

Proyecto para optar al título de
Ingeniero Civil Oceánico:

**ESTUDIO DE LA PLUMA DE DESCARGA GENERADA POR UN EMISARIO
SUBMARINO BAJO CONDICIONES MEDIAS Y EXTREMAS EN LA BAHÍA DE
COQUIMBO, IV REGIÓN, CHILE**

Autor:

Jaime Herrera Beltrán

Comisión evaluadora:

Patricio Winckler Grez (Profesor guía)

Catalina Aguirre Galaz

Eugenia Valdebenito Flores

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIADA

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES



GENERALIDADES

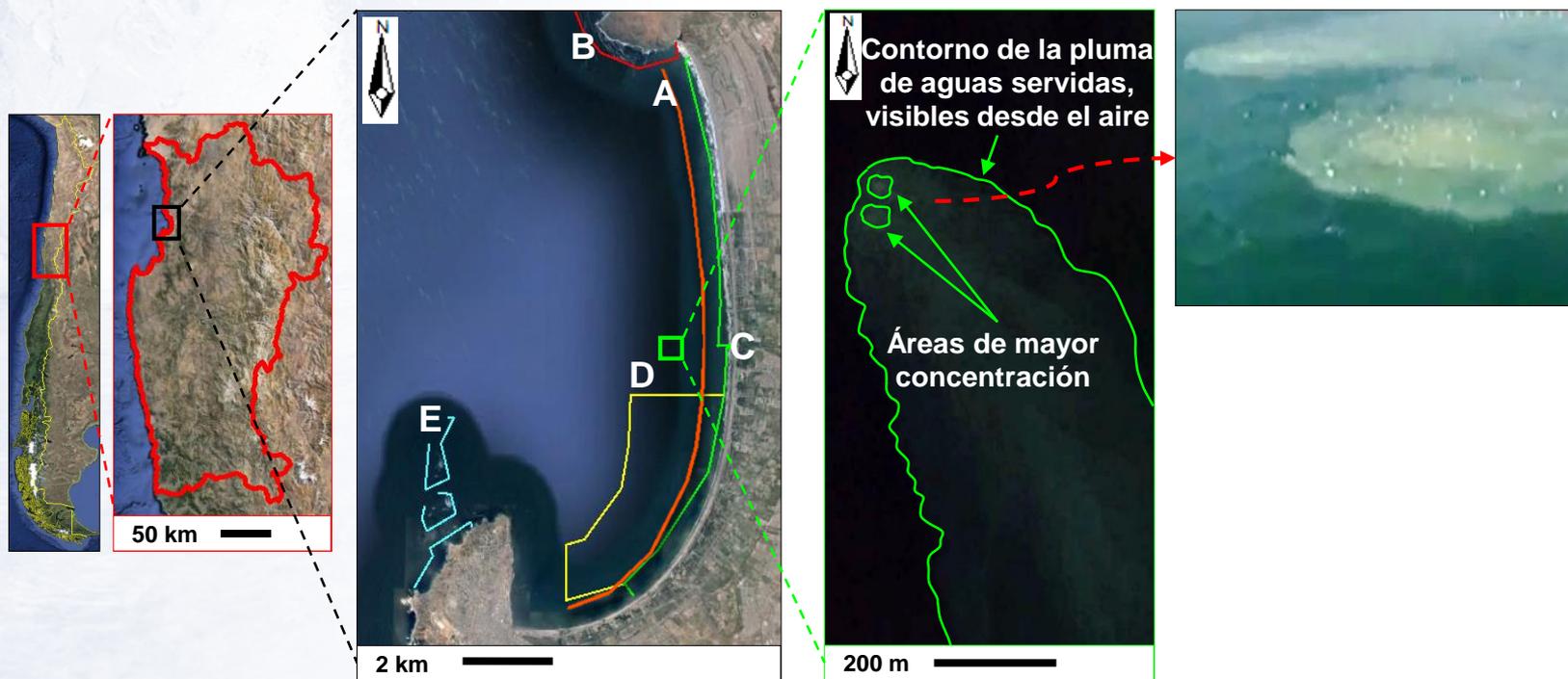


- Población costera
- Ciudades portuarias (trabajo)
- Capacidad depuradora del mar y emisarios submarinos
- Situaciones de contaminación
- Evaluación del impacto en la ZPL, AAA y AMERB
- Coliformes y capacidad de filtración de los bivalvos



DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y OBJETIVO

- El presente proyecto se desarrolla en la bahía de Coquimbo
- La pluma de aguas servidas es visible durante todo el año
- El **objetivo** es evaluar la eficiencia en reducción de CF a través del emisario submarino de La Serena, mediante la simulación de **escenarios medios y extremos**, caracterizados por las forzantes de **marea, viento y oleaje** responsables de la advección del contaminante. La base de evaluación son las exigencias de calidad de agua establecidas por la NCh 1333 y D.S. 90.



INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIADA

METODOLOGÍA

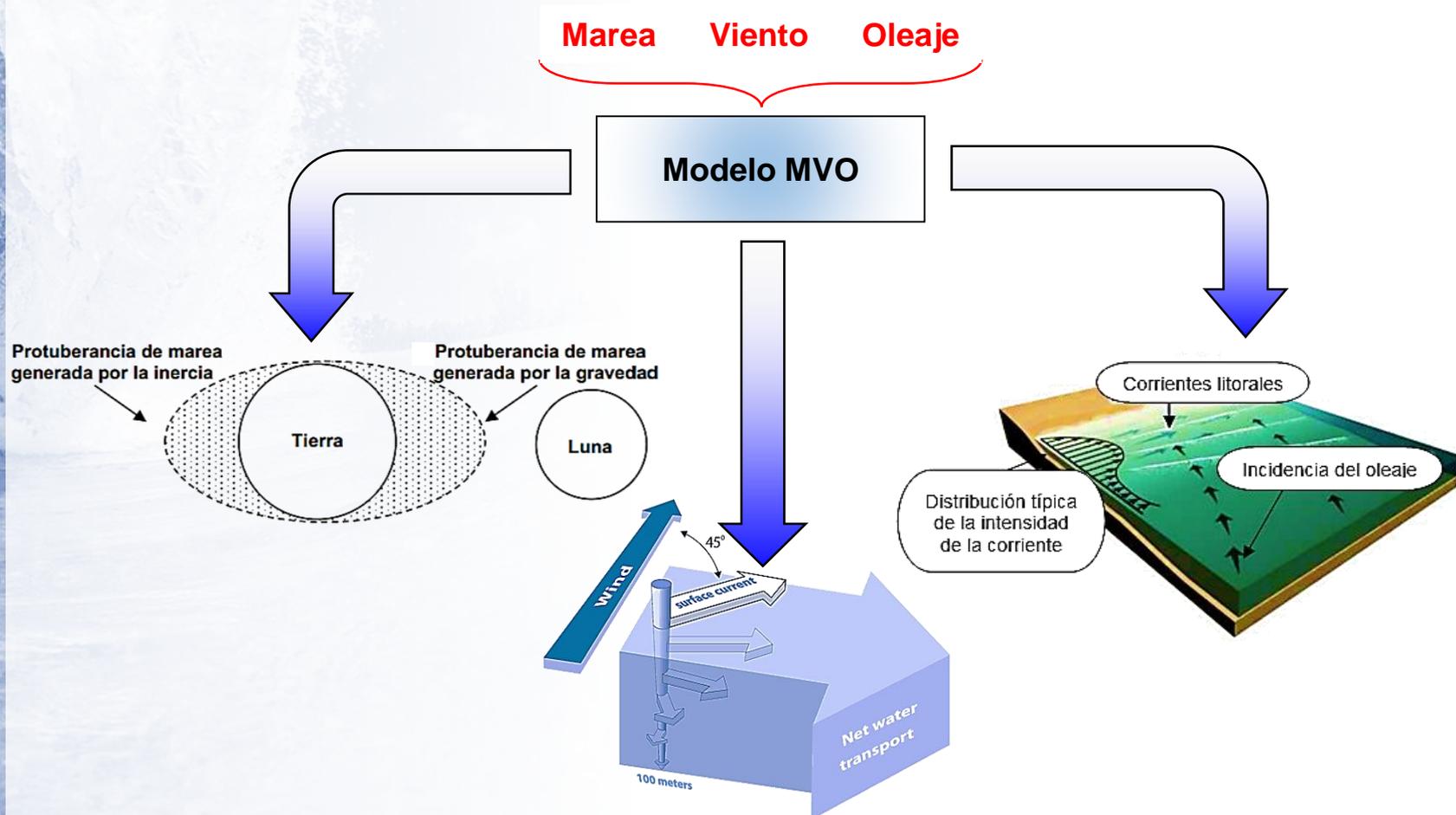
RESULTADOS

**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**



SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA

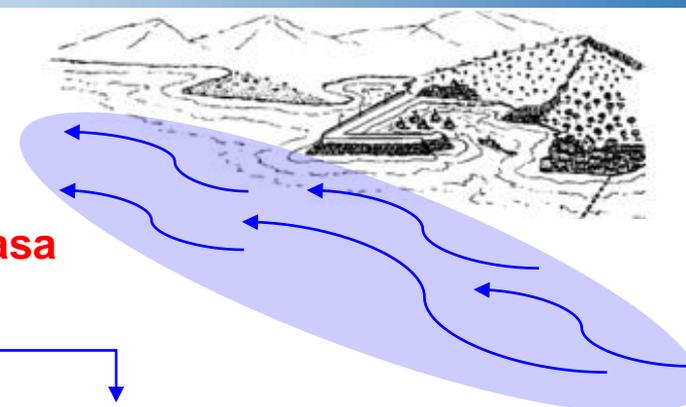
- Velocidad de la corriente en cada punto de la zona de interés (modelo hidrodinámico)
- Modelo forzado con marea, viento y oleaje



SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA

- MIKE 21 FLOW MODEL FM**
Módulo hidrodinámico

✓ Simulación del flujo en forma bidimensional



Ecuación de conservación de masa

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS$$

Variación local de la masa Variación convectiva de la masa Descarga debida a fuentes puntuales

Ecuación conservación del momentum

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right)$$

Aceleración local Términos convectivos Pendiente de la superficie libre Términos de fricción (viento y fondo) Gradientes del tensor de radiación

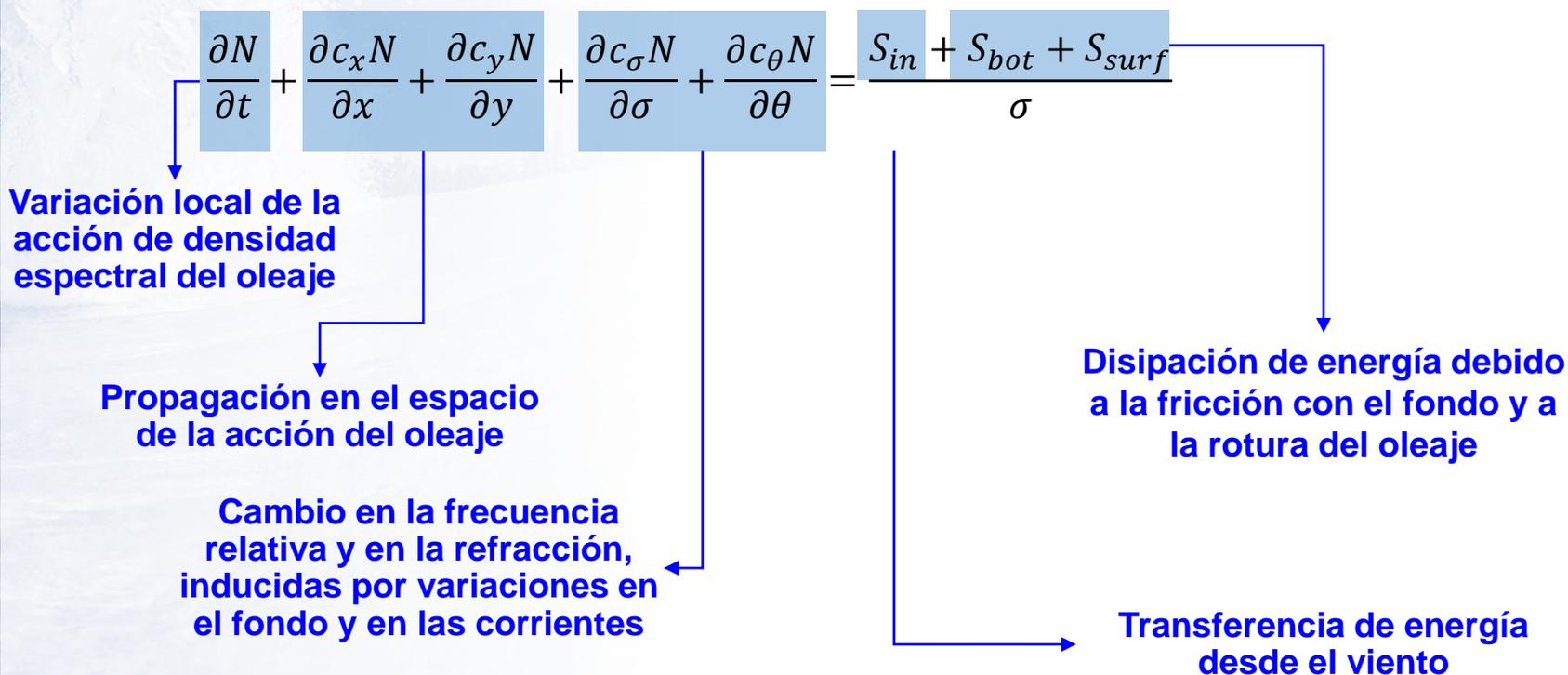
SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA

• MIKE 21 SPECTRAL WAVE

Módulo de propagación de oleaje

- ✓ Simulación de la transformación del oleaje
- ✓ Permite calcular el tensor de radiación (S_{xx}, S_{xy}, S_{yy})

Ecuación de balance de acción del oleaje



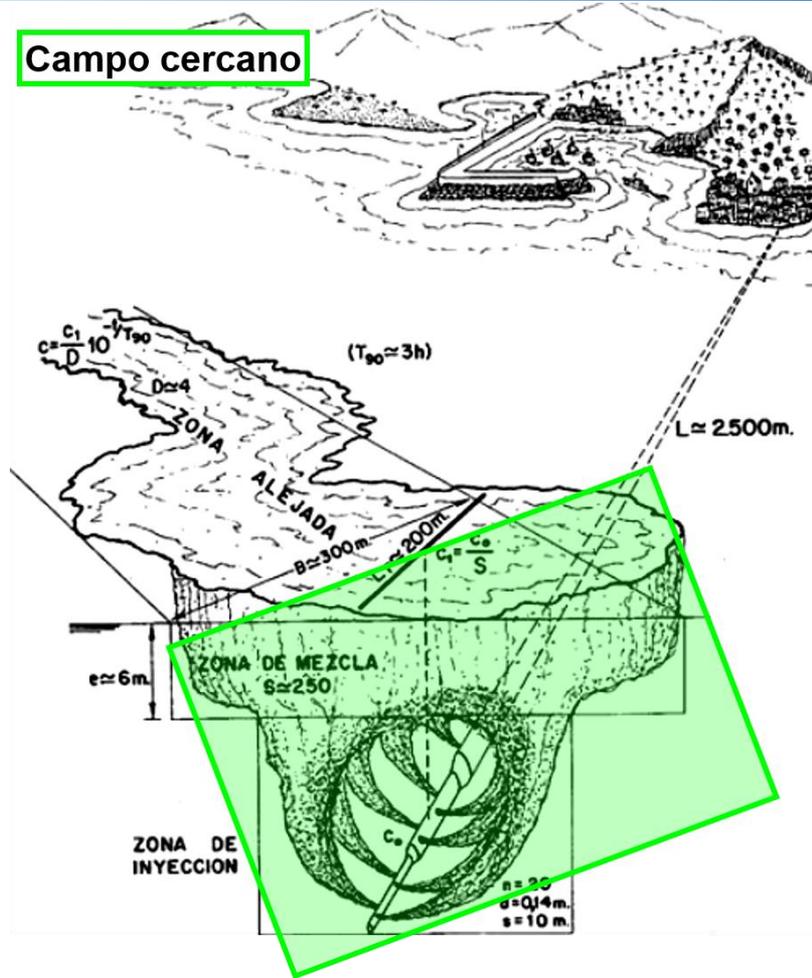
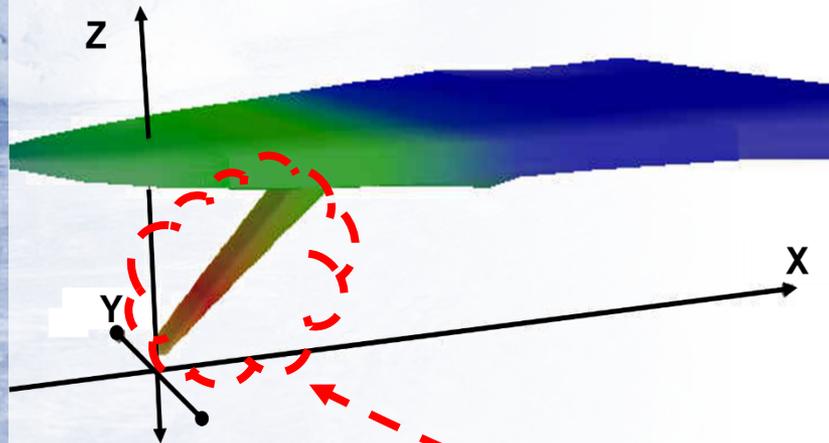
SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE MEZCLA

- CAMPO CERCANO**

- ✓ Dilución inicial

- CORMIX**

Simulación de la descarga



SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE MEZCLA

• CAMPO LEJANO

- ✓ Dilución secundaria (advección - difusión)
- ✓ Dilución terciaria (decaimiento bacterial)

• MIKE 21 FLOW MODEL FM

Módulo de transporte de contaminantes

Ecuación de advección - difusión

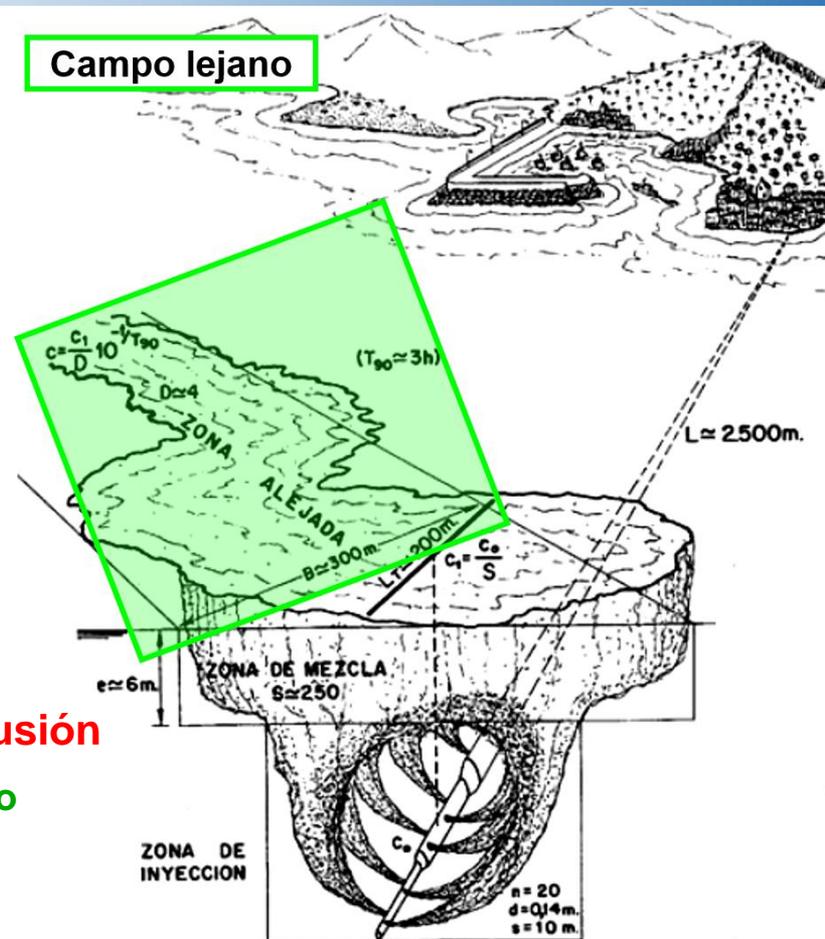
Variación local de la concentración

Términos advectivos

Términos difusivos

Decaimiento bacterial

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) - khc$$



INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIlada

METODOLOGÍA

RESULTADOS

**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**



- Registro de marea en el puerto de Coquimbo y cartas náuticas (SHOA)
- Parámetros de resumen de oleaje en aguas profundas (Un Atlas de Oleaje para Chile)
- Registro de viento (Red Agrometeorológica INIA)
- Mediciones de la temperatura y salinidad de un CTD (UV,2009)
- Registros de corrientes (UV,2009)

- Estaciones F1 y F2
- Circuitos C1 y C2



INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIlada

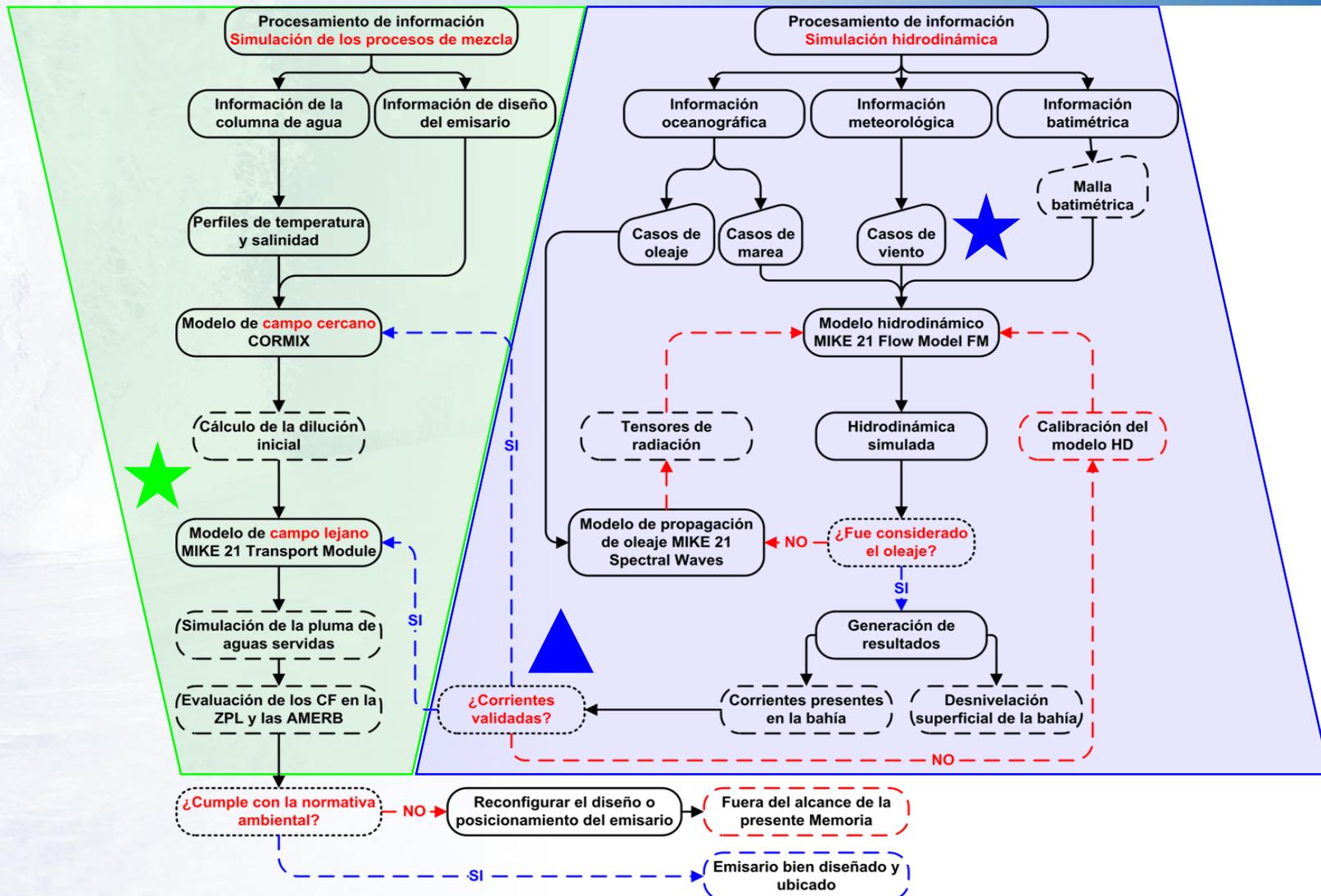
METODOLOGÍA

RESULTADOS

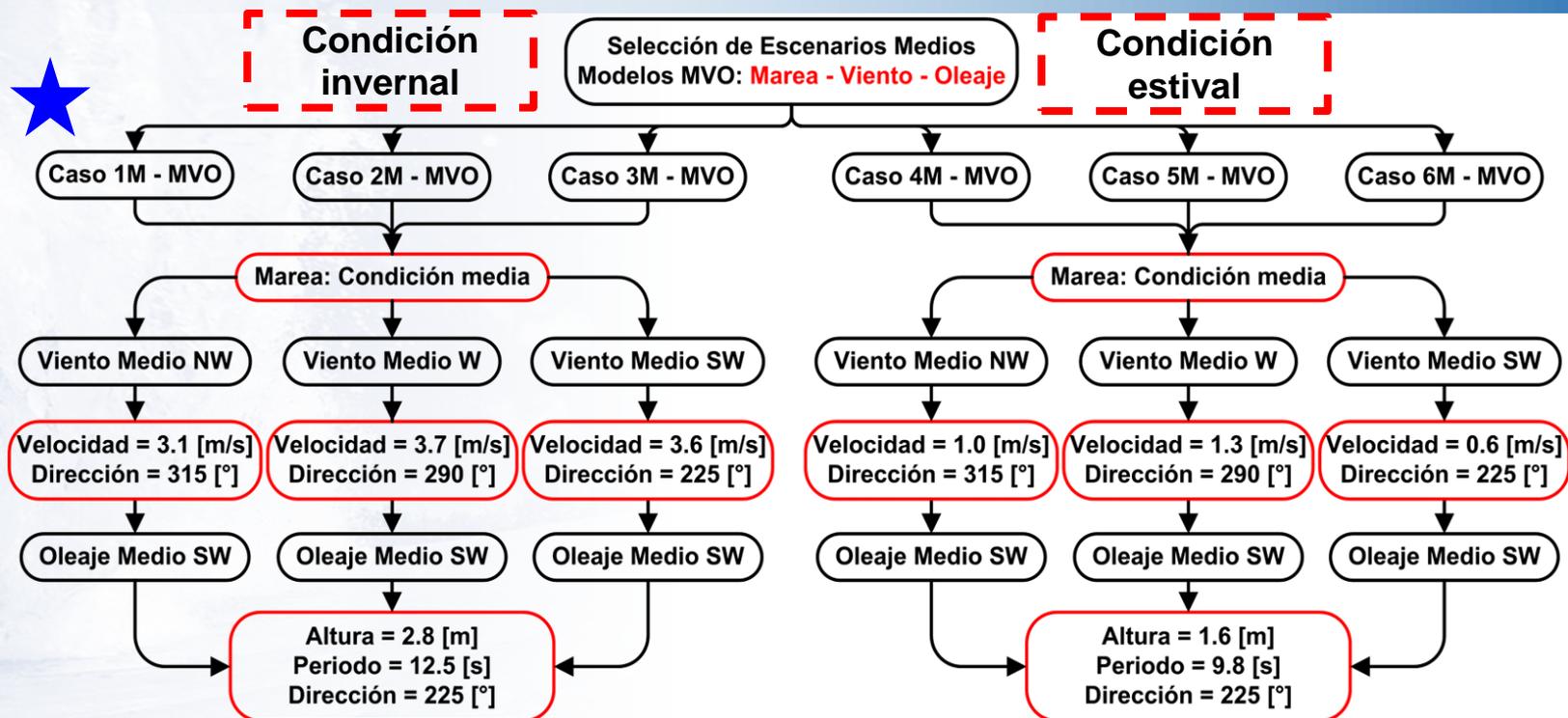
**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**



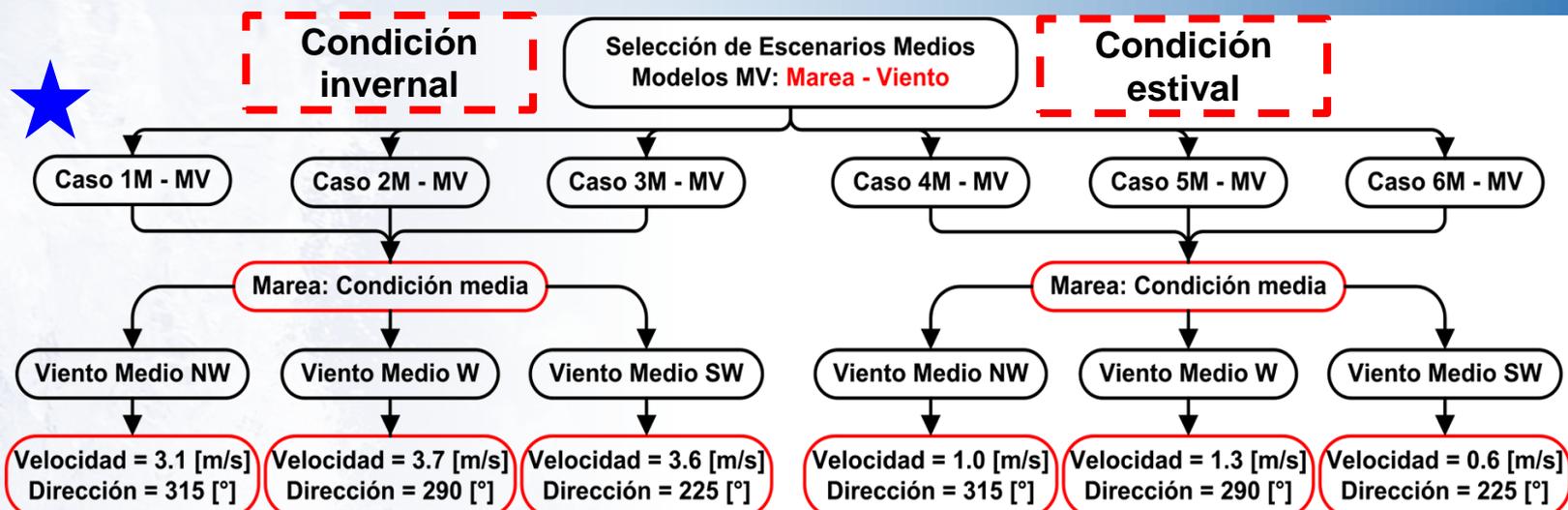
ESTRUCTURA DE TRABAJO



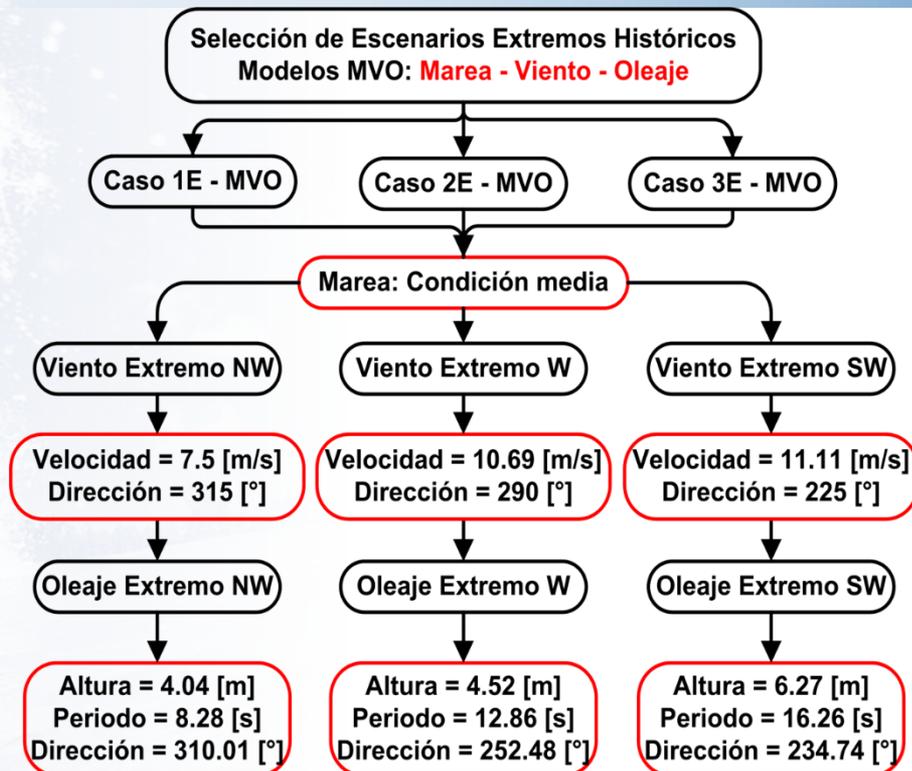
CASOS MEDIOS FORZADOS CON MAREA, VIENTO Y OLAJE



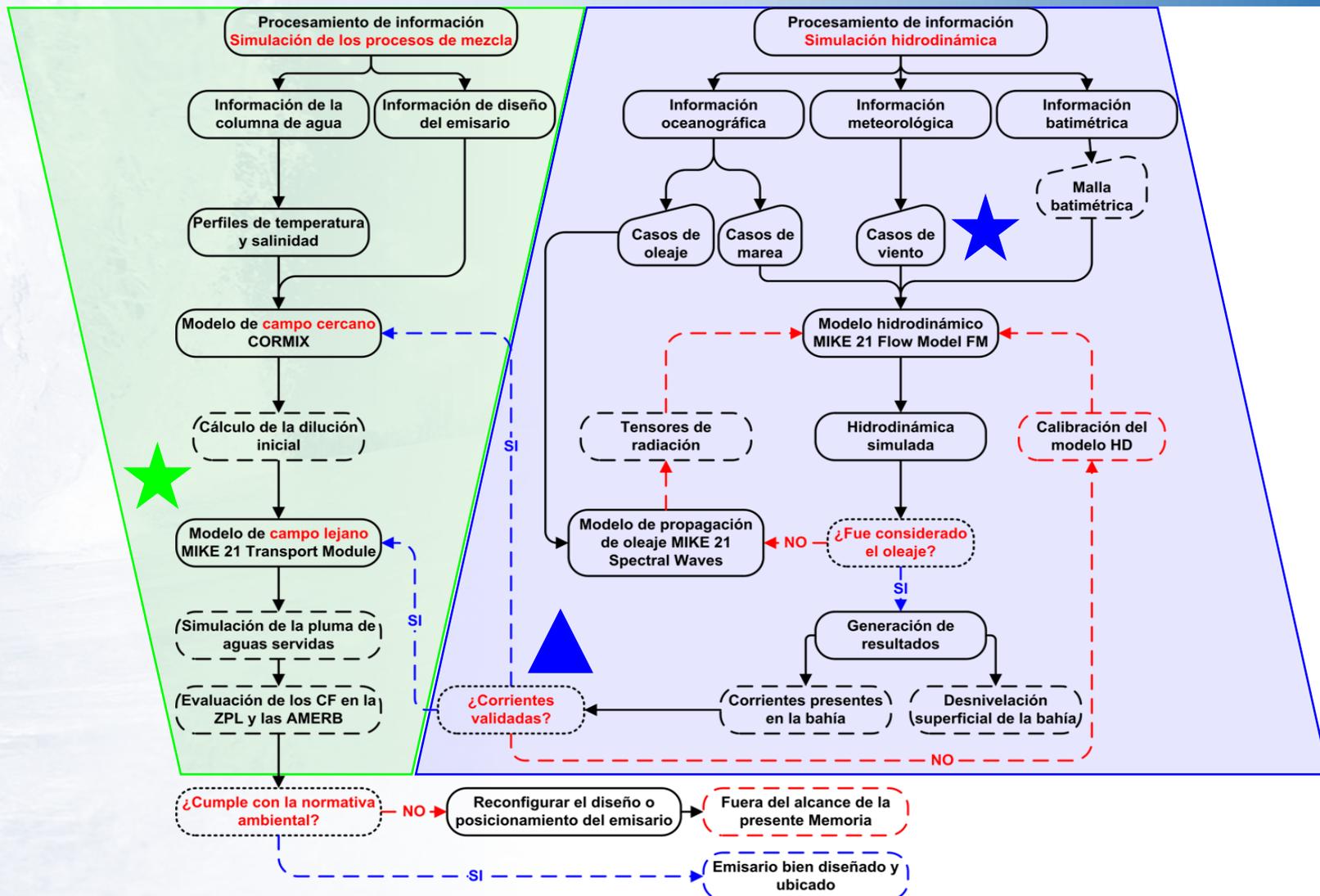
CASOS MEDIOS FORZADOS CON MAREA Y VIENTO



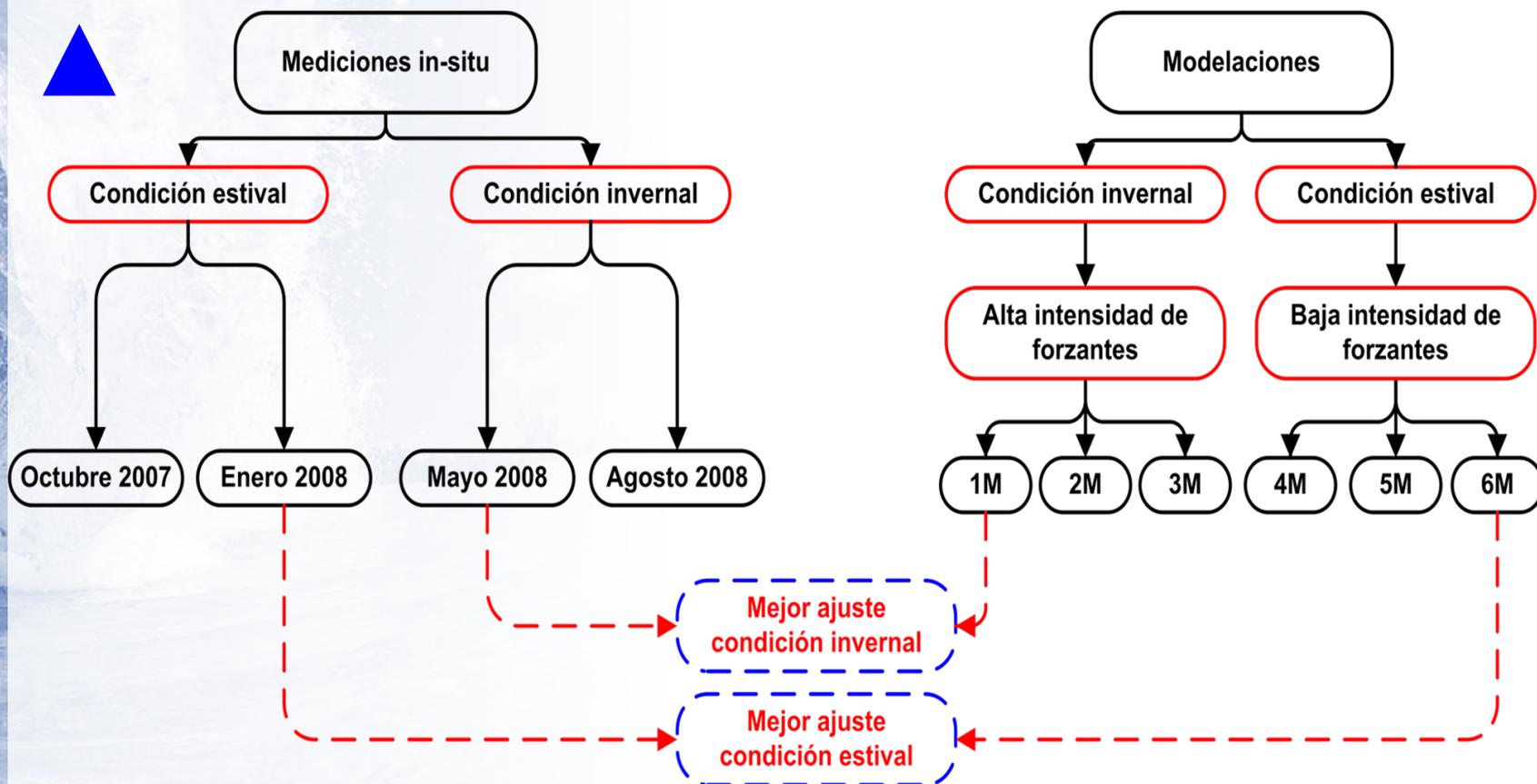
CASOS EXTREMOS FORZADOS CON MAREA, VIENTO Y OLAJE



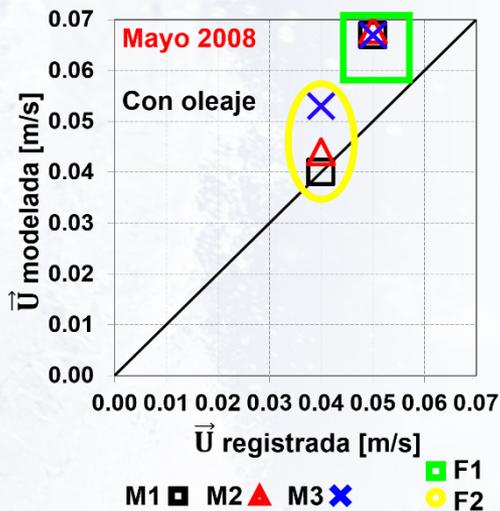
ESTRUCTURA DE TRABAJO



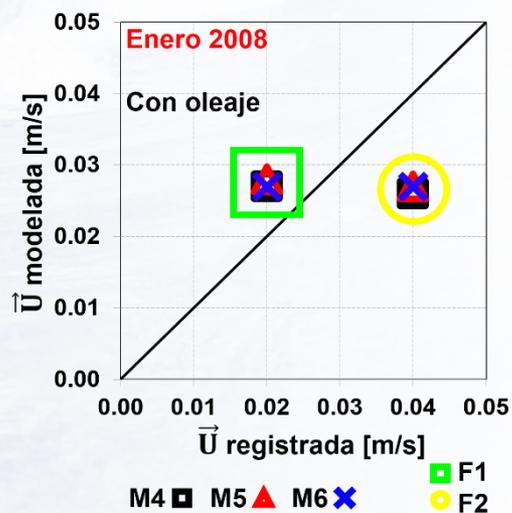
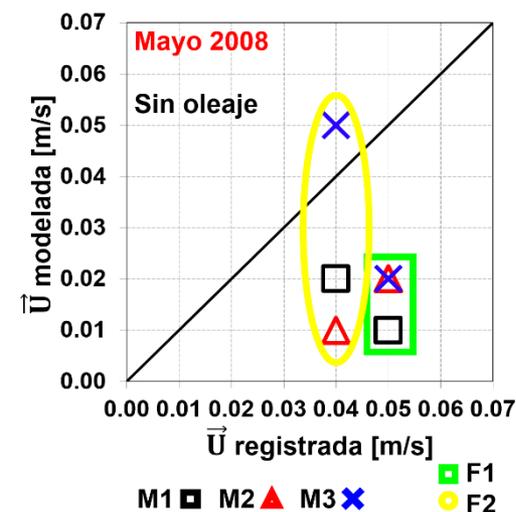
CASOS MEDIOS **MEJOR AJUSTE**



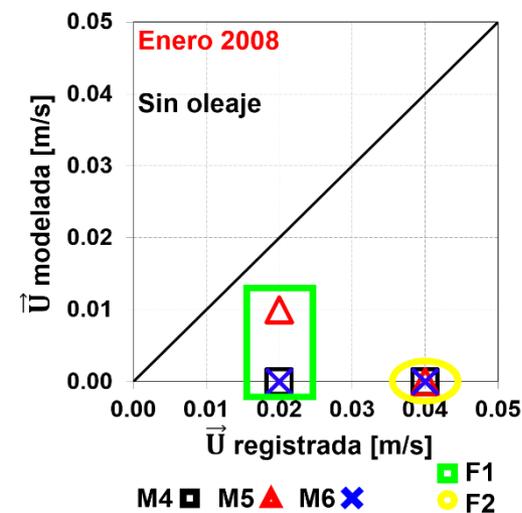
CASOS MEDIOS MEJOR AJUSTE



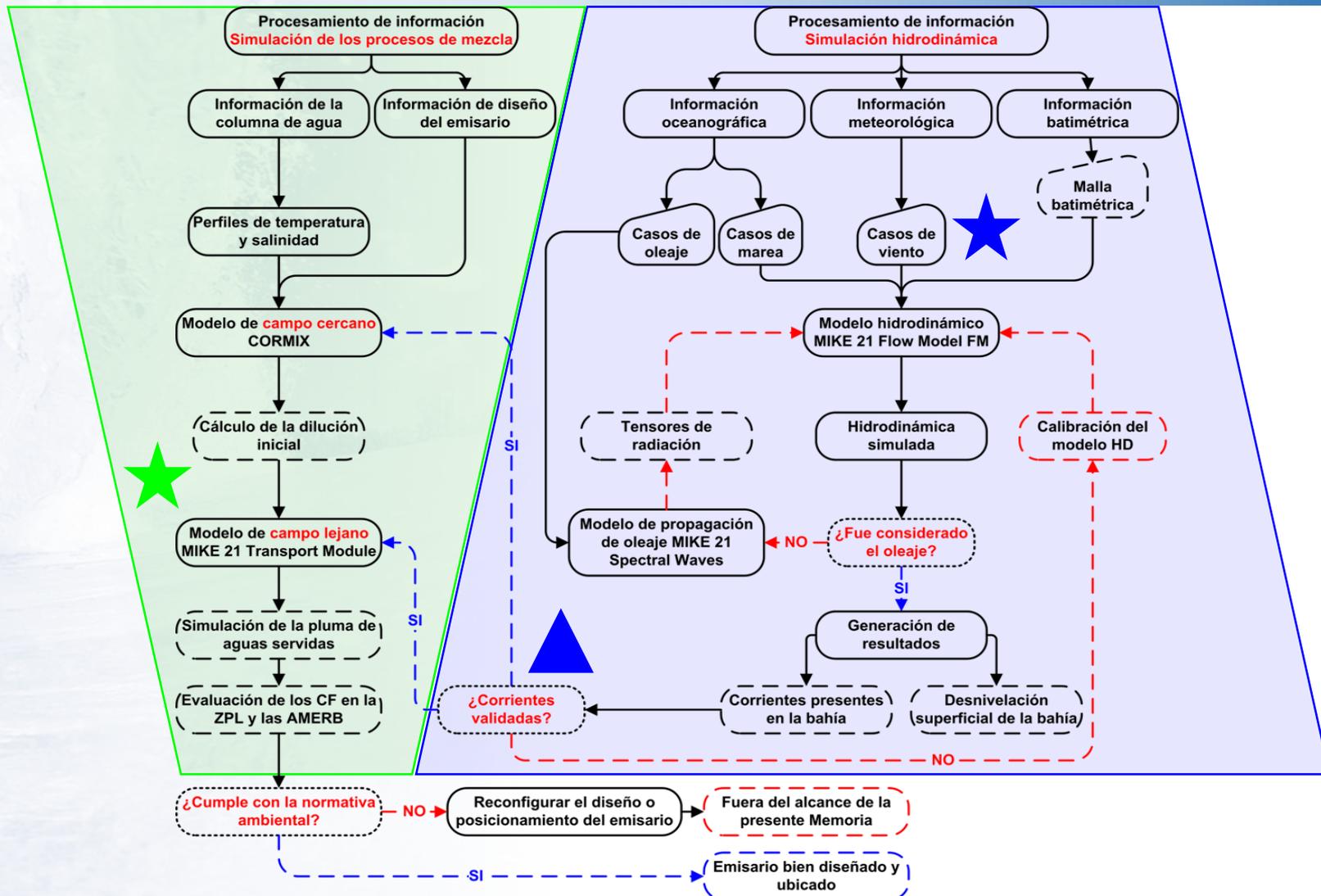
Condición
invernal



Condición
estival

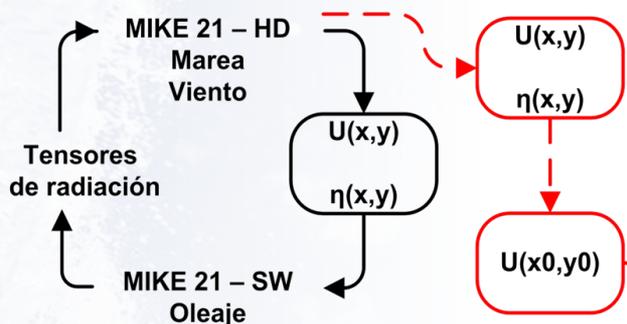


ESTRUCTURA DE TRABAJO

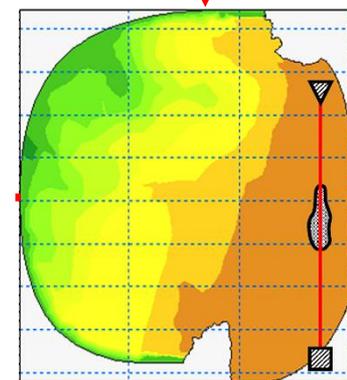
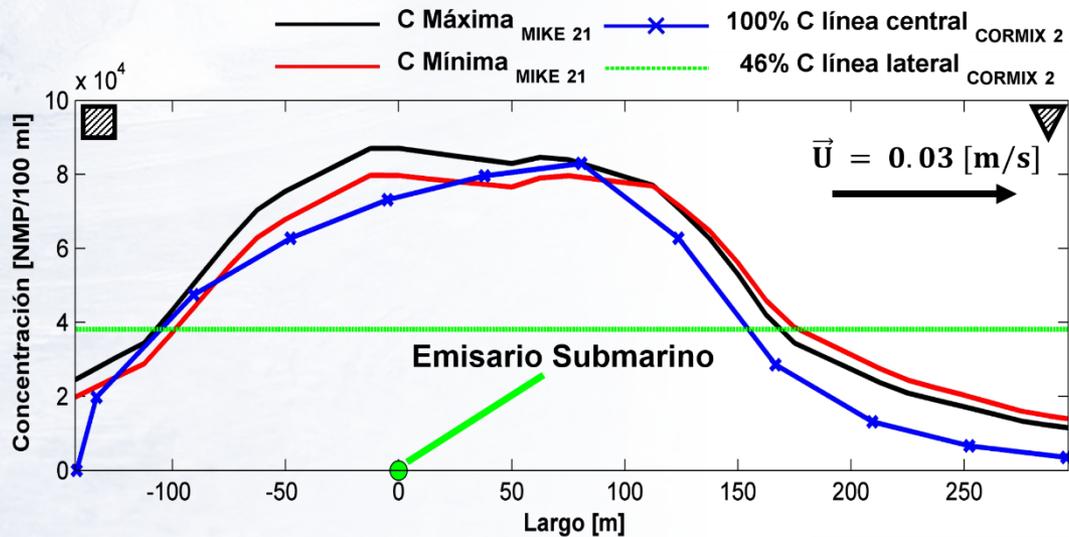
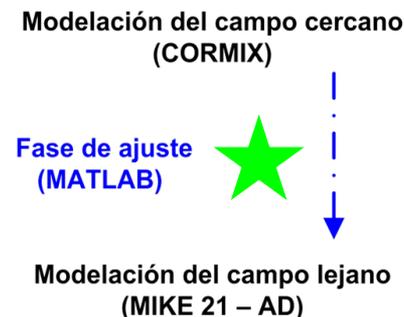


ACOPLAMIENTO DE LOS CAMPOS CERCANO Y LEJANO

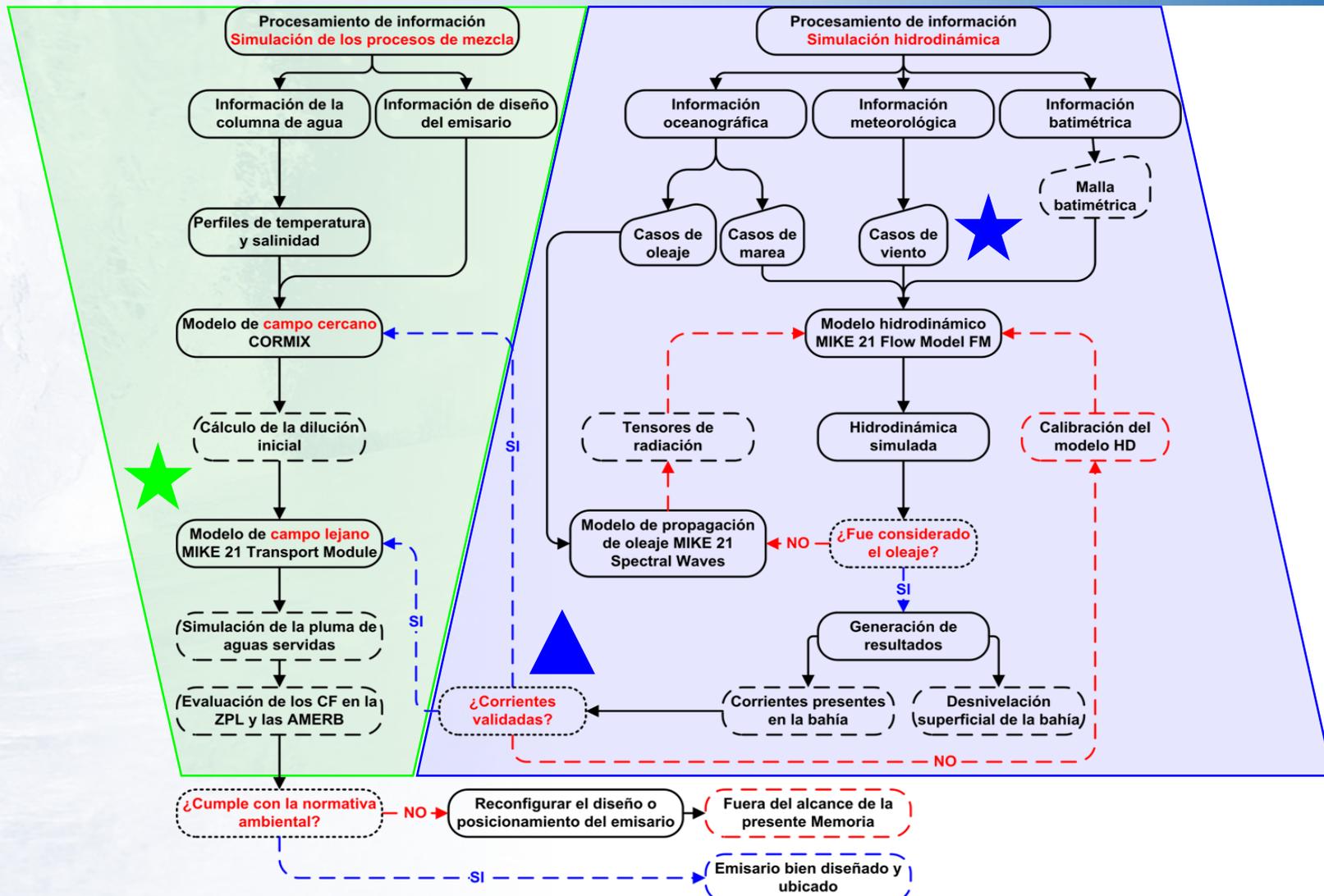
Simulación hidrodinámica



Simulación de los procesos de mezcla



ESTRUCTURA DE TRABAJO



INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIADA

METODOLOGÍA

RESULTADOS

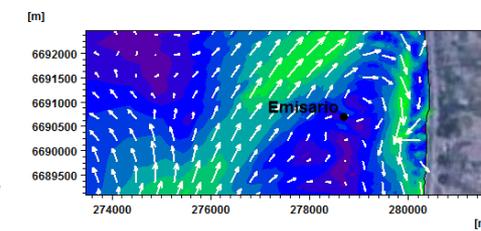
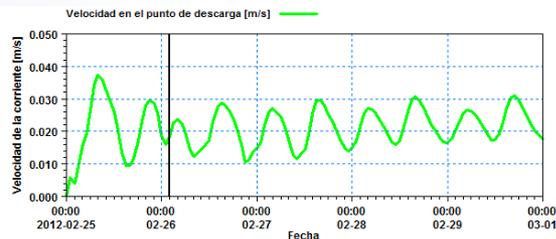
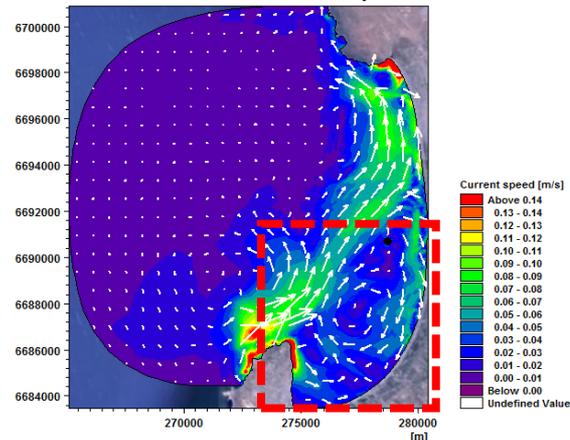
**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**



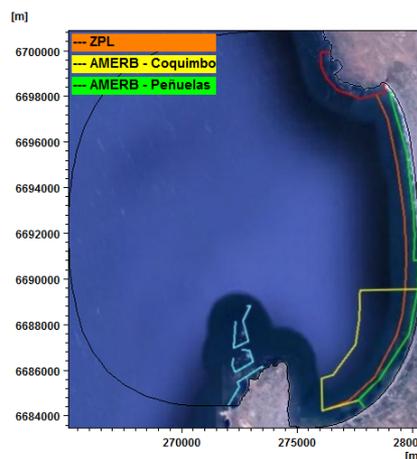
SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y PROCESOS DE MEZCLA

Modelo forzado utilizando condiciones medias (1M – Marea – Viento NW – Oleaje SW)

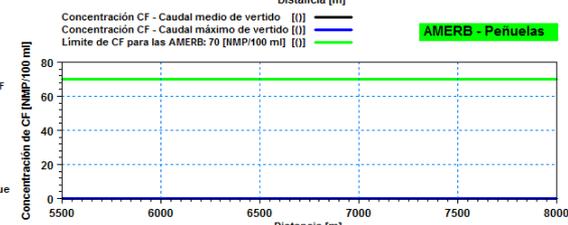
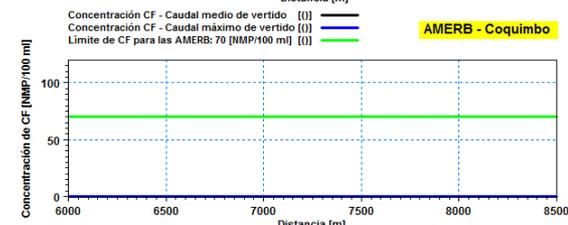
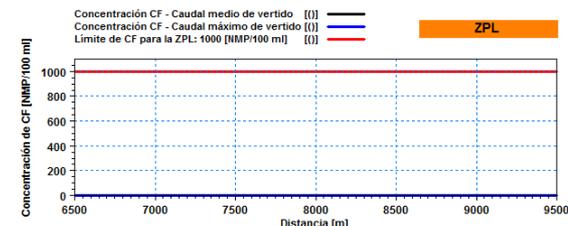
[m] Caso 1M: Marea media - Viento NW - Oleaje SW



26-02-2012 2:00:00



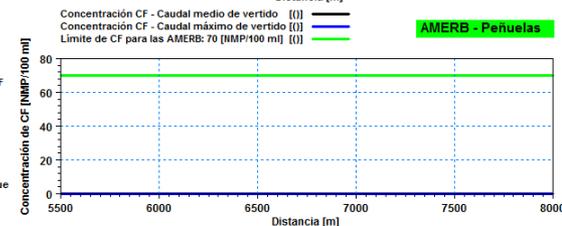
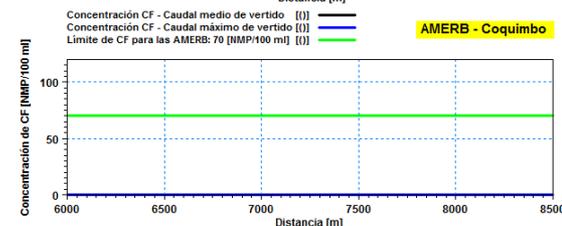
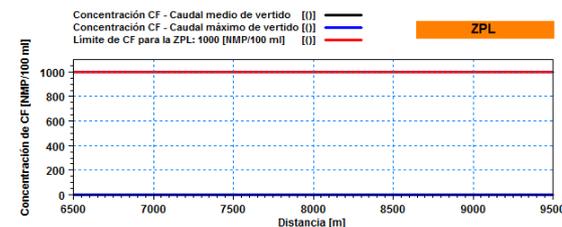
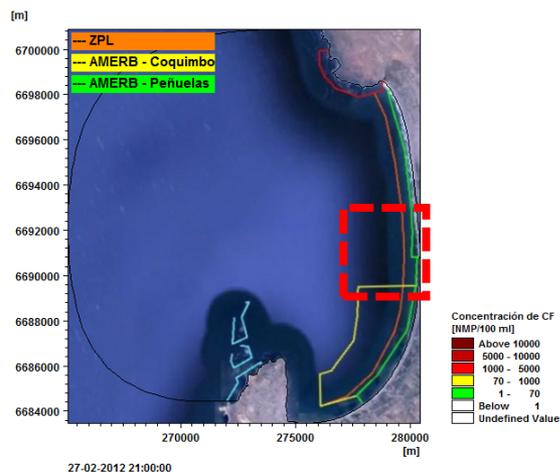
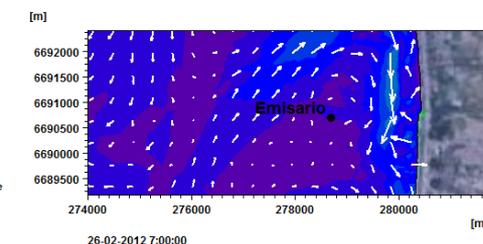
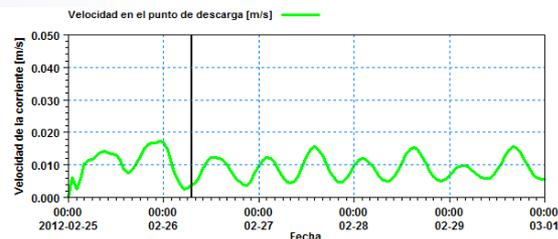
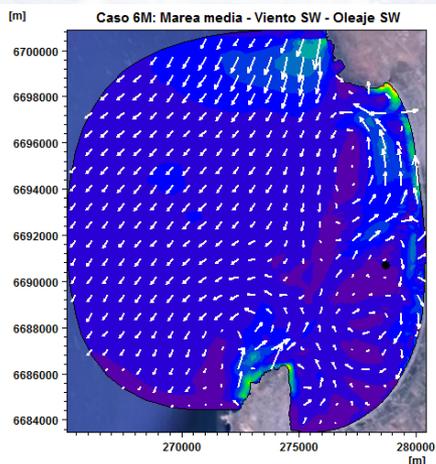
27-02-2012 21:00:00



02/27/12 21:00:00:00

SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y PROCESOS DE MEZCLA

Modelo forzado utilizando condiciones medias (6M – Marea – Viento SW – Oleaje SW)

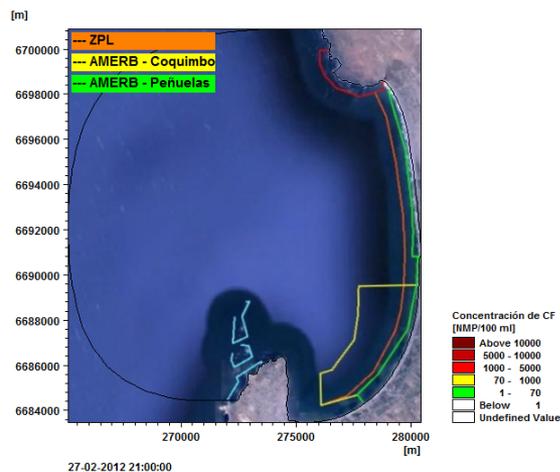
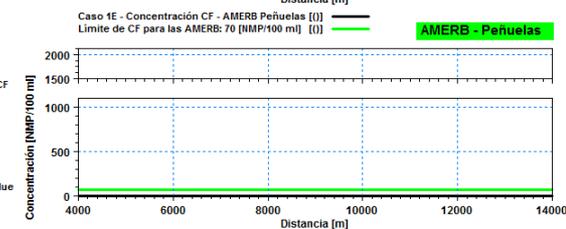
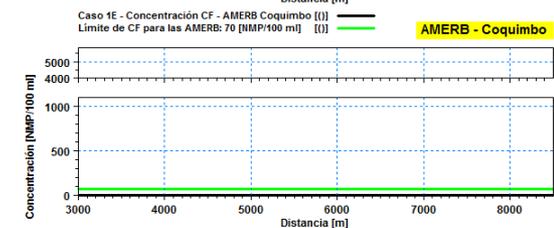
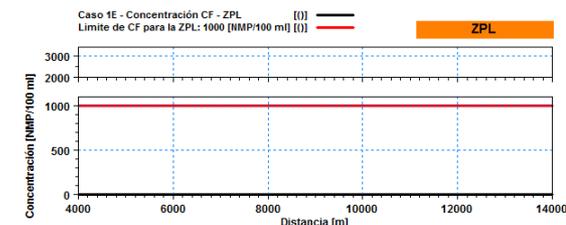
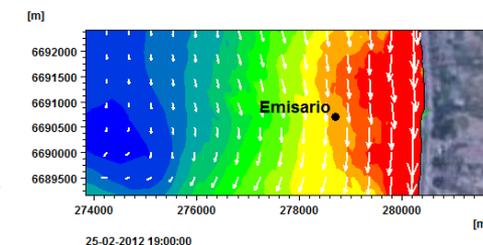
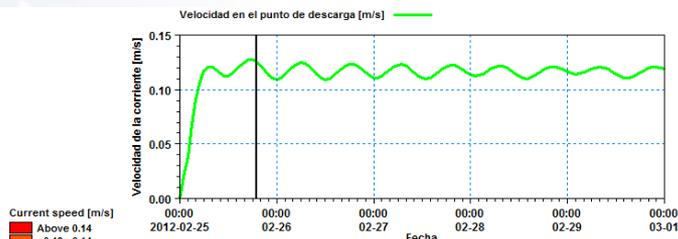
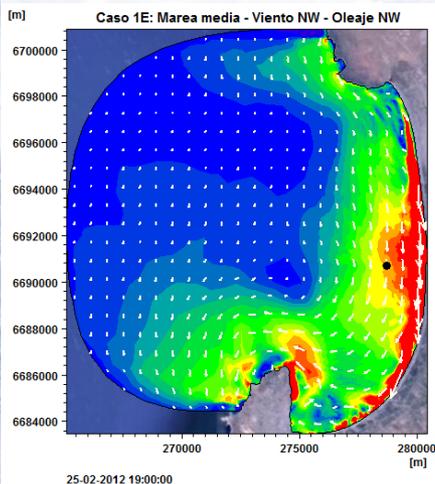


27-02-2012 21:00:00

02/27/12 21:00:00:000

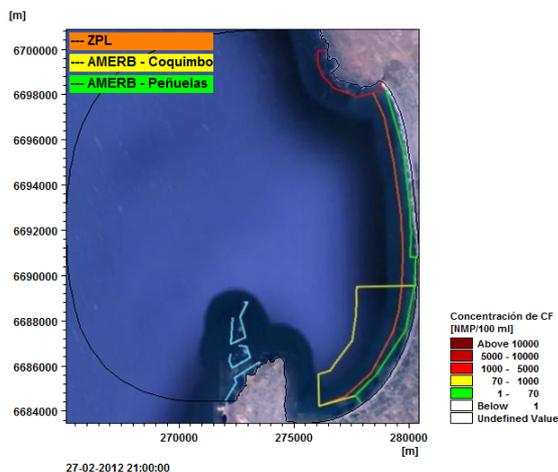
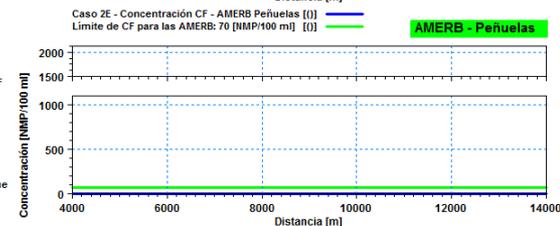
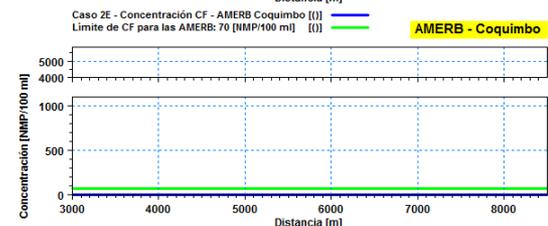
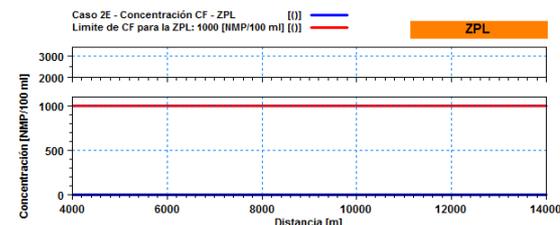
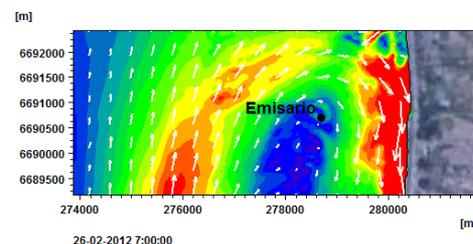
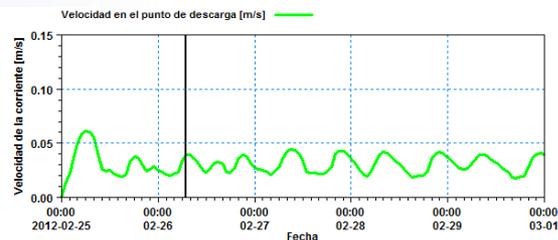
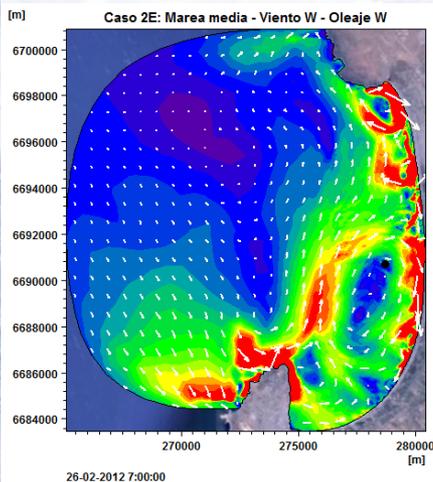
SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y PROCESOS DE MEZCLA

Modelo forzado utilizando condiciones extremas (1E – Marea – Viento y Oleaje NW)



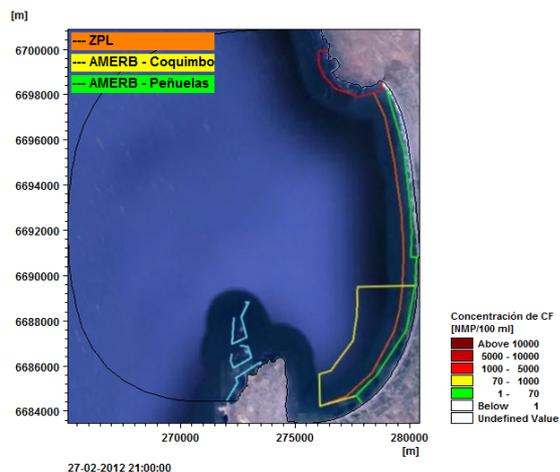
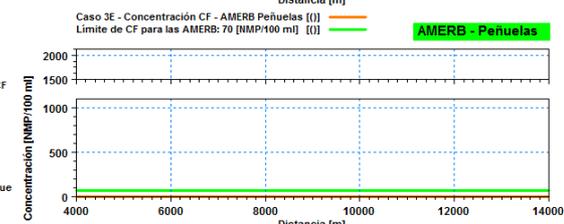
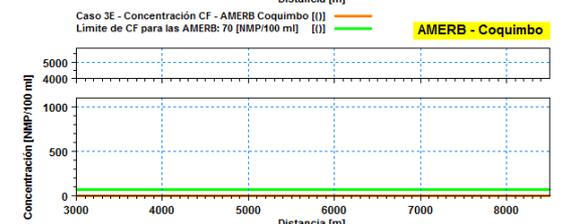
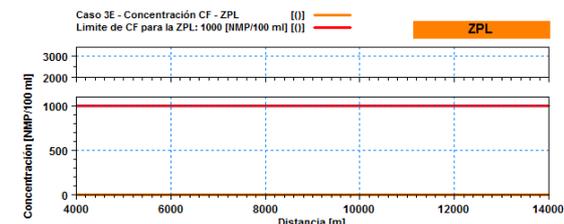
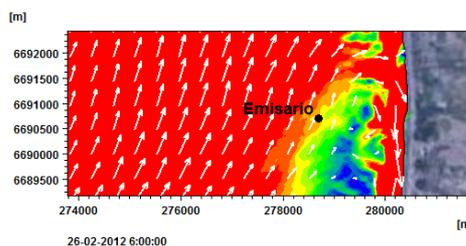
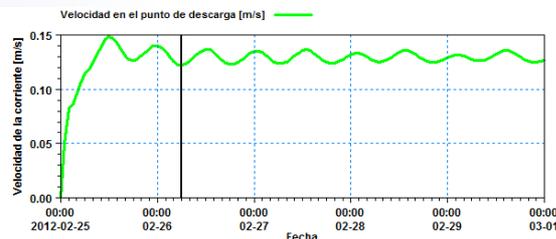
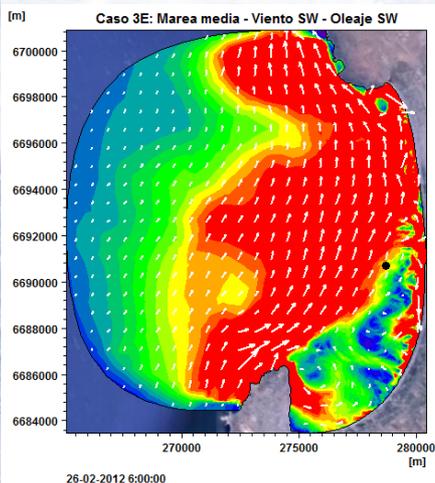
SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y PROCESOS DE MEZCLA

Modelo forzado utilizando condiciones extremas (2E – Marea – Viento y Oleaje W)



SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y PROCESOS DE MEZCLA

Modelo forzado utilizando condiciones extremas (3E – Marea – Viento y Oleaje SW)



INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN RECOPIADA

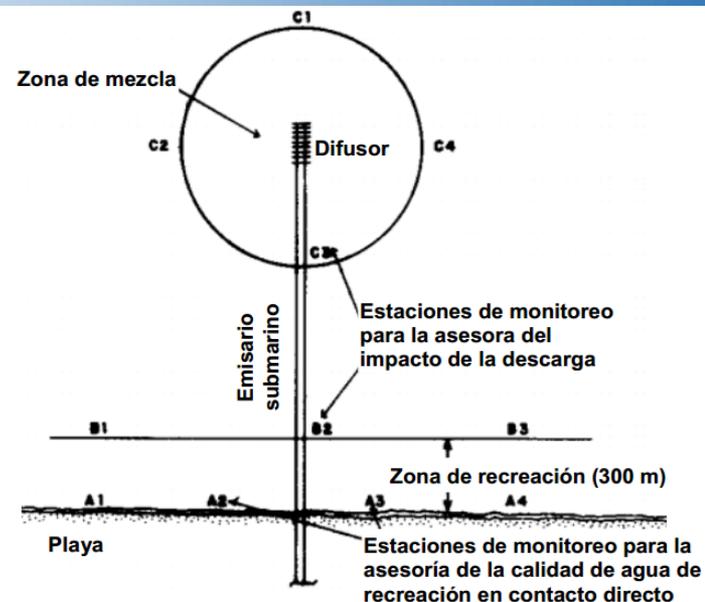
METODOLOGÍA

RESULTADOS

**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**



- ✓ Respecto al campo hidrodinámico:
 - Marea: corrientes de baja intensidad
 - Viento: flujos hacia el sur y norte
 - Oleaje: influencia sobre la hidrodinámica ~70%
 - ✓ Procedimiento de acoplamiento entre CORMIX y MIKE 21 AD (columna de agua **no estratificada**)
 - ✓ Afloramiento de la pluma de aguas servidas en la superficie (probable hedor en la costa)
 - ✓ Cuantificación de CF en los:
 - **Caso medio** condición estival - AMERB de Coquimbo)
 - **Casos extremos** (NW y W: AMERB de Coquimbo) (SW: AMERB de Peñuelas y ZPL)
- Se recomienda hacer estudios del T_{90} **nocturno**
- Crear una norma secundaria de calidad ambiental



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

**Dedicado a mis Padres, Belarmino y Rosa; a mis hermanos Héctor, Pamela y Esteban;
a mis queridos sobrinos, Daniel y Sofía; y en especial a mi novia Romina, Mabalt's.**

**Gracias a todos por su constante apoyo en
el transcurso del presente Proyecto...**