UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
CHILE

*Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales*

# *"CARACTERIZACIÓN DE OLEAJE E HIDRODINÁMICA PARA LA OPERATIVIDAD EN PLAYA CALETA ABARCA, V REGIÓN CHILE"*


JUAN CARLOS MERCADO CUELLAR.


*Defensa de memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico*

# CONTENIDOS

- Introducción
- Objetivos
- Metodología y Resultados
- Conclusión
- Referencias

# INTRODUCCIÓN

**¿ Cuál es el uso que le estamos dando a las playas?**

*Play*

*Playa Caleta Abarca 2009*

**Se repite el baño de las personas en el tiempo**

# INTRODUCCIÓN

¿Cuándo es apta una playa para el baño?

Según Directemar, existen 2 condiciones:

**Adquiridas ➔** *"...estar a cargo de un concesionario responsable, contar con elementos de seguridad, sistema de primeros auxilios y una dotación de salvavidas...".*

**Naturales ➔** *"...tener un fondo parejo y de pendiente suave, limpio sin restos de construcciones submarinas o especies náufragos, aguas salubres, **oleajes suaves, escasas corrientes** y sin roqueríos...".*

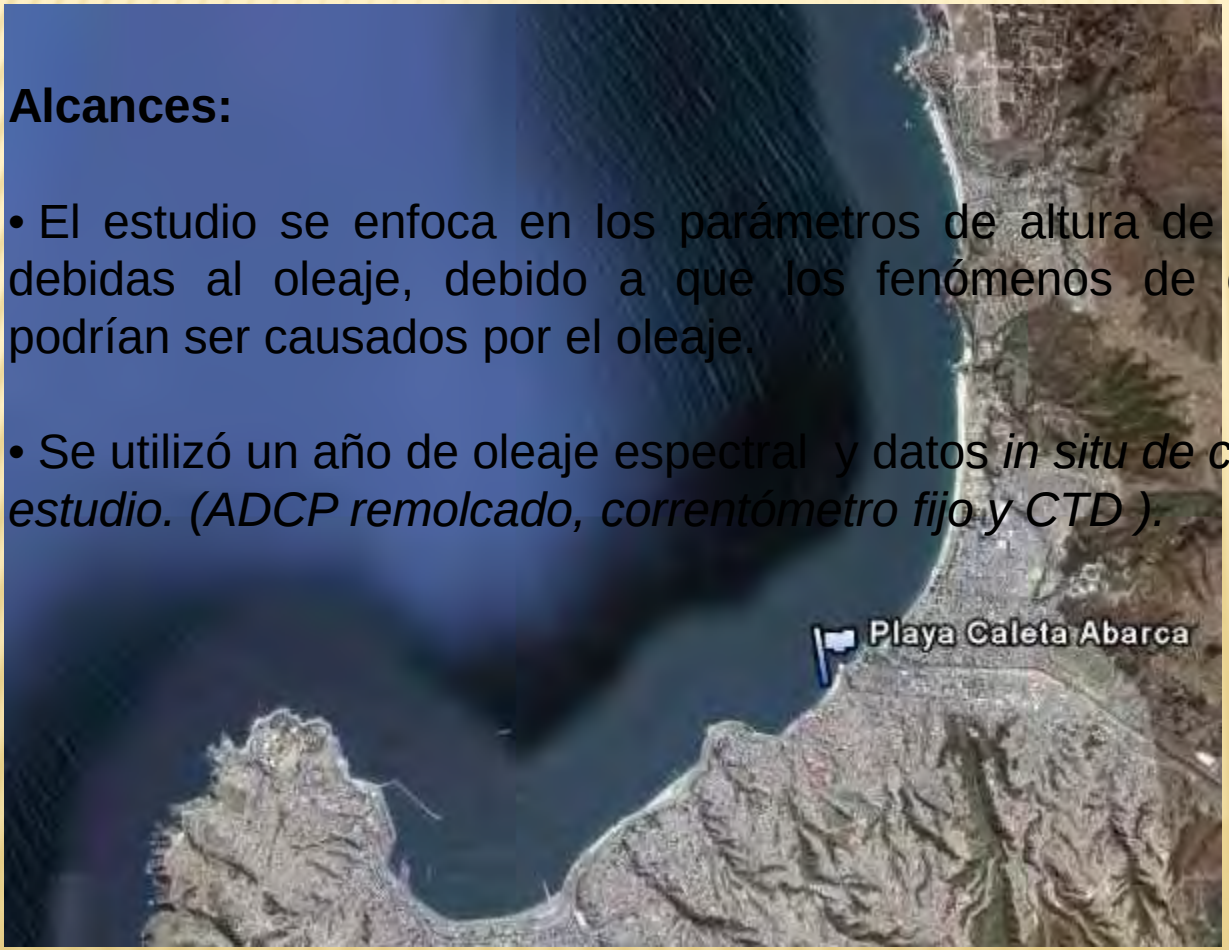
*Falta de estudios técnicos de oleajes y corrientes*

# INTRODUCCIÓN

Aplicación de una metodología que consista en **estudios de oleaje y corrientes**, con el fin de identificar si una **playa** es efectivamente **segura** en función de estos dos factores oceanográficos.

# INTRODUCCIÓN

**Playa Caleta Abarca**, situada en la Región de Valparaíso comuna Viña del Mar, la cual presenta una alta presencia turística debido a su accesibilidad y ubicación a un costado del Hotel Sheraton Miramar.




**Alcances:**

- El estudio se enfoca en los parámetros de altura de ola y corrientes costeras debidas al oleaje, debido a que los fenómenos de corrientes predominantes podrían ser causados por el oleaje.

- Se utilizó un año de oleaje espectral y datos *in situ de corrientes en la playa en estudio. (ADCP remolcado, correntómetro fijo y CTD ).*

# OBJETIVOS

## Generales

- Identificar **áreas seguras y peligrosas para el nado** de los bañistas en playa Caleta Abarca, en función de los parámetros de **ola y corriente**.

Optimizar el uso de la playa.

# OBJETIVOS

## Especifico

- **Caracterizar** el clima de oleaje en aguas profundas.
- Implementar un **modelo numérico de aproximación** de oleaje.
- Ejecutar una **transferencia espectral**.
- **Caracterizar** el clima de oleaje en el **punto de transición** de los modelos.
- Implementar un **modelo numérico de oleaje** en la zona de playa.
- Implementar **un modelo numérico de corrientes** en la zona de playa.
- **Caracterizar** el clima de **oleaje** en la **zona de playa**.
- **Caracterizar** las **corrientes** en la **zona de playa**.
- **Validar** el análisis. (Primera aproximación)

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

i) Análisis operativo del baño

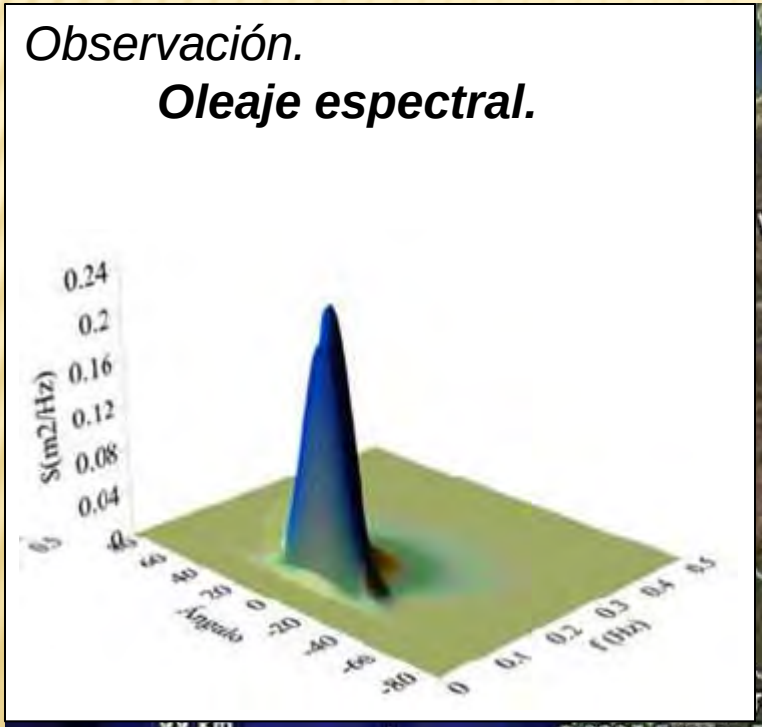
# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## a) Caracterización aguas profundas

• Se utilizó **oleaje espectral del año 2000** (“Olas Chile”)*, que se compone de una matriz de dirección y frecuencia (24x25) de 600 celdas, que van entre los **0-360°** con periodos entre **2.4 y 23.9 [s].** Contenidos en intervalos de tiempo cada 3 [horas].

*Observación.*

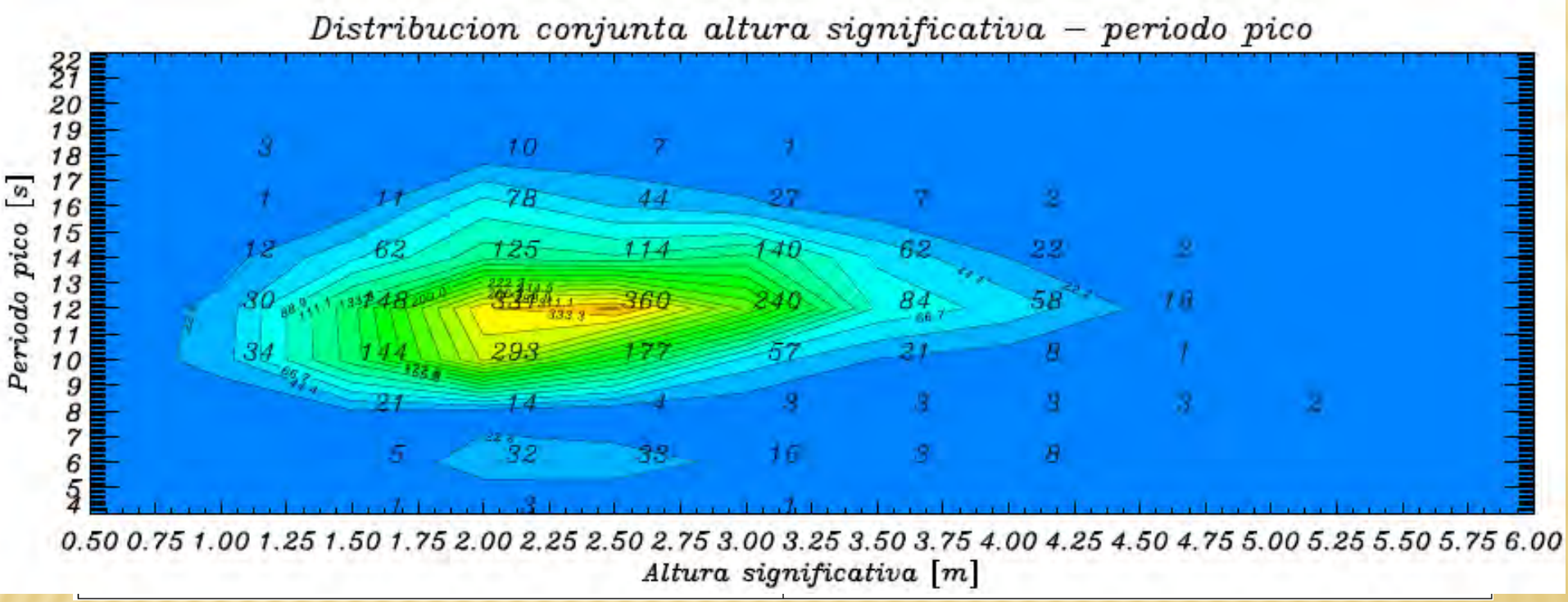
***Oleaje espectral.***



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## a) Caracterización aguas profundas

- Caracterización mediano plazo (Parámetros de Resumen)



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## b) Implementación numérica de aproximación

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## b) Implementación numérica de aproximación

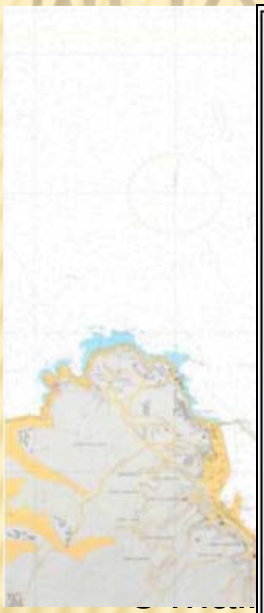
**Modelo *Stwave*.** *(Steady-State spectral wave model)*

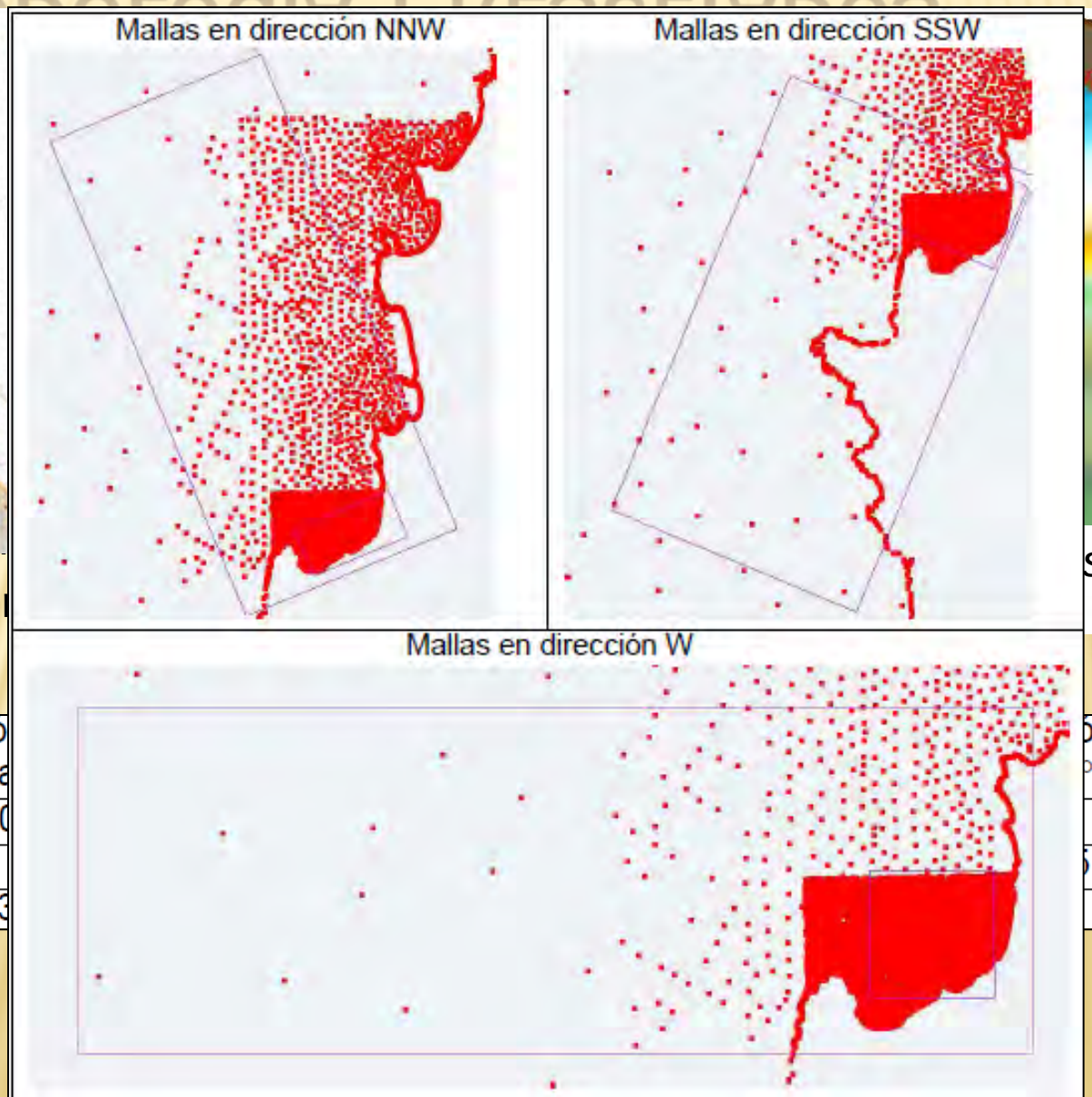
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

- **Modelo Parabólico**: Problema inicial.
  Planteamientos estacionario.
  Utilización de la teoría de Stokes.

- Resuelve la ecuación de la pendiente suave.
- **Propaga oleaje espectral**.
- Promedia la fase de la onda .
- Fenómenos que considera: **Refracción y Shoaling Lineales**.
  Fricción de fondo despreciable.
  Tensores de radiación de forma lineal.
  Difracción de tipo numérica .
  Criterio de rotura tipo Miche (1951).
- Más información consultar *Smith et al. [2001].*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS





s de 450 [m]

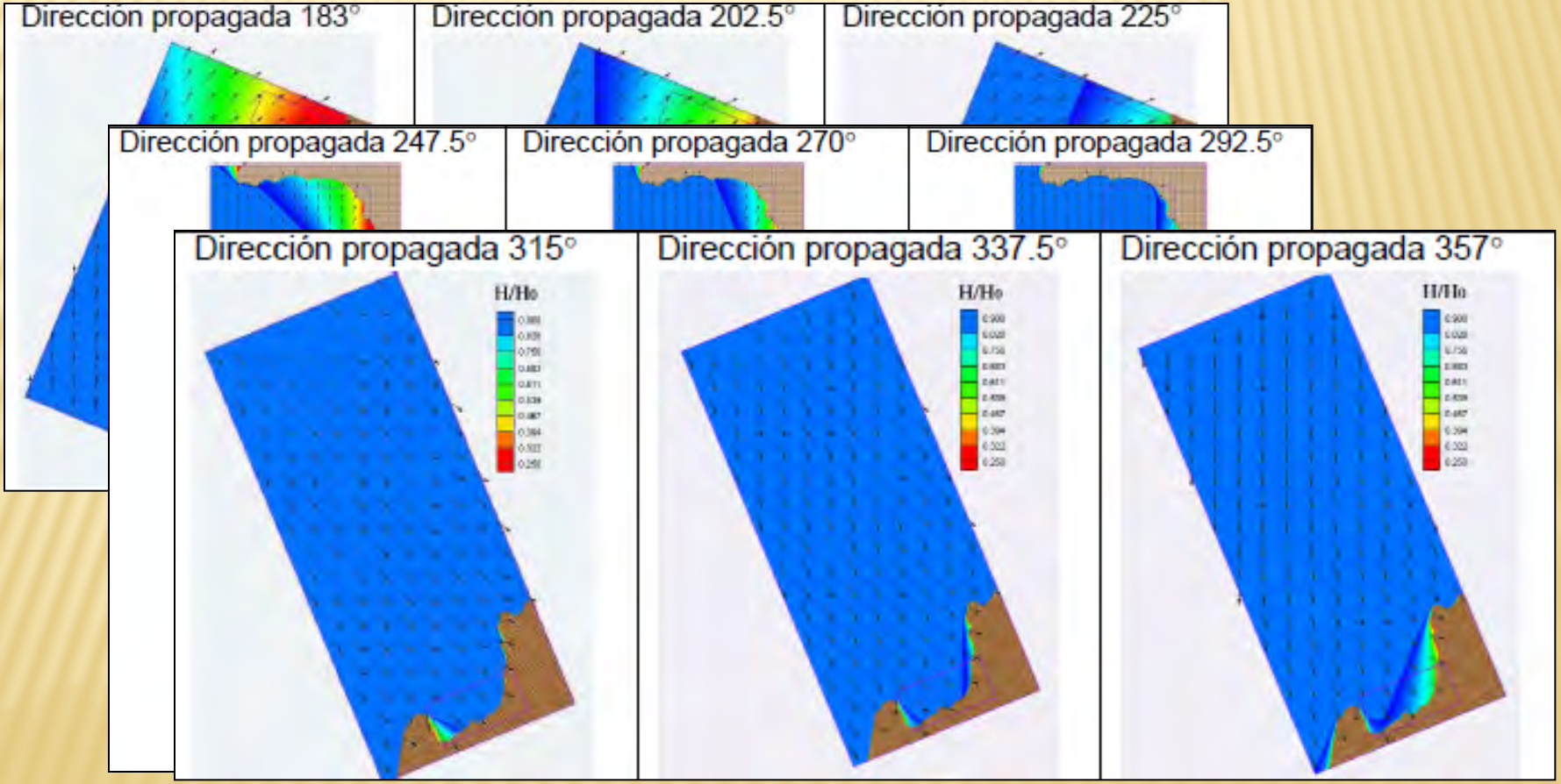
- **108** p

| Direcció malla | ógicas °] |
|---|---|
| 20 | |
| | 5 |
| 33 | |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## b) Implementación numérica de aproximación

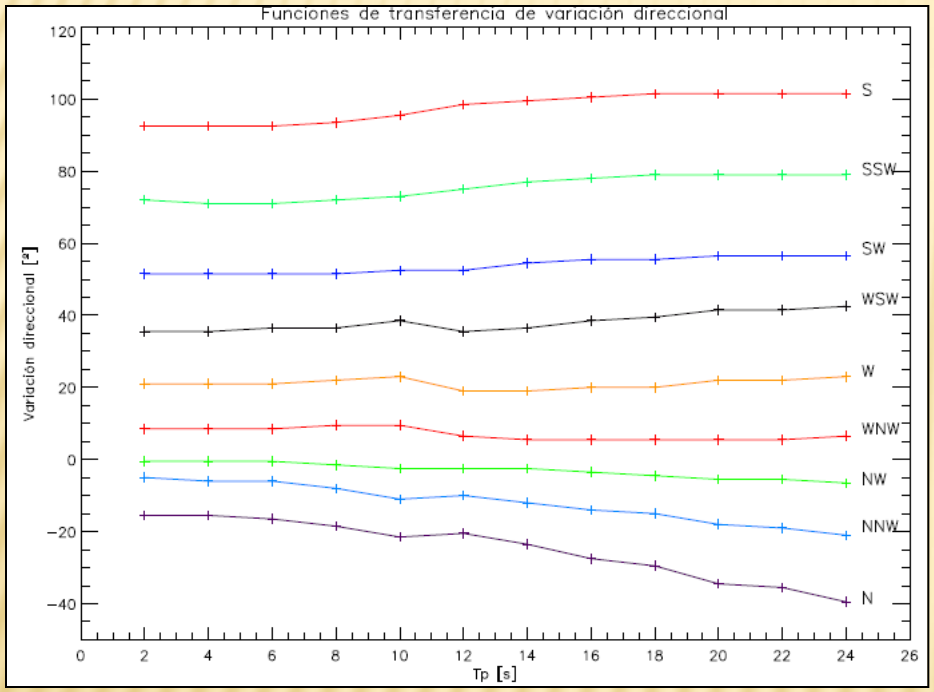
**Resultados del modelo *Stwave*.** *(Steady-State spectral wave model)*

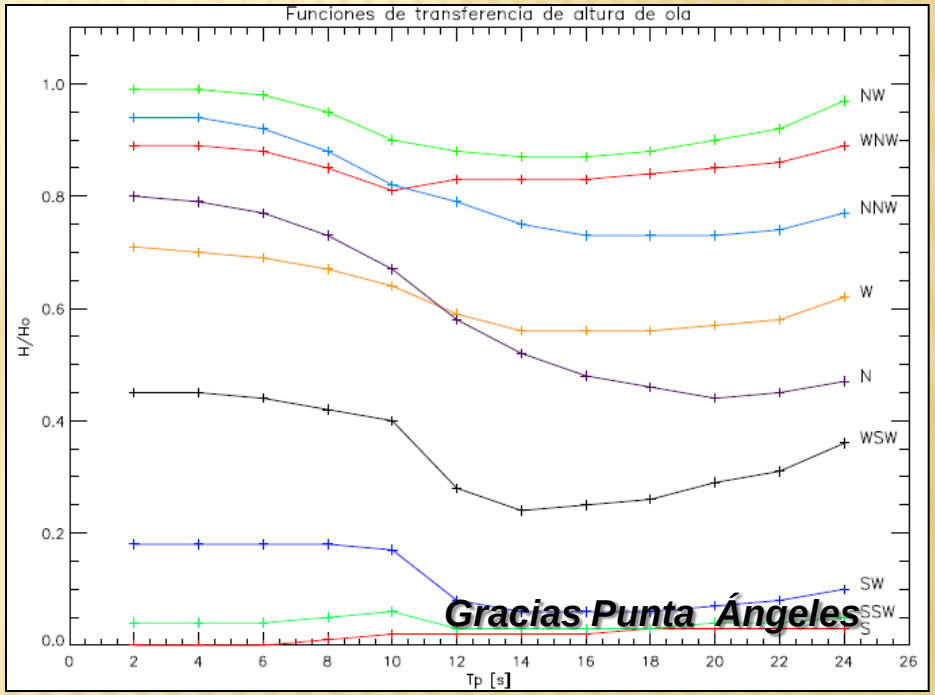


# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## b) Implementación numérica de aproximación

**Resultados del modelo *Stwave.*** *(Steady-State spectral wave model)*



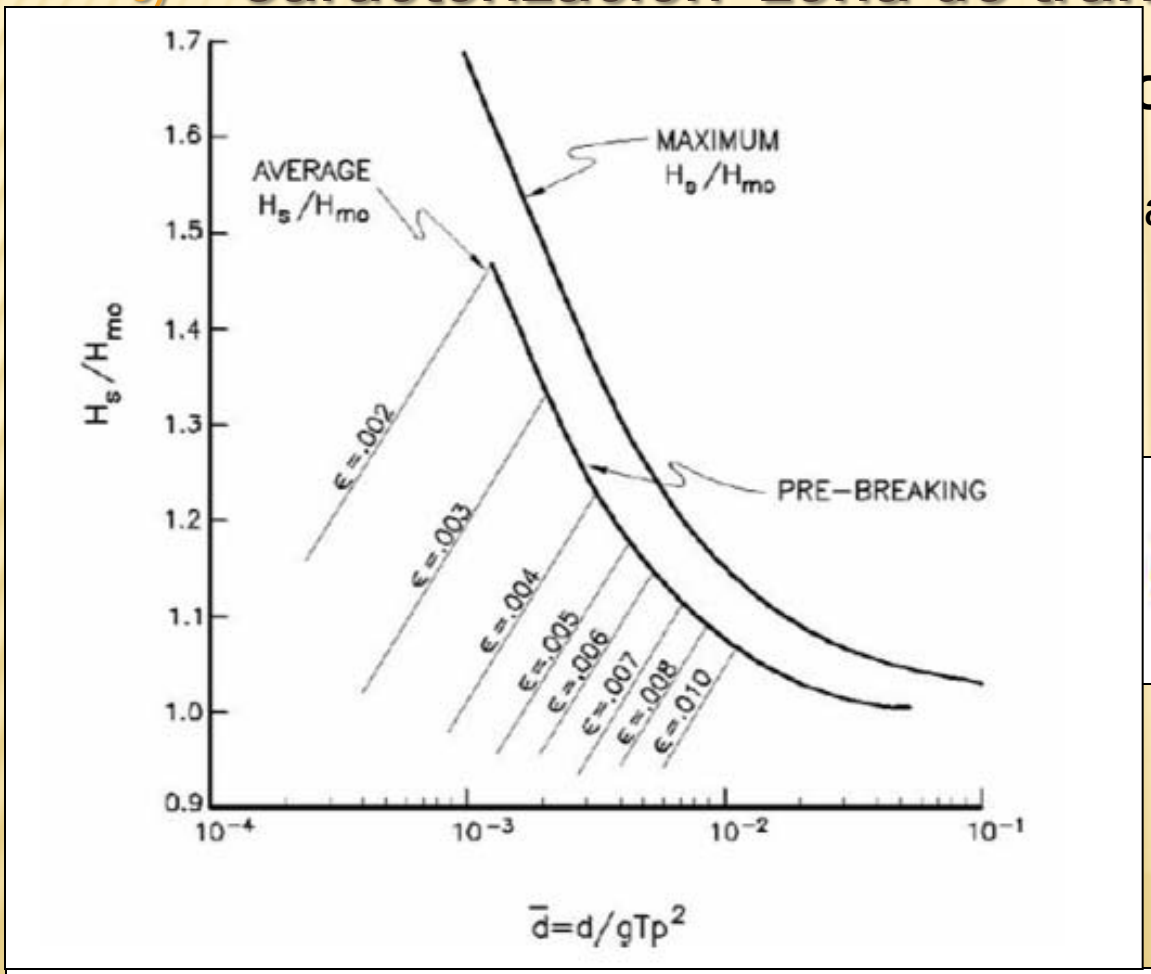




***Gracias Punta Ángeles***

➔ Δdir. mayores en dir. incidentes con componente S.
➔ Δdir. menores en dir. incidentes con componente N.*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## c) Caracterización zona de transición




Variación de Hs/Hm0, *Coastal Engineering Manual [2002c].*

**Cuasi Purista**.

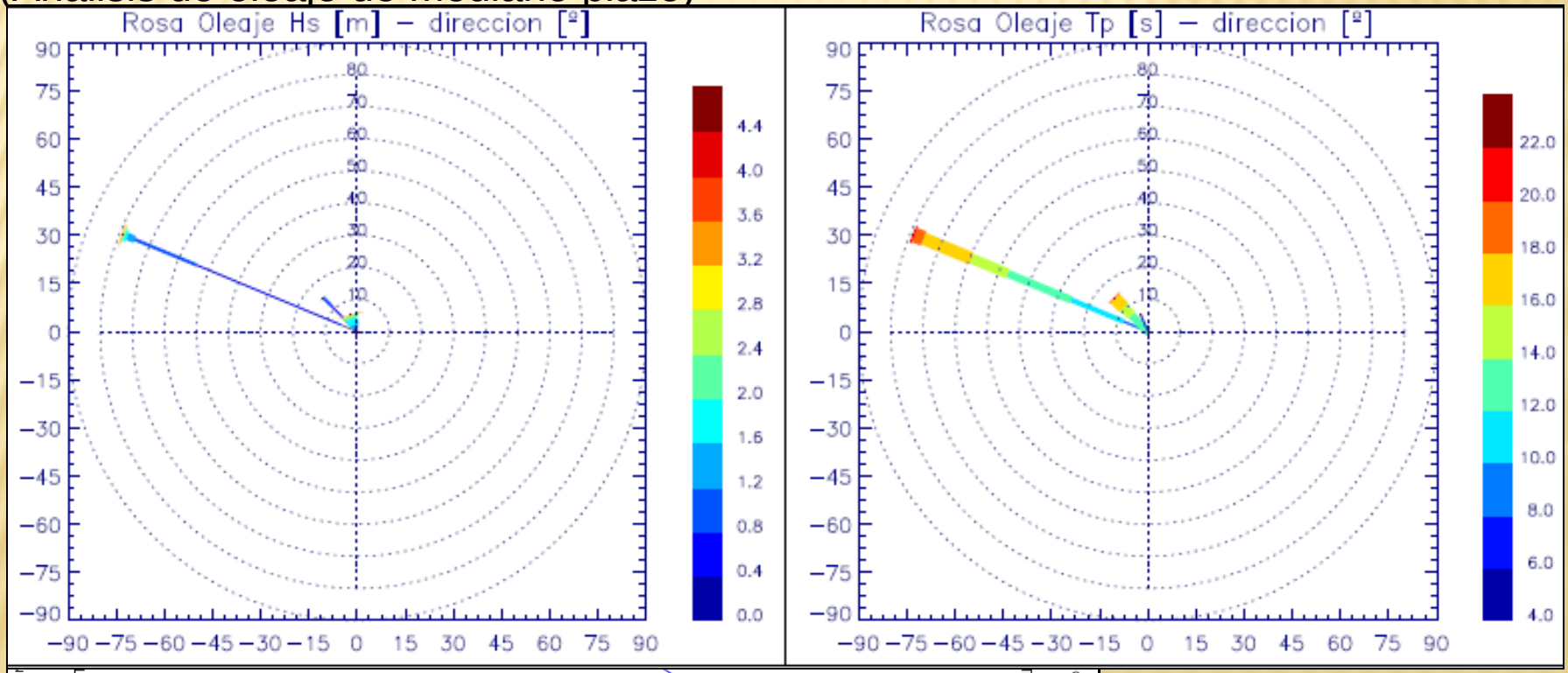
aje.

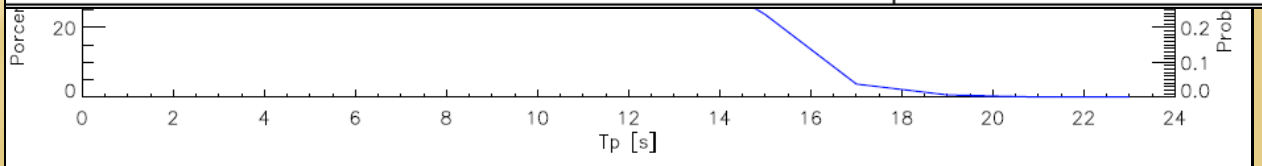
$\theta_0)$

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## c) Caracterización zona de transición

**Resultados de la transferencia.**
(Análisis de oleaje de mediano plazo)

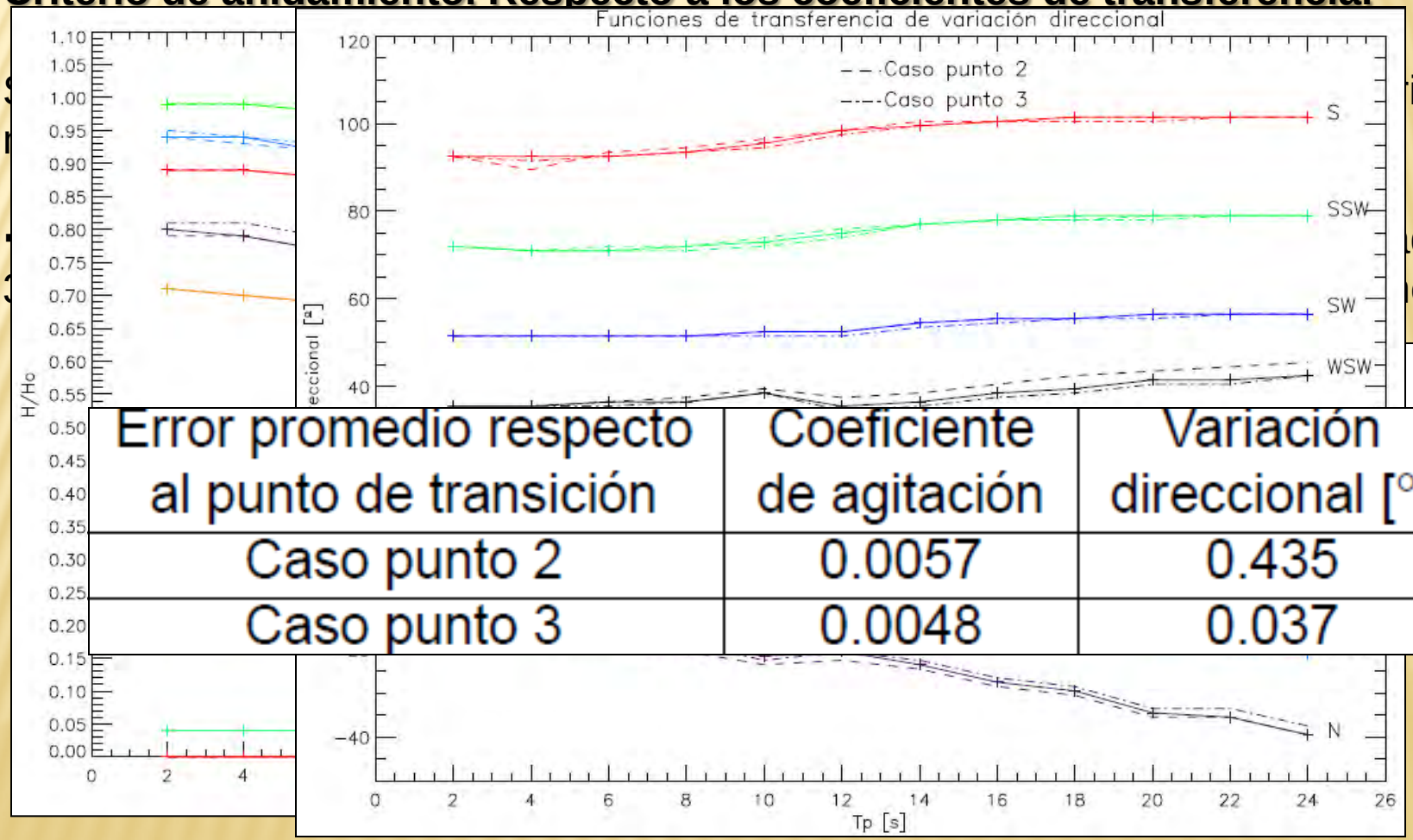


# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## c) Caracterización zona de transición

**Criterio de anidamiento. Respecto a los coeficientes de transferencia.**

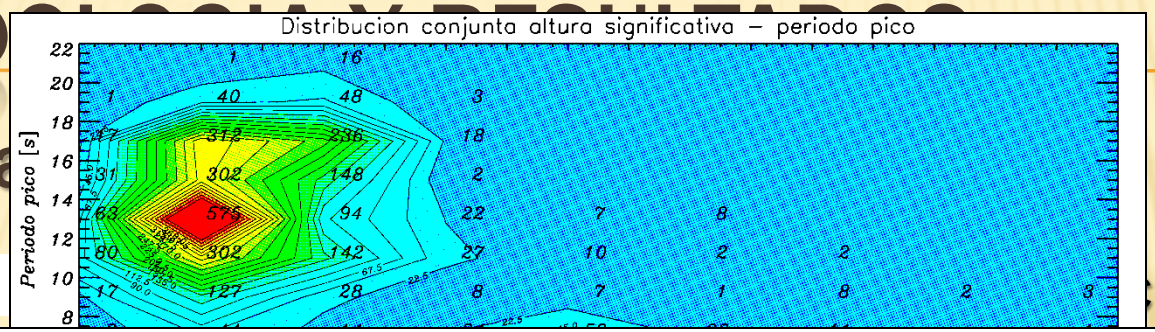



| Error promedio respecto al punto de transición | Coeficiente de agitación | Variación direccional [°] |
|---|---|---|
| Caso punto 2 | 0.0057 | 0.435 |
| Caso punto 3 | 0.0048 | 0.037 |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

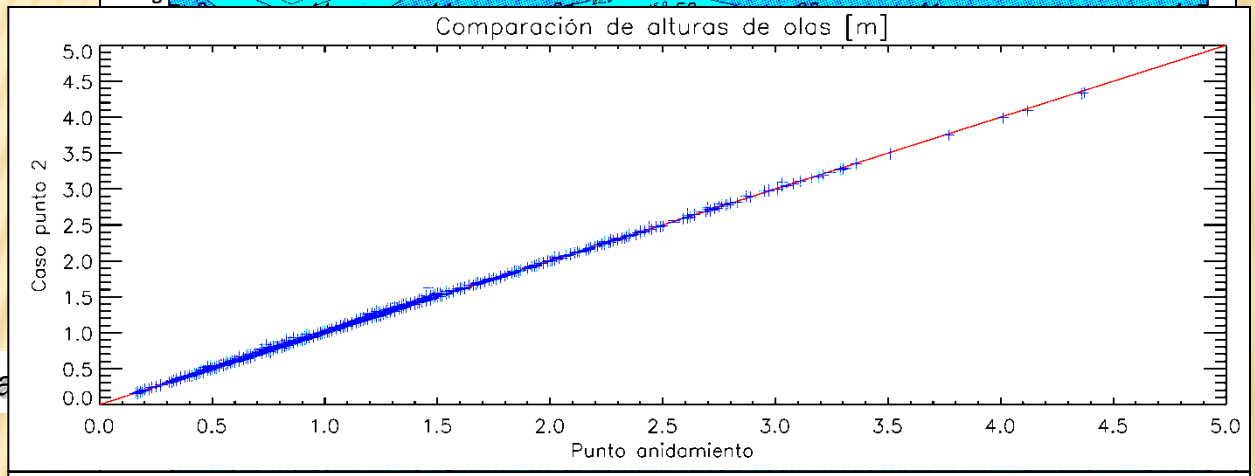
c) Ca

Caso Punto 3 ➔

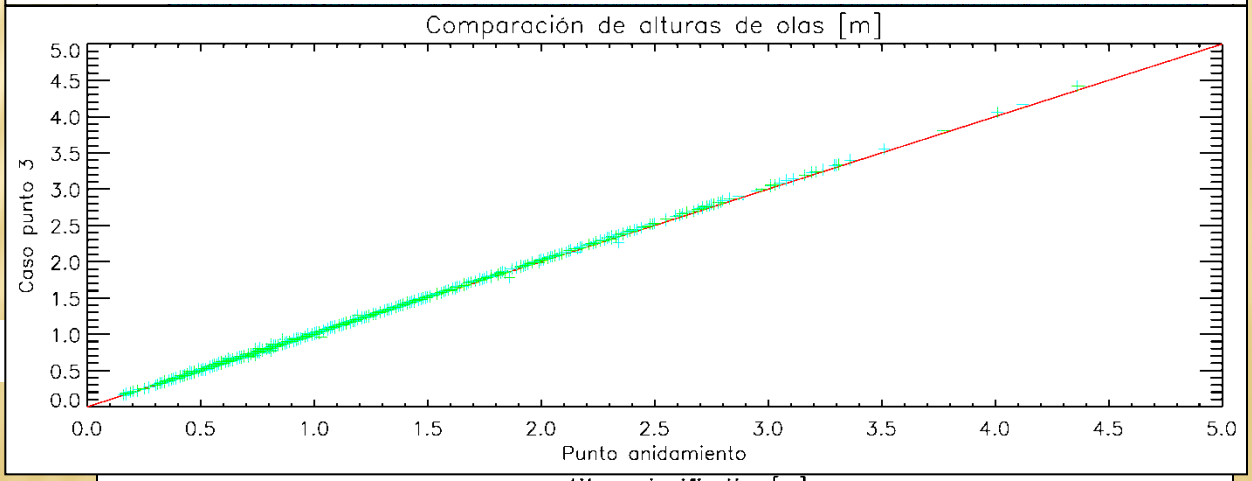



uasi purista.

Caso Punto anida



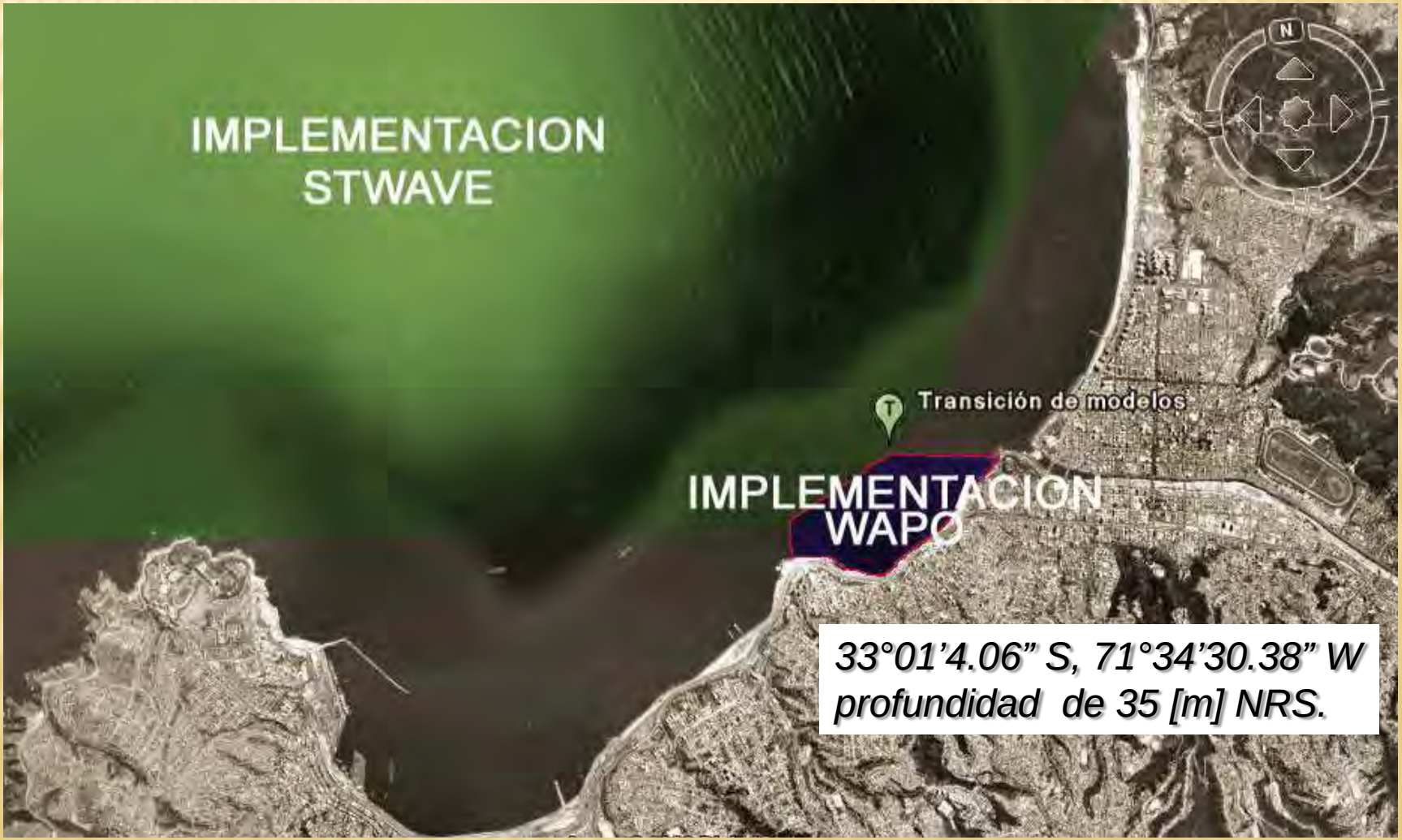

Caso Punto 2




*Altura significativa [m]*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio

**Implementación numérica de Oleaje.**

➔ Método de propagación: Parámetros de resumen.

(Supuesto: espectros en el punto de transición se concentran con bandas de energías estrechas)

➔ Modelo WAPO. (*Wave propagation on the coast* )

**Implementación numérica de Corrientes.**

➔ Utilizan los tensores de radiación del oleaje.

➔ Modelo COCO. (Corriente Costeras)

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio

**Modelo WAPO.** (*Wave propagation on the coast* )

- **Modelo Elíptico**: Problema de contorno.
  Planteamientos estacionario.
  Utilización de la teoría de Stokes.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$$

- Resuelve la ecuación modificada de la pendiente suave.

(no tiene restricciones en cuanto a la variación del talud)

- Propaga oleaje con el método de **Parámetros de Resumen.**
- Fenómenos que considera: **Refracción y Shoaling**.
  **Difracción.**
  **Reflexión.**
  **Disipación inducida por fondo.**
  **Rotura de oleaje (energía del oleaje)**
- Más información consultar *Silva [2008].*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio

**Modelo COCO.** (*Corrientes Costeras*)

- **Utiliza tensores de radiación** (modelo WAPO).
- **Resuelve ecuaciones promediadas en profundidad de Navier-Stokes**.
- Considera:

  Adecuadamente el flujo de masas de agua.

  Velocidad vertical despreciable.

  Presión considerada sólo como hidrostática.

- Más información consultar *Mendoza et al. [2007].*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio

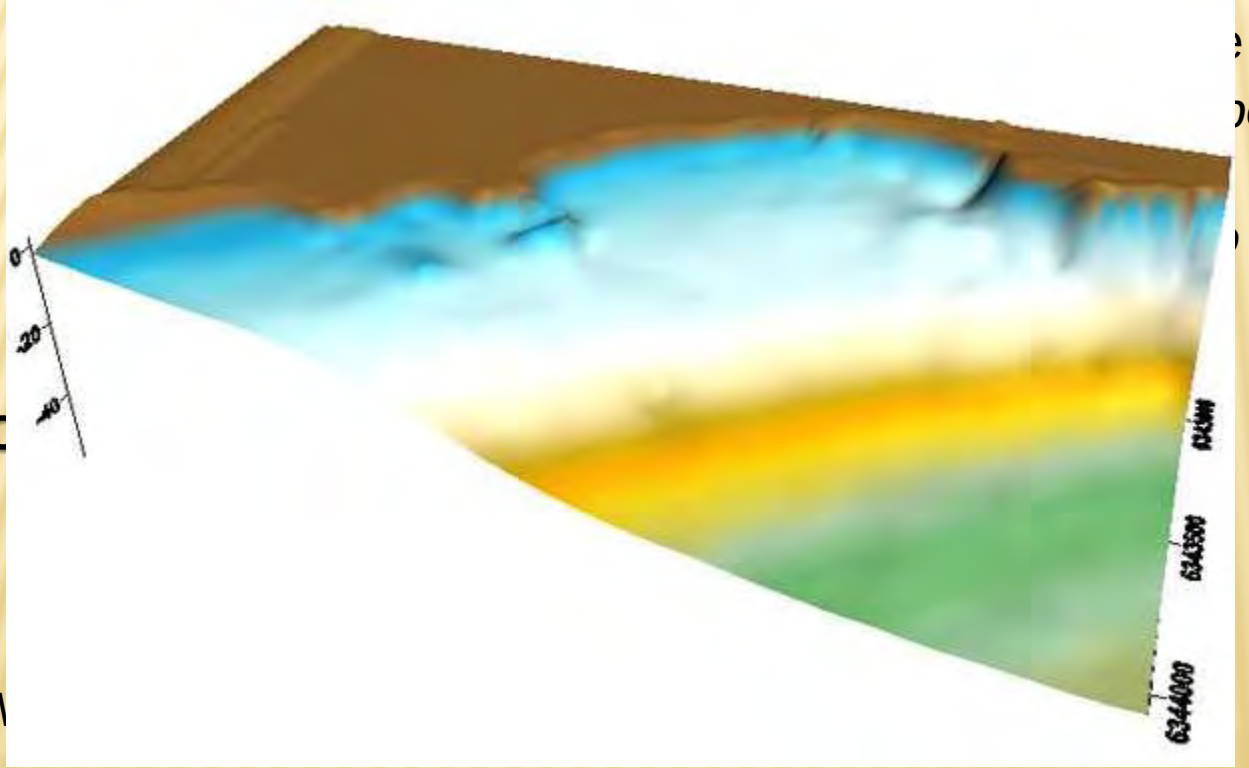
**Configuración Modelo WAPO.** (*Wave propagation on the coast* )

- Batimetría.*
- e poca profundidad).
- *box [2005], Mercado*
- *de propagación de*

**C**

- 
- 
- 

(M



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Imple de estudio

**Propagación de men (WAPO).**

- Respecto al su ción se concentran con bandas de ene

➔ Media ado, resulto el 92% correspondien gía (bandas estrechas).*

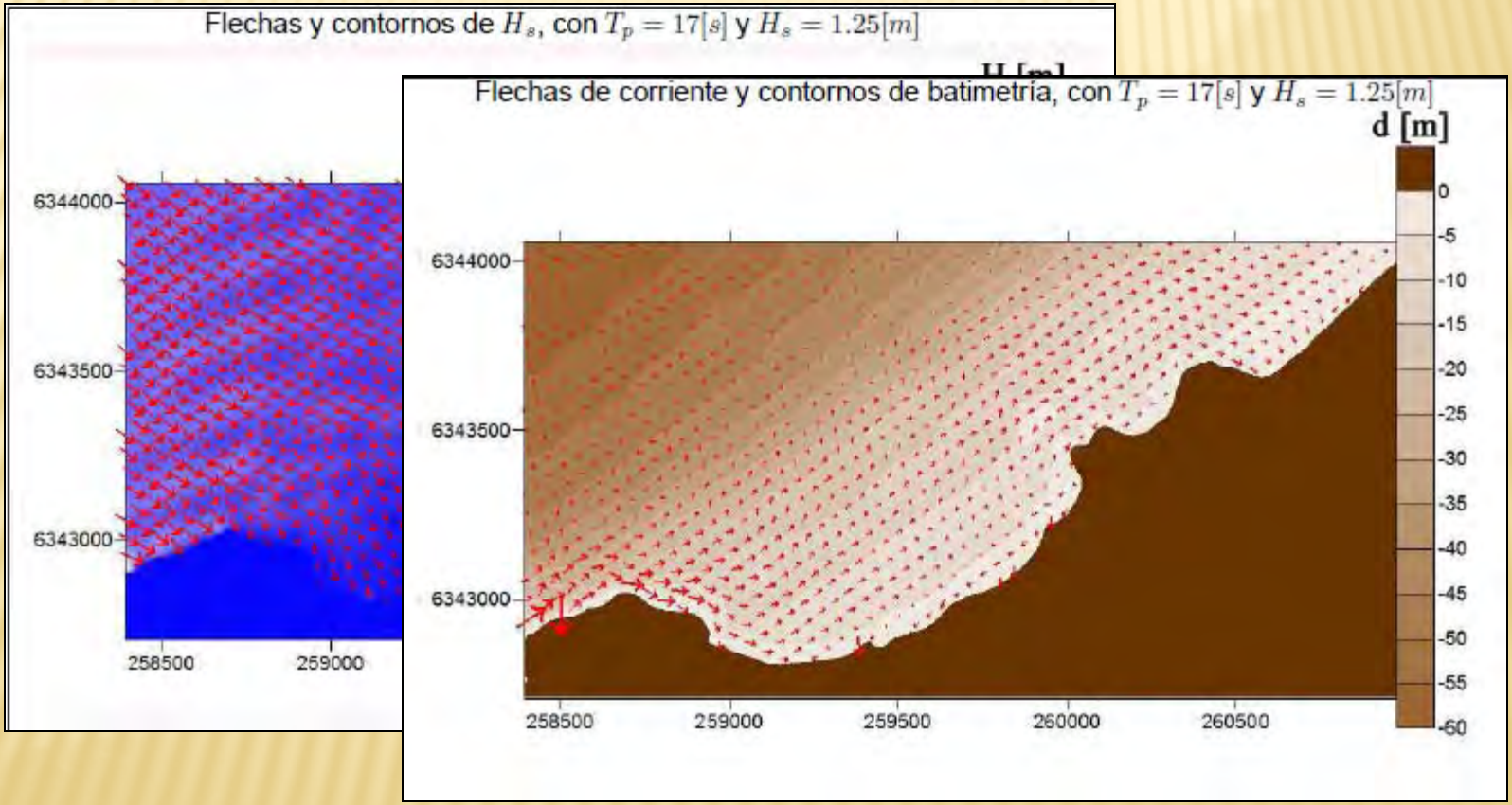
*Define que los p onal) tienen que ser mayores al 10% ndose que las celdas adyacentes sean decreciente, tanto en dirección como en*

| Dirección meteorológica [°] | Período pico [s] | Altura de ola [m] |
|---|---|---|
| 292.5-WNW | 7 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | | 1.75 |
| | | 2.25 |
| | | 2.75 |
| | | 3.25 |
| | 9 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | | 1.75 |
| | | 2.25 |
| | | 2.75 |
| | | 3.25 |
| | 11 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | | 1.75 |
| | | 2.25 |
| | | 2.75 |
| | 13 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | | 1.75 |
| | | 2.25 |
| | | 2.75 |
| | 15 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | 17 | 0.25 |
| | | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | | 1.75 |
| | 19 | 0.75 |
| | | 1.25 |
| | 21 | 1.25 |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## d) Implementación numérica zona de estudio

**Resultados.**

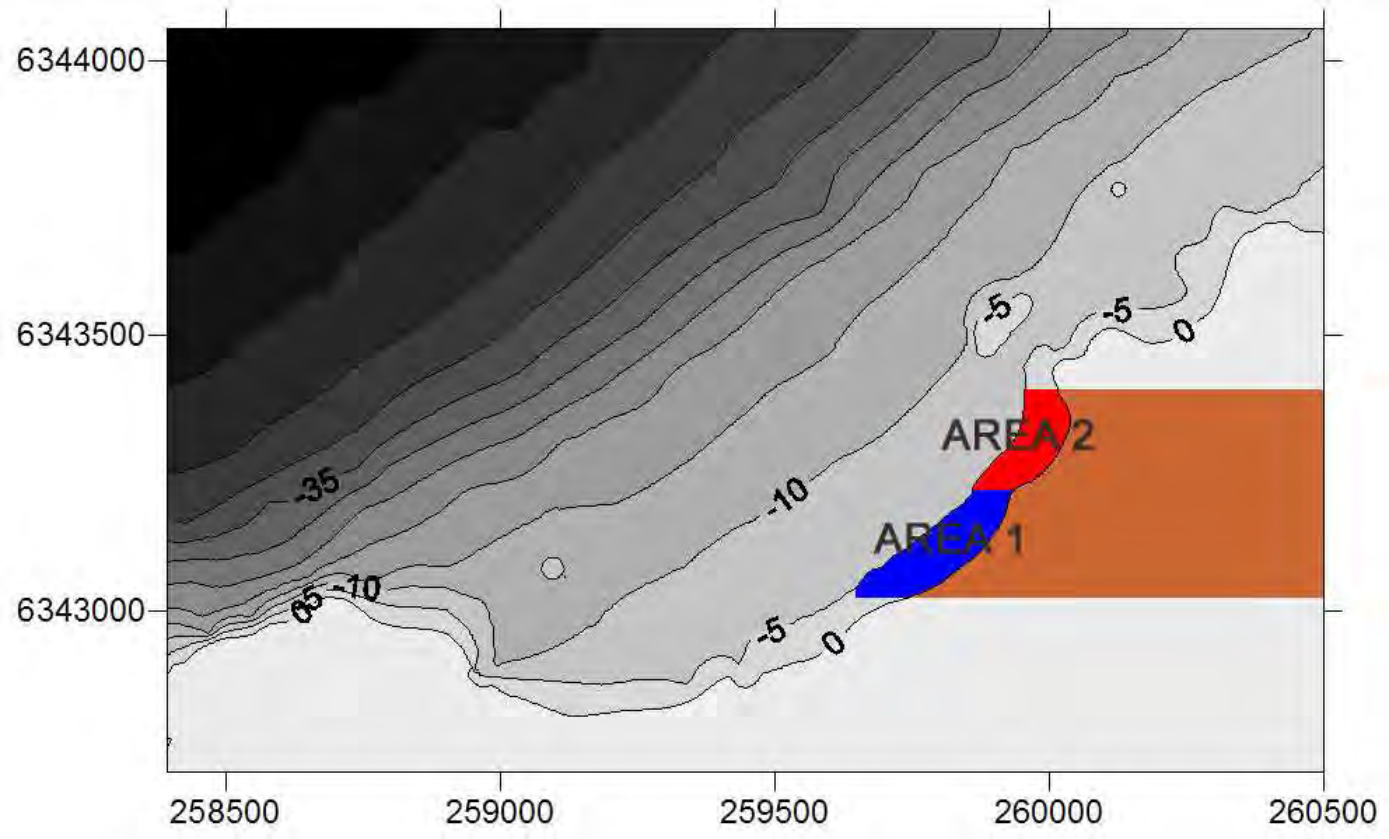


# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## e) Caracterización zona de estudio

**Extracción de los resultados del modelo.**

- Se definen dos áreas en la playa en estudio.*

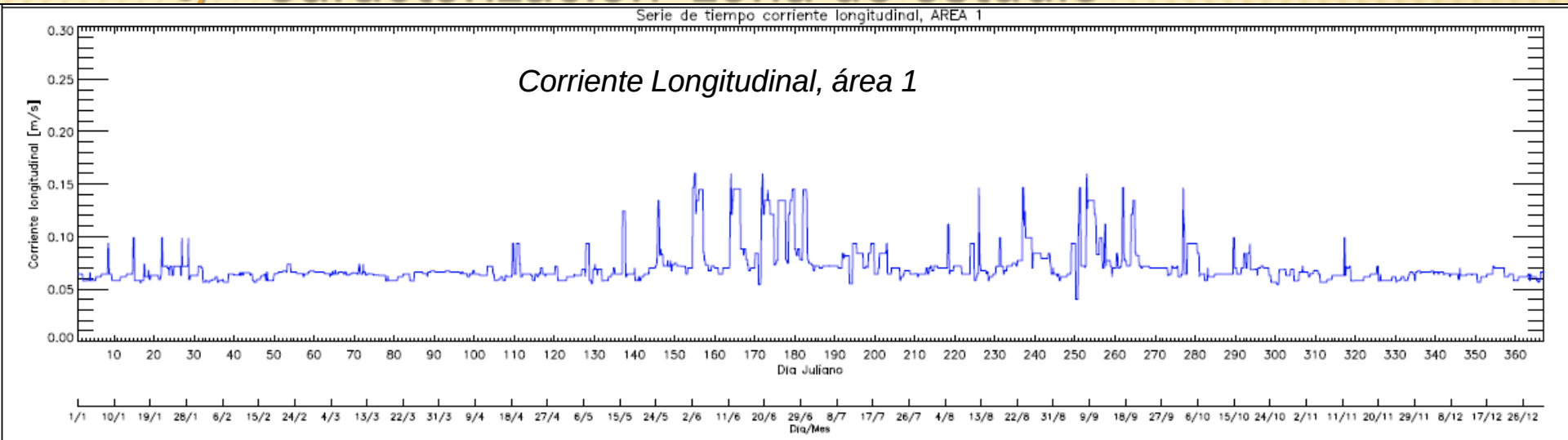



corriente.

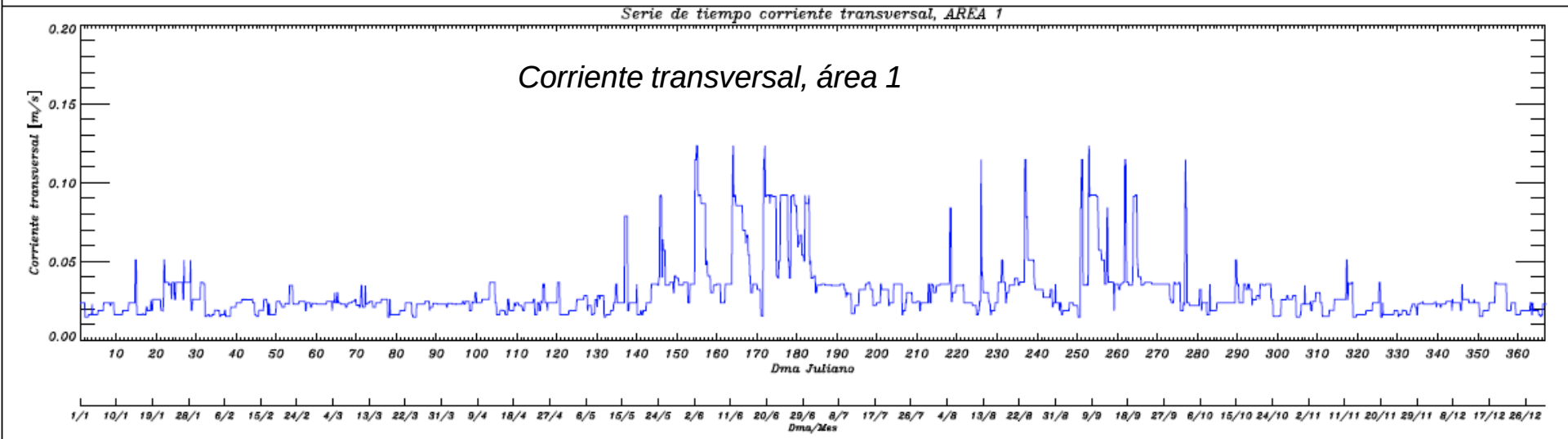
a y retorno).[$Vc_{tran}$]

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## e) Caracterización zona de estudio



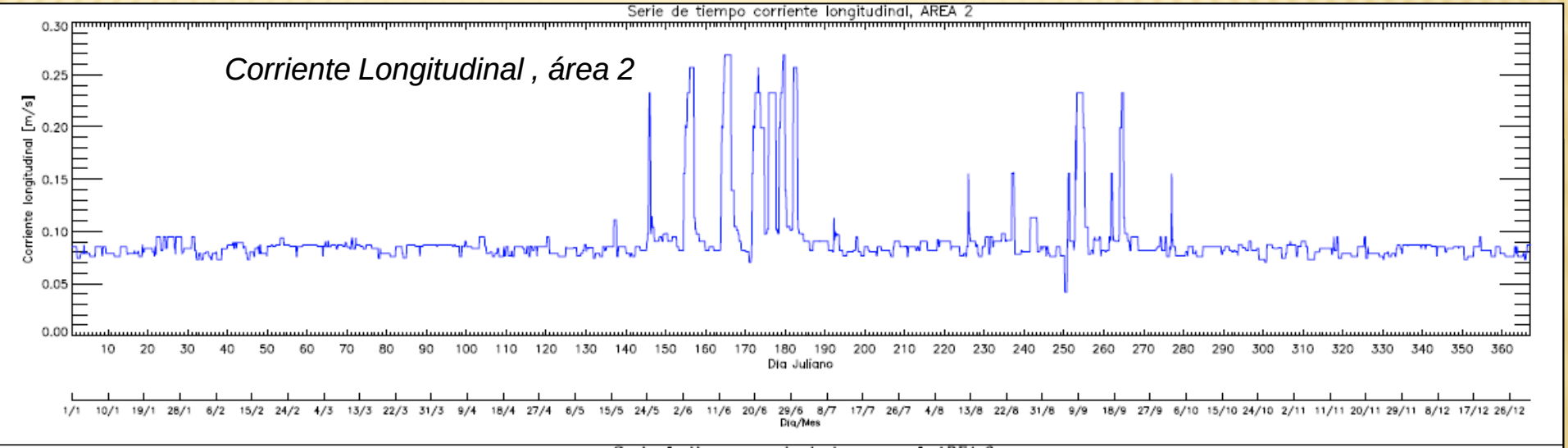

*Corriente Longitudinal, área 1*

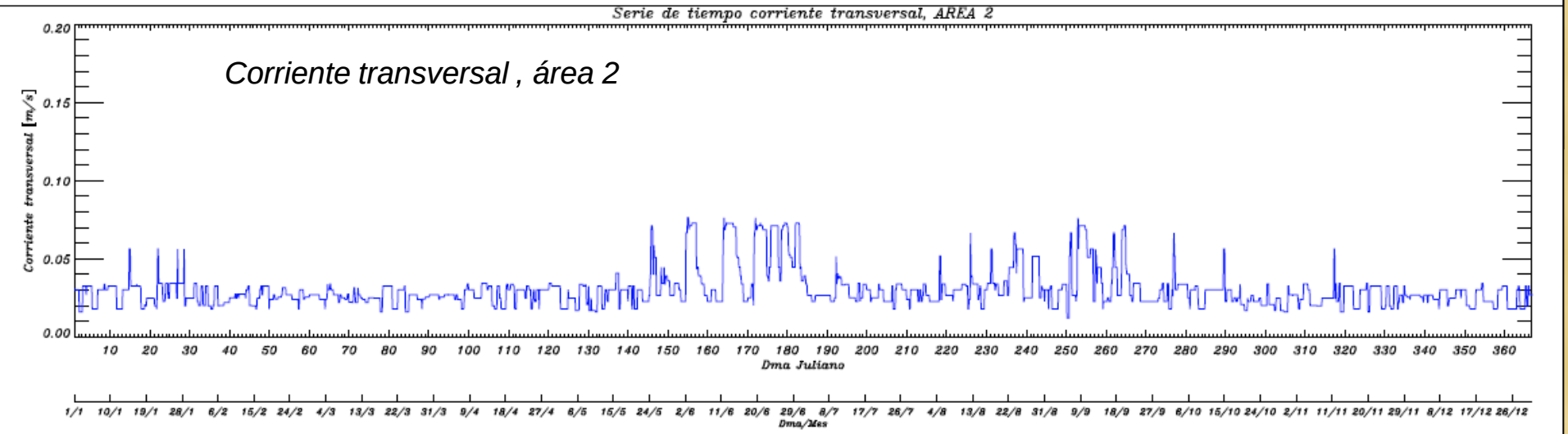



*Corriente transversal, área 1*

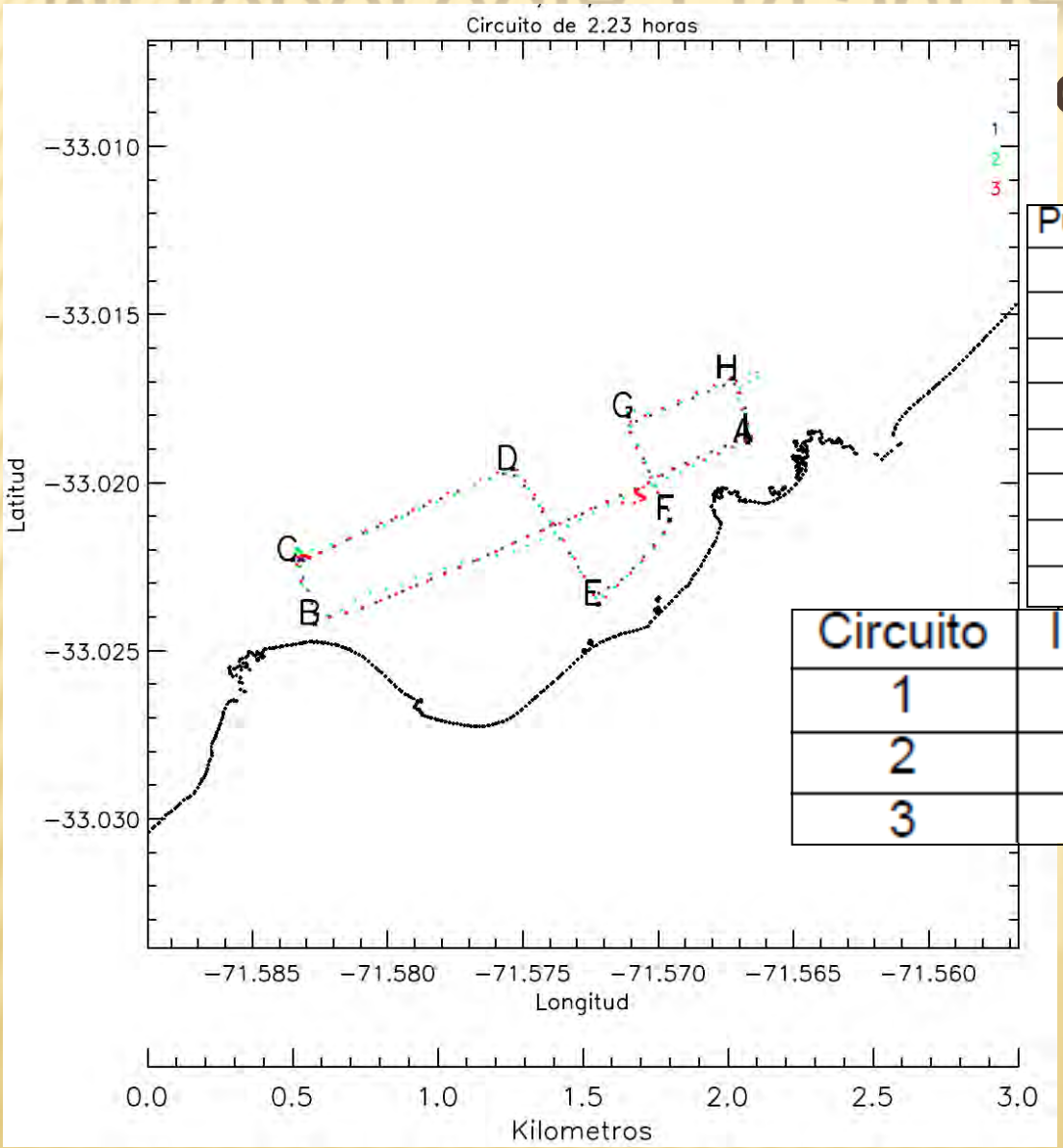
# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## e) Caracterización zona de estudio



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS




## corriente In situ

o

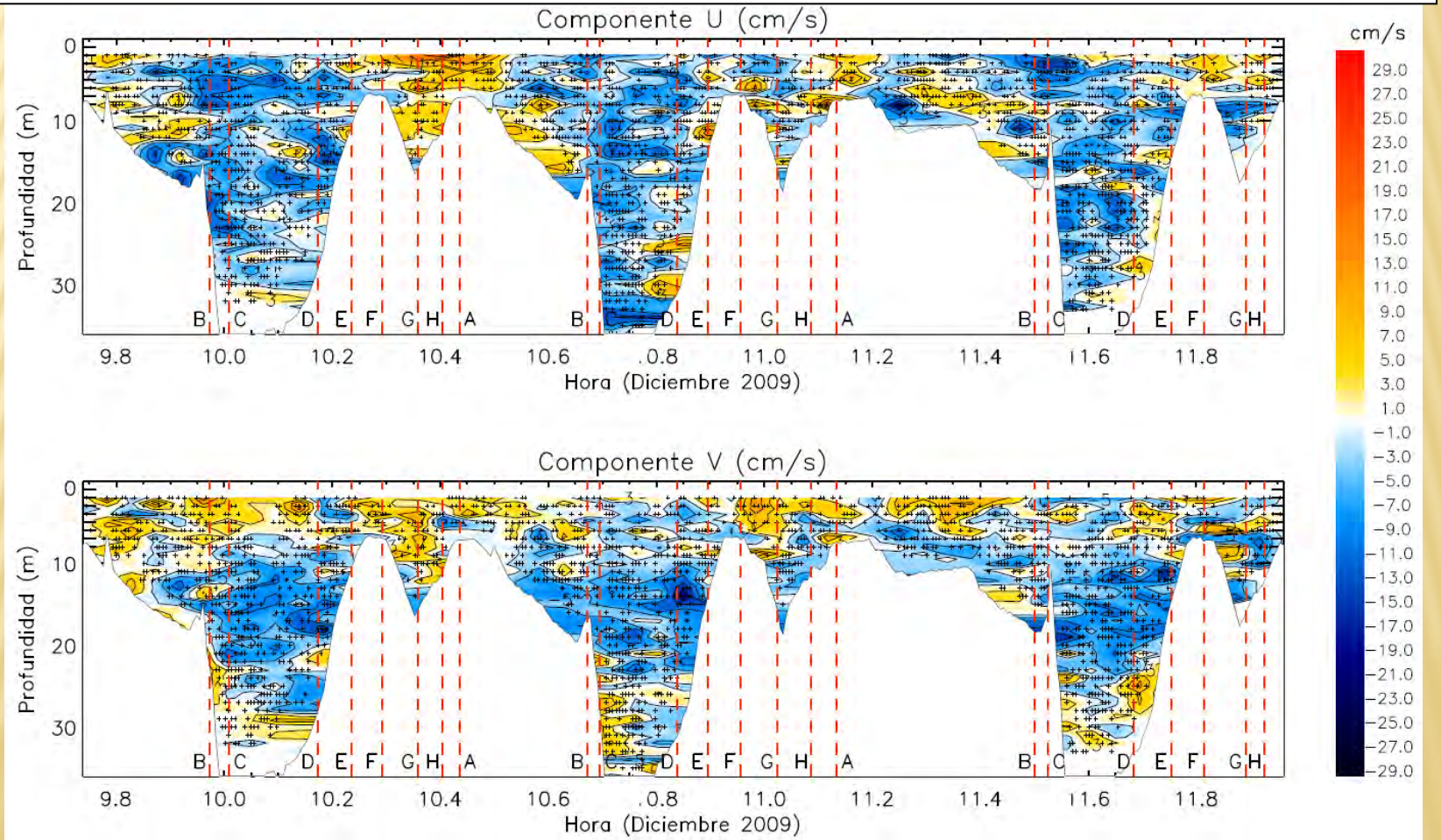
ados

| Punto | Latitud [°] | Longitud [°] |
|---|---|---|
| A | -33.018800 | -71.566680 |
| B | -33.024200 | -71.582690 |
| C | -33.022301 | -71.583494 |
| D | -33.019599 | -71.575369 |
| E | -33.023620 | -71.572231 |
| F | -33.021107 | -71.569576 |
| G | -33.018029 | -71.571105 |
| H | -33.016898 | -71.567243 |

| Circuito | Inicio [horas] | Termino [horas] |
|---|---|---|
| 1 | 9:43 | 10:26 |
| 2 | 10:26 | 11:08 |
| 3 | 11:08 | 11:57 |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

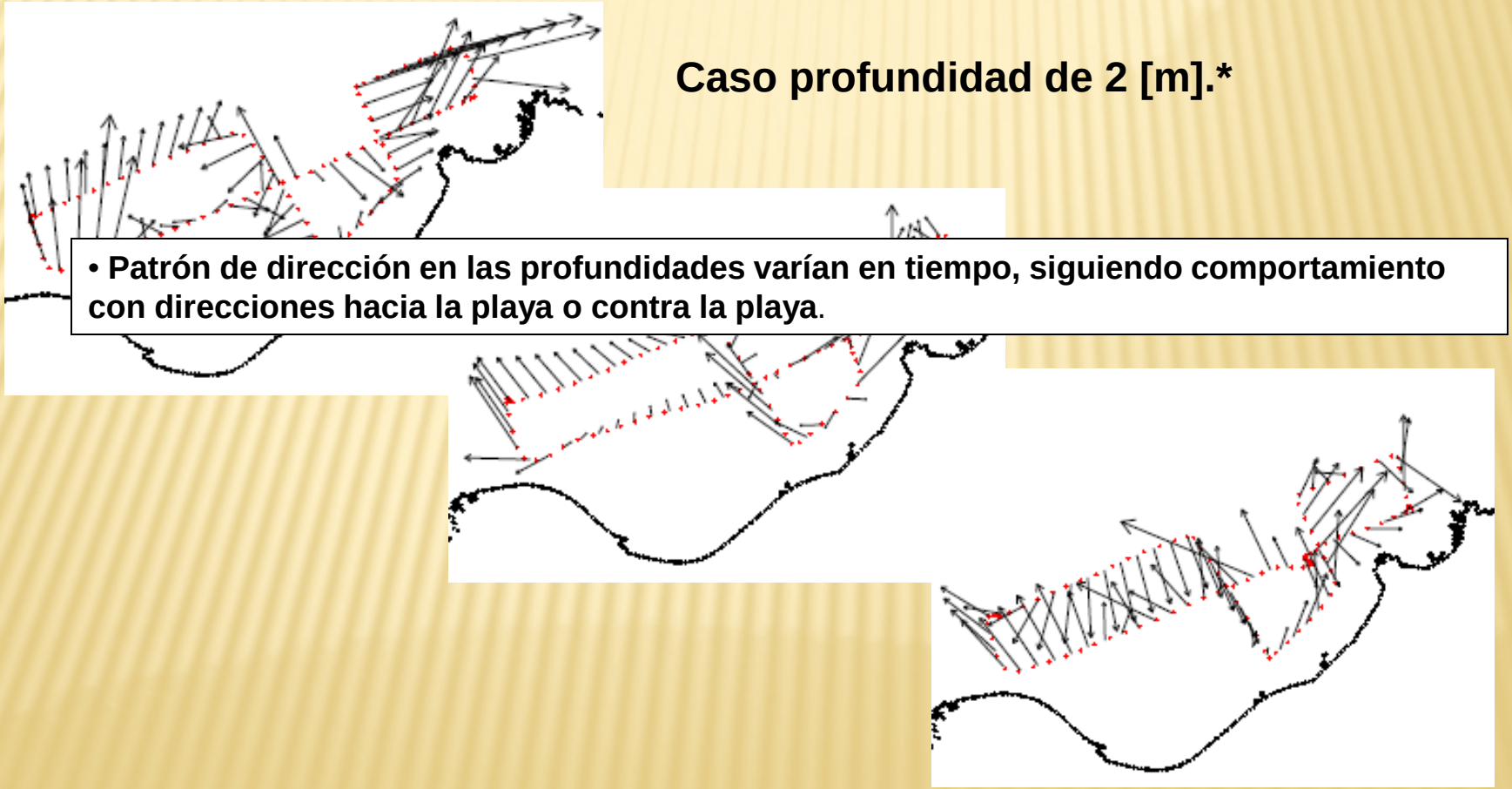
- U y V < 11 [cm/s]
- Perfiles de profundidades menores, predominancia de U y V positivos. ➔ Flujo sale de la playa.
- Perfiles con profundidades mayores U y V negativos.➔ Flujo entrante a la playa.
- Variabilidad de U y V en tiempo, sentido de rotación anti horario.



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**Resultados del ADCP remolcado.**



**Caso profundidad de 2 [m].***

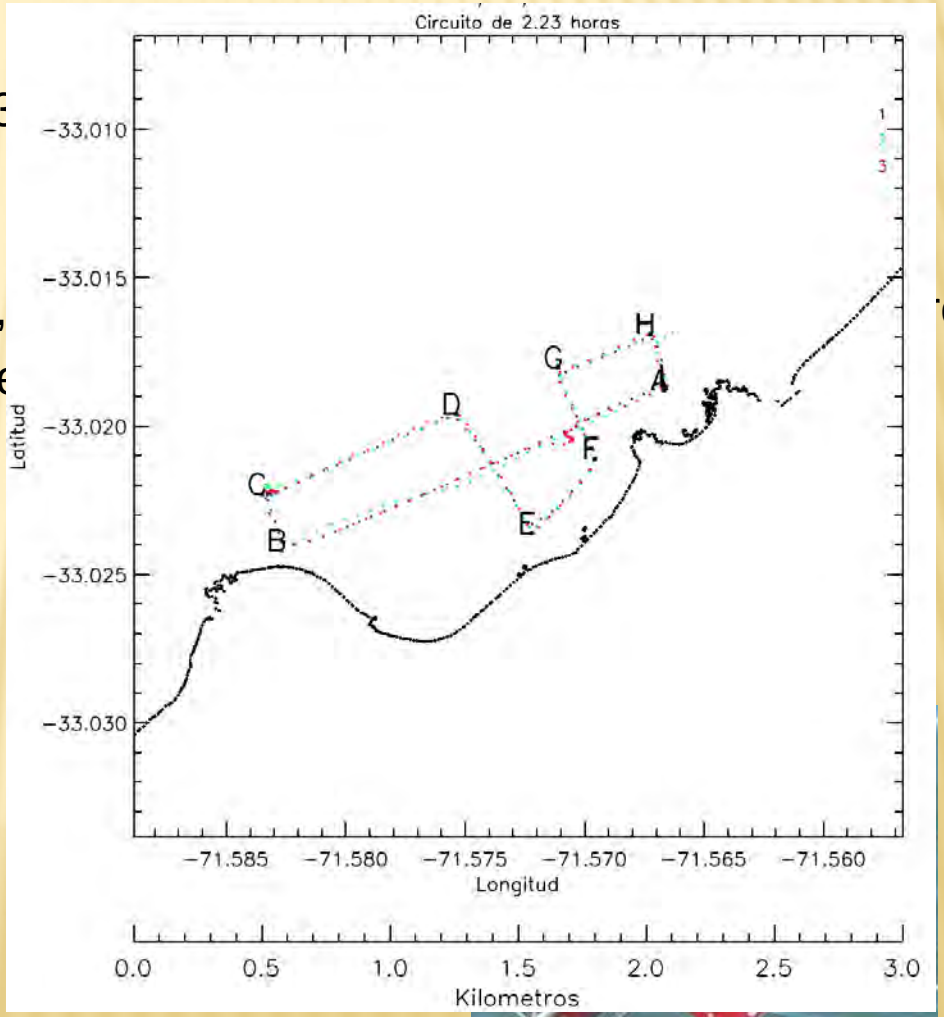
- **Patrón de dirección en las profundidades varían en tiempo, siguiendo comportamiento con direcciones hacia la playa o contra la playa.**

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**Correntómetro**

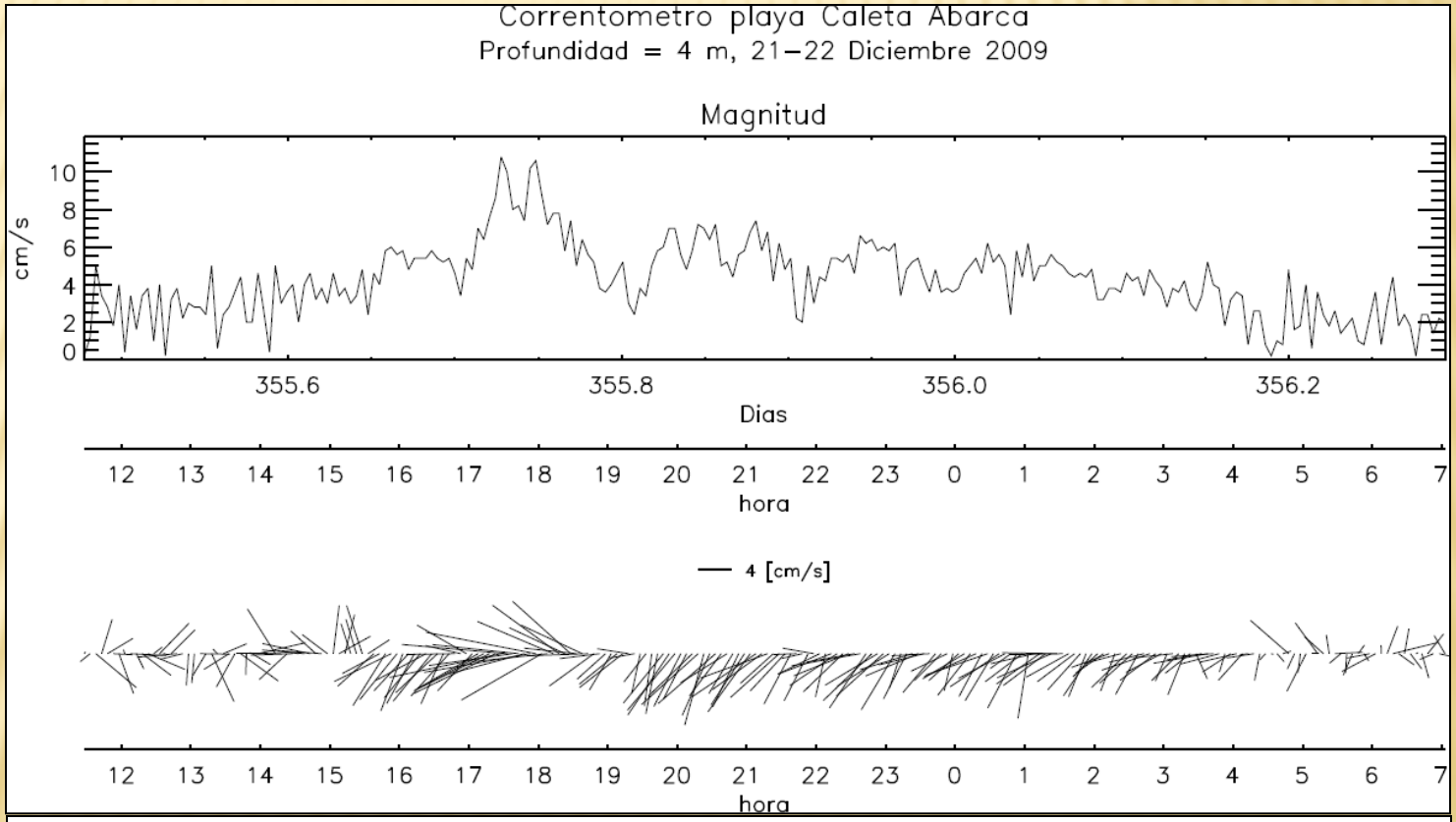
- Ubicación en las coordenadas 33
  *(cercano intersección AB y GF )**
- Profundidad de 4 [m].
- Inicio el día 21 a las 11:28 horas, e).
- Registró datos cada 5 minutos de



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**Resultados Correntómetro.**




- **Máximos valores de velocidad en magnitud son del orden de 10 [cm/s].**
- **Direcciones SW y W dominantes (medición).**

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

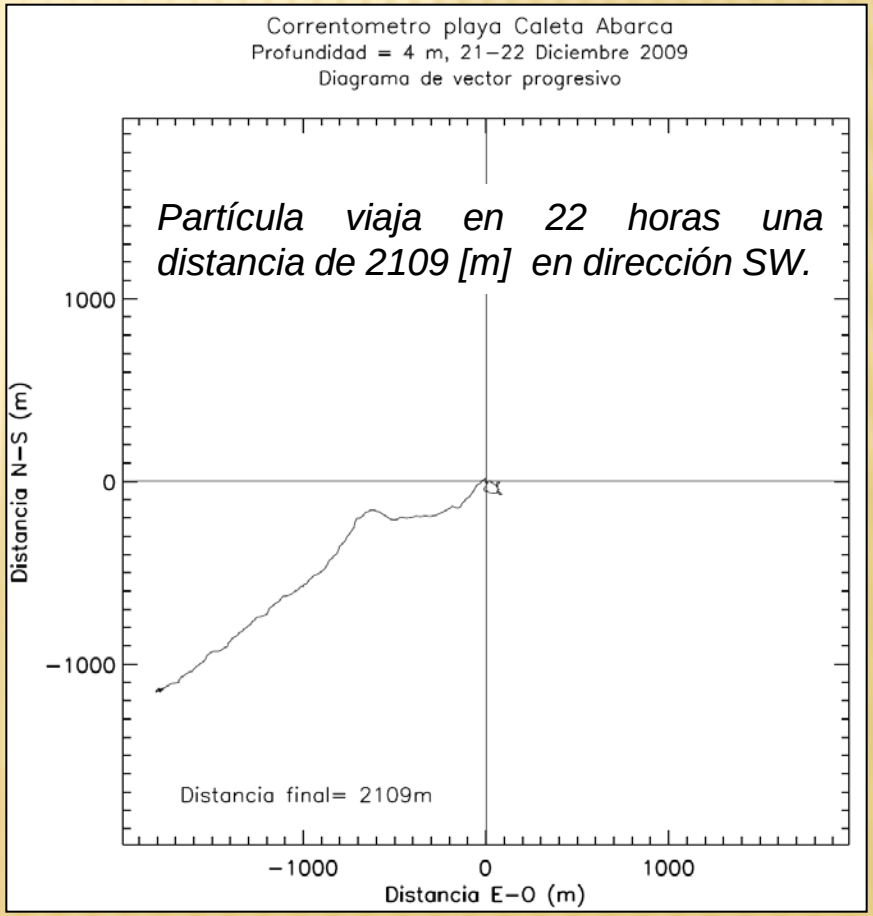
**Resultados Correntómetro.**

*Importancia de la Marea en las corrientes*

| Componente | U | V |
|---|---|---|
| Residual [cm/s] | -1.5 | -1.3 |
| Amplitud M2 [cm/s] | 1.5 | 0.5 |
| Amplitud K1 [cm/s] | 3.7 | 1.6 |
| % Explicado por Marea | 52.1 | 24.3 |

Efecto de la marea es relativamente **bajo** en **V** y **moderado** en **U.**

*Diagrama de vector progresivo.*

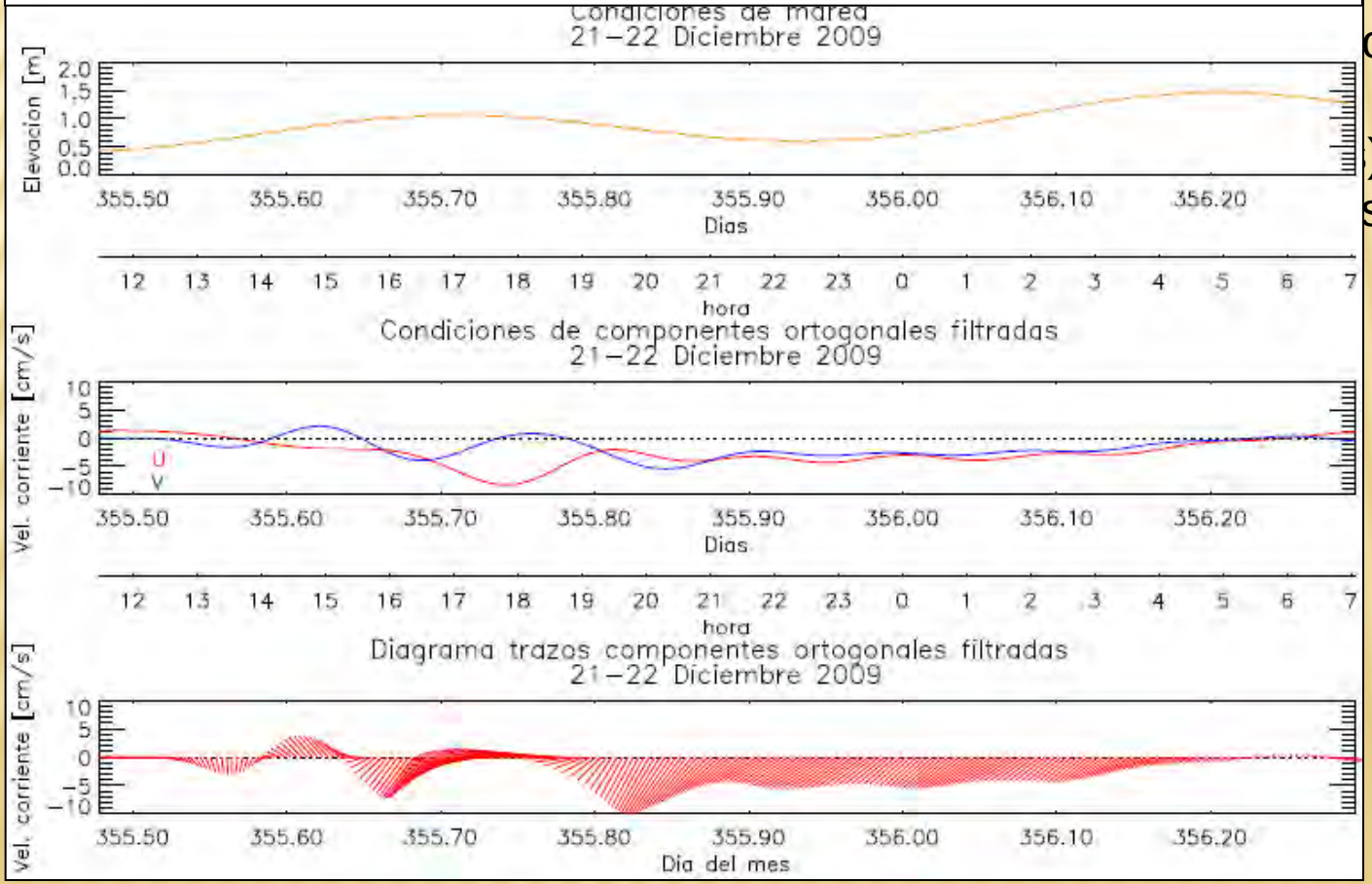


# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**Resultados Correntómetro.**

➔Corriente inducida por marea mantiene magnitudes bajas.




os y poder medio

) y la máxima en

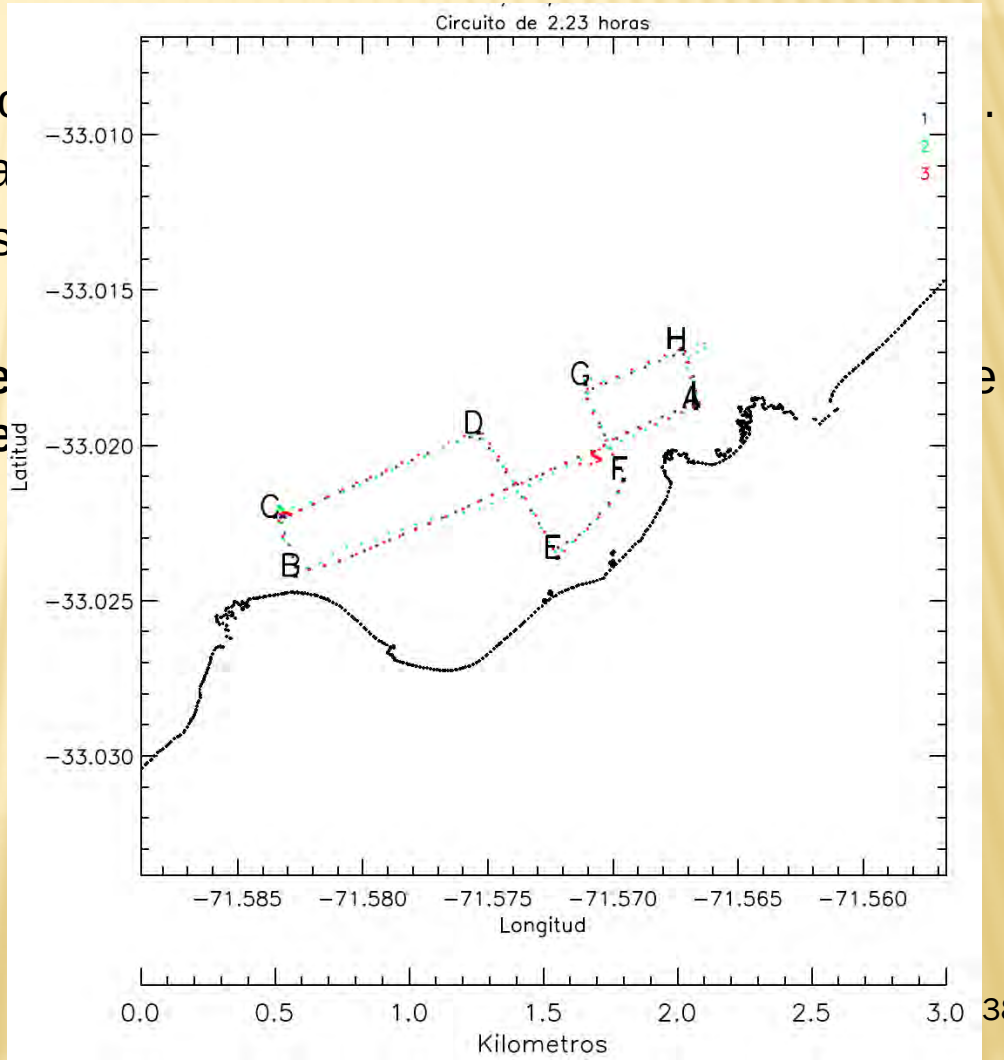
s].

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**CTD**

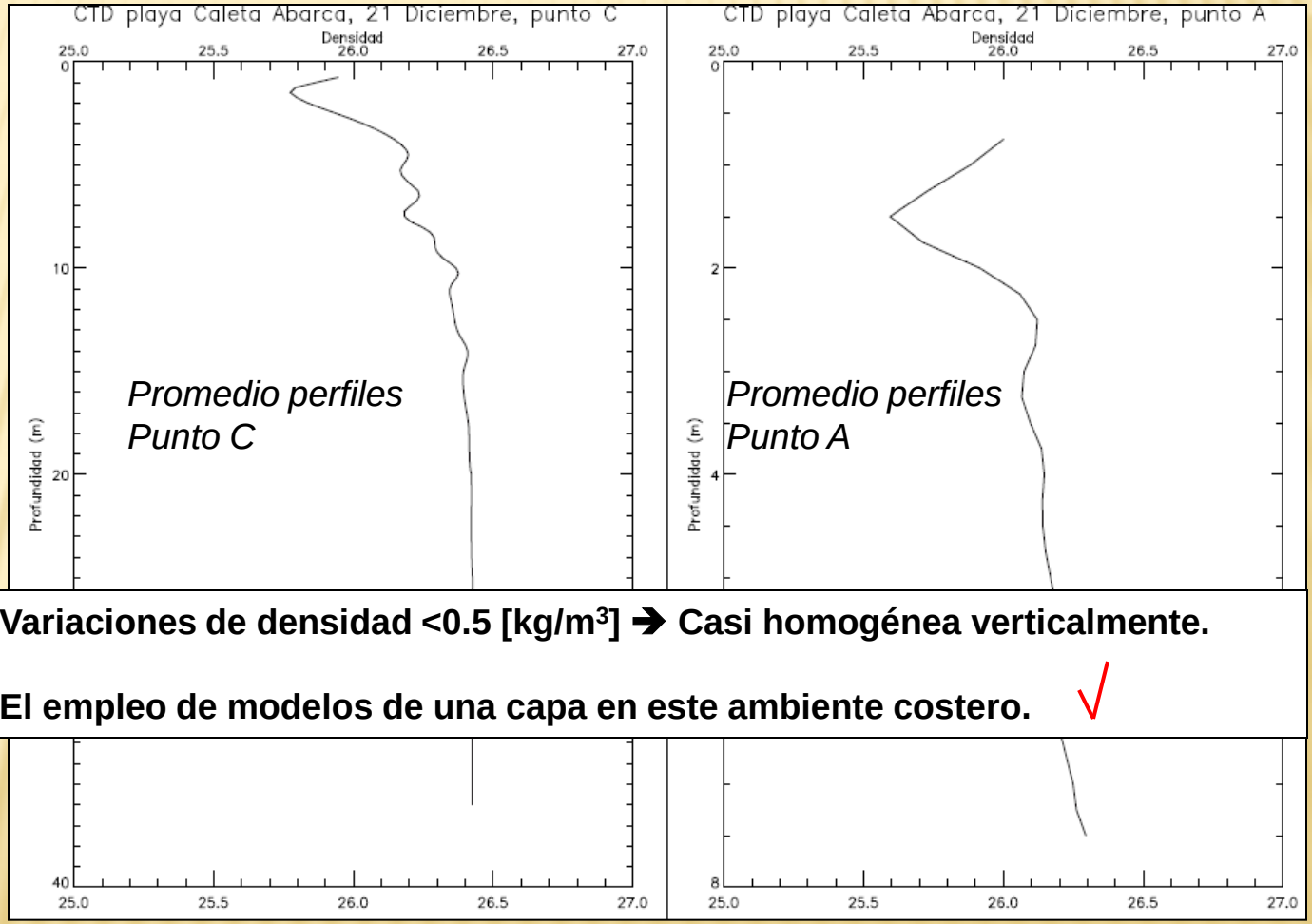
- Registra 4 datos de T°, S y P po .
- Densidad calculada por la Ecua
- **Tres mediciones** en los puntos
- Finalidad medir densidades en
- Si la columna es **verticalmente** e **una capa** de flujo para la **imple**



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## f) Caracterización datos de corriente In situ

**Resultados CTD**




**Variaciones de densidad <0.5 [kg/m$^3$] ➔ Casi homogénea verticalmente.**

**El empleo de modelos de una capa en este ambiente costero.** √

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## g) Validación (Primera aproximación)

**Método utilizado.**

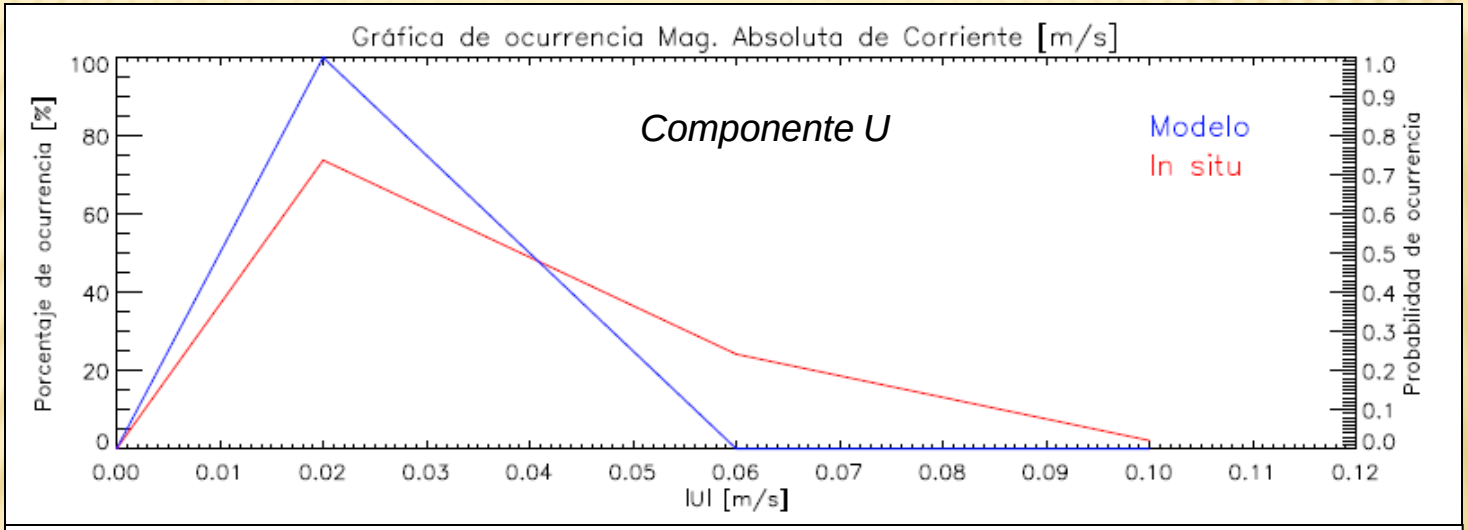
- Datos *in situ* son de un intervalo de tiempo reducido (**minutos**) del año 2009.
- Datos de la implementación numérica son cada **tres horas** del año 2000.

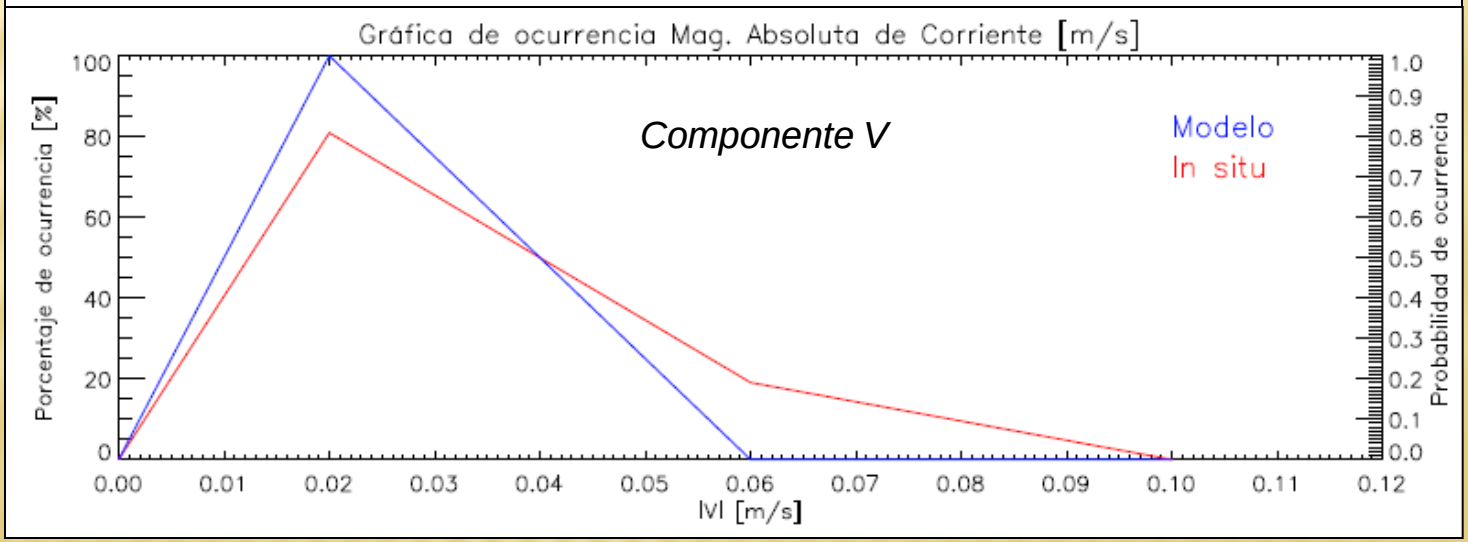
➔ Datos del **correntómetro** se **comparan** con los valores procesados del **modelo** numérico del **mes de diciembre,** correspondientes al mismo punto.

*(Gráfica de ocurrencia)*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## g) Validación (Primera aproximación)



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## g) Validación (Primera aproximación)

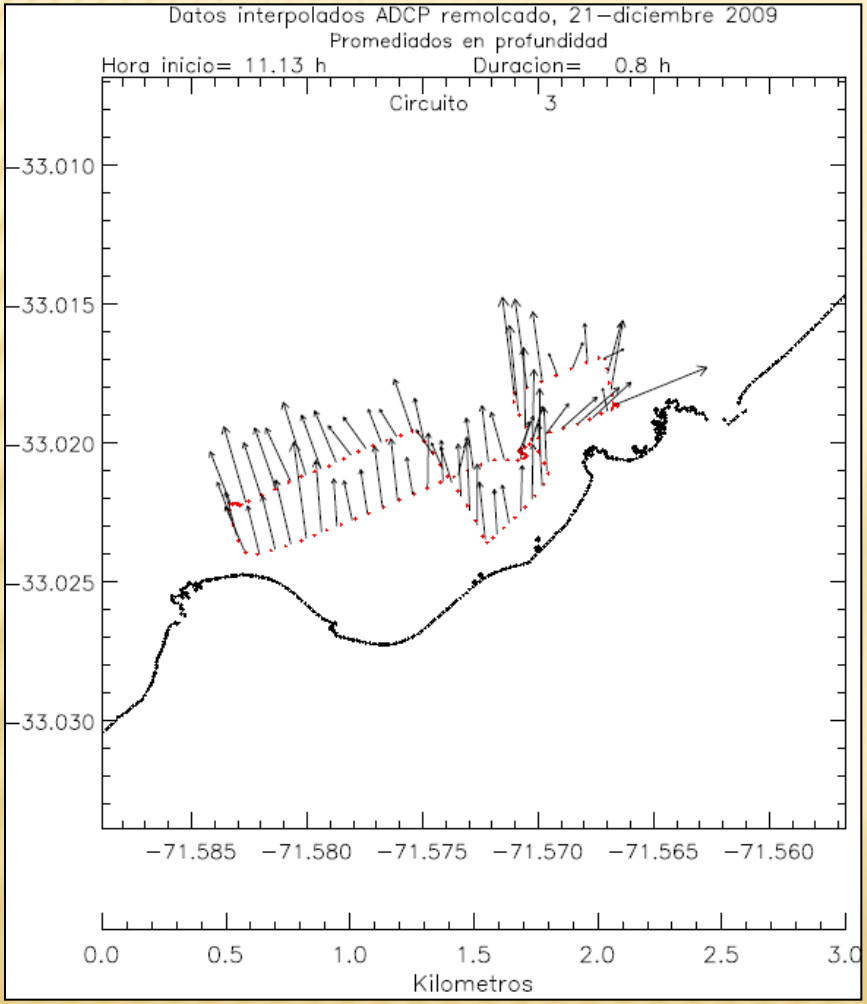
**Método utilizado.**

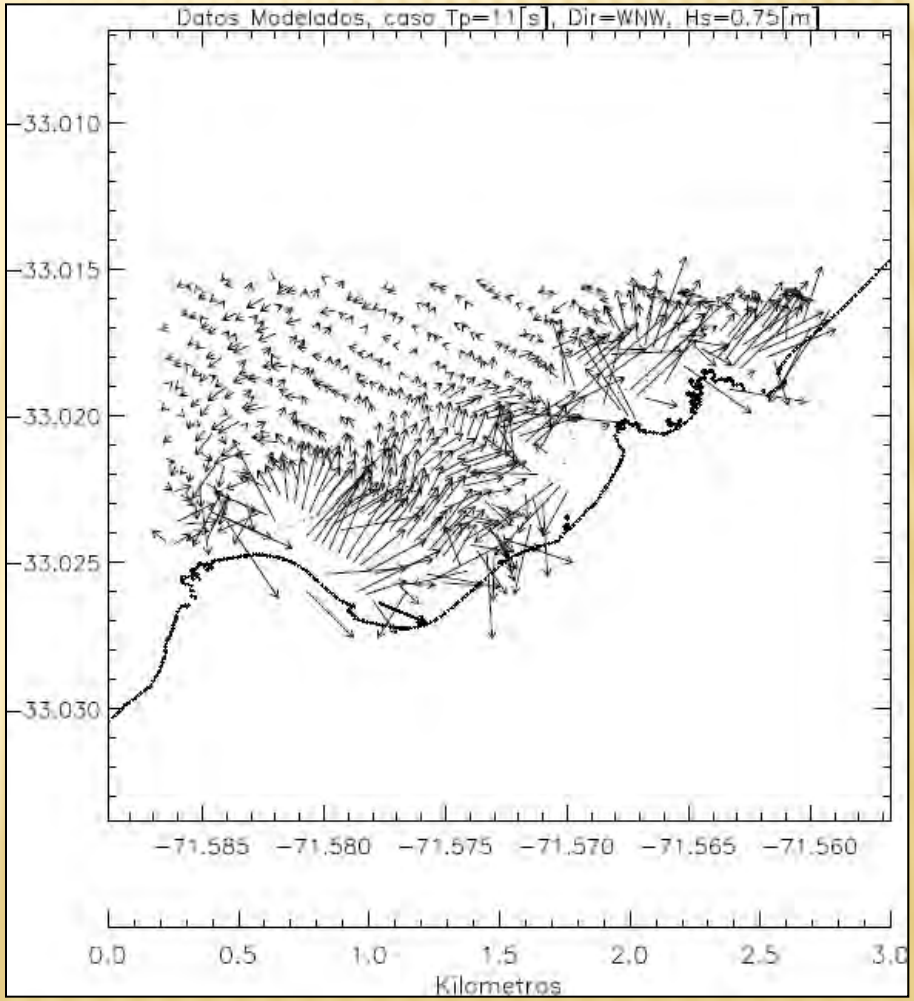
➔ Datos del ADCP remolcado, se utilizaron para comprender el comportamiento de las direcciones de la corriente en la cercanías de la playa.

*(Promediados en vertical)*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## g) Validación (Primera aproximación)



# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## h) Desarrollo del criterio operativo del baño

- Se define el criterio en base a:

➔ Altura de ola (*Documento temático de Regeneración de playas [2007c]).*

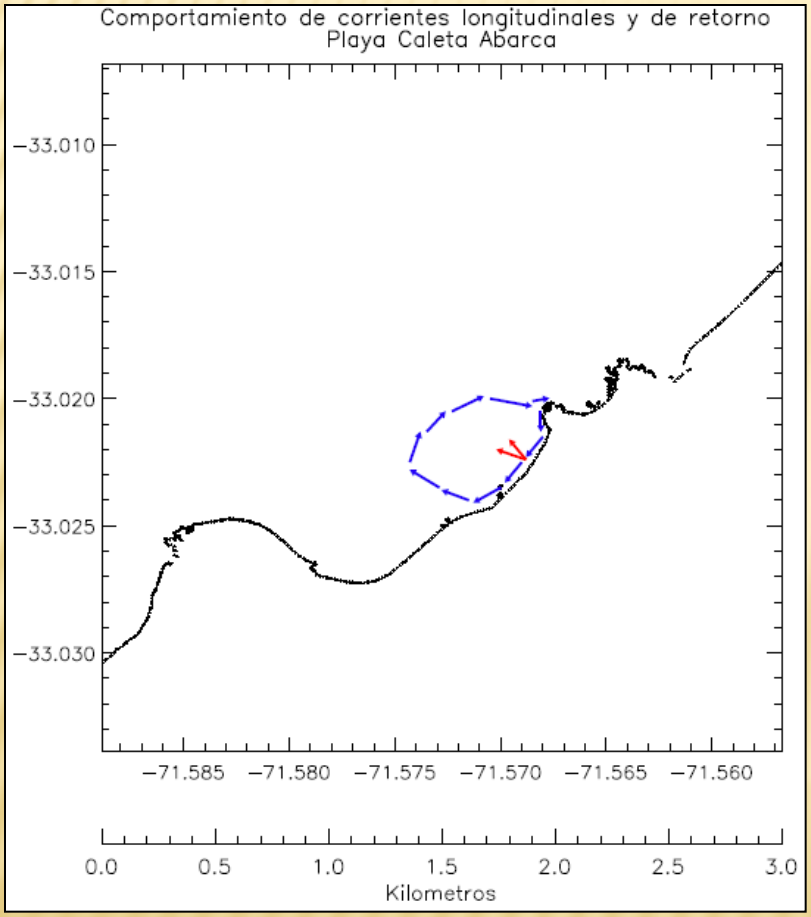
➔ Corrientes (*NOAA;* www.erh.noaa.gov/er/akq/marine/rip.php) .

Se obtiene:

| Velocidad de corriente $[m/s]$ | Alturas de olas $[m]$ | | |
|---|---|---|---|
| | 0.00-0.50 | 0.50-1.00 | $\geq$ 1.00 |
| 0.0-0.5 | Muy Operable | Operable | No operable |
| 0.5-1.5 | Operable | Operable | No operable |
| $\geq$ 1.5 | No operable | No operable | No operable |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## i) Análisis operativo del baño




➔ Para las áreas 1 y 2, las magnitudes de corrientes no afectan la operatividad del baño en Caleta Abarca.

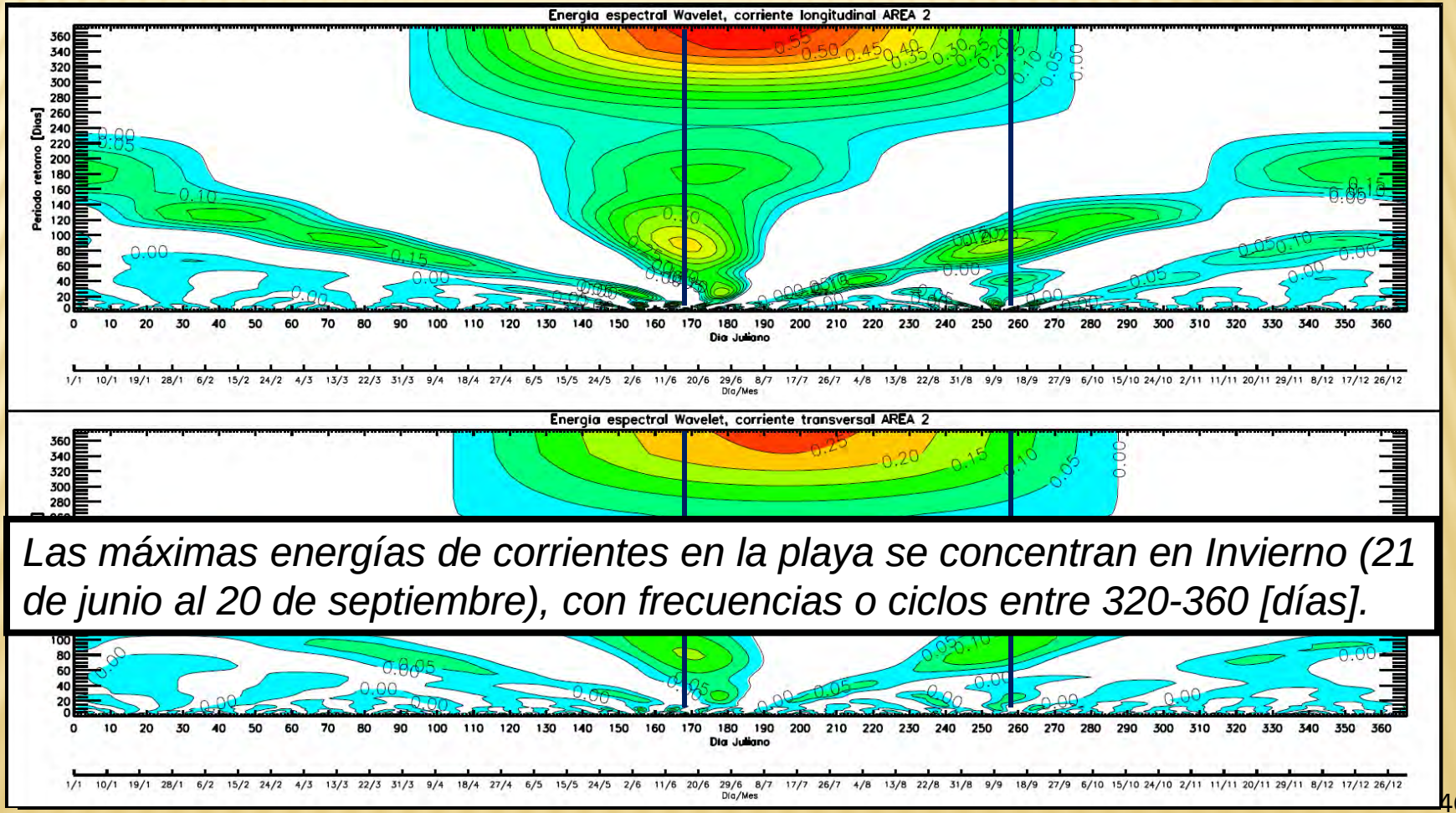
➔Las alturas de olas limitan la operatividad.

| $H_s$ $[m]$ | área 1 y 2 [%] |
|---|---|
| 0.00-0.50 | 0.79 |
| 0.50-1.00 | 97.6 |
| $\geq$1.00 | 1.61 |

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## i) Análisis operativo del baño

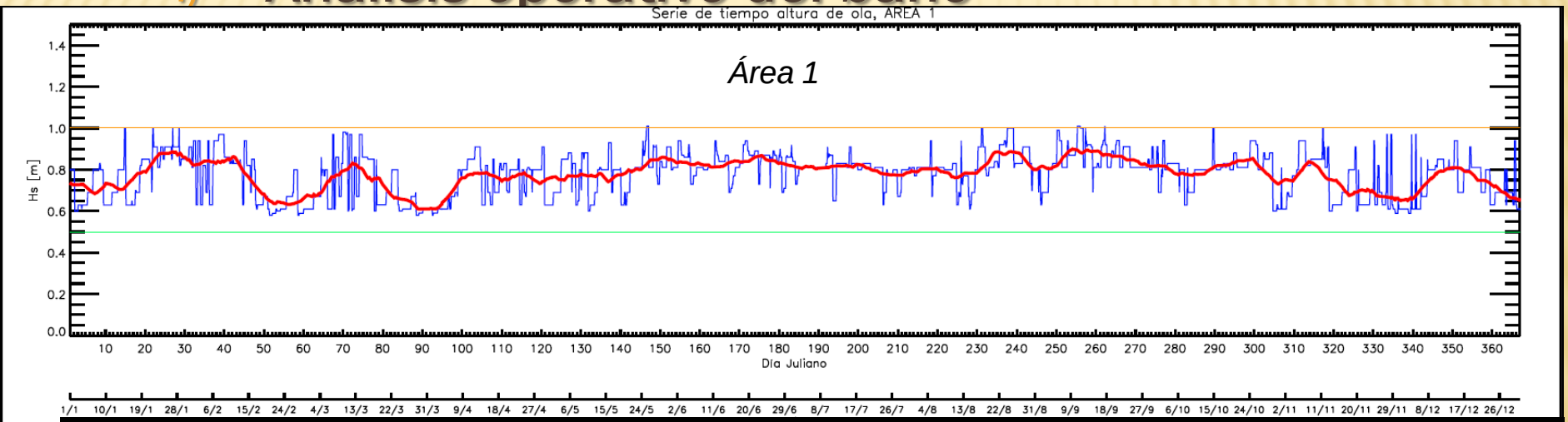
*(Corriente: WAVELET con un filtro tipo Morlet para las corrientes.)* **Área 2**



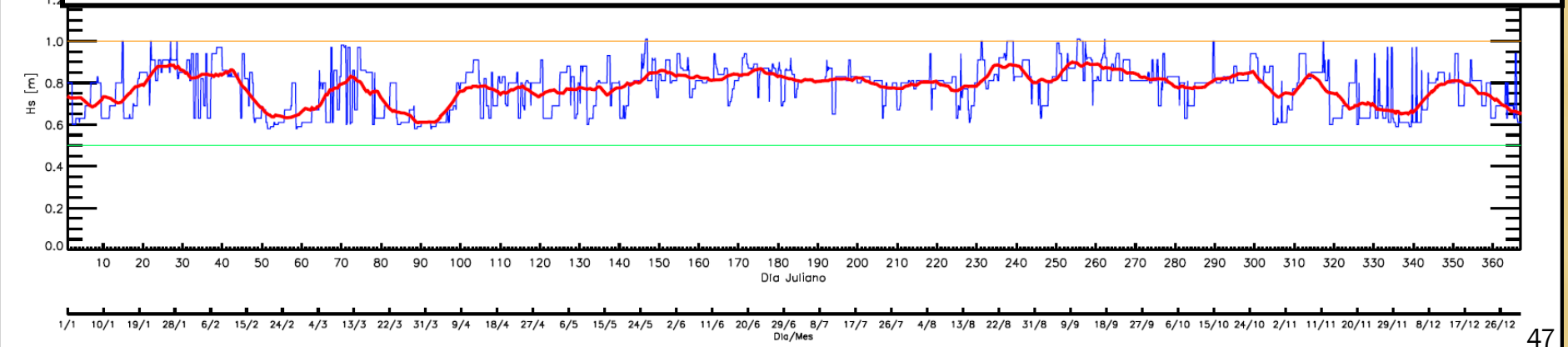

*Las máximas energías de corrientes en la playa se concentran en Invierno (21 de junio al 20 de septiembre), con frecuencias o ciclos entre 320-360 [días].*

# METODOLOGÍA Y RESULTADOS

## i) Análisis operativo del baño




*Las alturas de olas estas sobrepasan ocasionalmente el criterio operativo en tiempos puntuales.*



# CONCLUSIÓN

**Aproximación de oleaje al punto de transición (35 [m]).**

- **Oleaje medio proviene** de las direcciones **WNW y N** en mayor porcentaje.
- Alturas de olas y periodos picos entre **0.50-1.50 [m] y 12-14 [s**].

**Propagación de oleaje a playa Caleta Abarca.**

- La **implementación numérica resuelve de manera adecuada** el campo de **magnitud de corrientes** (datos *in situ*).
- El método de transferencia de **Parámetros de Resumen**, es una buena aproximación para este caso (**92% de espectros de un solo pico**).
- **Máximas variaciones de alturas** de olas en **Verano** y de **Corrientes en Invierno**.
- Alto porcentaje de **alturas de olas < 1.00 [m].**
- **Corrientes** longitudinales y transversales **< 0.10 [m/s].**

# CONCLUSIÓN

**Datos *In situ.***

- Se **valida** la utilización de un **modelo de una capa**.
- **La marea** al **no presentar un comportamiento predominante en magnitud**, justifica la modelación sin contemplar esta.
- Validación de las magnitudes de las componentes ortogonales de corrientes, se observo una **distribución de ocurrencia similar** para ambas componentes.
- Las **diferencias** se explican porque se modelo solo el patrón de olas (**faltando forzantes marea, flujo de río y el viento**).
- **La aproximación** de los datos obtenidos **es adecuada** para el objetivo señalado.
- Los patrones de distribución del modelo **se ajustaban** a los datos de **ADCP** remolcado en algunos sectores como en la **punta norte (Sector Bajo Bianchi).**
- Los resultados del diagrama del **vector progresivo** sugieren que una partícula liberada en el sector fuera de la rompiente, **se dirigirá hacia el SW**.

# CONCLUSIÓN

**Operatividad playa Caleta Abarca.**

- **Playa Caleta Abarca** en todas sus áreas es operable o **apta para el baño** en la mayor parte del tiempo del año, especialmente en la temporada de Verano.

  ***(En función de parámetros de olas y corriente)***
- Si bien existen corrientes que se asocian a un riesgo, estás no son lo suficientemente altas en magnitud para producir un empuje significativo al bañista.
- Para un estudio más acabado se puede realizar la metodología propuesta con **20 año de oleaje.** (Espectral)

**Alcance.**

- Se debe tener en consideración otros factores que pueden ser limitantes en la operatividad.(Químicos, biológicos, capacidad de carga de la playa, condiciones adquiridas, fondo parejo, pendiente suave, limpio de restos de construcciones submarinas y sin roquerías)

# REFERENCIAS


• *MIKE 21 Boussinesq wave model. Danish Hydraulic Institute (DHI). User Guide and Reference* Manual, 2005.

• *Modelo de corrientes de rotura en playas. Grupo de ingeniería oceanografía y de costas, Universidad* de Cantabria, España, 2007a.

• *Modelo de propagación de oleaje monocromático. Grupo de ingeniería oceanografía y de costas,* Universidad de Cantabria, España, 2007b.

• *Documento temático, Regeneración de playas. Grupo de ingeniería oceanografía y de costas,* Universidad de Cantabria, España, 2007c.

•Stanislaw R. Massel. *Ocean surface waves: their physics and prediction. Australian Inst of Marine* Sci, Australia, world scientific edition, 1996. Vol 11.

• Edgar Mendoza, Rodolfo Silva, Asunción Baquerizo, and Miguel Losada. *Quad tree based numerical model for coastal hidrodynamics simulation. Ocean Engineering Research Advances, 2007.*

• Juan Mercado. *Análisis sedimentológico, playa Caleta Abarca. Ingeniería civil oceánica, curso de* ingeniería de costas, Universidad de Valparaíso, Chile, 2009.

• Roberto Salinas. *Transferencia espectral en aguas someras mediante modelos numéricos. Memoria* para optar al título de ingeniero civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2008.

# REFERENCIAS


• Rodolfo Silva. *Manual del usuario y documento de referencia del programa MWAPO3. Instituto de* Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2008.

•Jane Smith, Ann Sherlock, and Donald Resio. *STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model User´s Manual for STWAVE. U.S Army Corps of Enginners, Washington, DC, 2001. Versión 3.0.*

• C. Guedes Soares and M. C. Nolasco. *Spectral Modeling of Sea States With Multiple Wave Systems.* Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1992. Vol 4, N° 4.

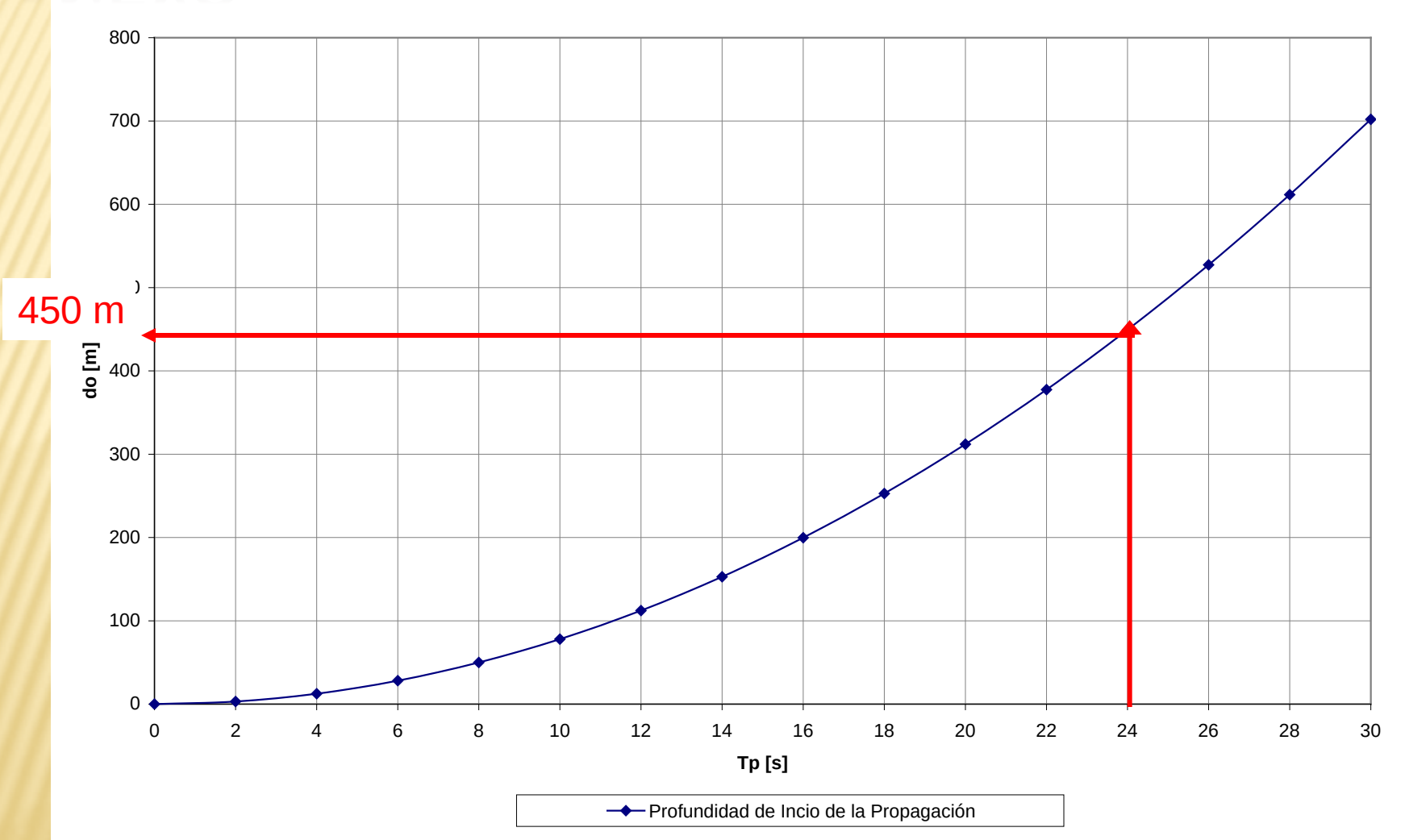
• *Water wave mechanics. Coastal Engineering Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Washington,* DC, 2002c. Vol 2.

# Gracias

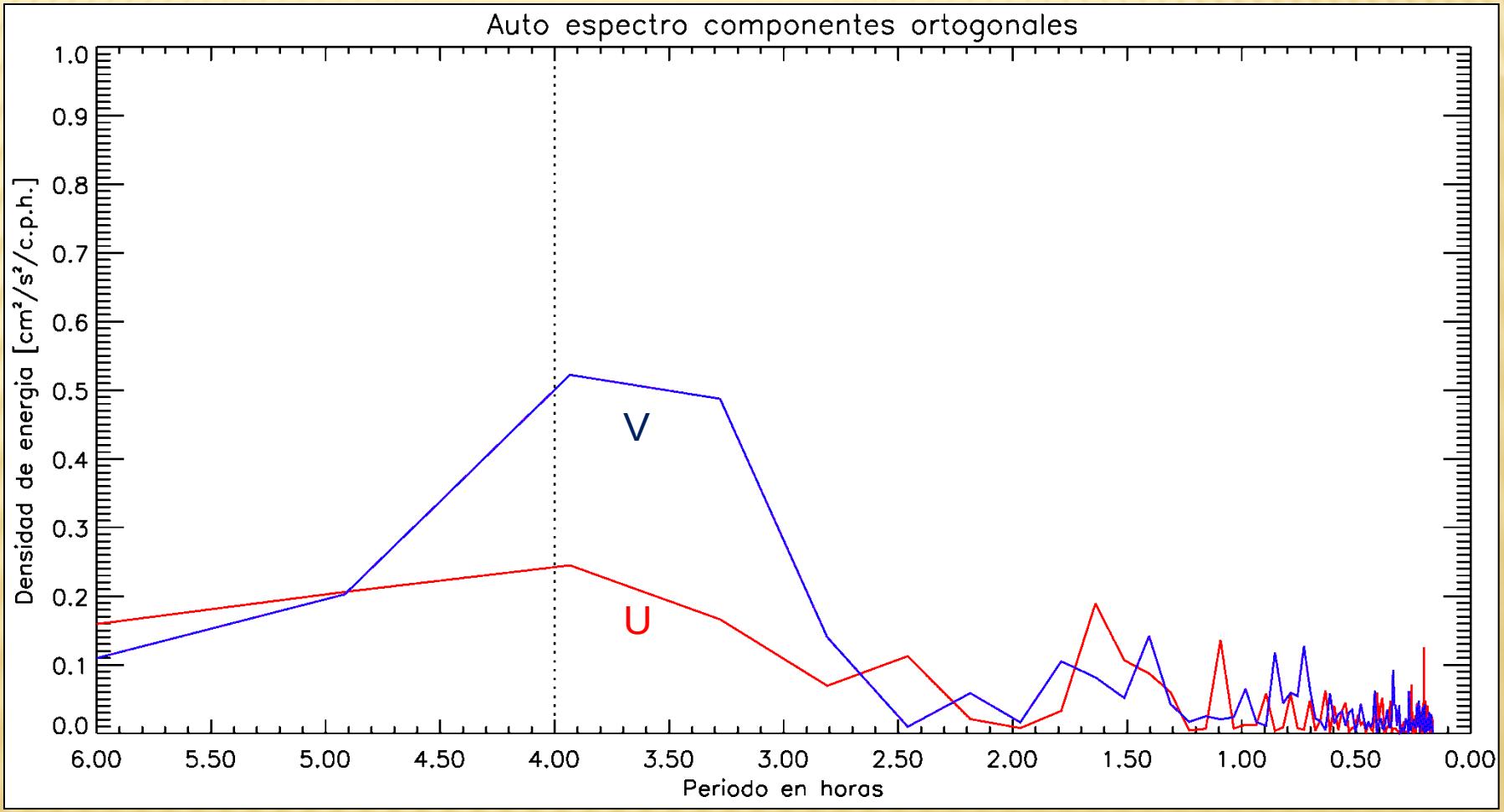
*"Tu complejidad no lineal,*
*es lo que me hace desear,*
*desear tu conocimiento intenso radial,*
*un día vuelves y vas pero sigues estando acá,*
*tu infinitud distante me hace pensar,*
*que la vida es bella por la magnitud que me muestras al pasar,*
*tal vez algún día te logre entender de verdad,*
*sino me quedara la nostalgia de vivir toda una vida admirándote al pasar."*

*JCMC.*

# ANEXO


450 m
800
700
600
400
300
200
100
0
do [m]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
Tp [s]
Profundidad de Incio de la Propagación

# ANEXO


Auto espectro componentes ortogonales
Densidad de energia [cm²/s²/c.p.h.]
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
V
U
6.00
5.50
5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
Periodo en horas