



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

EVALUACIÓN DEL MODELO WAVEWATCH III BAJO CONDICIONES DE VIENTO LOCAL EXTREMO

Keitell Marshall Rivera

Agosto 2025

APROBACIÓN

Evaluación del modelo WaveWatch III bajo condiciones de viento local extremo.

Keitell Marshall Rivera

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Catalina Aguirre

Profesora guía

Matías Quezada

Revisor

Felipe Galaz

Revisor

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Keitell Marshall

Catalina Aguirre

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar agradeciendo al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y al proyecto FONDEF, por facilitar los datos que hicieron posible esta investigación.

A mi familia, por ser siempre mi pilar fundamental, por estar a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. En especial, a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo constante. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

A mi profesora guía, Catalina Aguirre, gracias por su orientación, su paciencia y por estar siempre dispuesta a resolver cada una de mis dudas. Su compromiso fue clave para poder avanzar con confianza en este proceso.

A Matías Quezada, miembro de la comisión revisora y parte de mi formación como profesional, gracias por sus enseñanzas como profesor y por su valioso aporte en esta etapa final.

A Felipe Galaz, también integrante de la comisión revisora, gracias por las palabras de aliento, las enseñanzas, el apoyo entregado a lo largo de este camino y por ser parte de este proceso.

A Natalia, por estar desde el día uno, por su compañía incondicional, los ataques de risa y las mil anécdotas que hicieron de esta experiencia algo único. A Luis Felipe, por ser mi partner de estudio y cómplice en más de una entrega maratónica que parecía imposible. A Erick y Matías, por todas las experiencias compartidas que dejaron esta etapa llena de momentos valiosos y memorias imborrables. A Patito, quien ya no está con nosotros, pero cuya amistad y alegría siguen presente en cada recuerdo bonito que compartimos. Gracias por lo que fuiste y por lo que dejaste en nosotros.

En fin, gracias a quienes me rodearon, apoyaron y creyeron en mí.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	MARCO TEÓRICO.....	4
3.1	Oleaje.....	4
3.2	Generación de oleaje por viento.....	5
3.3	Sistemas atmosféricos que desencadenan el viento local extremo en Chile	7
3.4	Modelos espectral de oleaje WaveWatch III	10
4	MATERIALES Y METODOLOGÍA	12
4.1	Fuentes de datos utilizados	12
4.2	Procesamiento de datos.....	17
5	RESULTADOS.....	21
5.1	Evaluación del desempeño del Hindcast	21
5.2	Evaluación del desempeño en condición de forecast	35
5.3	Análisis de la componente meridional del viento	36
6	DISCUSIONES.....	43
7	CONCLUSIONES.....	44
8	REFERENCIAS	46
9	ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Zonas de generación de oleaje en el océano Pacífico.	6
Figura 3.2: Carta sinóptica comprendida entre el 7 y el 8 de agosto en Coquimbo y Valparaíso.	8
Figura 3.3: Viento superficial comprendido entre el 11 y el 15 de enero del 2007.	9
Figura 4.1: Ubicación Boyas	13
Figura 4.2: Ubicación Nodos.....	16
Figura 5.1: Diagrama de Taylor para la altura significativa medida (Hs) y periodo peak (Tp) de las olas medidas frente a Coquimbo.	22
Figura 5.2: Diagrama de Taylor para la altura significativa medida vs modelada frente a Curaumilla.	24
Figura 5.3: Diagrama de Taylor para el periodo peak del oleaje medido vs modelo frente a Curaumilla.	24
Figura 5.4: Diagrama de Taylor para la altura significativa medida vs modelo frente a Constitución.....	25
Figura 5.5: Diagrama de Taylor para la altura de ola medida vs modelo frente a Corral. .	27
Figura 5.6: Diagrama de Taylor para el periodo de ola medida vs modelo frente a Corral.	27
Figura 5.7: Diagrama de Taylor para la altura y el periodo medido vs modelo frente a Chaihuín.	29
Figura 5.8: Diagrama de Taylor para la altura significativa y periodo peak medido vs modelo frente a Golfo Coronado.	30
Figura 5.9: Mapas de altura significativa promedio en metros a) satelital (2009-2019) y b) WW3 (2009-2019).	32
Figura 5.10: Mapas estadísticos de comparación satelital versus modelo.	32
Figura 5.11: Comparación de la altura de ola modelada versus altura de ola satelital para la serie completa y la serie de eventos extremos para Corral ST4 y ST6.	34
Figura 5.12: Comparación de la altura de ola modelada versus altura de ola satelital para la serie completa y la serie de eventos extremos para Curaumilla ST4 Y ST6.	34

Figura 5.13: Comparación de la altura de ola modelada versus altura de ola medida para la serie completa y la serie de eventos extremos en condición forecast para Curaumilla y Corral.....	35
Figura 5.14: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Coquimbo. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.	37
Figura 5.15: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Curaumilla. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.....	38
Figura 5.16: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Constitución. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.	39
Figura 5.17: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Corral. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.	40
Figura 5.18: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Chaihuín. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.	41
Figura 5.19: Distribución estacional de la componente meridional del viento (v) en Golfo Coronado. A) Serie de tiempo completa y B) Eventos extremos.....	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1: Características principales de las boyas SHOA	12
Tabla 4.2: Configuración modelo WaveWatch III	14
Tabla 4.3: Características principales de los nodos en aguas profundas.	15
Tabla 4.4: Resumen de información disponible comparables de los switches ST4 y ST6 del modelo WaveWatch III.....	17

RESUMEN

Chile, con su extensa costa expuesta al Océano Pacífico, enfrenta de forma constante impacto del oleaje, fenómeno clave para la seguridad y planificación. Comprender y predecir correctamente el comportamiento del oleaje es fundamental, especialmente frente a condiciones extremas de viento local, que pueden generar marejadas de alto riesgo.

Este trabajo evalúa el desempeño del modelo WaveWatch III (WW3) bajo condiciones de viento local extremo a lo largo de la costa de Chile, considerando tanto simulaciones de tipo hindcast como forecast, en seis puntos de estudio distribuidos entre Coquimbo y el Golfo Coronado. La metodología se basa en la comparación de los resultados del modelo WW3 con datos de boyas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y datos satelitales. Se analizaron dos escenarios: la serie de tiempo completa y series filtradas para eventos de viento extremo, definidos mediante el percentil (P90) de la velocidad del viento del reanálisis ERA5. Para evaluar la precisión del modelo se emplearon estadísticos de error como el coeficiente de correlación (R), el sesgo (BIAS) y el error cuadrático medio (RMSE).

Los resultados muestran que WW3 logra un buen ajuste para la serie completa, principalmente en la variable de altura significativa (H_s), con correlaciones altas y errores bajos. Sin embargo, bajo condiciones de viento extremo, el desempeño se reduce notablemente; disminuye la correlación, aumentan los errores y se observa subestimación, sobre todo en el periodo peak (T_p). La comparación con datos satelitales evidenció una tendencia del modelo a sobreestimar la altura del oleaje en latitudes altas ($>40^\circ\text{S}$). En modo forecast se mantuvo un comportamiento similar: buen ajuste general, pero deficiencias frente a eventos extremos. El análisis de la componente meridional del viento confirmó una marcada estacionalidad de los eventos extremos, con predominio de vientos del sur en verano y del norte en invierno, lo que influye directamente en la variabilidad del oleaje extremo. En conclusión, aunque el modelo WW3 representa de forma adecuada las condiciones medias del oleaje, aún presenta limitaciones importantes en la simulación de eventos extremos, lo cual es crítico para la gestión de riesgos costeros.