_o = \frac{\rho g^2}{64\pi} \cdot T_e \cdot H_{mo}^2$$

- ✓ Alta potencia para oleaje SW y baja para NW.
- ✓ El 12 de enero la boya cortó amarre. No hubo reportes de daños en la costa



**Impactos en la costa**

# CORRELACIÓN MENSUAL (32 AÑOS) Y ESTACIONAL CON SOI

**Mensual**

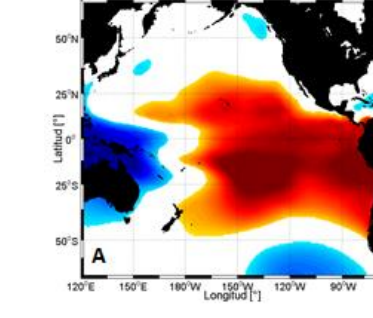
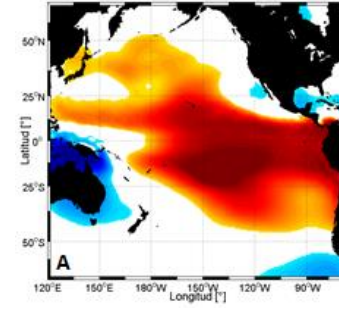
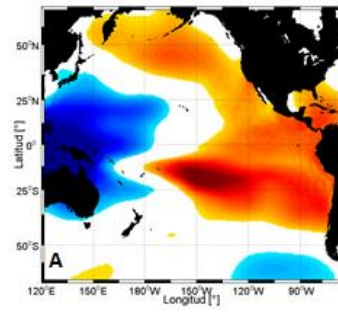
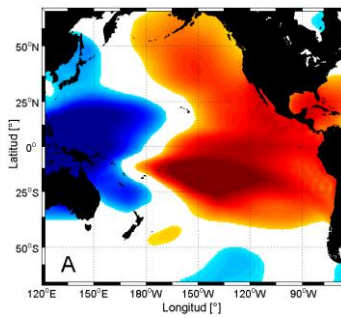
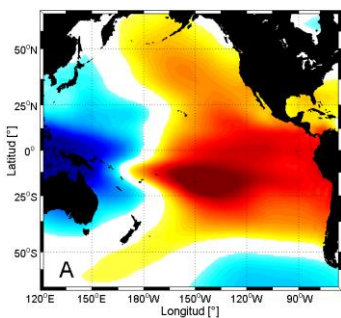
**DEF**

**MAM**

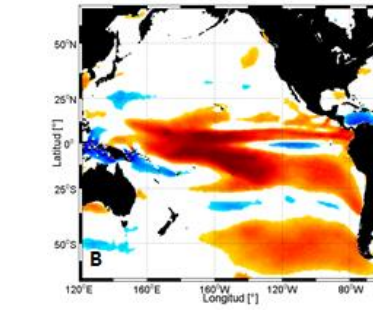
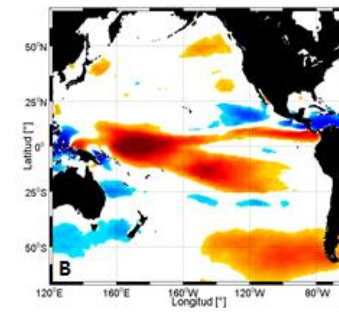
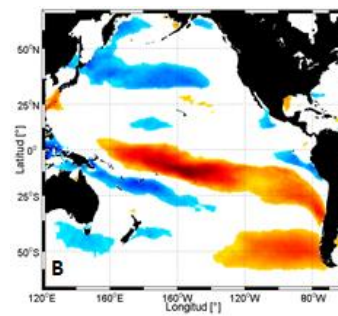
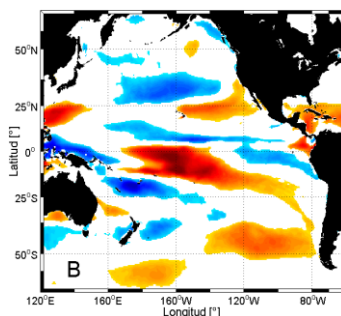
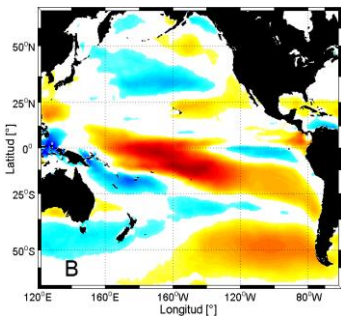
**JJA**

**SON**

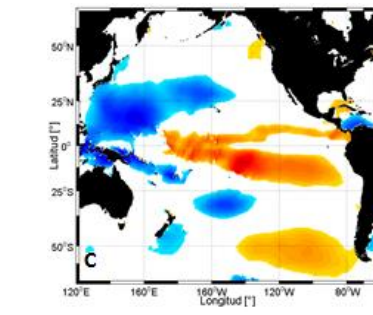
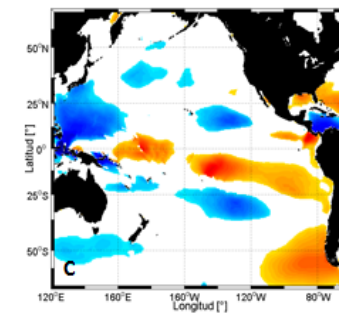
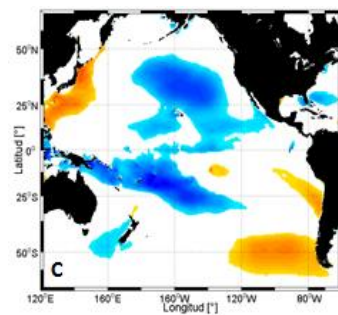
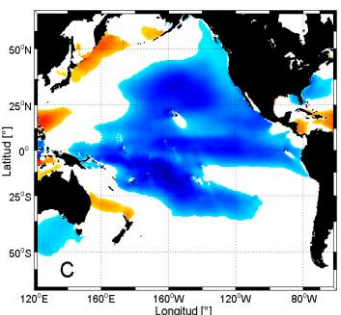
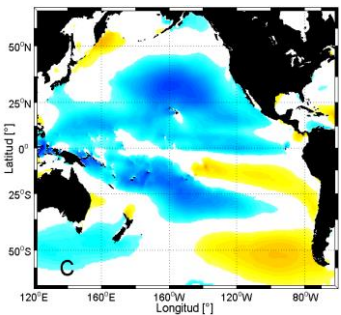
**Presión atmosférica**



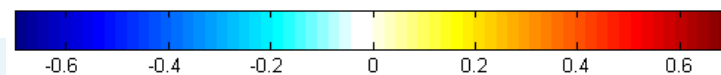
**viento superficial**



**Altura de ola**



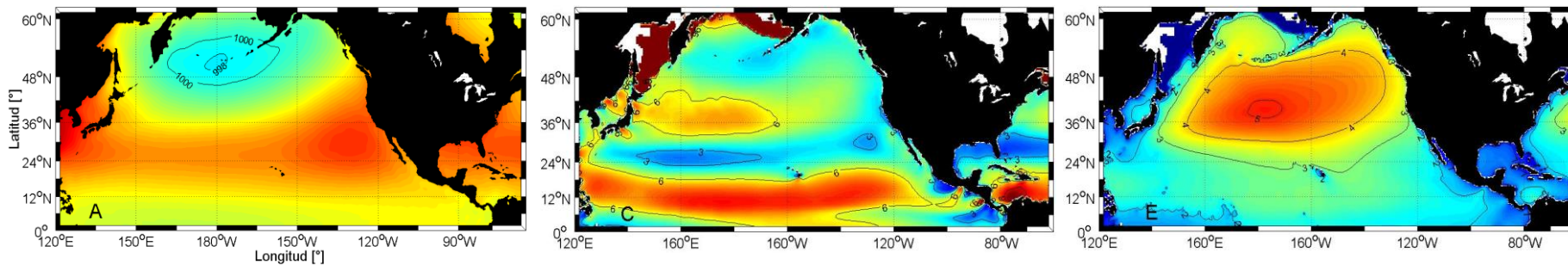
**SOI indica presencia El Niño con valores negativos.**



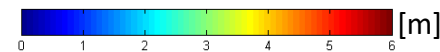
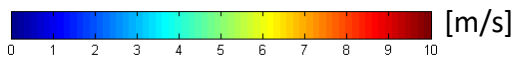
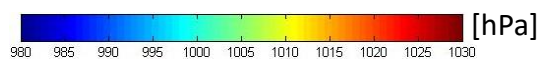
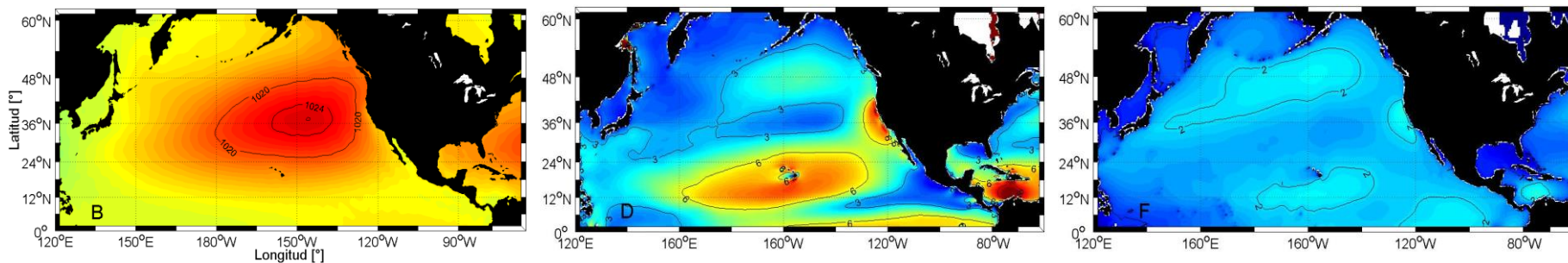
**95% de significancia**

# CLIMATOLOGÍA

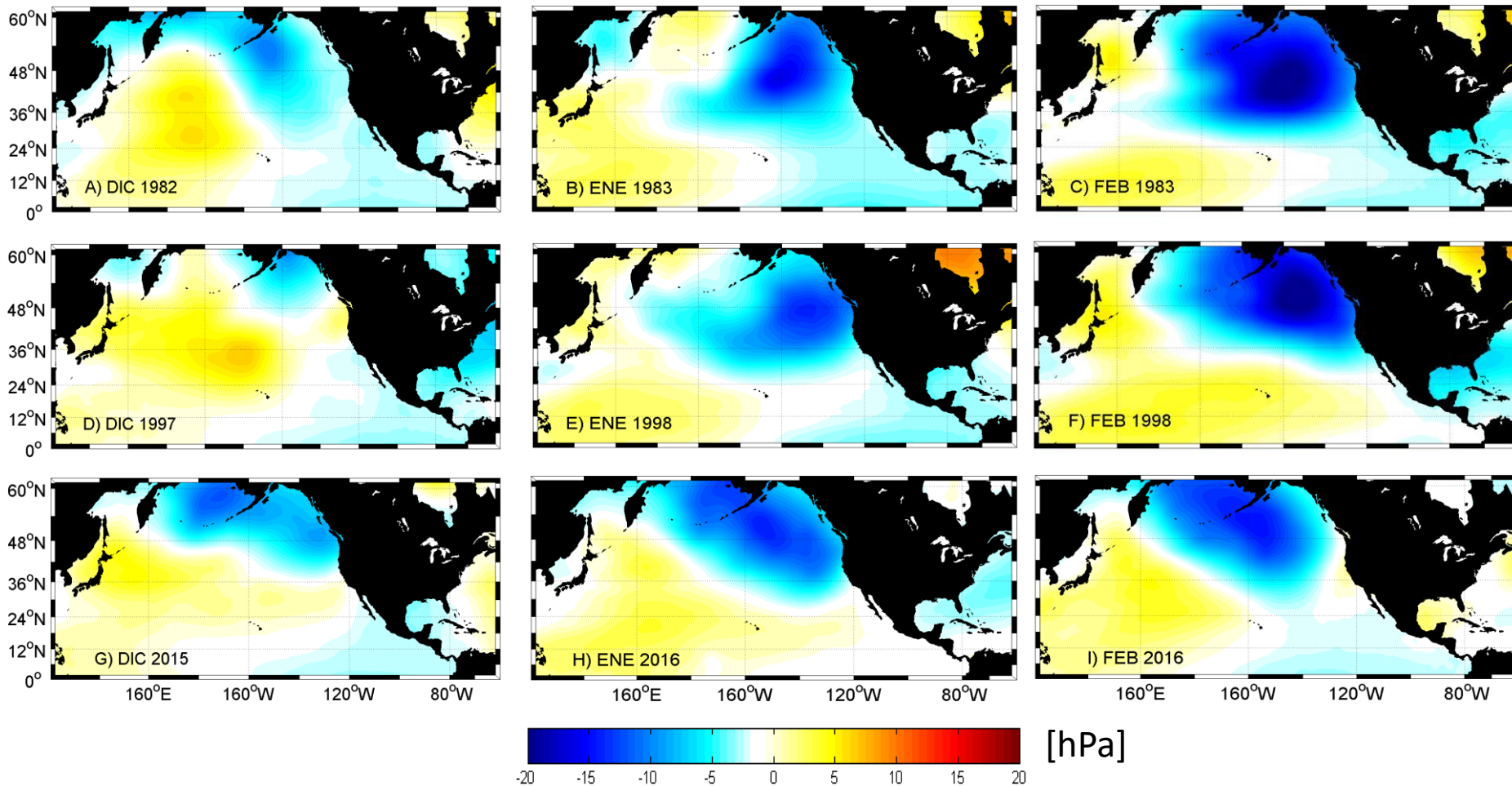
## Invierno boreal (Dic-Ene-Feb)



## Verano boreal (Jun-Jul-Ago)

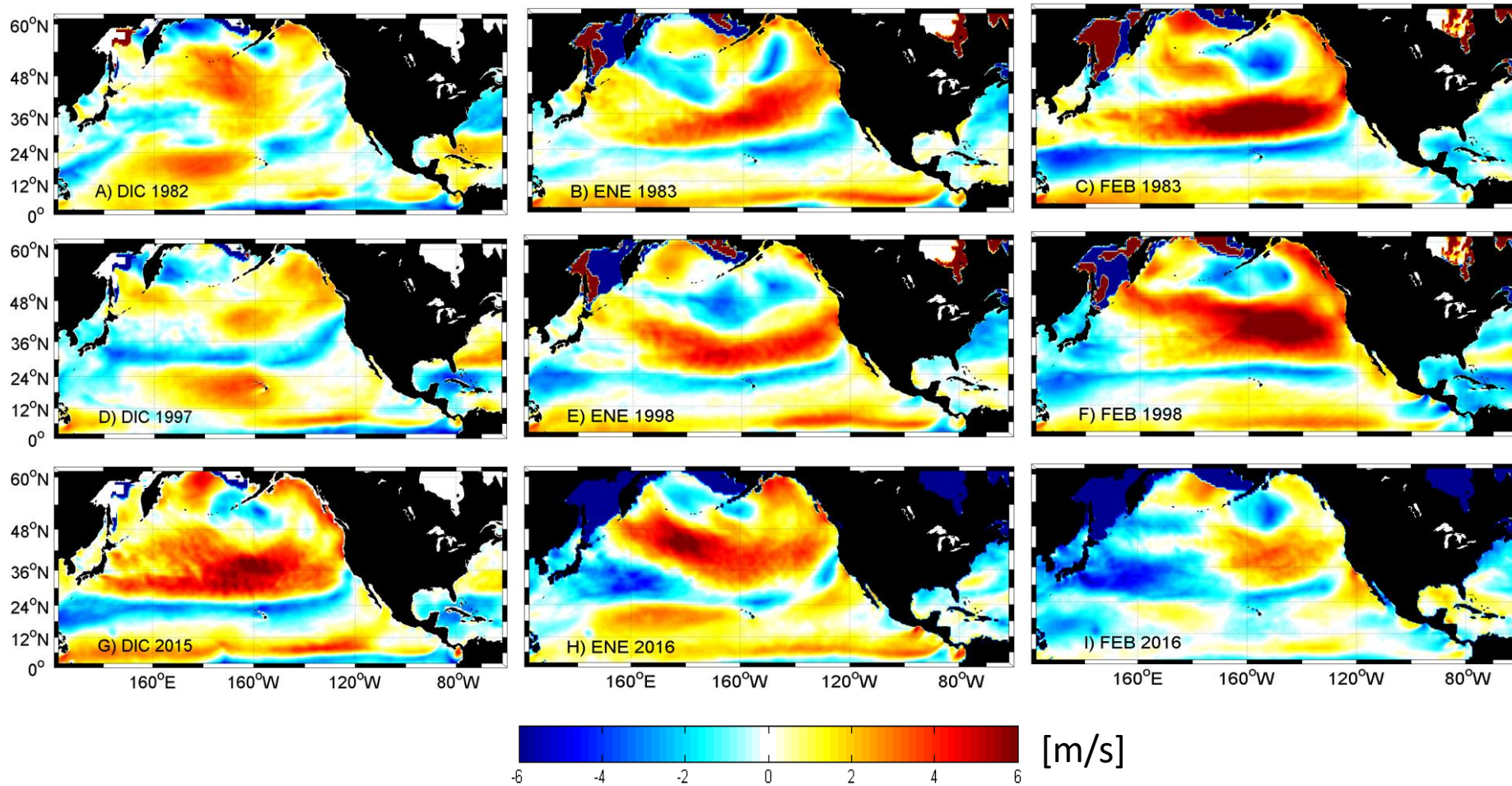


## Anomalías de presión atmosférica para eventos El Niño Extremo

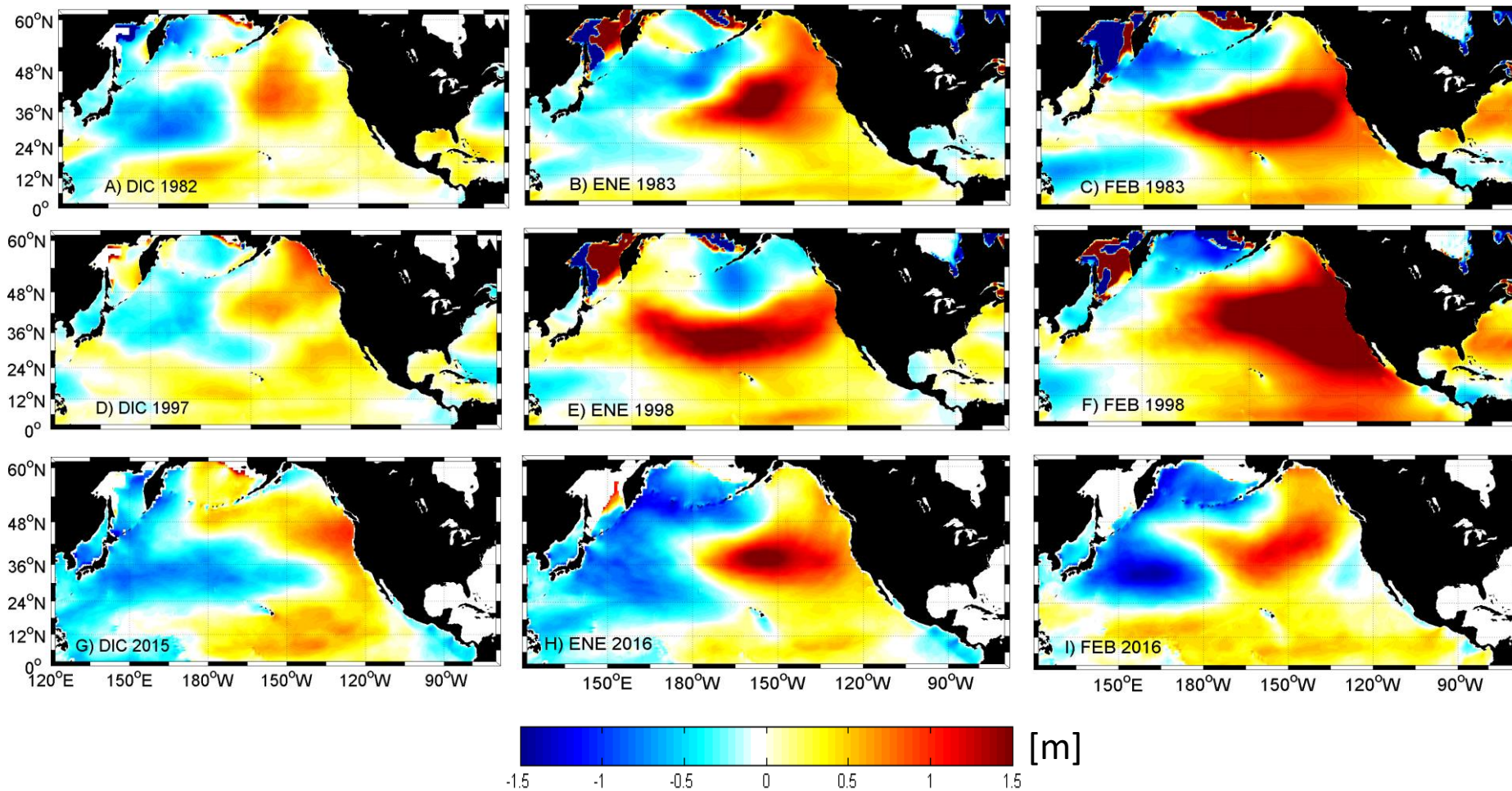




## Anomalías de vel. de viento superficial para eventos El Niño Extremo

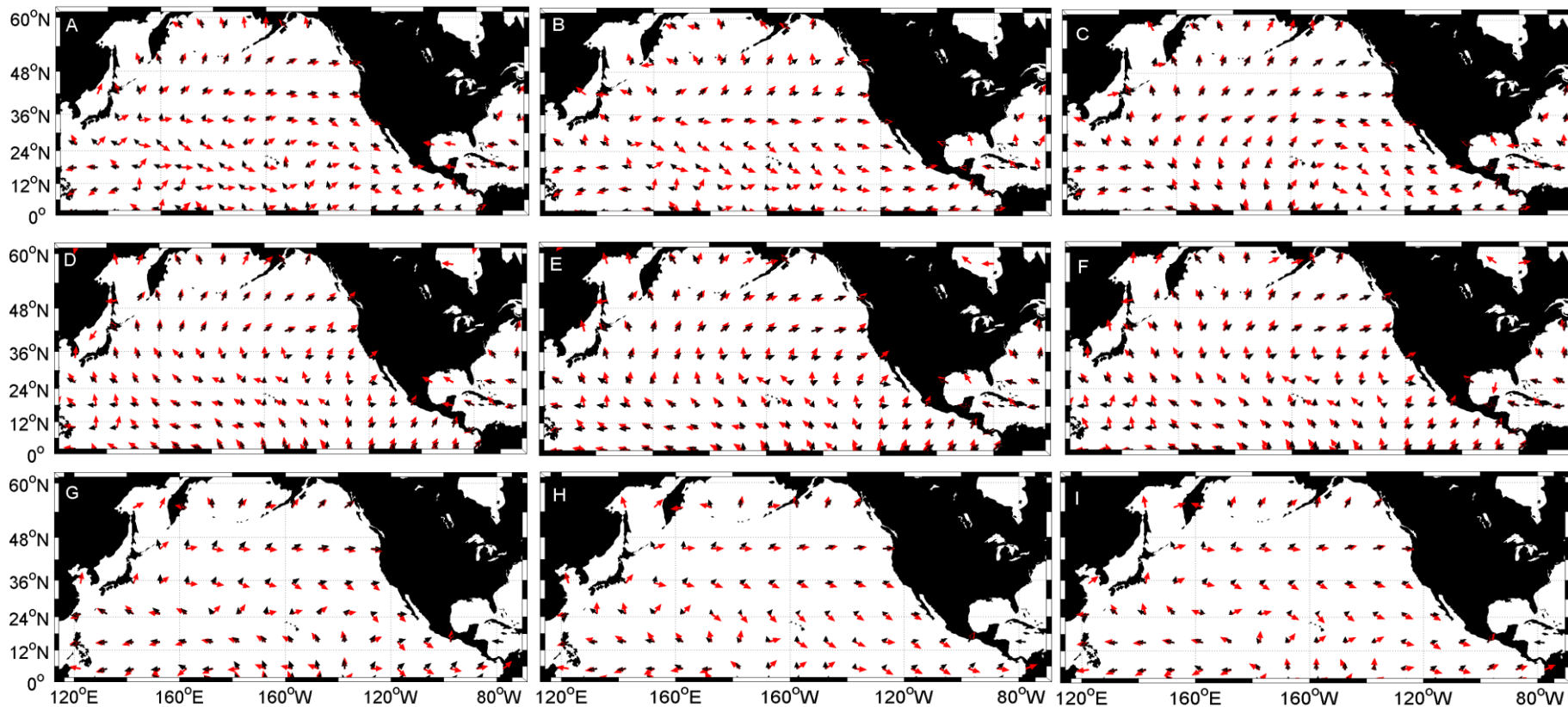


## Anomalías de altura de ola significativa para eventos El Niño Extremo



Chanpon *et al.* (1999)

## Comparación de dirección peak (DP)

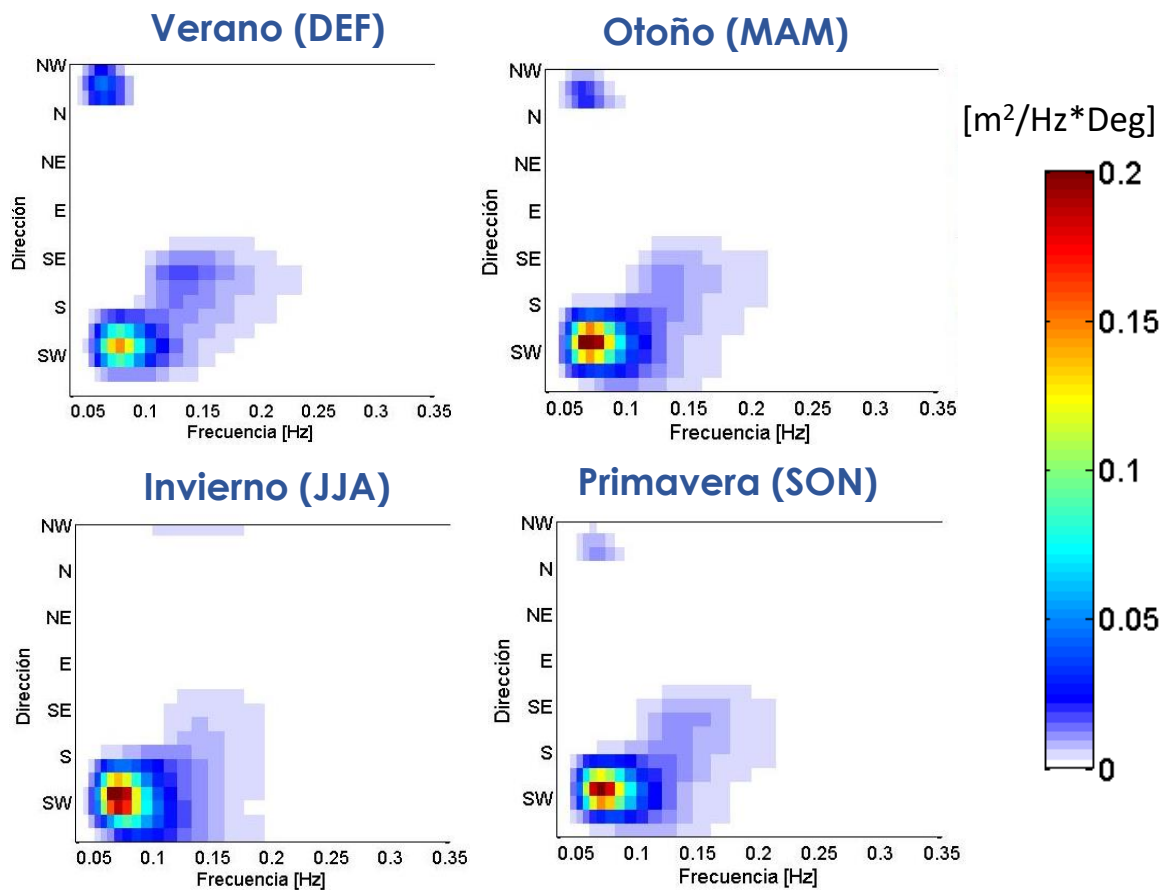


Climatología (Color negro)

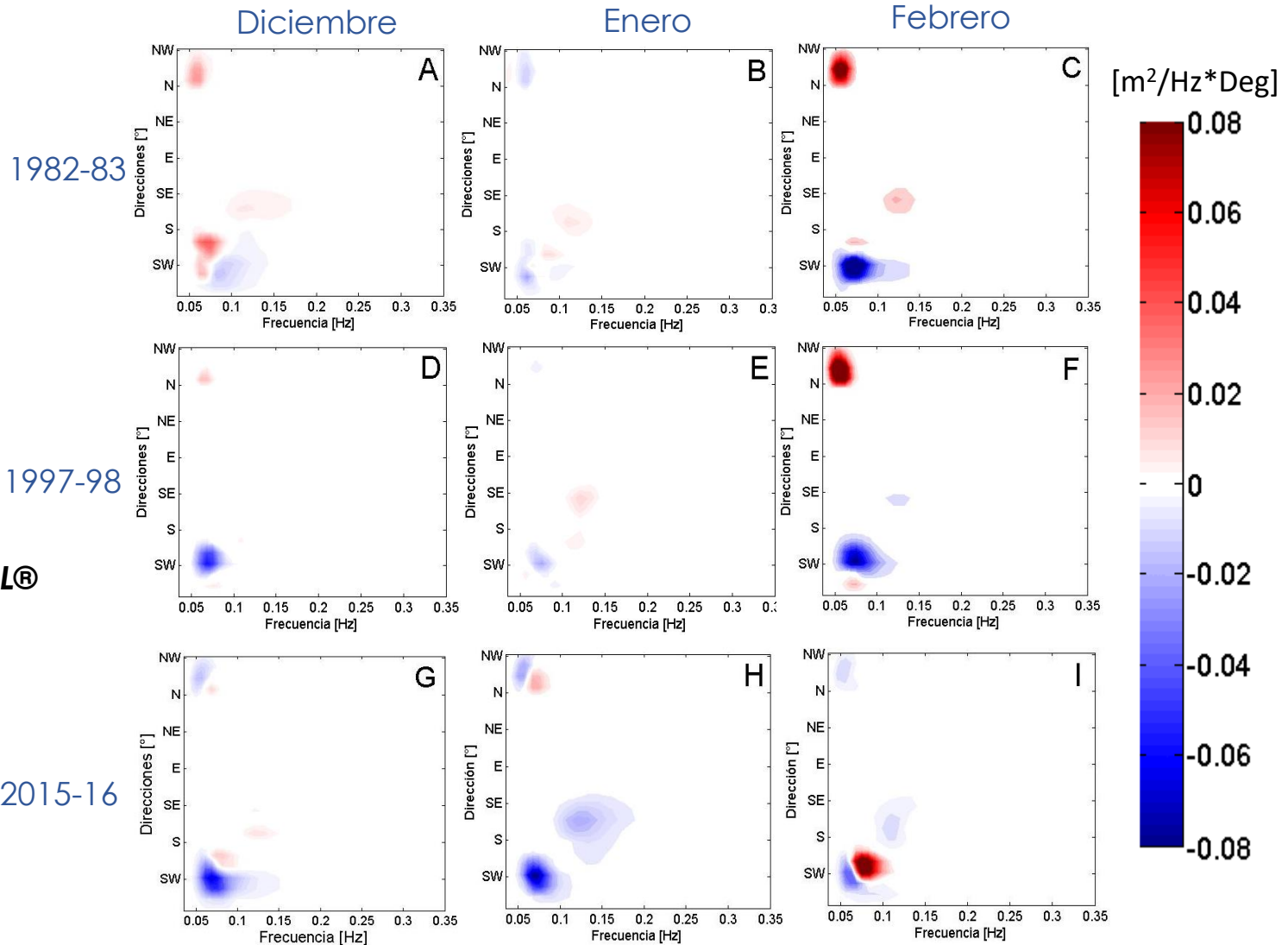
Promedio mensual (Color rojo)

## Climatología estacional espectral

Ubicación de boya virtual  
Latitud: **30°S**  
Longitud: **80°W**



## Anomalías mensuales de densidad espectral para eventos El Niño Extremo



1982-83

**Posición boya  
CAWRC CSIRO**  
 Latitud: 30°S  
 Longitud: 80°W

1997-98

**Posición boya SIPROL®**  
 Latitud: 26.33°S  
 Longitud: 79.91°W

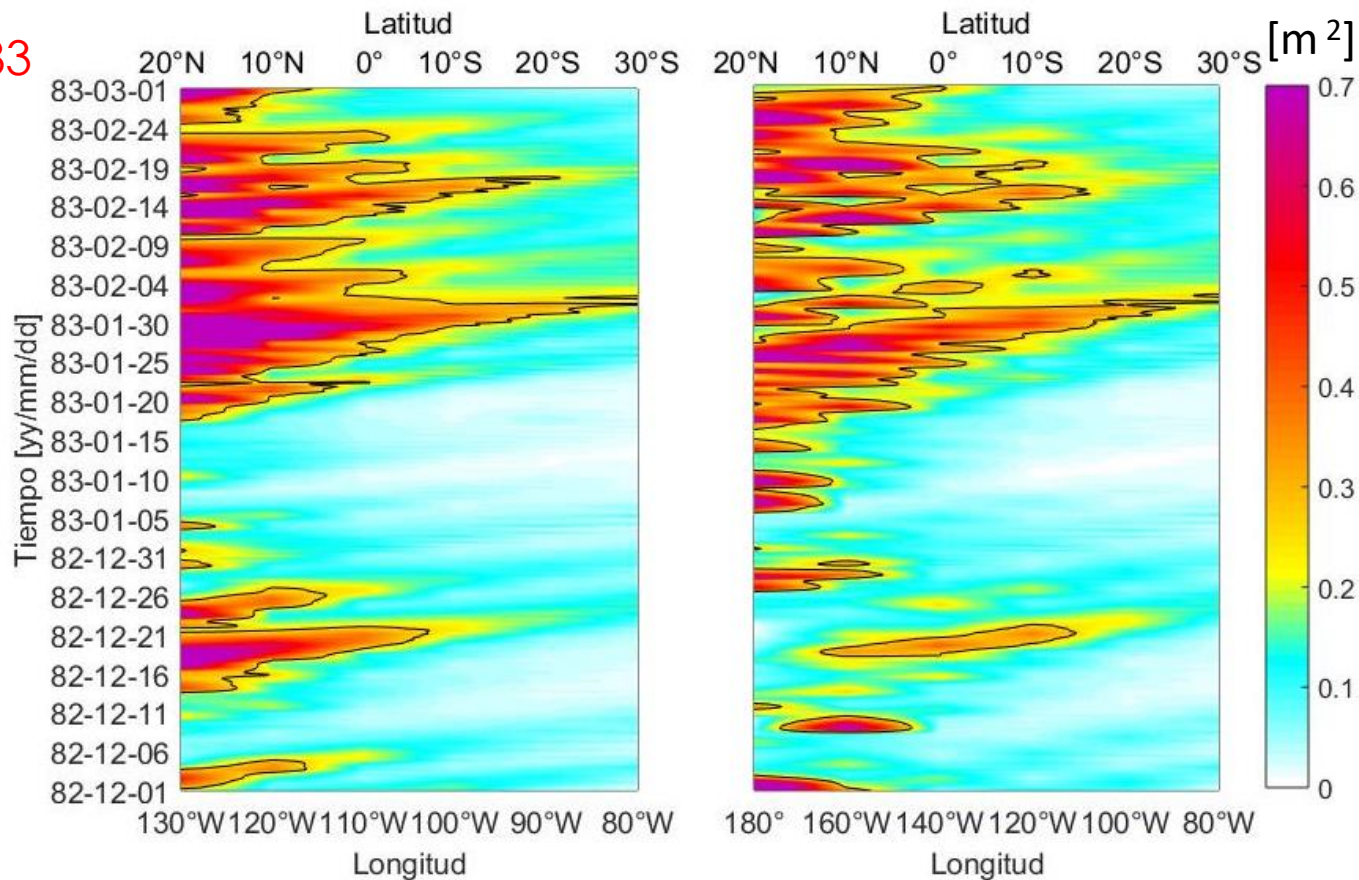
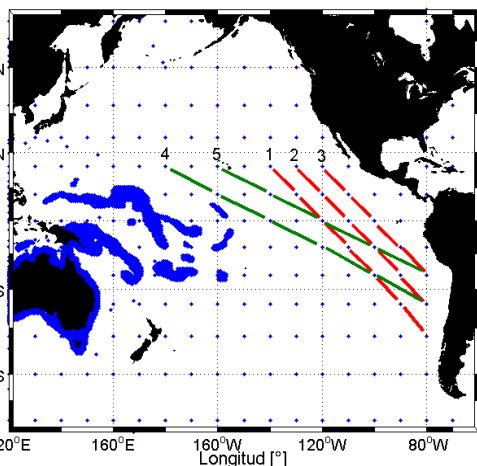
2015-16

# COMPARACIÓN DE ZONAS DE GENERACIÓN EN EL HEMISFERIO NORTE (DEF)

El Niño Extremo 1982-83

Trayecto 2

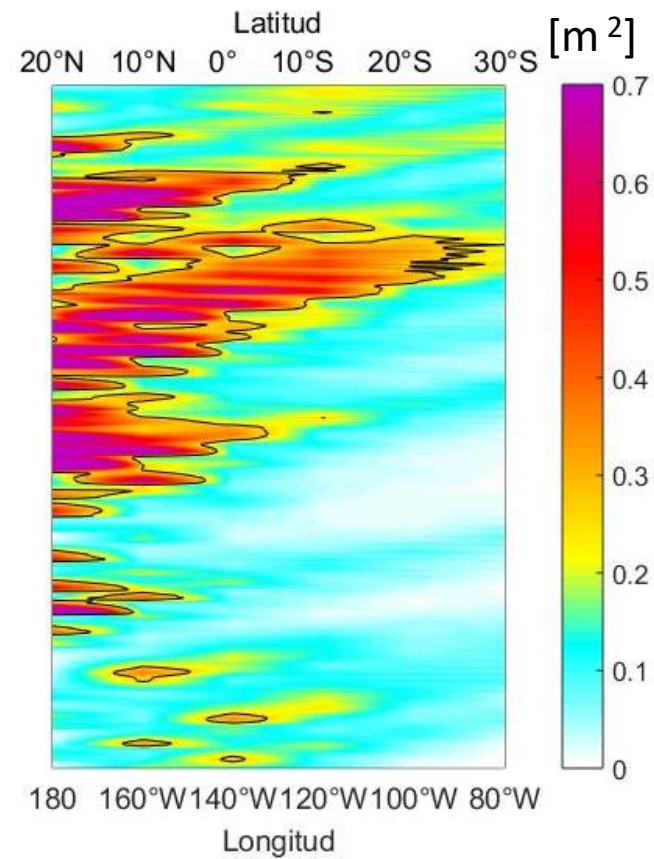
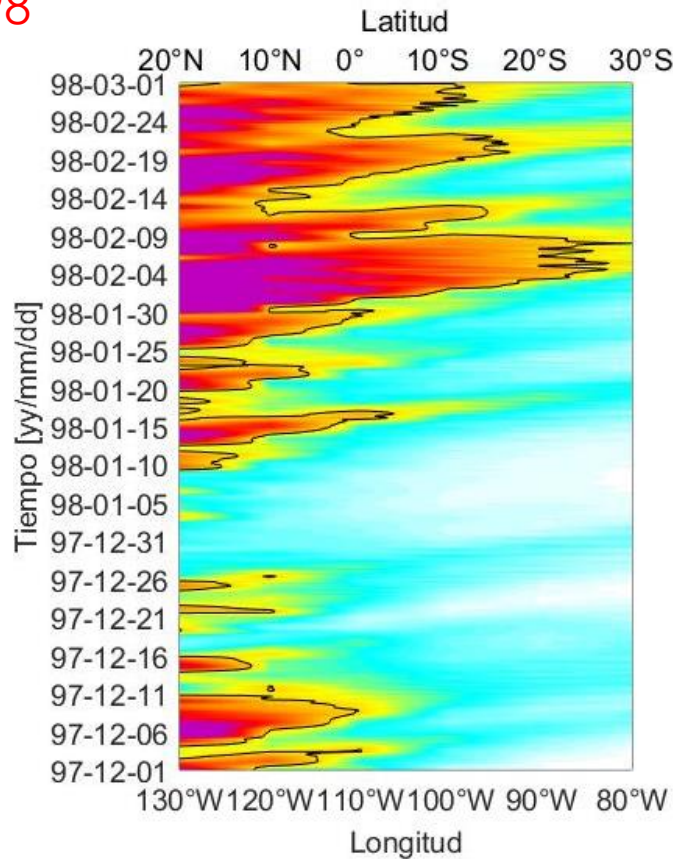
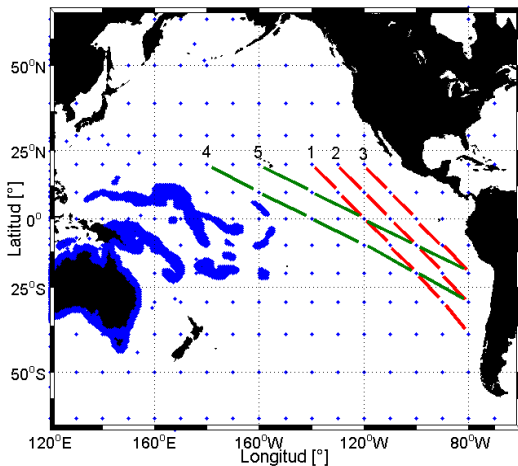
Trayecto 4



## El Niño Extremo 1997-98

### Trayecto 2

### Trayecto 4



## CONCLUSIONES

- ✓ La validación muestra que los datos obtenidos por las simulaciones de CAWRC CSIRO y SIPROL® son representativos a los datos observados *in situ* por la boya (en especial HS). Por lo que, ante la baja cobertura temporal que existe, los modelos numéricos son una buena herramienta para ser utilizados en estudios de investigación.
- ✓ Las energías del NW exhibidas durante el verano austral de El Niño Extremo 2015-16 en la costa de Chile, fueron menores a los eventos El Niño Extremo 1982-83 y 1997-98. Pero mayores en los impactos en infraestructura, turismo y playas.
- ✓ Posibles explicaciones están dadas por la amplitud de la marea (0.5 a 0.9 m) en que llegaron las máximas energías (sicigia o cuadratura), la modificación de la pendiente del fondo en la costa y el deterioro costero (tramos abiertos al NW) producto de las marejadas extremas exhibidas durante agosto 2015 (Winckler, 2015), que generaron que las olas fueran más destructivas.
- ✓ El análisis de correlación indica que existe una relación significativa entre el fenómeno El Niño y las anomalías negativas de presión atmosférica, anomalías positivas de velocidad de viento superficial y alturas de olas en el invierno boreal del Pacífico Norte.



- ✓ **El análisis de compuestos muestra que existe una importante disminución de la presión atmosférica, intensificación de la velocidad de vientos superficiales y aumentos en las alturas de olas en el Pacífico Norte cuando se presenta un fenómeno El Niño Extremo.**
- ✓ **En general, las direcciones peak (promedio) de las olas se tienden a girar en sentido horario hacia el sureste producto del cambio de las trayectorias de los vientos.**
- ✓ **El análisis de compuestos de los espectros frente la costa central, evidencia que el fenómeno El Niño genera aumentos en las energías del NW que se presentan en Chile. Además, se evidencia que la energía presentada durante el verano 2015-16 fue menor que los dos eventos anteriores.**
- ✓ **El análisis de propagación de energía muestra que, durante verano austral, los frentes de olas que se propaguen desde el Pacífico Centro-oriental (trayecto 1, 2 y 3) son los que tienen la mayor susceptibilidad de generar daños en las bahías abiertas al NW en la costa de Chile, principalmente centro-norte.**



**Presentación de memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico.**

**Tema:**

# **Caracterización de las marejadas del verano 2015-16 y su relación con fenómeno “El Niño”**

**Expone:**

**Diego Ignacio Becerra Godoy**

**Revisores:**

Dra. Catalina Aguirre

Dr. Aldo Montecinos

Comandante Luis Vidal

Valparaíso, 8 de enero 2018