



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Aplicación de un modelo de propagación de ondas en el diseño
de estructuras para la protección de la playa.

TESIS

Como requisito para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta

JESÚS EDUARDO MONROY BARRALES

DIRECTOR DE TESIS

Dr. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN



MÉXICO, D.F.

MAYO 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres Mario y Patricia

Porque todo lo que soy, y puedo llegar a ser es gracias a ellos.

A mis tías Georgina y Beatriz

Porque en ningún momento han dejado de apoyarme.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rodolfo Silva Casarín por permitirme formar parte del grupo de Costas y Puertos, por la confianza, el apoyo y todas las enseñanzas que me ha brindado, por permitirme crecer en lo personal y en lo académico.

Al Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin por sus enseñanzas, paciencia, y porque en todo momento he podido contar con él.

A mis compañeros del grupo de Costas y Puertos, especialmente a Alejandro, Cuauhtemoc, Jesús, José, Leticia, Miguel, Mireille, Sébastien, Tabaré y Xavier por los buenos momentos y sobre todo, por brindarme su amistad.

A Antonio (Escorza), Carolina, Daniela, Elizabeth Fabiola, Francisco, Javier, Jonathan, Karla, Laura, Mónica, Rosa (Perea), Rubí y Sandra (Chávez) porque siempre han estado conmigo, compartiendo los buenos momentos y por apoyarme en los momentos malos. Gracias por su amistad.

A Dalila, Prieto y Silva que, si la Facultad de Ingeniería fue como mi segunda casa, ellos fueron mi segunda familia. Sin ellos esta carrera no habría sido lo mismo, más allá de las risas y los buenos momentos que compartimos, aprendí mucho con ellos en lo académico pero sobre todo en lo personal. En verdad, les agradezco mucho por la amistad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	15
CAPÍTULO 1. OLEAJE	17
1.1 CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE	19
1.1.1 Oleaje local o SEA	20
1.1.2 Oleaje distante o SWELL	20
1.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE	20
1.2.1 Descripción física del oleaje	20
1.2.2 Descripción matemática del oleaje.....	21
1.2.3 Descripción estadística del oleaje.....	21
1.2.3.1 El oleaje como proceso estocástico	22
1.2.3.2 El oleaje como proceso estacionario	23
1.2.3.3 El oleaje como proceso ergódico	23
1.3 FUNDAMENTOS DE HIDRODINÁMICA	23
1.3.1 Ecuaciones fundamentales	24
1.3.1.1 Ecuación de continuidad	24
1.3.1.2 Ecuación de Laplace	24
1.3.1.3 Ecuación de Navier-Stokes	24
1.3.1.4 Ecuaciones de Euler	25
1.3.1.5 Ecuación de Bernoulli.....	25
1.3.2 Flujo sobre fondo impermeable	25
1.3.2.1 Condiciones de contorno	25
1.3.2 Teoría lineal de ondas sobre fondo impermeable	26
1.4 TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA COSTERA	27
1.4.1 Someramiento	28

1.4.2 Refracción	28
1.4.3 Difracción	28
1.4.4 Reflexión	28
1.4.5 Rotura	29
1.5 CORRIENTES MARINAS.....	30
1.5.1 Corrientes inducidas por el oleaje	30
CAPÍTULO 2. ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN DE LA PLAYA.....	31
2.1 PLAYAS DE ARENA	31
2.1.1 Morfología de las playas	31
2.1.1.1 Forma en perfil de las playas	31
2.1.1.2 Forma en planta de las playas.....	34
2.1.1.3 Morfología a largo plazo de las playas: Playas en equilibrio.....	34
2.1.2 Transporte de sedimentos	36
2.1.2.1 Transporte longitudinal de sedimentos	36
2.1.2.2 Transporte transversal de sedimentos.....	37
2.1.3 Problema de erosión en las playas	37
2.2 ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA PLAYA.....	38
2.2.1 Tipos y funciones de las obras para la protección de la playa.....	38
2.2.1.1 Relleno de playas	38
2.2.1.2 Espigones	40
2.2.1.3 Rompeolas.....	42
2.2.1.4 Seawalls.....	45
2.2.1.5 Revestimientos.....	45
2.2.1.6 Drenado de playas	46
CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	47
3.1 RELACIÓN DE DISPERSIÓN.....	50
3.2 SOLUCIÓN A LA ECUACIÓN MODIFICADA DE LA PENDIENTE SUAVE.....	50
3.2.1 Condiciones de frontera.....	50

3.2.1.1 Condición de frontera abierta.....	51
3.2.1.2 Condición de frontera parcialmente reflejante	51
3.2.2 Generación del sistema de ecuaciones	51
3.2.2.1 Ecuación de gobierno.....	51
3.2.2.2 Ecuación para la frontera abierta.....	51
3.2.2.3 Determinación del oleaje en una frontera con fondo variable.....	52
3.2.2.4 Determinación del ángulo local	52
3.2.3 Solución del sistema de ecuaciones a través de un método Gaussiano.	52
3.3 PROGRAMA COMPUTACIONAL MWAPO_V4	53
3.3.1 Descripción de archivos de entrada.....	53
3.3.1.1 Ejemplo de archivo de entrada con una lista de casos	53
3.3.1.2 Ejemplo de archivo con las condiciones generales	54
3.3.1.3 Criterio para establecer la dirección del oleaje incidente.....	55
3.3.1.4 Descripción del archivo de entrada con los datos batimétricos	55
3.3.2 Descripción de los archivos de salida.....	56
3.3.2.1 Archivo de resultados con la amplitud máxima	56
3.3.2.2 Archivo de resultados con la superficie libre instantánea	57
4.1 DESARROLLO KANAI	59
4.2 ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN	61
4.2.1 Evaluación del funcionamiento de las estructuras de protección	62
4.2.1.1 Escenario 1. Posición original con estructuras coronadas al NMM	64
4.2.1.2 Escenario 2. Estructuras desplazadas 50 metros hacia el mar coronadas al NMM	67
4.2.1.3 Escenario 3. Sólo la estructura central corrida 50 metros hacia el mar y coronadas al NMM	69
4.2.1.4 Escenario 4. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM	70
4.2.1.5 Escenario 5. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM, con el doble de ancho propuesto	72
4.2.1.6 Escenario 6. Estructuras en posición original, con el triple de ancho del propuesto y coronadas al NMM	74
4.2.2 Propuesta de diseño estructural	75
4.2.2.1 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:1.5.....	75
4.2.2.2 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:2.....	83
4.2.2.3 Comentarios sobre el diseño estructural	85
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	87
CONCLUSIONES.....	87

FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	88
ANEXOS	89
ANEXO DIGITAL.....	89
A. ARCHIVOS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA WAPO_V4 CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE OLEAJE	89
BIBLIOGRAFÍA	103

Lista de figuras

Figura 1. 1 Características de la onda.....	18
Figura 1. 2 Periodo-energía de las ondas (Kinsman, 1965)	19
Figura 1. 3. Oleaje tipo SEA (izq.) y oleaje tipo SWELL (der.).....	20
Figura 1. 4 Tipos de rotura del oleaje.....	29
Figura 2. 1 Zonificación y partes del perfil de playa. Modificado de USACE (1984)	32
Figura 2. 2 Perfil dinámico de la playa.....	34
Figura 2. 3 Relleno de playa por bombeo de arena.....	39
Figura 2. 4 Función de un espigón, visto en planta	40
Figura 2. 5 Espigones en Sitges, España (izq.) y comportamiento típico de un grupo de espigones (der.).....	41
Figura 2. 6 Espigón de material rocoso (izq.), espigón de madera (der.)	41
Figura 2. 7 Estructuras rompeolas.....	42
Figura 2. 8 Formación de tómbolos en rompeolas.....	43
Figura 2. 9 Gánguil.....	44
Figura 2. 10 Corte transversal de rompeolas	44
Figura 2. 11 Seawall, Japón	45
Figura 2. 12 Revestimiento de playa, utilizando material rocoso	46
Figura 3. 1 Croquis del problema de propagación en fondo variable	47
Figura 3. 2 Ejemplo de archivo de entrada con lista de casos.....	54
Figura 3. 3 Ejemplo de archivo con condiciones de entrada.....	55
Figura 3. 4 Estructura de archivo de batimetría	56
Figura 3. 5 Estructura de archivo de resultados con amplitud máxima	57
Figura 3. 6 Estructura de archivo de resultados con la superficie libre instantánea.....	57
Figura 4. 1 Localización del desarrollo Kanai.....	59
Figura 4. 2 Perfil de relleno de playa	60
Figura 4. 3 Perfil de relleno de playa y duna artificial	60
Figura 4. 4 Sección transversal de estructura de protección	61
Figura 4. 5 Batimetría de cálculo.....	62
Figura 4. 6 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1	64
Figura 4. 7 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta	65
Figura 4. 8 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta.....	66
Figura 4. 9 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2	67
Figura 4. 10 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta.....	68
Figura 4. 11 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 3	69
Figura 4. 12 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4	70
Figura 4. 13 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta	71
Figura 4. 14 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5	72
Figura 4. 15 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta	73
Figura 4. 16 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 6	74
Figura 4. 17 Localización, en planta, de los diferentes sectores de un dique sumergido.	75

Figura 4. 18 Secciones transversales de las propuestas de diseño estructural. Con pendiente 1:2 (arriba) y 1:1.5 (abajo)	86
Figura A. 1 Archivo de entrada KA01WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	89
Figura A. 2 Archivo de entrada KA02WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	90
Figura A. 3 Archivo de entrada KA03WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	90
Figura A. 4 Archivo de entrada KA04WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	91
Figura A. 5 Archivo de entrada KA05WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	91
Figura A. 6 Archivo de entrada KA06WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	92
Figura A. 7 Archivo de entrada KA07WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	92
Figura A. 8 Archivo de entrada KA08WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	93
Figura A. 9 Archivo de entrada KA09WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	93
Figura A. 10 Archivo de entrada KA10WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	94
Figura A. 11 Archivo de entrada KA11WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	94
Figura A. 12 Archivo de entrada KA12WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	95
Figura A. 13 Archivo de entrada KA13WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	95
Figura A. 14 Archivo de entrada KA14WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	96
Figura A. 15 Archivo de entrada KA15WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	96
Figura A. 16 Archivo de entrada KA16WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	97
Figura A. 17 Archivo de entrada KA17WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	97
Figura A. 18 Archivo de entrada KA18WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	98
Figura A. 19 Archivo de entrada KA19WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	98
Figura A. 20 Archivo de entrada KA20WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	99
Figura A. 21 Archivo de entrada KA21WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	99
Figura A. 22 Archivo de entrada KA22WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	100
Figura A. 23 Archivo de entrada KA23WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	100
Figura A. 24 Archivo de entrada KA24WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	101

Lista de tablas

Tabla 1. 1 Clasificación de las ondas por su periodo (Johnson <i>et al</i> , 1978).....	18
Tabla 1.2 Características de los parámetros adimensionales para las distintas teorías de ondas	21
Tabla 1. 3 Valores del número de Iribarren para los diferentes tipos de rotura según Batjes (1974)	30
Tabla 4. 1 Volúmenes de mortero para construcción de protecciones.....	61
Tabla 4. 2 Resumen de los casos modelados	63
Tabla 4. 3 Parámetros de ajuste de las curvas (4.3), para el diseño del talud exterior.....	77
Tabla 4. 4 Parámetros de ajuste de las curvas (4.8), para el diseño de la coronación	79
Tabla 4. 5 Parámetros de ajuste de las curvas (4.10), para el diseño del talud interior	80
Tabla 4. 6 Parámetros de ajuste de las curvas (4.13) y (4.14), para el diseño del morro.....	82

Introducción

El turismo en México es una de las principales actividades económicas, genera más del 8% del PIB y más de 1.8 millones de empleos remunerados. La Organización Mundial de Turismo (World Tourism Organization) posiciona a México como el octavo lugar a nivel mundial en términos de llegada de turistas internacionales, y primer destino para turistas extranjeros dentro de América Latina.

La Riviera Maya es uno de los destinos turísticos preferidos para turistas nacionales y extranjeros. Se extiende a lo largo del Mar Caribe y está ubicada en el Estado de Quintana Roo. Según datos de la Comisión de Turismo del Congreso del Estado de Quintana Roo, tan sólo en el 2010, la Riviera Maya rebasó la cantidad de 3 millones de visitantes, superando a destinos como Cuba, Bahamas, República Dominicana y Jamaica.

Uno de los principales atractivos que ofrece la Riviera Maya (y en general la República Mexicana) son sus playas. Sin embargo, por su constante interacción con el mar, éstas pueden presentar problemas de erosión cuando existen factores externos que alteran su equilibrio, como son las construcciones cerca de la zona móvil que pueden alterar las fuentes de suministro de sedimento. De esto último surge la necesidad de conservar las playas, no sólo por lo que ofrecen en el aspecto recreativo, sino porque constituyen también una protección natural contra los embates del mar y, en algunos casos, son el hábitat natural de especies únicas.

Existen muchas formas de proteger una playa, por ejemplo, mediante la construcción de estructuras cuya finalidad es disipar la energía del oleaje evitando así la erosión y logrando retener el sedimento.

Como apoyo en el diseño de estas estructuras, se ha implementando el uso de modelos numéricos que buscan reproducir el fenómeno de propagación de ondas que se presenta en el mar. La ventaja que tiene el uso de estos modelos es que una vez programados, su uso es muy sencillo y requieren muy poco esfuerzo computacional para su ejecución.

Uno de estos modelos es el programa WAPO (del inglés Wave Propagation On the Coast), basado en la teoría lineal de propagación de ondas. Este programa simula la propagación de ondas en un medio marino sobre un fondo impermeable, dadas unas condiciones iniciales de oleaje como son la altura de ola, periodo de ola y ángulo de incidencia. Con esta herramienta se puede evaluar el funcionamiento de estructuras marítimas diseñadas, para conocer su funcionamiento y en dado caso, modificar el diseño para mejorar su desempeño.

En este trabajo se presenta la aplicación del modelo de propagación de ondas mediante el uso del programa WAPO, como apoyo en el diseño de tres estructuras de protección para la playa artificial que tendrá lugar en el desarrollo Kanai, Riviera Maya, México.

Objetivos y organización del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es aplicar un modelo numérico en un proyecto de ingeniería costera, y con ello, evaluar el funcionamiento de las tres estructuras proyectadas para proteger la playa frente al desarrollo Kanai.

Otros objetivos adicionales, y que complementan el objetivo central, se enlistan a continuación:

- Estudiar y describir los métodos estadísticos, físicos y matemáticos para la caracterización del oleaje.
- Comprender las transformaciones que sufre el oleaje al aproximarse a la costa.
- Estudiar la morfodinámica de las playas, para comprender su formación y erosión.
- Conocer y describir las diferentes obras de ingeniería que tienen como propósito la protección de la playa.
- Determinar la configuración ideal de las estructuras de protección de la playa artificial del desarrollo Kanai, considerando funcionamiento y costo de las mismas.

Para alcanzar los objetivos planteados, el trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1. Oleaje

Se revisa el estado del arte en el estudio del oleaje, algunas formas de clasificación, caracterización, y la descripción de los procesos de transformación del oleaje cuando se aproxima a la costa.

Capítulo 2. Estructuras de protección de la playa

Se presentan y describen las estructuras que existen para la protección de la playa, partiendo de la definición de playa, morfología, descripción por su forma en perfil y planta.

Capítulo 3. Modelo de propagación de ondas

Se presenta el modelo numérico utilizado para la realización del programa WAPO. Así mismo se presenta una descripción del programa y se explica su funcionamiento.

Capítulo 4. Proyecto de protección de playa frente al desarrollo Kanai

Se presenta la aplicación del modelo estudiado en el capítulo anterior, como apoyo en el diseño de tres estructuras de protección para la playa para el desarrollo Kanai, en la Riviera Maya, México. Además, se plantea una propuesta de diseño estructural para las protecciones, diferente a la propuesta inicialmente por los responsables del desarrollo Kanai.

Capítulo 6. Conclusiones

Se presentan las conclusiones a las que se llega después de realizar este trabajo y se proponen algunas de las futuras líneas de trabajo sobre este tema.

Capítulo 1. Oleaje

Históricamente el oleaje ha sido uno de los fenómenos más intrigantes para el hombre, registrando un sinnúmero de esfuerzos por entender su generación y transformación. Desde la antigua Grecia existía ya una conciencia de la interacción entre el mar y la atmósfera e incluso Aristóteles en su libro *Acerca del cielo; meteorológicos* (Gredos, 1996) mencionó la importancia del viento para la generación del oleaje. Y fue entre los siglos XVI y XIX que comenzaron las contribuciones en el plano teórico, donde destacaron Airy (1845) y Stokes (1847) por sus teorías para el estudio del oleaje.

La ingeniería civil no ha estado ajena al estudio del oleaje, pues entre otros aspectos le interesa principalmente conocer los procesos que este fenómeno genera en la zona costera así como su influencia en la morfología de una costa, conocimiento que servirá como base para la construcción de estructuras dentro y fuera del mar.

Las olas se pueden definir como ondas provocadas por la propagación de energía mecánica a lo largo de la superficie del agua. Los mecanismos que aportan esta energía son de diferente naturaleza: viento, perturbaciones meteorológicas, sismos, atracción de cuerpos celestes, etc.; mecanismos que además definirán el tipo de ola inducida.

La forma más simple de representar una ola es por medio de ondas sinusoidales, donde se define como cresta la parte más alta que puede alcanzar una onda y el valle como la parte más baja. La longitud de onda, L , es la distancia horizontal entre dos crestas adyacentes; la altura de onda, H , es la distancia vertical entre el máximo de la cresta y el fondo del valle. Así mismo, el tiempo necesario para que dos crestas consecutivas pasen por el mismo punto se define como periodo de onda, T , mientras que su inverso ($1/T$) será la frecuencia. La celeridad, c , es la velocidad a la que viaja una onda y estará dada por la relación entre la longitud y el periodo (L/T). La mitad de la altura de onda es la amplitud. En el caso de una ola representada por una onda, la distancia vertical entre el fondo y la elevación media de la superficie del agua es la profundidad de ola, h ; y la elevación instantánea de la superficie del agua η , es el desplazamiento de la superficie libre con respecto al nivel medio del agua. En la figura 1.1 se pueden observar las características de una onda.

En la figura 1.2 y la tabla 1.1 se muestran los diferentes tipos de onda con sus mecanismos generadores, periodos y longitudes características, así como sus fuerzas restauradoras. En la figura 1.2 se aprecia que entre los periodos que van de 1 a 30 segundos existe un máximo de energía. Los movimientos correspondientes a estos periodos son ondas de gravedad, generadas por el viento y que propagan la energía desde la zona de generación perdiéndose lentamente debido a la fricción con la atmósfera y viscosidad molecular, hasta alcanzar la costa donde finalmente se disipa en los procesos de rotura. Estas oscilaciones reciben el nombre de oleaje.

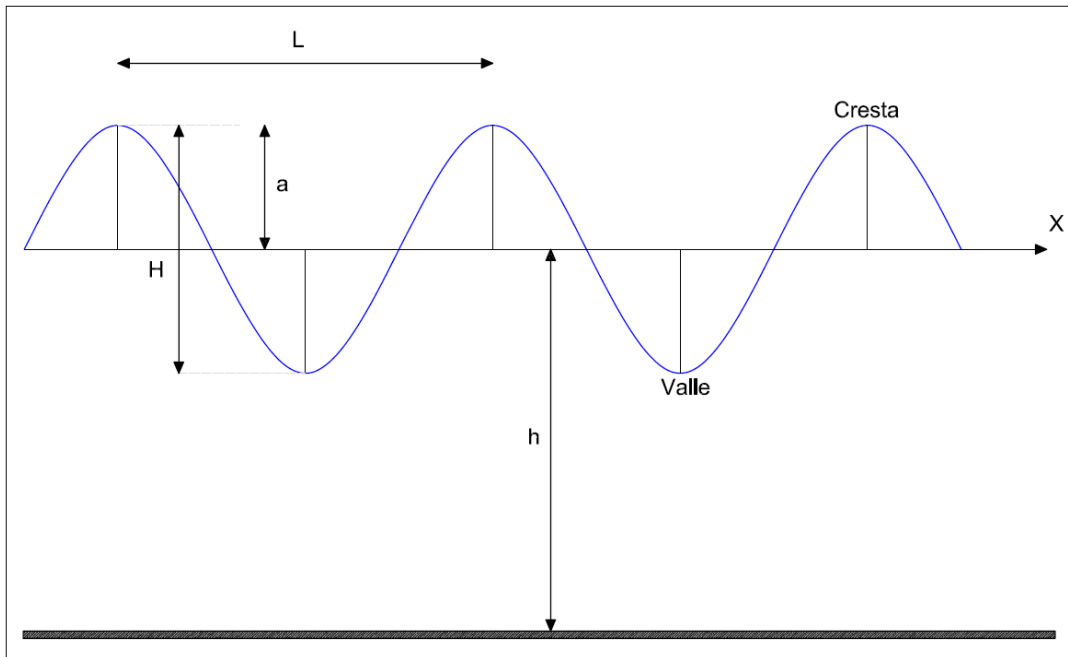


Figura 1. 1 Características de la onda

Tabla 1. 1 Clasificación de las ondas por su periodo (Johnson *et al*, 1978)

Nombre	Periodo (T)	Longitud (L)	Altura (H)	Fuerza generadora	Fuerza restauradora
Capilares	0 a 0.1 (s)	2 a 7 (cm)	1 a 2 (mm)	Viento	Tensión superficial
Ultragravedad	0.1 a 1 (s)	Centímetros	Centímetros	Viento	Tensión superficial y gravedad
Gravedad	1 a 30 (s)	Metros a cientos de metros	Centímetros a 15 (m)	Viento	Gravedad
Infragravedad	30 (s) a 30 (min)	100 a 200 (m)	Pequeña	Viento	Gravedad, fuerza de Coriolis
Periodo largo	5 (min) a 24 (h)	Pueden llegar a ser de escala planetaria	1 a 5 (m)	Sismo, derrumbes, atracción de cuerpos celestes	Gravedad, fuerza de Coriolis
Transmarea	Más de 24 (h)	-	0 a 12 (m)	Oscilaciones climáticas	Gravedad, fuerza de Coriolis

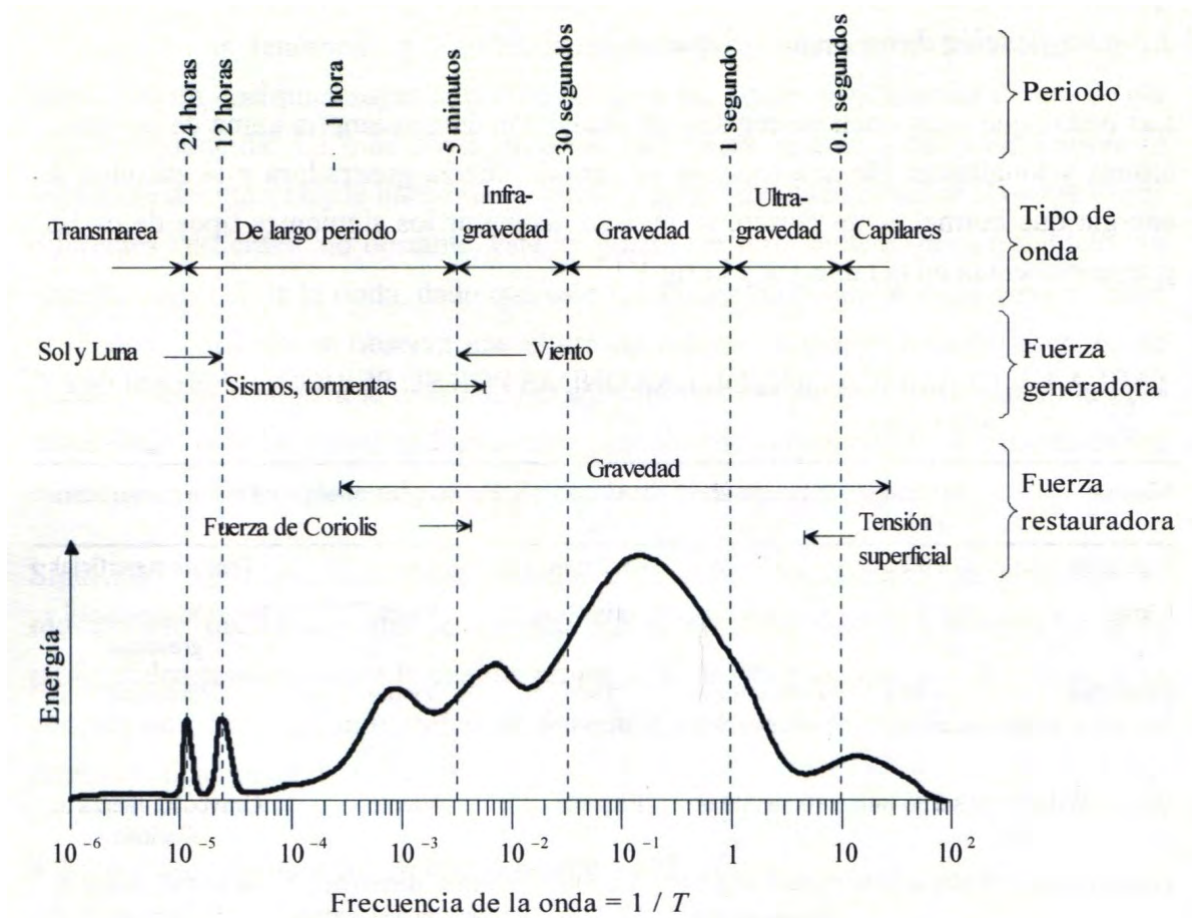


Figura 1. 2 Periodo-energía de las ondas (Kinsman, 1965)

1.1 Clasificación del oleaje

Cuando el viento le transfiere su energía a la superficie del mar se genera el oleaje. La zona donde se lleva a cabo dicha transferencia se conoce como zona de generación (fetch). A medida que el oleaje se propaga fuera de la zona de generación, las ondas se dispersan separándose en componentes. Por un lado, las componentes de mayor periodo se adelantan a las de menor periodo, produciéndose así una dispersión radial en la dirección de propagación. Por otro lado, se produce una dispersión angular debido a que las ondas que salieron del área de generación lo hicieron con direcciones diferentes alrededor de la dirección predominante (en este caso la del viento).

Aunque existe un sinnúmero de estados intermedios, se distinguen dos tipos extremos de oleaje, denominados por las palabras inglesas SEA y SWELL, o por su traducción al español como oleaje local y oleaje distante, respectivamente.

1.1.1 Oleaje local o SEA

Se produce en la zona generación costa afuera, las crestas son cortas y asimétricas, además de que existe poca correlación entre alturas y periodos sucesivos. Las olas presentan una altura relativamente grande para su longitud de onda, y la superficie líquida se vuelve impredecible.

1.1.2 Oleaje distante o SWELL

Como consecuencia de la dispersión radial y angular, el oleaje que se observa lejos de la zona de generación ha perdido su aspecto turbulento y es más regular, ya que las ondas son más parecidas entre sí. Este oleaje dispersado viaja a expensas de su propia energía.

Este tipo de oleaje llega a la zona costera y sufre otra disipación en el que las ondas progresan en forma paralela a las líneas batimétricas. A este proceso se le conoce como refracción.



Figura 1. 3. Oleaje tipo SEA (izq.) y oleaje tipo SWELL (der.)

1.2 Caracterización del oleaje

Como ya se ha establecido, el oleaje se trata de un tipo de onda que se propaga en el agua por la acción de un agente generador. De acuerdo con esta definición, el oleaje se puede caracterizar desde el punto de vista físico, matemático y estadístico.

1.2.1 Descripción física del oleaje

Desde el punto de vista de la física, las ondas propagadas en el agua se pueden clasificar de dos formas:

- a) Ondas oscilatorias. Estas ondas se caracterizan por no presentar transporte de masa. Dentro de las ondas oscilatorias están las ondas progresivas y las ondas estacionarias.
- b) Ondas translatorias. Estas ondas se caracterizan por presentar transporte de masa en la dirección de propagación de la onda. Dentro de las ondas translatorias se identifican las ondas solitarias, cnoidales y las mareas.

1.2.2 Descripción matemática del oleaje

Existe una clasificación con base en parámetros adimensionales que, a su vez, son función de las características de las ondas. Estos parámetros adimensionales son los siguientes:

- Altura relativa de la onda (α). Es la relación entre la altura de ola y la profundidad de la misma.

$$\alpha = \frac{H}{h} \tag{1.1}$$

- Peralte de la onda (β). Es la relación entre la altura y la longitud de onda.

$$\beta = \frac{H}{L} \tag{1.2}$$

- Profundidad relativa (λ). Es la relación entre la profundidad de la ola y su longitud.

$$\lambda = \frac{h}{L} \tag{1.3}$$

De acuerdo con estas relaciones, se puede hacer la caracterización que se presenta en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Características de los parámetros adimensionales para las distintas teorías de ondas

Tipo de onda	$\lambda = \frac{h}{L}$	$\alpha = \frac{H}{h}$	$\beta = \frac{H}{L}$
Pequeña amplitud	≥ 1	$\ll 1$	$\ll 1$
Ondas largas	$\ll 1$	-	-
Onda larga lineal	-	$\alpha \ll \lambda^2$	-
Boussinesq	-	$\alpha \sim \lambda^2$	-
Onda larga no lineal	-	$\alpha \gg \lambda^2$	-

1.2.3 Descripción estadística del oleaje

A pesar de los intentos por caracterizar y estudiar el oleaje desde diferentes puntos de vista, en la realidad es muy difícil representarlo por un modelo tan sencillo como el de la onda, pues el oleaje es un fenómeno que no se reproduce fuera del mar. Además, su naturaleza variable hace imposible predecir a partir de una altura de ola, cuál será la siguiente altura en ese mismo punto. Por lo tanto, la mejor manera de caracterizarlo es a través de modelos estadísticos, tratando al oleaje como un fenómeno aleatorio.

1.2.3.1 El oleaje como proceso estocástico

Al ser el oleaje un proceso aleatorio, se lo puede considerar como un conjunto de ondas viajando en diferentes direcciones, con diferentes amplitudes, frecuencias y fases, para que pueda ser estudiado como una superposición lineal de ondas armónicas simples, definidas como:

$$\eta(x, y, t) = \sum_i a_i \cos \left[\frac{\sigma_i^2}{g} (x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - \sigma_i t + \varepsilon_i \right] \quad (1.4)$$

Donde:

a Amplitud

σ Frecuencia angular ($2\pi/T$)

T Periodo de la onda

θ Ángulo de incidencia con respecto al eje X

ε Fase

x, y Posición espacial de la onda

t Tiempo.

Al observar la superficie del mar en cualquier instante t_i es claro que $\eta(t_i)$ se trata de una variable aleatoria. Ahora, si se considera un conjunto de n instantes t_1, t_2, \dots, t_n , η se tratará de una variable de n dimensiones. Así se conoce la función de distribución:

$$F_{t_1, t_2, \dots, t_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \text{Prob} \left[\eta(t_1) \leq x_1, \eta(t_2) \leq x_2 \dots \eta(t_n) \leq x_n \right] \quad (1.5)$$

Estas distribuciones deben satisfacer las condiciones de simetría y de compatibilidad. Si las cumple, se puede concluir que para definir el proceso $\eta(t)$ sería necesario conocer todas las funciones de distribución dadas por la ecuación (1.5) para cualquier η . Si se considera que todas las distribuciones dadas por la ecuación (1.5) son normales, es posible simplificar este proceso utilizando la teoría de la correlación, pues toma en consideración sólo los dos primeros instantes del proceso, de forma que:

- El valor medio queda definido como

$$\mu_\eta(k) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} n_k(t) dt \quad (1.6)$$

- Y la función de correlación se expresa como

$$R_{\eta\eta}(k) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \eta_k(t) \eta_k(t + \tau) dt \quad (1.7)$$

Sin embargo, aunque se restrinja el proceso al uso de solamente los dos primeros instantes, el problema sigue siendo muy complejo, por lo que se hace necesario admitir dos importantes hipótesis estadísticas: estacionariedad y ergodicidad.

1.2.3.2 El oleaje como proceso estacionario

Cuando las características externas que influyen en un fenómeno físico permanecen constantes durante un periodo de tiempo, el fenómeno físico se puede considerar como estacionario, de tal forma que en ese periodo exista un equilibrio entre fuerzas generadoras y restauradoras que intervienen, manteniendo así una manifestación aproximadamente estacionaria. Este periodo de tiempo es conocido como estado de mar.

El proceso $\eta(t)$ es estacionario cuando todas las funciones de distribución que lo definen permanecen constantes en cualquier intervalo de tiempo τ . Esto es:

$$F_{t_1+\tau, t_2+\tau, \dots, t_n+\tau}(x_1, x_2, \dots, x_n) = F_{t_1, t_2, \dots, t_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.8)$$

Donde el valor medio está dado por

$$\mu(k) = \mu \quad (1.9)$$

Y la función de correlación depende de la diferencia $\tau = t + \tau$ tal que

$$R_{\eta\eta}(k) = R_{\eta\eta} \quad (1.10)$$

Para fines prácticos es suficiente considerar al oleaje como un fenómeno débilmente estacionario.

1.2.3.3 El oleaje como proceso ergódico

El teorema de ergodicidad dice:

“Si un proceso aleatorio $\eta(t)$ es estacionario y tanto $\mu_\eta(k)$ como $R_{\eta\eta}$ definidos en las ecuaciones (1.9) y (1.10) no difieren cuando se calculan sobre diferentes muestras, se dice que el proceso es ergódico”.

De esta forma, la hipótesis de ergodicidad permite utilizar promedios temporales sobre una realización, en vez de utilizar los promedios espaciales de realizaciones.

1.3 Fundamentos de hidrodinámica

La hidrodinámica se encarga de estudiar la dinámica de los fluidos, aceptando tres hipótesis básicas:

- El fluido es un líquido incompresible,
- El flujo es no viscoso,
- El flujo es irrotacional.

Así mismo, la hidrodinámica es fundamental para comprender muchos de los procesos que ocurren en la zona costera pues es base conceptual para el desarrollo de modelos numéricos que pueden servir como apoyo para el diseño de estructuras marítimas.

A continuación se presentan las ecuaciones básicas, ecuaciones de gobierno y condiciones de frontera que rigen en la propagación de ondas progresivas.

1.3.1 Ecuaciones fundamentales

La ecuación de Laplace es la ecuación de gobierno para el problema de flujo oscilatorio; mientras que las condiciones en las interfaces tanto agua-aire como agua-fondo, se describen a partir de las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli.

1.3.1.1 Ecuación de continuidad

Al aceptar que el fluido es incompresible, la ecuación de continuidad es

$$\text{div}V = 0 \tag{1.11}$$

Donde V es el vector velocidad de flujo.

1.3.1.2 Ecuación de Laplace

A partir de un potencial de velocidades, Φ tal que

$$u = \left(-\frac{\partial\Phi}{\partial x} \right), \quad v = \left(-\frac{\partial\Phi}{\partial y} \right), \quad w = \left(-\frac{\partial\Phi}{\partial z} \right) \tag{1.12}$$

Donde u , v y w son los componentes cartesianos del vector velocidad; y considerando la ecuación de continuidad, se obtiene la ecuación de Laplace, que es

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = \nabla^2\Phi = 0 \tag{1.13}$$

1.3.1.3 Ecuación de Navier-Stokes

Su forma vectorial, para flujo incompresible es

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \bar{X} \tag{1.14}$$

Donde:

p Es la presión

- t Es el tiempo
- μ Es la viscosidad cinemática
- \vec{X} Representa a las fuerzas externas.

1.3.1.4 Ecuaciones de Euler

Son un caso particular de la ecuación (1.14). Al aceptar las hipótesis de: flujo viscoso y fuerzas externas nulas excepto la fuerza de gravedad con componente vertical, las ecuaciones de Euler quedan

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}; \frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; \frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (1.15)$$

1.3.1.5 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una forma integrada de las ecuaciones de Euler y proporciona una relación entre el campo de presiones y la cinemática del flujo. La ecuación queda

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + gz = C(t) \quad (1.16)$$

En la que $C(t)$ está en función del tiempo que permanece constante a lo largo de una línea de corriente.

1.3.2 Flujo sobre fondo impermeable

La solución del problema de flujo sobre fondo impermeable representa una primera aproximación a la representación matemática de la propagación de ondas en la realidad. Esta aproximación permite la obtención de resultados sin gran esfuerzo computacional y con buena precisión. A continuación se presentan las ecuaciones que se utilizan para modelar la propagación de ondas de pequeña amplitud (teoría lineal) en agua y sobre un fondo horizontal impermeable. Para determinar estas ecuaciones, se establecen condiciones de contorno cinemática, dinámica y mixta para aplicarlas en la ecuación diferencial de gobierno (ecuación de Laplace y considerando el potencial de velocidades, Φ como variable dependiente).

1.3.2.1 Condiciones de contorno

Condición de contorno cinemática

La condición cinemática de contorno está dada por

$$\bar{u} \cdot n = \frac{\partial F}{\partial t} \quad (1.17)$$

En $F(x, y, z, t) = 0$.

Donde $\bar{u} = (u, v, w)$, $n = \frac{\nabla F}{|\nabla F|}$ es un vector unitario normal a la superficie libre, y

$$|\nabla F| = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2} \quad (1.18)$$

Al aplicar esta expresión al fondo y a la superficie libre, se obtienen las condiciones de contorno respectivas.

Condición cinemática en el fondo

$$w = -\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (1.19)$$

En $z = -h$.

Condición cinemática en la superficie libre

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} - \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \quad (1.20)$$

En $z = \eta(x, y, t)$.

Condición de contorno dinámica

Esta condición estará dada por la ecuación de Bernoulli

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad (1.21)$$

Condición de contorno mixta de superficie libre

Para obtener esta condición, se deriva la condición de contorno dinámica dada por la ecuación (1.21) y se sustituye en la condición cinemática de superficie libre, dada por la ecuación (1.20). Así se tiene

$$g \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \frac{1}{2} \left(-\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \frac{\partial}{\partial z} \right) \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] = 0 \quad (1.22)$$

En $z = \eta(x, y, t)$

1.3.2 Teoría lineal de ondas sobre fondo impermeable

La teoría lineal es la solución a la ecuación de Laplace, dadas las condiciones de frontera descritas en las ecuaciones (1.19) a (1.22).

La teoría lineal de ondas es muy extensa, y su descripción completa no corresponde a los objetivos de este trabajo. A continuación se presentan sólo las expresiones de mayor interés.

La relación de dispersión está dada por la expresión

$$\sigma^2 = gk \cdot \tanh(kh) \quad (1.23)$$

Donde:

- $\sigma = 2\pi/T$ Es la frecuencia angular,
- T Es el periodo,
- $k = 2\pi/L$ Es una constante de integración denominada número de onda y
- L La longitud de onda.

La elevación de la superficie libre del agua, η se calcula con

$$\eta = \Re \left[-\frac{i\sigma}{g} \cosh(kh) A e^{i(kx - \sigma t)} \right] \quad (1.24)$$

En la que $A = -\frac{g}{i\sigma} \frac{a}{\cosh(kh)}$

- $\Re[\]$ Denota la parte real del argumento,
- h Es la profundidad del nivel medio del mar,
- a Es la amplitud de la onda,
- g Es la aceleración debida a la fuerza de gravedad y
- x Es el eje de propagación y t el tiempo.

El potencial de velocidades está dado por

$$\Phi(x, z, t) = \Re \left[-\frac{ig}{\sigma} \frac{\cosh(k) \cdot (h + z)}{\cosh(kh)} e^{i(kx - \sigma t)} \right] \quad (1.25)$$

1.4 Transformación del oleaje en la zona costera

Conforme el oleaje se aproxima a la costa, los efectos que el fondo produce en el mismo comienzan a notarse; esto es, cuando la profundidad de la ola es menor a la mitad de la longitud

de ola ($h < L/2$). Los efectos que se pueden observar son variaciones en la altura de ola o en la dirección de propagación.

1.4.1 Someramiento

Cuando un tren de onda, con altura y longitud constante se aproxima a la costa, la variación en la batimetría de la zona altera la celeridad de las olas, transformando su energía cinética en energía potencial. La onda sufre un aumento en su altura de ola originándose una asimetría en el perfil de la ola hasta que finalmente rompe.

1.4.2 Refracción

La celeridad de un frente de ola es mayor en aguas más profundas, por lo que al acercarse a la costa y disminuir la profundidad se presenta un giro del frente de ola conocido como refracción, tendiendo a propagarse paralela a la línea de costa.

1.4.3 Difracción

En su propagación hacia la costa, el oleaje se encuentra con obstáculos naturales o artificiales que generan un cambio abrupto en la altura de ola. Esta alteración provoca una cesión o transferencia de energía en dirección perpendicular a la propagación. A este fenómeno se le conoce como difracción.

El estudio de la difracción tiene una especial importancia para la planeación y diseño de estructuras marítimas, en el estudio de propagaciones de las ondas.

1.4.4 Reflexión

Cuando el oleaje choca con un obstáculo natural o artificial se presenta el fenómeno de reflexión, causando alteraciones a las características de la ola.

La reflexión en playas, acantilados o estructuras puede cambiar por completo el oleaje incidente, dando lugar a desplazamientos de la zona de rompientes, cambios en el nivel de disipación de energía o alteraciones al transporte de sedimentos. Esto hace que, si se quiere determinar adecuadamente la morfodinámica o estabilidad de la zona, sea de gran importancia la determinación del campo de ondas que existe frente a una estructura reflejante natural o artificial.

Dentro del estudio de la reflexión, se pueden presentar dos casos extremos. El primero cuando el oleaje se propaga sobre una superficie permeable, disipando su energía gradualmente; en este caso la reflexión se considera despreciable. El segundo caso se presenta cuando el oleaje se encuentra con un obstáculo vertical impermeable; la reflexión es casi pura, no se presentan los procesos de disipación o rotura.

El análisis de la reflexión se puede hacer mediante fórmulas empíricas que determinan su magnitud en playas o diferentes estructuras. Una fórmula es el coeficiente de reflexión

$$Cr = \frac{Hr}{Hi} \tag{1.26}$$

Siendo Cr el coeficiente de reflexión, Hr la altura de ola reflejada, y Hi la altura de ola incidente.

1.4.5 Rotura

A medida que las olas se acercan a la costa se presenta el proceso de someramiento, aumentando gradualmente la altura de ola. Cuando la altura de ola coincide aproximadamente con la profundidad, la ola se vuelve inestable hasta que rompe. A este proceso se le conoce como rotura, en el que se disipa una gran cantidad de energía en forma de turbulencia.

La rotura del oleaje está asociada directamente con la morfología de las playas y del fondo marino, ya que, al presentarse este proceso, se favorece el transporte de sedimento hacia la playa. Además, la rotura es una de las causas de las corrientes litorales, jugando un papel muy importante en la morfodinámica de las líneas de costa.

Existen cuatro tipos de rotura del oleaje asociadas a la pendiente de la playa: Descrestamiento (Spilling), Voluta (Plunging), Colapso (Collapsing) y Oscilación (Surfing). De estos tipos de rotura, sólo el Descrestamiento y la Voluta pueden tener lugar en aguas profundas, y se presenta cuando el oleaje supera un umbral de celeridad por las corrientes de aire. En la figura 1.4 se presentan los 4 tipos de rotura.

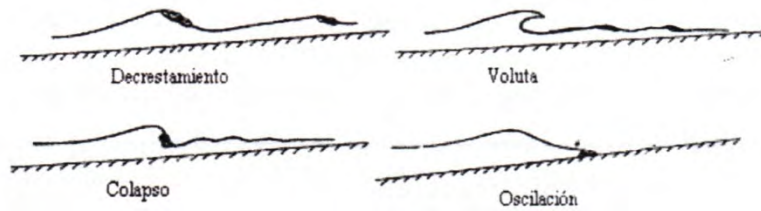


Figura 1. 4 Tipos de rotura del oleaje

El tipo de rotura que se presenta puede estar controlado por el número de Iribarren, también conocido como parámetro de rompientes

$$Ir = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \tag{1.27}$$

Donde L_0 es la longitud de onda en aguas profundas $\left(\frac{gT^2}{2\pi}\right)$ tal que:

g Aceleración debida a la gravedad

T Periodo de onda

β Es el ángulo de inclinación de la playa,

H_0 Es la altura de ola en aguas profundas

En la tabla 1.3 se presentan los cuatro tipos de rotura, de acuerdo con el número de Iribarren.

Tabla 1. 3 Valores del número de Iribarren para los diferentes tipos de rotura según Battjes (1974)

Tipo de Rotura	Número de Iribarren
Descrestamiento (spilling)	$I_r < 1.0$
Voluta (plunging)	$1.0 < I_r < 2.6$
Colapso (collapsing)	$2.6 < I_r < 3.1$
Oscilación (surfing)	$3.1 < I_r < 4.0$
No hay rotura	$4.0 < I_r$

1.5 Corrientes marinas

Las corrientes son movimientos de agua que se presentan en el fondo o en la superficie del mar. Para fines de este trabajo, mencionaremos solamente las corrientes cuyo mecanismo generador es el oleaje.

1.5.1 Corrientes inducidas por el oleaje

Las corrientes que tienen lugar en la zona costera generalmente son inducidas por el proceso de rotura. Como se mencionó anteriormente, en el proceso de rotura se disipa una cantidad de energía en forma de turbulencia, generando así las corrientes costeras. Dentro de este tipo de corrientes se pueden identificar tres principales:

1. Corrientes transversales. La propagación del oleaje produce un transporte de masa en la misma dirección. Este transporte se conoce como deriva litoral y fluye hacia la costa, al igual que el agua después del proceso del rompimiento.
2. Corrientes longitudinales. Cuando existe un exceso en el flujo de energía asociado al proceso de rotura se presentan las corrientes longitudinales. Estas corrientes son paralelas a la costa y transporta sedimento a lo largo de la línea de costa.
3. Corrientes de retorno. Cuando se presenta el proceso de reflexión, se crean corrientes que avanzan en dirección costa afuera. Estas corrientes causan transporte de sedimentos mar adentro, afectando directamente la morfología de las playas.

Capítulo 2. Estructuras de protección de la playa

2.1 Playas de arena

La costa se define como la zona terrestre que colinda con el mar, siendo la línea de costa la línea que divide al medio marino del medio terrestre. Sin embargo, es complicado establecer límites bien definidos a la zona costera, pues su extensión comprenderá el área de plataforma continental y costa en la que los procesos morfodinámicos estén determinados por la dinámica del mar.

En muchas costas existen zonas cubiertas de material suelto no consolidado (como gravas, arenas o limos) y sujetas a acumulación de sedimentos; a estas zonas se les conoce como playas. El sedimento se mueve a lo largo de la costa por efectos del oleaje, corrientes marinas y corrientes de aire (Dean y Dalrymple, 2002). El objeto central de este trabajo son las playas de arena.

Se considera como playa la zona que abarca desde la línea de máximo alcance del oleaje hasta la profundidad correspondiente a la zona donde deja de producirse movimiento del sedimento por acción del oleaje.

A pesar de los diferentes climas que existen en todo el mundo y las diferentes composiciones que pueden tener las playas, su naturaleza, forma y comportamiento siempre son muy similares.

2.1.1 Morfología de las playas

La palabra morfología (del griego *morfos*, forma y *logos*, estudio) define la disciplina que se encarga del estudio de la forma y estructura de un sistema.

La morfología de una playa se puede definir por su forma en perfil y su forma en planta. Existen costas en las que se tiene un perfil uniforme en toda la playa, por lo que su morfología estará gobernada por el mismo. Caso contrario el de las playas con variación en su perfil, donde su morfología estará dada, además, por su forma en planta.

2.1.1.1 Forma en perfil de las playas

El perfil de una playa se define haciendo un corte transversal, perpendicular al borde de la playa y es la variación de la profundidad del agua (h), con la distancia de la línea de costa (x) en dirección normal a la misma. Se puede dividir de acuerdo a los fenómenos físicos que en ella se presentan. Si se toma como parámetro la hidrodinámica de una playa, se tienen tres zonas principales:

- Zona de rompientes: Es la zona litoral donde las olas que provienen de aguas más profundas se vuelven inestables y rompen.
- Zona de transición: Es la zona intermedia que se extiende desde la zona de rompientes hasta la zona de lavado. En esta zona predomina la turbulencia después de que las olas rompen. Pueden existir corrientes longitudinales y transporte de sedimentos.

- Zona de lavado: Es la zona donde el frente de la playa es alternadamente cubierta y descubierta por el flujo de ascenso máximo del oleaje.

El resto de las zonas del perfil de la playa son las siguientes (aunque pueden variar según la referencia):

- Costa afuera: Comprende desde la zona de rompientes hacia mar adentro, hasta llegar a los límites de la plataforma continental.
- Playa activa: Cubre desde la zona de lavado hasta la zona de rompientes.
- Zona intermareal: Es la zona que se encuentra entre los límites de pleamar y bajamar. Incluye la zona de surf y de lavado. Esta zona se moja y seca con la marea.
- Playa seca: Es la zona que va desde el límite de marea alta hacia tierra adentro, hasta llegar a la zona vegetal, siendo afectada únicamente por el oleaje de tormenta.
- Escarpe de playa: Es un escalón vertical en la playa seca formado por la erosión de la berma producida por un temporal.
- Berma: Es una zona casi horizontal de la playa seca formada por la deposición de sedimento debida al oleaje. Su límite por el lado del mar es el brusco cambio de pendiente que se produce hacia el frente de playa, denominada cresta de berma.
- Frente de costa (o frente de playa): Es la zona de la playa que queda expuesta a la acción del flujo ascendente y descendiente del oleaje.

En la figura 2.1 se presenta el perfil típico de una playa.

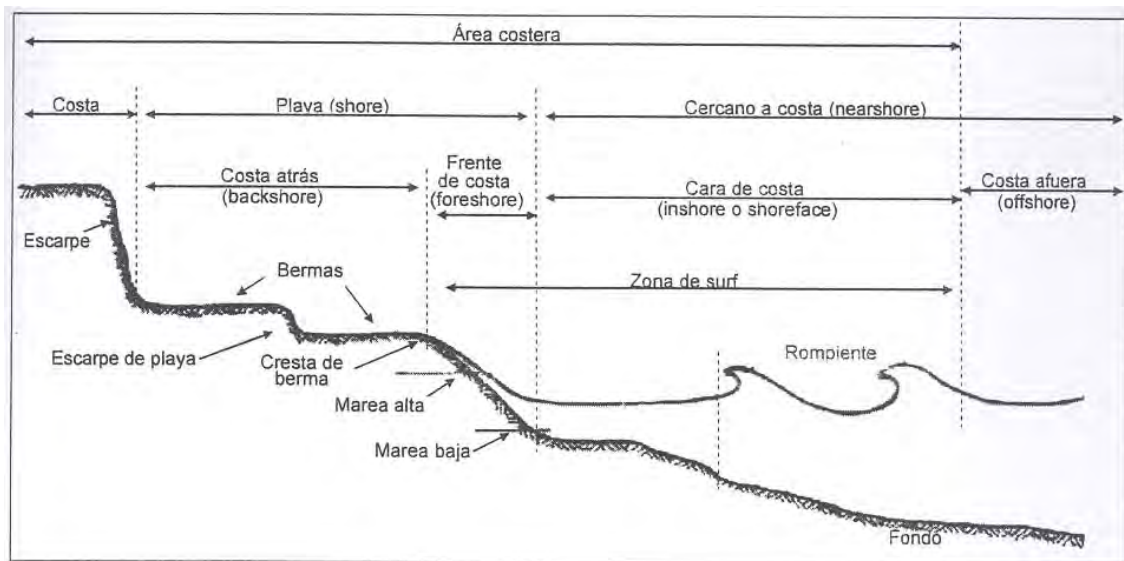


Figura 2. 1 Zonificación y partes del perfil de playa. Modificado de USACE (1984)

Variaciones del perfil: Playas disipativas y reflejantes

El perfil de las playas cambia constantemente como respuesta a los cambios del transporte transversal de sedimentos que produce la acción del mar, especialmente el oleaje. Los cambios más notorios son los asociados a los desplazamientos de las barras de arena y el avance o

retroceso de la berma. De entre las múltiples formas de perfil, existen dos extremas que presentan una geometría en planta aproximadamente bidimensional, es decir, en las que el perfil representa la morfología de la playa. Estas dos formas extremas de perfil se denominan perfil disipativo y reflejante.

El perfil disipativo es característico de las playas de arena fina y niveles de energía elevados. En general, el frente de playa no puede ser distinguido de la berma y la zona intermareal presenta concavidades con pendientes muy bajas. La playa sumergida suele presentar una o varias barras longitudinales, con crestas poco marcadas.

El perfil reflejante se presenta en playas de arenas medias a gruesas con niveles de energía bajos. En este caso la cresta de la berma marca claramente el inicio del frente de playa. En la playa seca hay restos de bermas y escarpes correspondientes a perfiles más retrasados formados con condiciones de oleaje más fuertes.

Perfil dinámico de las playas

La interacción entre el medio marino y el medio terrestre tiene una influencia directa en el perfil de la playa, cuya forma está dada por las fuerzas que actúan sobre la arena que conforma la playa. Si no existiera el oleaje, la playa tendría un perfil lineal con una pendiente correspondiente al ángulo de reposo de la arena. Sin embargo, en la realidad y bajo la acción del oleaje, el perfil de la playa generalmente presenta una concavidad hacia arriba con pendientes menores a las correspondientes al ángulo de reposo de la arena.

Durante una tormenta se establece un estado de mar confuso dentro de la zona de rompientes y las olas llegan a la playa desde diferentes direcciones. En este proceso una gran cantidad de arena es removida de la superficie de la playa y transportada hacia costa afuera, formando barras de arena en aguas relativamente profundas. A medida que estas barras crecen, la zona de rompientes se traslada hacia la zona costa afuera. De esta forma las olas rompen cada vez más lejos de la costa y disipan una cantidad considerable de energía antes de llegar a la playa. La erosión de la playa disminuye hasta que finalmente cesa. Después de que ha pasado la tormenta, los depósitos de arena que han sido arrastrados mar adentro, regresan a la playa por la acción de olas moderadas o swells. La playa así queda lista para la siguiente tormenta.

Cuando la zona de playa seca queda temporalmente lejos del oleaje, la arena se seca por la acción del sol y una parte se mueve tierra adentro formando dunas, o se mueve de regreso a la costa, por acción del viento.

Todo este proceso forma parte de un estado de equilibrio en el que intervienen fuerzas destructivas y constructivas que actúan sobre la arena y están en balance manteniendo un perfil de playa correspondiente al estado de equilibrio.

Este estado de equilibrio puede verse afectado si se alteran las condiciones de oleaje o marea, tal como un incremento en el nivel del agua o cambios en la altura o periodo de ola, hasta alcanzarse un nuevo perfil en equilibrio.

En la figura 2.2 se observan los perfiles de una playa durante una tormenta y durante un periodo de mar en calma.

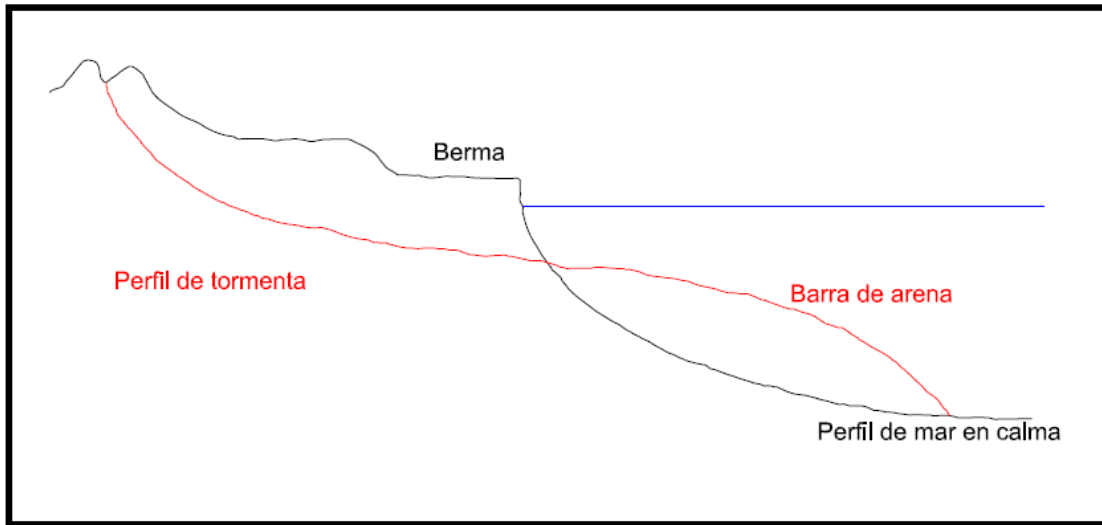


Figura 2. 2 Perfil dinámico de la playa

2.1.1.2 Forma en planta de las playas

Para describir mejor la forma de una playa, es necesario conocer también su forma en planta. La descripción de la forma en planta puede realizarse con base en tres escalas:

- Formas de pequeña escala: Estas formas serán el resultado de la dinámica en escalas de tiempo del orden de segundos o minutos y escalas de longitud en el orden de decímetros a metros.
- Formas de media escala: Son formas de media escala aquellas que tienen una longitud característica del orden de la decena o centena de metros y un tiempo de evolución que oscila entre horas y años.

Como se mencionó anteriormente las playas de perfil disipativo y las reflejantes, muestran características longitudinales relativamente uniformes a gran escala y quedan morfológicamente bien definidas por su perfil. Las formas en planta de media escala son las que aparecen en los estados de playa intermedios entre el disipativo y el reflejante.

- Formas de gran escala: Son formas en planta de playa con escalas del orden de cientos a miles de metros, y escalas de tiempo de variación en el orden de estaciones o años; resultado de la interacción del oleaje con las condiciones del entorno.

2.1.1.3 Morfología a largo plazo de las playas: Playas en equilibrio

El término playa en equilibrio corresponde al estado morfodinámico que alcanza una playa en planta y perfil bajo la acción de un oleaje constante en el tiempo que actúa sobre una geometría de playa inicial. Una playa consigue su estado de equilibrio a partir del momento en que no presenta cambios en su forma de perfil ni en planta.

Al ser el oleaje y el nivel del mar agentes dinámicos, el perfil de la playa también será dinámico y su forma presentará variaciones. Es por esto que se puede admitir la existencia de una playa en equilibrio aún cuando su forma presente variaciones en función del clima marítimo existente.

La forma de planta y de perfil en equilibrio de una playa se denominará formalmente planta de equilibrio y perfil de equilibrio.

Perfil de equilibrio

Como se estableció anteriormente, un perfil de playa en equilibrio es el resultado de las diferentes interacciones que existen en la línea de costa. Si en un laboratorio, se monta una playa de arena y se le aplica un oleaje constante durante un largo tiempo, al final de la prueba se tendrá un nuevo perfil que cambiará muy poco con el tiempo. Este será el perfil de playa en equilibrio para la playa artificial construida.

En la naturaleza el perfil en equilibrio se considera un concepto dinámico, pues las condiciones del oleaje y marea se encuentran en constante cambio; por lo tanto el perfil equilibrado también cambiará constantemente. Si obtenemos un promedio de estos perfiles en un lapso grande podemos definir un equilibrio.

Aunque el estudio del perfil en equilibrio no incluye todos los procesos que ocurren a lo largo de la costa, este conocimiento es importante para interpretar los procesos naturales de la playa y poder utilizarlos en diversas aplicaciones de ingeniería marítima.

Algunas de las relaciones conocidas entre la forma del perfil en equilibrio, oleaje y marea son las siguientes:

- Tamaño de los sedimentos: Los sedimentos gruesos pueden soportar más fácilmente las fuerzas destructivas que los sedimentos más finos.
- Altura de ola: Si la altura de ola aumenta, la playa tendrá una pendiente más suave ya que este incremento representa una fuerza destructiva mayor y sólo con una pendiente suave se puede llegar a un estado de equilibrio. Además, mayores alturas de ola representan zonas de surf más amplias, propagando las fuerzas destructivas sobre una región más amplia y hacia aguas más profundas.
- Periodo de ola: A mayores periodos de ola, el sedimento tiende a ser transportado hacia la costa por lo que la línea de costa avanza hacia el mar de tal forma que la pendiente de la playa es más pronunciada que para periodos más cortos.
- Nivel de marea: Un incremento en el nivel del mar provoca que el sedimento sea transportado mar adentro. Este incremento requiere un nuevo perfil en equilibrio tendiendo a ser más vertical y movido tierra adentro.

Planta de equilibrio

Debido a que la forma en planta se define a través del transporte longitudinal de sedimento, es necesario establecer dos tipos de equilibrio: equilibrio estático y equilibrio dinámico.

Equilibrio estático

Se define la playa en equilibrio estático cuando la forma permanece constante en el tiempo, y el transporte litoral es nulo. Para que esto ocurra es necesario que las corrientes longitudinales se anulen.

Este tipo de playas se encuentran frecuentemente en zonas donde la energía incidente del oleaje tiene una dirección bien definida. Dichas playas muestran una orientación perpendicular a la dirección de incidencia produciéndose la rotura simultánea del oleaje a lo largo de la playa, lo que no implica la formación de una única línea de rotura.

Equilibrio dinámico

Se define la playa en equilibrio dinámico cuando la forma de la playa se mantiene invariable, bajo la presencia de transporte longitudinal de arena pero sin cambio en el volumen global de arena.

2.1.2 Transporte de sedimentos

Al principio de este capítulo se definió una playa como una zona de la costa cubierta por material suelto, en este caso por arena. La base teórica del transporte de sedimento no ha sido completamente desarrollada. Esto en gran parte se debe a que aún no se ha entendido por completo este fenómeno aún bajo condiciones simples, por ejemplo, en el caso del transporte unidireccional de sedimentos que hay en ríos y canales, las estimaciones de las descargas pueden diferir demasiado al emplear diferentes teorías.

La arena llega a la playa desde diversas fuentes que incluyen ríos, arroyos, deslizamiento y desintegración de rocas, erosión eólica, erosión en los arrecifes de coral o material que es transportado desde mar adentro por efectos del oleaje. Una vez que ha sido transportada, la arena se distribuye por toda la playa gracias a las corrientes litorales.

Las olas, con sus velocidades orbitales, las corrientes cercanas a la costa y los vientos en la playa transportan materiales sobre la costa y hacia el mar. Este transporte de sedimento será referido como transporte litoral.

Existen dos clases de transporte litoral: transporte longitudinal, y transporte transversal de sedimentos.

2.1.2.1 Transporte longitudinal de sedimentos

El sedimento se mueve a lo largo de la línea de costa bajo la acción del oleaje y las corrientes litorales. Este movimiento se puede dar de varias formas: transporte por fondo, que puede darse en flujo uniforme y se caracteriza porque las partículas mantienen siempre un contacto con el lecho a través de los sucesivos contactos entre ellas; transporte en suspensión donde el sedimento queda suspendido y es movido por las corrientes litorales; carga sedimentaria, donde el sedimento se mueve a lo largo del frente de playa por el lavado del material. No existe certeza de cuál de estos movimientos predomina para ciertas condiciones de oleaje o tipo de sedimentos, pero es importante distinguir los diferentes mecanismos.

El transporte longitudinal puede darse en dos direcciones, dependiendo de la dirección del oleaje. Por convención, un observador viendo hacia el mar, considerará como transporte positivo cuando el sedimento se mueve hacia la derecha y como transporte negativo cuando el sedimento se mueve hacia la izquierda. Normalmente el transporte positivo corresponde a una o más estaciones del año, mientras que el transporte negativo se dará en el resto del año. El transporte neto será la suma de los componentes positivo y negativo.

Desafortunadamente, no existe instrumento alguno para medir el transporte de sedimento a lo largo de la costa. El transporte total usualmente es estimado midiendo la cantidad de arena que ha quedado junto a embarcaderos, espigones o la cantidad de sedimentos depositada en un puerto. Esta forma indirecta de medir puede ser más o menos correcta, dependiendo de la capacidad de la estructura para retener el material. Además, la variación en el transporte de sedimentos durante el año puede ser muy grande, por lo que las predicciones pueden resultar engañosas debido a que la dirección y magnitud del transporte puede cambiar significativamente año tras año.

2.1.2.2 Transporte transversal de sedimentos

El sedimento que se mueve hacia el mar es desprendido de la zona de playa seca a causa de olas de gran altura típicas de tormenta. La arena, que es transportada en grandes volúmenes se deposita formando barras de arena fuera de la zona litoral, generando así cambios en la línea de costa durante la tormenta.

2.1.3 Problema de erosión en las playas

Gracias a los constantes embates del mar, aunados a otros factores como el viento y la acción del Sol, la playa nunca estará exenta a presentar problemas de erosión. Y a pesar de que es capaz de regenerarse por sí misma, existen factores externos que pueden alterar el equilibrio y maximizar el daño.

Para saber qué medidas se pueden tomar para mitigar, eliminar, o en su defecto regenerar la erosión de una playa, debe entenderse cuál es el origen del problema, y saber si tal causa es ocasionada de forma natural o por el hombre.

Algunas de las posibles causas de la erosión incluyen:

- Procesos naturales:
 - o Desgaste, aumento del nivel del mar
 - o Oleaje, mareas, corrientes y otros factores hidrodinámicos
- Intervención del hombre:
 - o Alteraciones al transporte de sedimentos
 - o Extracción de arena
 - o Contaminación del agua, que extermina posibles fuentes de sedimento orgánico

2.2 Alternativas para la protección de la playa

La protección de las playas contra la erosión siempre ha sido una prioridad para los trabajos de ingeniería civil. Históricamente los aspectos relacionados con la playa que interesaban al hombre eran la exploración, el comercio e incluso la guerra. Actualmente el uso de las playas con fines turísticos, recreativos y deportivos representa una de las principales actividades económicas dentro de la zona costera. Es por esto que autoridades, dueños de hoteles y otra gran variedad de personas han invertido en la estabilidad y el desarrollo sustentable de las costas, en especial el de las playas por ser zonas más vulnerables a la erosión.

Una playa representa en sí misma una forma de protección para la costa. El mantener un frente de playa bien conservado garantiza que las propiedades construidas cerca de la costa estén bien protegidas. Sin embargo, para que tal protección sea posible es necesario que las propiedades no estén construidas en la zona móvil de la playa.

La construcción de obras civiles dentro de la costa produce cambios que alteran las tasas de suministro o pérdida del transporte litoral y si no se toman medidas para prevenir estos fenómenos, la erosión de la playa continúa hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio para la nueva condición. Sin embargo, debido a que estos fenómenos ocurren a largo plazo, los cambios son evidentes cuando el daño irreparable ya está hecho.

Para evitar que una playa se siga erosionando, o impedir el movimiento de arena a lo largo de la playa se han ideado diferentes obras de ingeniería, construidas dentro de la costa, y costa afuera.

2.2.1 Tipos y funciones de las obras para la protección de la playa

2.2.1.1 Relleno de playas

La técnica consiste en la colocación de arena en una playa. La arena se obtiene usualmente de bancos de material ubicados en la zona costa afuera o en la zona intermareal.

El aumento de la playa debido al relleno puede servir para:

- Aumentar el área de recreación de una playa,
- Para ofrecer protección contra tormentas (reduciendo la cantidad de energía incidente y creando una playa de sacrificio que se erosione durante la tormenta),
- Para proveer en algunos casos un hábitat para especies en peligro de extinción.

El uso del relleno de playas como protección contra las tormentas suele ser subvalorado. Cuando se rellena una playa, el material que se pierde durante una tormenta corresponderá al relleno, protegiendo el material original de la playa. Además, hay que recordar que ese material no se pierde, sino que es transportado hacia costa afuera para formar barras de arena, que después regresa por la acción de olas más moderadas y redistribuido a lo largo de la playa.

Este método responde a un déficit de arena que provoca la erosión de la línea de costa, por lo tanto la solución más efectiva es aquella en la que se reponga la pérdida de arena.

Un problema significativo asociado con el diseño de relleno de playas es plantear un proyecto a largo plazo. Durante la planeación y la ejecución del relleno la playa continúa erosionándose y, lo más probable, es que el relleno sólo sea una forma de volver a un estado anterior de la playa, por lo que tenderá a alcanzar su estado actual, y la erosión continuará; lo que hace necesario saber cuánto tiempo llevará este proceso.

En el relleno de playas, la arena normalmente se coloca con una pendiente mayor a la de su perfil en equilibrio, para que una vez que ha sido colocada, las olas comiencen a equilibrar la playa en perfil y planta, cambiando también la forma de la línea de costa.

Para que la playa alcance el equilibrio normalmente toma un tiempo del orden de años, mientras que para algunos proyectos la pérdida de material puede ocurrir en tiempos del orden de décadas.

Construcción

La colocación de arena en la playa puede hacerse de forma mecánica o hidráulica. La transportación mecánica desde un banco de material hasta el área a rellenar implica que el material sea transportado en camiones de carga. En el banco de material, la arena es colocada en el camión con equipos tradicionales de movimiento de tierras como son palas mecánicas o retroexcavadoras. En general, este método es utilizado para rellenos en playas pequeñas debido al costo del transporte y del impacto en las superficies a causa de las cargas elevadas.

Para los bancos de material que se encuentran costa afuera, la arena es llevada desde el fondo mediante una draga y bombeada a través de tuberías hasta el sitio de relleno para descargarla finalmente sobre la playa.



Figura 2. 3 Relleno de playa por bombeo de arena

Para lograr la redistribución de la arena a lo largo de la playa, el material puede ser depositado hacia la zona costa afuera y así esperar una distribución natural por la acción de olas moderadas. Este método puede resultar en beneficios económicos, sin embargo, existe la probabilidad de que el transporte no se realice de forma natural (por los constantes cambios del clima marítimo) lo que haría inviable este método.

Otra forma para distribuir la arena es depositar el material en la zona de playa seca o distribuirla directamente a lo largo del perfil.

2.2.1.2 Espigones

Los espigones son estructuras que generan cambios considerables en los patrones de circulación del oleaje y su función principal ha sido la de prevenir la erosión de la línea de costa en zonas en las que hay una cantidad considerable de transporte longitudinal de sedimentos.

Un espigón se construye como una barrera vertical que se extiende desde la playa hacia la zona costa afuera, perpendicular o formando ángulo con la línea de costa. Una franja de arena queda atrapada aguas arriba de la estructura (tomando en cuenta el sentido del flujo longitudinal del material), y provocando un déficit de material aguas abajo de la estructura (figura 2.4). La tasa de acumulación del material en el espigón podría ser igual a la tasa de erosión aguas abajo, por lo que estas estructuras deben de utilizarse con mucho cuidado. Los espigones no deben de exceder cierto tamaño en altura y longitud para que no representen una barrera para las corrientes, lo que destruiría por completo los procesos en la zona costera.

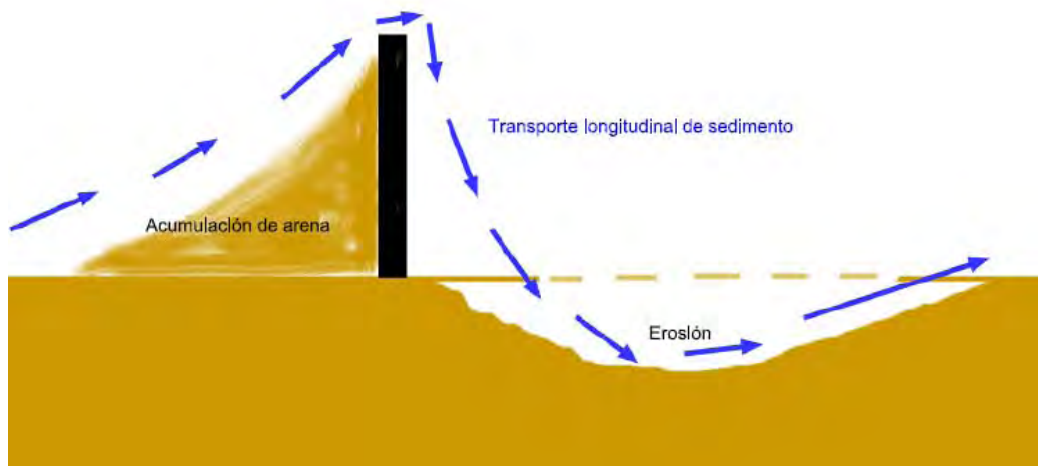


Figura 2. 4 Función de un espigón, visto en planta

Para aminorar la erosión asociada a un solo espigón, a menudo se construye una serie de espigones a lo largo de la playa. Su separación está dada de tal forma que parte de la arena acumulada aguas arriba del espigón pueda extenderse y depositarse aguas arriba del siguiente espigón. La correcta utilización y separación de múltiples espigones obliga que la erosión sea desplazada hasta el último espigón.

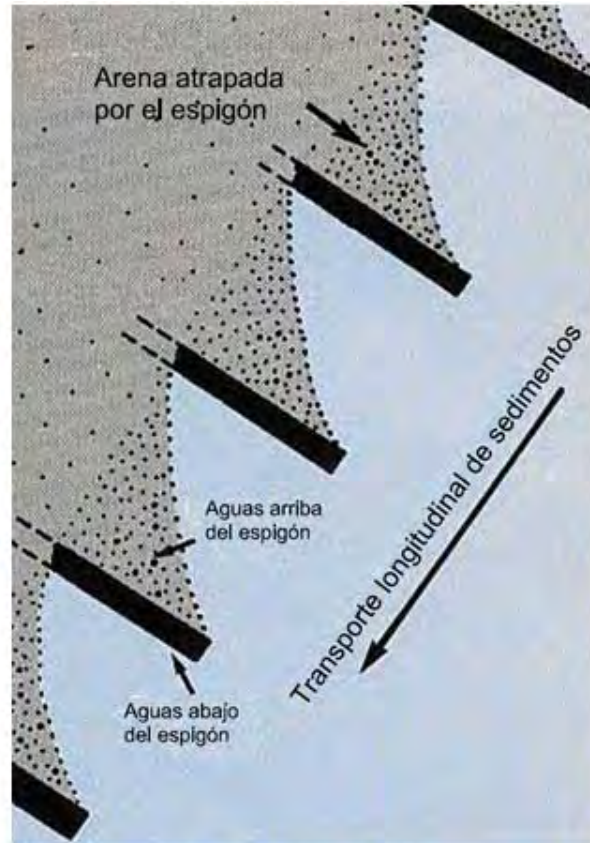


Figura 2. 5 Espigones en Sitges, España (izq.) y comportamiento típico de un grupo de espigones (der.)

El tamaño del espigón puede variar. Existen espigones contruidos “localmente” por las comunidades que habitan la zona costera y que consisten únicamente en la colocación de madera o bambú, éstos no serán estudiados ya que no implican un proceso de ingeniería; también existen espigones cuyas crestas pueden alcanzar hasta los 3 metros de ancho. El diseño de espigones, incluyendo dimensiones y cantidad, se apoyará en registros referentes al transporte de sedimentos, así como en la función que se espera que tenga la estructura.



Figura 2. 6 Espigón de material rocoso (izq.), espigón de madera (der.)

Independientemente de si se construye uno, o un grupo de espigones, éstos trabajarán de manera eficiente en lugares donde existan altos índices de transporte longitudinal de sedimentos. Cuando el transporte de sedimentos no sea significativo o el material tienda a desplazarse en sentido contrario, su funcionamiento no será del todo correcto.

Construcción

Generalmente los espigones son construidos en playas de arena, aunque también pueden construirse en costas rocosas con el objeto de crear playas artificiales. Su construcción consiste en el apilamiento vertical de material rocoso mediante el uso de maquinaria como son grúas, retroexcavadoras o bulldozers.

Para evitar la erosión de las superficies en las que se construirá el espigón, puede colocarse una o varias capas de rocas o geotextil que sirvan como base de la estructura.

2.2.1.3 Rompeolas

Las estructuras rompeolas, también conocidos como diques rompeolas tienen como propósito principal disminuir la energía incidente del oleaje sobre una playa, estableciendo así una zona de mar en calma incluso durante periodos de tormenta; esto con el objeto de reducir la erosión de la línea de costa o proveer seguridad a las embarcaciones que se encuentran ancladas a la playa, entre otras ventajas. Son construidas dentro de la zona de rompientes, y paralelas a la línea de costa.



Figura 2. 7 Estructuras rompeolas

Aunque, de ser necesario, los rompeolas pueden construirse como una sola estructura que se extienda paralelo a lo largo de la línea de costa, resulta más conveniente la construcción de múltiples estructuras por economía, y para evitar el estancamiento de agua cerca de la playa.

Los rompeolas pueden ser emergidos o sumergidos. Los primeros tienen su cresta por encima del nivel medio del mar, mientras que los sumergidos la tienen por debajo del mismo.

Tanto las dimensiones, la cantidad y el tipo de las estructuras rompeolas estarán en función de su objetivo, de registros de oleaje y marea; y podrá ser apoyada mediante el uso de modelos de simulación para verificar su correcto funcionamiento.

Rompeolas emergidos

Aún cuando no exista transporte longitudinal en una playa, el rompeolas emergido creará patrones de transporte longitudinal y transversal de sedimento en diferentes zonas de la playa a causa de la difracción de olas detrás de la estructura. Algunas de las zonas de la playa pueden crecer hacia mar adentro; si el material desplazado alcanza el rompeolas creando una especie de conexión entre la playa y la estructura, se conoce este fenómeno *tómbolo* (figura 2.8). Si el material no toca con el rompeolas se conoce como *saliente*.



Figura 2. 8 Formación de tómbolos en rompeolas

La reducción de olas de gran altura detrás de la estructura implica que se perderá transporte hacia costa afuera, por lo que la arena tenderá a depositarse detrás de la estructura, y provocando un déficit de sedimento mar adentro de la estructura.

Rompeolas sumergidos

Los rompeolas sumergidos están diseñados bajo la idea de que inducirán reflexión y rompimiento del oleaje además de una disipación de energía sobre la estructura, provocando una reducción en la altura de ola del lado de la costa.

Una de las ventajas principales de estos rompeolas es que al estar sumergidos no causarán un impacto visual negativo. Sin embargo, esto puede representar un peligro para las embarcaciones si no se hace una señalización correcta de la ubicación de los rompeolas.

Construcción

Al igual que los espigones, las estructuras rompeolas consisten básicamente en la disposición vertical de material rocoso y en algunas ocasiones de bloques de concreto. La colocación del material se puede llevar a cabo mediante el uso de grúas si el rompeolas se localiza relativamente cerca de la costa, o utilizando embarcaciones especiales conocidas como “draga-gánguil” o

simplemente “gánguil”. La construcción de los rompeolas deberá realizarse durante los periodos de mar en calma.

En el caso de las embarcaciones, con ayuda de los camiones de volteo se carga el material en el gánguil. Los gánguiles son posicionados satelitalmente en el sitio donde se encontrará la estructura, depositan el material y regresan al puerto para reabastecerse de material.



Figura 2. 9 Gánguil

Haciendo un corte transversal, se observa que la estructura rompeolas consta de 3 partes:

- Núcleo, construido a base de gravas,
- Capa interior construida a base de piedra caliza con un tamaño de no más de 90 centímetros en su lado largo;
- Capa exterior, también conocida como capa principal de protección, construida a base de piedra caliza con tamaños que van desde los 90 hasta los 130 centímetros en su lado más largo. Esta capa también puede estar constituida por bloques de concreto.

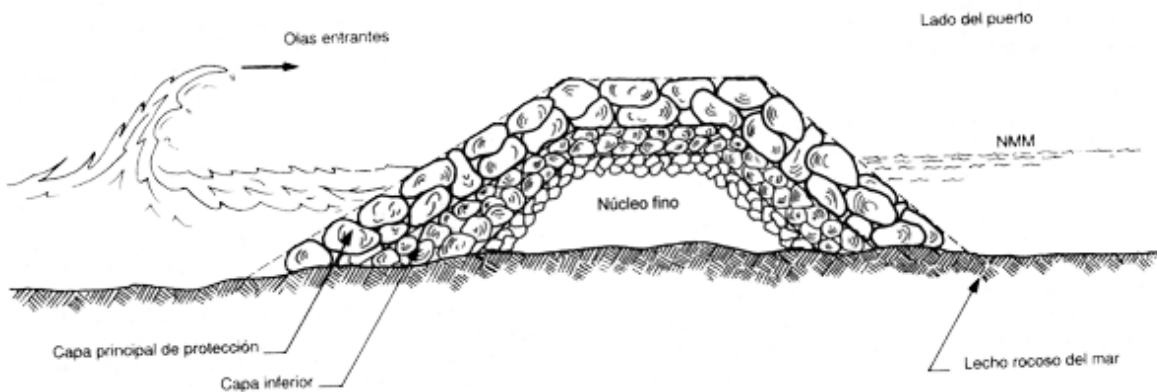


Figura 2. 10 Corte transversal de rompeolas

Existen casos en los que las estructuras rompeolas únicamente son conformadas por bloques prefabricados de concreto, siguiendo el mismo proceso constructivo.

2.2.1.4 Seawalls

Los seawalls no tienen una traducción exacta al español, se les pueden llamar “muros marinos” o “diques marinos”; y son estructuras verticales cuyo objetivo es proteger el área tierra adentro de la playa cuando la erosión de la línea de costa ya es muy grande.

Sin embargo, el uso de estas estructuras ha causado gran controversia ya que favorece la erosión de la playa en lugar de prevenirla. Incluso una mala ubicación de la estructura (construyéndola muy cerca del mar) podría desaparecer la playa de arena.



Figura 2. 11 Seawall, Japón

Construcción

Para la construcción de estas estructuras pueden usarse materiales como madera, concreto o láminas de acero, posicionadas verticalmente delante de la zona que se quiere proteger.

2.2.1.5 Revestimientos

Los revestimientos son construidos en zonas donde se tiene un interés específico de mantener una línea de costa, evitando así su erosión debida al oleaje.

A diferencia de los seawalls, lo que se busca con los revestimientos es limitar al máximo la reflexión del oleaje que hay en la costa, evitando así dañar playas cercanas.

Construcción

Su construcción consiste en la disposición de varias capas de material rocoso al pie de las dunas o a lo largo del frente de playa, y formando una pendiente idéntica a la que tiene la playa. Se pueden utilizar rocas o bloques prefabricados de concreto.



Figura 2. 12 Revestimiento de playa, utilizando material rocoso

En algunos casos la playa puede ser cubierta por geotextil, que servirá como base para el revestimiento.

2.2.1.6 Drenado de playas

El drenado de playas consiste en la construcción de un sistema de tuberías que permitan disminuir la cantidad de agua atrapada en la arena. Las tuberías destinadas a captar el agua cuentan con perforaciones, permitiendo el libre flujo de agua la cual es conducida por la acción de la fuerza de gravedad hacia el mar.

Es un método muy similar al que se utiliza para el drenaje en taludes.

Capítulo 3. Modelo de propagación de ondas

Como se estudió en el Capítulo 1, cuando el oleaje se aproxima a la costa sufre procesos de difracción, refracción, reflexión, someramiento y rotura. En ese capítulo se consideró que la profundidad del lecho sobre el que se propagan las ondas es impermeable y uniforme. Sin embargo, para representar los procesos ya mencionados es necesario asumir que las ondas se propagan en un fondo sí impermeable pero variable. A la ecuación de gobierno de este proceso se le conoce como ecuación de la pendiente suave, presentada por primera vez por Berkhoff (1972), y posteriormente derivada por autores como Smith and Spinks (1975), Lozano and Meyer (1976), Massel (1989), y Miles (1991). Más adelante Losada (1996) y Silva *et al* (2002) desarrollaron la llamada ecuación modificada de la pendiente suave, la cual representa con mayor precisión la propagación del oleaje en presencia de batimetrías complejas al considerar los términos de segundo orden que despreciara Berkhoff (1972). Para dar solución a esta ecuación se asume que el flujo es incompresible, homogéneo e irrotacional, y que las ondas se propagan sobre un fondo impermeable con profundidad total $h(x, y)$, siendo x e y las coordenadas cartesianas horizontales. La coordenada vertical z es positiva hacia arriba y el nivel $z = 0$ se encuentra en el nivel medio del mar.

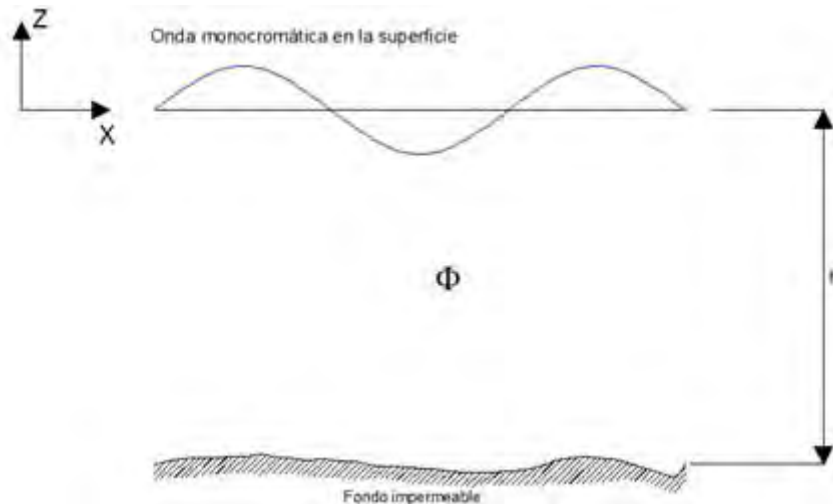


Figura 3. 1 Croquis del problema de propagación en fondo variable

La ecuación de Laplace es la ley que representa el movimiento general del fluido, que de acuerdo a lo anterior puede escribirse como función del potencial de velocidades de la forma

$$\nabla_h^2 \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad -h \leq z \leq 0 \quad (3.1)$$

Donde, al igual que en el Capítulo 1: $\Phi(x, y, z, t)$ es el potencial de velocidades y $\nabla_h = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$.

Las condiciones de frontera necesarias para encontrar la solución son:

1. Condiciones dinámica y cinemática de superficie libre del agua

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad z = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad z = 0 \quad (3.3)$$

2. Condición de impermeabilidad en el fondo

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} + \nabla_h h \cdot \nabla_h \Phi = 0 \quad z = -h \quad (3.4)$$

3. Presión

$$p = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} + gz \right) \quad -h \leq z \leq 0 \quad (3.5)$$

La versión extendida de la ecuación de la pendiente suave dependiente del tiempo es

$$\nabla_h (I_1 \nabla_h \varphi) + K^2 \varphi I_1 + \varphi r(h) - \frac{1}{g} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \varphi \sigma^2 \right) = 0 \quad (3.6)$$

En la que

$$r(h) = I_2 (\nabla_h^2) + (\nabla_h^2 h) \left(\frac{\partial I_2}{\partial h} \right) - (\nabla_h h)^2 I_3 \quad (3.7)$$

Además

$$I_1 = \int_{-h}^0 f^2 dz \quad (3.8)$$

$$I_2 = \int_{-h}^0 f \frac{\partial f}{\partial h} dz \quad (3.9)$$

$$I_3 = \int_{-h}^0 \left(\frac{\partial f}{\partial h} \right) dz \quad (3.10)$$

Para obtener la extensión de la ecuación de la pendiente suave independiente del tiempo se utiliza la siguiente separación

$$\varphi(x, y, t) = \phi(x, y) e^{-i\sigma t} \quad (3.11)$$

Que al sustituirla en la ecuación (3.6) se obtiene la ecuación modificada de la pendiente suave, dada por

$$\nabla_h (I_1 \nabla_h \phi) + K^2 \phi I_1 + \phi r(h) = 0 \quad (3.12)$$

Las corrientes más importantes debidas al oleaje se generan en la zona de rompientes, por lo que es esencial que el modelo de oleaje tenga la capacidad de disipar la energía y representar de la mejor manera el decaimiento en la superficie que genera la rotura del oleaje. Para lograrlo, a la ecuación (3.12) se le añade artificialmente un término disipativo, similar al presentado por Dally *et al* (1985), así la ecuación modificada de la pendiente suave queda

$$\nabla_h (I_1 \nabla_h \phi) + \left[(K^2 - i\sigma f_D) I_1 + r(h) \right] \phi = 0 \quad (3.13)$$

Donde:

$$f_D \quad \text{Es el término disipativo, dado por } f_D = \frac{\Re(K) C_k}{\sigma h^*} \left[1 - \left(\frac{C_G h}{H_B} \right)^2 \right]$$

C_k Coeficiente experimental, con valor de 0.15

C_G Coeficiente experimental, con valor de 0.4

σ Es la frecuencia angular

H_B Es la altura de ola de rotura

Una forma más compacta para representar la ecuación modificada de la pendiente suave es en su forma de Helmholtz

$$\nabla_h^2 \psi + K_c^2 \psi = 0 \quad (3.14)$$

Donde:

$$\psi = (I_1)^{1/2} \phi$$

$$K_c^2 = (k^2 + i\sigma W) + \frac{r(h)}{I_1} - \frac{\nabla^2 \sqrt{I_1}}{\sqrt{I_1}}$$

3.1 Relación de dispersión

El desarrollo de la ecuación modificada de la pendiente suave está basado en la teoría lineal, por lo que el modelo está restringido a condiciones en las que la teoría lineal es válida. La relación de dispersión general que ofrece la teoría lineal es

$$\sigma^2 = gk \tanh kh \quad (3.15)$$

Una forma de medir la no linealidad del fenómeno es el número de Ursell definido como

$$Ur = \frac{H_L L^2}{h^3} \quad (3.16)$$

Donde:

H_L Es la altura de ola local

L Es la longitud de onda

h Es la profundidad.

Cuando el número de Ursell es mayor de 40 (lo cual ocurre en aguas poco profundas), la teoría lineal deja de ser válida. Sin embargo, para que el modelo sea aplicable a zonas con poca profundidad, Hedges (1976) propuso una modificación a la relación de dispersión lineal, incluyendo la dispersión debida a la amplitud. La relación queda

$$\sigma^2 = gk \tanh \left[kh \left(1 + \frac{A}{h} \right) \right] \quad (3.17)$$

Donde:

A Es la amplitud máxima local, calculada como

$$A = |\phi| \quad (3.18)$$

Y $|\phi|$ representa la norma del potencial de velocidades.

3.2 Solución a la ecuación modificada de la pendiente suave

3.2.1 Condiciones de frontera

Los modelos matemáticos de oleaje son comúnmente utilizados en la ingeniería costera para predecir la transformación que sufre el oleaje al acercarse a la costa, intentando representar de la mejor manera procesos tales como refracción, difracción, someramiento, disipación y reflexión del oleaje.

La solución numérica de la ecuación (3.14) requiere la implementación de un esquema discreto y las condiciones de frontera apropiadas. A continuación se presentan dichas condiciones:

3.2.1.1 Condición de frontera abierta

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = \pm \left(iK_c a_0 \psi + i \frac{a_1}{K_c} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{a_2}{K_c^2} \frac{\partial^3 \psi}{\partial y \partial x^2} \right) + 2ik_l \psi_l \cos \theta_l; \quad \text{en } \pm \text{ frontera } y \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \pm \left(iK_c a_0 \psi + i \frac{a_1}{K_c} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{a_2}{K_c^2} \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2} \right) + 2ik_l \psi_l \cos \theta_l; \quad \text{en } \pm \text{ frontera } x \quad (3.20)$$

3.2.1.2 Condición de frontera parcialmente reflejante

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \gamma \left[iK_c \left(a_0 \psi + \frac{a_1}{K_c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) - \frac{a_2}{K_c^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) \right]; \quad \text{en } + \text{ frontera } x \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = \pm \gamma \left[iK_c \left(a_0 \psi + \frac{a_1}{K_c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right) - \frac{a_2}{K_c^2} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right) \right]; \quad \text{en } + \text{ frontera } y \quad (3.22)$$

3.2.2 Generación del sistema de ecuaciones

3.2.2.1 Ecuación de gobierno

A partir de la ecuación (3.14), la ecuación de gobierno puede ser representada en forma discreta como

$$\frac{\psi_{i,j-1} - 2\psi_{i,j} + \psi_{i,j+1}}{\Delta y^2} + \frac{\psi_{i-1,j} - 2\psi_{i,j} + \psi_{i+1,j}}{\Delta x^2} + K_c^2 \psi_{i,j} = 0 \quad (3.23)$$

3.2.2.2 Ecuación para la frontera abierta

La condición de frontera de lado de mar, puede ser expresada en forma discreta como

$$\begin{aligned}
 & \left(i \frac{a_1}{K_c} 2\Delta x - 3 \frac{a_2}{K_c^2} + \Delta x^2 \right) \psi_{i,j-1} - \\
 & -2 \left(\Delta y^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2 \Delta x^2 K_c^2 (1 + 2ia_0) - 2i \frac{a_1}{K_c} \Delta x + 3 \frac{a_2}{K_c^2} \right) \psi_{i,j} + \\
 & + \left(i \frac{a_1}{K_c} 2\Delta x - 3 \frac{a_2}{K_c^2} + \Delta y^2 + \Delta x^2 \right) \psi_{i,j+1} + \\
 & + 4 \frac{a_2}{K_c^2} \psi_{i+1,j+1} \left(\Delta y^2 - 8 \frac{a_2}{K_c^2} \right) \psi_{i+1,j} + \\
 & + 4 \frac{a_2}{K_c^2} \psi_{i+1,j-1} + \frac{a_2}{K_c^2} \psi_{i+2,j+1} - 2 \frac{a_2}{K_c^2} \psi_{i+2,j} + \\
 & + \frac{a_2}{K_c^2} \psi_{i+2,j-1} = 2\Delta x \Delta y^2 i (k + K_c) \psi^g \cos \theta
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

3.2.2.3 Determinación del oleaje en una frontera con fondo variable

Se puede determinar a partir de la siguiente expresión

$$-3\psi_{i-4,1} + 8\psi_{i-3,1} + 18\psi_{i-2,1} - 168\psi_{i-1,1} + (120\Delta x D_1 - 36\Delta x^2 B + 145)\psi_{i,1} = 0 \tag{3.25}$$

3.2.2.4 Determinación del ángulo local

Se utiliza la ecuación propuesta por Isaacson and Qu (1990) para estimar la dirección con la cual se aproxima el oleaje a la costa. La ecuación está en función del gradiente de la fase, tal que

$$\tan \theta = \frac{\frac{\partial \arg(\psi)}{\partial x}}{\frac{\partial \arg(\psi)}{\partial y}} \tag{3.26}$$

3.2.3 Solución del sistema de ecuaciones a través de un método Gaussiano.

Una vez que planteado, el sistema de ecuaciones puede resolverse utilizando un sistema de eliminación de Gauss con pivoteo parcial dando solución directa a un sistema de ecuaciones matriciales.

La ecuación de cualquier matriz en forma de banda se puede representar como

$$BX = G$$

Donde:

- B Es la matriz de banda con dimensión de $M \times N$, siendo N la longitud de la matriz (es decir, el número de puntos de agua que tiene la malla) y M el ancho de banda de la matriz,
- X Es la matriz de incógnitas con dimensión $N \times E$, donde la variable es el potencial de oleaje en el dominio de estudio, y E contiene las condiciones del oleaje (el mismo periodo, pero diferentes alturas de ola y direcciones de propagación),
- G Es otra matriz de dimensiones $N \times E$, que incluye las condiciones de frontera dadas.

3.3 Programa computacional MWAPO_V4

El nombre del programa viene de las siglas en inglés *Wave Propagation On the coast* versión 4, y se encarga de resolver la ecuación de la matriz de banda utilizando un procedimiento espacial de almacenamiento en disco duro, el cual reemplaza el uso de memoria virtual por el uso de memoria física (disco duro).

La ecuación modificada de la pendiente suave (3.14) se programó en lenguaje fortran 77, con las condiciones de frontera y el sistema de ecuaciones ya descritos para crear el programa WAPO_V4. Para la utilización en una forma más sencilla de este programa, se implementó un programa de preproceso llamado BWAPO4. El programa de proceso WAPO_V4 y el de preproceso BWAPO4 se ejecutan a través del programa MWAPO_V4.

El programa de preproceso BWAPO4 fue diseñado para que a partir de unas condiciones iniciales e información batimétrica del área en estudio, se construya una base de datos con todas las condiciones iniciales que necesita el programa WAPO_V4 para su funcionamiento. El programa WAPO_V4 tiene la función de generar y resolver el sistema de ecuaciones para estimar los potenciales de velocidades locales a lo largo y ancho de una malla computacional creada por el programa de preproceso BWAPO4.

3.3.1 Descripción de archivos de entrada

Como se mencionó anteriormente, los programas BWAPO4 y WAPO_V4 se ejecutan a través del programa MASTER llamado MWAPO_V4. La información necesaria para ejecutar los programas se introducen a través de una serie de archivos de entrada. A continuación se hace una descripción y se presenta un ejemplo de los archivos de entrada, correspondientes al caso de aplicación que se estudiará más adelante.

3.3.1.1 Ejemplo de archivo de entrada con una lista de casos

Se debe crear un archivo de texto (extensión *.txt), escribiendo en la primera línea el número de casos a ejecutar y posteriormente el nombre de cada caso. El nombre de los casos se compone de tal forma, que los dos primeros caracteres indican el escenario físico (clave) y los siguientes dos identifican la condición de modelo (caso); a estos cuatro caracteres se les conoce como "CLAVECASO". Finalmente el nombre debe estar compuesto como "CLAVECASOWAP.INP". En la figura 3.2 se muestra un ejemplo de archivo de entrada con la lista de casos.

```

24
KA01WAP.INP
KA02WAP.INP
KA03WAP.INP
KA04WAP.INP
KA05WAP.INP
KA06WAP.INP
KA07WAP.INP
KA08WAP.INP
KA09WAP.INP
KA10WAP.INP
KA11WAP.INP
KA12WAP.INP
KA13WAP.INP
KA14WAP.INP
KA15WAP.INP
KA16WAP.INP
KA17WAP.INP
KA18WAP.INP
KA19WAP.INP
KA20WAP.INP
KA21WAP.INP
KA22WAP.INP
KA23WAP.INP
KA24WAP.INP
    
```

Figura 3. 2 Ejemplo de archivo de entrada con lista de casos

3.3.1.2 Ejemplo de archivo con las condiciones generales

Los archivos con las condiciones de modelado deben de tener la siguiente estructura para el nombre “CLAVECASOWAP.INP” y deben contener la siguiente información:

# de renglón	Texto
1	Comentario
2	Comentario
3	Zona por la que entra el oleaje con profundidad constante
4	Periodo de onda en segundos
5	Amplitud de onda
6	Ángulo de incidencia del oleaje
7	Rotura de ola, =1 cuando hay disipación por rotura; =0 cuando no hay disipación por rotura
8	Aproximación del número de onda
9	Profundidad mínima que se considera como agua
10	Nivel de marea
11	Número de regiones con diferente factor de fricción
12	Valor y posición i,j de inicio y final de cada región
13	Número de regiones con diferente factor de reflexión, frontera norte
14	Valor y coordenadas de inicio y final
15	Número de regiones con diferente factor de reflexión, frontera oeste
16	Valor y coordenadas de inicio y final
17	Número de regiones con diferente factor de reflexión, frontera este
18	Valor y coordenadas de inicio y final
19	Número de regiones con diferente factor de reflexión, frontera sur
20	Valor y coordenadas de inicio y final
21	Número de regiones con diferente factor de reflexión, interior (dominio)
22	Valor y posición i,j de inicio y final de cada región

3.3.1.3 Criterio para establecer la dirección del oleaje incidente

En el tercer renglón se debe escribir la dirección por la que entra el oleaje con una profundidad constante. Esto se anotará de acuerdo a lo siguiente:

- Para oleaje incidiendo desde la frontera norte con profundidad constante, el valor del tercer renglón debe ser igual a 1.
- Para oleaje incidiendo desde la frontera oeste con profundidad constante, el valor del tercer renglón debe ser igual a 2.
- Para oleaje incidiendo desde la frontera este con profundidad constante, el valor del tercer renglón debe ser igual a 3.
- Para oleaje incidiendo desde la frontera sur con profundidad constante, el valor del tercer renglón debe ser igual a 4.

En la figura 3.3 se presenta un ejemplo de archivo con las condiciones de entrada.

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDS: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
1.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5     ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
    
```

Figura 3. 3 Ejemplo de archivo con condiciones de entrada

3.3.1.4 Descripción del archivo de entrada con los datos batimétricos

El archivo debe tener la extensión *.grd en formato ASCII, compatible con cualquier versión de SURFER.

La estructura del archivo de batimetría se ilustra en la figura 3.4.

DSAA				
NY NX				
Ymin Ymax				
Xmin Xmax				
Hmin Hmax				
H(NX,1)	H(NX,2)	H(NX,3)	.....	H(NX,NY)
H(NX-1,1)	H(NX-1,2)	H(NX-1,3)	.....	H(NX-1,NY)
H(NX-2,1)	H(NX-2,2)	H(NX-2,3)	.....	H(NX-2,NY)
.....				
H(2,1)	H(2,2)	H(2,3)	.....	H((2,NY)
H(1,1)	H(1,2)	H(1,3)	.....	H((1,NY)

Figura 3. 4 Estructura de archivo de batimetría

Donde:

- DSAA Es un texto que necesita SURFER para identificar el fichero tipo grd.
- NX Es el número de filas
- NY Es el número de columnas
- Xmin Es la coordenada en x donde empieza la batimetría
- Xmax Es la coordenada en x donde termina la batimetría
- Ymin Es la coordenada en y donde empieza la batimetría
- Ymax Es la coordenada en y donde termina la batimetría
- Hmin Es la profundidad mínima
- Hmax Es la profundidad máxima
- H (i, j) Es la profundidad de la celda (i, j).

Nota: las cotas batimétricas son negativas y las cotas topográficas tienen signo positivo

3.3.2 Descripción de los archivos de salida

Una vez ejecutado, el programa WAPO_v4 resuelve la ecuación modificada de la pendiente suave y genera dos archivos correspondientes a la amplitud máxima, y superficie libre instantánea para cada caso ejecutado.

3.3.2.1 Archivo de resultados con la amplitud máxima

Es un archivo con extensión *.grd en formato ASCII y compatible con cualquier versión de SURFER. Su nombre se escribe como "CLAVECASOAMP.grd". La estructura de este archivo se muestra a continuación en la figura 3.5.

```

DSAA
NY,NX
0.,(NY-1.)*DY
0.,(NX-1.)*DX
ALTM, ALTM
A(NX,1) A(NX,2) A(NX,3) .....A(NX,NY)
A(NX-1,1) A(NX-1,2) A(NX-1,3) ..... A(NX-1,NY)
A(NX-2,1) A(NX-2,2) A(NX-2,3) ..... A(NX-2,NY)
.....
A(2,1) A(2,2) A(2,3).....A((2,NY)
A(1,1) A(1,2) A(1,3).....A((1,NY)
    
```

Figura 3. 5 Estructura de archivo de resultados con amplitud máxima

Donde:

- ALTM Es la altura de ola mínima en el dominio
- ALTM Es la altura de ola máxima en el dominio
- NX Es el número de celdas en la dirección x
- NY Es el número de celdas en la dirección y
- DX Es el tamaño de celda en dirección x
- DY Es el tamaño de celda en dirección y
- A (i, j) Es la altura de ola local.

3.3.2.2 Archivo de resultados con la superficie libre instantánea

Es un archivo con extensión *.grd en formato ASCII y compatible con cualquier versión de SURFER. Su nombre se escribe como "CLAVECASOSUP.grd". La estructura de este archivo se muestra a continuación en la figura 3.6.

```

DSAA
NY,NX
0.,(NY-1.)*DY
0.,(NX-1.)*DX
SMI, SMA
S(NX,1) S(NX,2) S(NX,3) .....S(NX,NY)
S(NX-1,1) S(NX-1,2) S(NX-1,3) ..... S(NX-1,NY)
S(NX-2,1) S(NX-2,2) S(NX-2,3) ..... S(NX-2,NY)
.....
S(2,1) S(2,2) S(2,3).....S((2,NY)
S(1,1) S(1,2) S(1,3).....S((1,NY)
    
```

Figura 3. 6 Estructura de archivo de resultados con la superficie libre instantánea

Donde:

- SMI Es la superficie libre instantánea de ola mínima en el dominio
- SMA Es la superficie libre instantánea de ola máxima en el dominio
- S (i, j) Es la superficie libre instantánea de ola local.

Capítulo 4. Proyecto de protección de playa frente al desarrollo Kanai

4.1 Desarrollo Kanai

La Riviera Maya es una zona turística ubicada en el Estado de Quintana Roo, y abarca desde la localidad de Puerto Morelos (norte) hasta la localidad de Punta Allen (sur). Desde su creación como desarrollo turístico en 1999, se ha convertido junto con Cancún, en el destino más importante de México y uno de los más visitados a nivel internacional, recibiendo más de dos millones de turistas al año.

El gran crecimiento turístico que ha tenido esta zona se ve reflejado en la industria de la construcción, pues aunque actualmente se ofrecen más de 25 mil habitaciones, existen proyectos hoteleros cuya intención es aprovechar la belleza natural del sitio. Uno de estos proyectos es el desarrollo Kanai, ubicado entre las localidades de Punta Bete y Punta Maroma. En la figura 4.1 se puede observar el sitio donde tendrá lugar este proyecto.

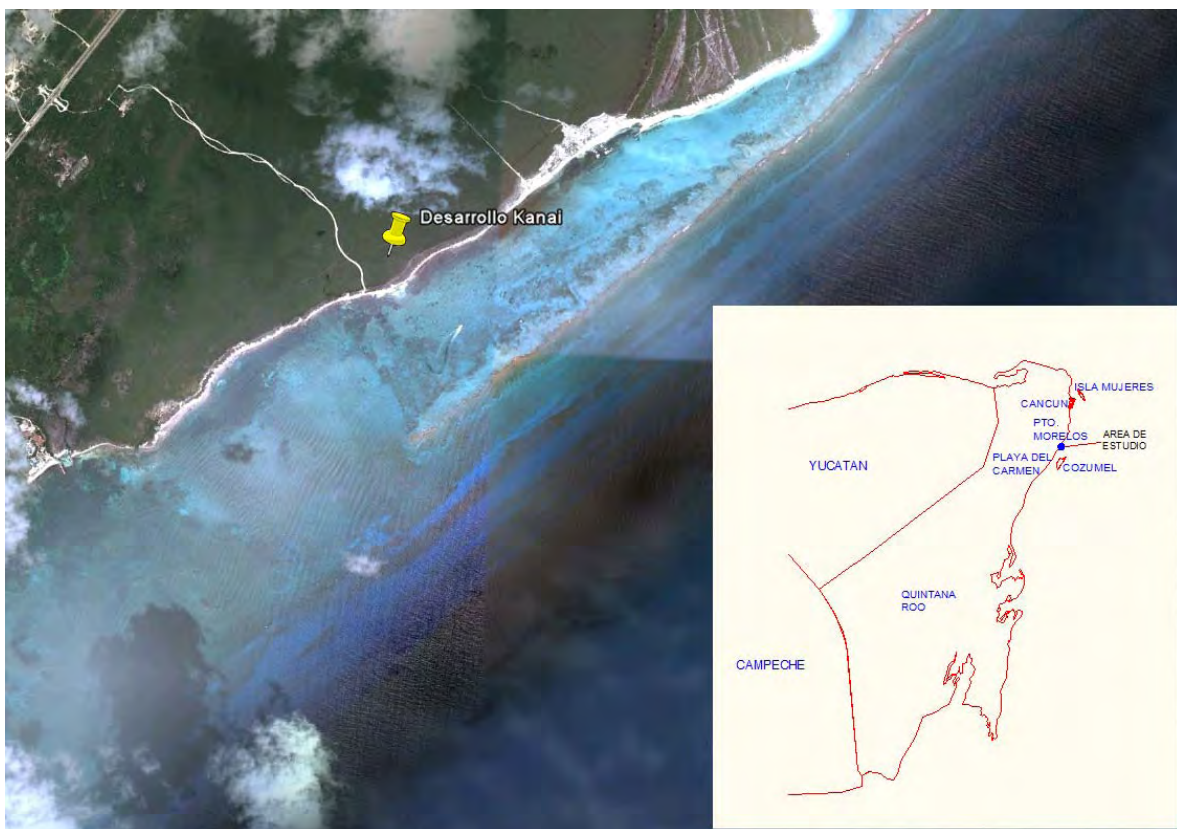


Figura 4. 1 Localización del desarrollo Kanai

El desarrollo Kanai, de la empresa Starwood Hotels & Restorts Worlwide, es un complejo ecoturístico que contará con 124 habitaciones, 32 villas, 4 restaurantes, 1 Spa, 2 campos de golf y albercas.

Sin embargo, uno de los problemas que enfrentará el desarrollo Kanai es que la zona costera donde será construido, prácticamente no tiene playas de arena, situación que podría restarle atractivo al proyecto y además, pone en riesgo la integridad de las edificaciones que comprenden el desarrollo. Por esta razón, el proyecto incluye un relleno de arena para crear una playa artificial que tendrá uso recreativo, pero que también funcionará como protección a la zona costera y las propiedades construidas en esta zona.

La playa artificial se extenderá 1767.37 metros sobre la línea de costa, siendo requeridos 71938.83 metros cúbicos de material. Tendrá una duna que se levantará con ayuda de un Geotubo colocado a lo largo de la playa artificial. El eje del Geotubo se colocará 3.03 metros tierra adentro de la línea de costa original, y permitirá que la duna tenga una altura final de 1.72 metros. Finalmente la nueva línea de agua estará recorrida 25 metros mar adentro con respecto a la línea de costa (línea cero) original. En las figuras 4.2 y 4.3 se observa el perfil de relleno de la playa.

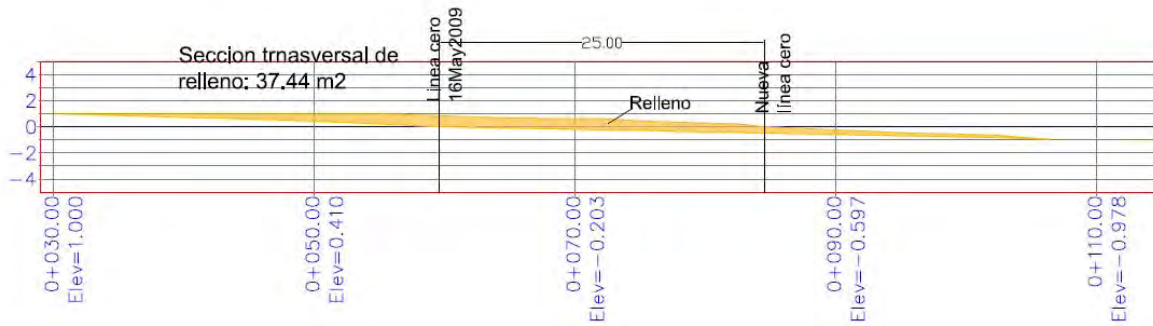


Figura 4. 2 Perfil de relleno de playa

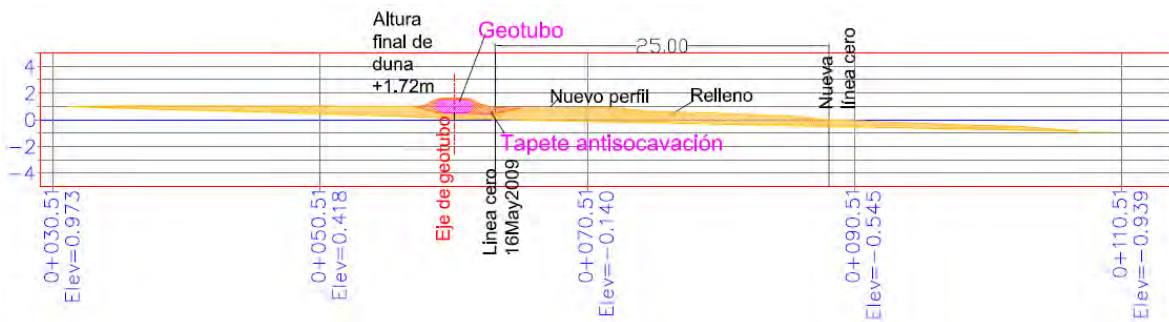


Figura 4. 3 Perfil de relleno de playa y duna artificial

4.2 Estructuras de protección

Con el objeto de proteger la zona costera en la que se llevará a cabo la construcción del desarrollo Kanai se recibió, por parte del personal responsable del proyecto, una propuesta de estructuras de protección cuyo propósito es disipar la energía generada por el oleaje evitando así la erosión de la playa, y reteniendo el sedimento para alargar el periodo de vida del relleno.

Para la construcción de las estructuras de protección, se llenan bolsas de geotextil (inter-tejidas en sus bordes perimetrales) con mortero para formar rocas artificiales. Estas rocas reciben el nombre de Bolsacreto o Colchacreto, y presentan como principal ventaja un ahorro en los costos de transporte de material pesado, pues cada pieza se fabrica *in situ* e inmediatamente es colocada.

Los Bolsacretos son colocados verticalmente sobre una base de Colchacretos (a diferencia del Bolsacreto, éstos tienen una forma más aplanada) para dar forma a cada estructura.

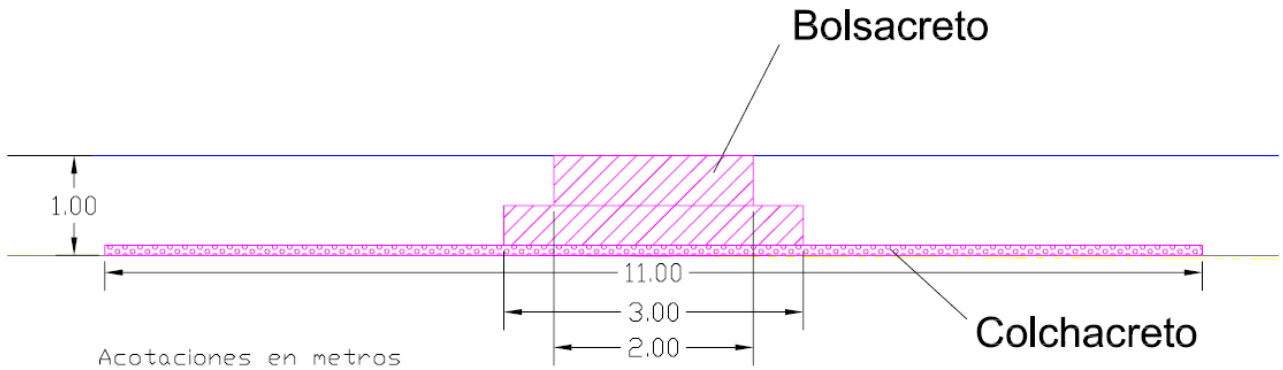


Figura 4. 4 Sección transversal de estructura de protección

Tabla 4. 1 Volúmenes de mortero para construcción de protecciones

Estructura	Sección transversal (m ²)	Volumen de mortero por metro lineal (m ³)	Longitud de protección (m)	Volumen por protección (m ³)	Superficie de Colchacreto (m ²)
Protección 1	2.20	2.20	100.00	220.00	1296.00
Protección 2	2.20	2.20	200.00	440.00	2496.00
Protección 3	2.20	2.20	100.00	220.00	1296.00

En la figura 4.4 se presenta un esquema representativo de la sección transversal de las estructuras. Así mismo, en la tabla 4.1 se presentan los volúmenes de mortero para la construcción de las estructuras.

4.2.1 Evaluación del funcionamiento de las estructuras de protección

Para evaluar el funcionamiento de las estructuras de protección se realizaron exhaustivas modelaciones numéricas utilizando el programa MWAPO_V4 que aplica el modelo presentado en el Capítulo 3. La evaluación consistió en proponer diferentes escenarios de condiciones marinas y modificaciones a la configuración y cota de coronación de las estructuras, propuestas originalmente.

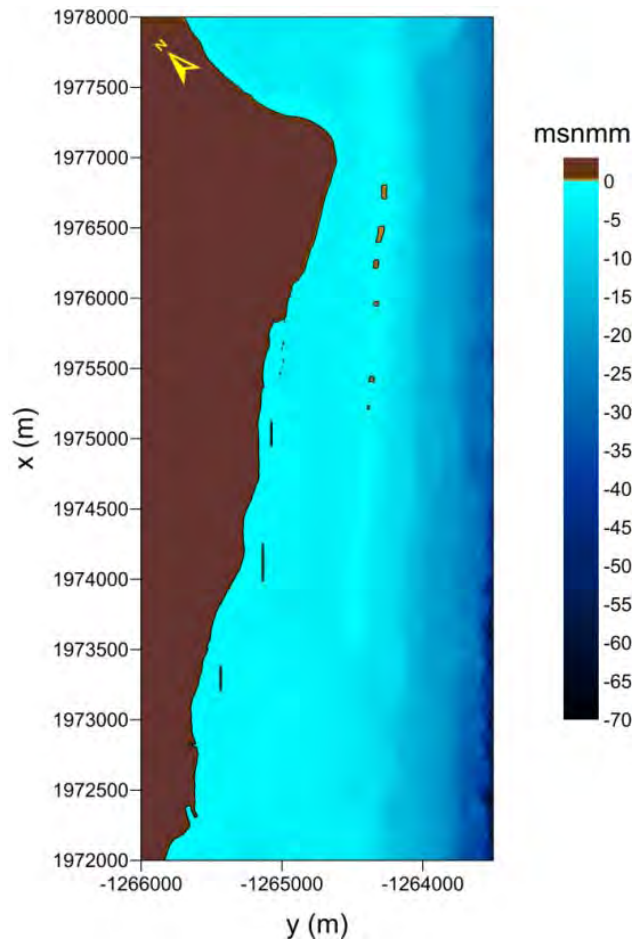


Figura 4. 5 Batimetría de cálculo

En la figura 4.5 se observa la batimetría de cálculo y la disposición inicial de las protecciones propuestas. Cabe mencionar que para facilitar el trabajo numérico, el dominio de cálculo se giró y por ello la figura 4.5 se muestra en coordenadas arbitrarias.

En la tabla 4.2 se presenta un resumen de las modificaciones en la configuración y cota de coronación de las estructuras. Así mismo se presentan las condiciones de clima marítimo, consideradas para la evaluación de la propuesta.

Tabla 4. 2 Resumen de los casos modelados

No	Característica	Ángulo ¹	H (m)	T (s)	S (m) ²
1	Propuesta original con estructuras coronadas al nivel medio del mar (NMM)	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		2.0
		45			
2	Estructuras desplazadas 50 m hacia el mar coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		2.0
		45			
3	Sólo la estructura central corrida 50 m hacia el mar, todas coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	0.0
		22.5	4.0		
		45			
4	Estructuras en posición original coronadas 50 cm por debajo del NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		
		45			
5	Estructuras en posición original coronadas 50 cm por debajo del NMM con el doble de ancho del propuesto	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		
		45			
6	Estructuras en posición original con el triple de ancho del propuesto y coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	0.0
		22.5	4.0		
		45			

¹ respecto del este de la malla arbitraria

² nivel del marea

Como se observa en la tabla 4.2, se modelaron cuatro diferentes ángulos: -22.5°, 0°, 22.5° y 45° con respecto del este de la malla arbitraria. Se propusieron tres alturas de ola: 1, 2 y 4 metros. Únicamente se consideraron periodos de 10 y 12 segundos, ya que Silva y Mendoza (2009) demostraron que los oleajes con periodo menor son disipados eficientemente por el arrecife y la playa no recibe la energía suficiente como para erosionar la playa o dañar el relleno artificial; esto es, la evaluación de las estructuras propuestas se llevó a cabo en el entendido que para periodos cortos (condición predominante) las estructuras no son necesarias. Por último, en todos los escenarios se modeló el nivel original de marea y para algunos casos se propuso una sobre-elevación del nivel del mar de 1 o 2 metros, condición que se justifica como efecto de tormenta. Así, el trabajo de modelado abarca un total de 264 casos. Cabe señalar que las combinaciones correspondientes a las condiciones del oleaje son dadas en los archivos de entrada con las condiciones generales "CLAVECASOWAP.INP"; y tanto las modificaciones de configuración, cota de las estructuras, y de los niveles de marea son dadas en los archivos de entrada con los datos batimétricos de extensión *.grd.

Una vez terminadas las modelaciones, se procedió a dar formato a cada caso resuelto de tal forma que los efectos del oleaje se puedan apreciar mejor. Los archivos se exportaron a imágenes con extensión *.png. El resultado final para cada caso han sido dos imágenes: la primera presenta la superficie libre máxima instantánea del agua y la segunda, el campo de altura de ola generado en cada caso.

A continuación se presenta un resumen de las observaciones derivadas de los resultados numéricos. Para cada escenario se presentan únicamente los casos en los que el funcionamiento de las estructuras es evidente. Todos los demás casos se pueden consultar en el Anexo Digital, mientras que en el Anexo A se muestran los archivos de entrada de las diferentes condiciones de oleaje.

4.2.1.1 Escenario 1. Posición original con estructuras coronadas al NMM

Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H= 2 \text{ (m)}, \theta = 22.5^\circ, S= 0 \text{ (m)}, T= 12 \text{ (s)}$$

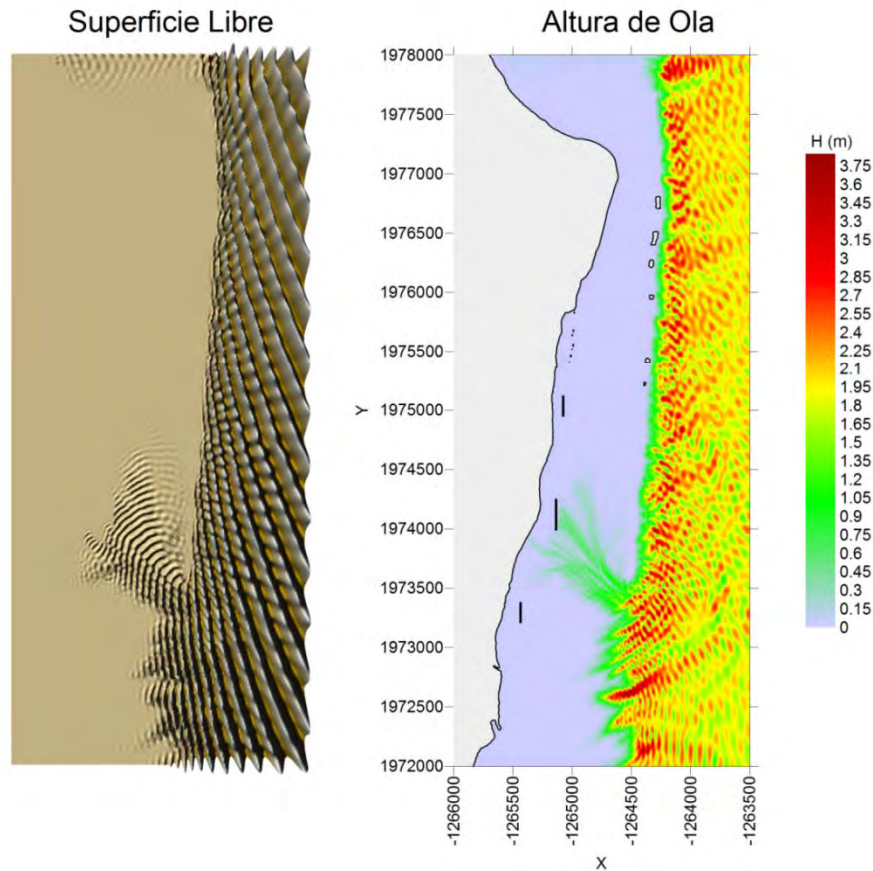


Figura 4. 6 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1

Las modelaciones del primer escenario, con la propuesta original y sin sobre-elevación del nivel del mar muestran que sólo la estructura central trabaja. El oleaje difractado desde el extremo sur del arrecife incide prácticamente sobre la estructura central, tal como se muestra en la figura 4.6, que corresponde a una altura de ola de 2 metros ($H=2$ m), periodo de 12 segundos ($T=12$ s) y un ángulo de incidencia de 22.5 grados ($\theta=22.5^\circ$) respecto del este de la malla.

Sobre-elevación por marea de tormenta de 1 metro

$H= 1$ (m), $\theta = -22.5^\circ$, $S= 1$ (m), $T= 12$ (s)

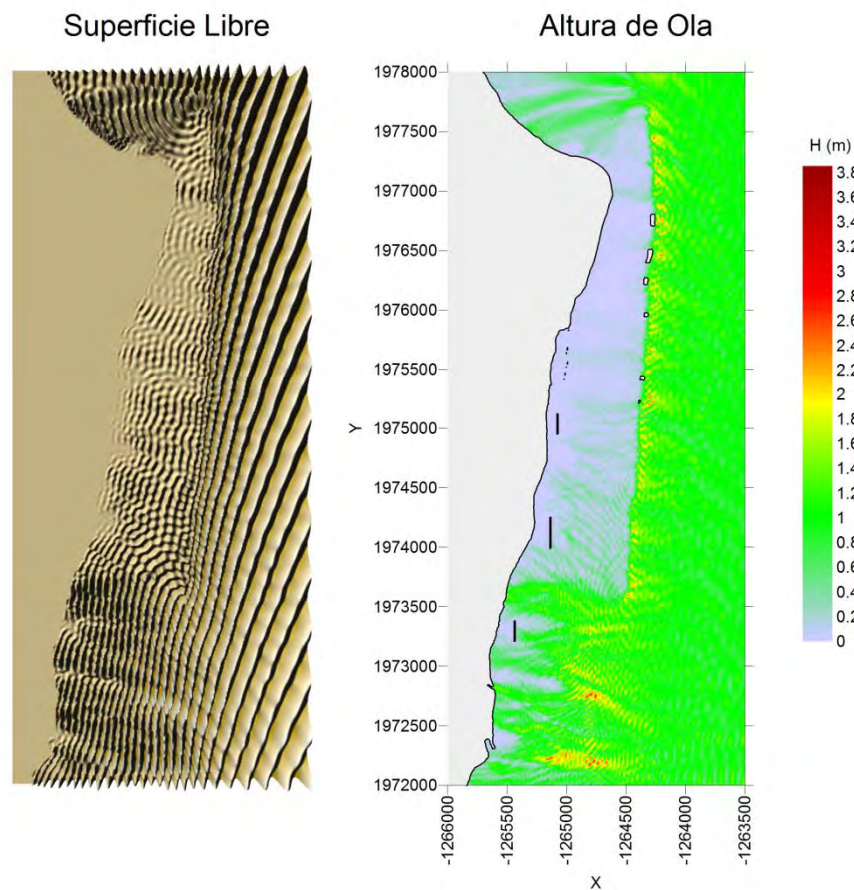


Figura 4. 7 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

Cuando se presenta una sobre-elevación del nivel del mar (por efecto de tormenta) la estructura sur comienza a trabajar, ya que al aumentar la profundidad, las olas se acercan más fácilmente a la costa. Sin embargo, esto sólo ocurre con olas cuya altura es de 1 metro, pues para alturas mayores las olas rompen por fondo aproximadamente a la altura del arrecife y las estructuras no son necesarias. Este comportamiento se puede observar en la figura 4.7.

Sobre-elevación por marea de tormenta de 2 metros

$$H= 1 \text{ (m)}, \theta = 0^\circ, S= 2 \text{ (m)}, T= 10 \text{ (s)}$$

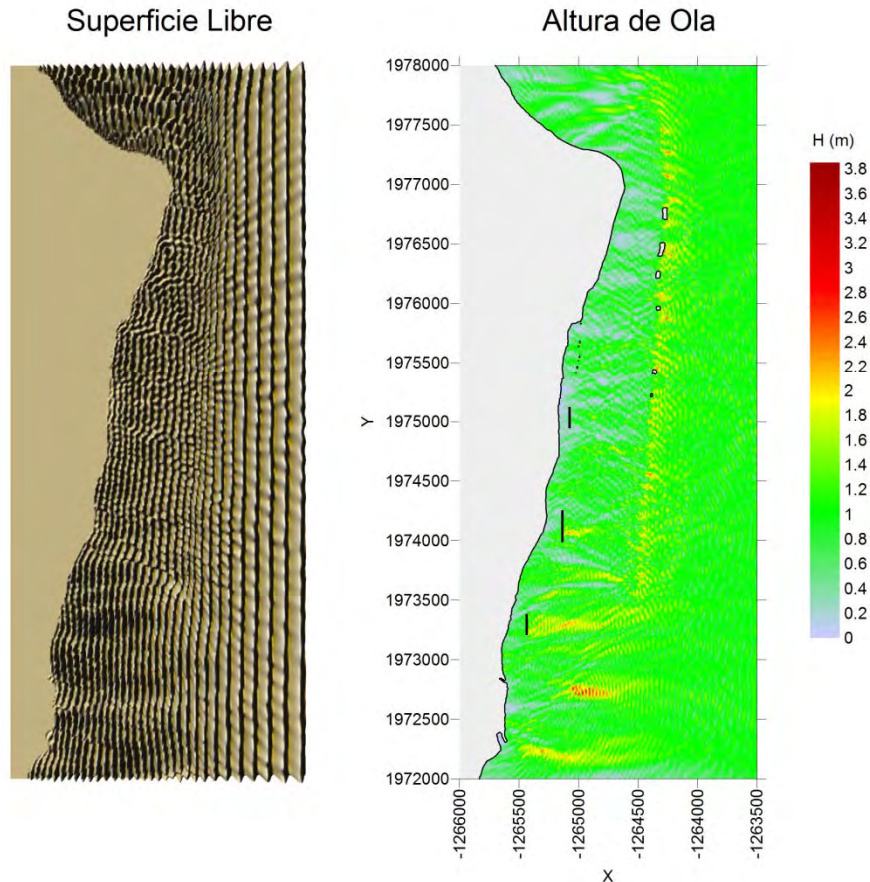


Figura 4. 8 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta

En el caso que se presente una sobre-elevación por marea de tormenta de 2 metros (situación que podría justificarse sólo con la presencia de un huracán), es muy notorio que sólo las olas de 1 metro de altura son capaces de pasar por encima del arrecife y llegar hacia la zona de playa (figura 4.8). Este caso es de especial atención porque al tener las estructuras coronadas al nivel medio del mar, una vez que sube el nivel, quedan sumergidas (dos metros en este caso) y su función se ve disminuida dramáticamente. Sin embargo, es prudente aclarar que una tormenta que genera dos metros de sobre-elevación normalmente está acompañada de olas con alturas mayores a 1 metro que serán disipadas por el arrecife y las estructuras de protección no serán necesarias.

Comentarios sobre la alternativa

En general las estructuras funcionaron correctamente, por lo que esta alternativa se considera como una buena opción a reserva de lo que muestren las siguientes alternativas.

4.2.1.2 Escenario 2. Estructuras desplazadas 50 metros hacia el mar coronadas al NMM

El segundo escenario modelado es muy similar al primero, pero con las estructuras desplazadas 50 metros mar adentro respecto a su posición original. En este escenario se modelaron 2 casos: sin sobre-elevación por marea de tormenta, y con una sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta.

Sin sobre-elevación por marea de tormenta

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)

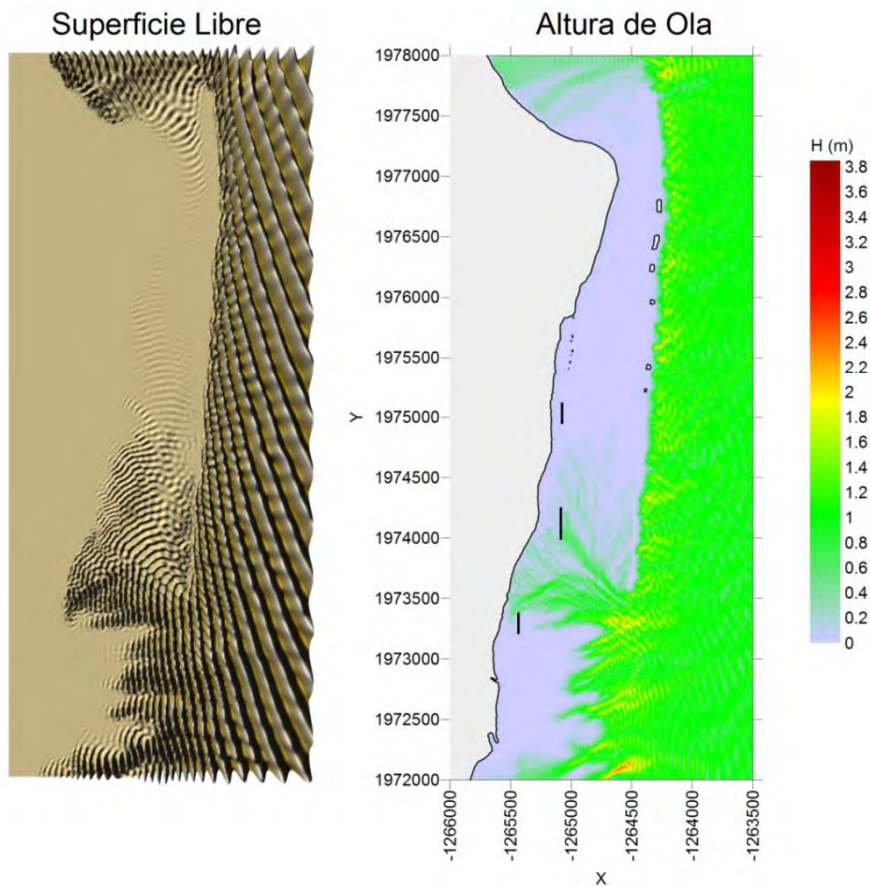


Figura 4. 9 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2

En la figura 4.9 se observa que para una altura de ola de 1 metro, periodo de 12 segundos y ángulo de incidencia de 22.5° respecto al este de la malla, únicamente la estructura central es solicitada, funcionando correctamente. Al igual que en el primer escenario sin sobre-elevación por marea de tormenta se observa que el oleaje difractado desde el extremo sur del arrecife incide sobre la estructura central y aunque, en algunos casos, las bandas de energía eluden la estructura, en la mayoría de los casos su funcionamiento es evidente.

Sobre-elevación por marea de tormenta de 2 metros

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)

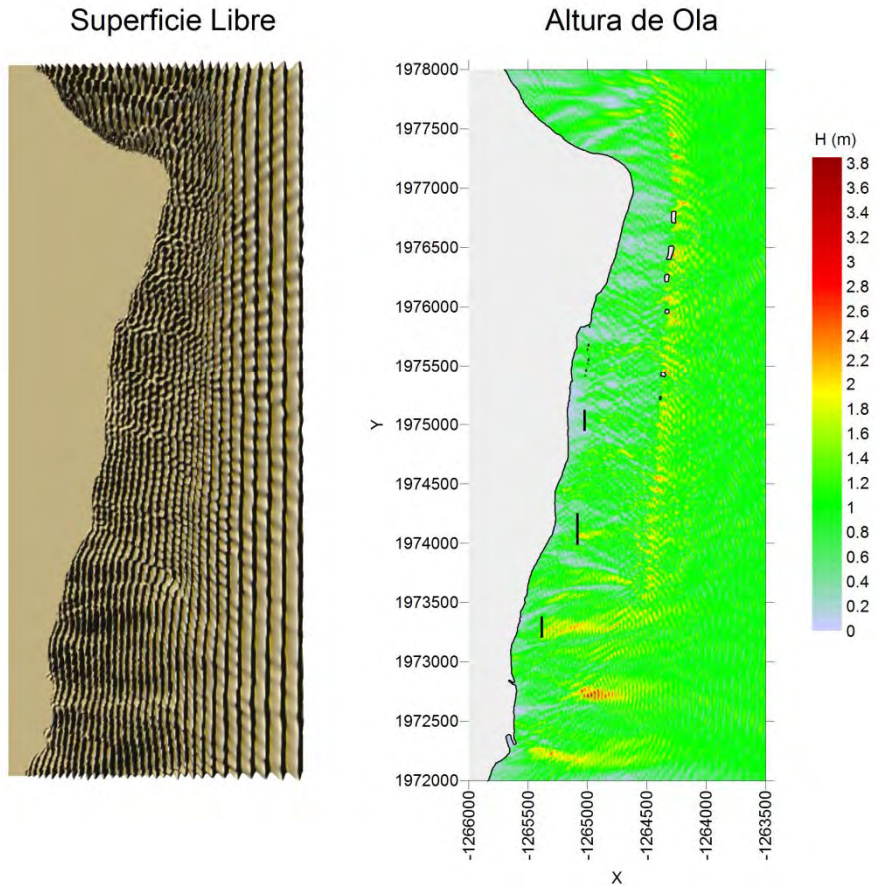


Figura 4. 10 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta

Este caso (figura 4.10) es muy similar al primer escenario con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta, y se observa que las olas de 1 metro alcanzan a pasar el arrecife, llegando a la playa y poniendo en evidencia el pobre funcionamiento de las estructuras cuando éstas quedan sumergidas 2 metros.

Comentarios sobre la alternativa

El funcionamiento de las estructuras desplazadas 50 metros hacia el mar es muy similar al que presenta cuando las estructuras se encuentran en su posición original. Es importante señalar que al construir las estructuras en aguas más profundas (como es el caso de esta alternativa), se requiere un mayor volumen de material para cumplir con la cota de coronación.

Por lo tanto, la alternativa no se considera mejor que la anterior y se descarta.

4.2.1.3 Escenario 3. Sólo la estructura central corrida 50 metros hacia el mar y coronadas al NMM

El tercer escenario modelado responde al correcto funcionamiento en la mayoría de los casos, hasta ahora vistos, de la estructura central, buscando mejorar su funcionamiento desplazándola 50 metros hacia el mar. Al tratarse de un escenario casi idéntico a los dos primeros, únicamente se modeló el caso sin sobre-elevación por marea de tormenta.

Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H= 1 \text{ (m)}, \theta =22.5^\circ, S= 0 \text{ (m)}, T= 12 \text{ (s)}$$

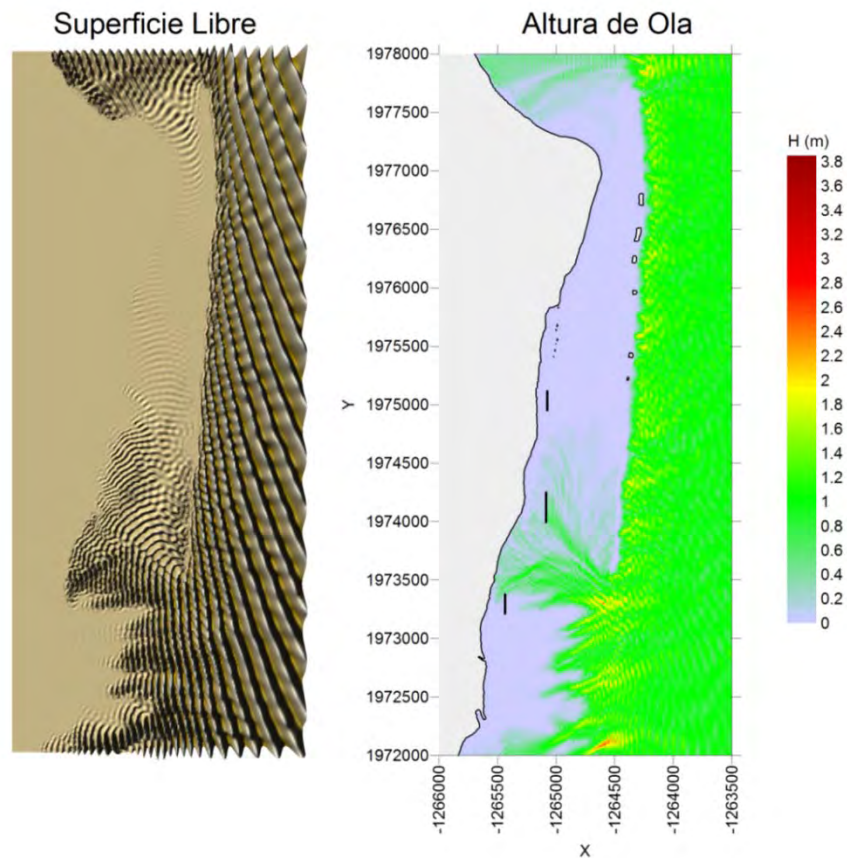


Figura 4. 11 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 3

Como se observa en la figura 4.11, la estructura central funciona prácticamente igual que en su posición original.

Comentarios sobre la alternativa

Al presentar un funcionamiento idéntico a la alternativa anterior y representando también una mayor cantidad de material, no se justifica la modificación de la posición de la estructura central, por lo que se descarta esta alternativa.

4.2.1.4 Escenario 4. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM

El tener las estructuras coronadas al nivel medio del mar podría generar un impacto visual negativo en el desarrollo Kanai en condiciones de mareas muertas o bajamares inferiores al promedio. De ahí nace la propuesta de construir las estructuras sumergidas 50 centímetros abajo del nivel medio del mar. Considerando que la carrera de la marea en el sitio es de entre 30 y 40 centímetros las estructuras nunca serán visibles.

Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H= 1 \text{ (m)}, \theta = 0^\circ, S= 0 \text{ (m)}, T= 12 \text{ (s)}$$

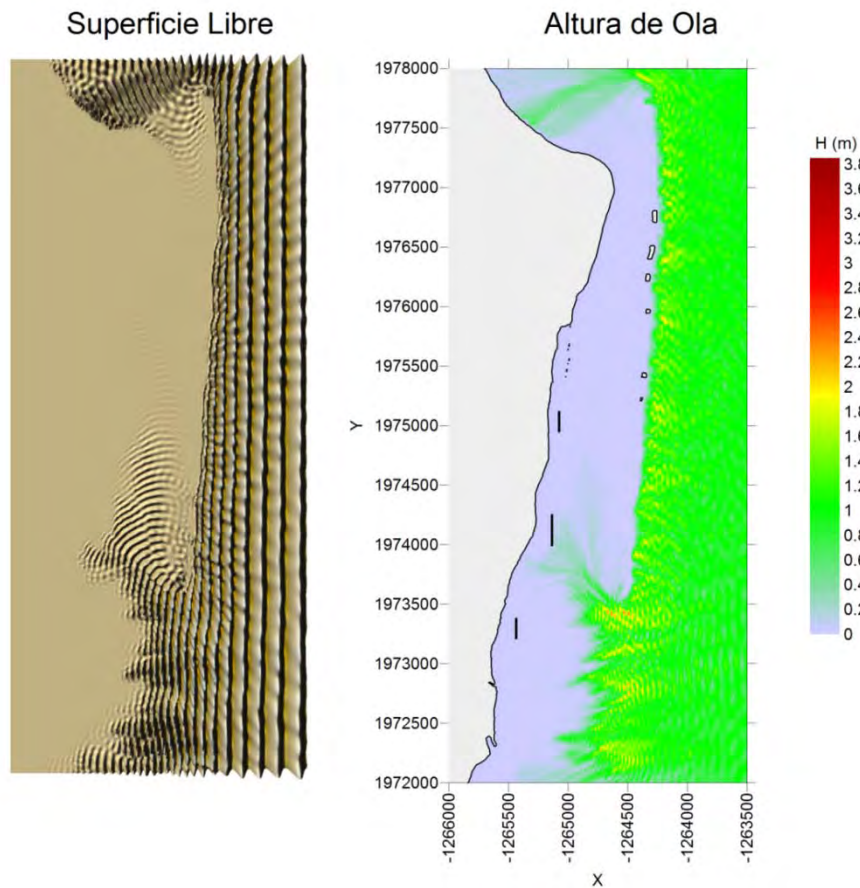


Figura 4. 12 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4

La modelación numérica muestra que aún sumergidas, la estructura central trabaja adecuadamente deteniendo una buena parte de la energía del oleaje difractado, así como la energía de las olas que pasan por encima del arrecife. En la figura 4.12 se puede observar el correcto funcionamiento de la estructura central. En la misma figura, en el panel izquierdo que corresponde a la superficie libre máxima instantánea es más claro cómo la estructura detiene los frentes de onda.

Sobre-elevación por marea de tormenta de 1 metro

Para comprobar el correcto funcionamiento de las estructuras coronadas 50 centímetros debajo del nivel del mar se modelaron las estructuras con una sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta.

$H= 1 \text{ (m)}, \theta = -22.5^\circ, S= 1 \text{ (m)}, T= 10 \text{ (s)}$

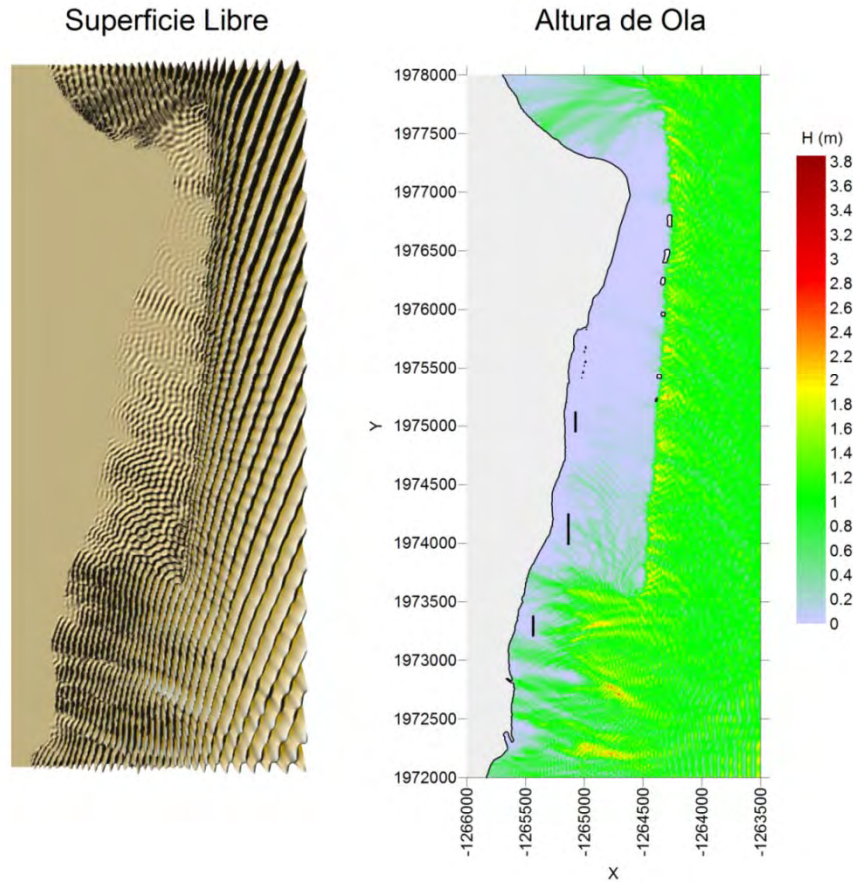


Figura 4. 13 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

Al igual que en los escenarios anteriores cuando se modelaron sobre-elevaciones de 1 metro por marea de tormenta, en este caso la estructura sur comienza a trabajar disipando correctamente la energía de las olas que inciden sobre ella. En la figura 4.13 se muestra un ejemplo del funcionamiento de la estructura sur. Aunque da la impresión que la estructura es insuficiente, hay que recordar que este modelado corresponde a condiciones de tormenta y, que todo relleno de playa requiere mantenimiento después de una tormenta, por lo que esta situación no significa un fallo en el diseño y operación de esta propuesta.

Comentarios sobre la alternativa

Las modelaciones numéricas demostraron el correcto funcionamiento de las estructuras sumergidas 50 centímetros por debajo del nivel medio del mar. El comportamiento no deja de ser similar al del primer escenario, sin embargo, considerando que esta alternativa requiere una menor cantidad de material y la ventaja de la invisibilidad de las estructuras, se considera viable.

4.2.1.5 Escenario 5. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM, con el doble de ancho propuesto

Se realizó también una modelación con las estructuras sumergidas pero aumentando dos veces su ancho, considerando que dicho aumento supone una mayor disipación de energía debido a la mayor área de fricción. Se modelaron los casos con y sin sobre-elevación por marea de tormenta.

Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H = 1 \text{ (m)}, \theta = 22.5^\circ, S = 0 \text{ (m)}, T = 12 \text{ (s)}$$

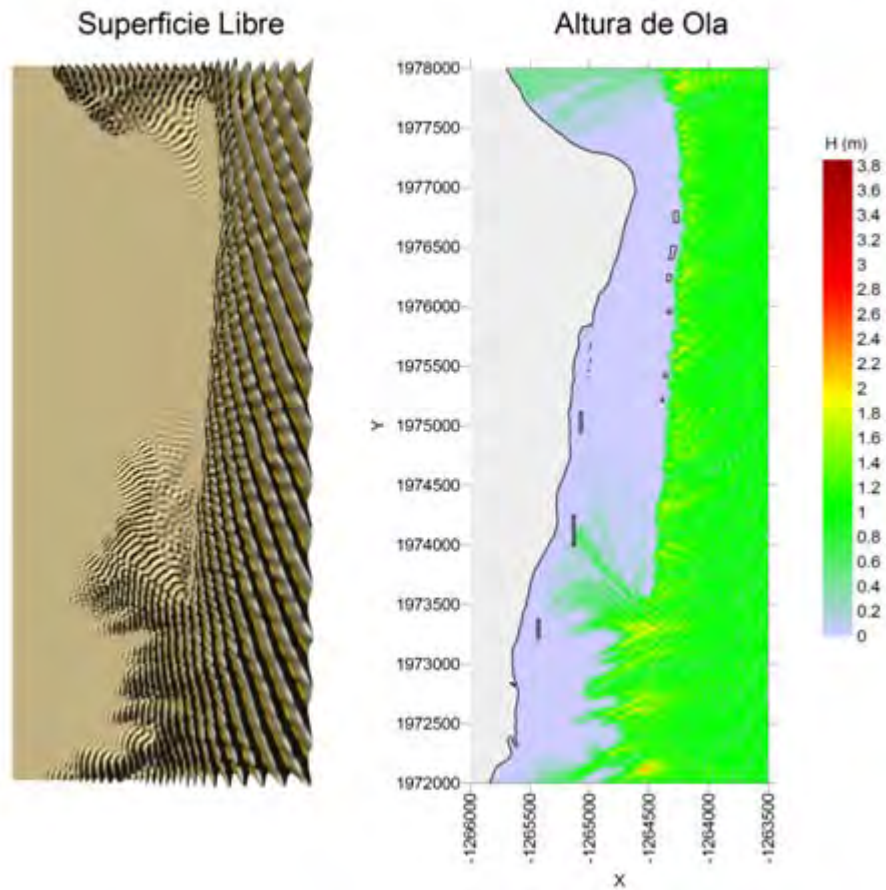


Figura 4. 14 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5

En la mayoría de los casos sólo la estructura central es solicitada. Esto se puede observar en la figura 4.14. Sin embargo, la modelación no reporta un incremento significativo en la protección que las obras ofrecen a la playa.

Sobre-elevación por marea de tormenta de 1 metro

Para hacer una comparación más real de los escenarios 4 y 5 se realizó también la modelación de las estructuras coronadas 50 centímetros por debajo del nivel medio del mar con el doble de ancho y con sobre-elevación por marea de tormenta de 1 metro.

$H = 1 \text{ (m)}, \theta = 22.5^\circ, S = 1 \text{ (m)}, T = 10 \text{ (s)}$

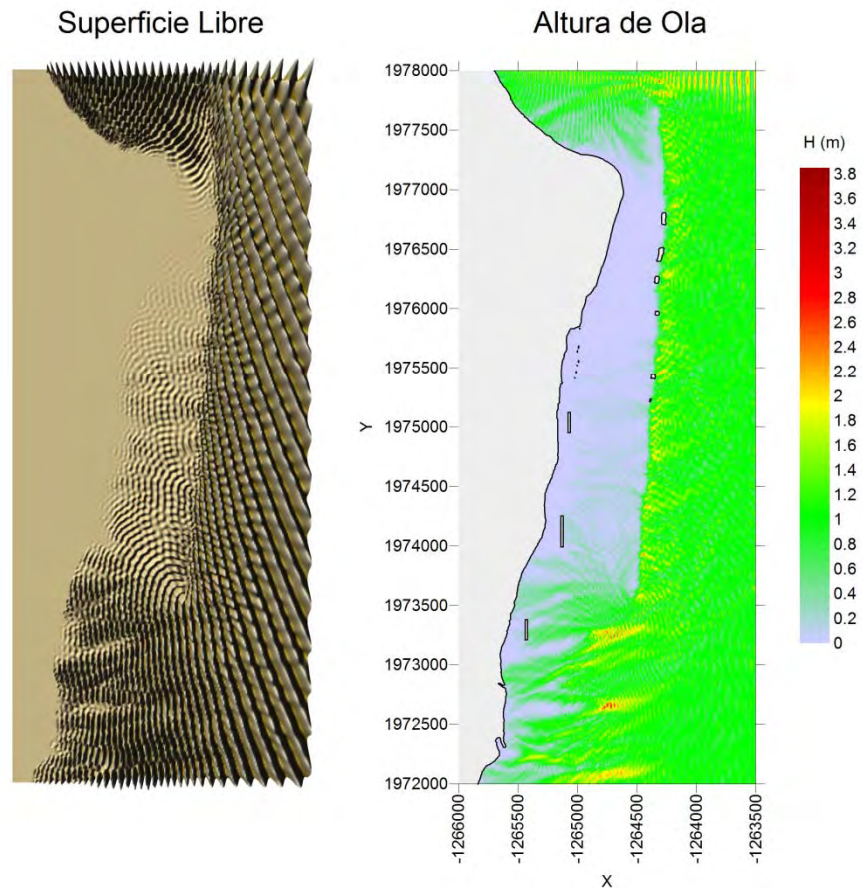


Figura 4. 15 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

Como se observa en la figura 4.15, no se reporta un aumento en la disipación de la energía del oleaje con respecto al ancho original.

Comentarios sobre la alternativa

Las modelaciones no demostraron aumentar significativamente la disipación de la energía del oleaje. Aunado a esto, esta alternativa requiere del doble de material. Por lo tanto, no se considera viable y se descarta la alternativa.

4.2.1.6 Escenario 6. Estructuras en posición original, con el triple de ancho del propuesto y coronadas al NMM

El último escenario modelado corresponde a una propuesta en la que se aumenta al triple el ancho original de las estructuras, en sus posiciones originales y coronadas al nivel medio del mar. Sin embargo, sólo se modela el caso en que no hay sobre-elevación por marea de tormenta, pues en las alternativas 1, 2 y 3 es notable que en la mayoría de los casos el funcionamiento de las estructuras es correcto aún con tormenta.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)

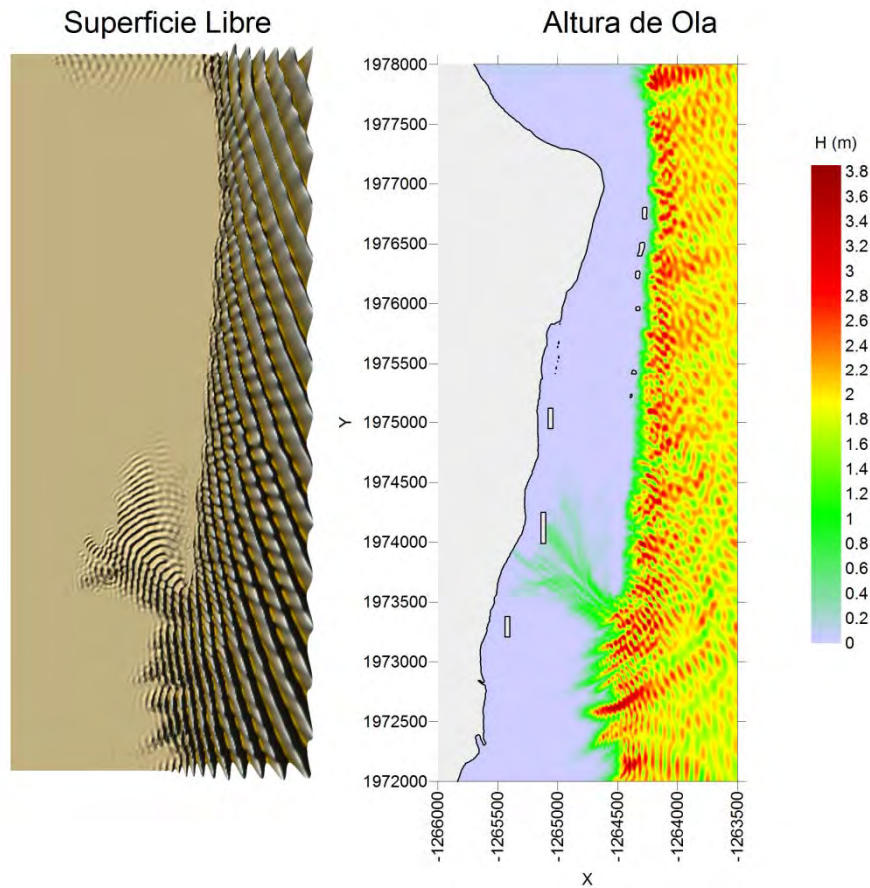


Figura 4. 16 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 6

El comportamiento que se observa en la figura 4.16 es idéntico al modelado en el escenario 1 sin marea, y no se observa un aumento en la disipación de energía con respecto al ancho original.

Comentarios sobre la alternativa

Después de las modelaciones no se encontró evidencia de que esta alternativa mejore el rendimiento de las estructuras con el ancho original, por lo que no se justifica aumentar al triple su

ancho, ya que se requiere mayor volumen de material de construcción. Por lo tanto se descarta esta alternativa.

4.2.2 Propuesta de diseño estructural

Después de realizar las modelaciones numéricas y haciendo una comparación de los resultados obtenidos, se observa que coronar las estructuras 50 centímetros por debajo del nivel medio del mar es la mejor alternativa al considerar su buen funcionamiento y el bajo costo que implica al requerir un menor volumen de material.

La propuesta recibida por parte de la empresa responsable para la construcción del desarrollo, consiste (como se mencionó anteriormente) en la disposición vertical de un material llamado Bolsacreto. Sin embargo, en este trabajo se realizará otra propuesta para el diseño estructural de las protecciones, considerando la utilización de material rocoso, y la disposición del material con pendientes de 1:1.5 y 1:2, por ambos lados.

Con esta nueva disposición, la estructura estaría conformada por los siguientes sectores: talud exterior, exterior del morro, interior del morro, talud interior y coronación. En la figura 4.17 se muestra la ubicación de cada sector en una vista en planta de un dique sumergido.

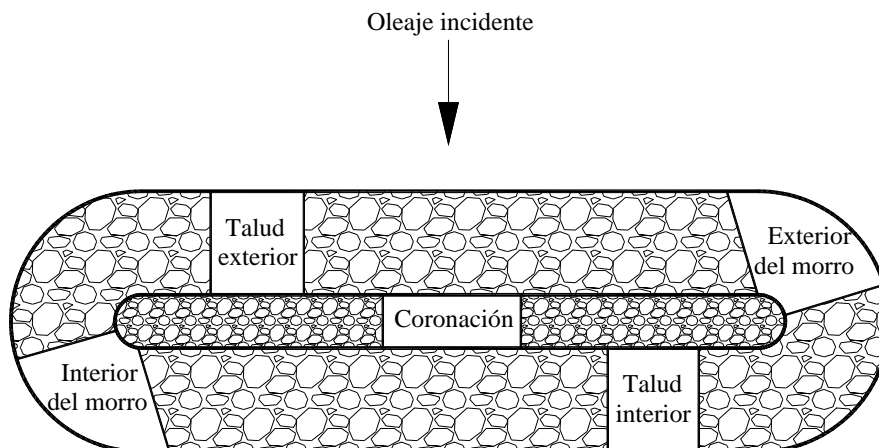


Figura 4. 17 Localización, en planta, de los diferentes sectores de un dique sumergido.

Para realizar el diseño, únicamente es necesario determinar el tamaño de los materiales que serán utilizados en cada sector de la estructura, pues la longitud y coronación de las mismas ya han sido establecidas.

A continuación se presentan los diseños correspondientes a las estructuras, con pendiente 1:1.5 y 1:2.

4.2.2.1 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:1.5

Para el diseño mecánico de las estructuras sumergidas se empleó la formulación desarrollada por Vidal et al, 1992. En primer lugar es necesario calcular el peso de las piezas del dique no rebasable, para ello se utilizó la formulación de Hudson, 1959, esto es:

$$W_{nr} = \frac{\gamma_s H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (4.1)$$

Donde

γ_s Es el peso volumétrico del material, y se obtiene al multiplicar S_r por el peso volumétrico del agua marina que es de $1030 \text{ kg} / \text{m}^3$

H Es la altura de ola máxima que incide en la estructura

K_D Es un coeficiente de estabilidad adimensional, cuyo valor en este caso es 2.9

S_r Es la densidad relativa del material rocoso, cuyo valor en este caso es 2.6.

Después de analizar los resultados, se encontró una altura de ola máxima de 0.7529 metros que incide sobre la estructura central. Una vez que se tienen todos los datos, se sustituyen para obtener:

$$W_{nr} = \frac{2678(0.7529)^3}{2.9(2.6-1)^3 1.5} = 64.146 \text{ (kg)}$$

Con el peso de las piezas del dique no rebasable, se puede calcular el diámetro equivalente de las piezas del dique, de la siguiente forma

$$D_{nr} = \left(\frac{64.146}{2678} \right)^{1/3} = 0.28826 \text{ (m)}.$$

Talud exterior

Se calcula un francobordo adimensional del dique rebasable, definido como

$$F_{dr} = F_r / D_{nr} \quad (4.2)$$

Donde

F_{dr} Es el francobordo adimensional del dique rebasable

F_r Es el francobordo del dique rebasable, m

D_{nr} Es el diámetro de las piezas del dique no rebasable, m

El francobordo del dique rebasable es la distancia que existe entre la cresta de la estructura y el nivel medio del mar. En este caso, el francobordo del dique rebasable es de -50 centímetros.

Sustituyendo se obtiene

$$F_{dr} = -0.50 / 0.28826 = -1.7345$$

Ahora, la variación del número de estabilidad respecto del francobordo adimensional se puede describir por medio de la familia de parábolas:

$$N = A + BF + CF^2 \quad (4.3)$$

Cuyos coeficientes de ajuste y niveles de daño, para el talud exterior, se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4. 3 Parámetros de ajuste de las curvas (4.3), para el diseño del talud exterior

Avería	Rango de F_d	A	B	C	F_{dnr}
IA	-2.01 a 2.41	1.831	-0.245	0.0119	2.40
AI	-2.01 a 2.41	2.256	-0.320	0.0189	2.41
ID	-2.01 a 2.41	2.650	-0.313	0.0129	3.15
D	-2.01 a 2.41	3.237	-0.357	0.0357	3.90

La expresión (4.3) se utiliza para determinar tanto el valor del número de estabilidad correspondiente al francobordo de no rebase N_{snr} , como del número de estabilidad para el francobordo del dique rebasable, N_{ste} (como función de F_{dr}), las expresiones correspondientes son

$$N_{snr} = A + BF_{dnr} + CF_{dnr}^2 \quad (4.4)$$

$$N_{ste} = A + BF_{dr} + CF_{dr}^2 \quad (4.5)$$

Donde

N_{snr} Es el número de estabilidad del dique no rebasable, adimensional

N_{ste} Es el número de estabilidad para el francobordo del dique rebasable, adimensional

F_{dnr} Es el francobordo adimensional del dique rebasable, su valor se toma de la tabla 4.3

Las siglas IA, AI, ID y D, de la tabla 4.3 indican los niveles de daño de una estructura de piezas sueltas, tal que:

- Inicio de avería (IA): Se alcanza cuando un determinado número de piezas de la coraza son llevadas a una posición alejada a más de un diámetro de su posición original. En el manto se observan huecos de gran tamaño.
- Avería de Iribarren (AI): En este nivel, los huecos son tan grandes que el oleaje comienza a actuar sobre la capa interior del manto principal.
- Inicio de destrucción (ID): Puede definirse como el inicio de avería de la capa interior del manto principal.
- Destrucción (D): El nivel de destrucción se alcanza cuando alguna pieza del manto secundario es extraída. Si el oleaje no disminuye, la estructura deja de funcionar en poco tiempo.

Para este diseño se considera un daño tipo "Inicio de avería" (IA), pues al tratarse de estructuras pequeñas, los costos por mantenimiento se consideran bajos.

Con esto, podemos sustituir los valores en las ecuaciones (4.4) y (4.5), tal que:

$$N_{snr} = 1.831 + (-0.245)(2.40) + 0.0119(2.40)^2 = 1.3115$$

$$N_{ste} = 1.831 + (-0.245)(-1.7345) + 0.0119(-1.7345)^2 = 2.2917$$

La relación entre los números de estabilidad N_{snr} / N_{ste} es inversa a la relación de los diámetros de las piezas del manto principal del dique no rebasable, D_{nr} y el del dique rebasable D_{te} . De esta manera, el diámetro de las piezas del talud exterior del dique rebasable se calcula con:

$$D_{te} = D_{nr} \frac{N_{snr}}{N_{ste}} \quad (4.6)$$

Donde

D_{nr} Es el diámetro de las piezas del manto principal del dique no rebasable, m

D_{te} Es el diámetro de las piezas del talud exterior del dique rebasable, m

Sustituyendo se obtiene

$$D_{te} = 0.28826 \frac{1.3115}{2.2917} = 0.165 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del talud exterior tendrán un diámetro de 16.50 centímetros. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a 20 centímetros.

Coronación

El tamaño necesario para las piezas de la coronación se puede determinar mediante comparación con el talud exterior a través del francobordo adimensional de dicho talud, el cual se calcula como

$$F_{dte} = F_r / D_{te} \quad (4.7)$$

Donde

F_{dte} Es el francobordo adimensional del talud exterior

Se conoce el valor del francobordo de rebase, así como del diámetro de las piezas del talud exterior, con lo que F_{dte} queda:

$$F_{dte} = -0.50 / 0.165 = -3.0309$$

Ahora se utiliza la ecuación (4.3) con los coeficientes correspondientes a coronación de la tabla 4.4 y para el nivel de daño deseado.

Tabla 4. 4 Parámetros de ajuste de las curvas (4.8), para el diseño de la coronación

Avería	Rango de F_d	A	B	C	F_{dnr}
IA	-2.01 a 2.41	1.652	0.0182	0.1590	-----
AI	-2.01 a 2.41	2.122	0.0434	0.1500	-----
ID	-2.01 a 2.41	2.734	0.123	0.1770	-----
D	-2.01 a 1.00	3.210	0.0965	0.1750	-----

A partir de lo cual se puede determinar el número de de estabilidad N_{sc} como función de F_{dte} , esto es

$$N_{sc} = A + BF_{dte} + CF_{dte}^2 \quad (4.8)$$

Donde

N_{sc} Es el número de estabilidad de la coronación, adimensional

Sustituyendo los valores en la ecuación (4.8) se tiene:

$$N_{sc} = 1.652 + 0.0182(-3.0309) + 0.1590(-3.0309)^2 = 3.0574$$

La relación entre los dos números de estabilidad del talud exterior y la coronación es inversa a la relación de diámetros de las piezas del talud exterior D_{te} , y de la coronación D_c , por lo que el diámetro de las piezas de la coronación será:

$$D_c = D_{te} \frac{N_{ste}}{N_{sc}} \quad (4.9)$$

Que, al sustituir los valores correspondientes, queda:

$$D_c = 0.165 \frac{2.2917}{3.0574} = 0.1236 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas de coronación tendrán un diámetro de 12.36 centímetros. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a 20 centímetros.

Talud interior

Este talud se calcula, como en el caso de la coronación, comparando con el talud exterior a través del francobordo adimensional correspondiente F_{dte} .

Para ello se debe calcular el número de estabilidad del francobordo del talud interior a partir de la ecuación (4.10), pero esta vez con los coeficientes de ajuste presentados en la tabla 4.5, de manera que se tiene

$$N_{sti} = A + BF_{dte} + CF_{dte}^2 \quad (4.10)$$

Donde

N_{sti} Es el número de estabilidad del francobordo del talud interior, adimensional

Tabla 4. 5 Parámetros de ajuste de las curvas (4.10), para el diseño del talud interior

Avería	Rango de F_d	A	B	C	F_{dnr}
IA	-2.01 a 2.41	2.575	-0.540	-0.1150	-----
AI	0.80 a 2.41	5.628	-1.459	0.0837	-----
ID	1.60 a 2.41	8.669	-2.272	-----	-----

Sustituyendo los valores de la tabla 4.5, y del francobordo adimensional del talud exterior, se tiene:

$$N_{sti} = 2.575 + (-0.540)(-3.0309) + (-0.1150)(-3.0309)^2 = 3.1552$$

De nuevo, por relación inversa de diámetro y números de estabilidad, el diámetro de las piezas del talud interior es

$$D_{ii} = D_{te} \frac{N_{ste}}{N_{sti}} \quad (4.11)$$

Donde

D_{ii} Es el diámetro de las piezas del manto interior, m

Donde, sustituyendo los valores correspondientes, se tiene

$$D_{ii} = 0.165 \frac{2.2917}{3.1552} = 0.1198 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del talud interior tendrán un diámetro de 11.98 centímetros, que podrían redondearse a 12 centímetros. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a 20 centímetros.

Morros

Dado que el sector interior del morro es menos estable, y bajo el supuesto de que ambos sectores del morro utilizan el mismo tipo de piezas, sólo se calcula el diámetro de las piezas del talud interior y se utiliza como el tamaño de pieza necesaria para todo el morro.

El diámetro en el morro puede ser calculado a partir de las piezas del morro del correspondiente dique no rebasable, es decir, vía un proceso similar al realizado para el cálculo del talud exterior. Una vez calculado el diámetro necesario en el morro para un dique no rebasable D_{mnr} , el francobordo del morro del dique rebasable es

$$F_{dmr} = F_r / D_{mnr} \quad (4.12)$$

Donde

F_{dmr} Es el francobordo adimensional del morro del dique rebasable

D_{mnr} Es el diámetro de las piezas del morro del dique no rebasable, m

El procedimiento para calcular el diámetro de las piezas del morro del dique no rebasable D_{mnr} es muy similar al utilizado para calcular el diámetro de las piezas del talud exterior, calculando primero el peso de las piezas del morro del dique no rebasable, considerando

$$W_{mnr} = 1.5W_{nr} = 1.5(64.146) = 96.22 \text{ (kg)}$$

Ahora, se puede calcular el diámetro de las piezas del morro del dique no rebasable, tal que

$$D_{mnr} = \left(\frac{96.22}{2678} \right)^{1/3} = 0.3299 \text{ (m)}$$

Con este diámetro se puede calcular el francobordo adimensional del morro del dique rebasable, y se tiene

$$F_{dmr} = -0.50 / 0.3299 = -1.5152$$

El valor del francobordo adimensional del morro se utiliza para calcular el número de estabilidad del francobordo del morro de no rebase N_{smnr} , y el número de estabilidad del francobordo del morro del dique rebasable N_{smr} , como sigue

$$N_{smnr} = A + BF_{dmnr} + CF_{dmnr}^2 \quad (4.13)$$

$$N_{smr} = A + BF_{dmr} + CF_{dmr}^2 \quad (4.14)$$

Donde

F_{dmnr} Es el francobordo adimensional del morro del dique no rebasable

Los valores de los coeficientes de ajuste de las ecuaciones (4.13) y (4.14), así como el de F_{dmnr} se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4. 6 Parámetros de ajuste de las curvas (4.13) y (4.14), para el diseño del morro

Avería	Rango de F_d	A	B	C	F_{dmnr}
IA	-2.01 a 2.41	1.681	-0.474	0.1050	2.40
AI	-2.01 a 2.41	2.046	-0.499	0.0913	2.41
ID	-2.01 a 2.41	2.517	-0.536	0.0613	3.15
D	-0.01 a 2.41	3.027	-0.756	0.1200	3.90

Sustituyendo valores en las ecuaciones (4.13) y (4.14) se tiene

$$N_{smnr} = 1.681 + (-0.474)(2.40) + 0.1050(2.40)^2 = 1.1482$$

$$N_{smr} = 1.681 + (-0.474)(-1.5152) + (0.1050)(-1.5152)^2 = 2.6403$$

Así, el diámetro de las piezas del talud del morro, por relaciones inversas de diámetros y números de estabilidad, es

$$D_{mr} = D_{mnr} \frac{N_{smnr}}{N_{smr}} \quad (4.15)$$

Donde

D_{mr} Es el diámetro de las piezas del morro del dique rebasable, m

Finalmente se tiene

$$D_{mr} = 0.3299 \frac{1.1482}{2.6403} = 0.1435 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del morro tendrán un diámetro de **14.35 centímetros**. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a **20 centímetros**.

4.2.2.2 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:2

Para este diseño se emplea el mismo procedimiento del punto anterior, incluyendo las mismas ecuaciones y tablas, por lo que únicamente se anotarán las sustituciones con los valores correspondientes.

La altura de ola máxima que incide sobre la estructura sigue siendo de 0.7529 metros.

$$W_{nr} = \frac{2678(0.7529)^3}{2.9(2.6-1)^3} = 48.11 \text{ (kg)}$$

Con el peso de las piezas del dique no rebasable, se puede calcular el diámetro equivalente de las piezas del dique, de la siguiente forma

$$D_{nr} = \left(\frac{48.11}{2678} \right)^{1/3} = 0.262 \text{ (m)} .$$

Talud exterior

Se calcula un francobordo adimensional del dique rebasable

$$F_{dr} = -0.50 / 0.262 = -1.909$$

La expresión (4.3) se utiliza para determinar tanto el valor del número de estabilidad correspondiente al francobordo de no rebase N_{smr} , como del número de estabilidad para el francobordo del dique rebasable, N_{ste} (como función de F_{dr}).

$$N_{smr} = 1.831 + (-0.245)(2.40) + 0.0119(2.40)^2 = 1.3115$$

$$N_{ste} = 1.831 + (-0.245)(-1.909) + 0.0119(-1.909) = 2.342$$

La relación entre los números de estabilidad N_{snr} / N_{ste} es inversa a la relación de los diámetros de las piezas del manto principal del dique no rebasable, D_{nr} y el del dique rebasable D_{te} . De esta manera, el diámetro de las piezas del talud exterior del dique rebasable se calcula como

$$D_{te} = 0.262 \frac{1.3115}{2.342} = 0.1466 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del talud exterior tendrán un diámetro de 14.66 centímetros. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a 20 centímetros.

Coronación

Conociendo el valor del francobordo de rebase, así como del diámetro de las piezas del talud exterior, con lo que F_{dte} queda:

$$F_{dte} = -0.50 / 0.1466 = -3.409$$

A partir de lo cual se puede determinar el número de de estabilidad N_{sc} como función de F_{dte} , esto es

$$N_{sc} = 1.652 + 0.0182(-3.409) + 0.1590(-3.409)^2 = 3.438$$

La relación entre los dos números de estabilidad del talud exterior y la coronación es inversa a la relación de diámetros de las piezas del talud exterior D_{te} , y de la coronación D_c , por lo que el diámetro de las piezas de la coronación será:

$$D_c = 0.1466 \frac{2.342}{3.438} = 0.0999 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas de coronación tendrán un diámetro de 9.99 centímetros, que se podría redondear a 10 centímetros. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a 20 centímetros.

Talud interior

Este talud se calcula, como en el caso de la coronación, comparando con el talud exterior a través del francobordo adimensional correspondiente F_{dte} .

Para ello se debe calcular el número de estabilidad del francobordo del talud interior, tal que

$$N_{sii} = 2.575 + (-0.540)(-3.409) + (-0.1150)(-3.409)^2 = 3.0794$$

De nuevo, por relación inversa de diámetro y números de estabilidad, el diámetro de las piezas del talud interior es

$$D_{ii} = 0.1466 \frac{2.342}{3.0794} = 0.1115 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del talud interior tendrán un diámetro de **11.15 centímetros**. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a **20 centímetros**.

Morros

Calculando el peso de las piezas del morro del dique no rebasable, se tiene

$$W_{mnr} = 1.5W_{nr} = 1.5(48.11) = 72.165 \text{ (kg)}$$

Ahora, se puede calcular el diámetro de las piezas del morro del dique no rebasable, tal que

$$D_{mnr} = \left(\frac{72.165}{2678} \right)^{1/3} = 0.2998 \text{ (m)}$$

Con este diámetro se puede calcular el francobordo adimensional del morro del dique rebasable, y se tiene

$$F_{dmr} = -0.50 / 0.2998 = -1.668$$

El valor del francobordo adimensional del morro se utiliza para calcular el número de estabilidad del francobordo del morro de no rebase N_{smnr} , y el número de estabilidad del francobordo del morro del dique rebasable N_{smr} , como sigue

$$N_{smnr} = 1.681 + (-0.474)(2.40) + 0.1050(2.40)^2 = 1.1482$$

$$N_{smr} = 1.681 + (-0.474)(-1.668) + (0.1050)(-1.668)^2 = 2.763$$

Así, el diámetro de las piezas del talud del morro, por relaciones inversas de diámetros y números de estabilidad, es

$$D_{mr} = 0.2998 \frac{1.1482}{2.763} = 0.1245 \text{ (m)}$$

Por lo que las piezas del morro tendrán un diámetro de **12.45 centímetros**. Para facilitar la compra del material rocoso en la cantera, este diámetro se puede redondear a **20 centímetros**.

4.2.2.3 Comentarios sobre el diseño estructural

Es notable que utilizando una pendiente de 1:2 en las estructuras de protección para la playa, los diámetros de los materiales se reducen, y aunque la diferencia no es mucha, si se considera que se requieren grandes volúmenes de material rocoso la diferencia se vuelve significativa.

Sin embargo, por la complejidad que representa elegir diferentes diámetros específicos de material rocoso se puede aceptar un redondeo del diámetro de todas las piezas a 20 centímetros para las dos pendientes propuestas. De esta manera, las estructuras serían construidas únicamente por rocas de 20 centímetros de diámetro en todas sus secciones. En la figura 4.18 se muestran los perfiles de las dos propuestas de diseño, correspondientes a las estructuras con pendientes de 1:1.5 y 1:2.

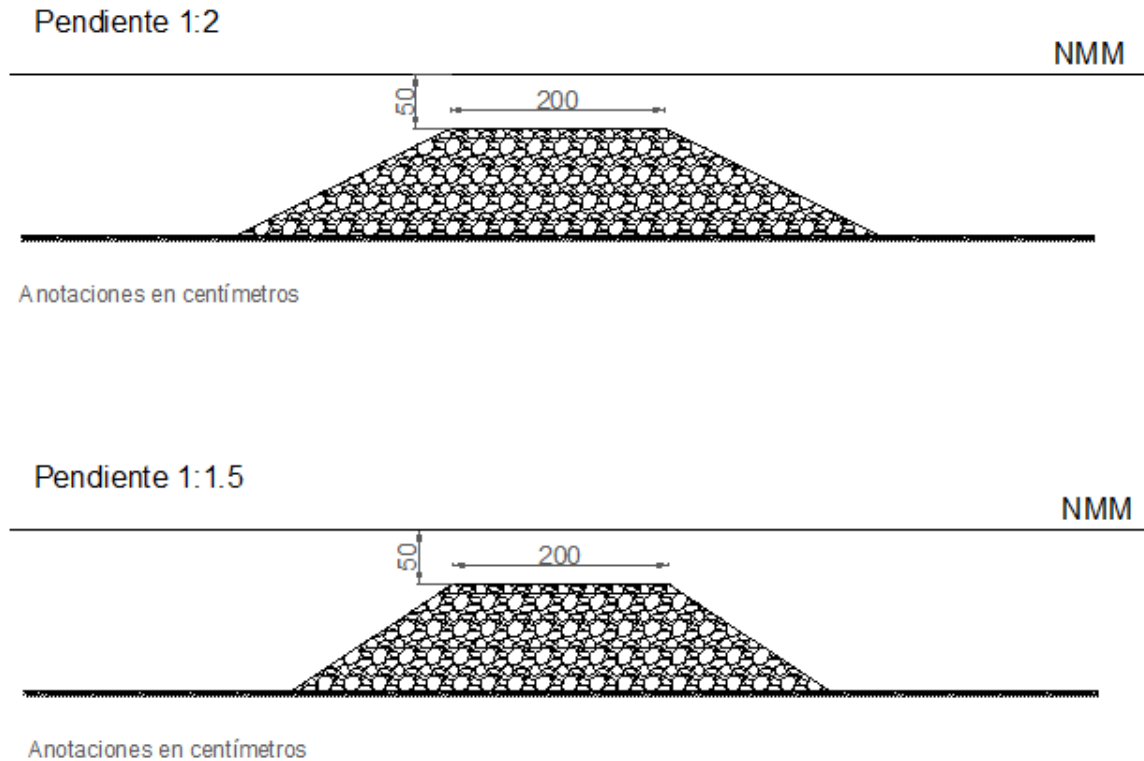


Figura 4. 18 Secciones transversales de las propuestas de diseño estructural. Con pendiente 1:2 (arriba) y 1:1.5 (abajo)

Como se observa en la figura 4.18, si se construyen las estructuras con pendiente 1:1.5 el volumen del material se reduce, lo que representa un menor costo de las estructuras. En la misma figura, sólo se anotan las medidas del ancho y profundidad de la coronación, pues son las únicas medidas invariables. La altura, y por lo tanto, el ancho de la estructura en su parte inferior dependerán de la batimetría de la zona en que sean construidas.

Capítulo 5. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Conclusiones

Las modelaciones numéricas realizadas en este trabajo corresponden a condiciones que se presentan pocas veces durante el año. En condiciones de oleaje medio, las estructuras no son necesarias debido a la protección que ofrece el arrecife, y comienzan a trabajar sólo en condiciones de tormenta, presentando un correcto funcionamiento la mayoría de los escenarios modelados.

Una vez obtenidos, procesados y analizados los resultados de las modelaciones numéricas, y considerando la relación costo-beneficio, las alternativas se reducen a dos:

- Escenario 1, que corresponde a la propuesta original con estructuras coronadas al nivel medio del mar. Las modelaciones de este escenario muestran que las estructuras funcionan correctamente evitando el paso de bandas de energía que puedan erosionar la playa artificial. Sin embargo, al compararlo con el escenario 4, esta alternativa requiere un mayor volumen de material, lo que hace que la construcción de las estructuras sea más costosa.
- Escenario 4, que corresponde a la propuesta de posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del nivel medio del mar. Las modelaciones de este escenario demostraron que las estructuras funcionan correctamente aún con sobre-elevaciones por marea de tormenta de 1 metro (que en este caso, las estructuras quedan sumergidas 1.5 metros por debajo del nivel medio del mar). Este escenario presenta dos ventajas principales: El menor volumen de material requerido, que reduce también los costos de construcción; y la invisibilidad de las estructuras, con lo que se logra evitar un impacto visual negativo de las protecciones sobre el desarrollo Kanai.

Con lo anterior se puede concluir que la mejor alternativa es coronar las estructuras medio metro por debajo del nivel medio del mar, esto es, coronar las estructuras al nivel de bajamar media inferior.

En lo que respecta a la posición de las estructuras, las modelaciones muestran que la disposición propuesta es adecuada, ya que logran disipar la energía tanto del oleaje que llega a la zona del proyecto, como el oleaje que es difractado desde el extremo sur del arrecife.

En el análisis de los escenarios modelados, se observó que las estructuras central y sur desempeñan un papel importante en la disipación de energía. Sin embargo, en la mayoría de los casos la estructura norte no contribuye a la disipación de energía. La posición de la estructura norte coincide prácticamente con el extremo sur del arrecife, y la energía disipada que se

aproxima a la costa casi siempre incide en las estructuras central y sur. La estructura norte únicamente es solicitada cuando se presentan sobre-elevaciones del nivel del mar de 2 metros con oleajes de 1 metro de altura, situación que no es muy común, pues una tormenta que genera sobre-elevaciones en el nivel del mar de 2 metros presenta olas de mayor altura que rompen a la altura del arrecife. Por estas razones es pertinente evaluar la construcción de dicha estructura, ya que al no contribuir en la protección de la playa podría prescindirse de ella. Por otro lado, si se justifica la construcción de esta estructura por el apoyo que pueda brindar al relleno artificial, sería conveniente construirla incluso por debajo del nivel de bajamar media inferior a fin de reducir los costos de material.

Futuras líneas de trabajo

En este trabajo únicamente se estudió la incidencia del oleaje sobre tres estructuras de protección de la playa para evaluar su funcionamiento. Una actividad a realizar en el futuro es estudiar el transporte de sedimentos que se presenta en la playa artificial. Lo ideal sería estudiar el transporte de sedimentos antes y después de la construcción de las estructuras de protección para poder tener un punto de comparación y así conocer la influencia que tienen las estructuras en este proceso. Sin embargo esto es difícil, pues hay que recordar que el transporte de sedimentos es un proceso que se lleva a cabo a largo plazo, por lo que dicho estudio podría retrasar los tiempos de construcción de las estructuras. Esta tarea podría realizarse más fácilmente con la ayuda de un modelo matemático que sea capaz de determinar el transporte de sedimentos, sin que tenga que interferir con el calendario de obra. Este estudio es importante para predecir un eventual cambio en la morfología de la playa artificial cuando ésta alcance su estado de equilibrio.

Otra actividad a realizar es crear un modelo que sea capaz de modelar diferentes estructuras y en el que se puedan modelar diferentes materiales de construcción. El modelo numérico programado en el programa WAPO_V4 es muy eficiente, sin embargo para el caso específico de un modelo creado como apoyo para el diseño de estructuras marítimas sería ideal poder considerar las rugosidades de los materiales, y su influencia en la disipación de energía, lo que permitiría un diseño más real de las estructuras.

Anexos

Anexo digital

En la versión digital de la tesis, el Anexo digital se encuentra al final del documento, después de la bibliografía.

A. Archivos de entrada para el programa WAPO_V4 con las diferentes condiciones de oleaje

A continuación se presentan los archivos de entrada en los que se establecieron diferentes condiciones para dar lugar a un total de 24 combinaciones correspondientes únicamente al oleaje simulado.

```
VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0        PERIOD (SEC)
  1.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5       ANGLE
1           BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1           WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1         MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0         TIDAL LEVEL (M)
1           NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1     1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1           NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1     1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1           NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1     1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1           NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1     1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1           NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1     1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1           NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1     1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
```

Figura A. 1 Archivo de entrada KA01WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0        PERIOD (SEC)
  1.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5       ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 2 Archivo de entrada KA02WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0        PERIOD (SEC)
  2.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5       ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 3 Archivo de entrada KA03WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0        PERIOD (SEC)
  2.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5       ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 4 Archivo de entrada KA04WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0        PERIOD (SEC)
  1.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
  0.0        ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 5 Archivo de entrada KA05WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
1.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
0.0       ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 6 Archivo de entrada KA06WAP.INP, H= 2 (m), $\theta= 0^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
2.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
0.0       ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 7 Archivo de entrada KA07WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 0^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
2.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
0.0       ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 8 Archivo de entrada KA08WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 0^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
1.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 9 Archivo de entrada KA09WAP.INP, H= 2 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0        PERIOD (SEC)
  1.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5        ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 10 Archivo de entrada KA10WAP.INP, H= 2 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0        PERIOD (SEC)
  2.0        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5        ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 11 Archivo de entrada KA11WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
2.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 12 Archivo de entrada KA12WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
1.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 13 Archivo de entrada KA13WAP.INP, H= 2 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 10 (s)


```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
1.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 14 Archivo de entrada KA14WAP.INP, H= 2 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
2.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 15 Archivo de entrada KA15WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
2.0       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 16 Archivo de entrada KA16WAP.INP, H= 4 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
0.5       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5     ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 17 Archivo de entrada KA17WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= -22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0        PERIOD (SEC)
  0.5        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
-22.5       ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 18 Archivo de entrada KA18WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
  3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0        PERIOD (SEC)
  0.5        INCIDENT WAVE AMPLITUDE
  0.0        ANGLE
  1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
  1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
  0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
  0.0        TIDAL LEVEL (M)
  1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0  1      1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0  1      251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0  1      601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0  1      601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0  1      251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
  1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3  1      1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 19 Archivo de entrada KA19WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
0.5      INCIDENT WAVE AMPLITUDE
0.0      ANGLE
1        BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1        WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1      MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0      TIDAL LEVEL (M)
1        NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1        NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1        NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1        NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1        NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1        NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 20 Archivo de entrada KA20WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= 0^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0     PERIOD (SEC)
0.5     INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5    ANGLE
1       BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1       WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1     MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0     TIDAL LEVEL (M)
1       NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1       NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1       NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1       NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1       NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1       NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 21 Archivo de entrada KA21WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 10 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0      PERIOD (SEC)
0.5       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
22.5      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 22 Archivo de entrada KA22WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= 22.5^\circ$, T= 12 (s)

```

VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
10.0      PERIOD (SEC)
0.5       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0      ANGLE
1         BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1         WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1       MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0       TIDAL LEVEL (M)
1         NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1         NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES

```

Figura A. 23 Archivo de entrada KA23WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 10 (s)

```
VERSION - JUNE 2009 - Boundaries (1=NORTH,2=WEST,3=EAST,4=SOUTH),
WAPO+REFDIF(5,6,7,8)
 3          IDs: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
12.0       PERIOD (SEC)
 0.5       INCIDENT WAVE AMPLITUDE
45.0       ANGLE
1          BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1          WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
0.1        MINIMUM WATER DEPTH CONSIDERED AS A WATER
0.0        TIDAL LEVEL (M)
1          NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
0.0 1 1 601 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
0.0 1 251 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
0.0 1 601 ,VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.0 1 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1          NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 601 251 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
```

Figura A. 24 Archivo de entrada KA24WAP.INP, H= 1 (m), $\theta= 45^\circ$, T= 12 (s)

Bibliografía

- Aristóteles (1996). *Acerca del cielo; Meteorológicos*. Gredos, Madrid, 430 pp.
- Airy, G. (1845). *Tides and waves*, Encycl Metrop, Art 1992, 241-396.
- Battjes, J. (1974b). *Surf similitary*. Proc.14 Int. Conference on Coastal Engineering, ASCE, Copenague. 466-480 pp.
- Berkhoff, J. (1972). *Computation of combined refraction-difraction*. Proc. 13 Int. Conference on Coastal Engineering, Cardiff. 1. 718-726 pp.
- Dally, W., Dean, R., et al (1985). *Wave height variation across beaches if arbitrary profiles*. Journal of Geophysics Research, Vol. 90.
- Dean, R. & Dalrymple, R. (2002). *Coastal Processes with engineering applications*. Cambridge University Press, UK.
- Dean, R. (2003). *Beach Nourishment, theory and practice*. Vol. 18 of advanced series on ocean engineering, World Scientific, Singapore.
- Gómez, N. (2009). *Presión de poro inducida por el oleaje en playas de grano grueso*. Tesis de licenciatura, UNAM, México.
- Hedges, T. (1976). *An empirical modification to linear wave theory*. Proc. Institute of Civil Engineering, Part 2, Vol. 61: pp. 575-579.
- Hudson, R. Y. (1959). 'Laboratory investigation of rubble mound breakwaters'. Journal of the Waterways and Harbour Division, ASCE. Vol. 85(WW3). pp. 93-121.
- Issacson, M. & Qu, S. (1990). *Waves in harbor with partially reflecting boundaries*. Coastal Engineering, Vol. 14: pp. 193-214.
- Johnsonm R., Mansard, E., & Ploeg, J. (1978). *Effects of wave grouping on breakwater stability*. Int. Conference on Coastal Engineering, ASCE, Hamburgo.
- Kinsman, B. (1965). *Wind waves*. Printice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey.
- Losada, I., Silva R., et al (1996b). *Interaction of non-breaking directional random waves with submerged breakwaters*". Coastal Engineering, Vol. 28: pp. 249-266.
- Lozano, C. & Meyer, R. (1976). *Leakage and response of waves trapped by round islands*. The Physics of Fluids, Vol. 19.
- Massel, S. (1989). *Hydrodynamics of coastal zones*. Elsevier Oceanography Series, Vol. 48.

- Mendoza, E. G. (2006). *Modelo unificado de propagación de oleaje e hidrodinámica no lineal*. Tesis de doctorado, UNAM, México.
- Miles, J. (1991). *Variational approximations for gravity waves in water of variable depth*. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 232: pp. 681-688.
- Ruíz, D. (2010). *Zonificación de la Península de Yucatán a partir de un análisis sedimentológico*. Tesis de licenciatura, UNAM, México.
- Silva, R., Salles, P., et al (2002b). *Linear waves propagating over a rapidly varying finite porous bed*. Coastal Engineering, Vol. 44: pp. 239-260.
- Silva, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*. Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Silva, R. (2008). *Manual del usuario y documento de referencia del programa MWAPO3*. Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Stokes, G. (1847). *On the oscillatory waves*. Transactions Cambridge Phil. Soc., 8(441), 157-229.
- Smith, R. & Sprinks T. (1995). *Scattering of surface waves by a conical island*. J. Fluid Mechanics, Vol. 72: pp. 373-384.
- Vidal, C., Losada, M. A., Medina, R., Mansard, E. P. D. y Gomez-Pina, G. (1992). *An universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters*. Venecia, Italia.

Anexo digital

En este anexo se presentan todos los resultados de las modelaciones numéricas. El título de cada imagen está compuesto tal que: H es la altura de ola modelada (en metros), θ es el ángulo de incidencia del oleaje con respecto al este de la malla, S es la sobre-elevación por marea de tormenta (en metros) y T es el periodo de onda (en segundos).

Para recordar los casos modelados, se presenta la tabla 4.2, que corresponde a un resumen de los casos modelados.

No	Característica	Ángulo ¹	H (m)	T (s)	S (m) ²
1	Propuesta original con estructuras coronadas al nivel medio del mar (NMM)	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		2.0
		45			
2	Estructuras desplazadas 50 m hacia el mar coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		2.0
		45			
3	Sólo la estructura central corrida 50 m hacia el mar, todas coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	0.0
		22.5	4.0		
		45			
4	Estructuras en posición original coronadas 50 cm por debajo del NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		
		45			
5	Estructuras en posición original coronadas 50 cm por debajo del NMM con el doble de ancho del propuesto	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	1.0
		22.5	4.0		
		45			
6	Estructuras en posición original con el triple de ancho del propuesto y coronadas al NMM	-22.5	1.0	10.0	0.0
		0	2.0	12.0	0.0
		22.5	4.0		
		45			

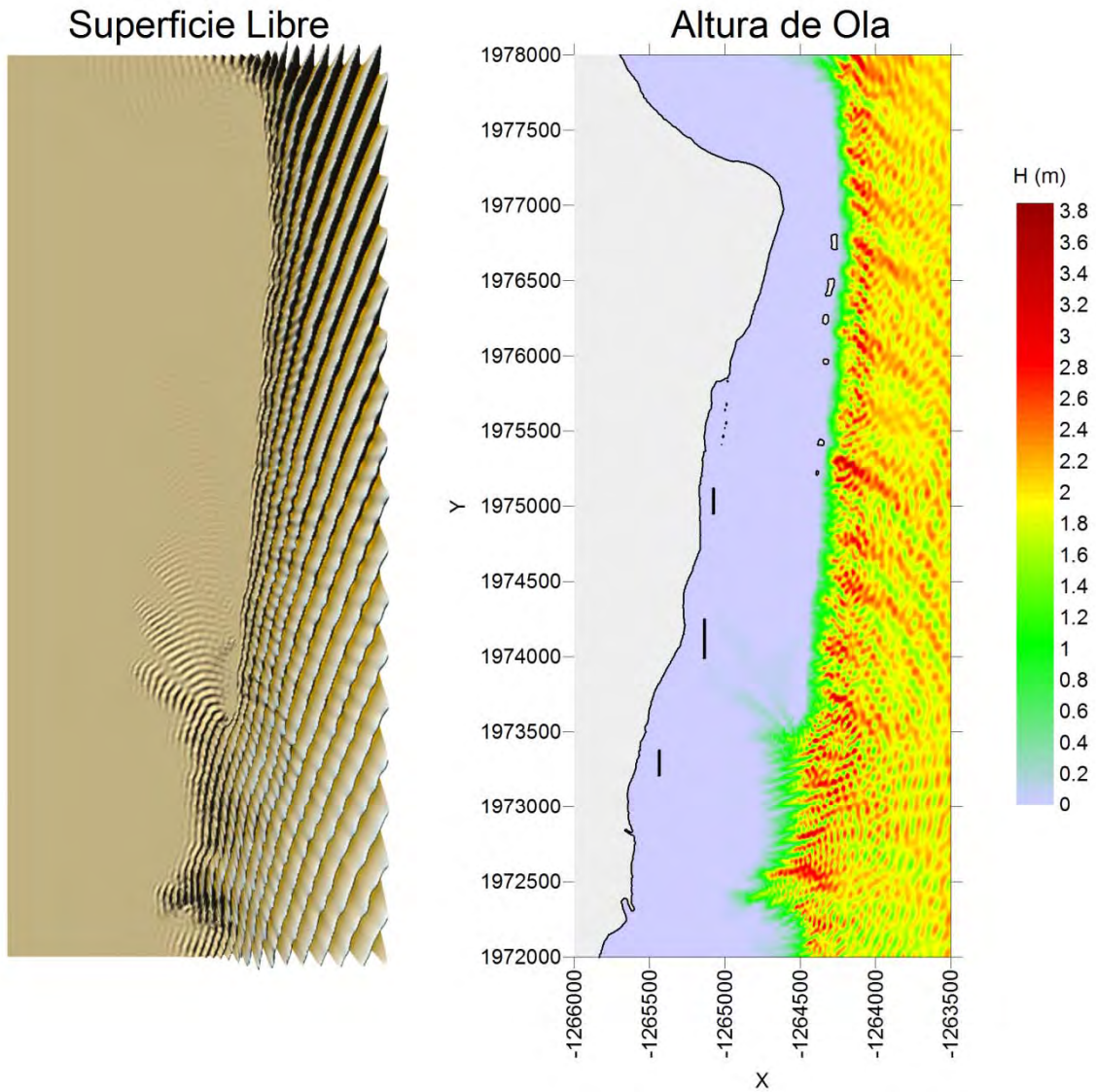
¹ respecto del este de la malla arbitraria

² nivel del marea

Escenario 1

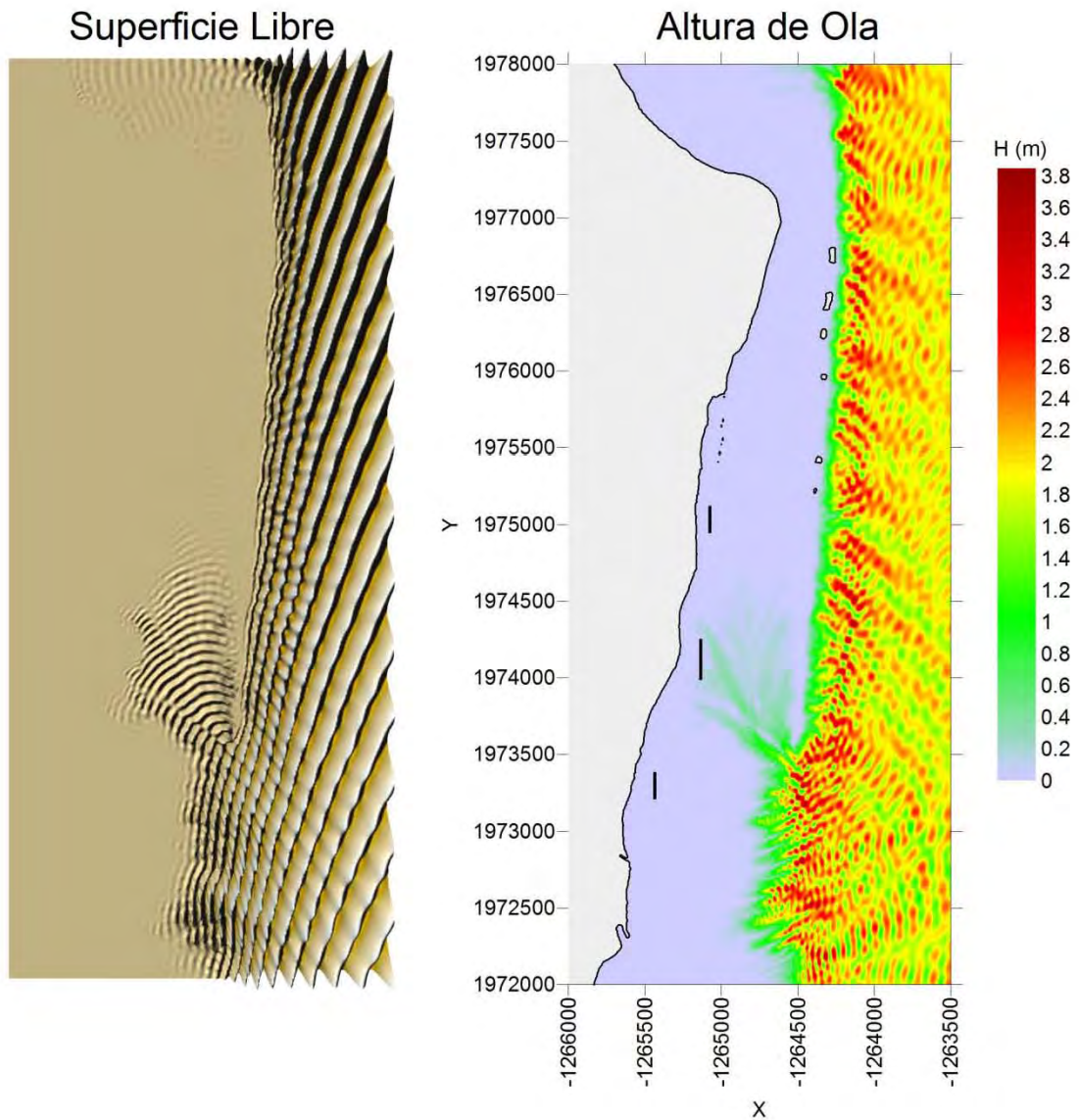
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



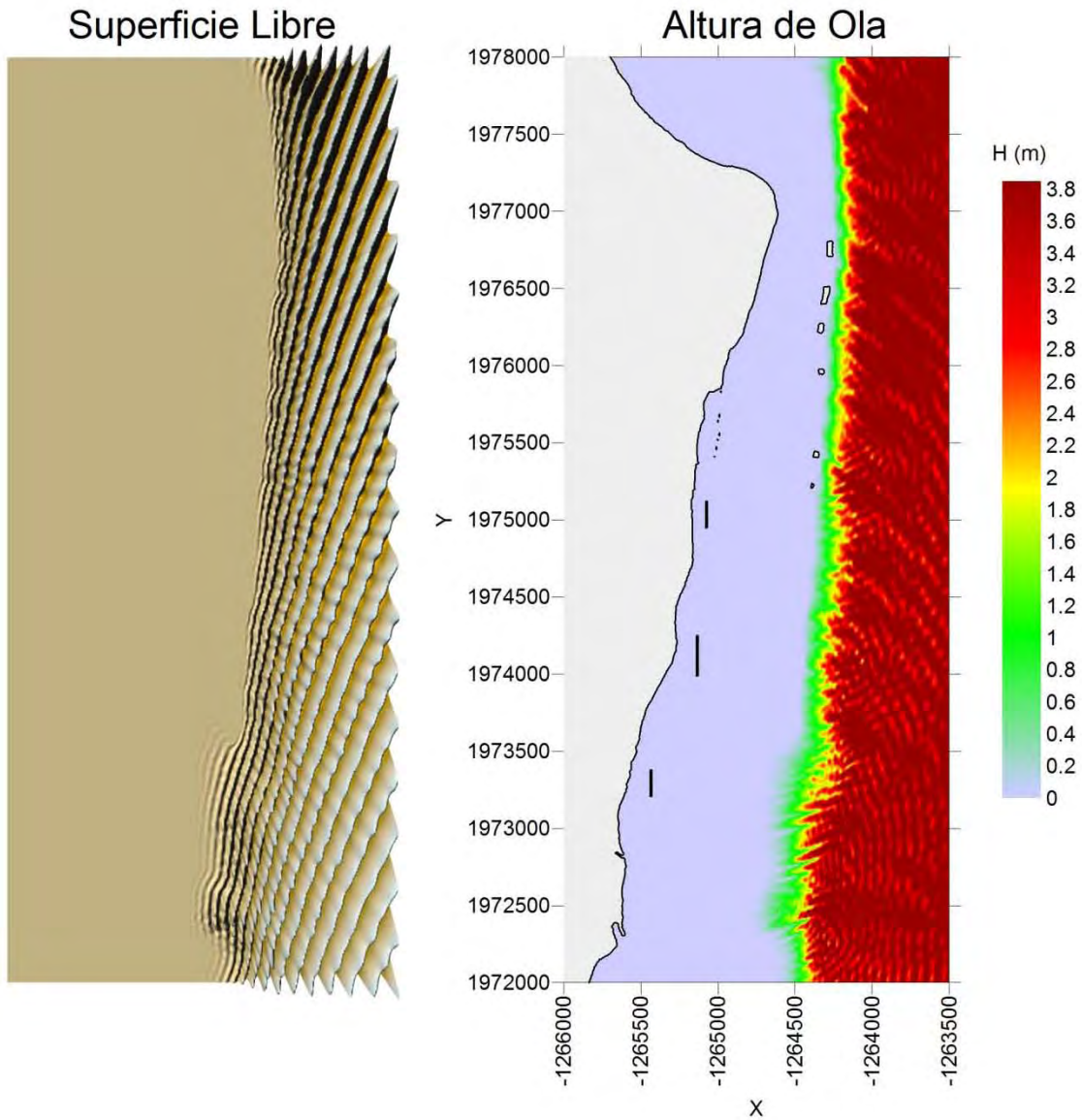
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta=-22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 [s]



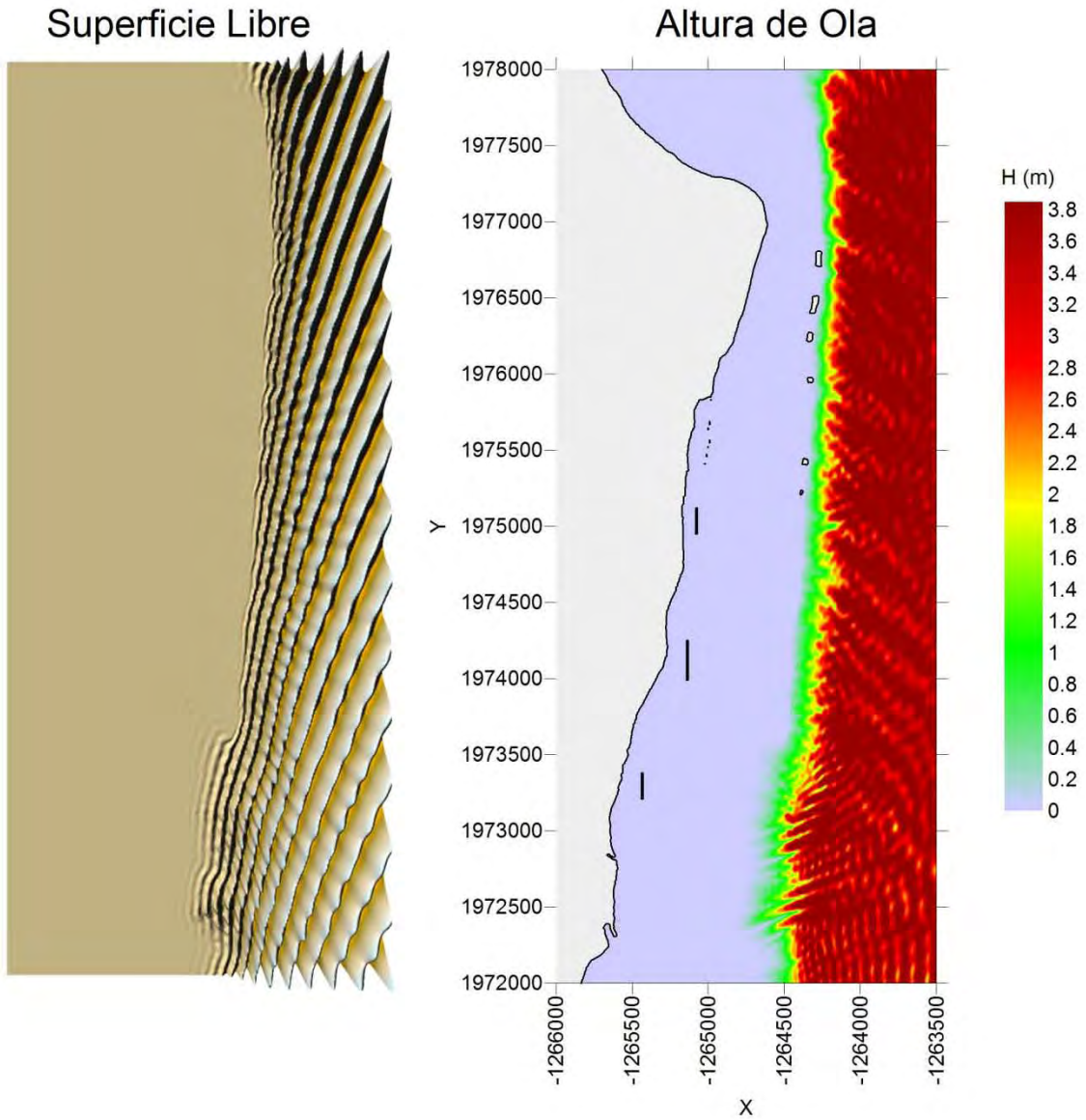
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

$H = 4 \text{ (m)}$, $\theta = -22.5^\circ$, $S = 0 \text{ (m)}$, $T = 10 \text{ (s)}$



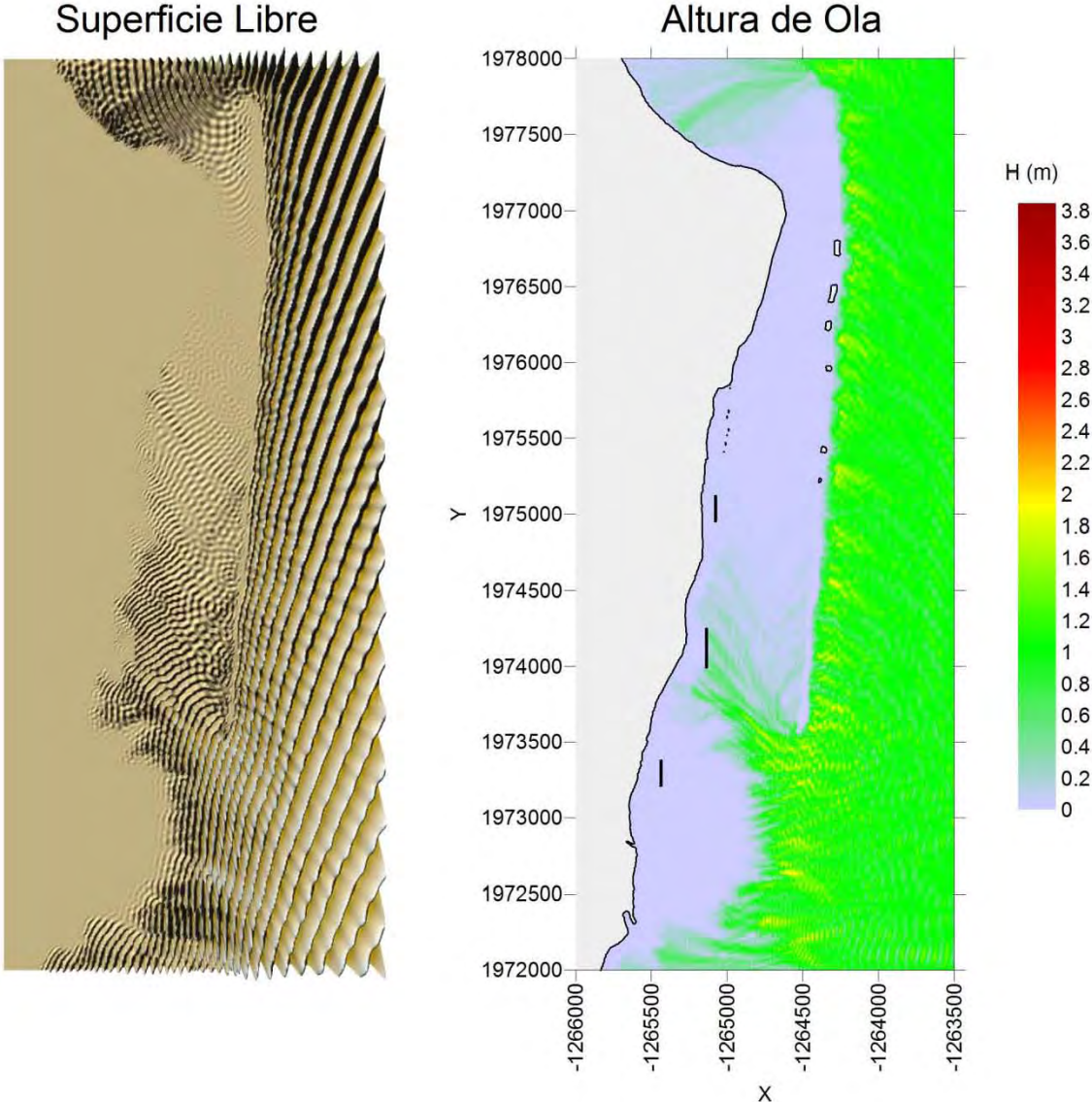
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



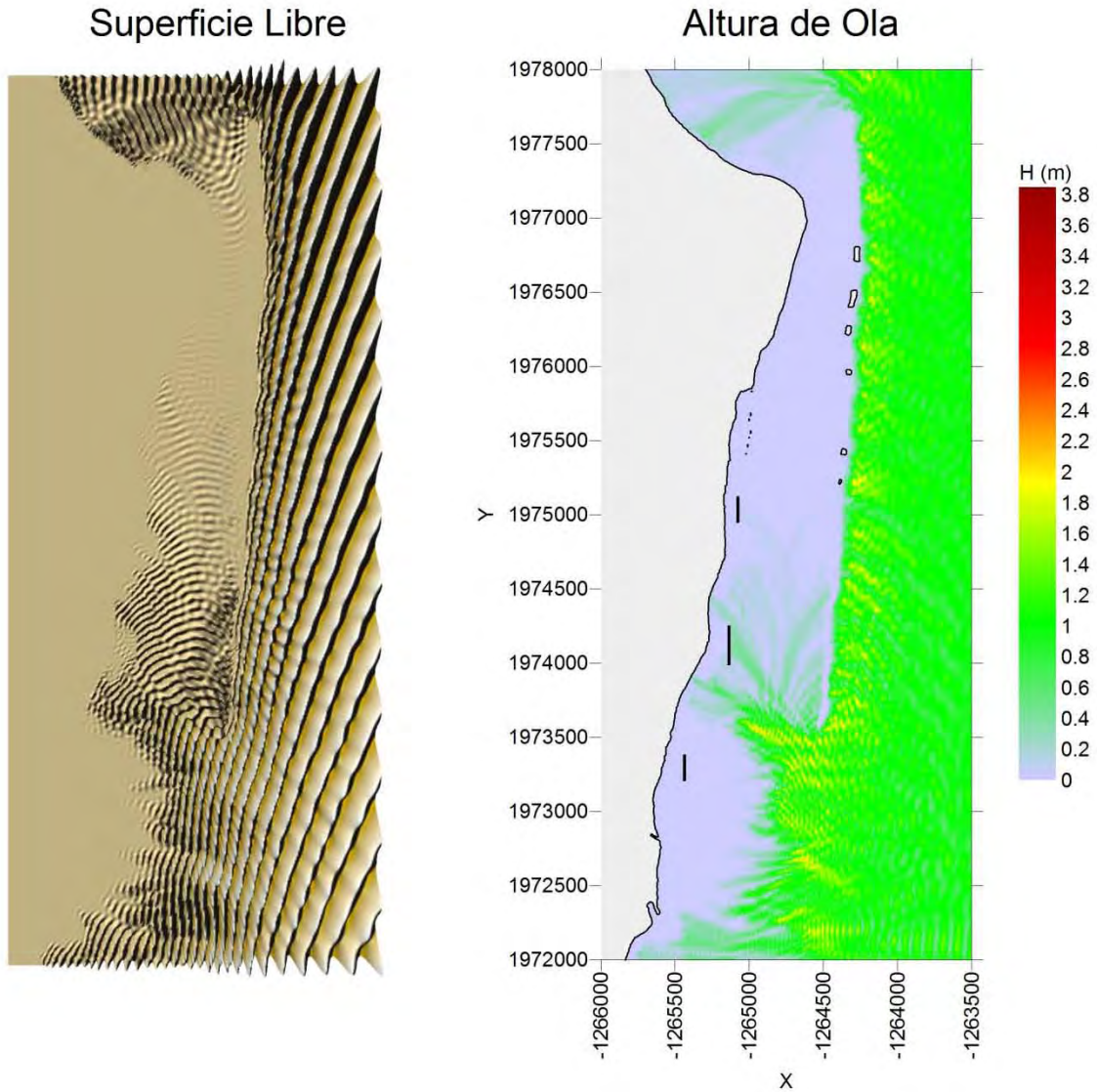
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



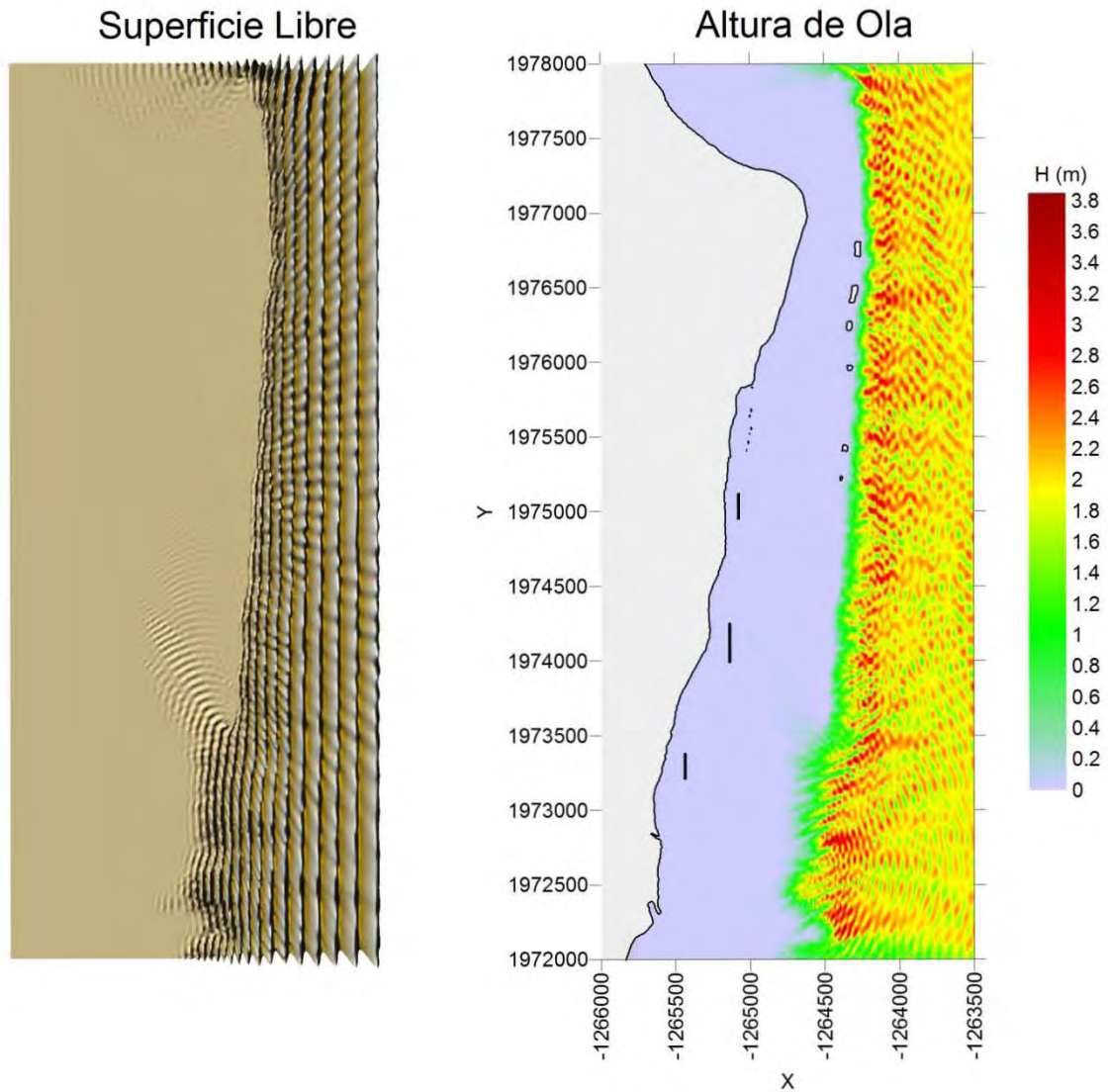
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



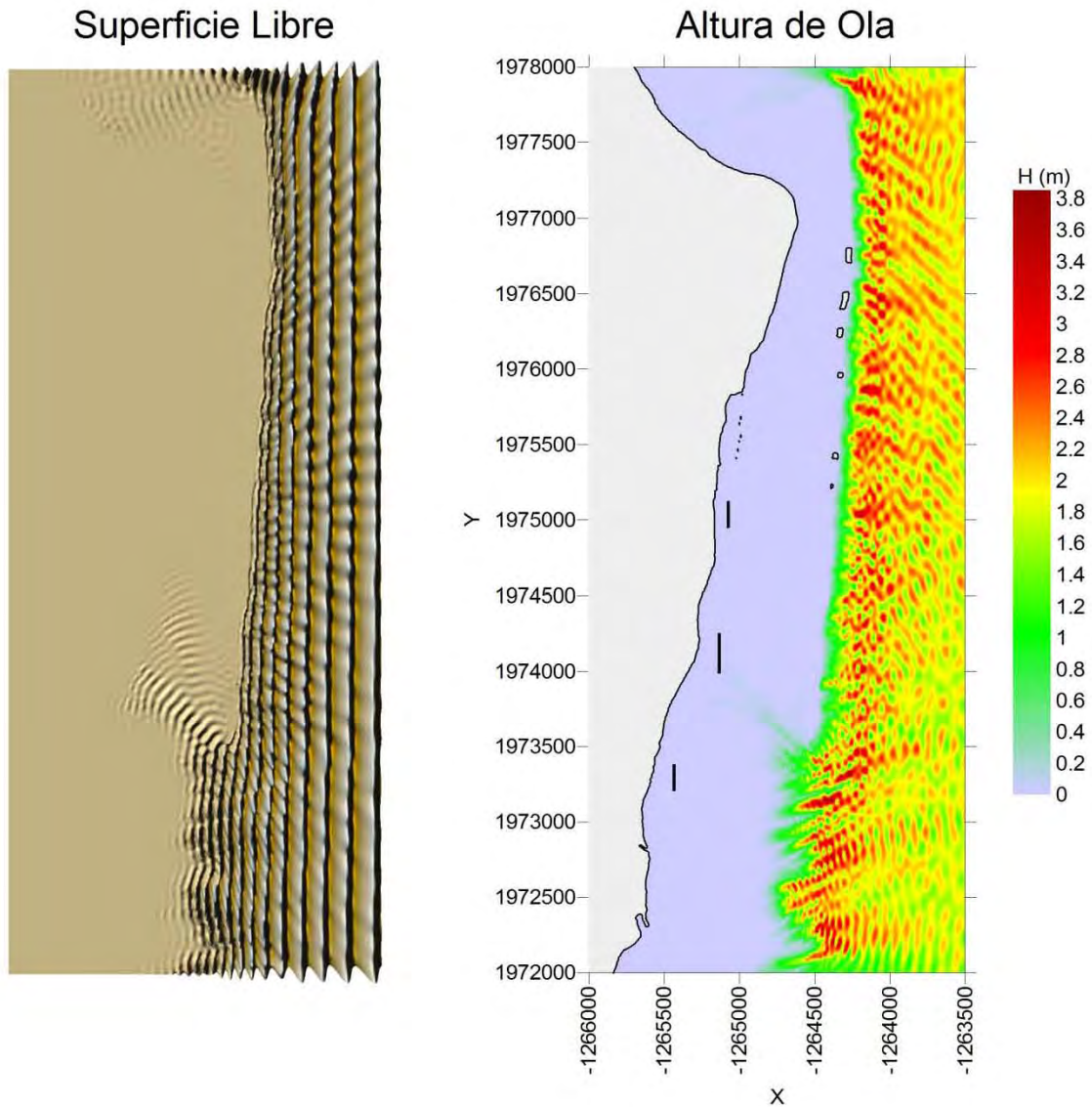
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



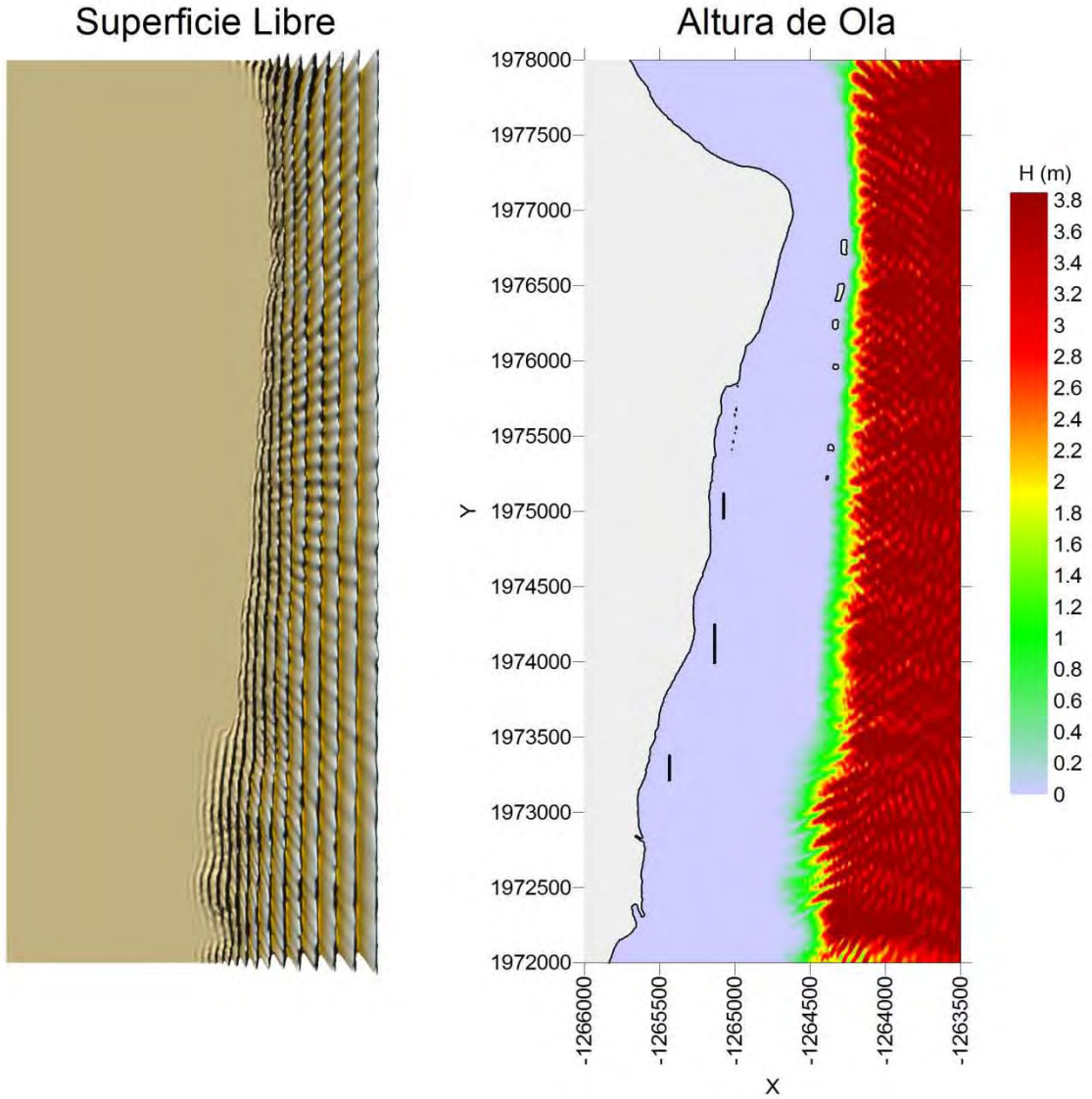
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



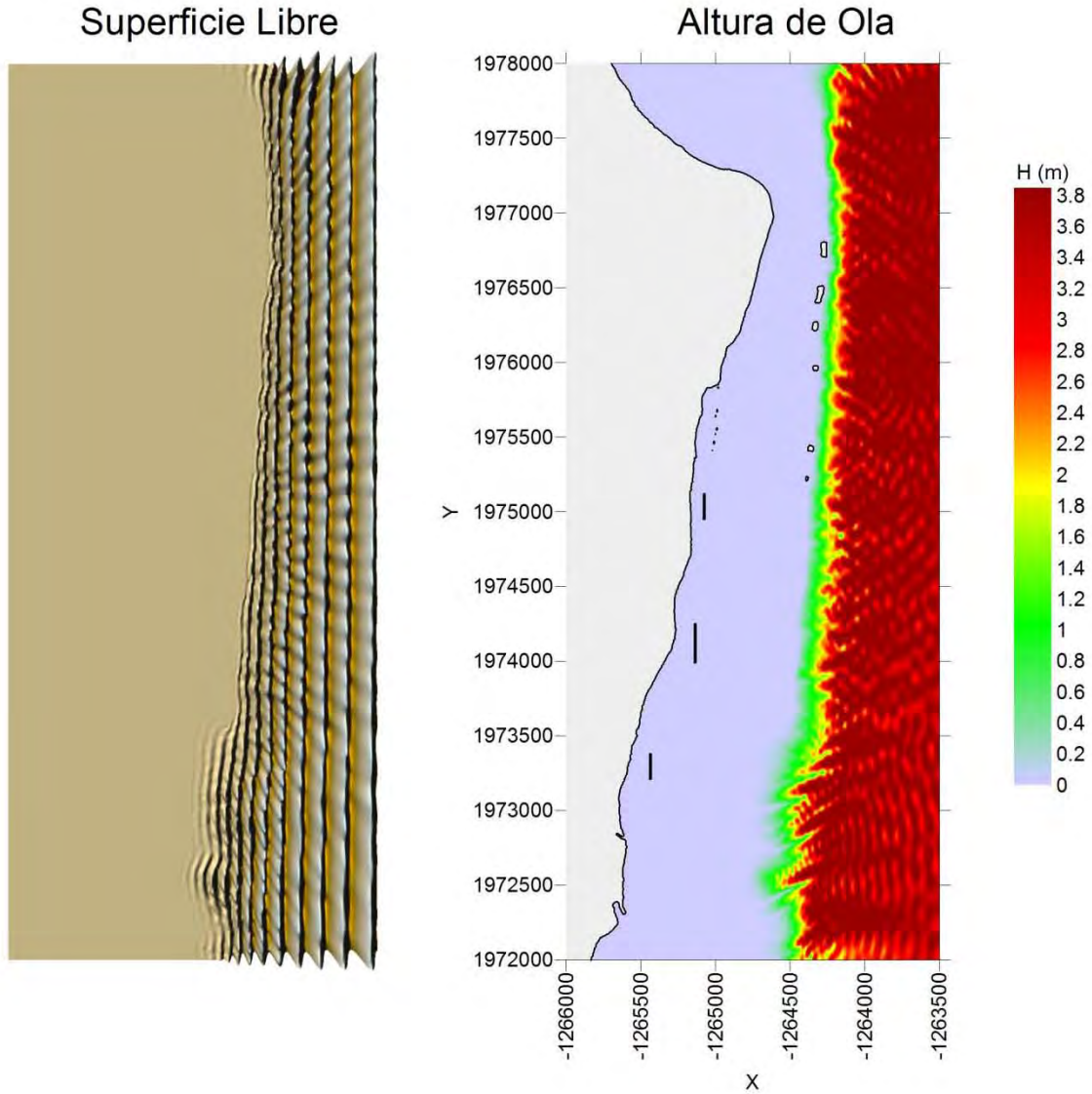
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



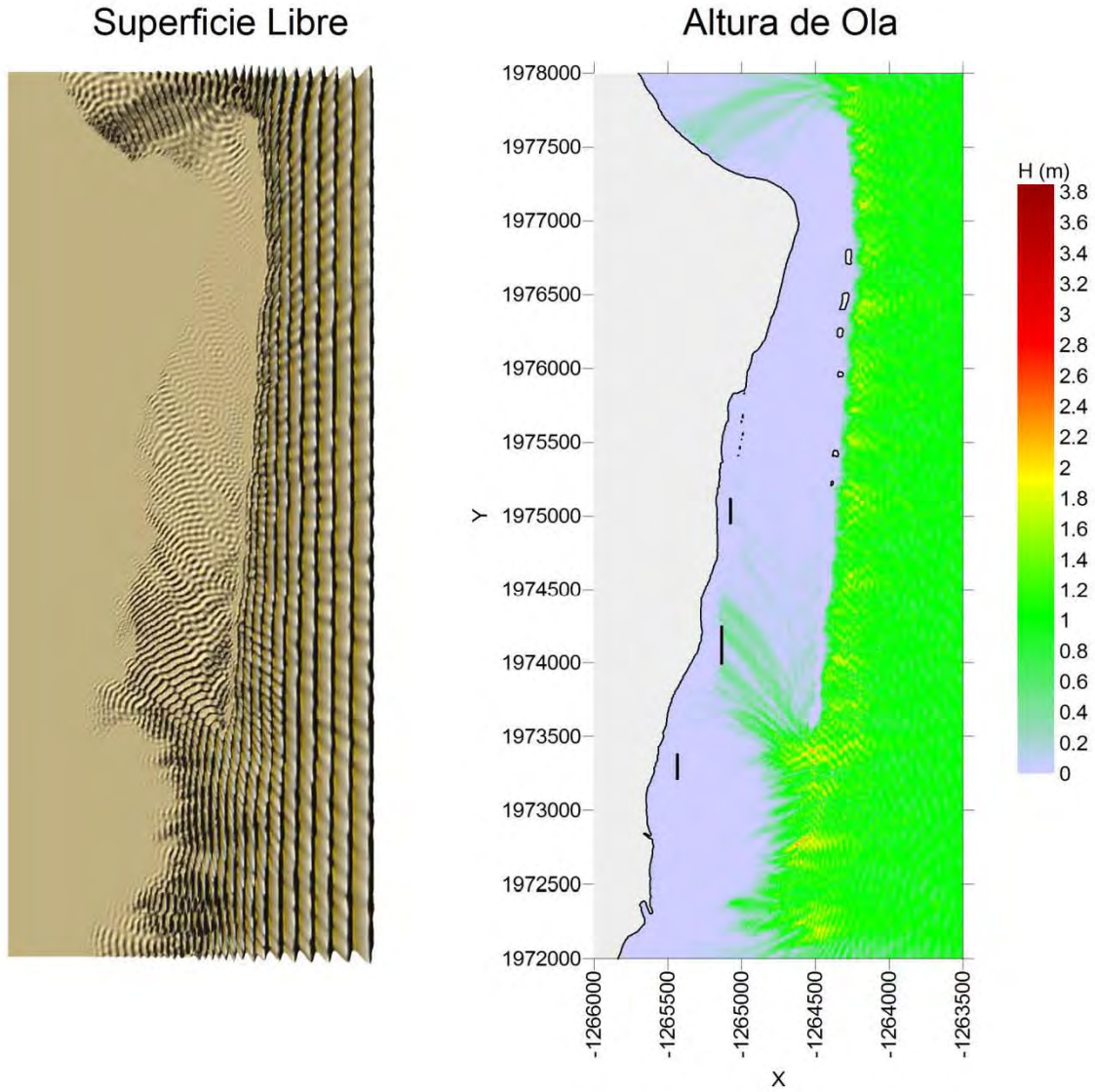
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



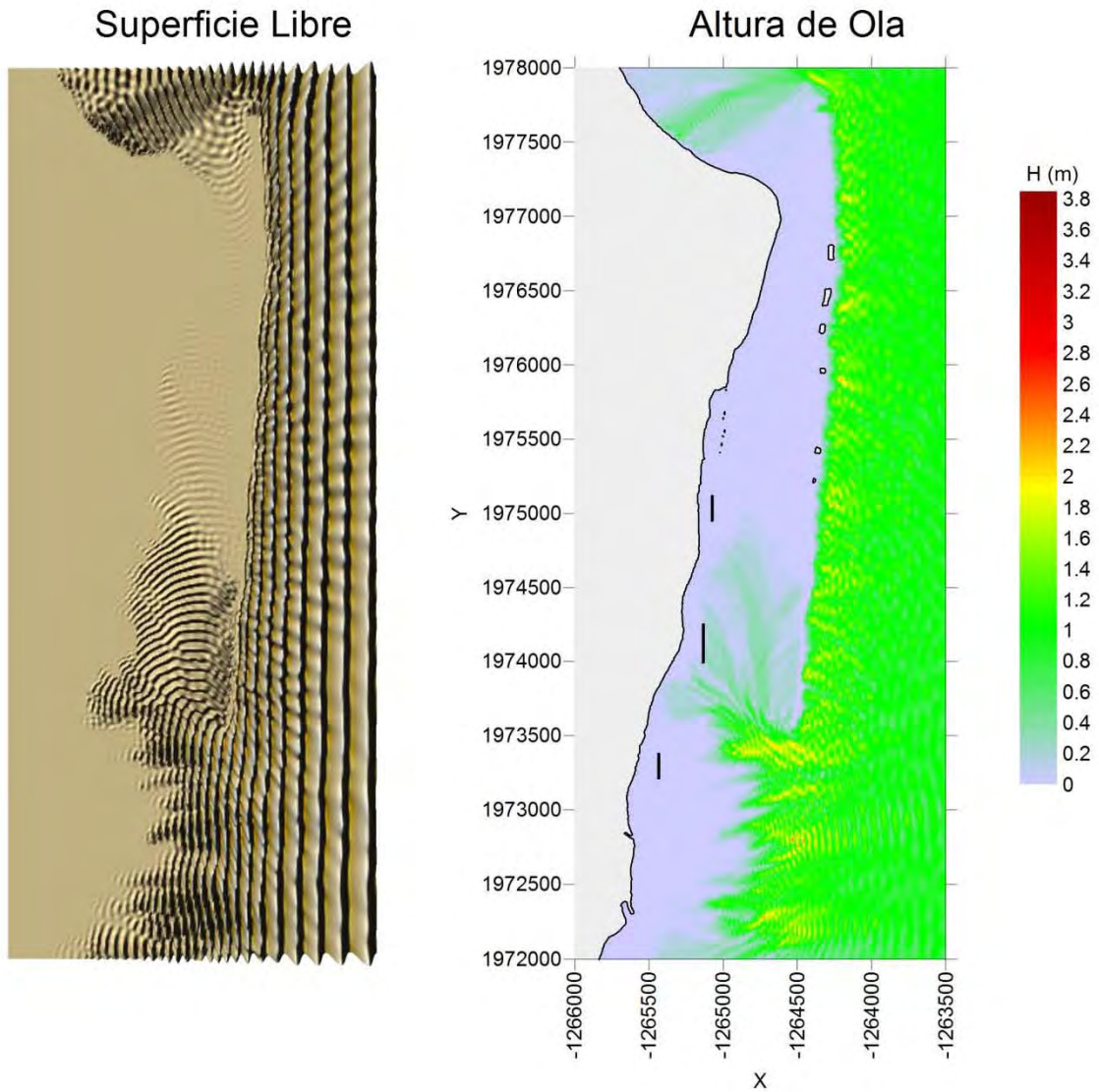
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

$H = 1 \text{ (m)}$, $\theta = 0^\circ$, $S = 0 \text{ (m)}$, $T = 10 \text{ (s)}$



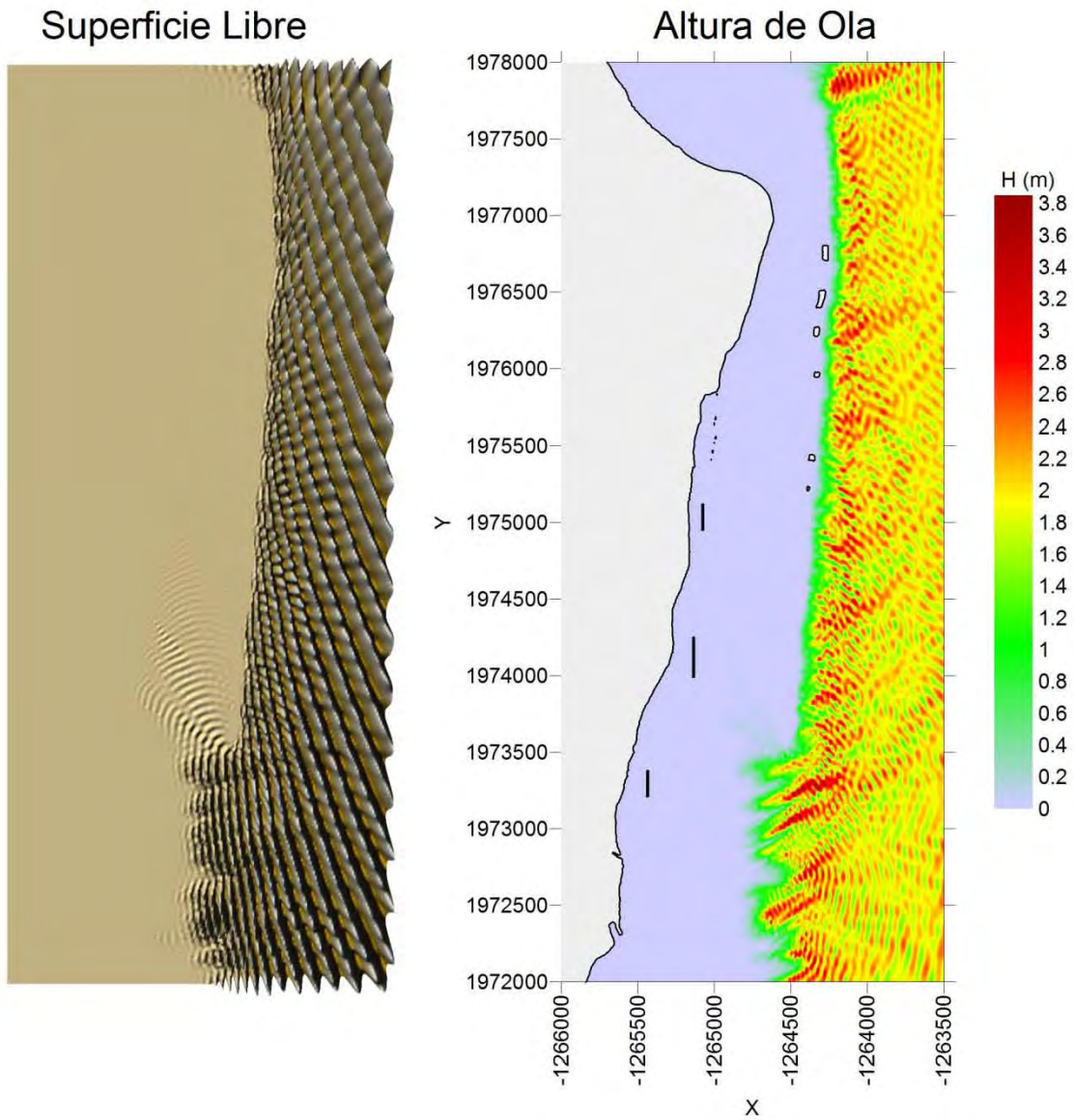
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



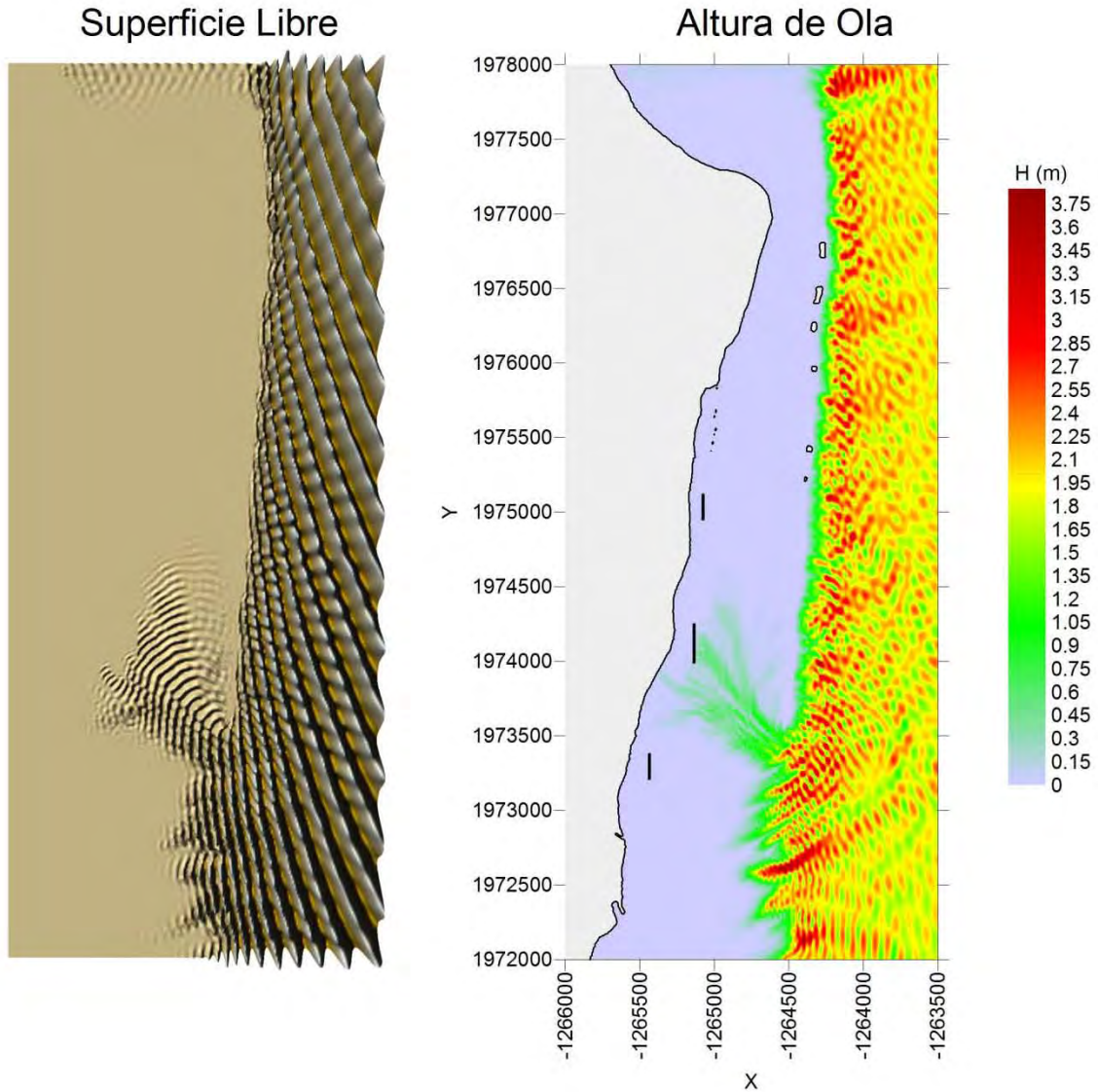
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



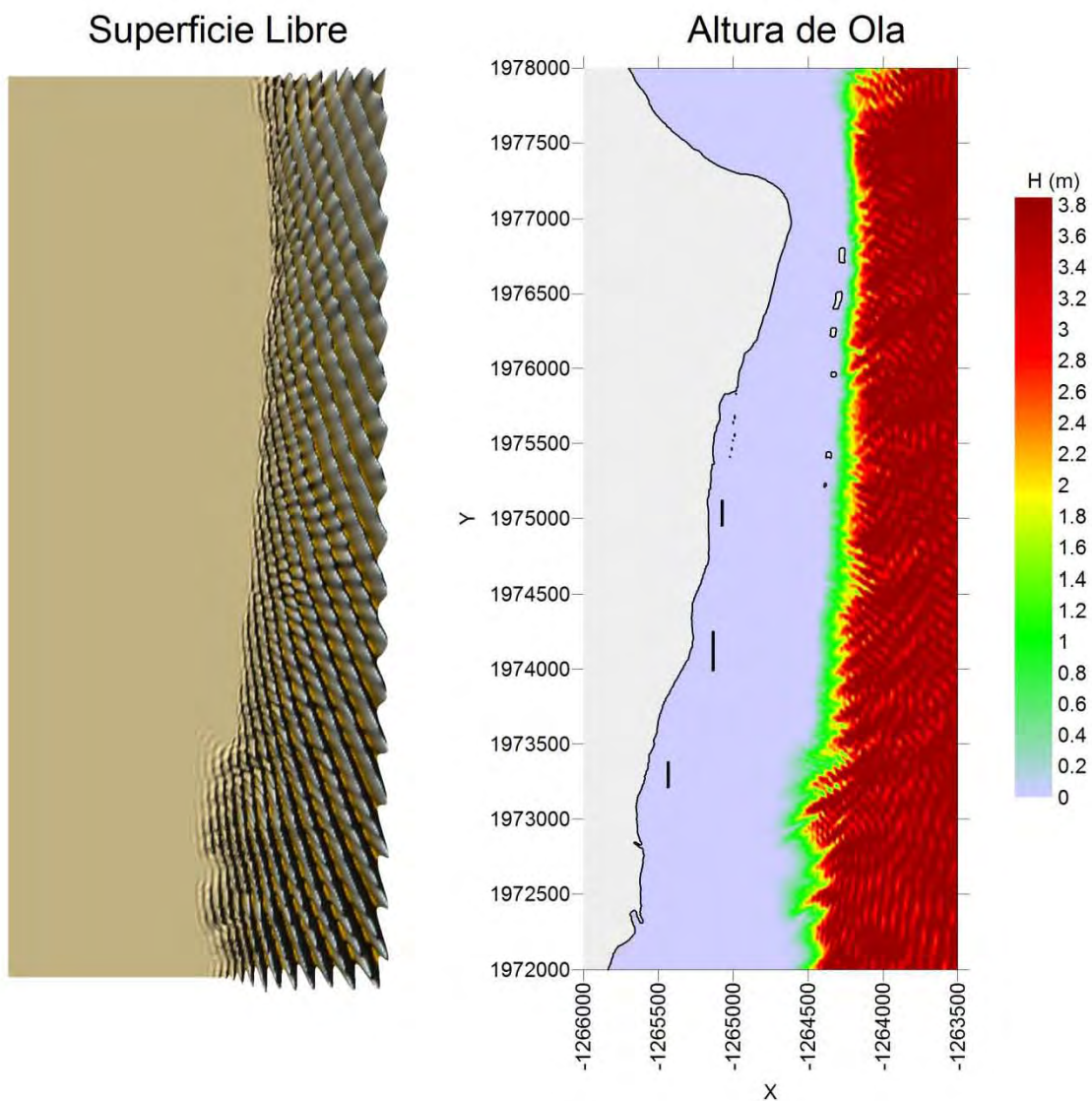
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



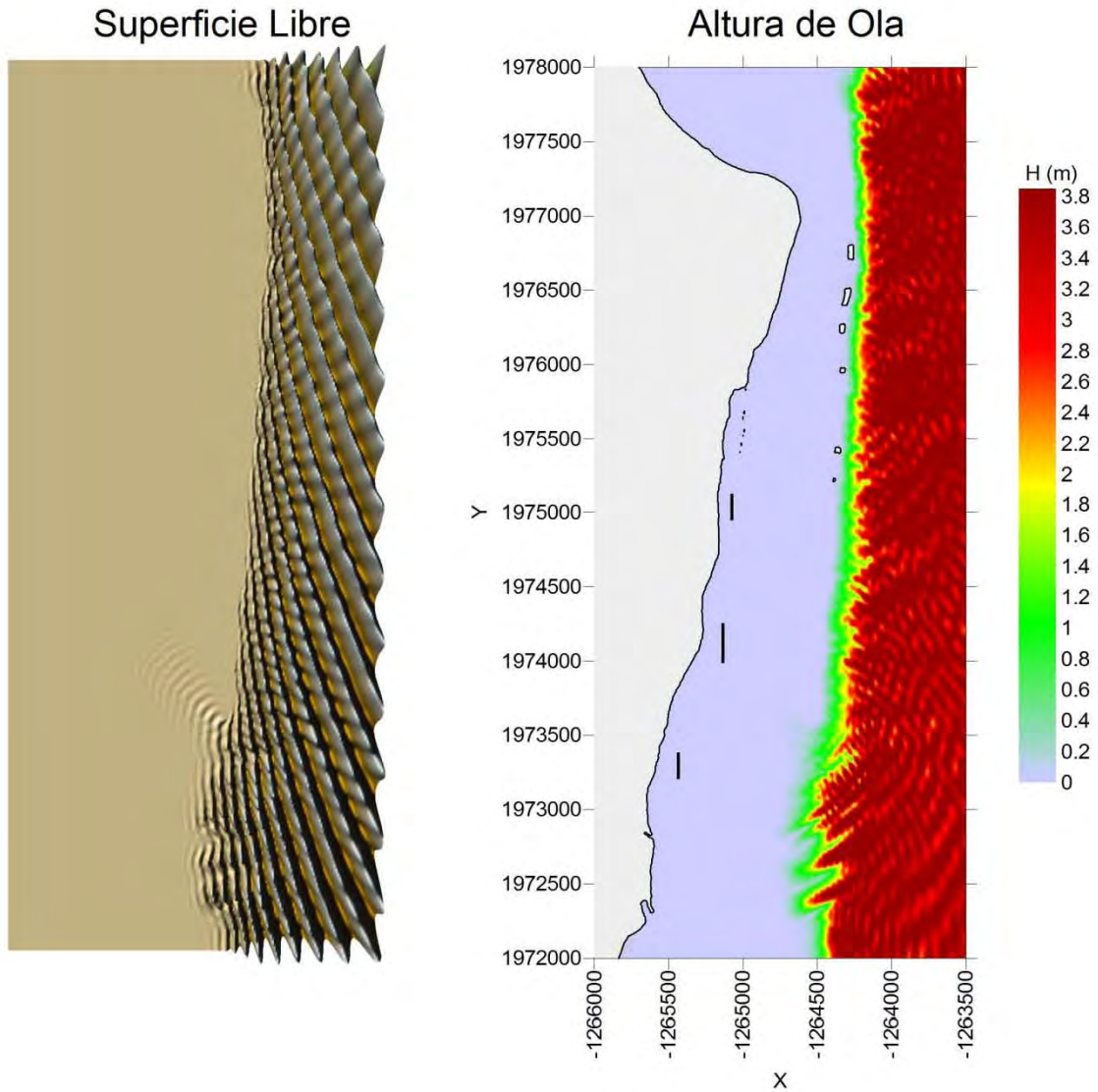
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



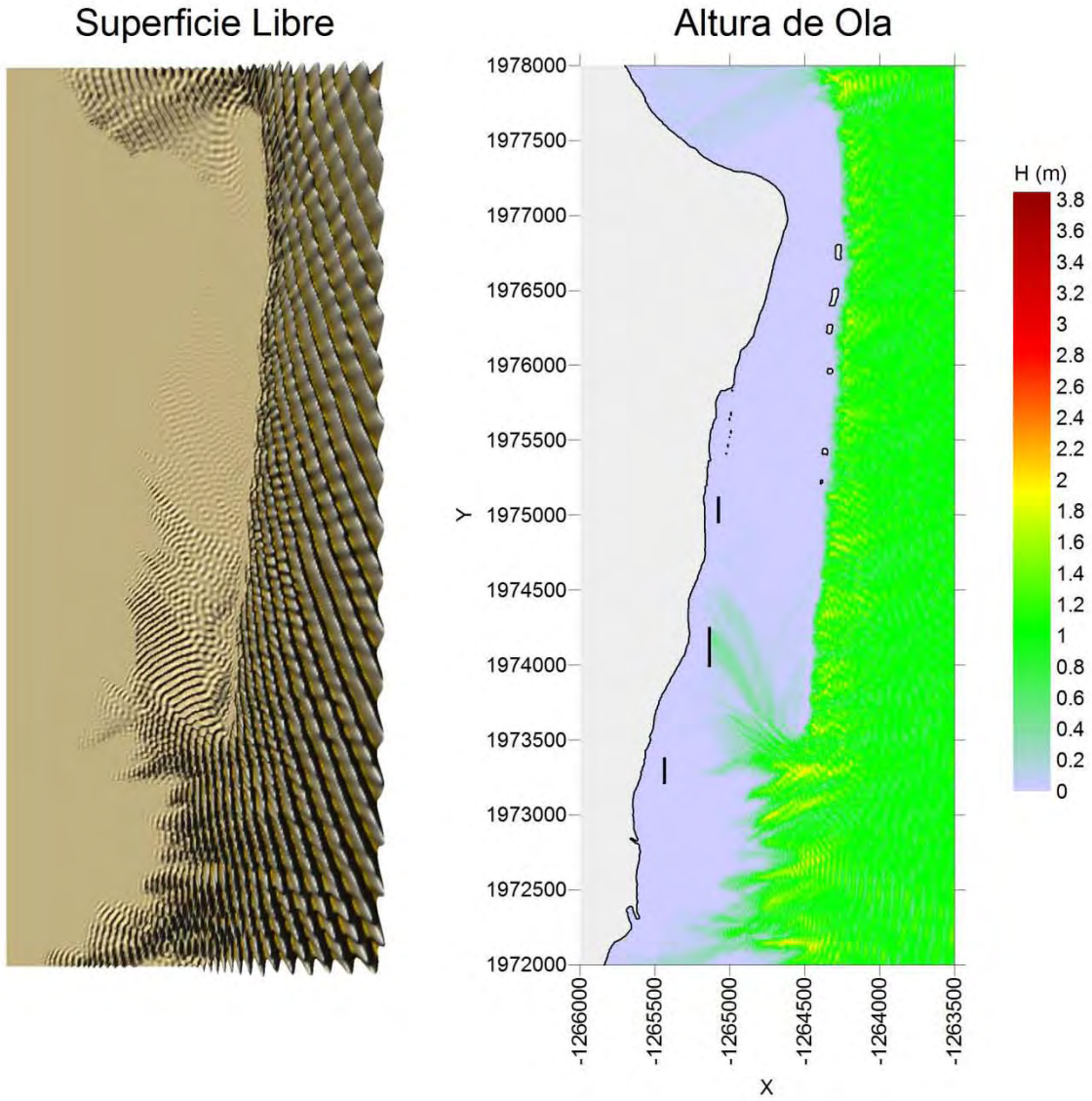
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



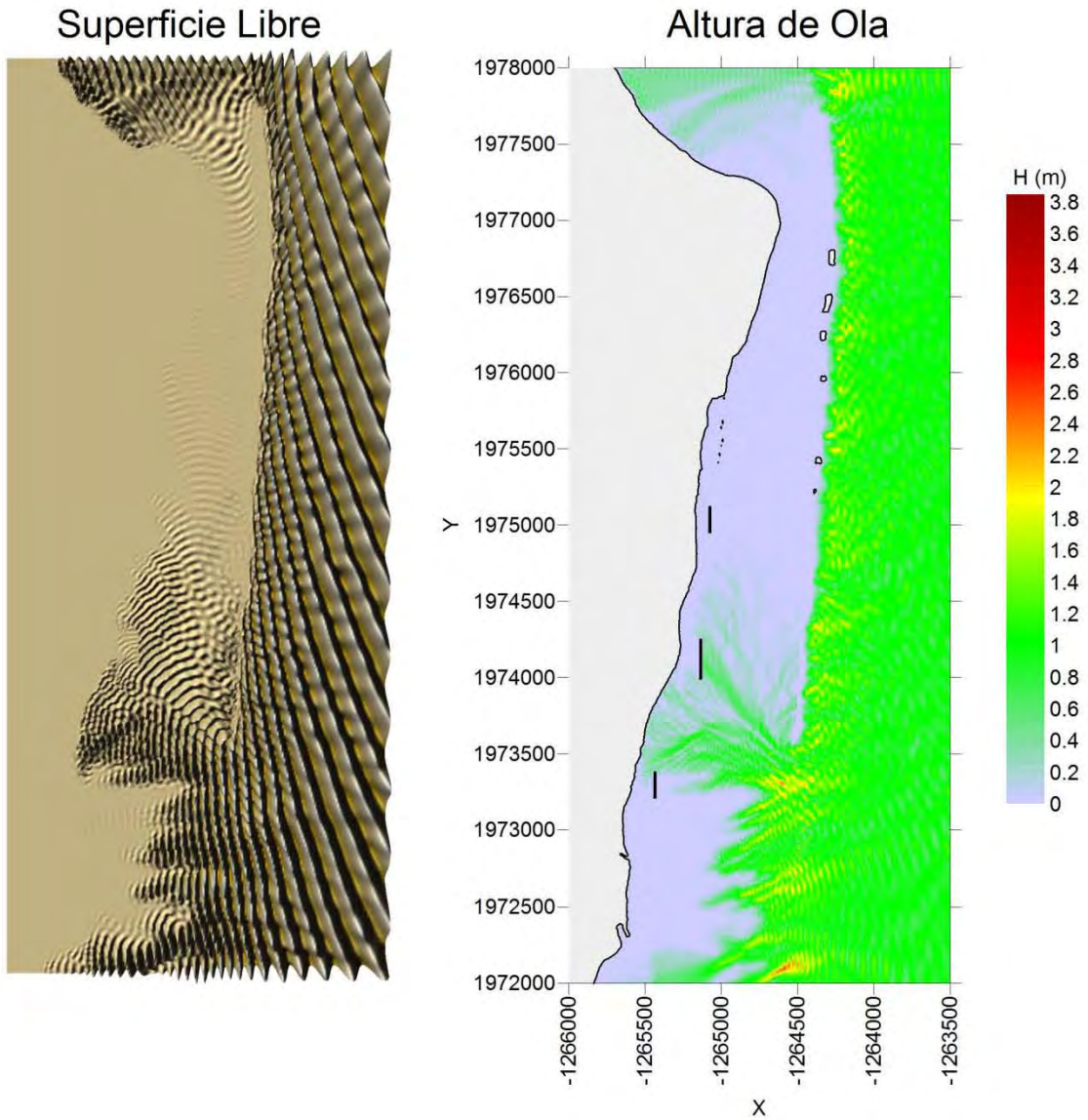
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



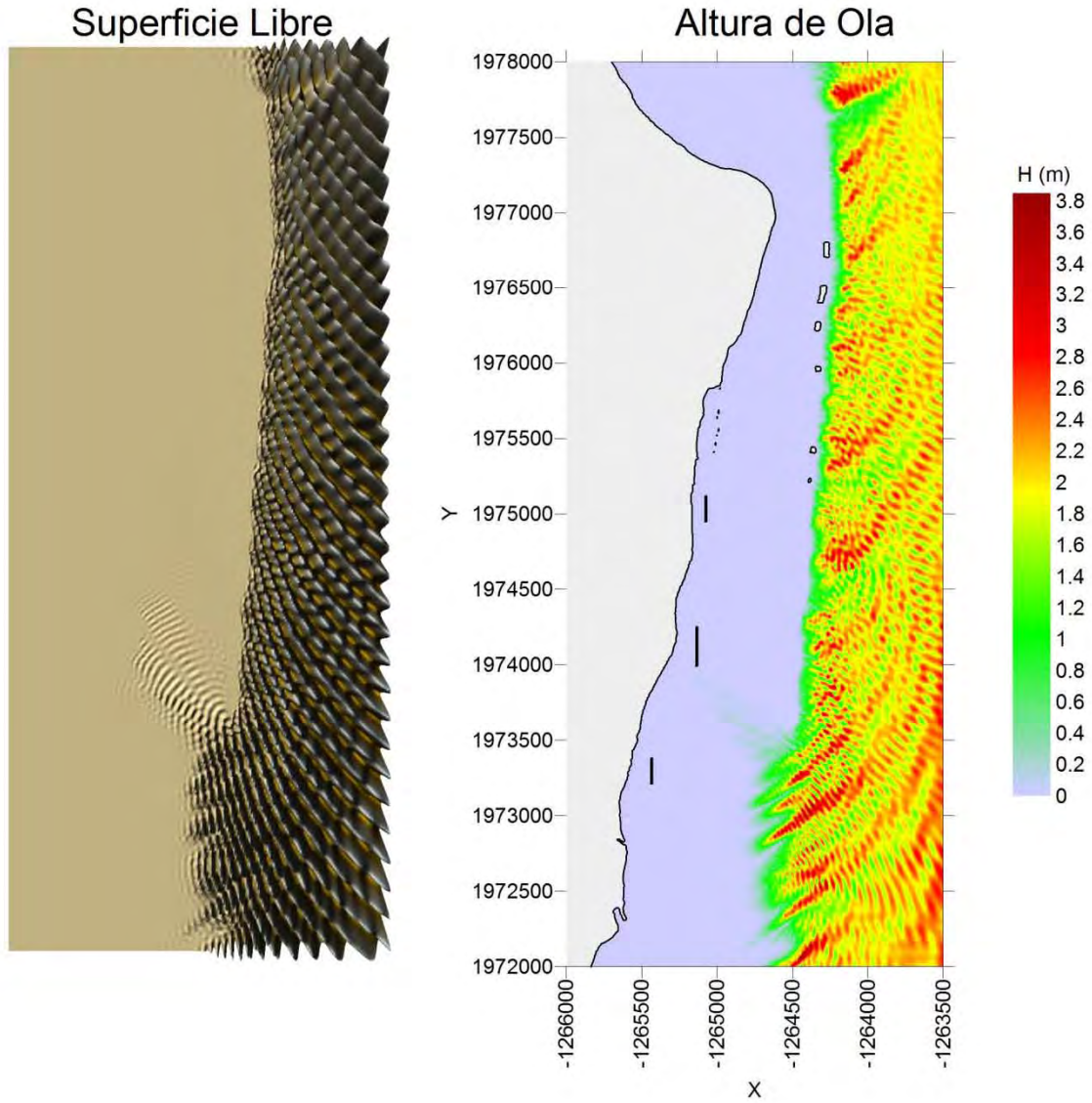
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



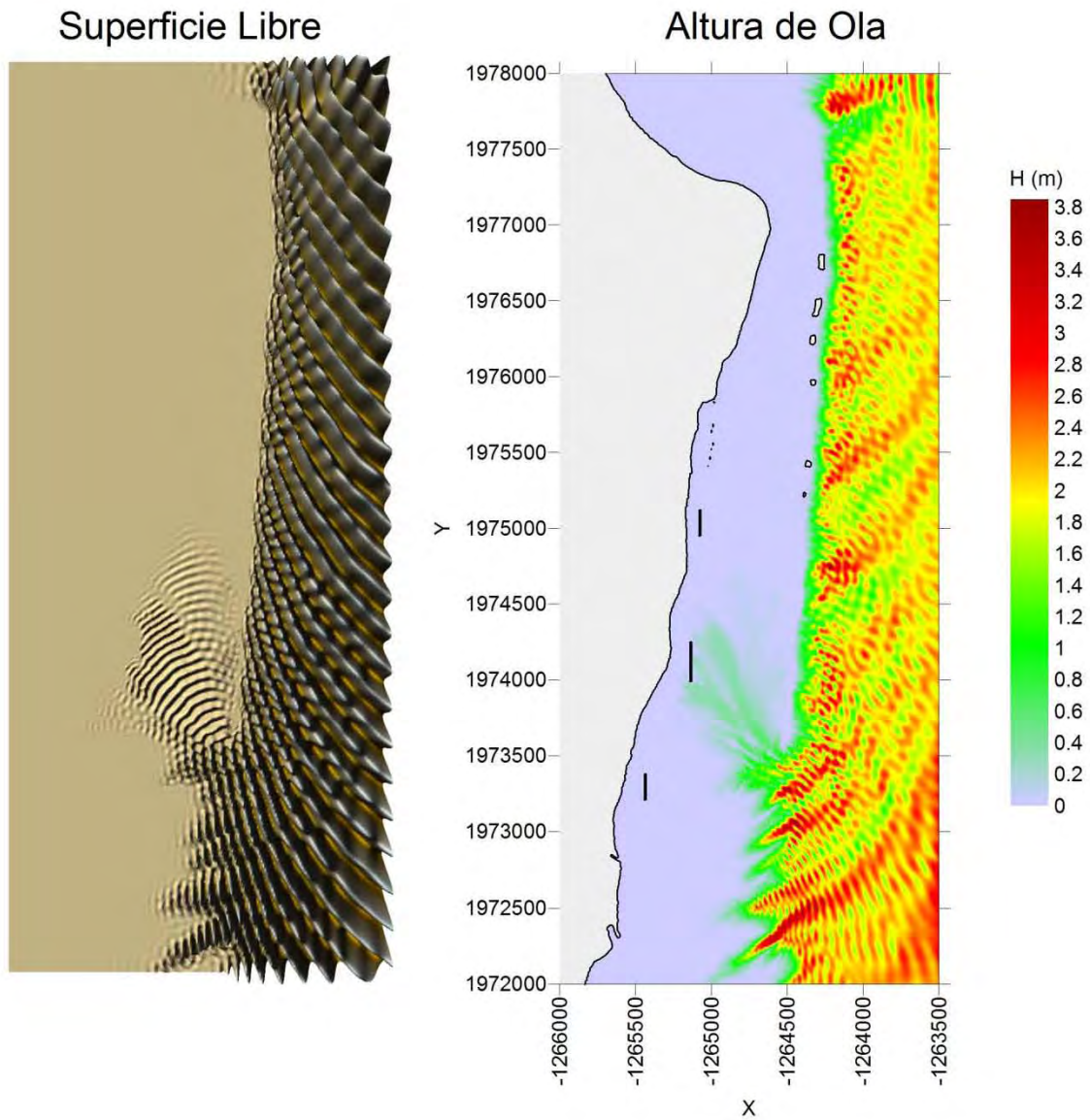
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



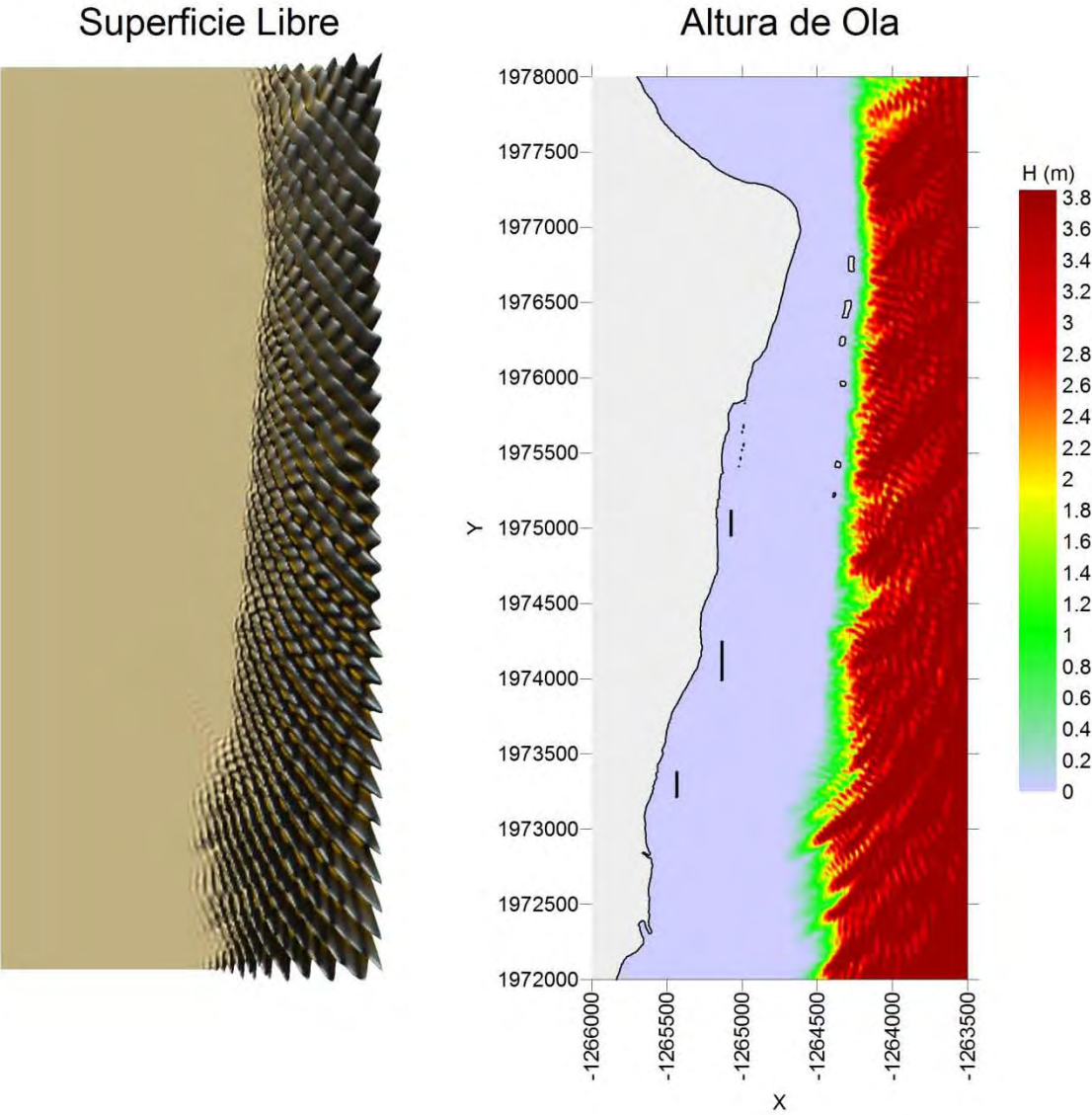
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



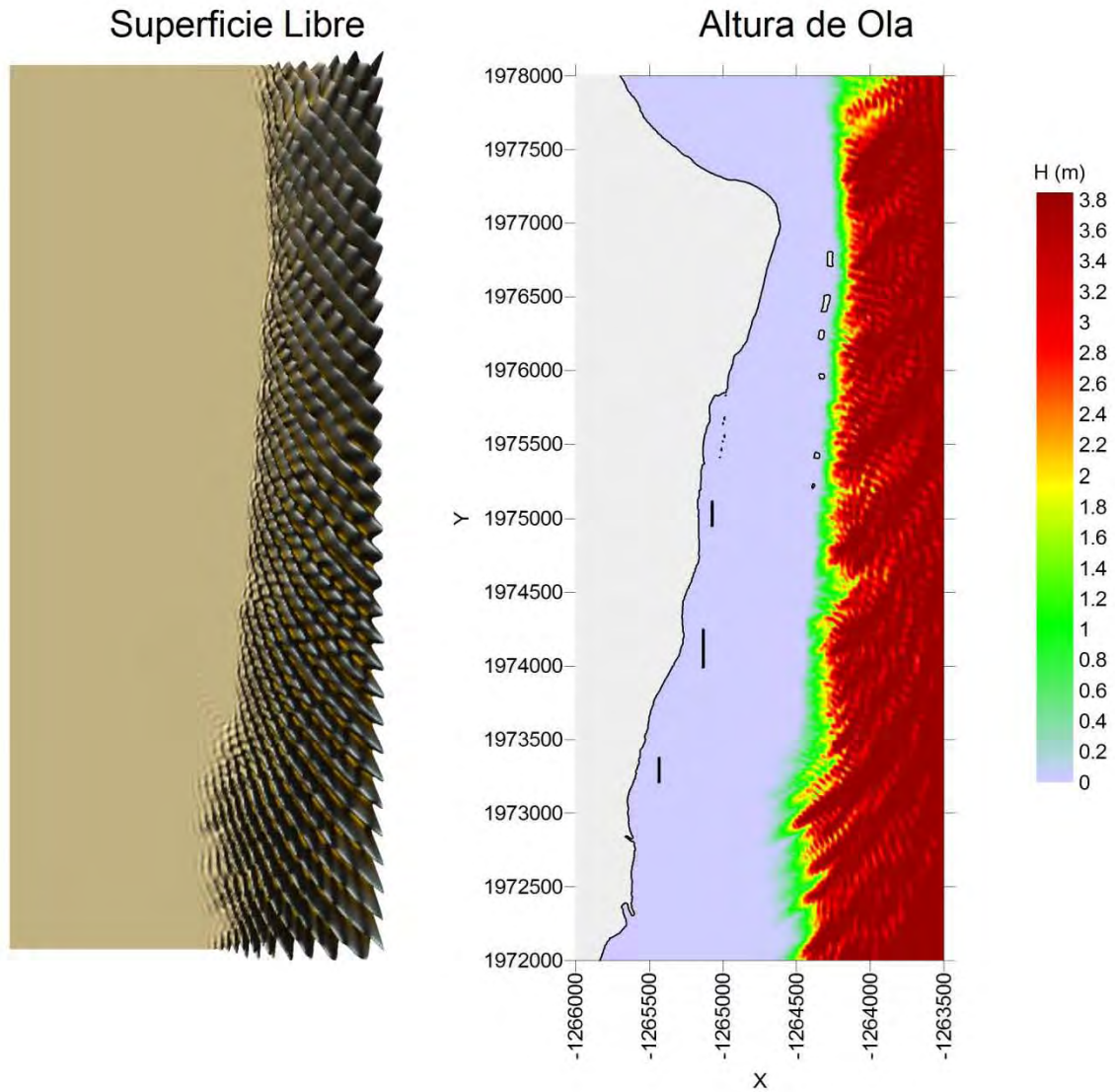
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



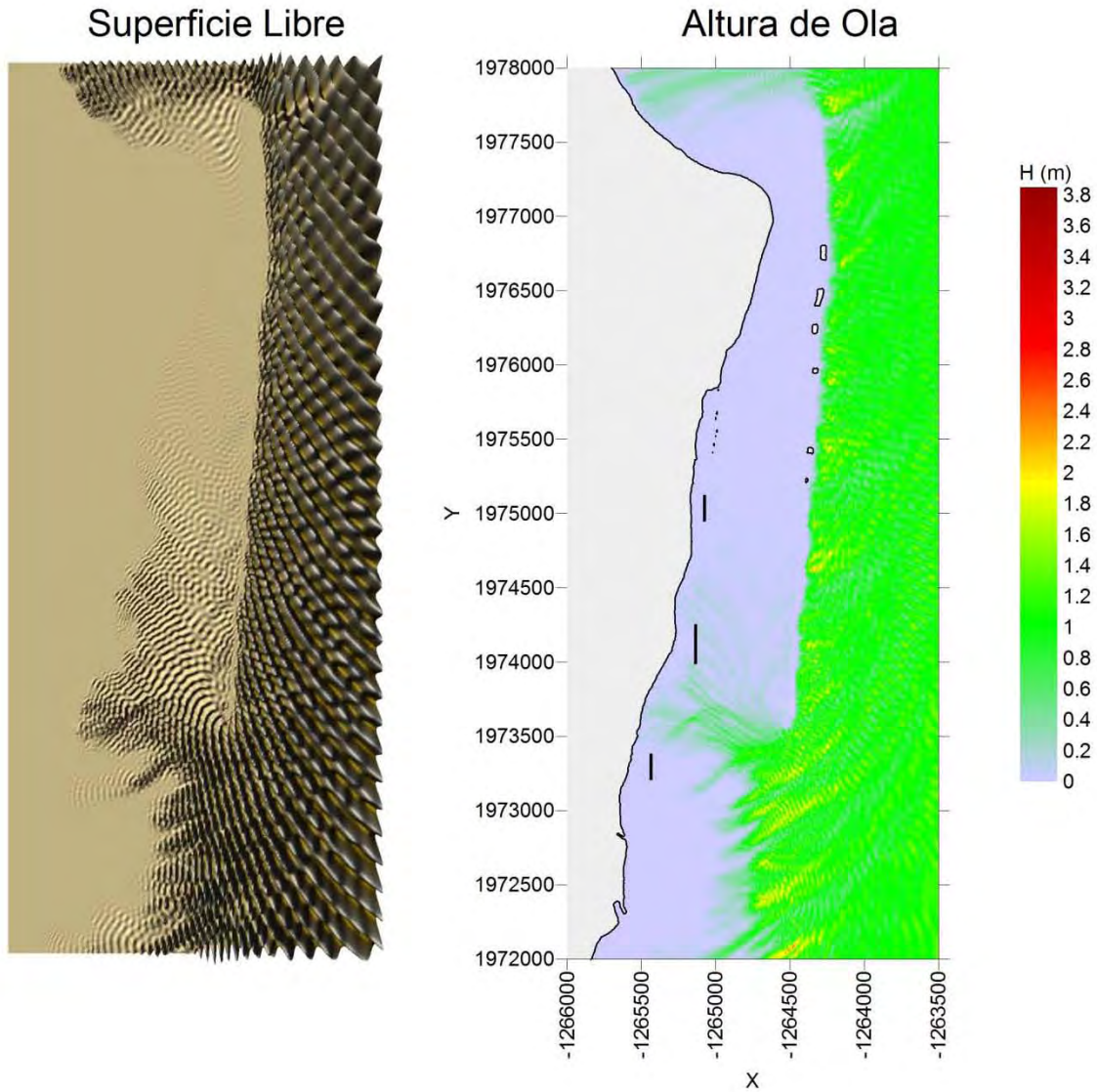
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



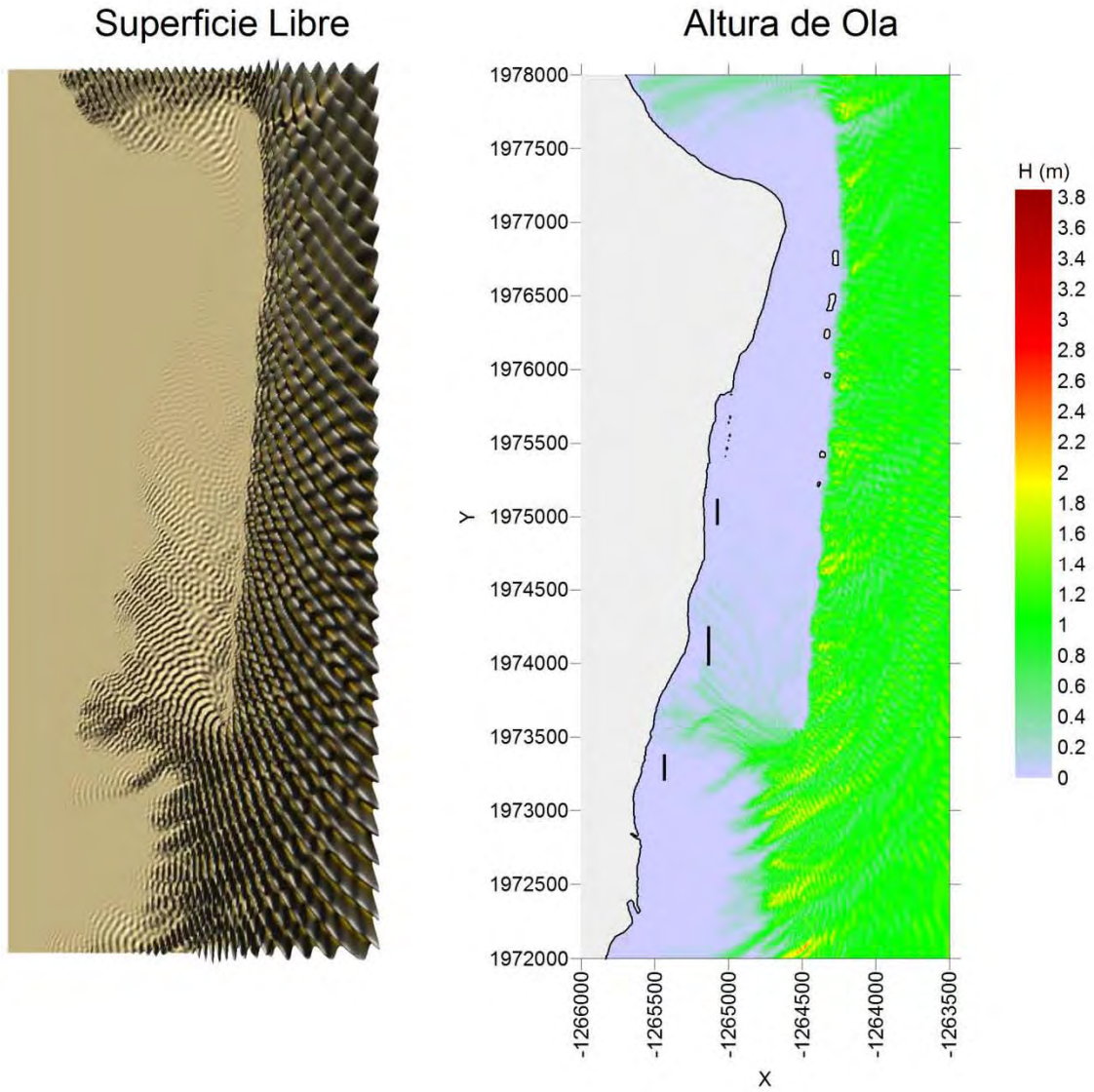
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

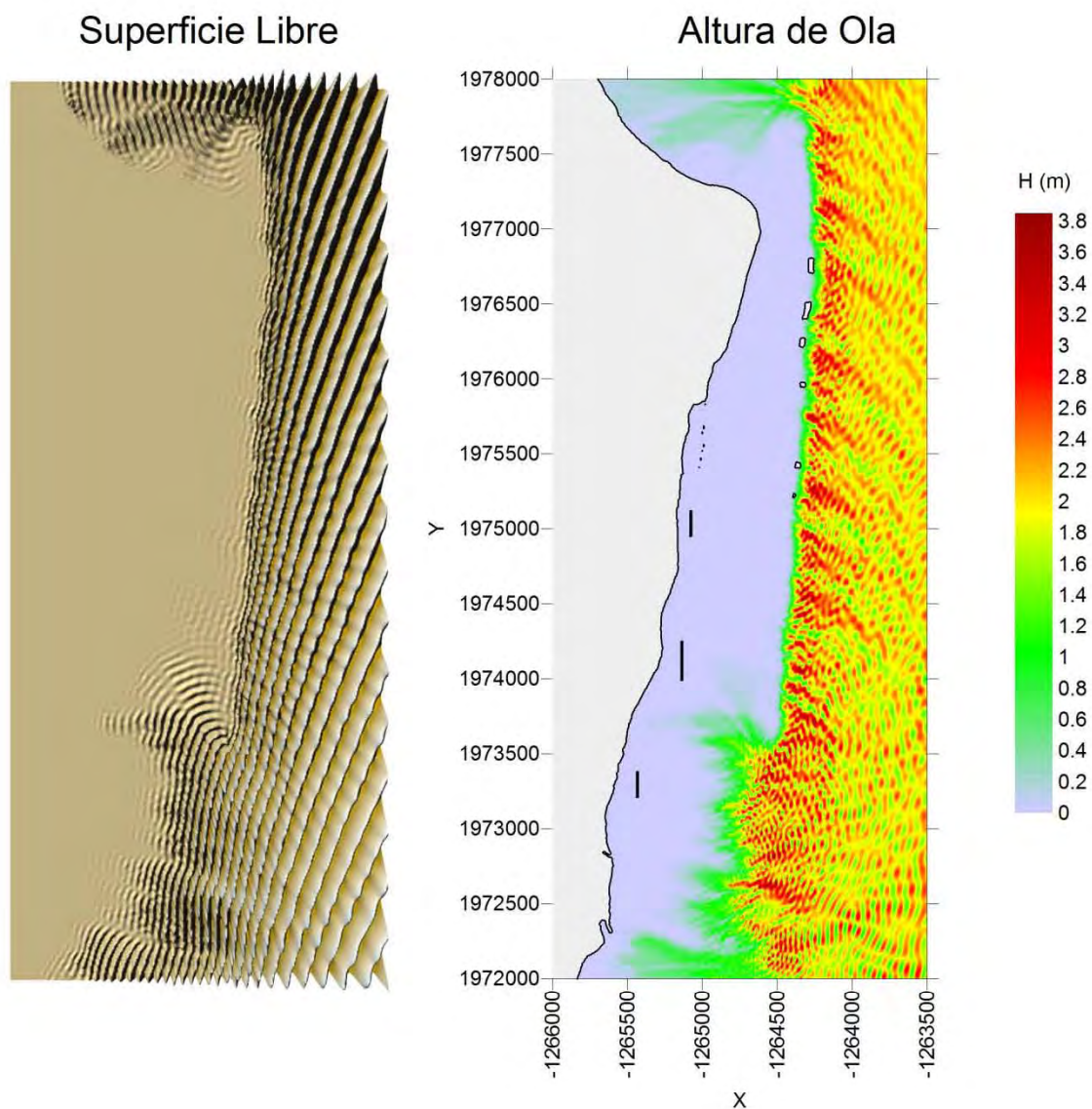
H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

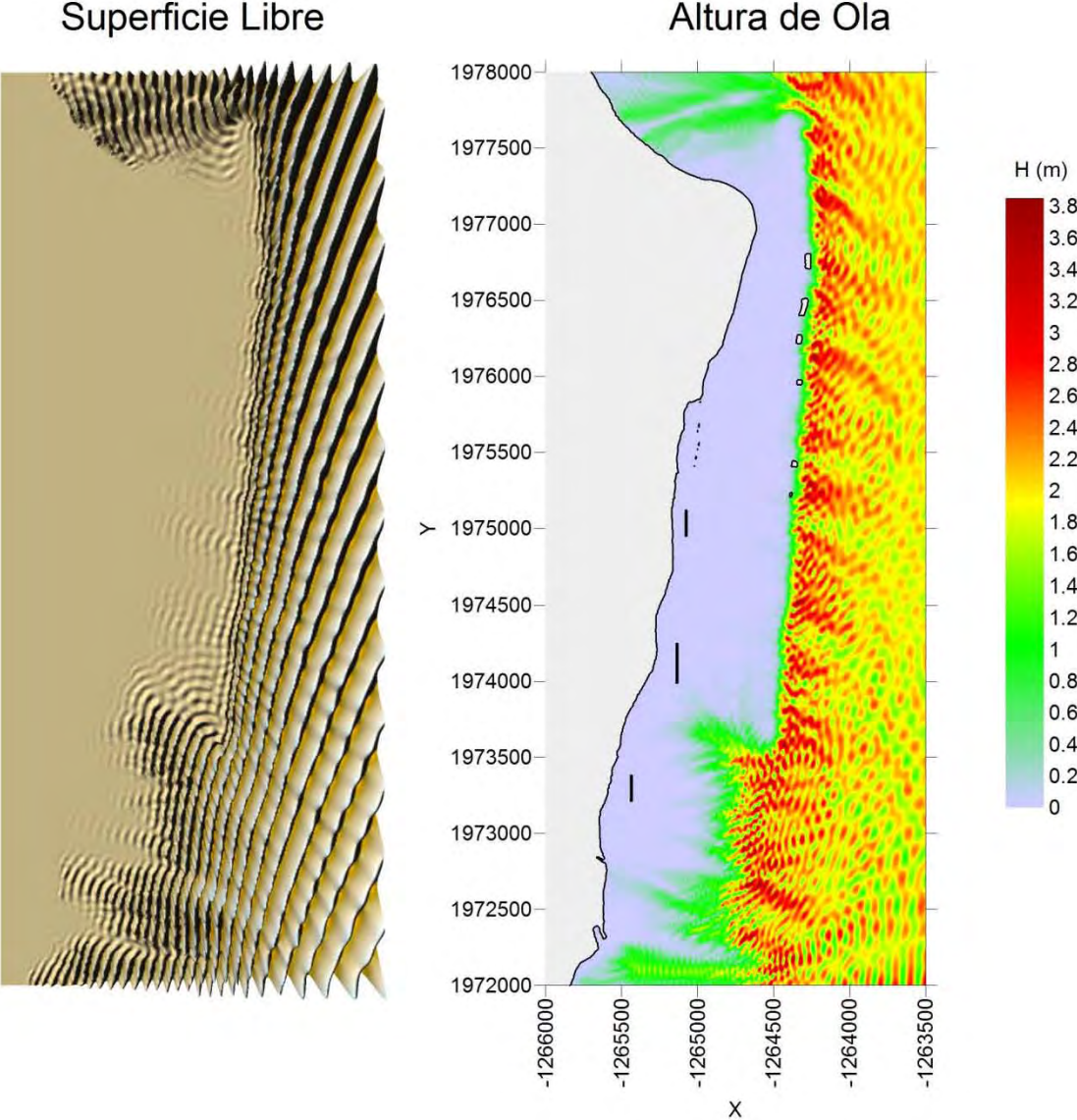
Sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



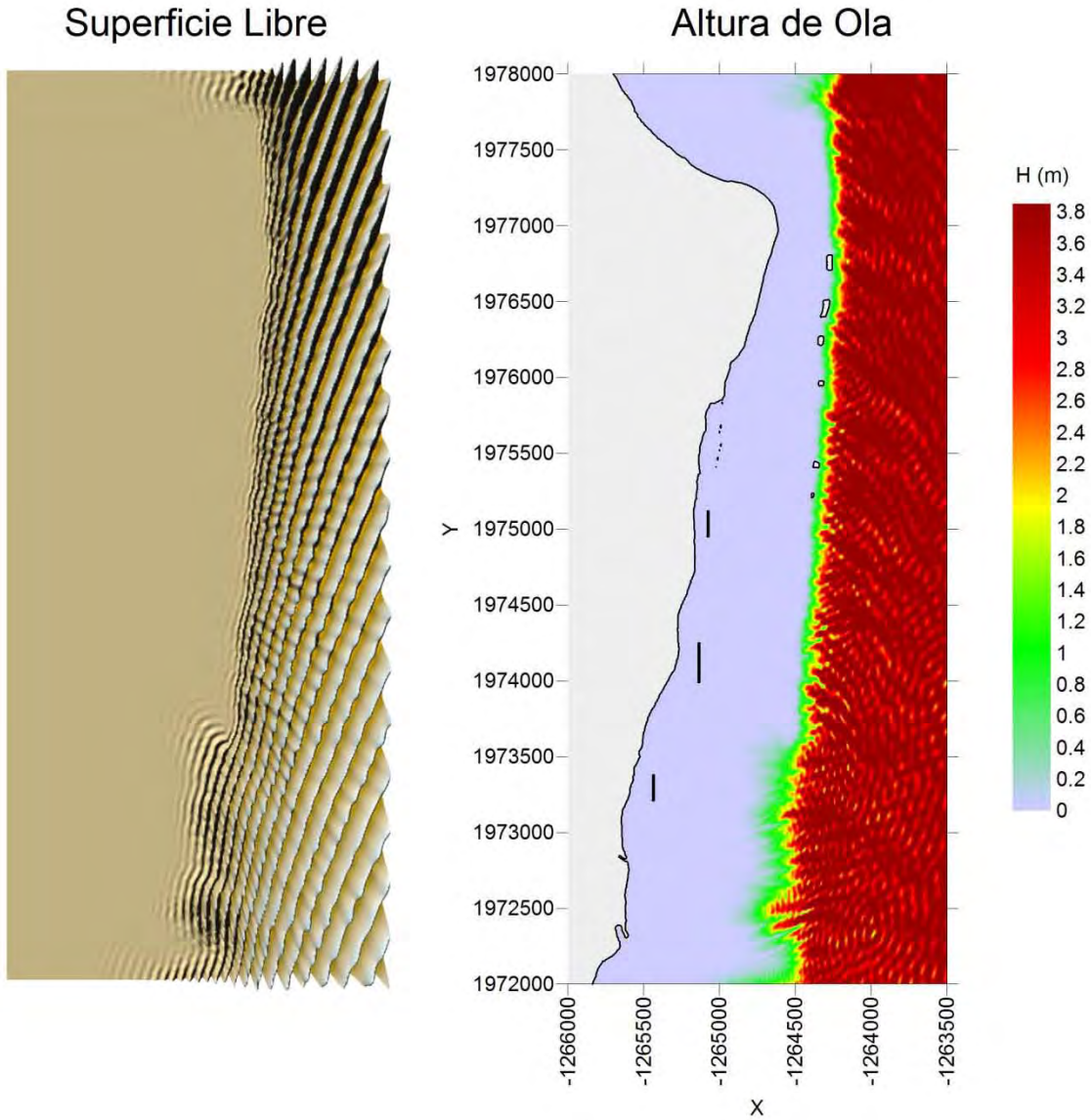
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



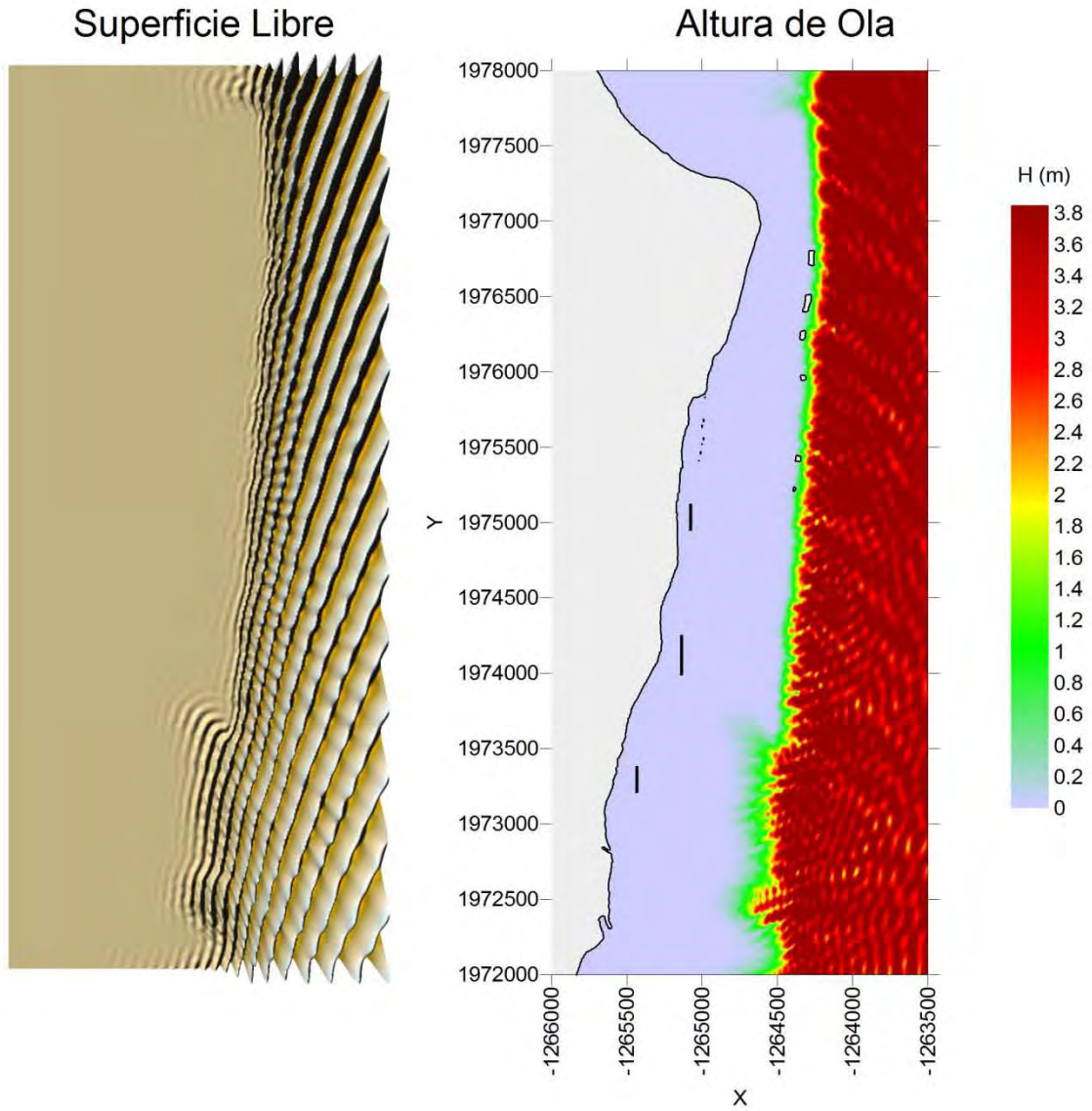
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



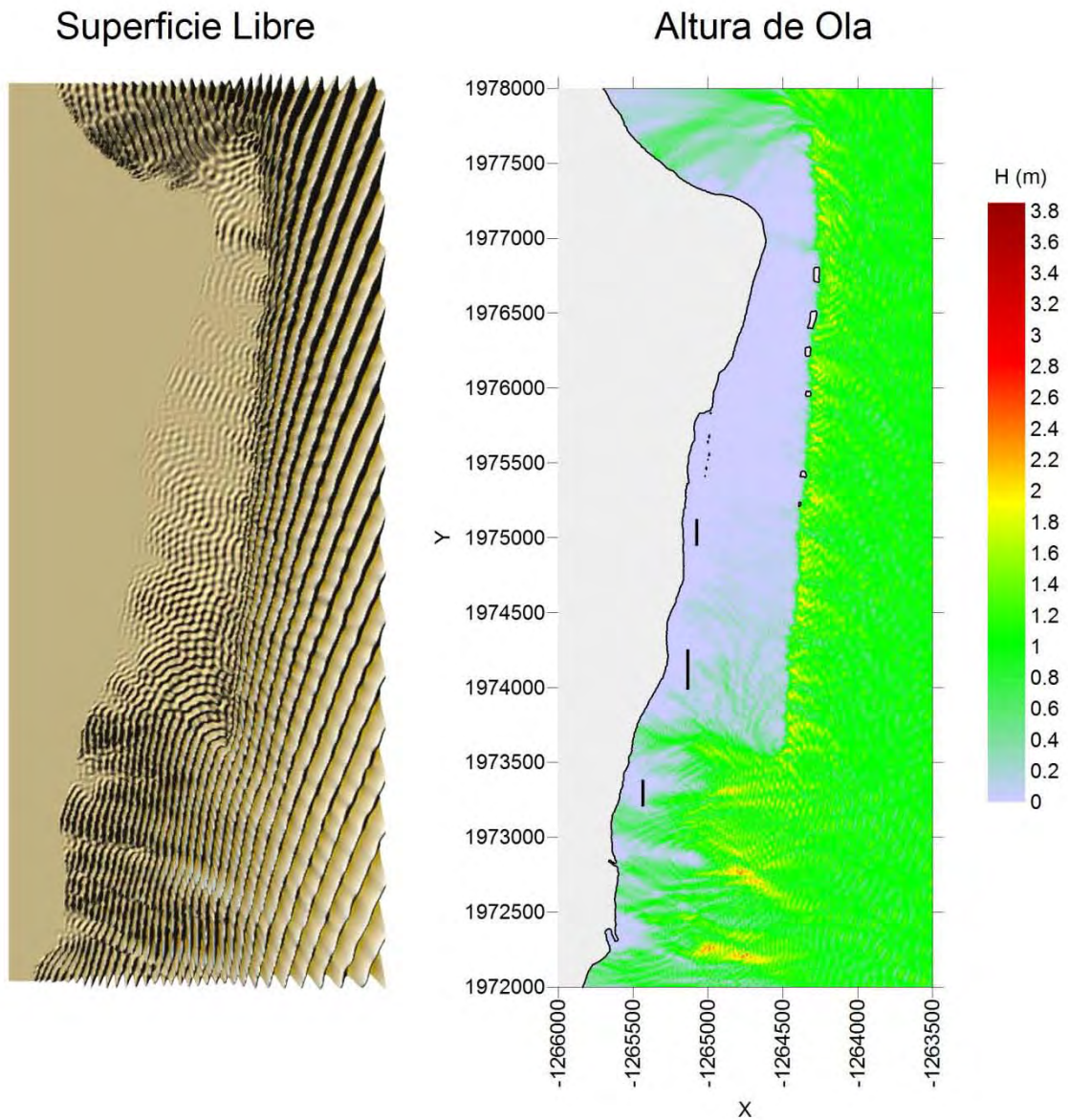
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



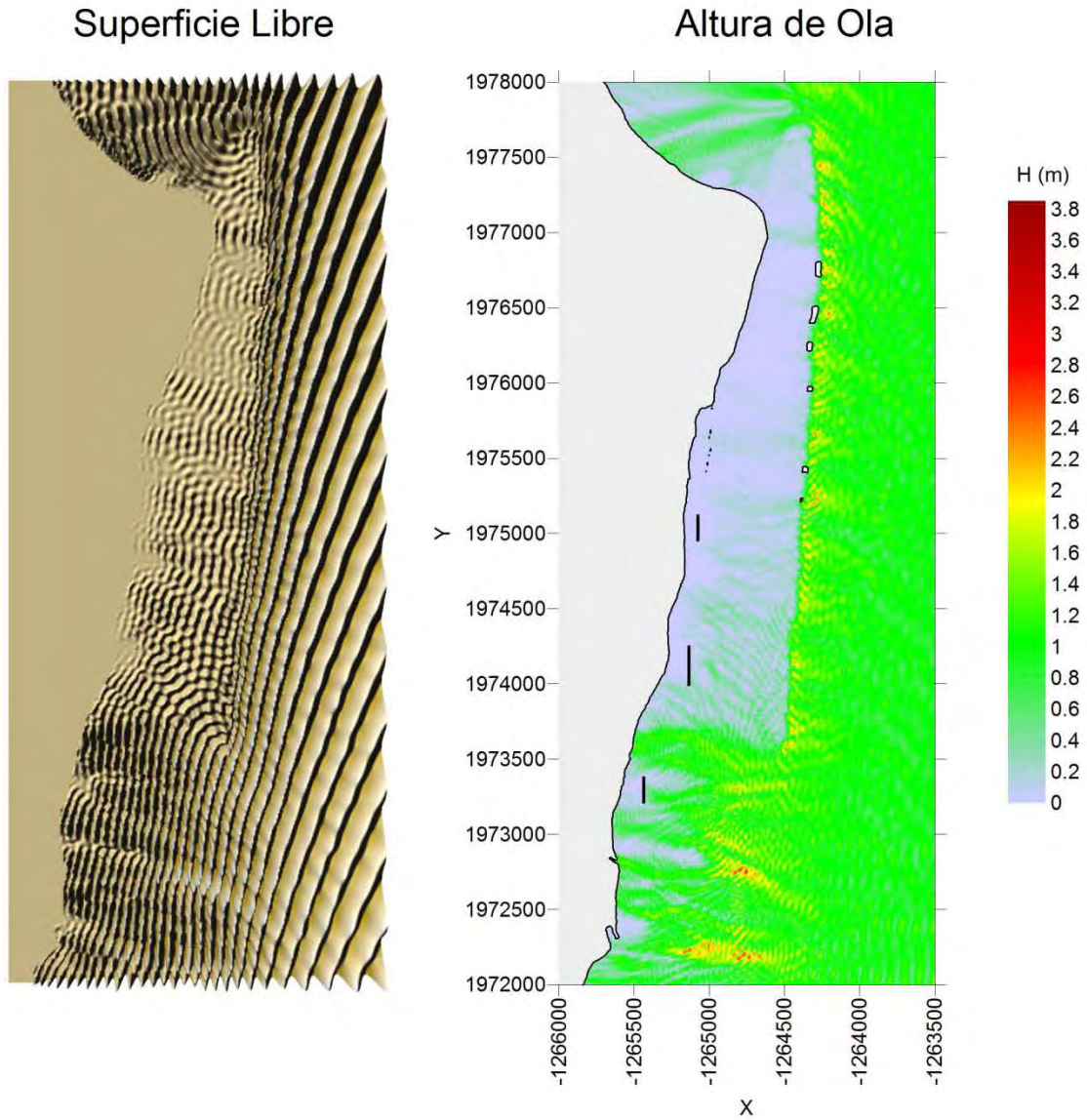
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



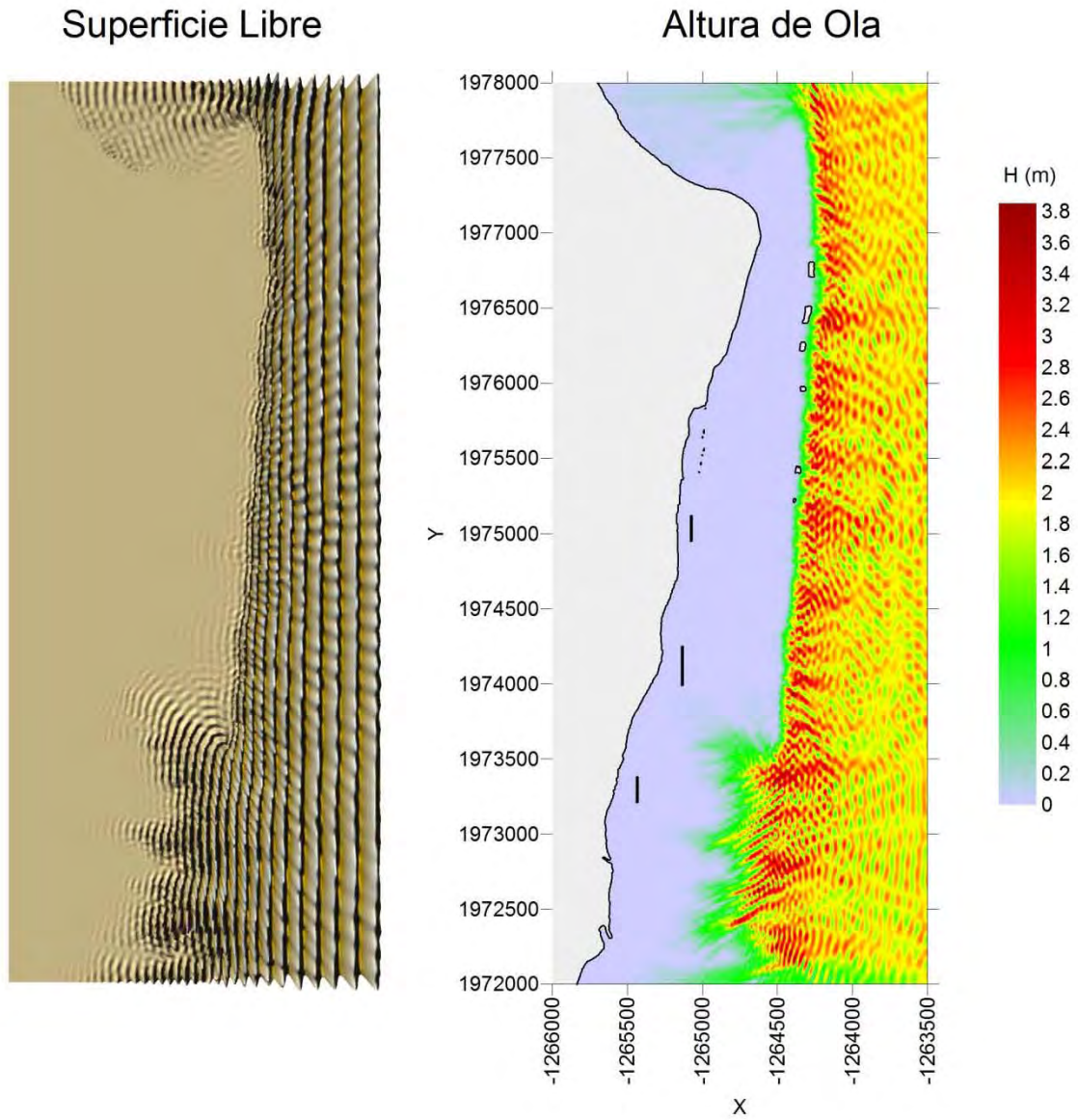
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



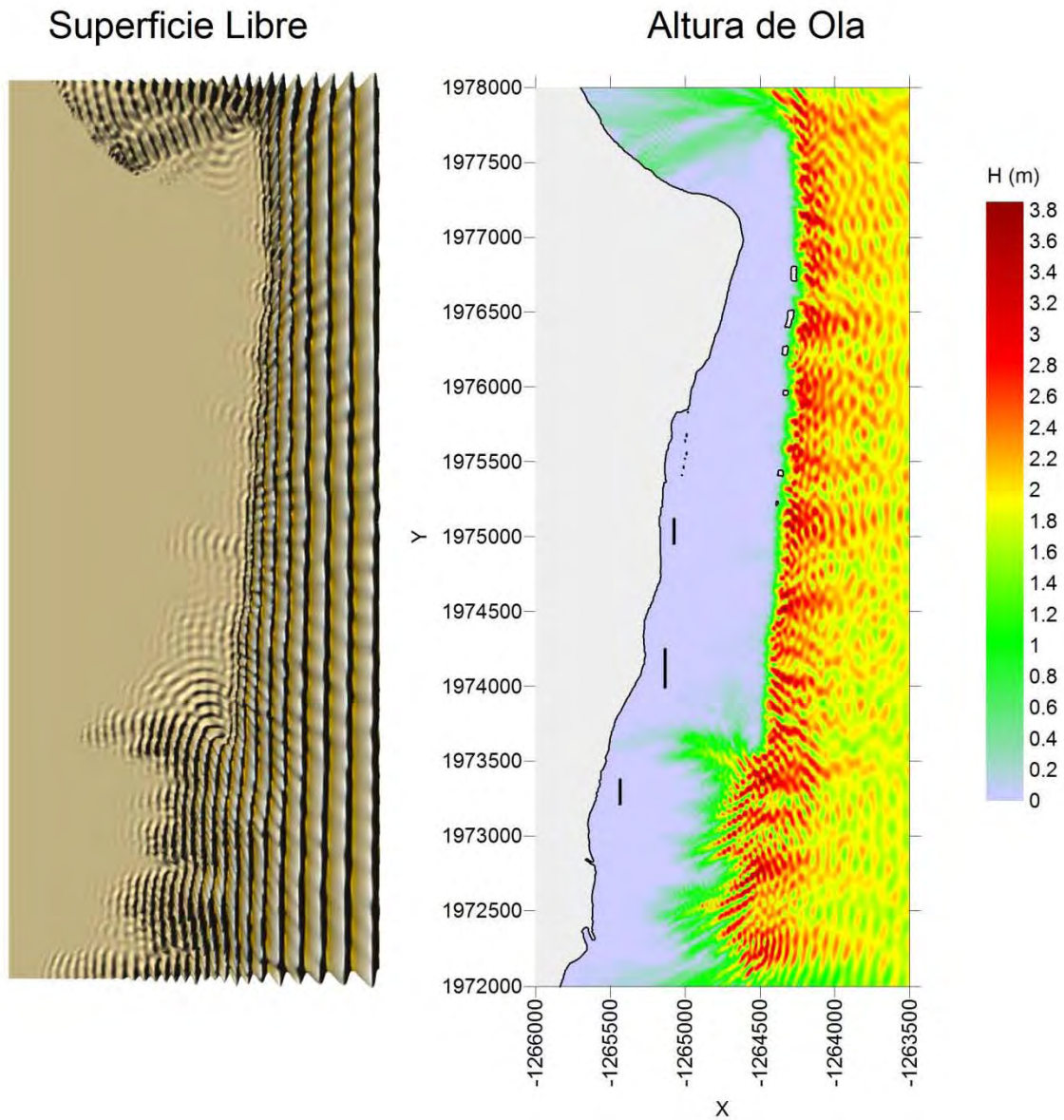
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



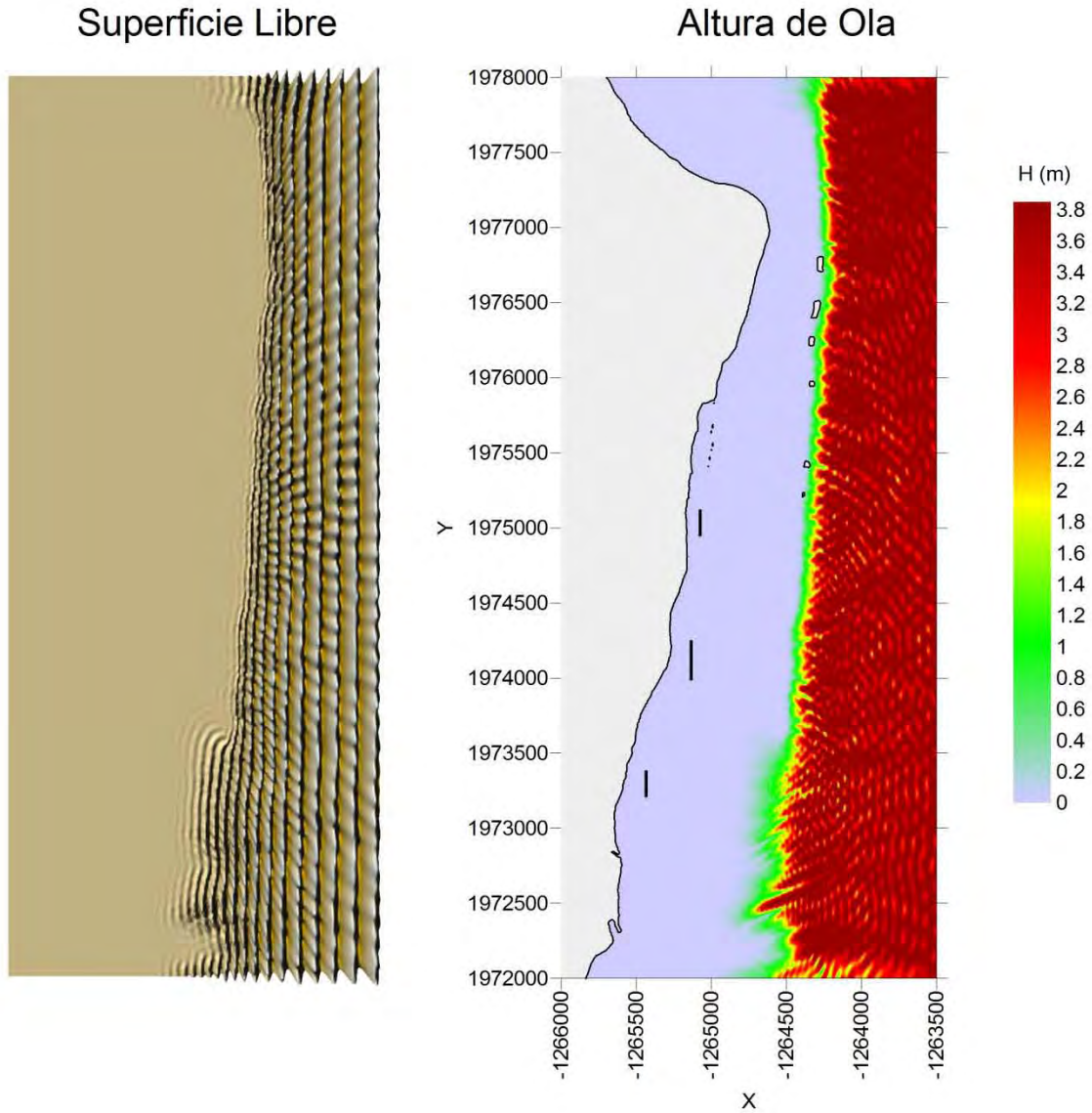
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



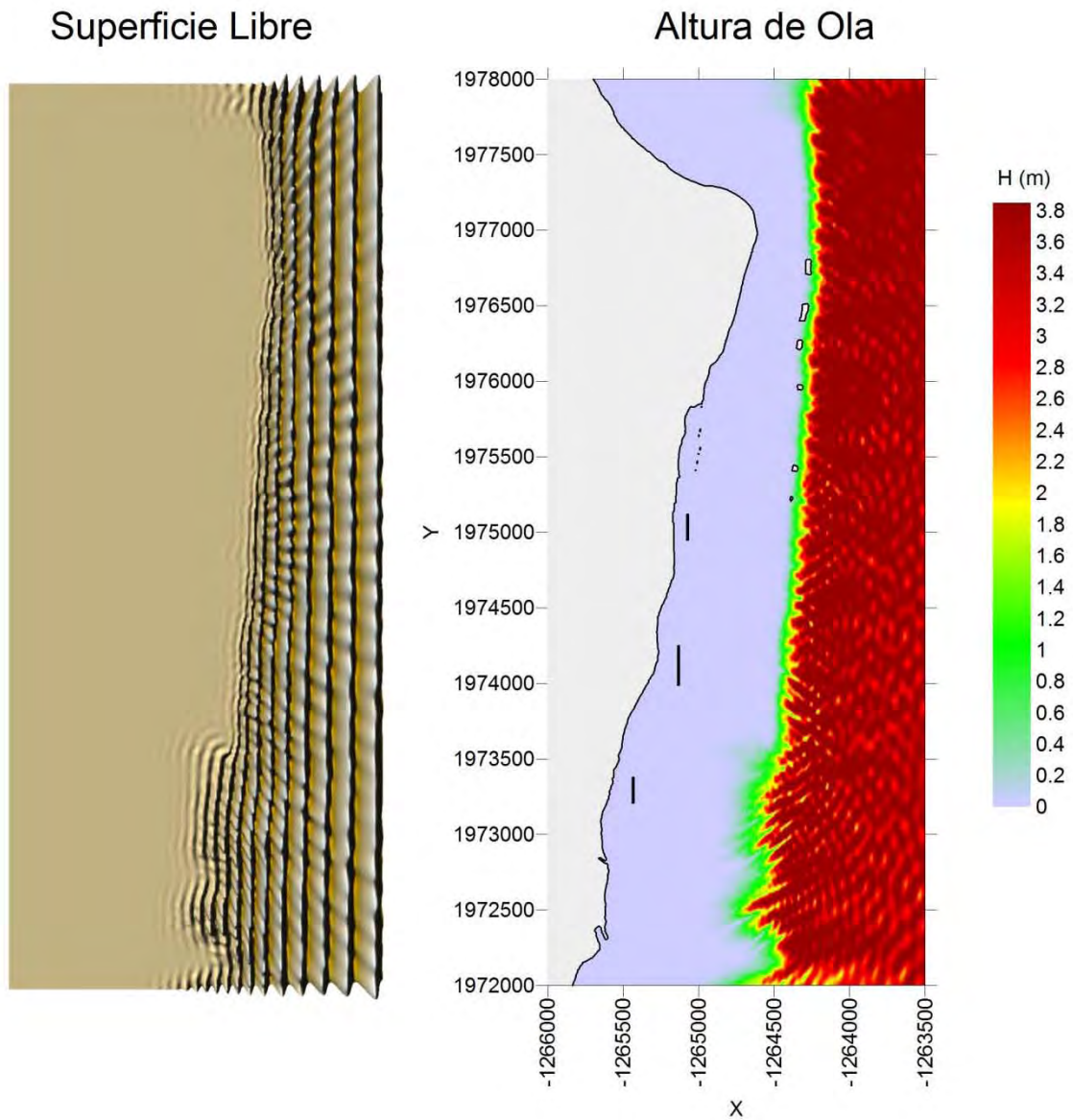
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



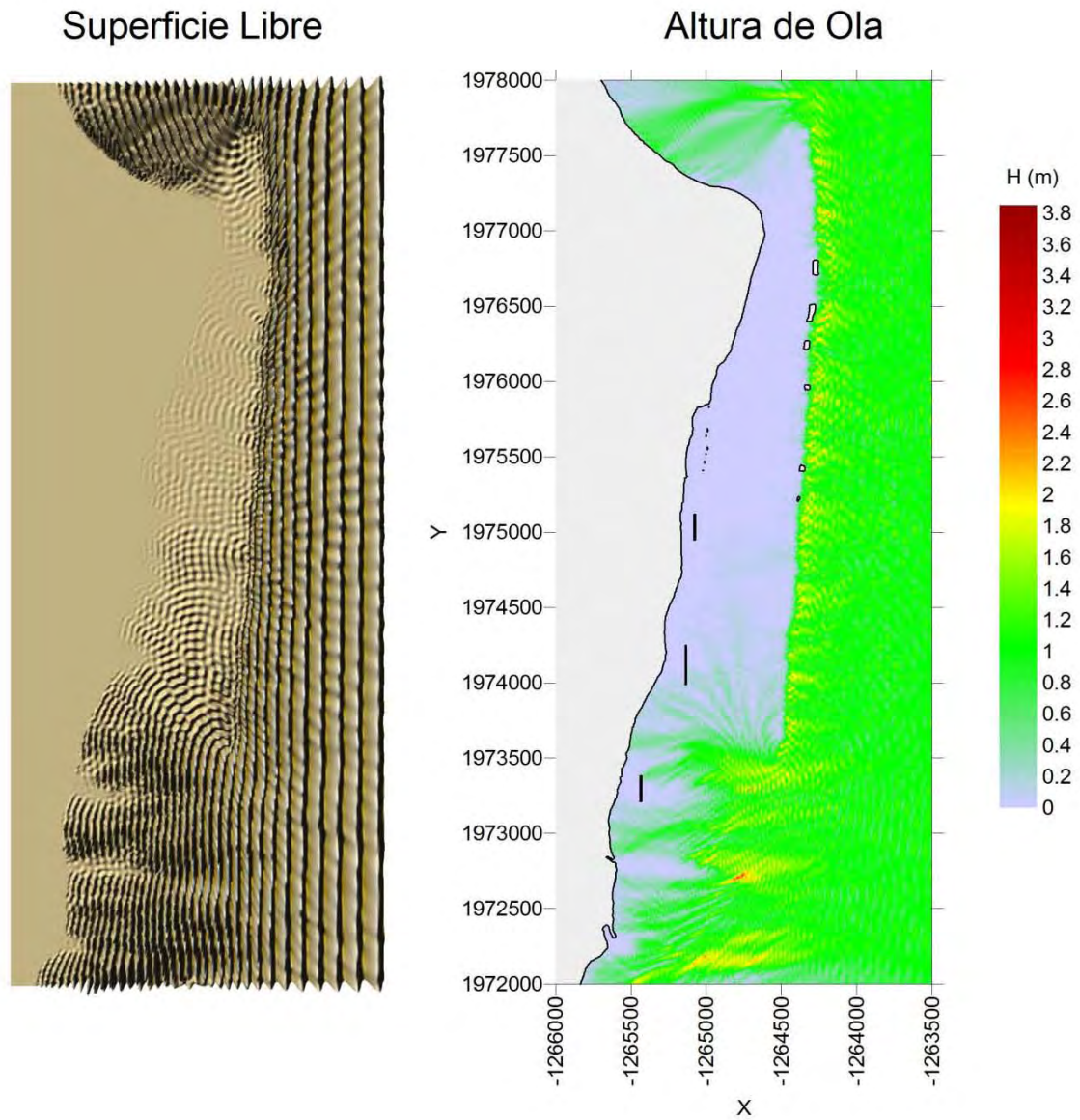
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



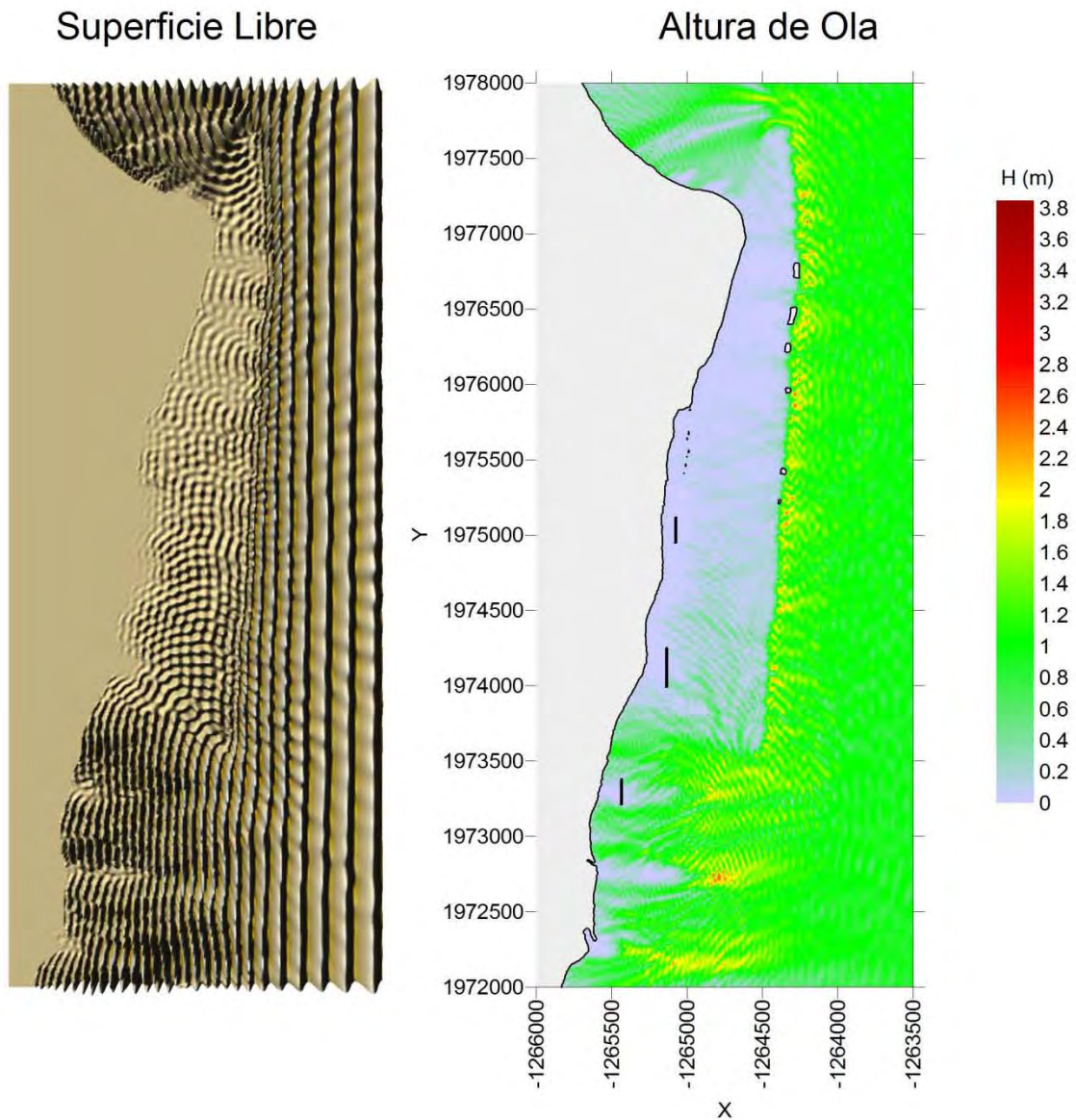
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



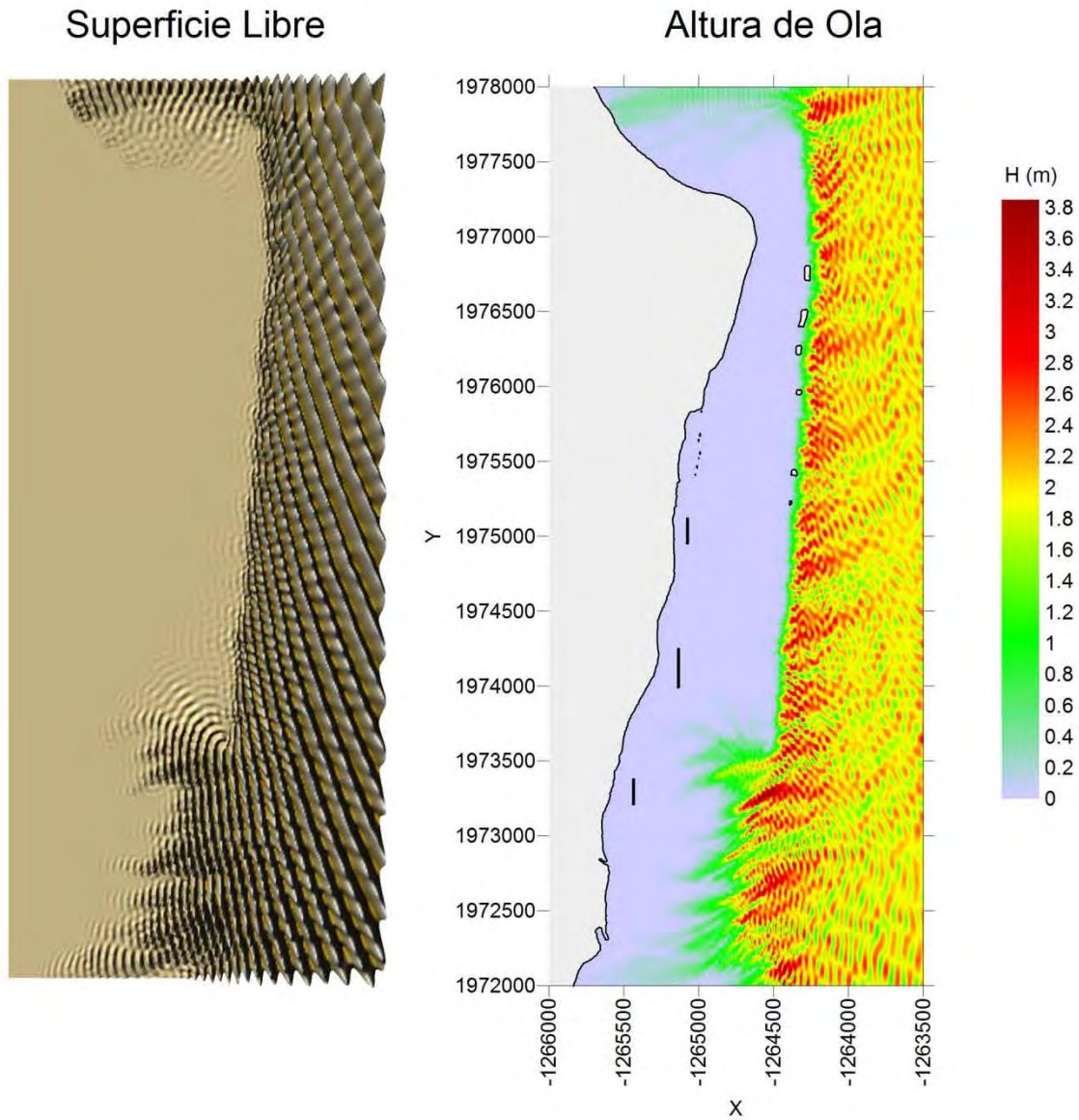
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



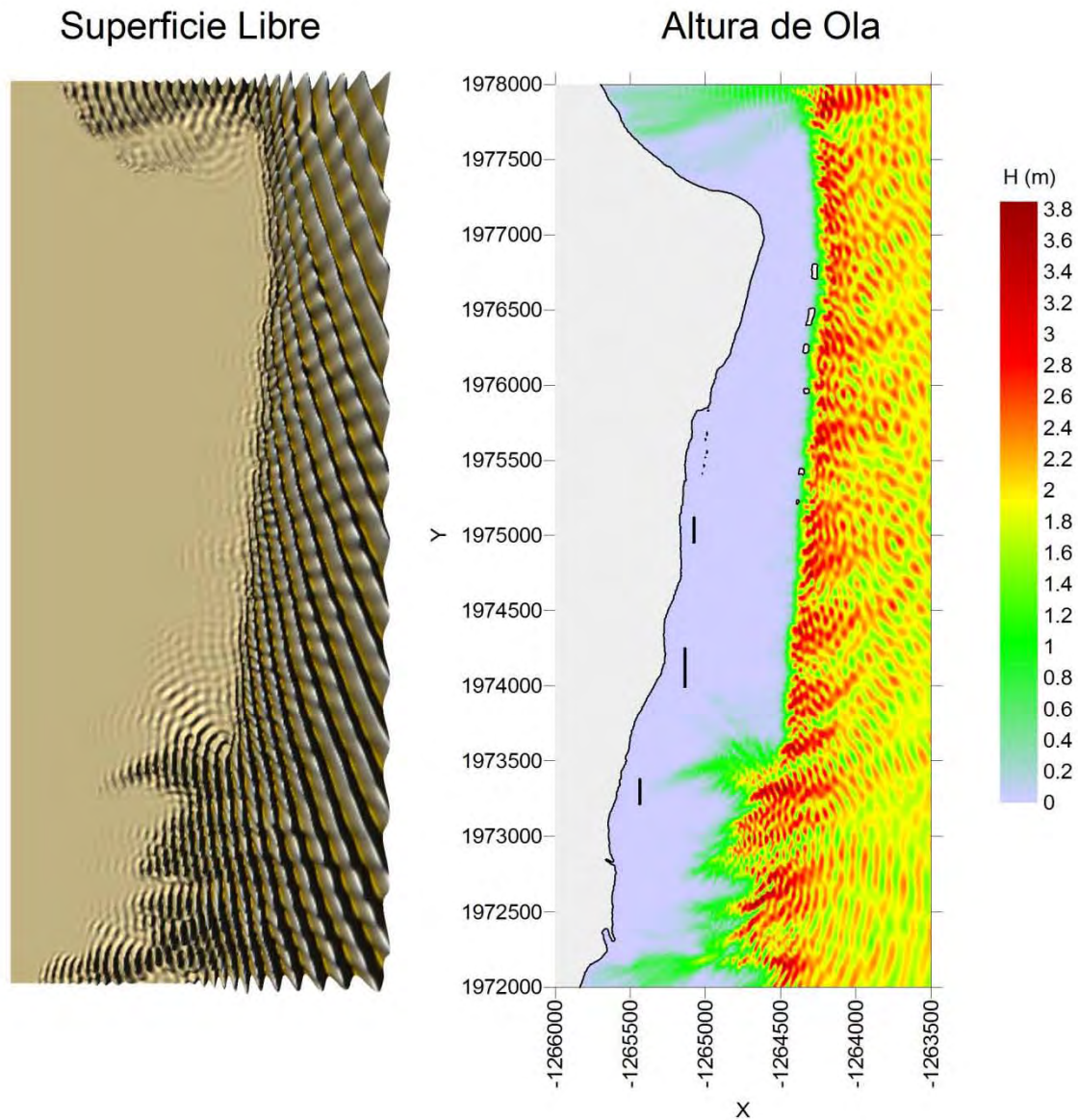
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



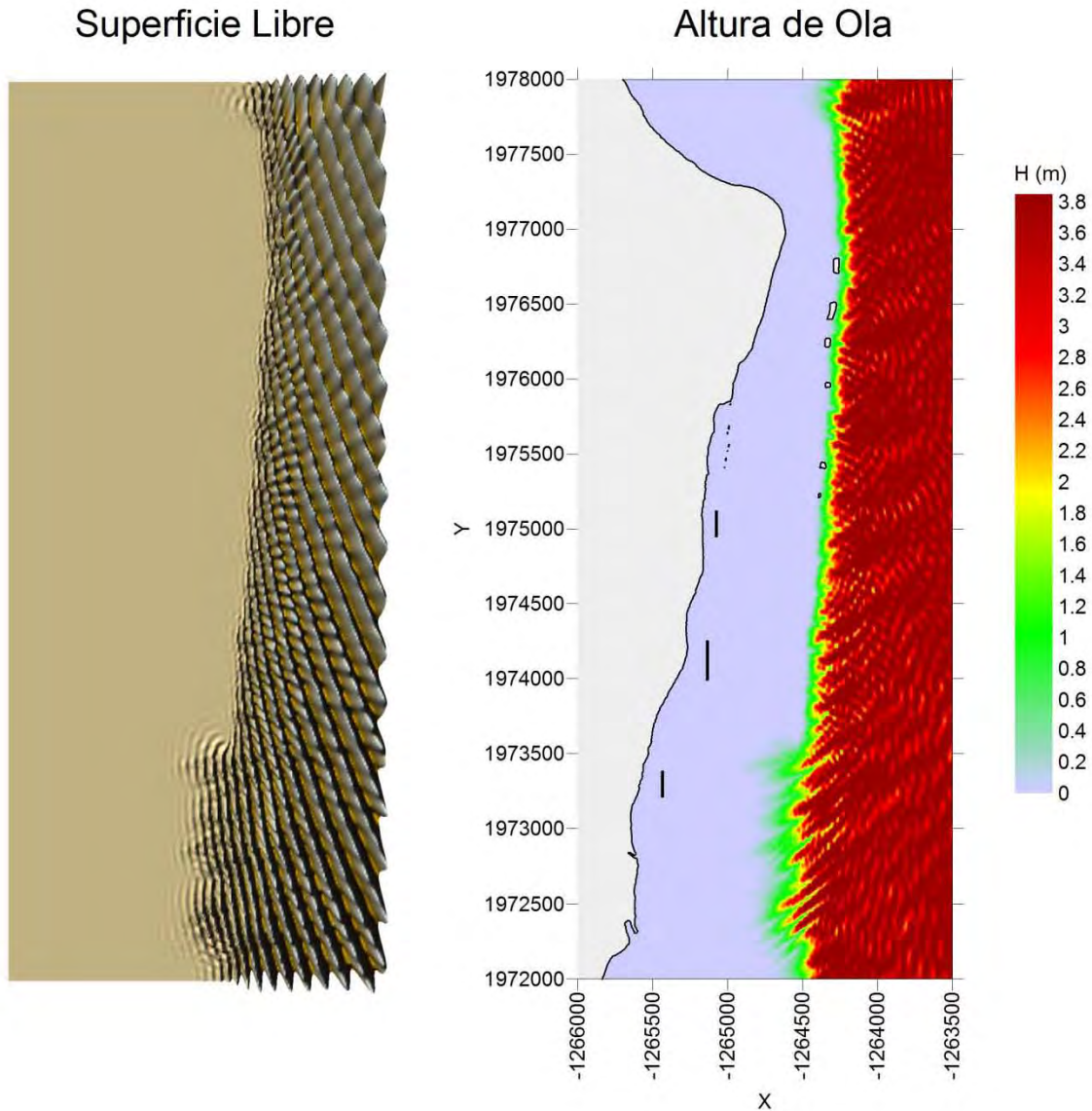
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

$H = 2 \text{ (m)}$, $\theta = 22.5^\circ$, $S = 1 \text{ (m)}$, $T = 12 \text{ (s)}$



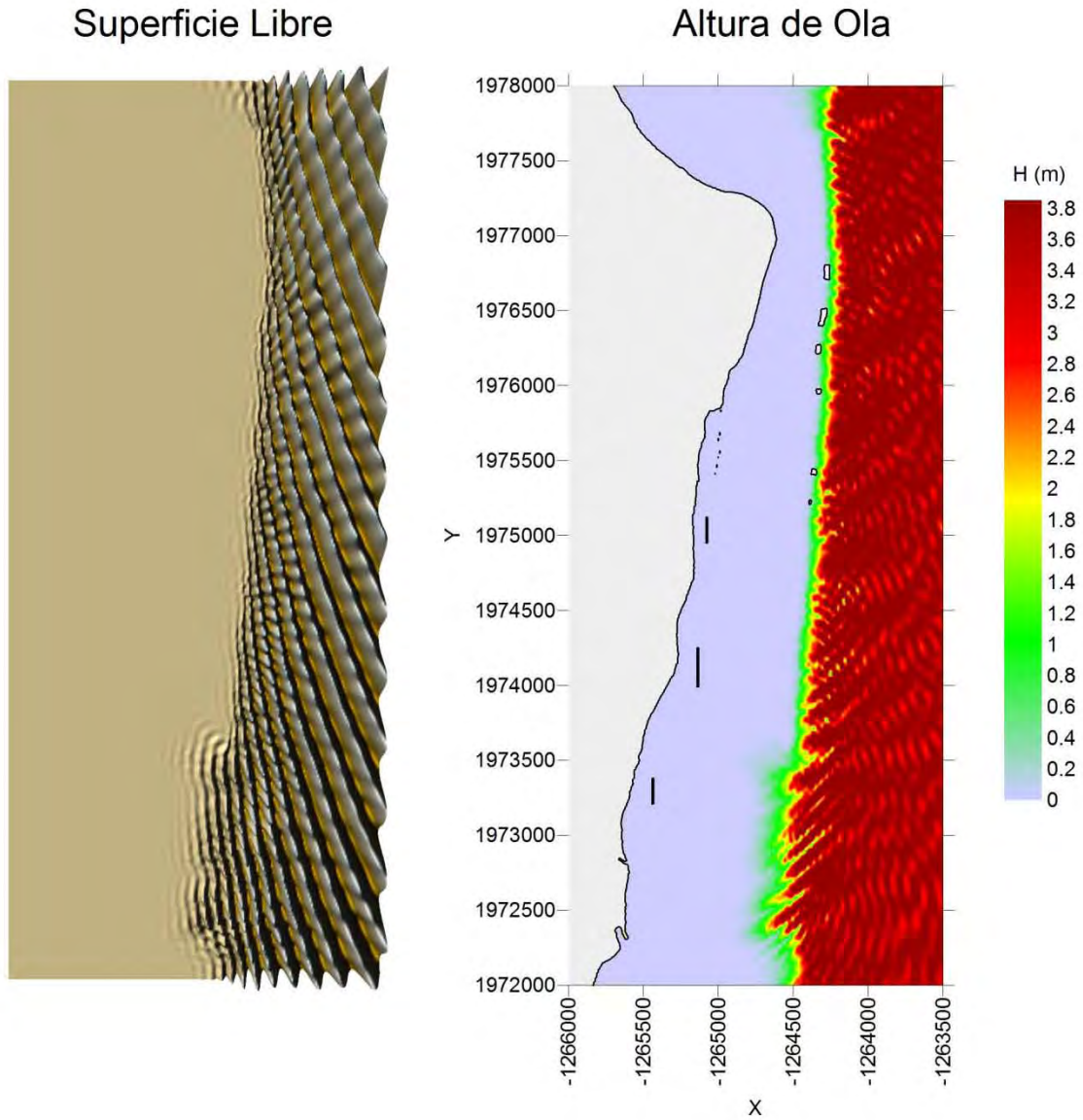
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



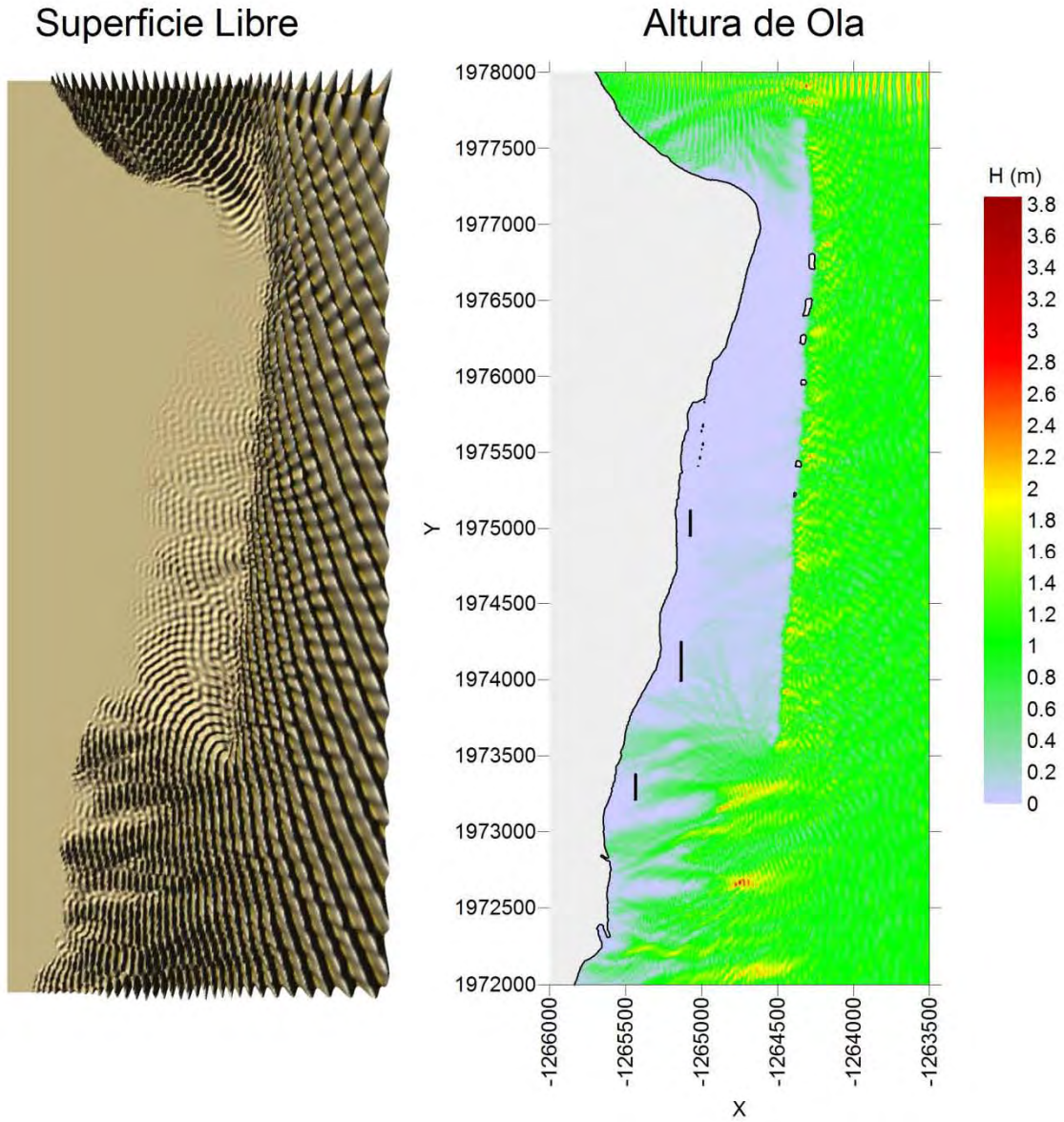
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



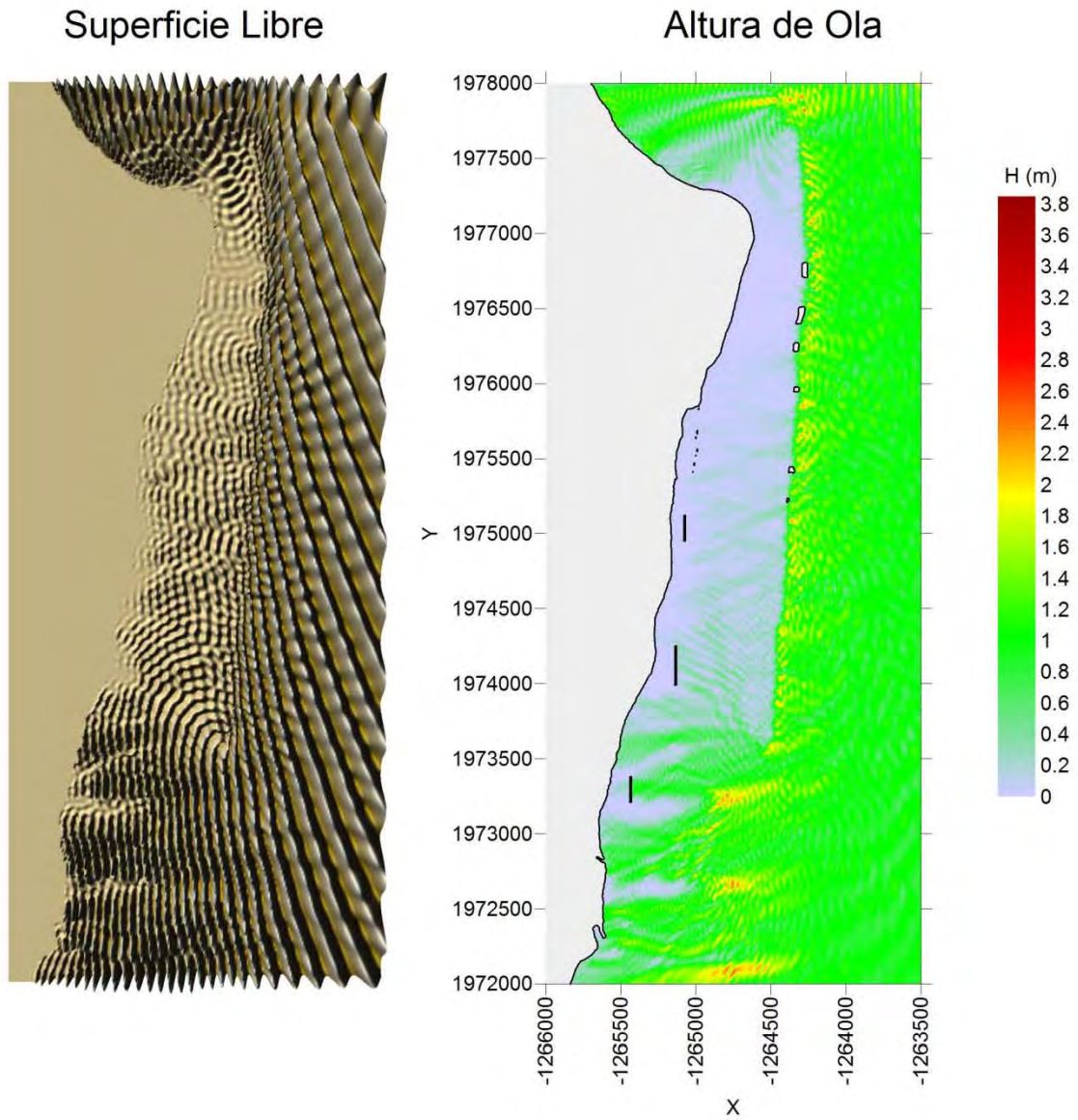
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



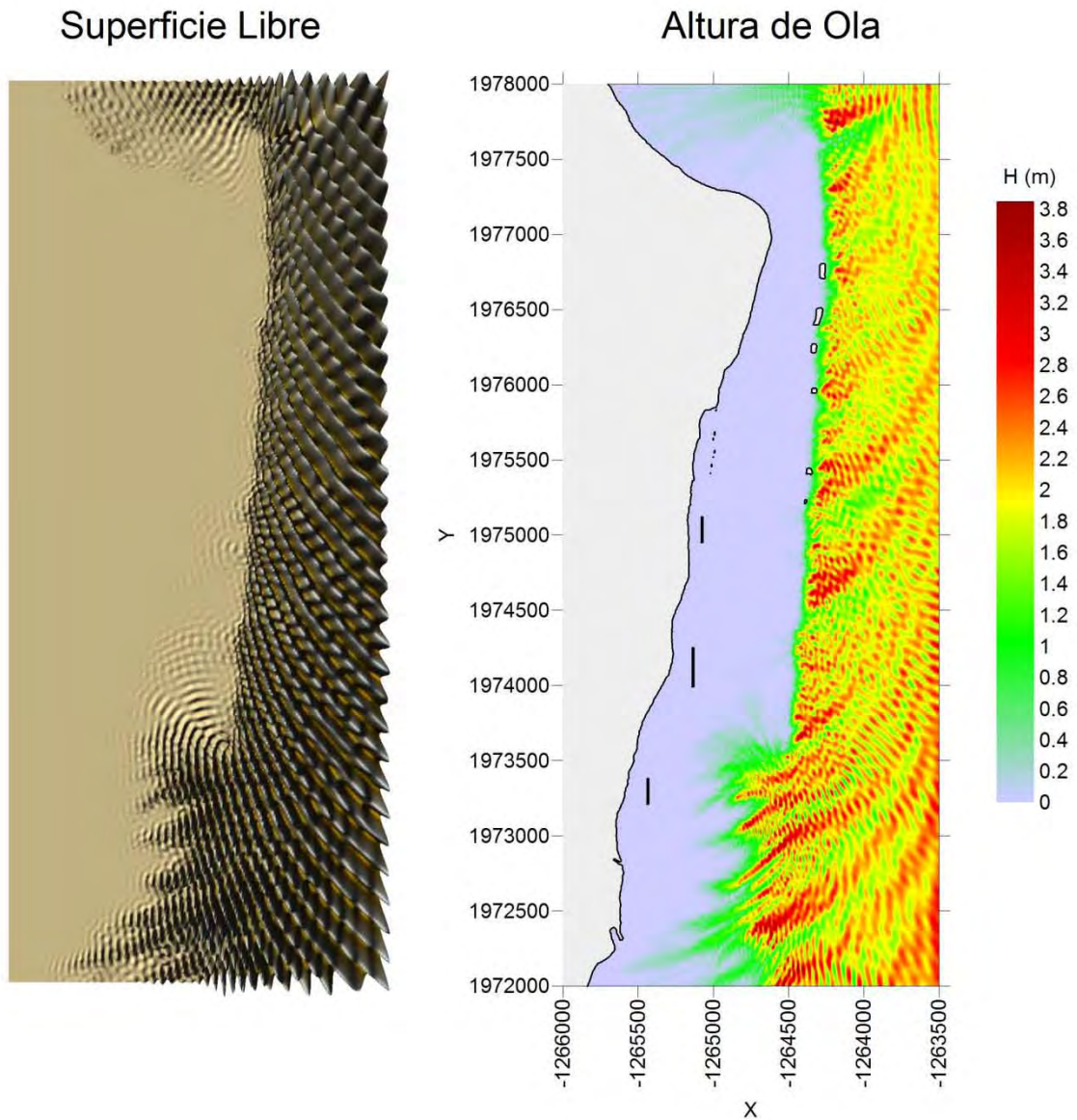
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



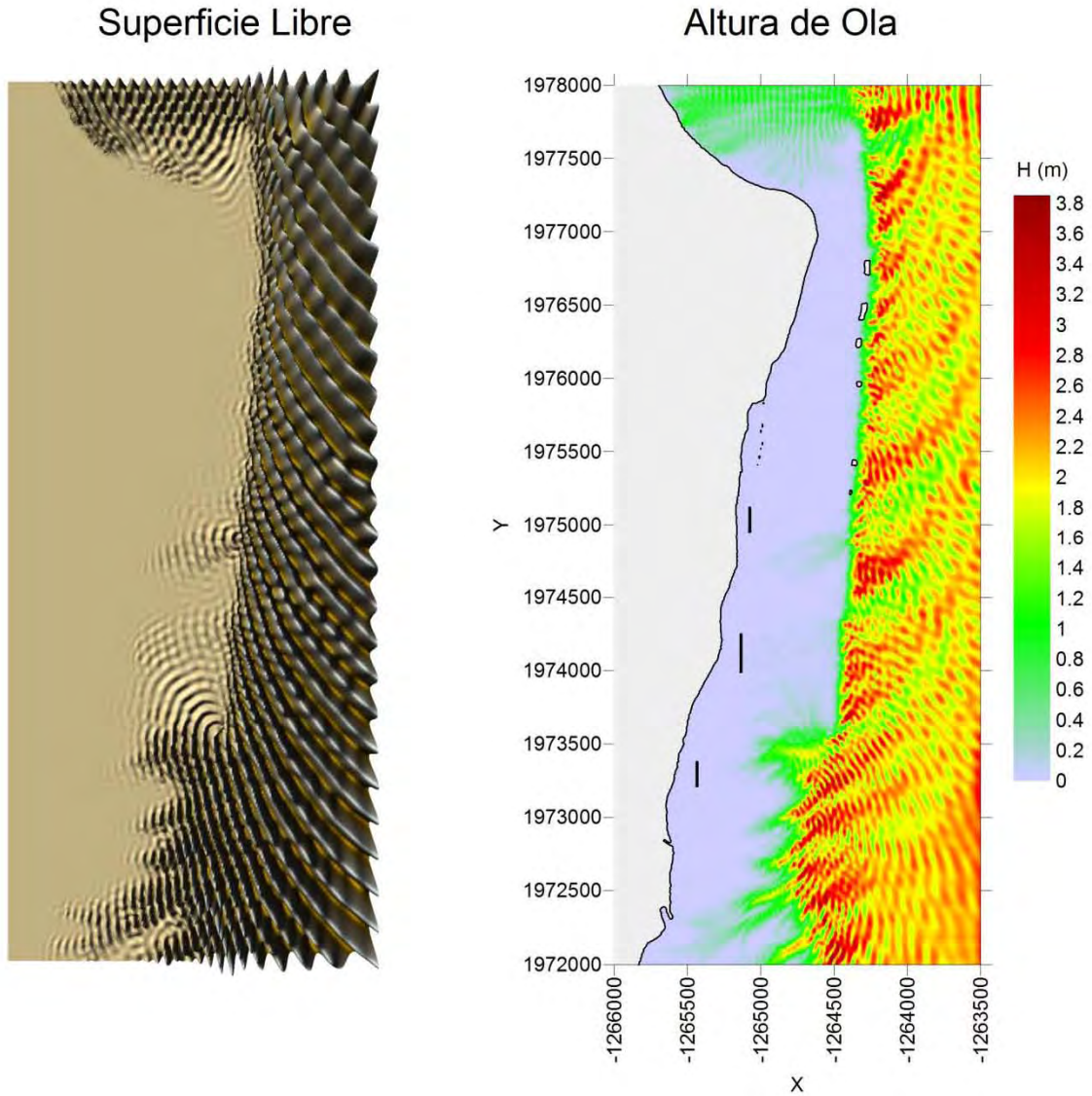
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



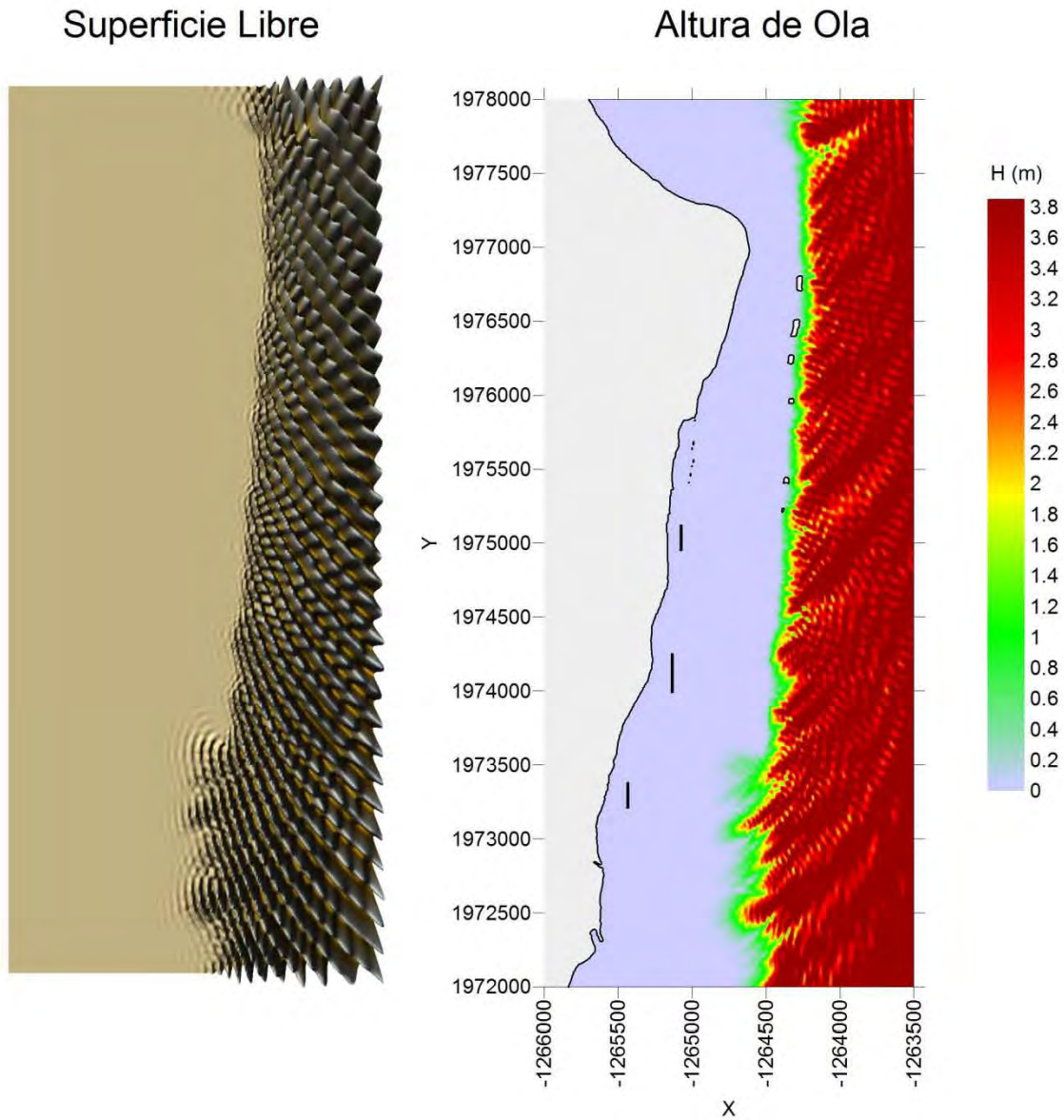
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



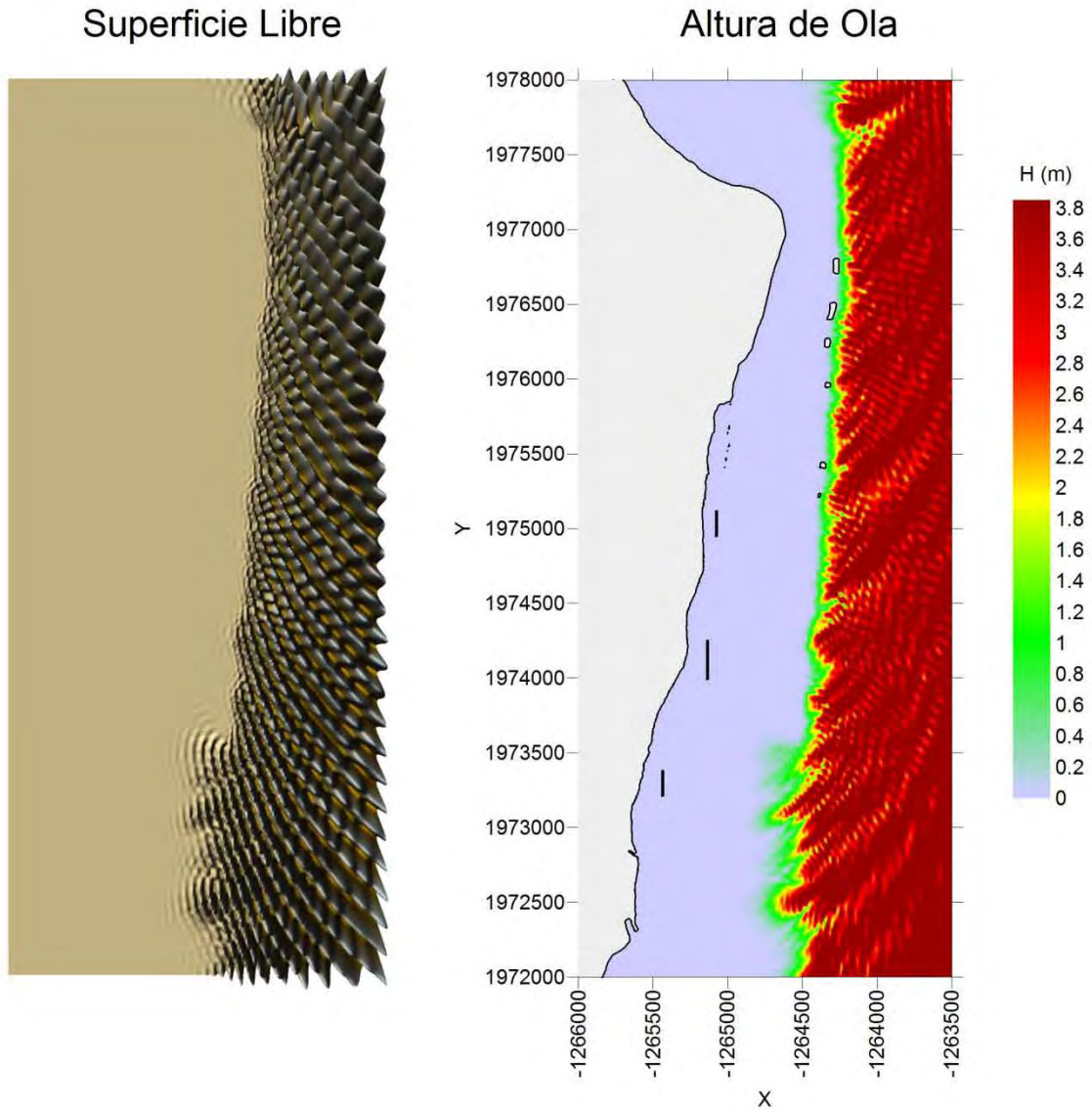
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



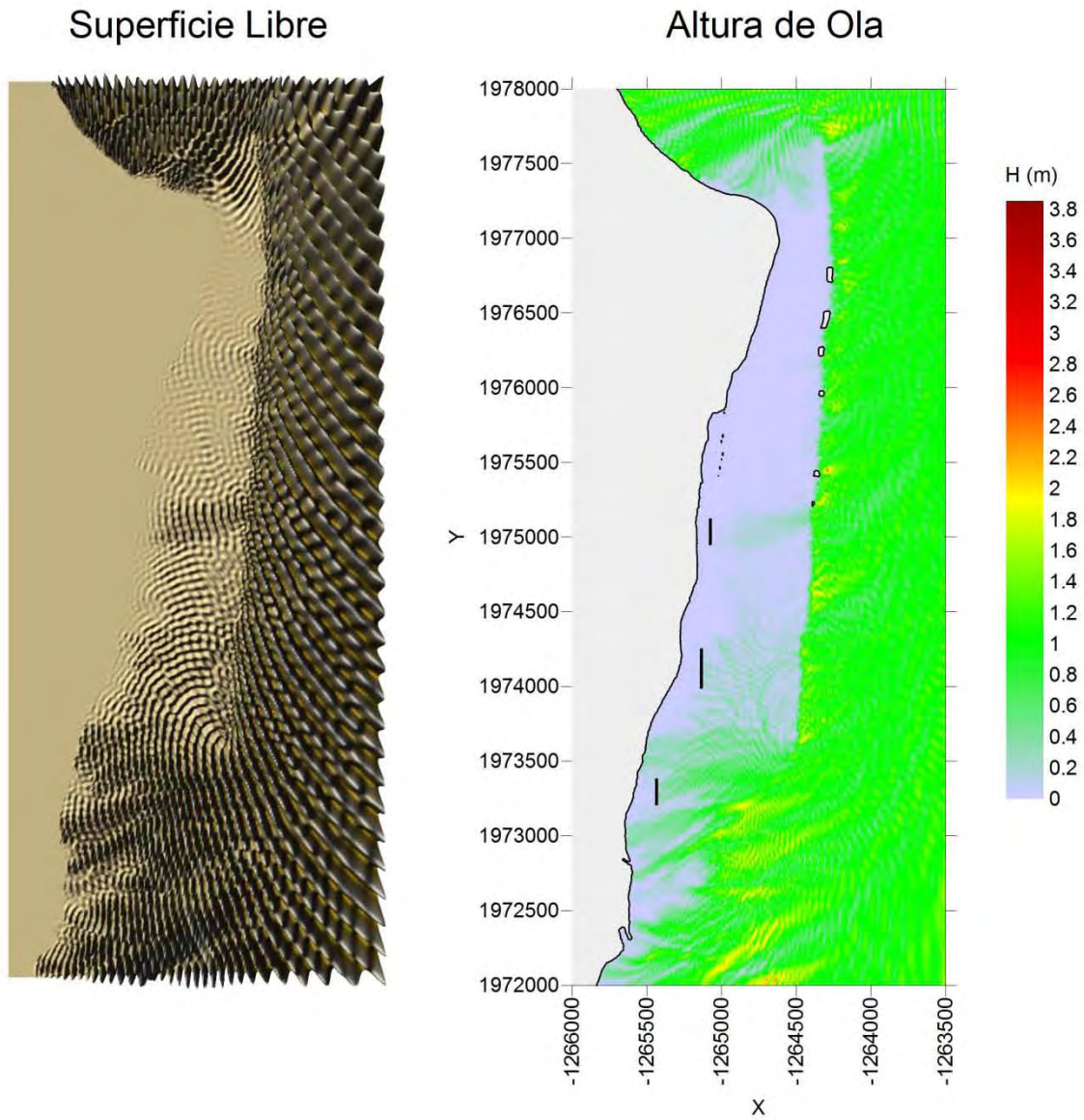
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



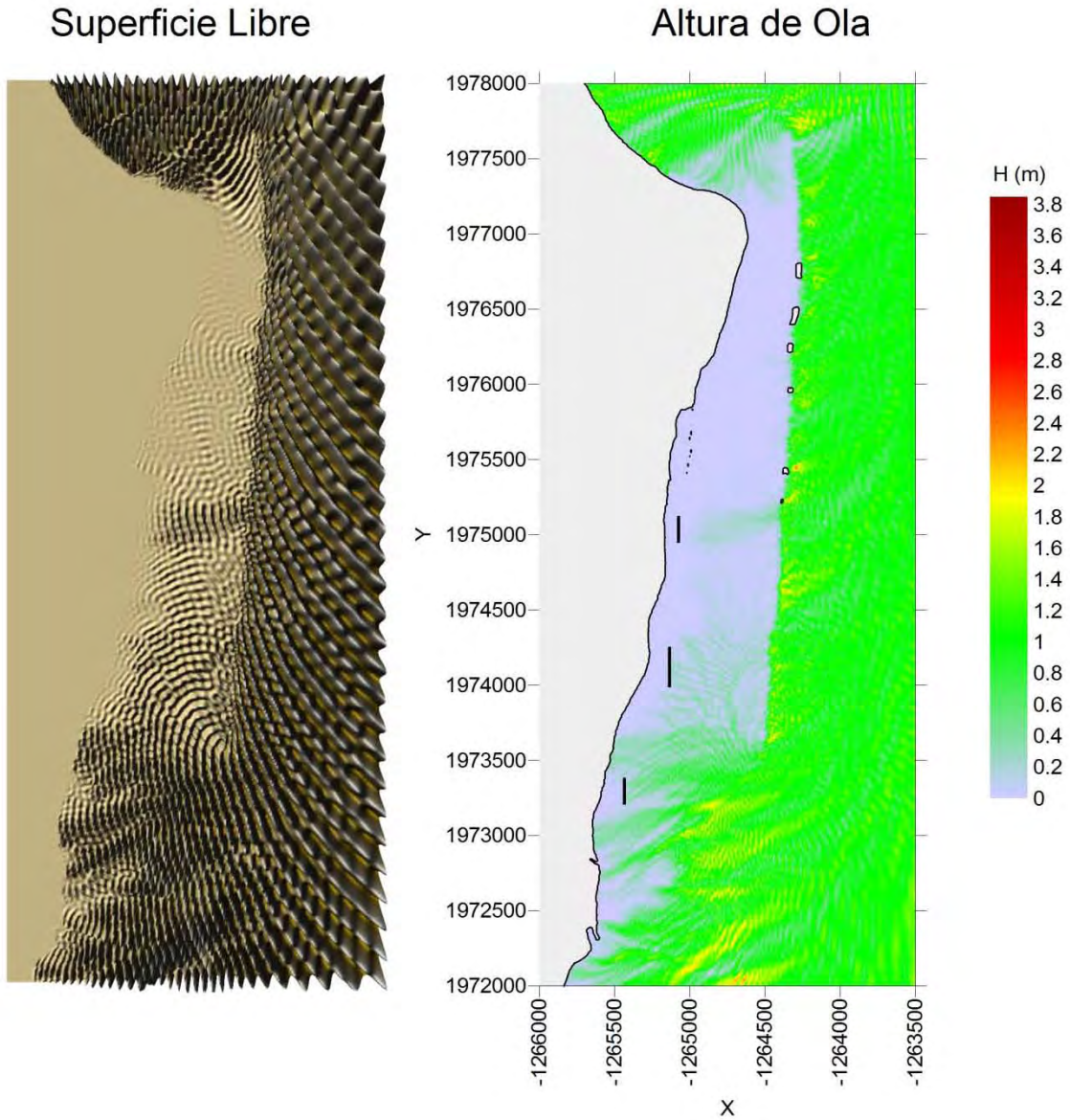
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

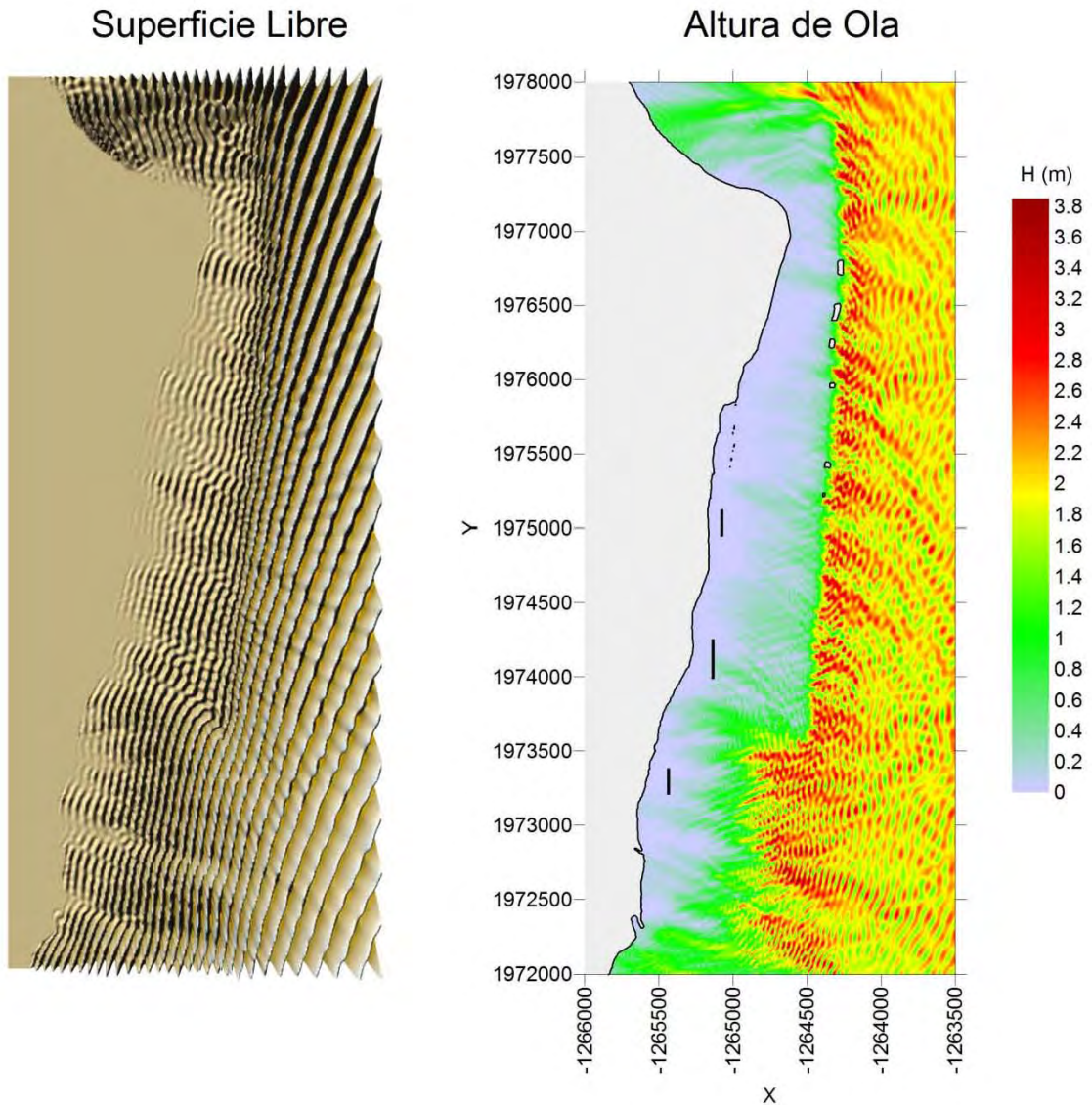
H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

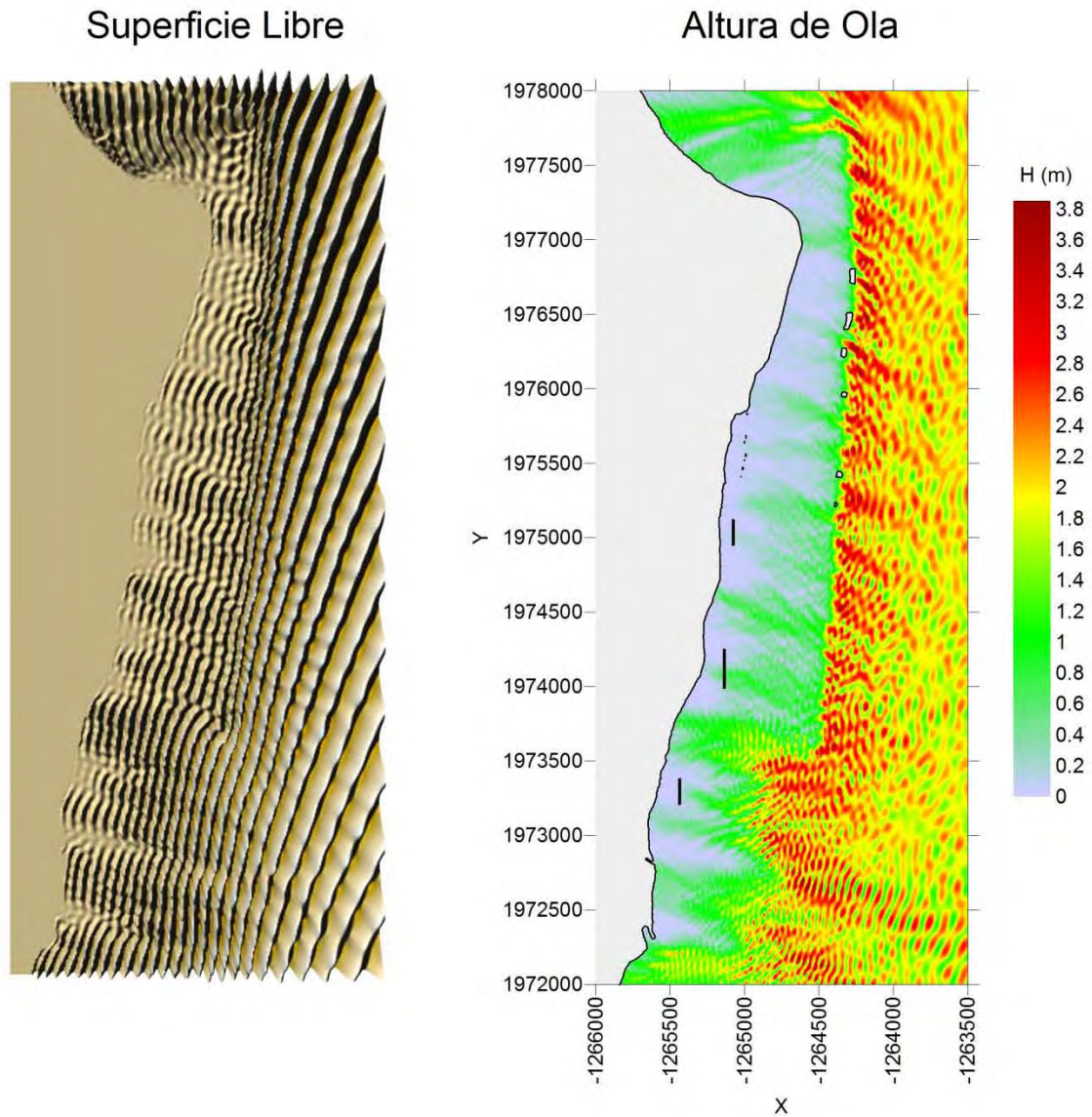
Sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta

$H = 2$ (m), $\theta = -22.5^\circ$, $S = 2$ (m), $T = 10$ (s)



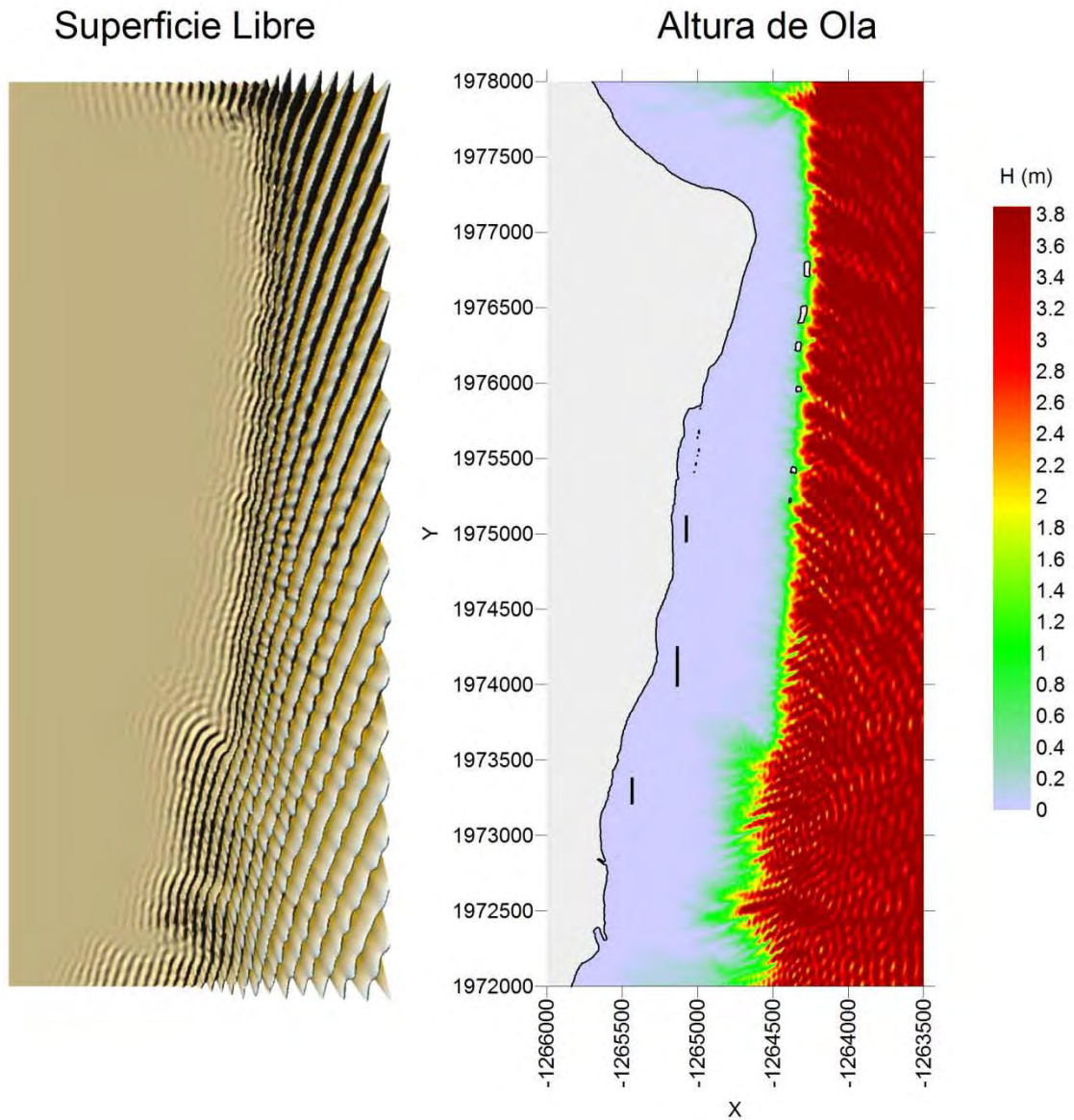
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



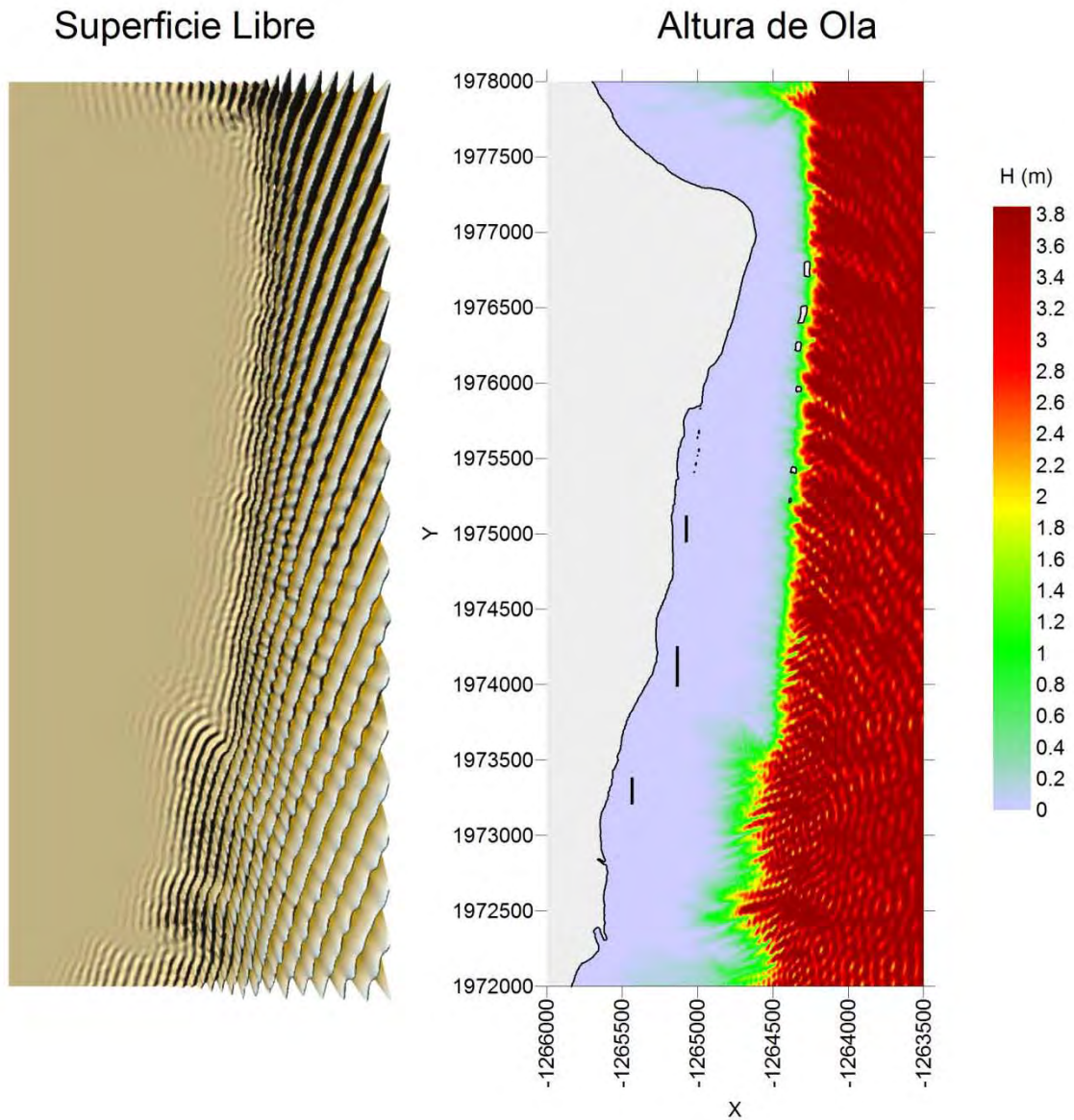
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



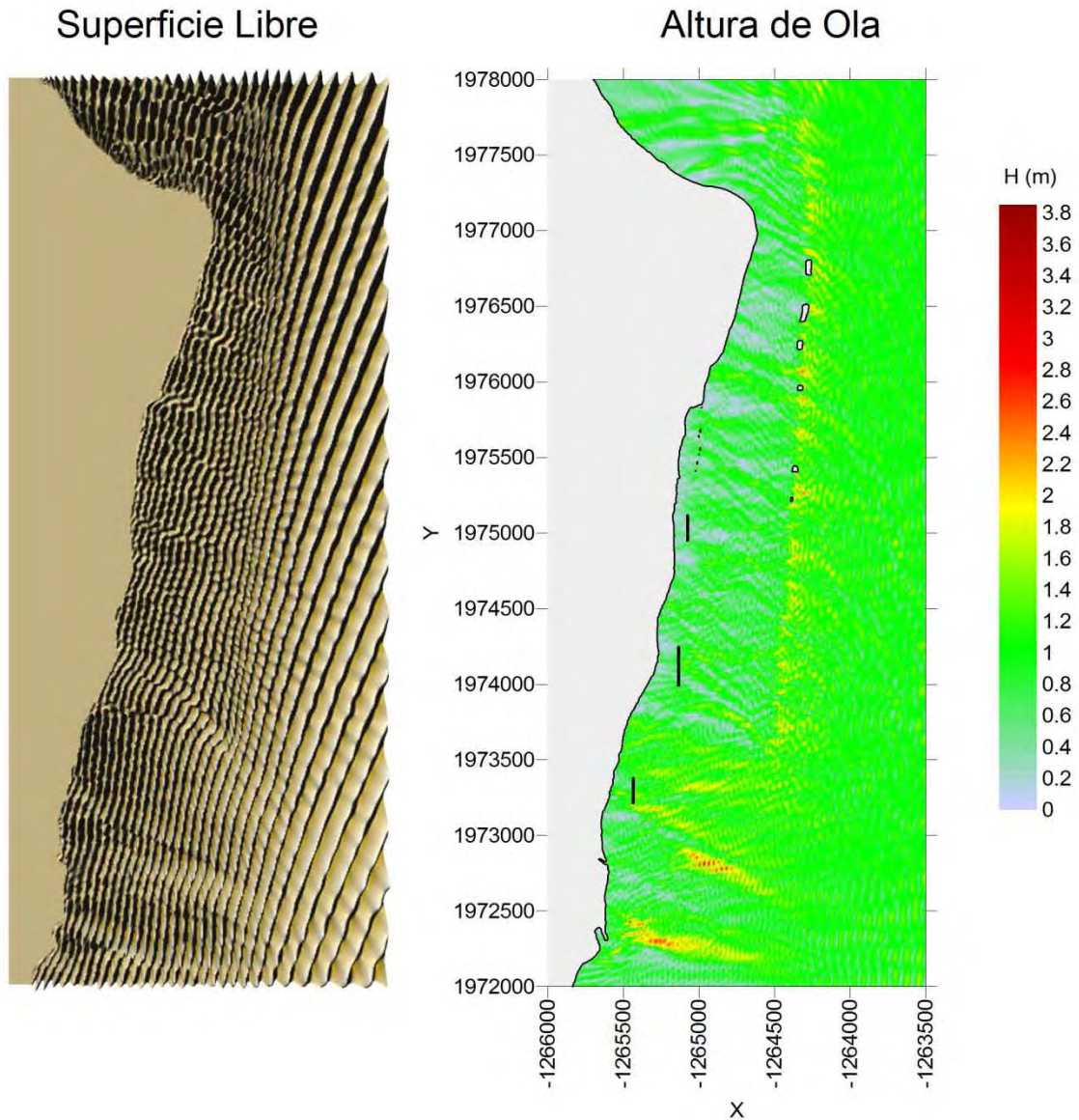
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



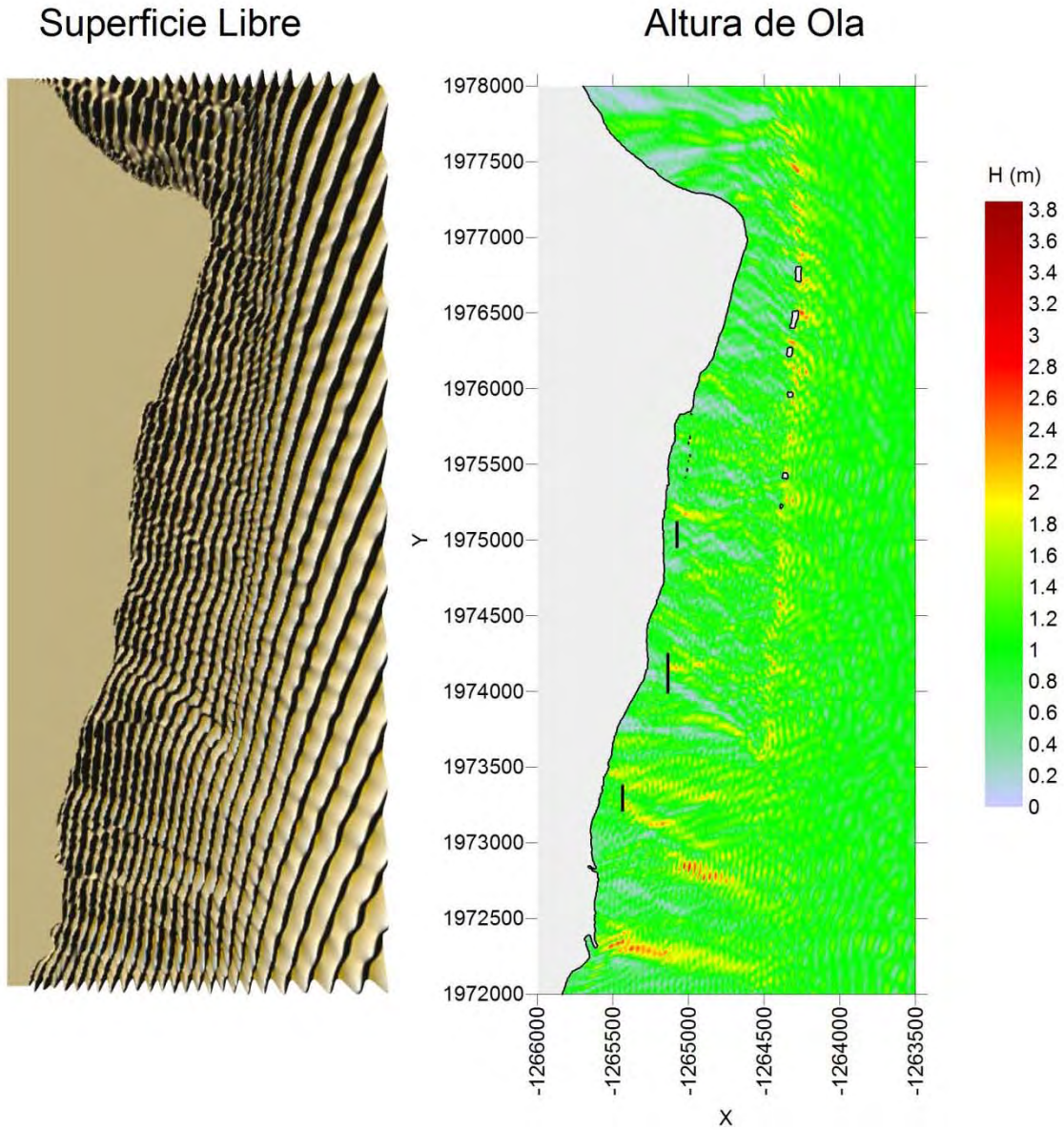
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



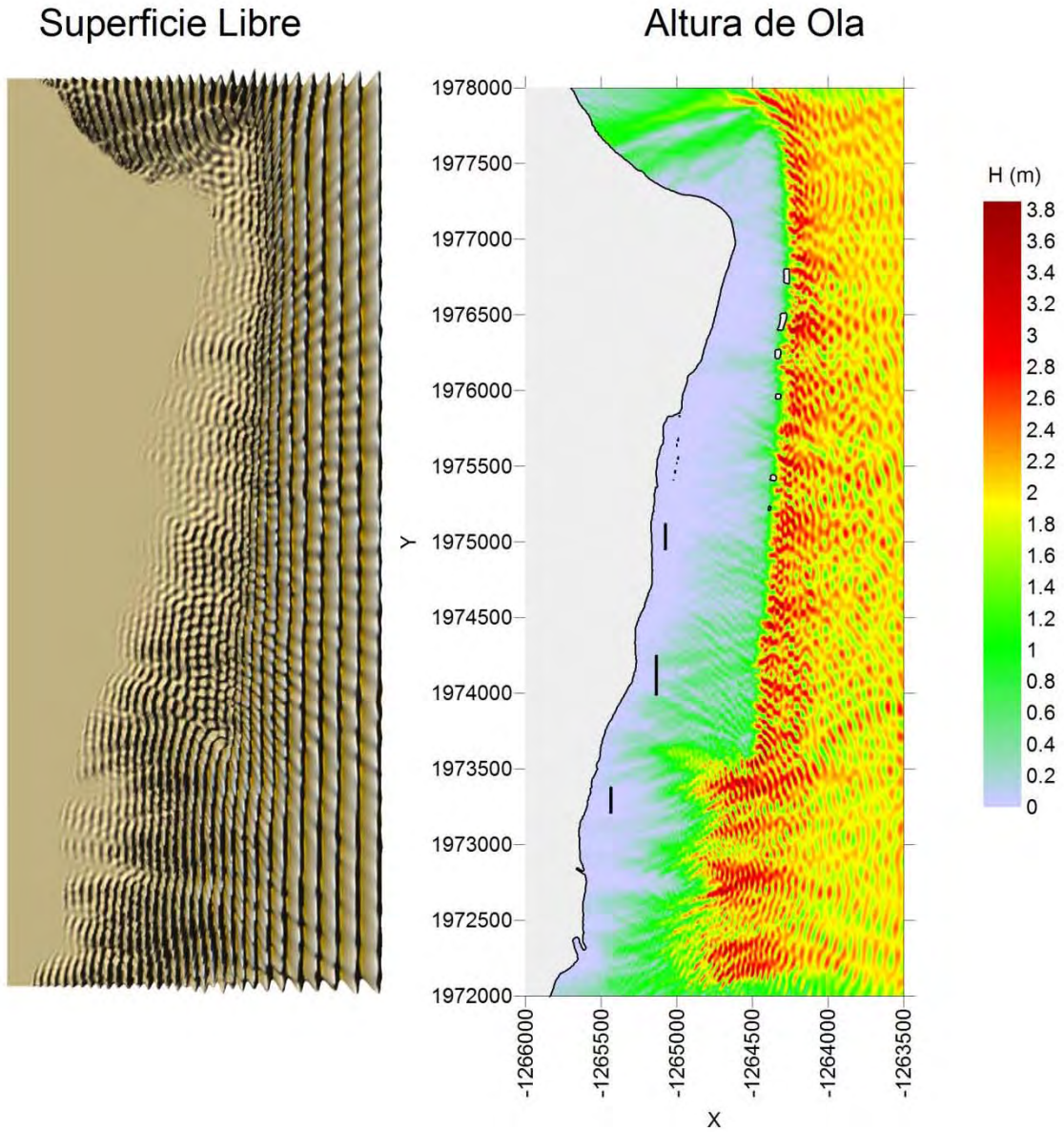
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



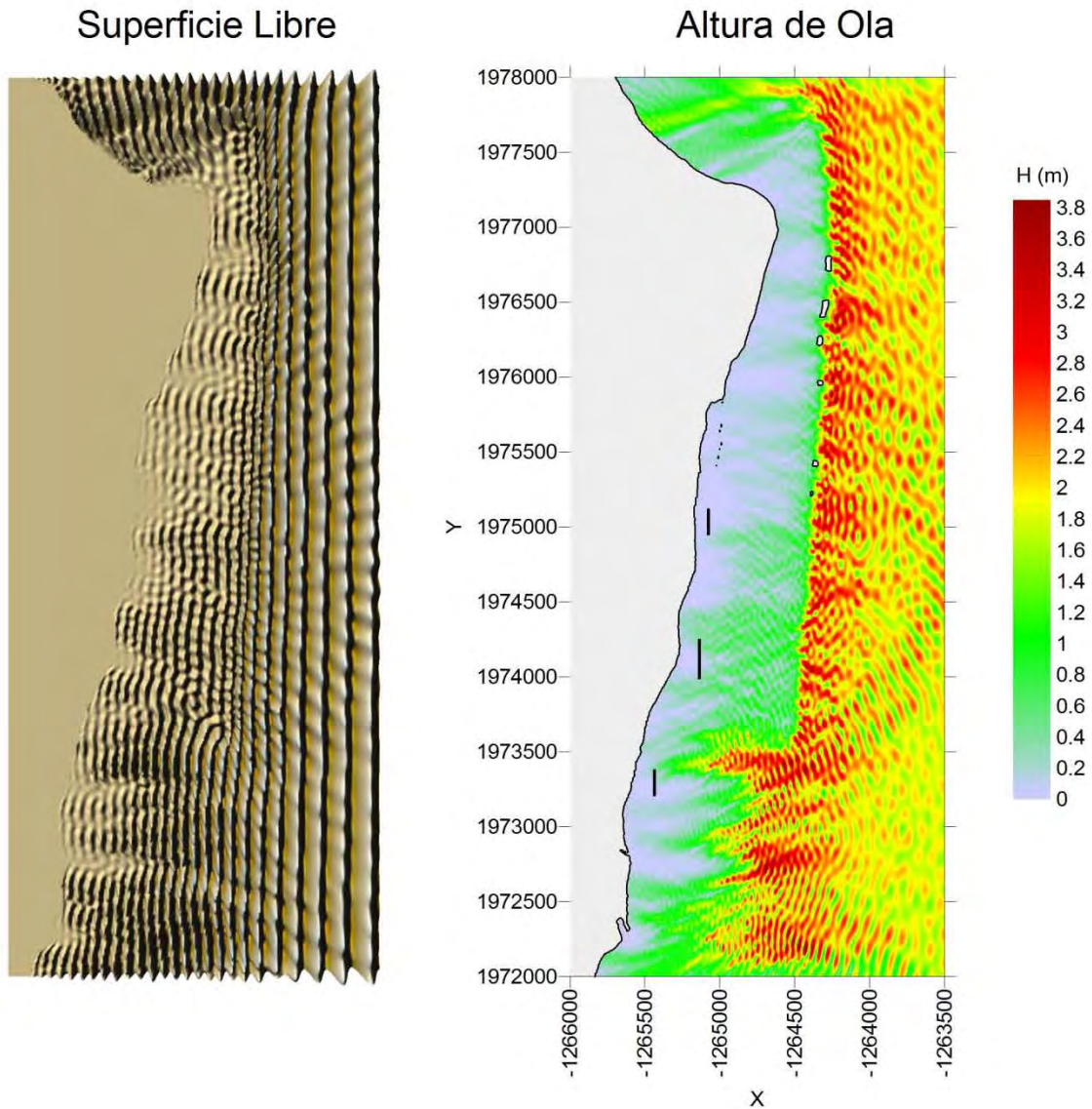
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



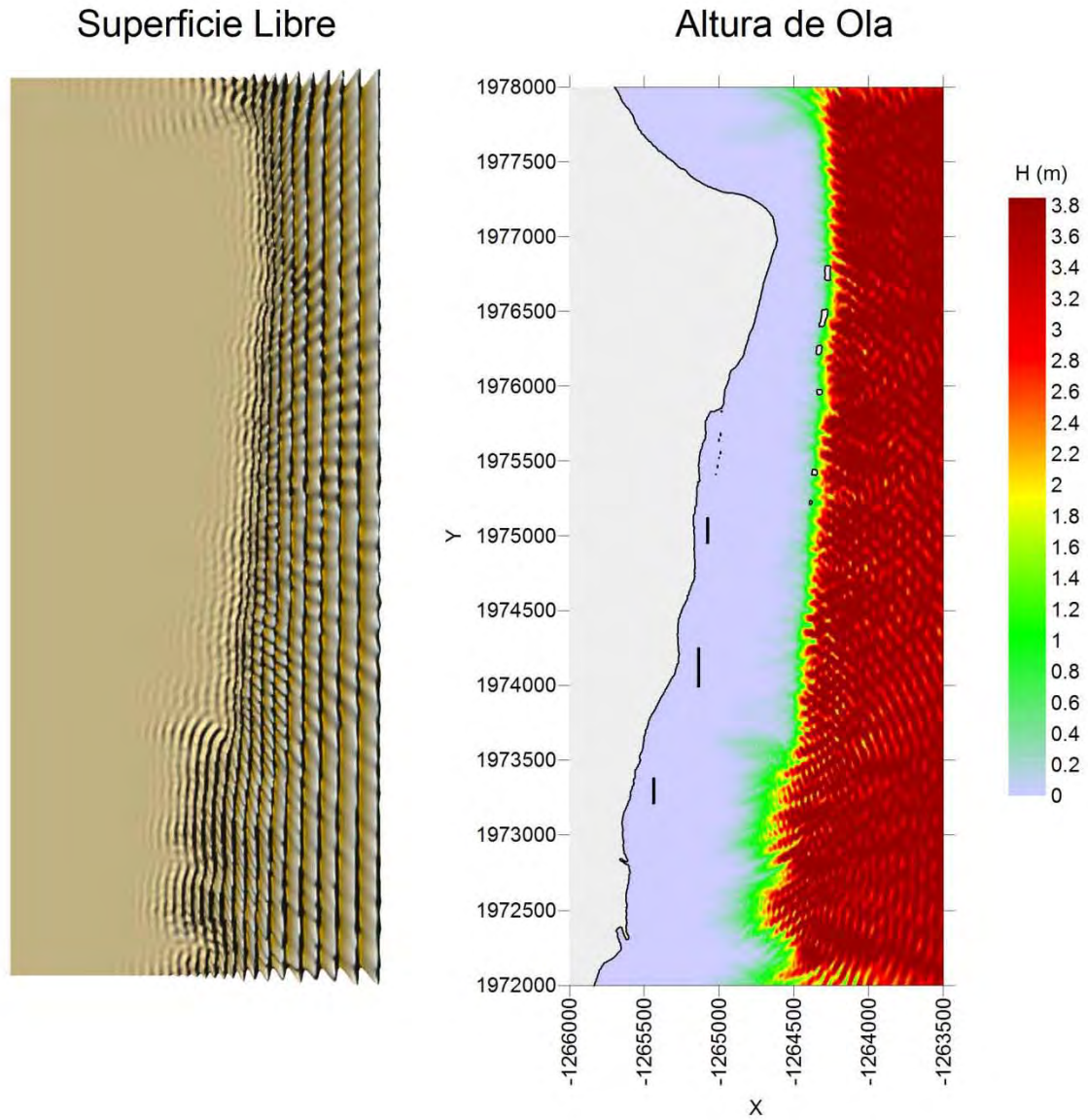
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



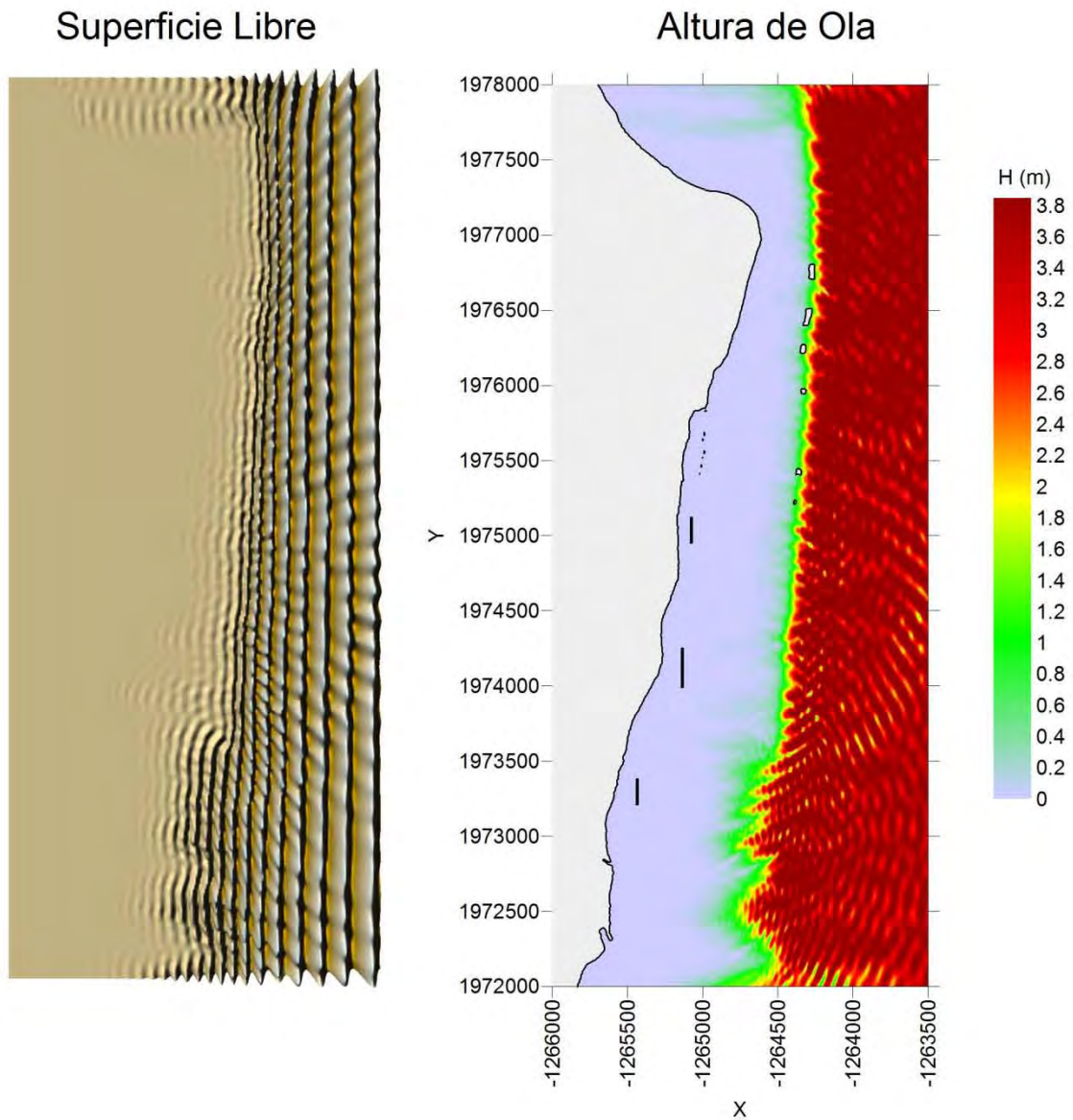
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



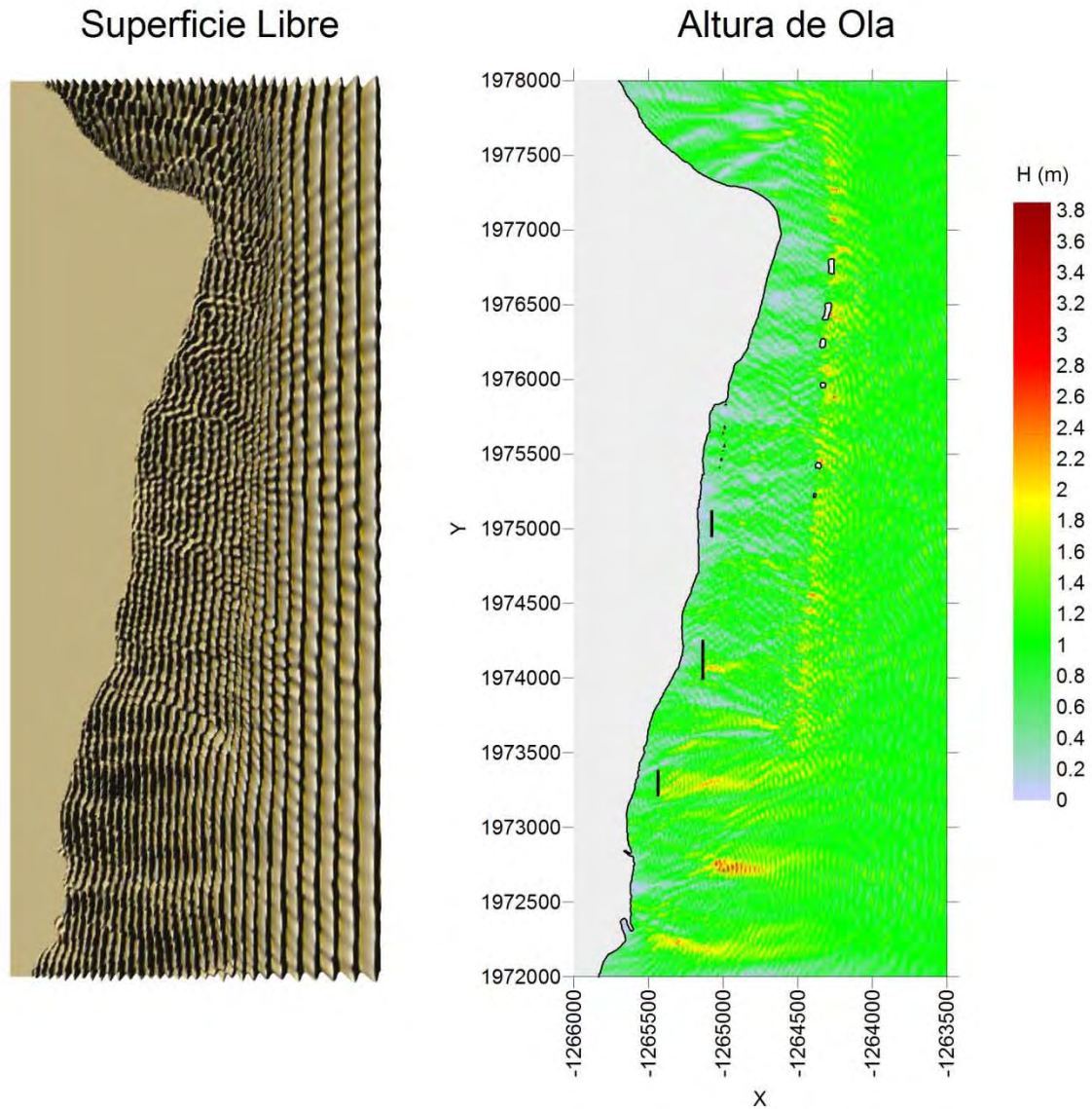
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



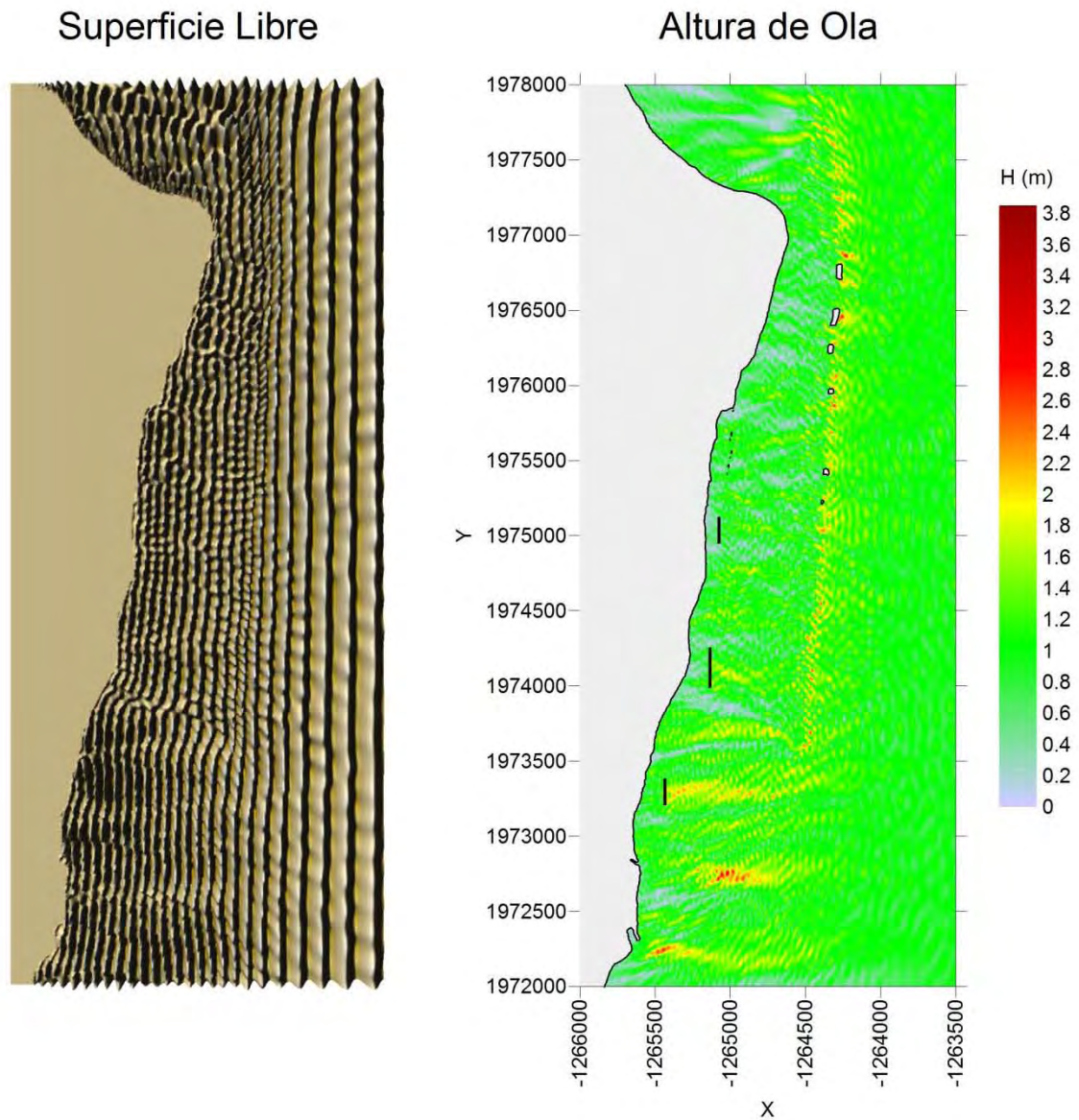
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



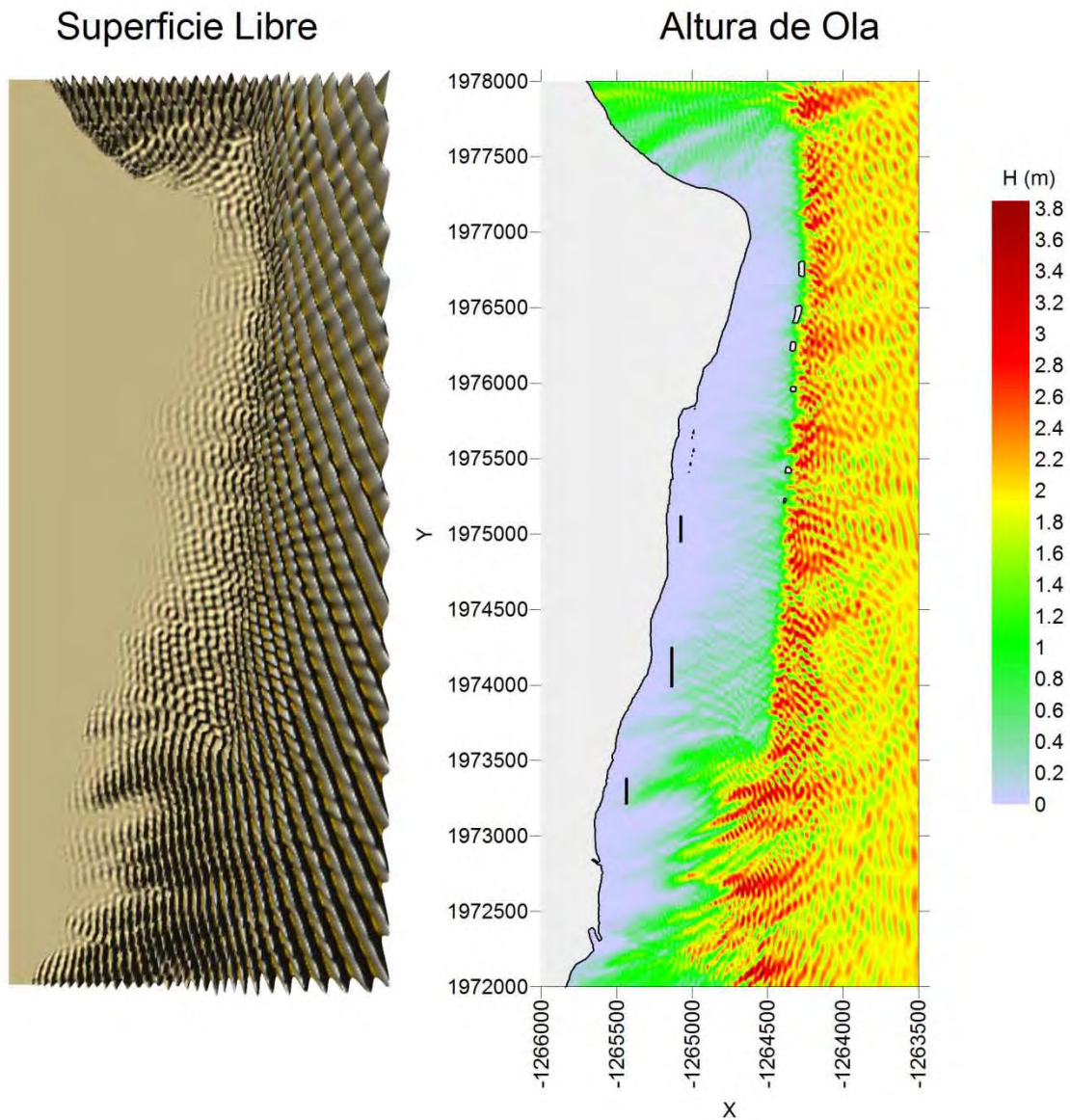
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



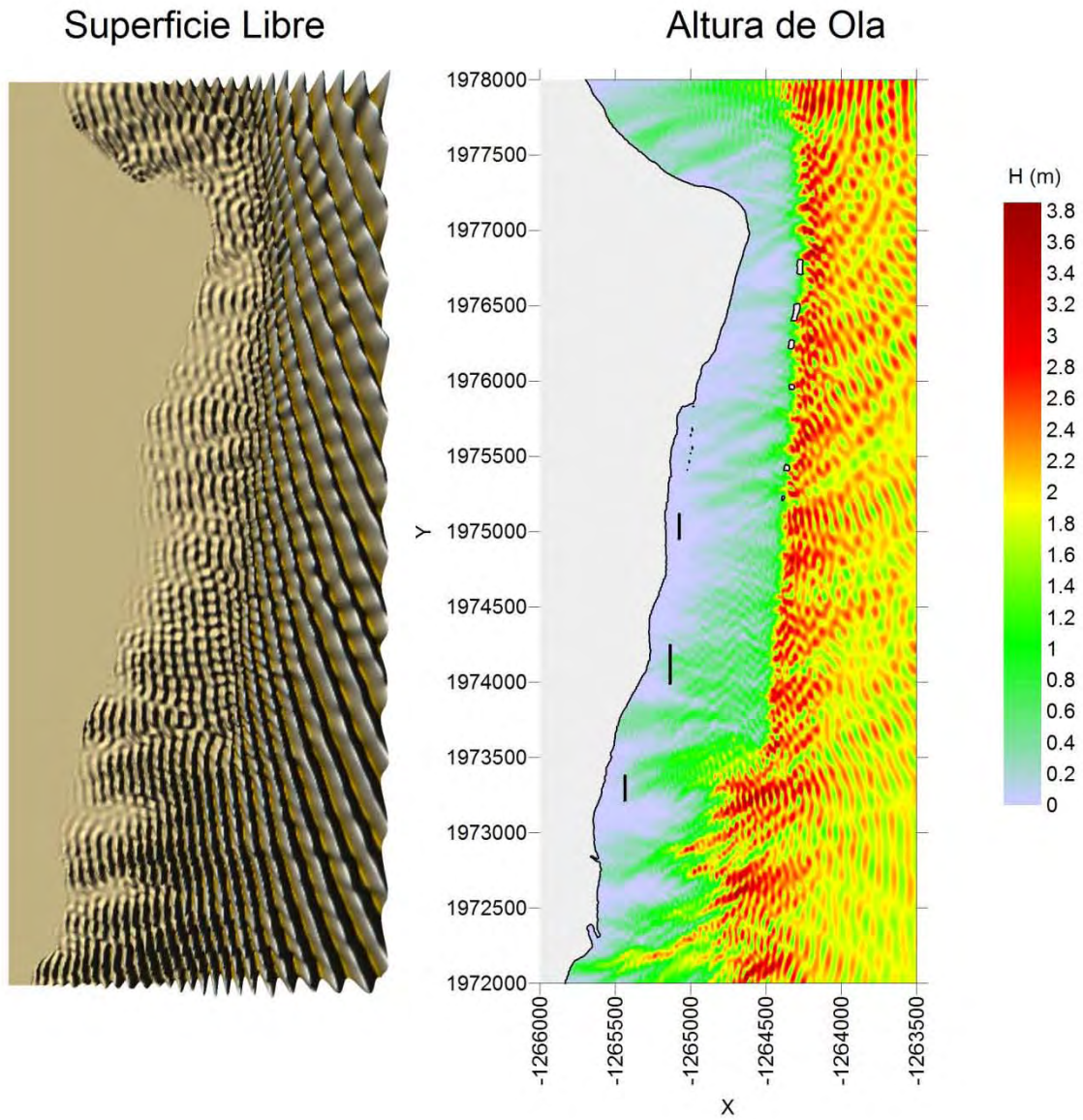
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



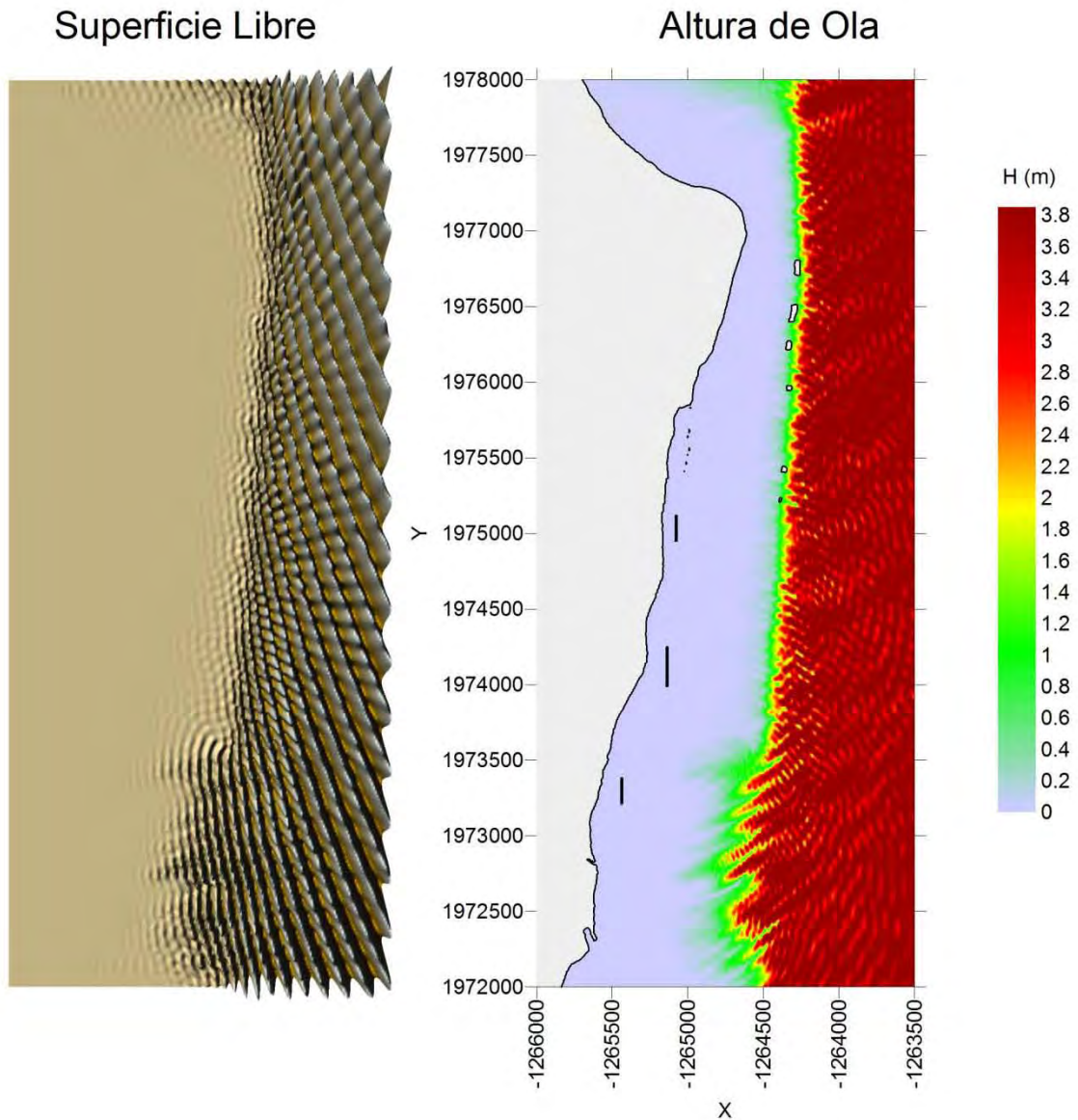
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S=2 (m), T= 12 (s)



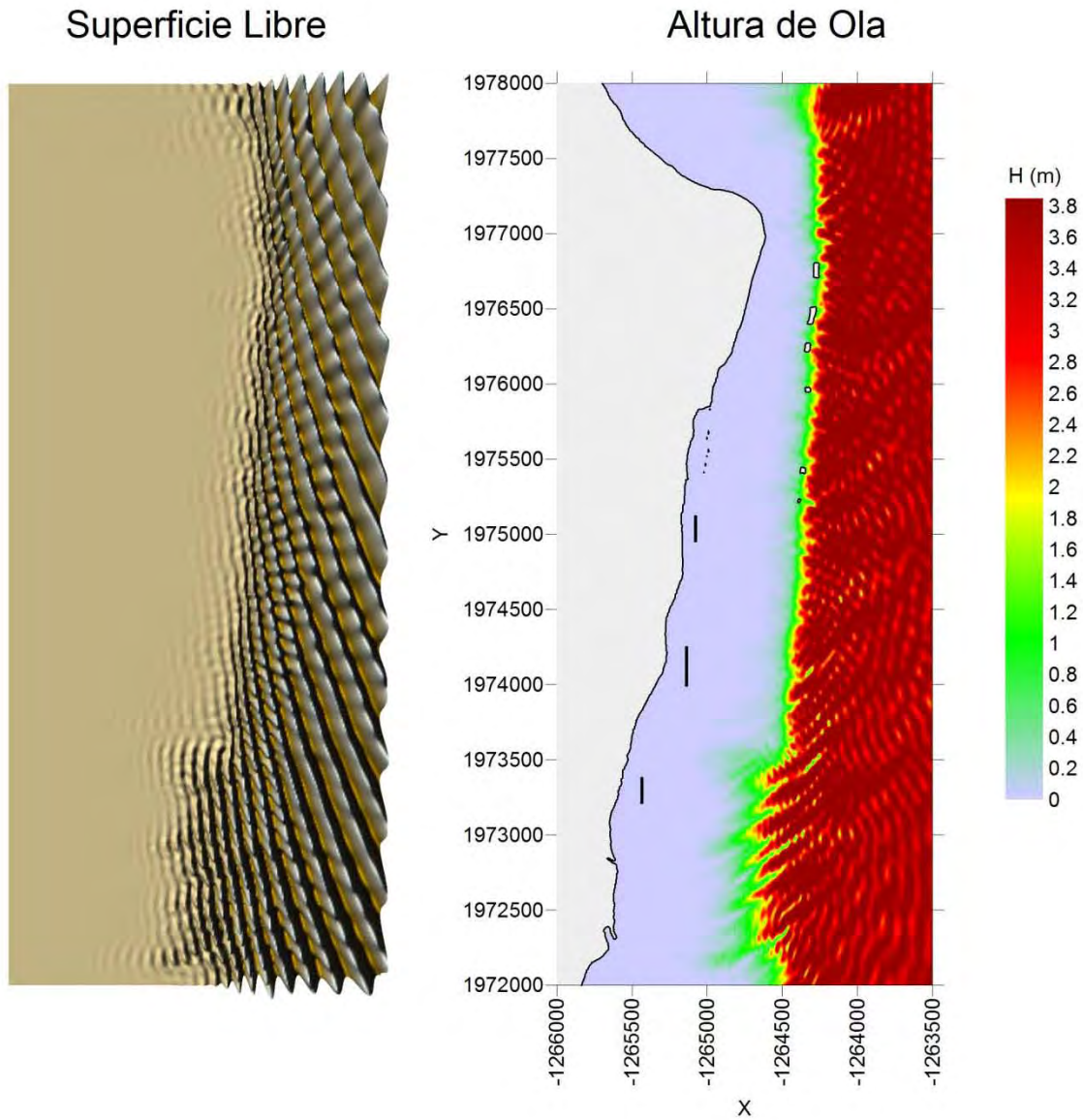
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



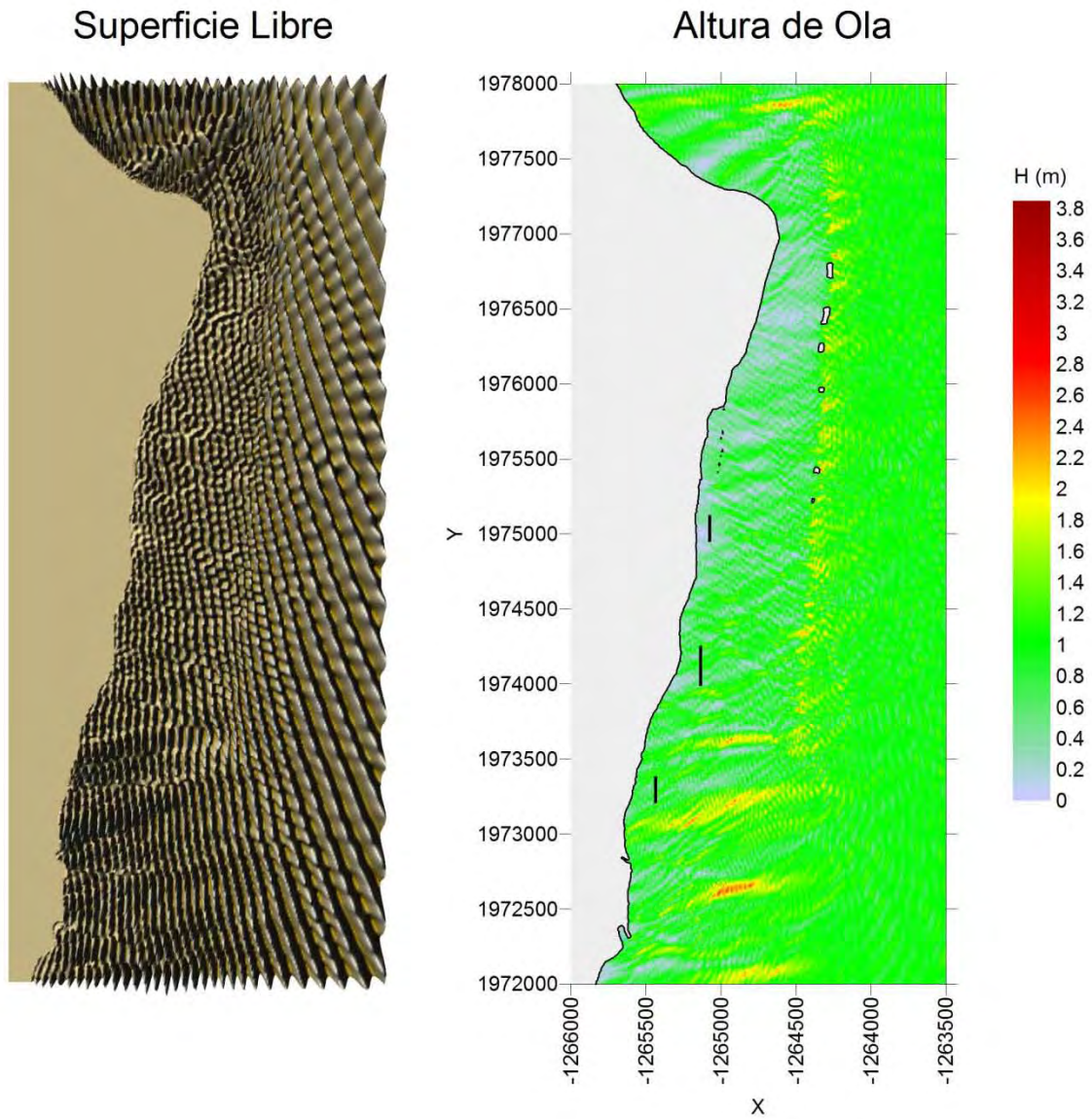
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



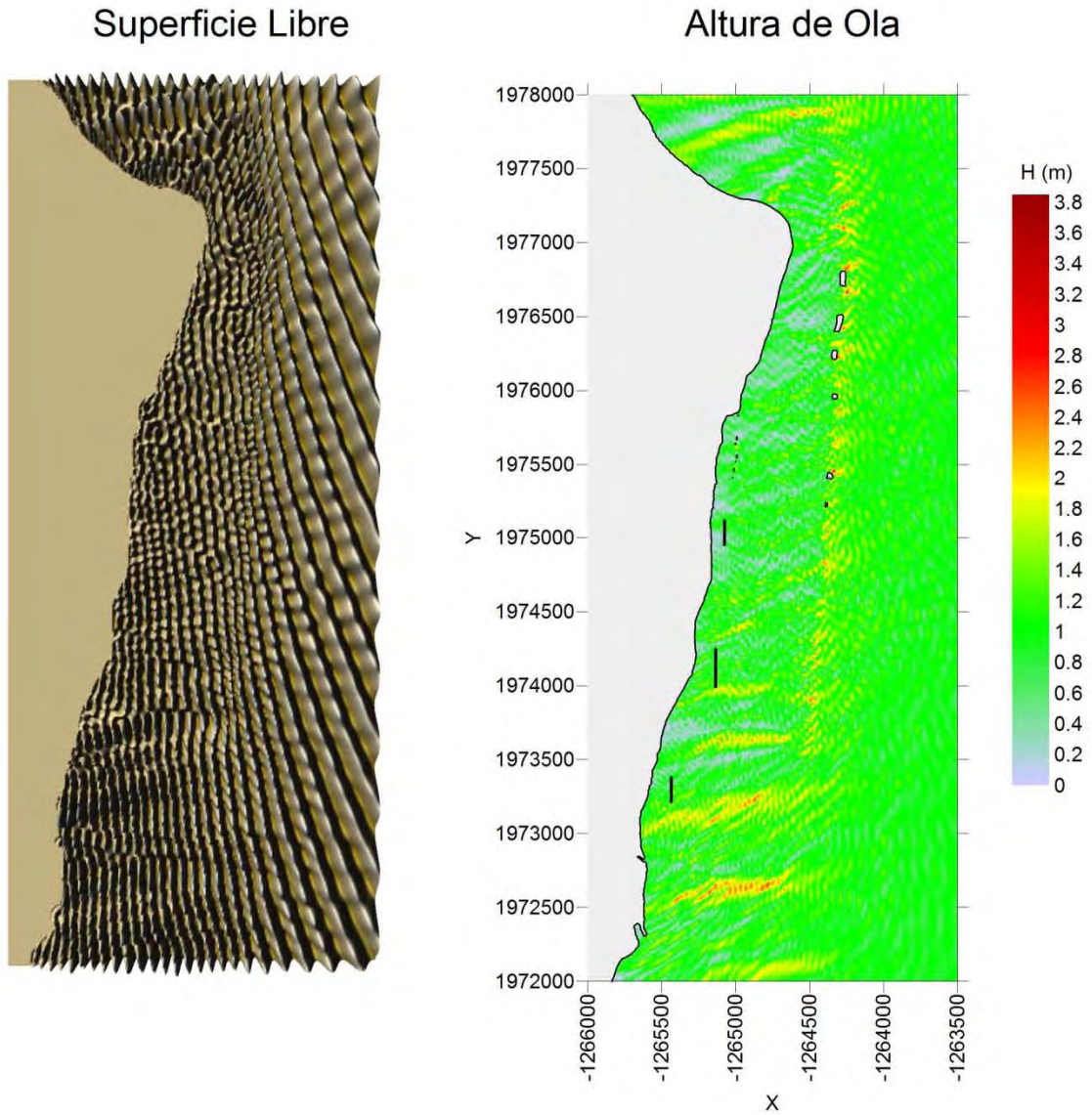
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



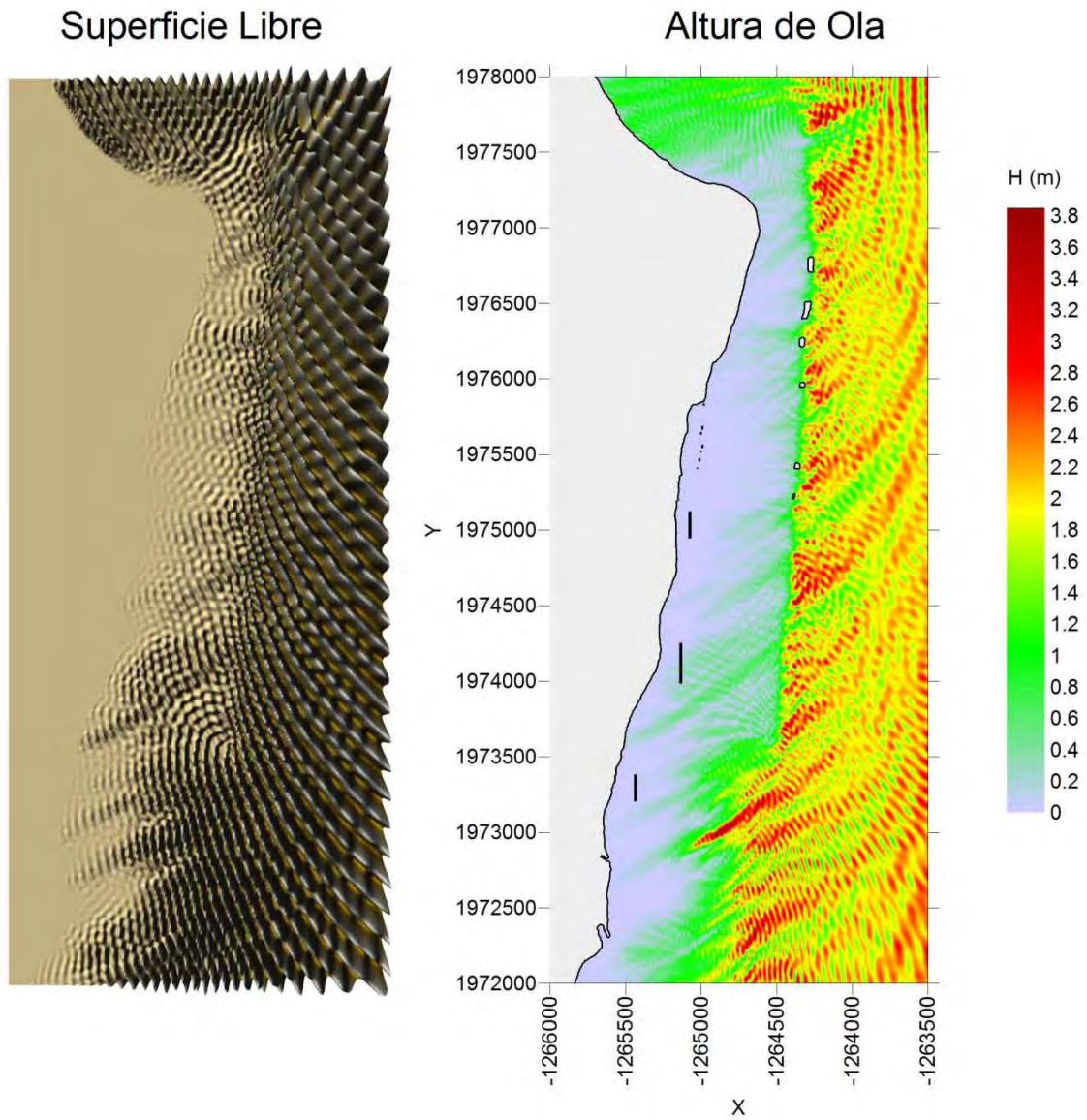
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



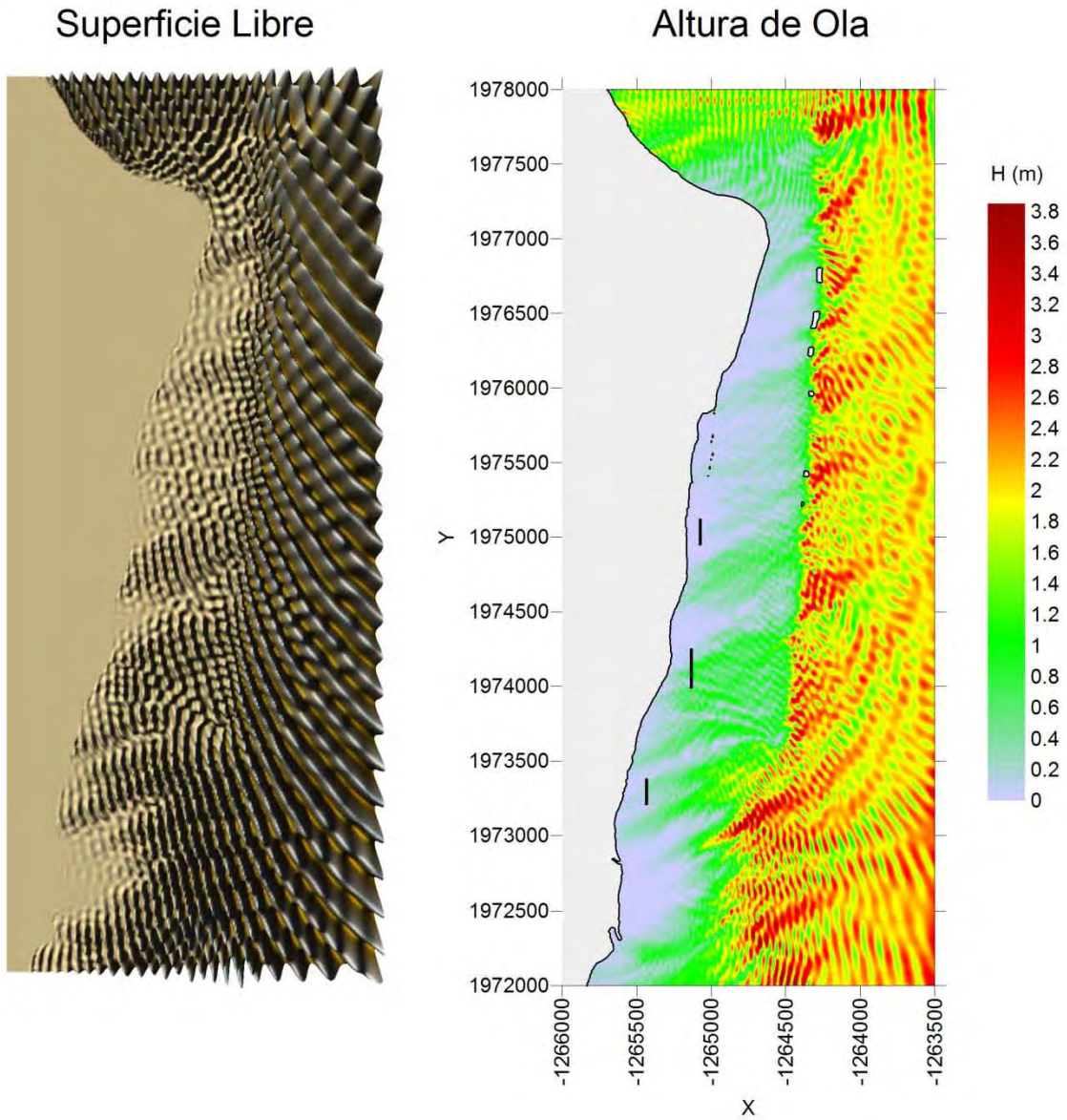
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



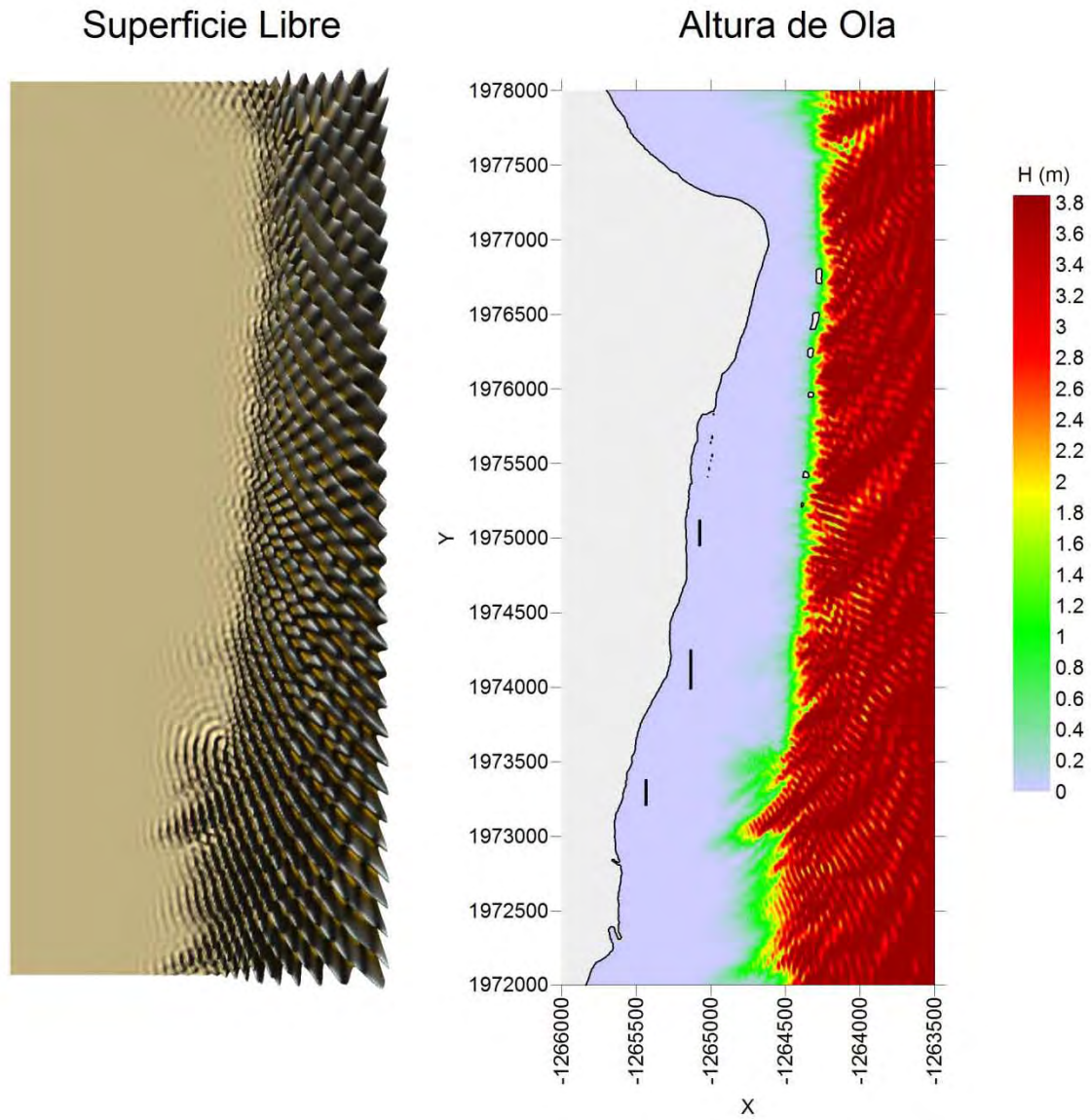
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



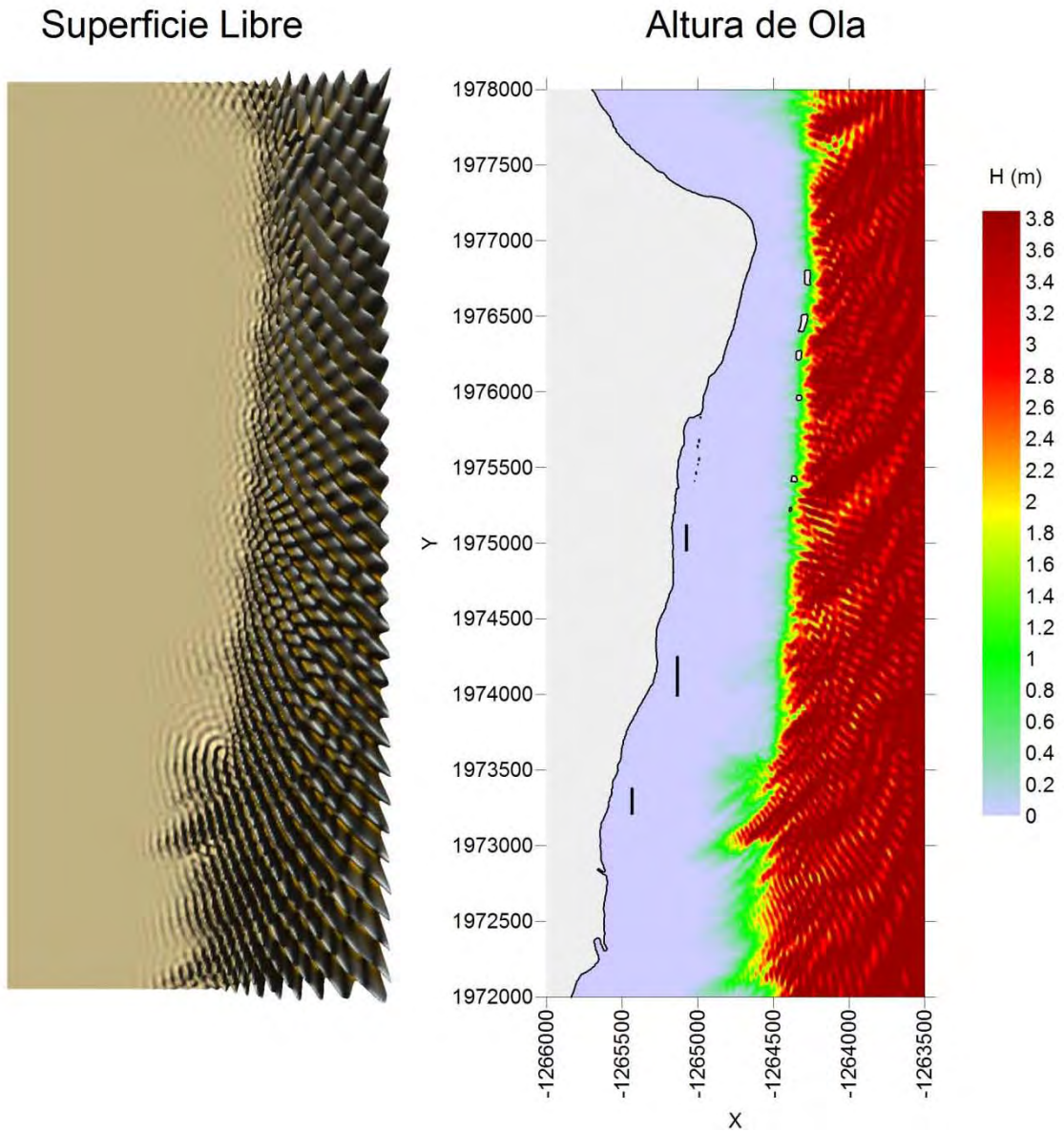
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



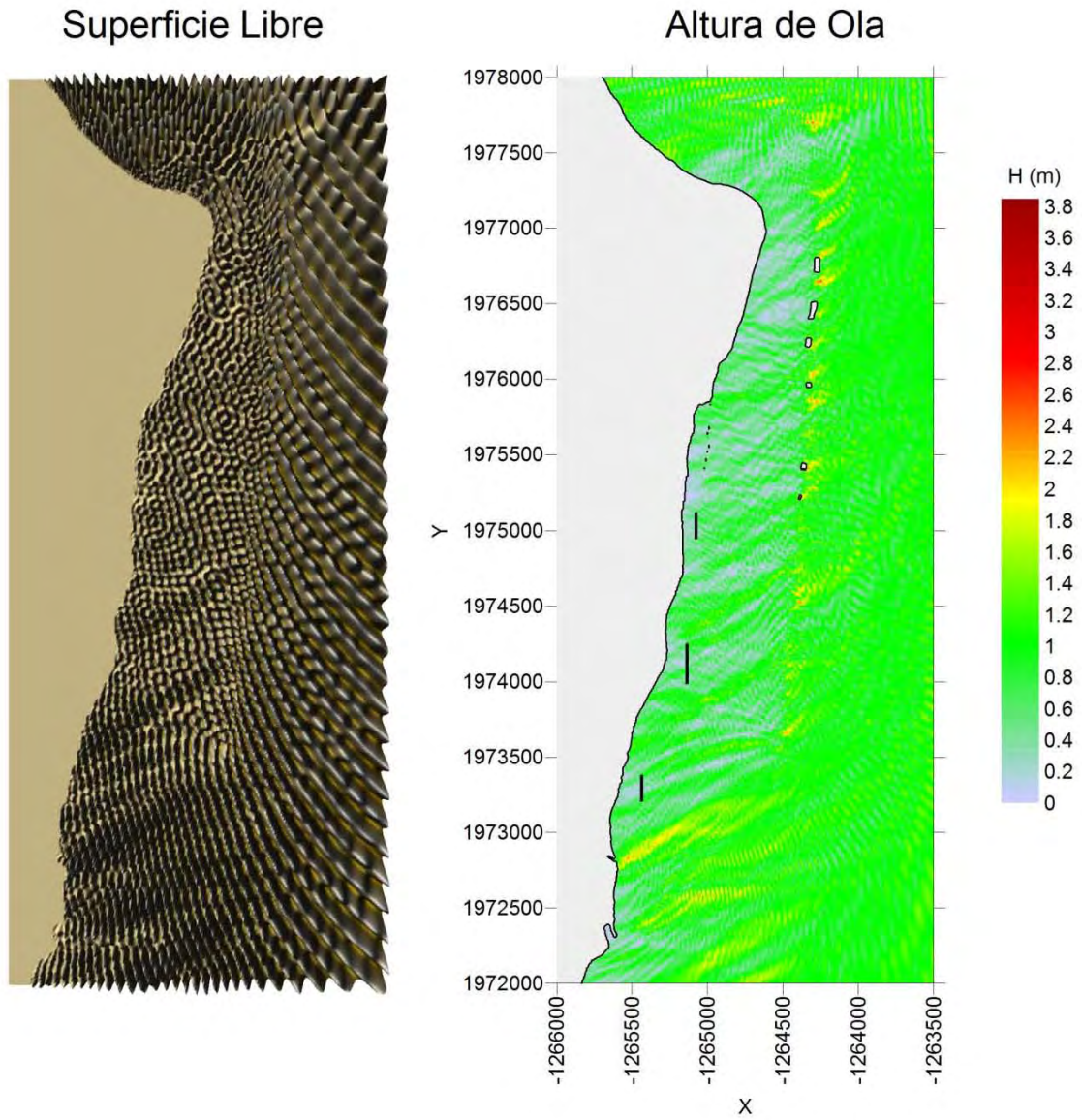
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



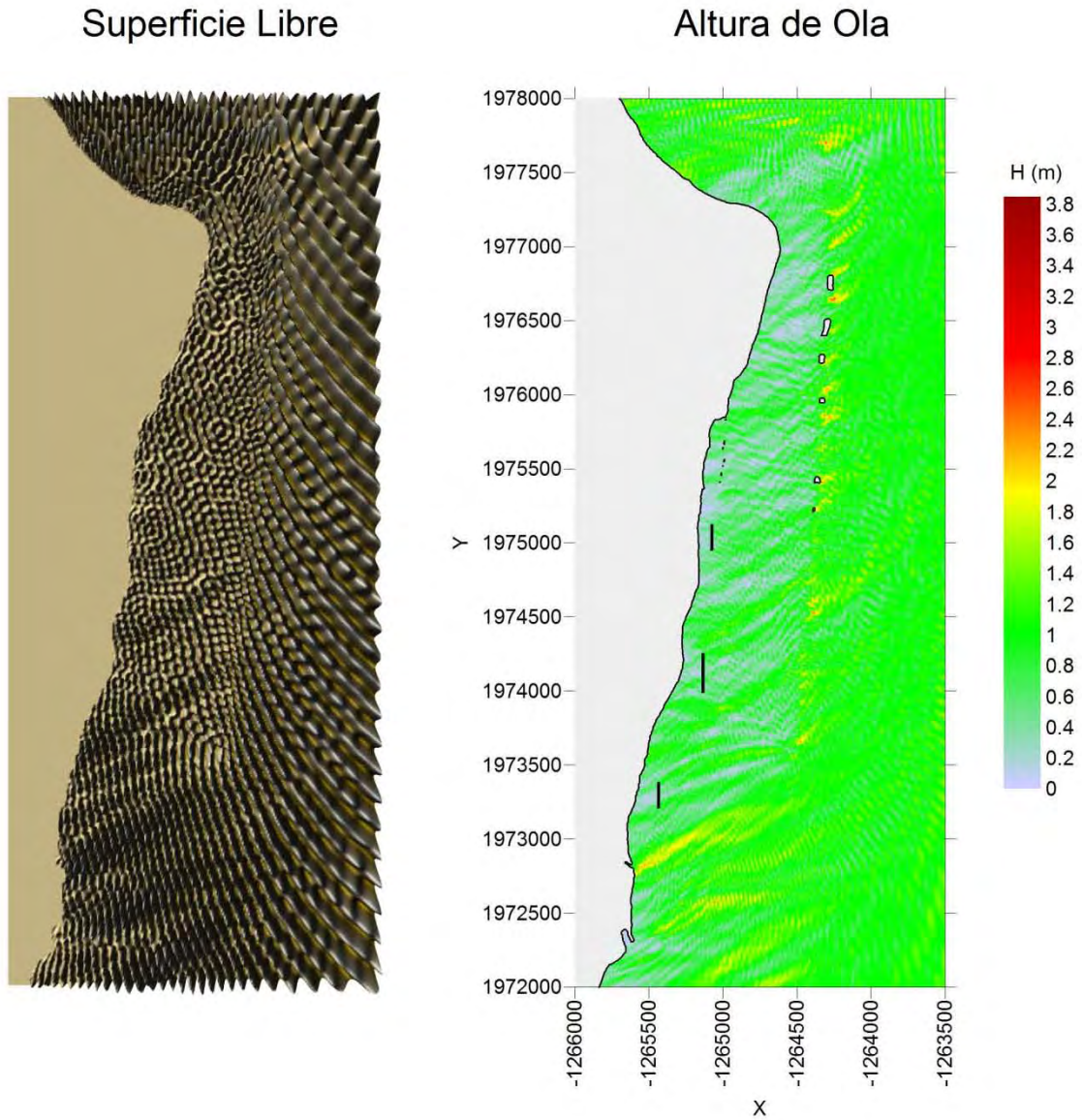
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)

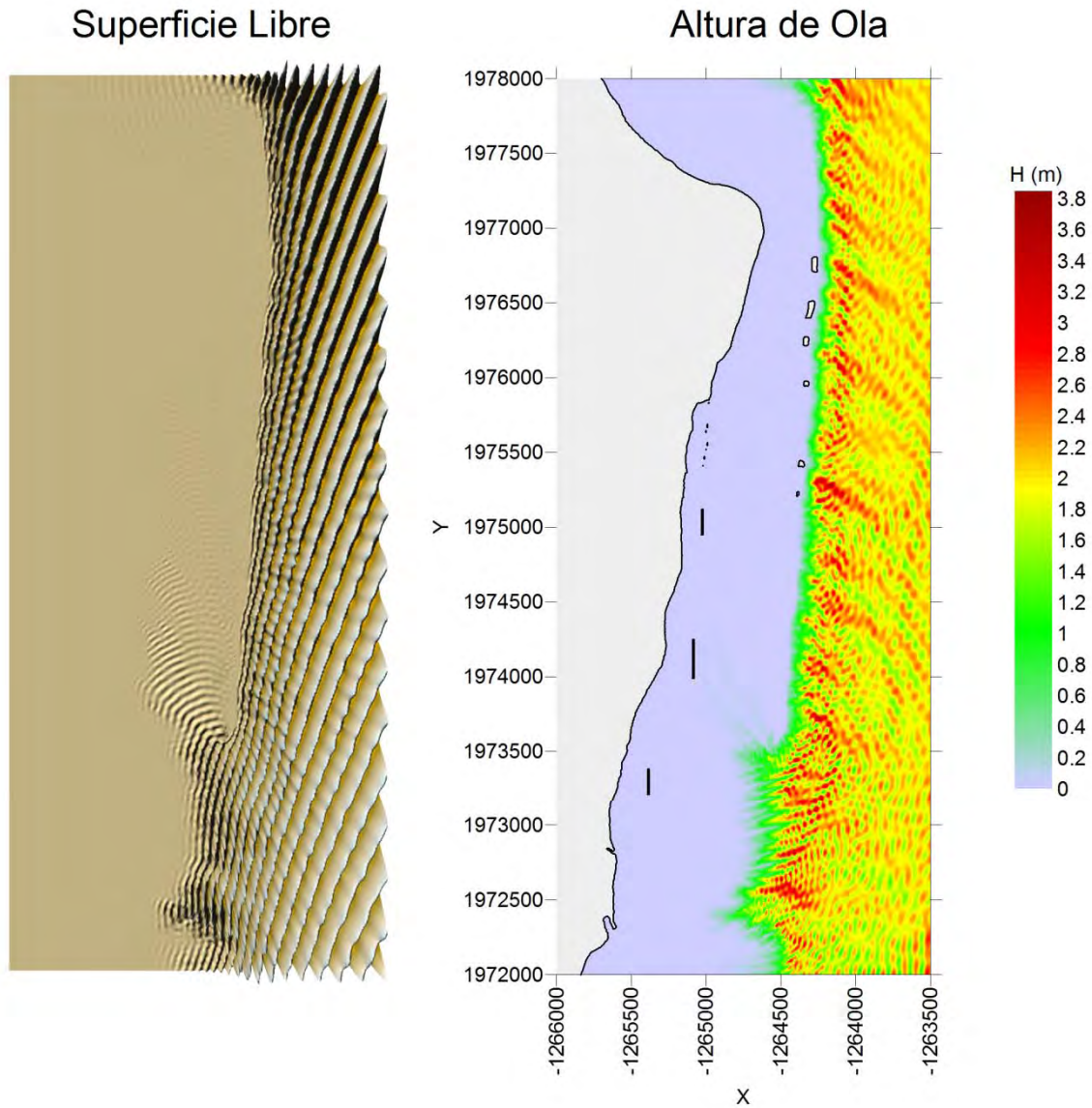


Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

Escenario 2

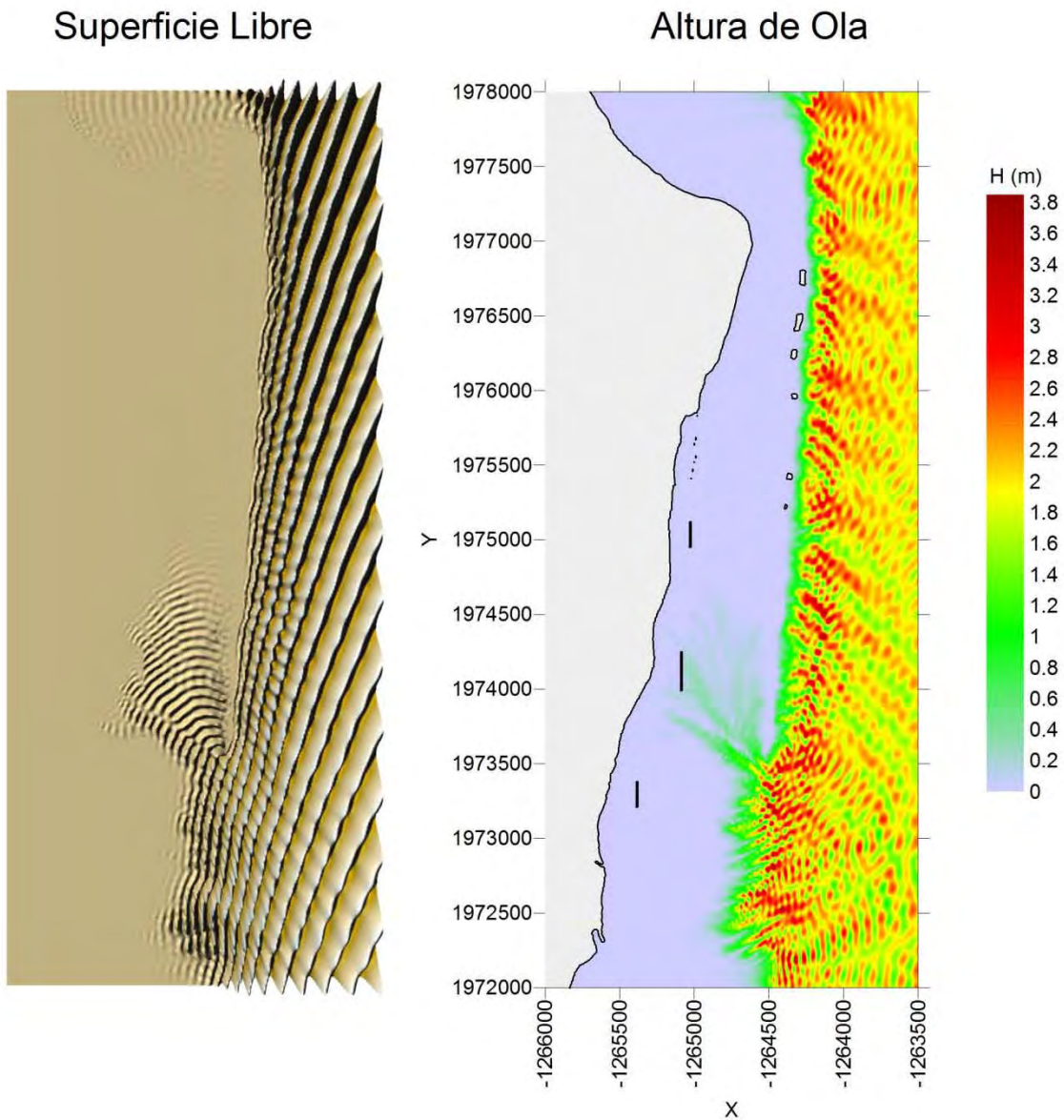
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



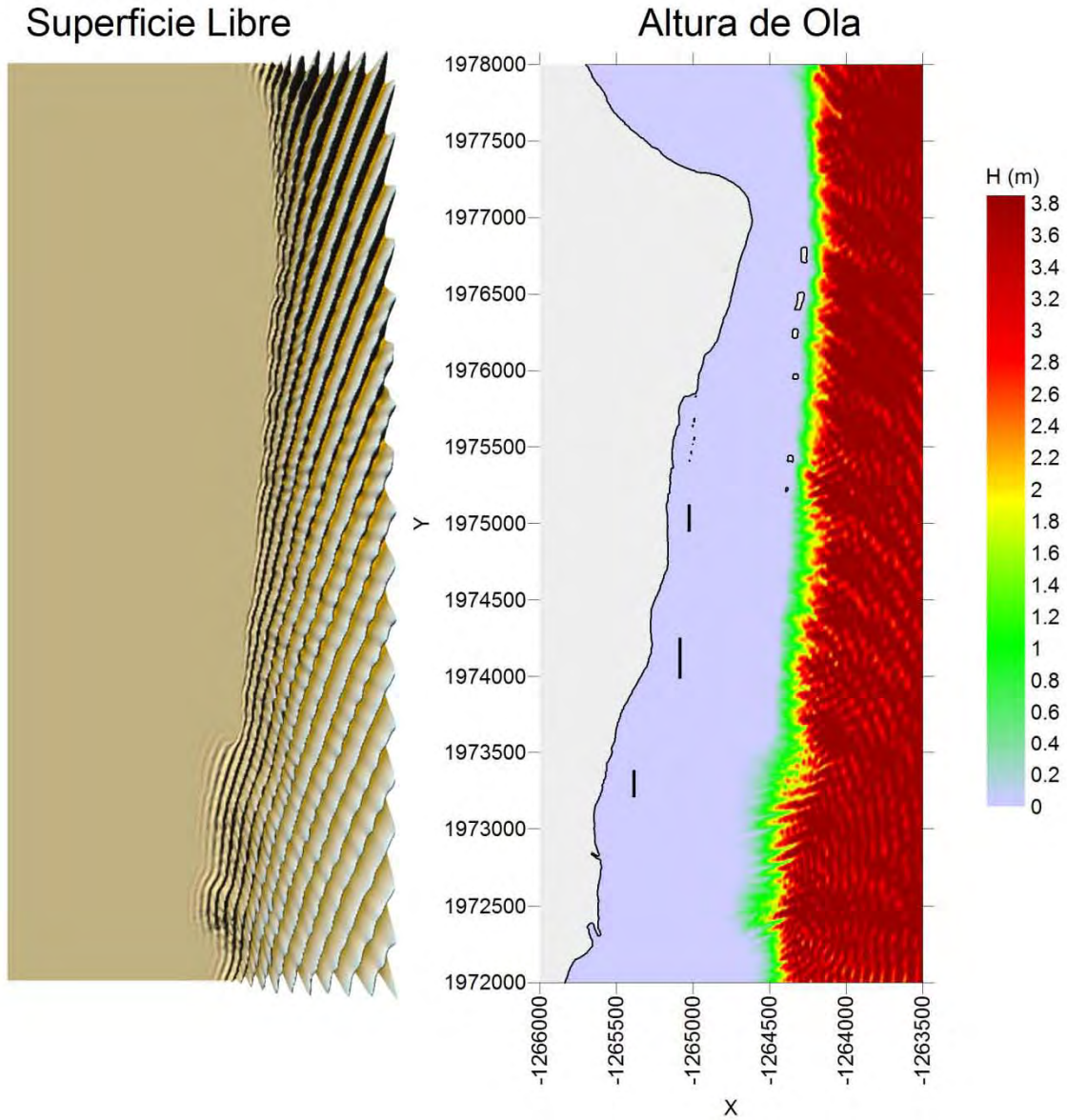
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



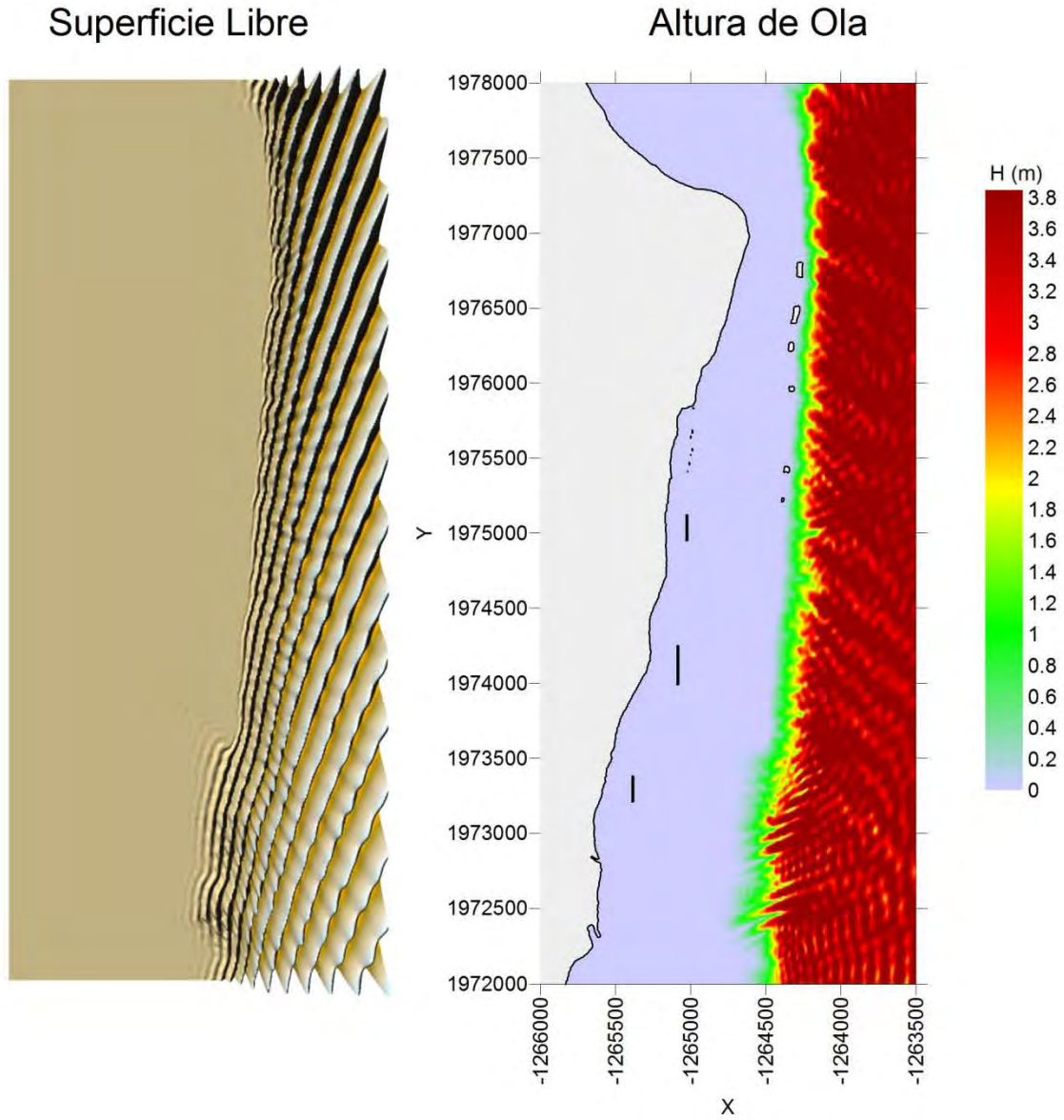
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



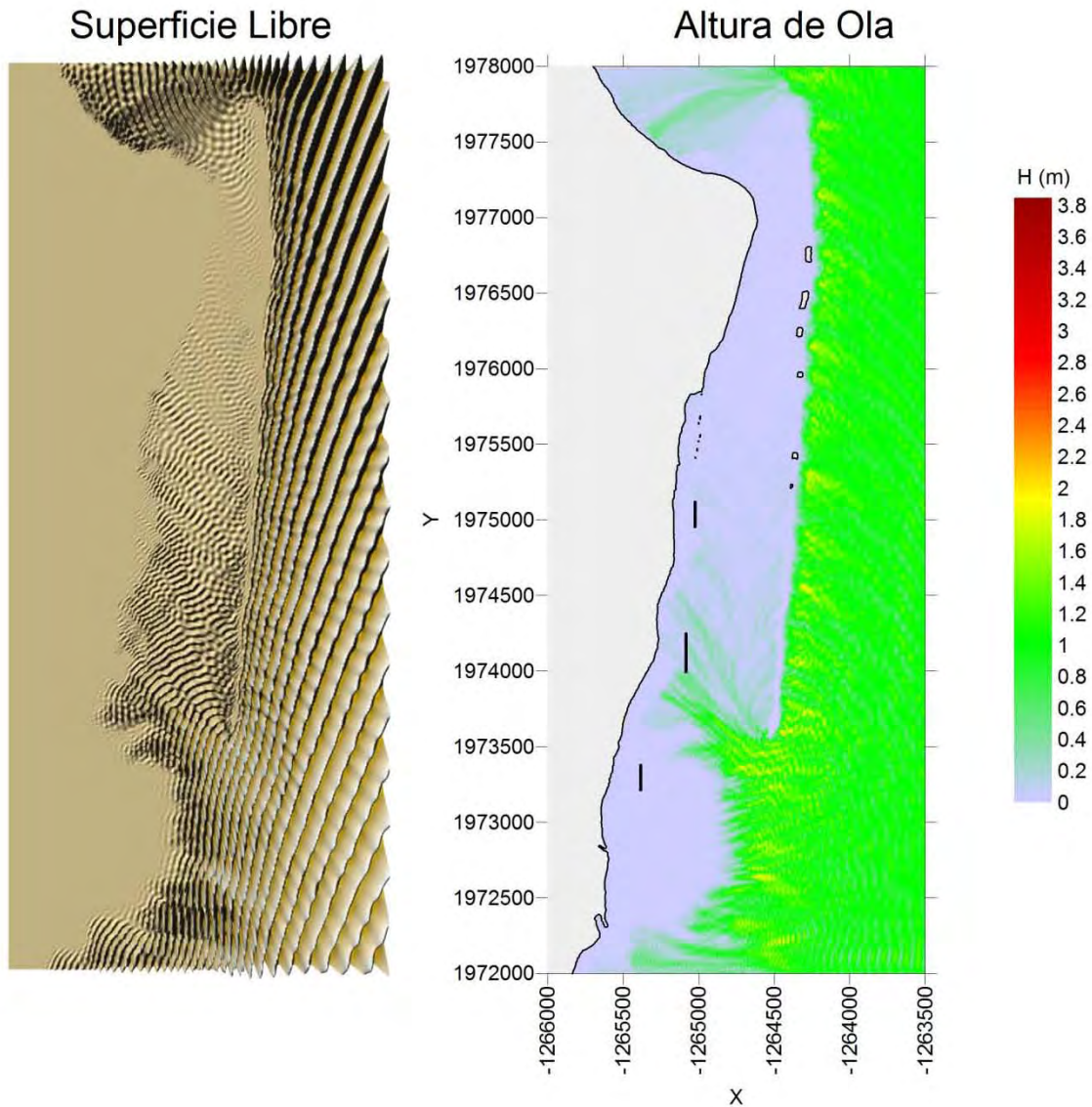
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



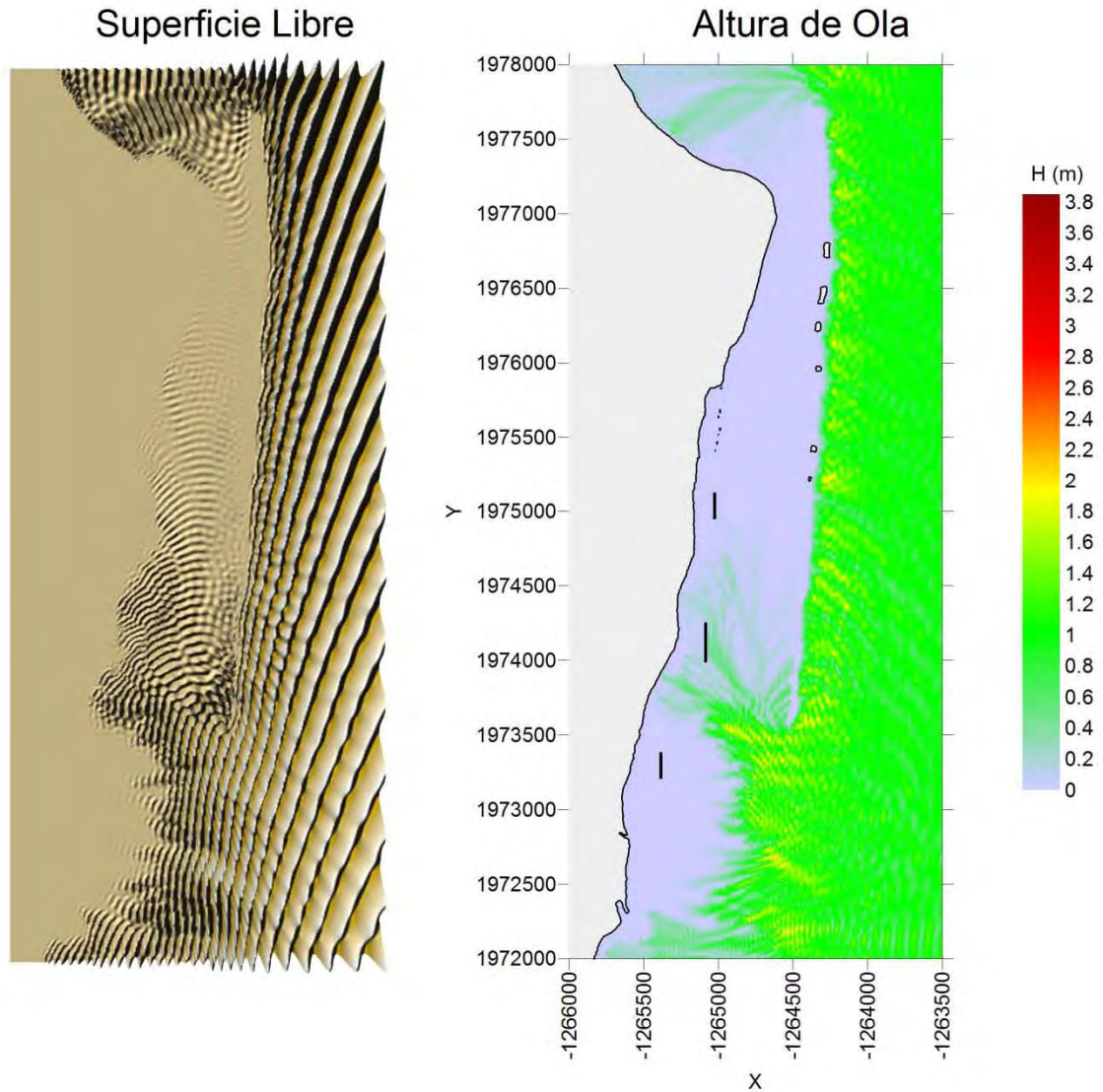
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



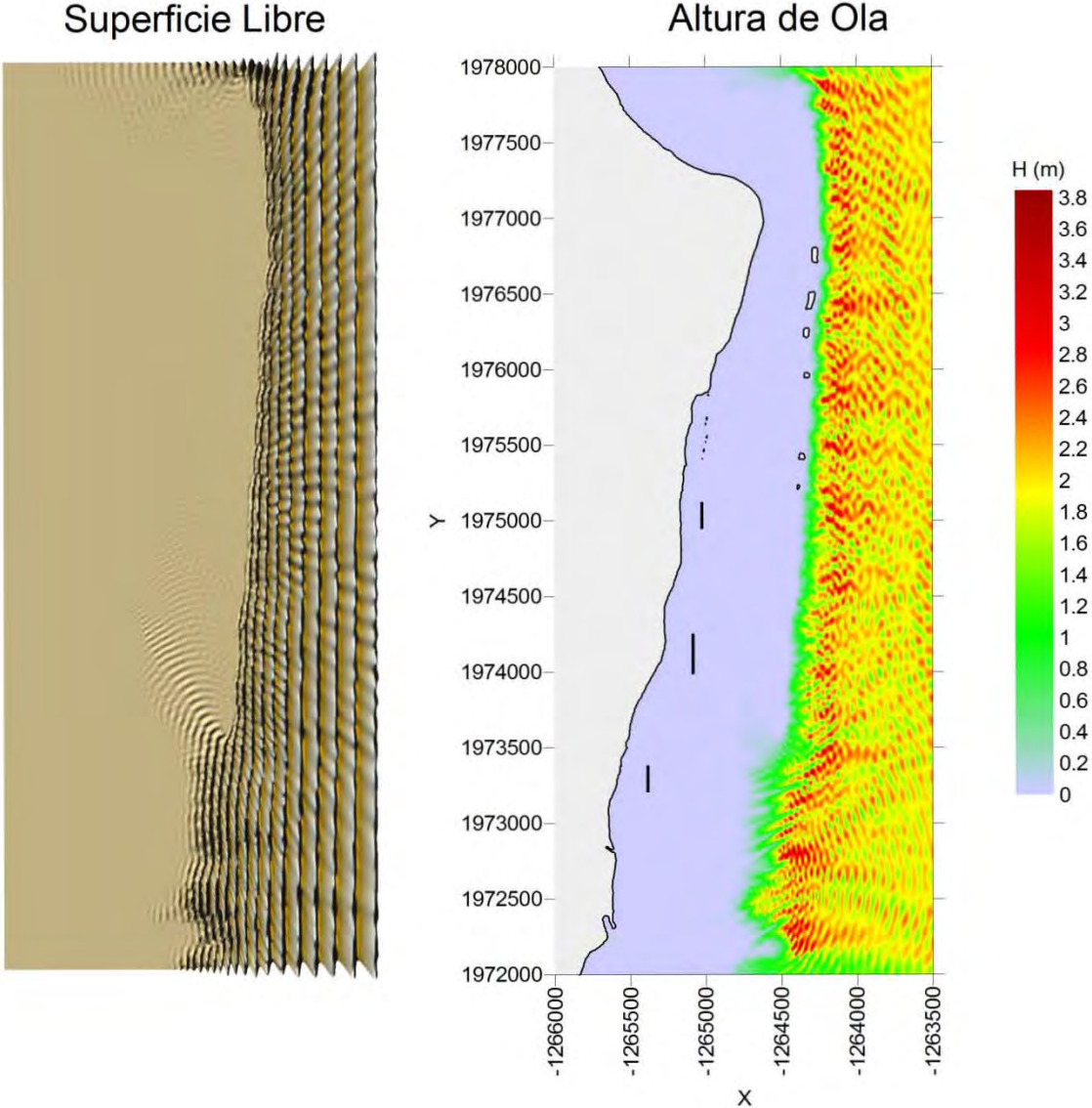
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



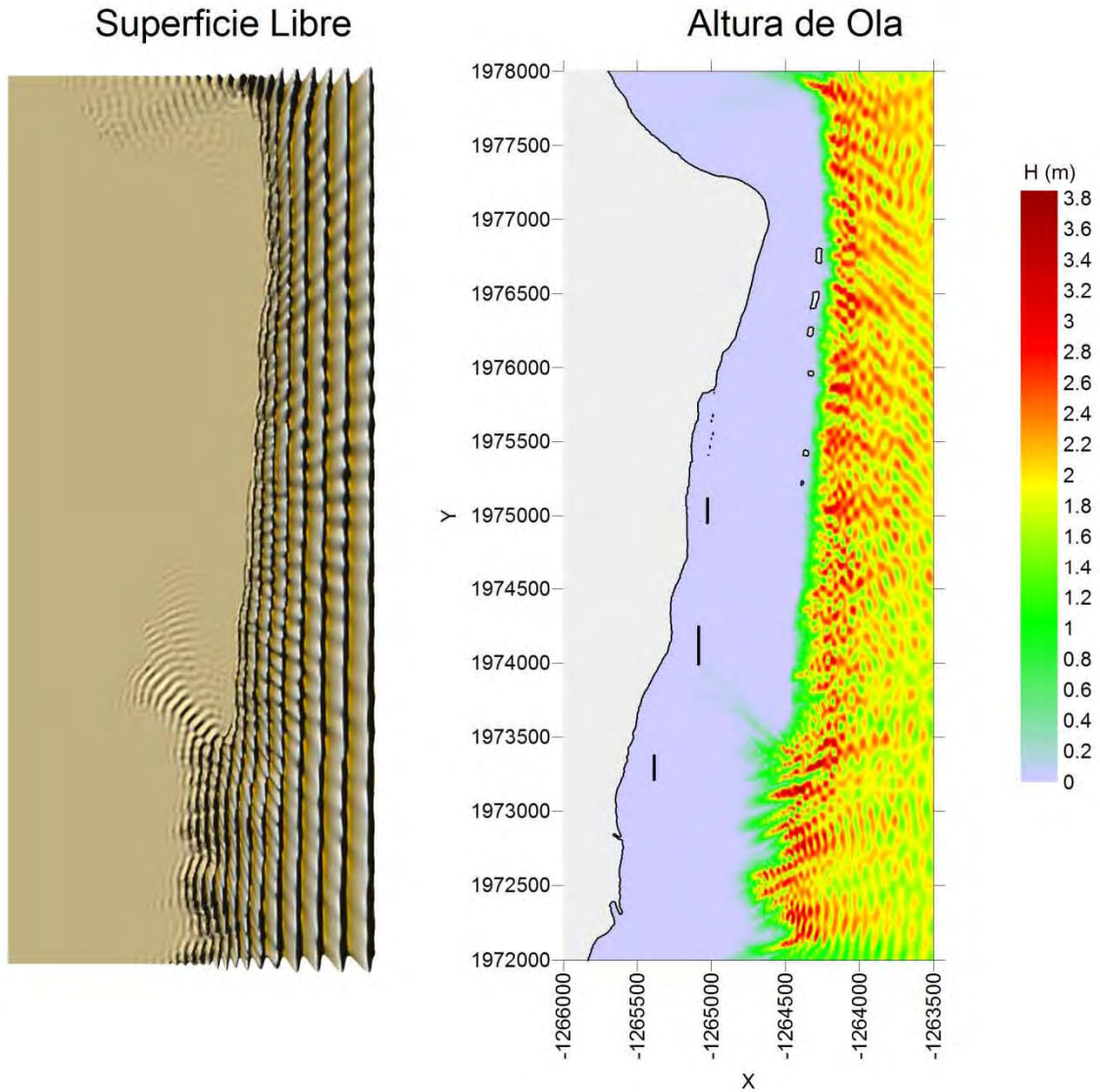
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



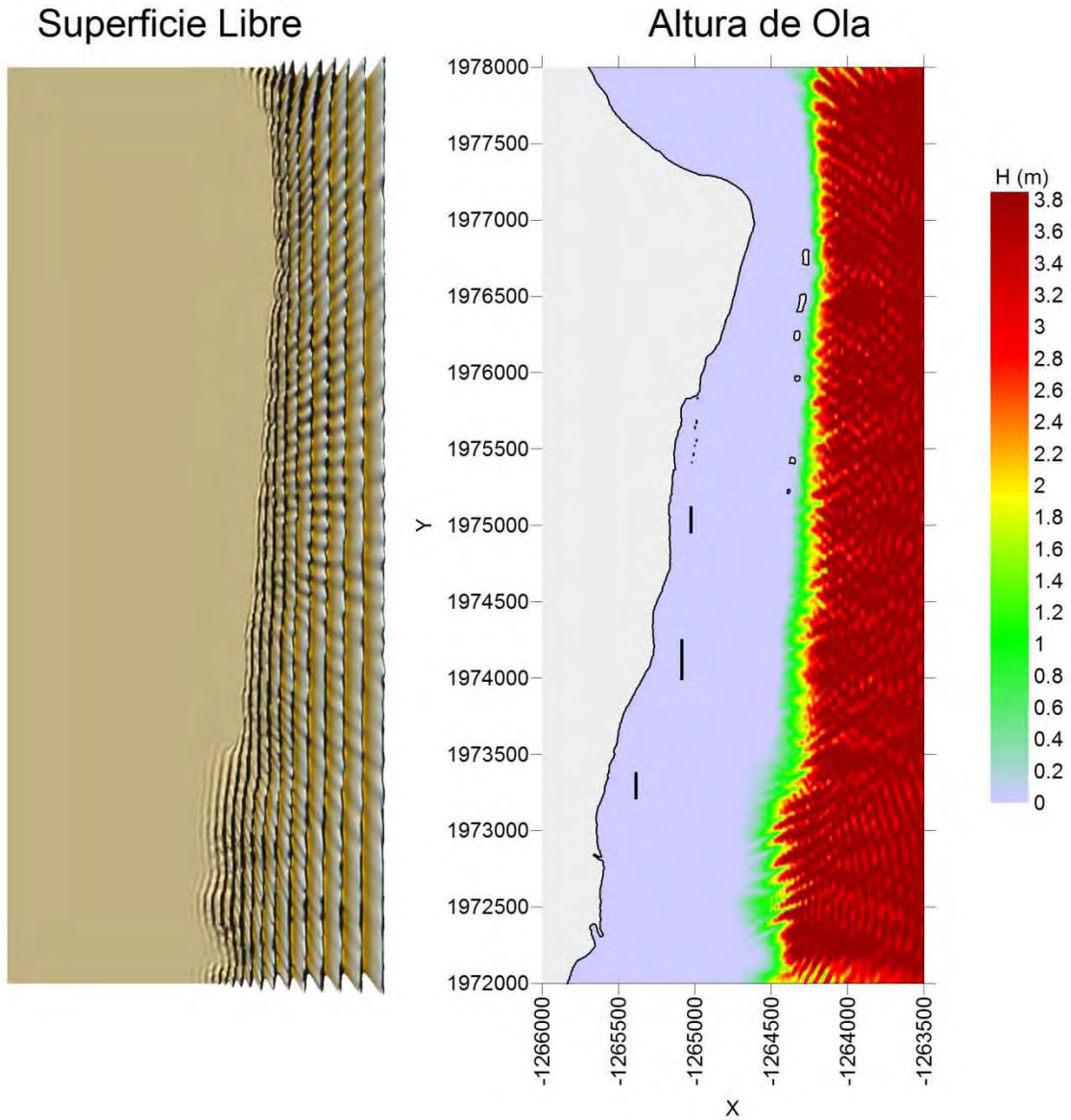
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



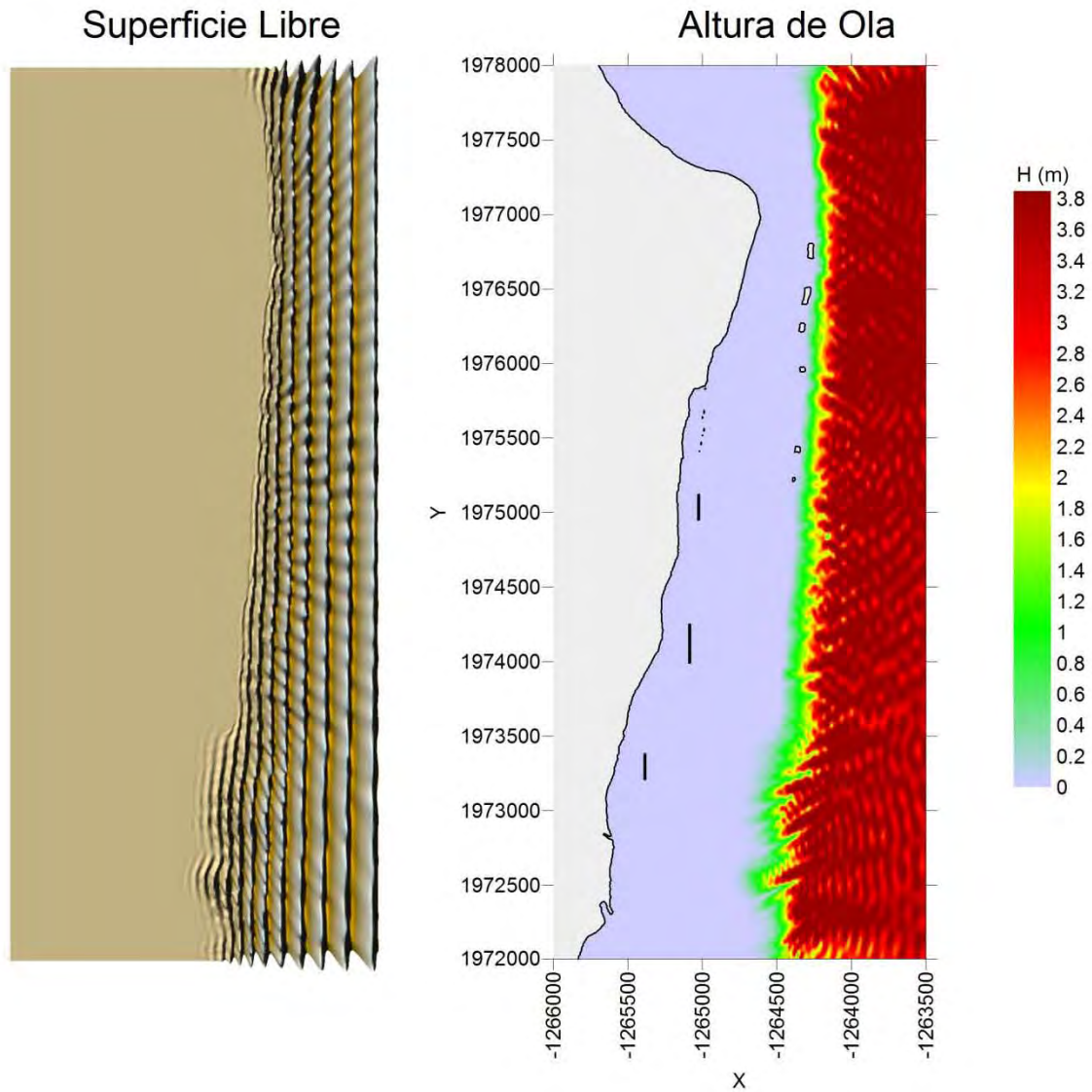
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



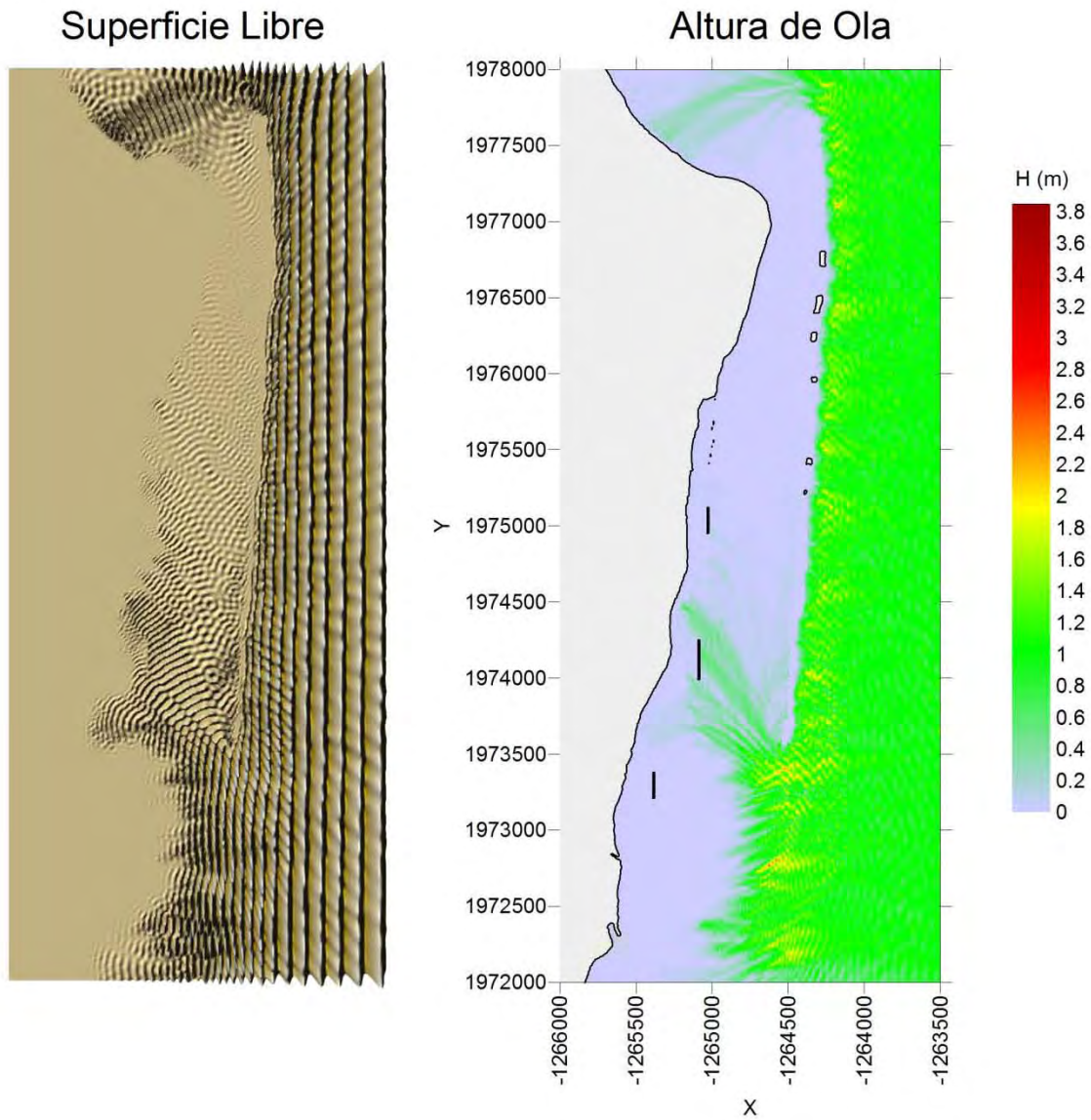
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



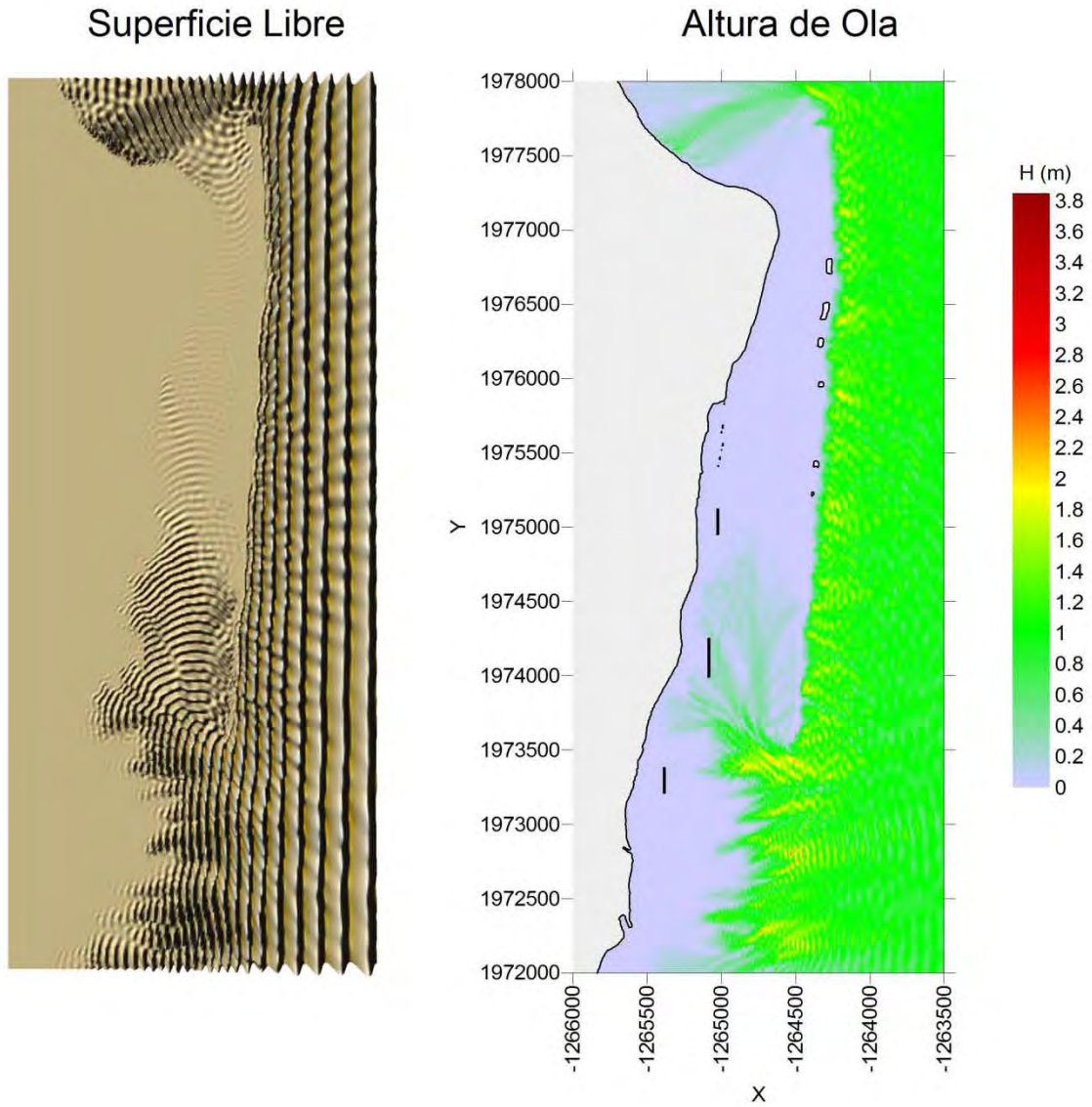
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



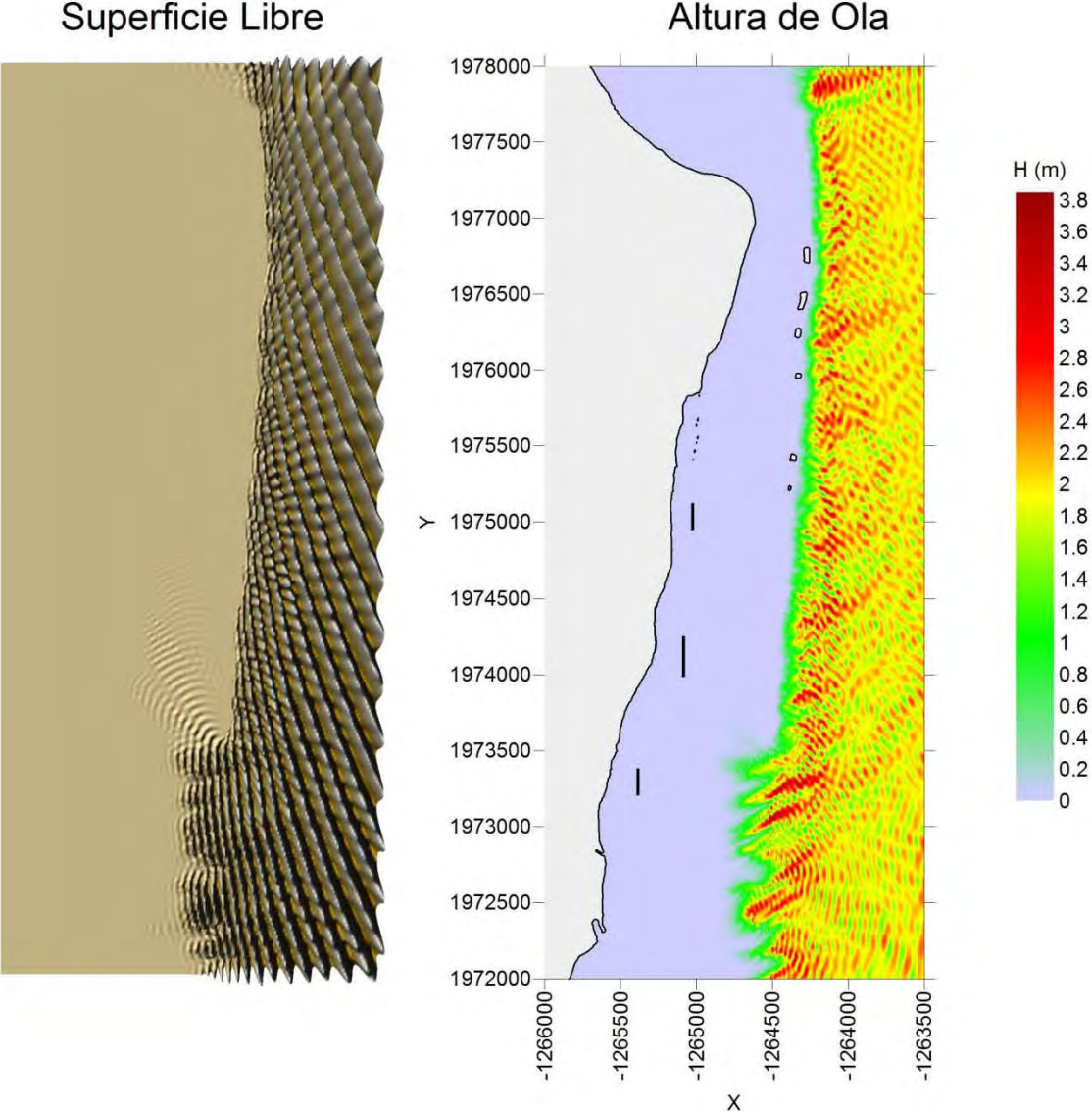
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



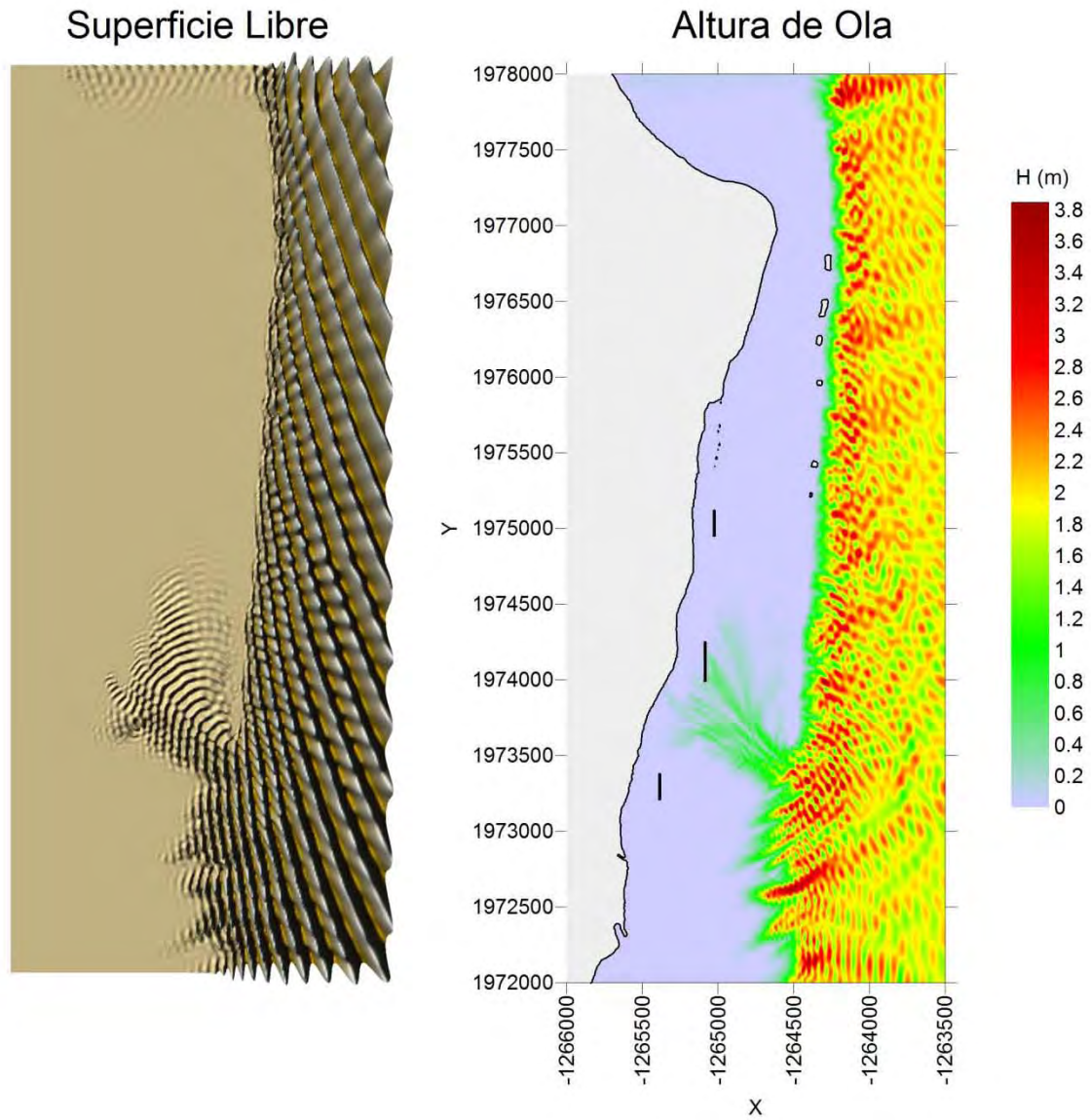
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



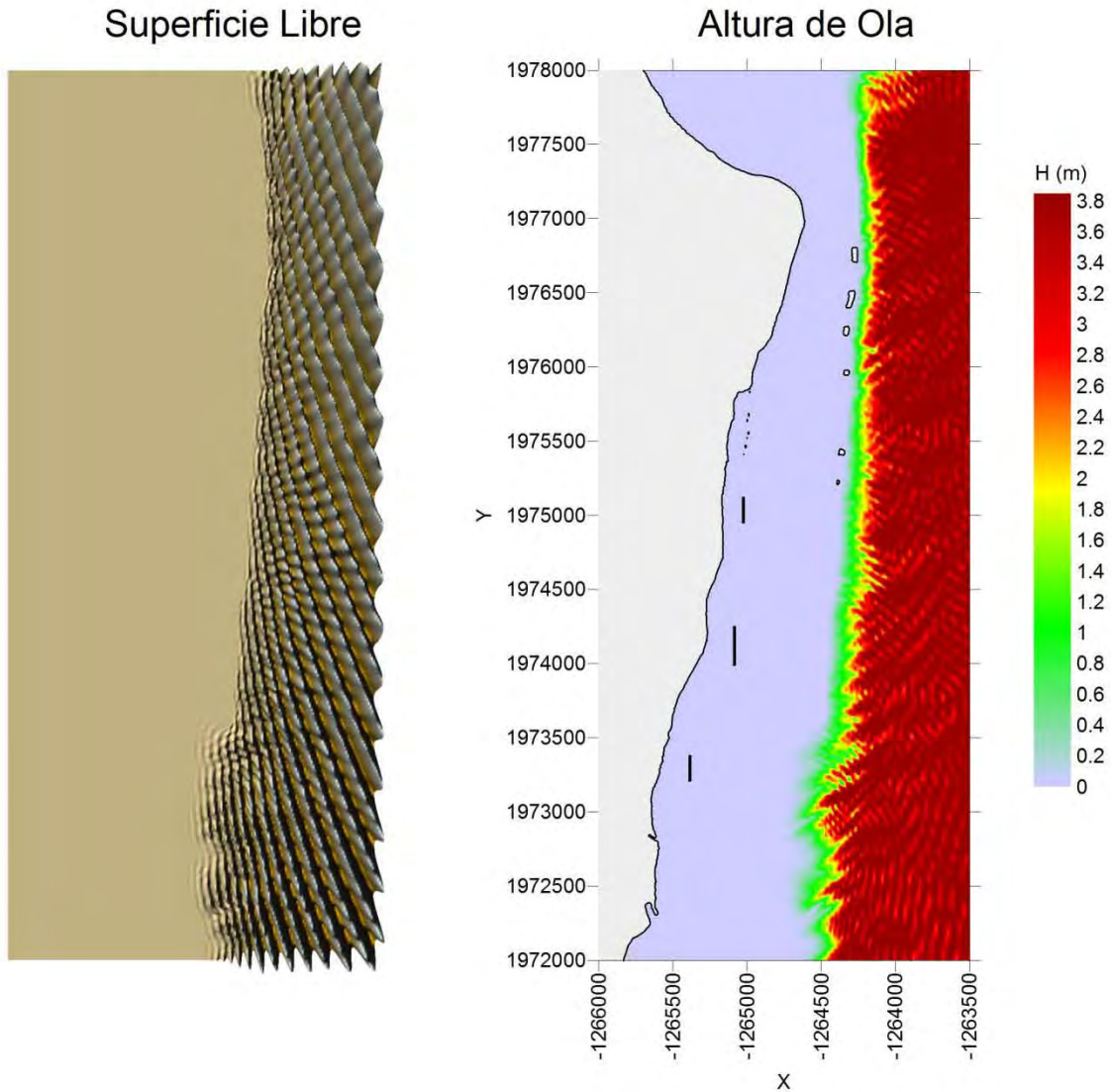
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



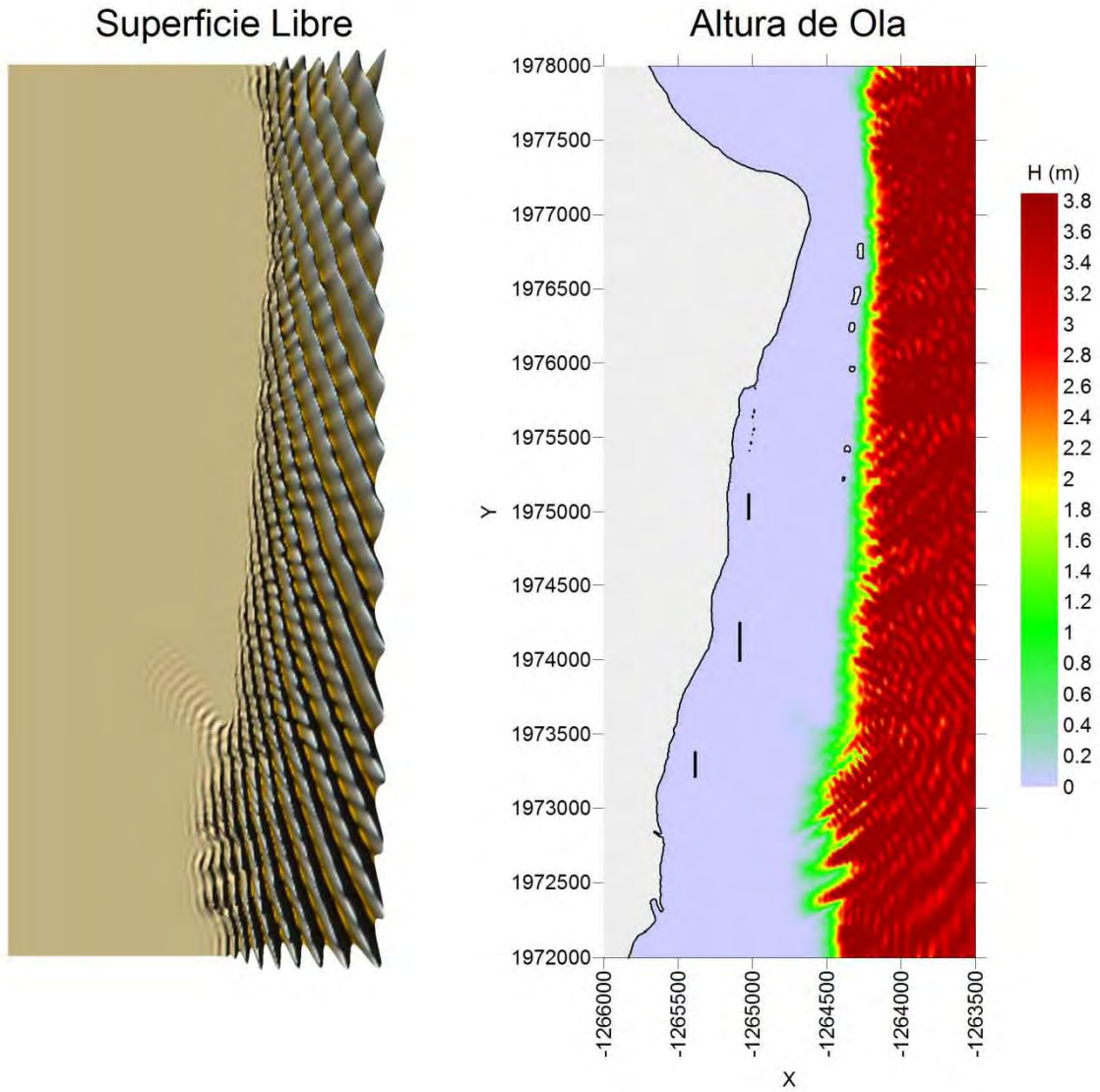
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



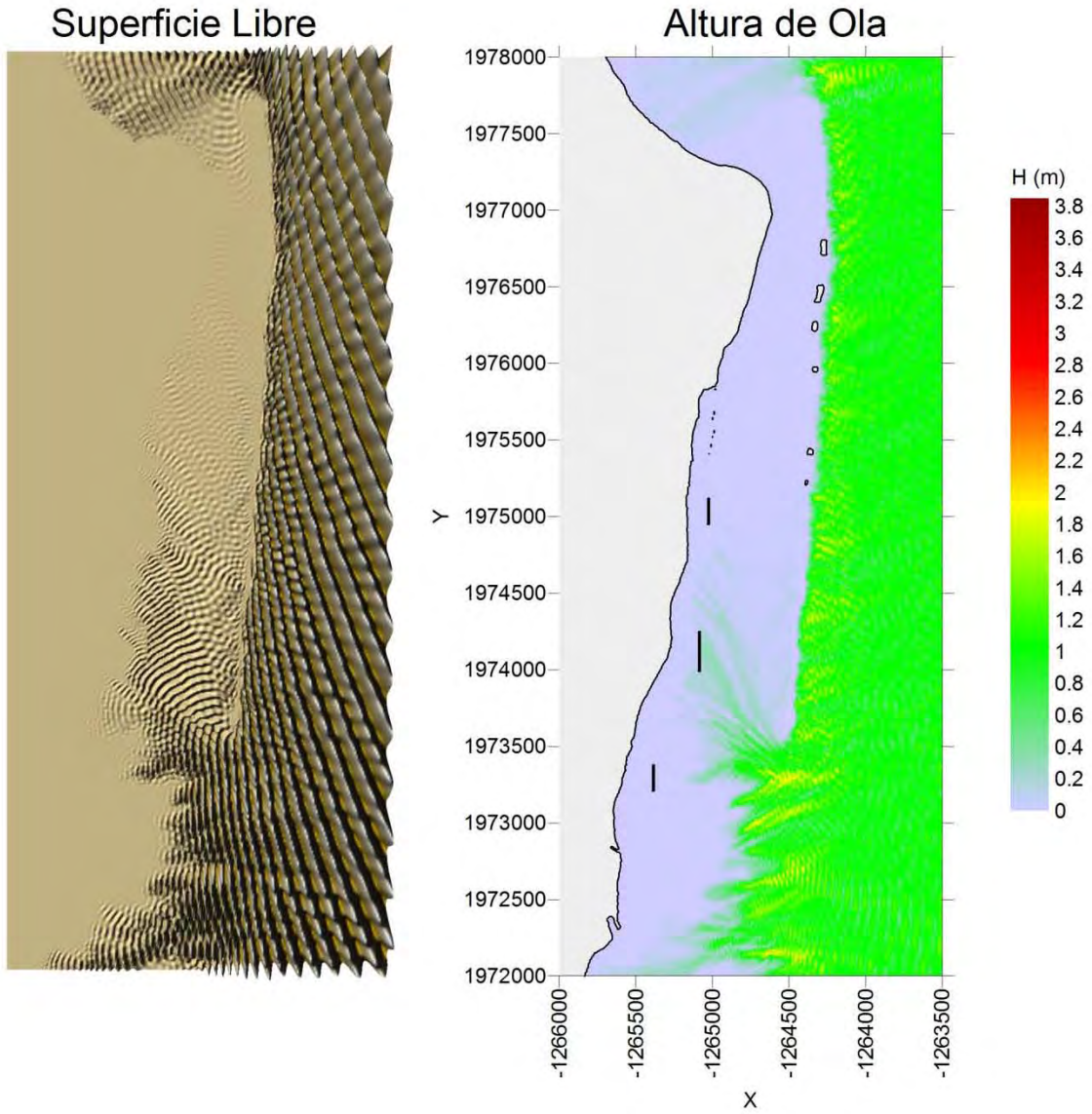
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



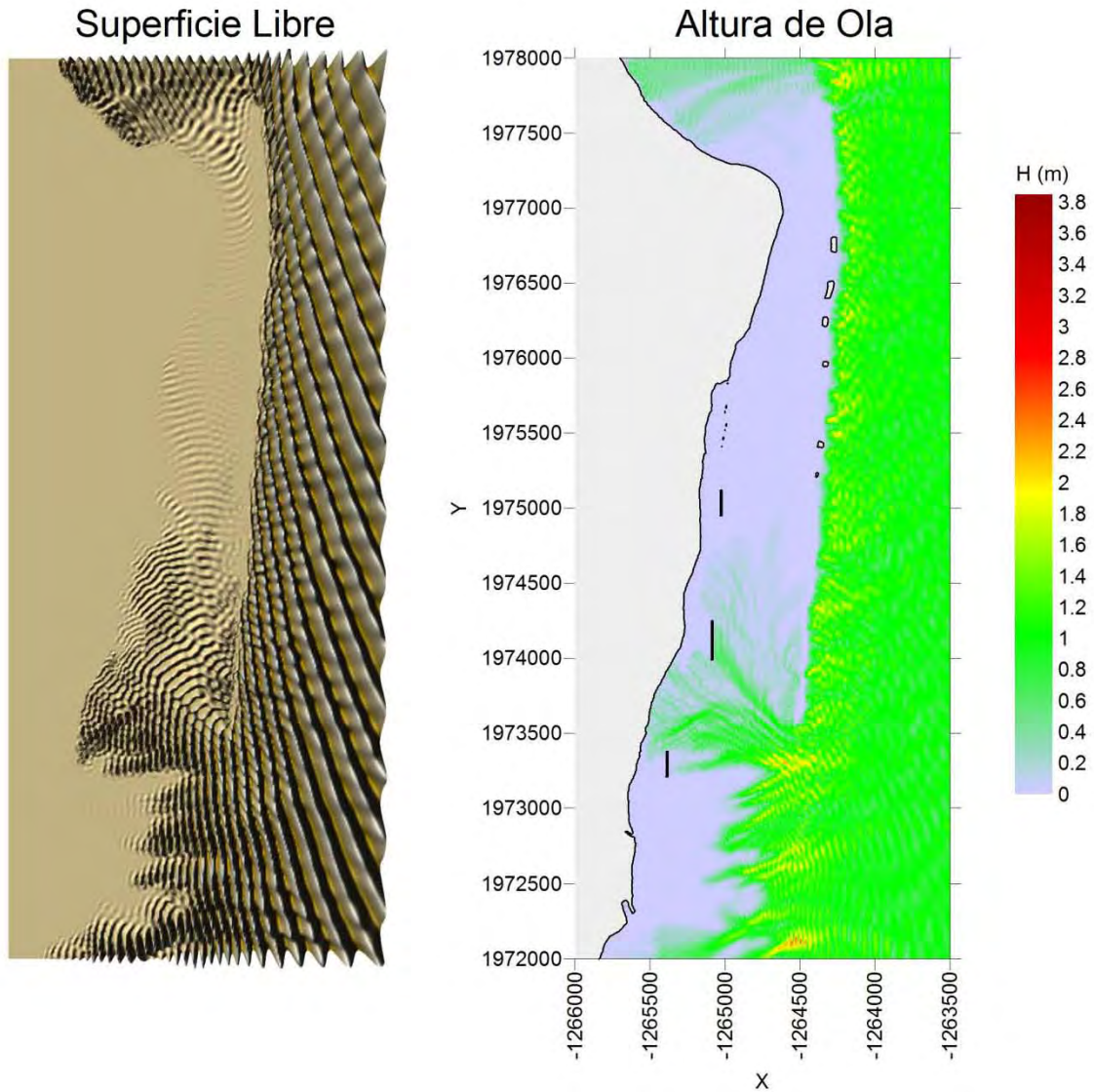
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



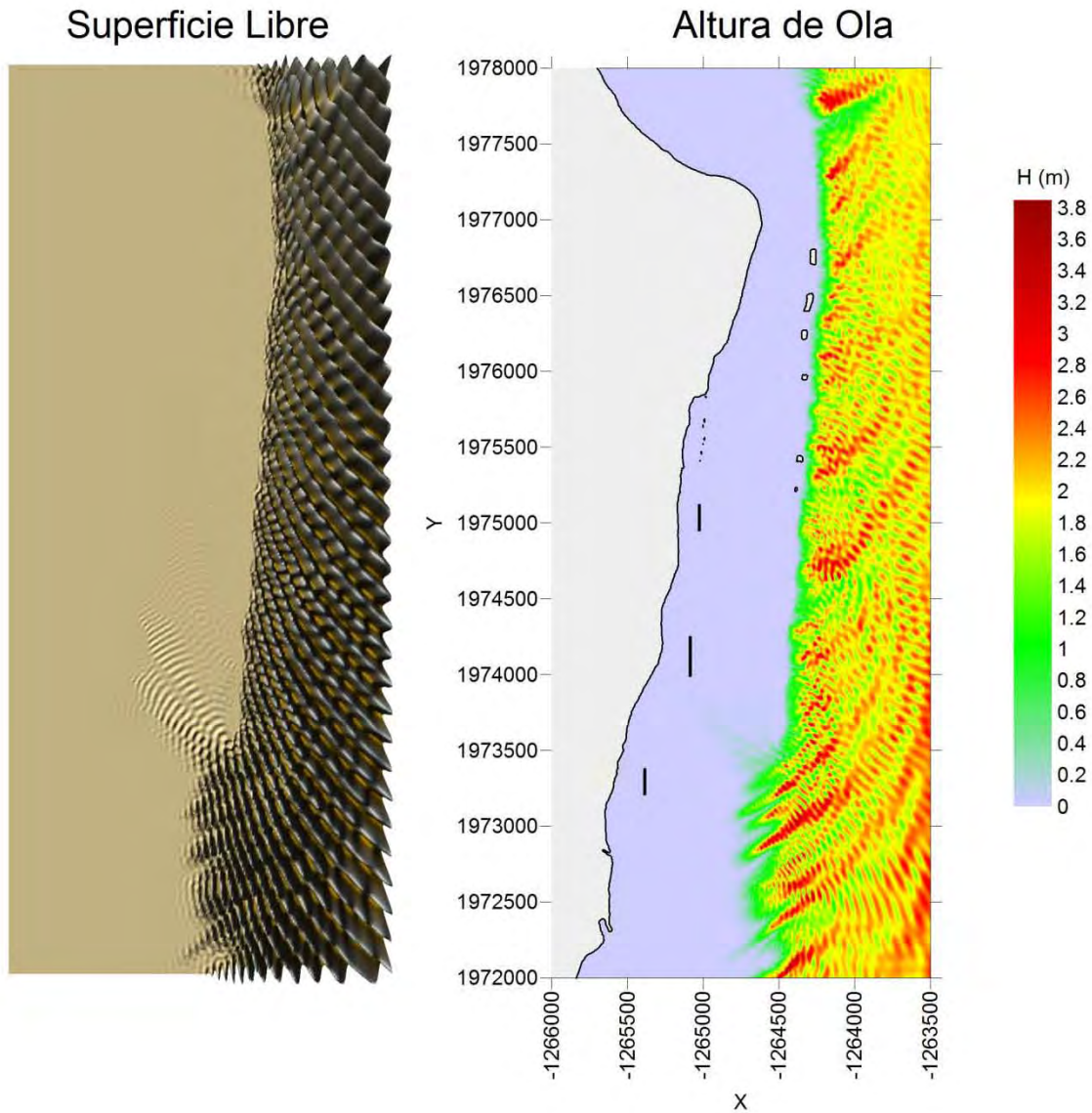
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



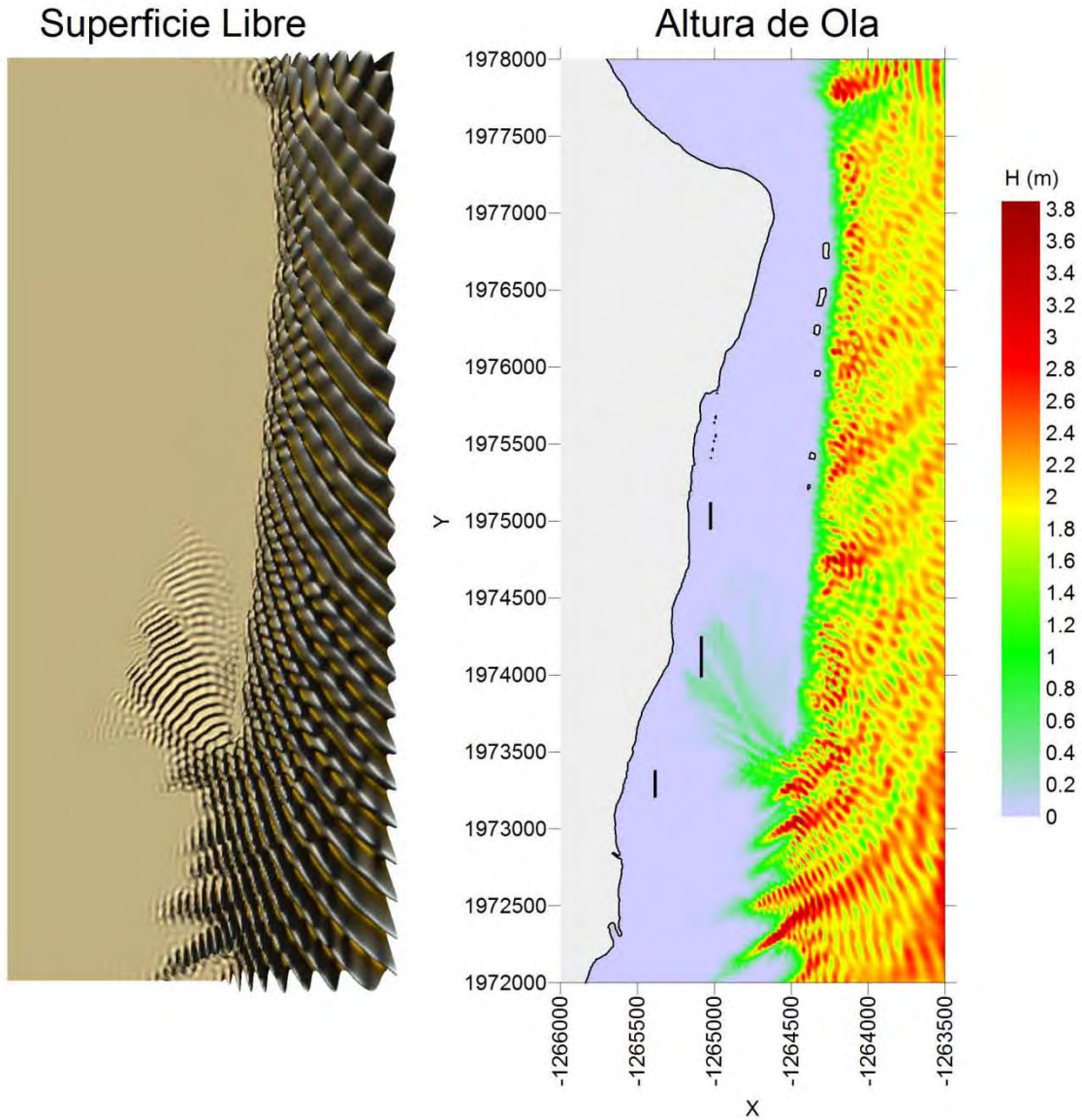
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



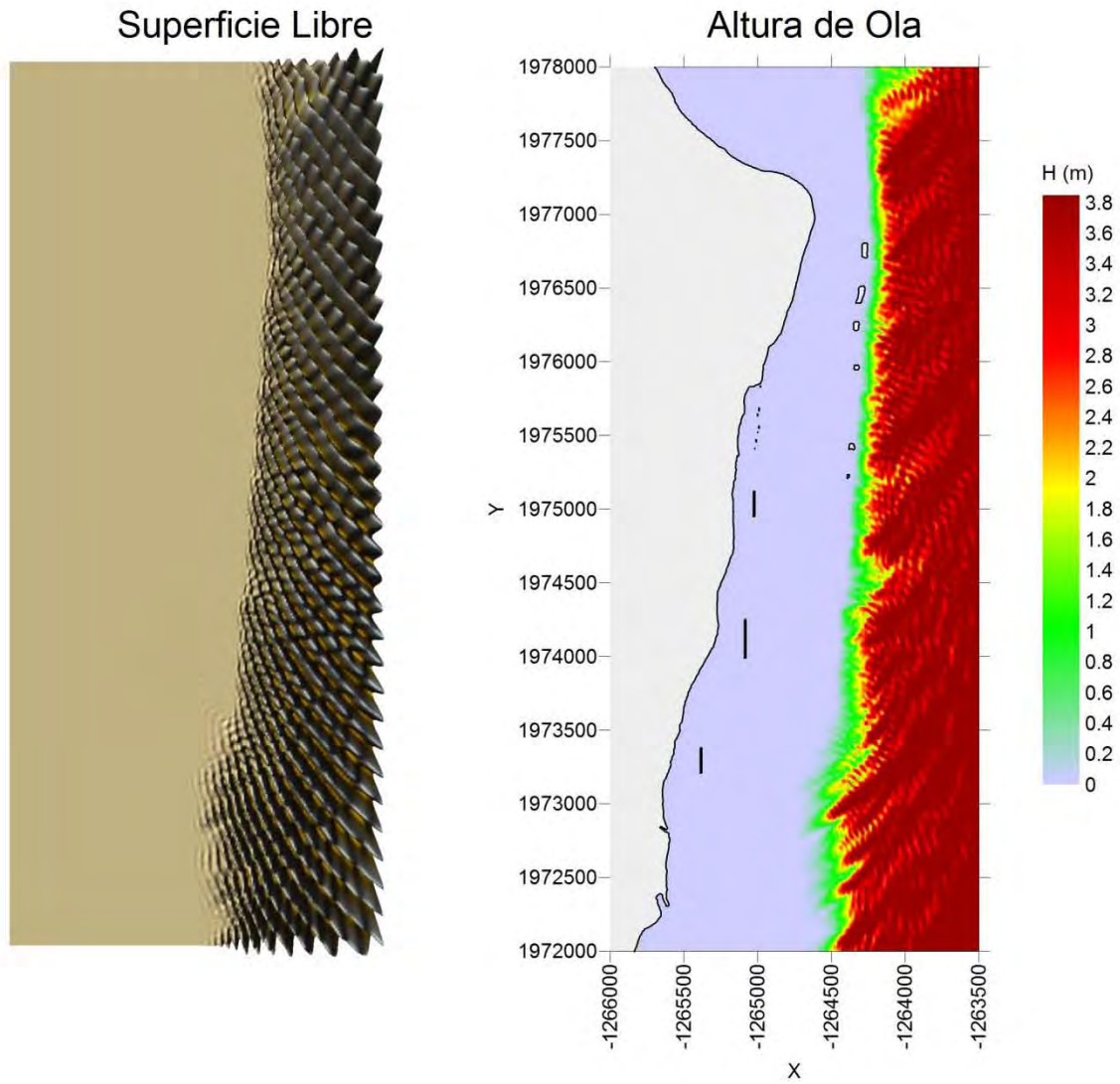
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



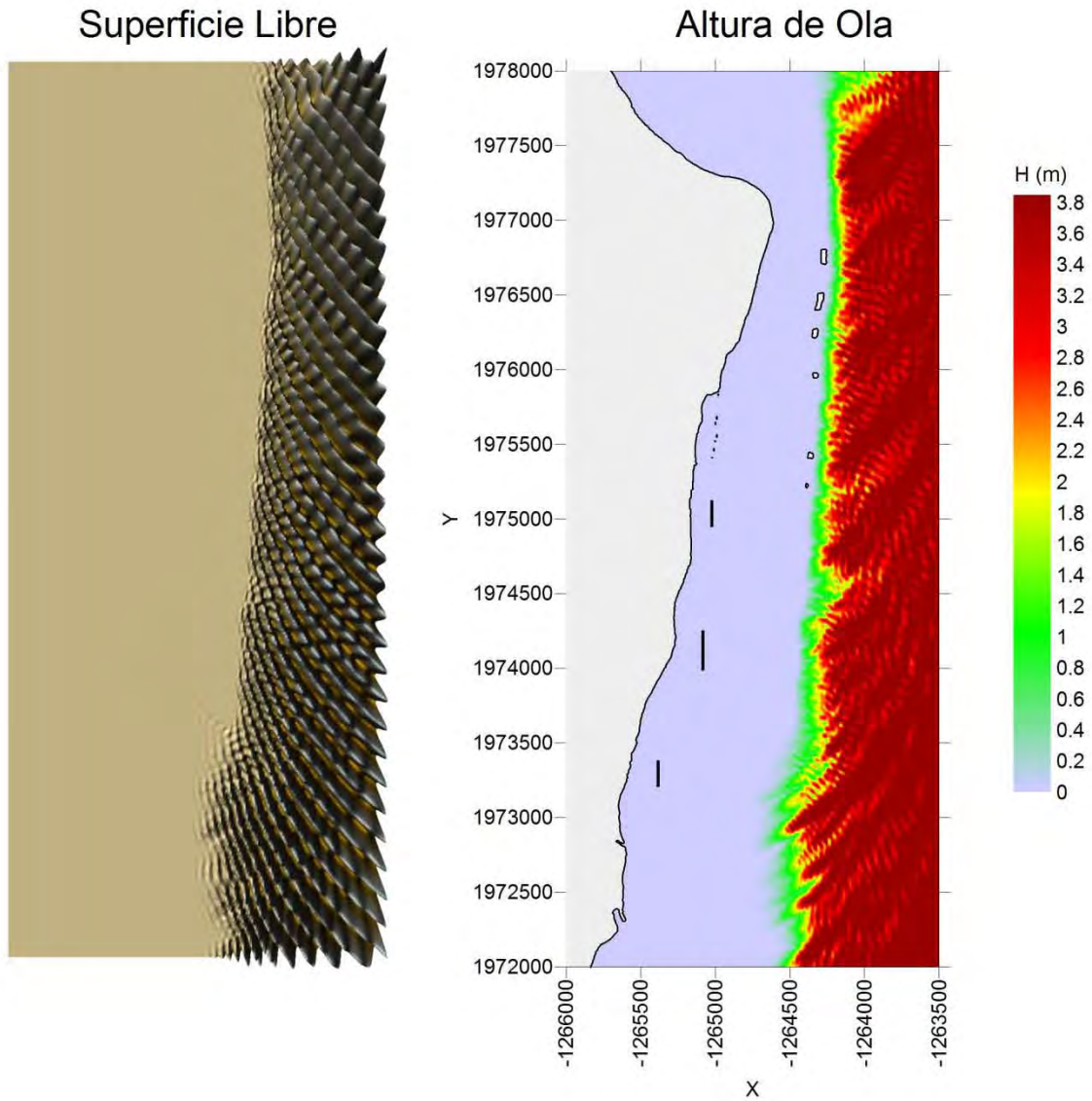
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



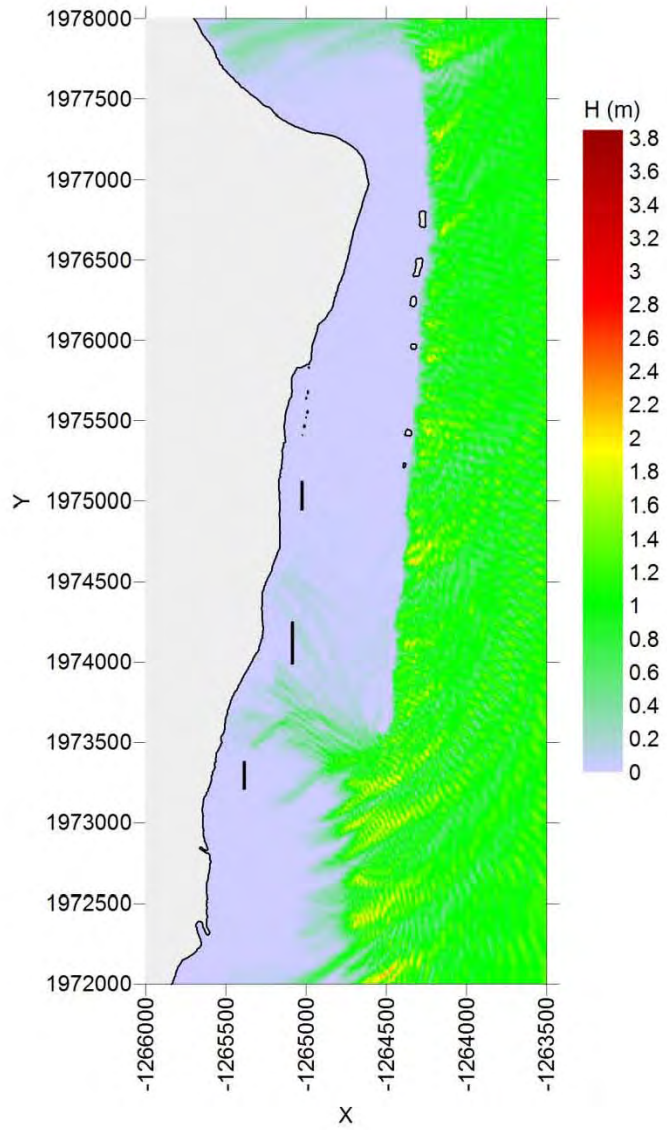
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)

Superficie Libre

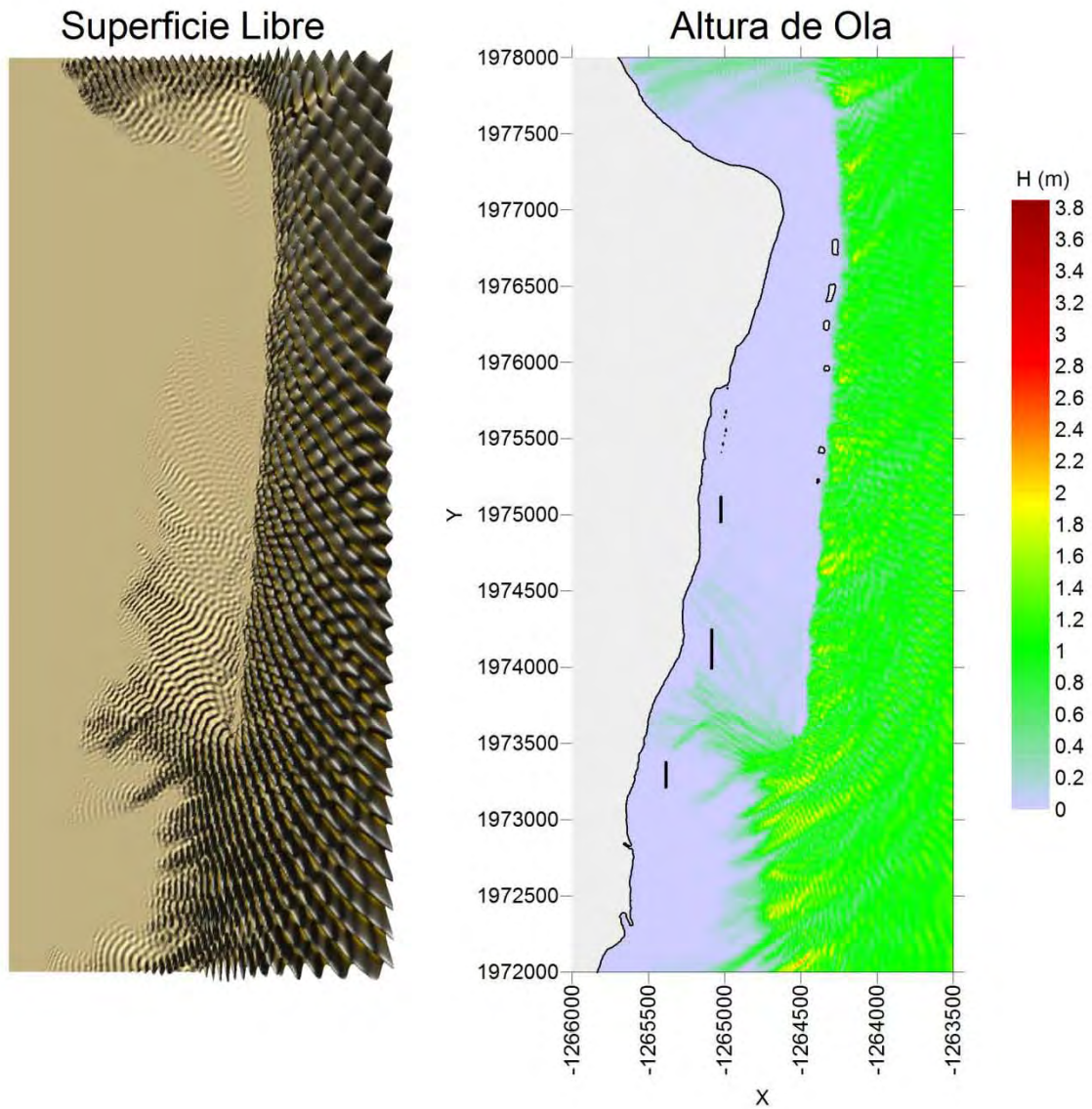


Altura de Ola



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

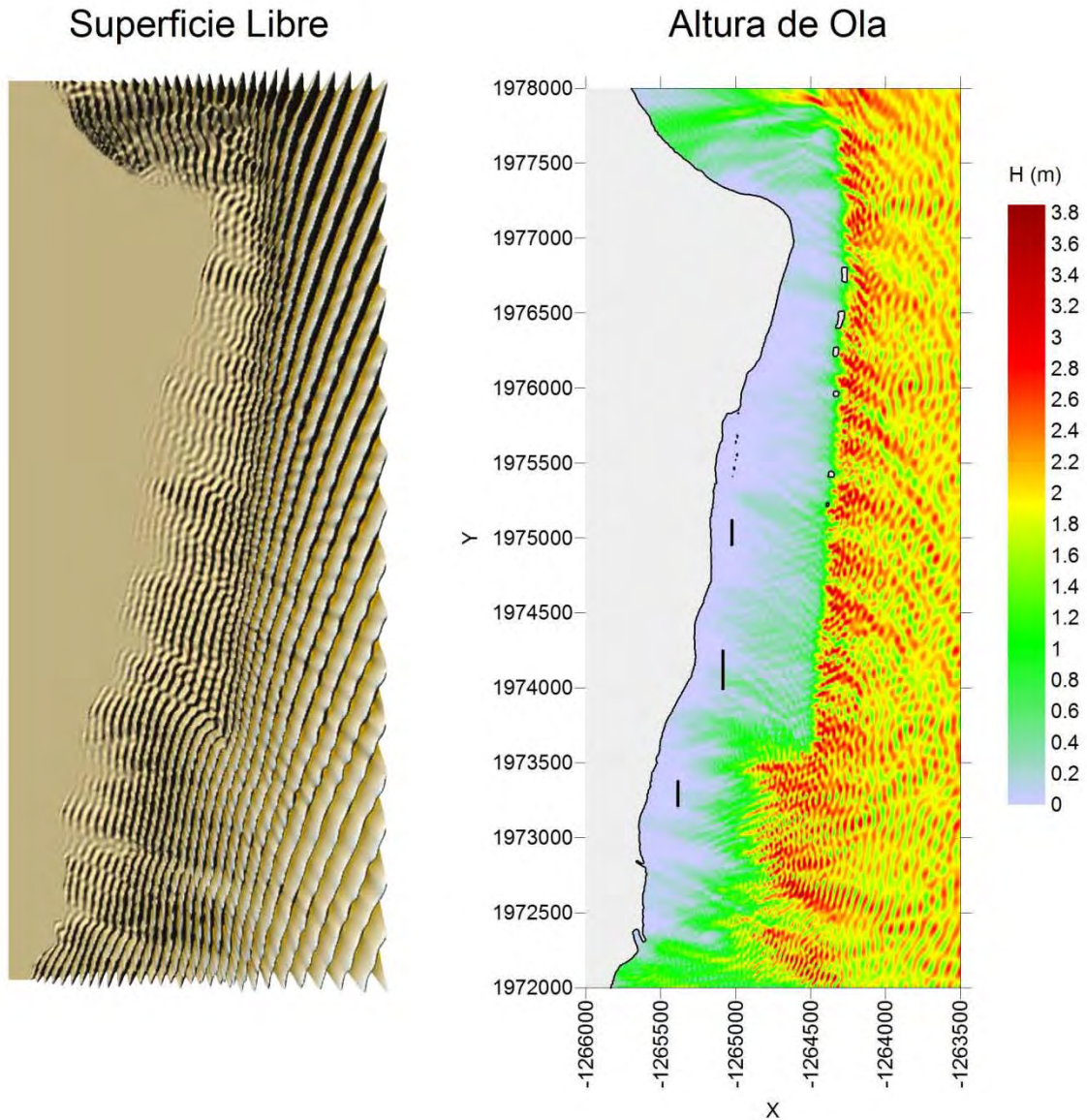
H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

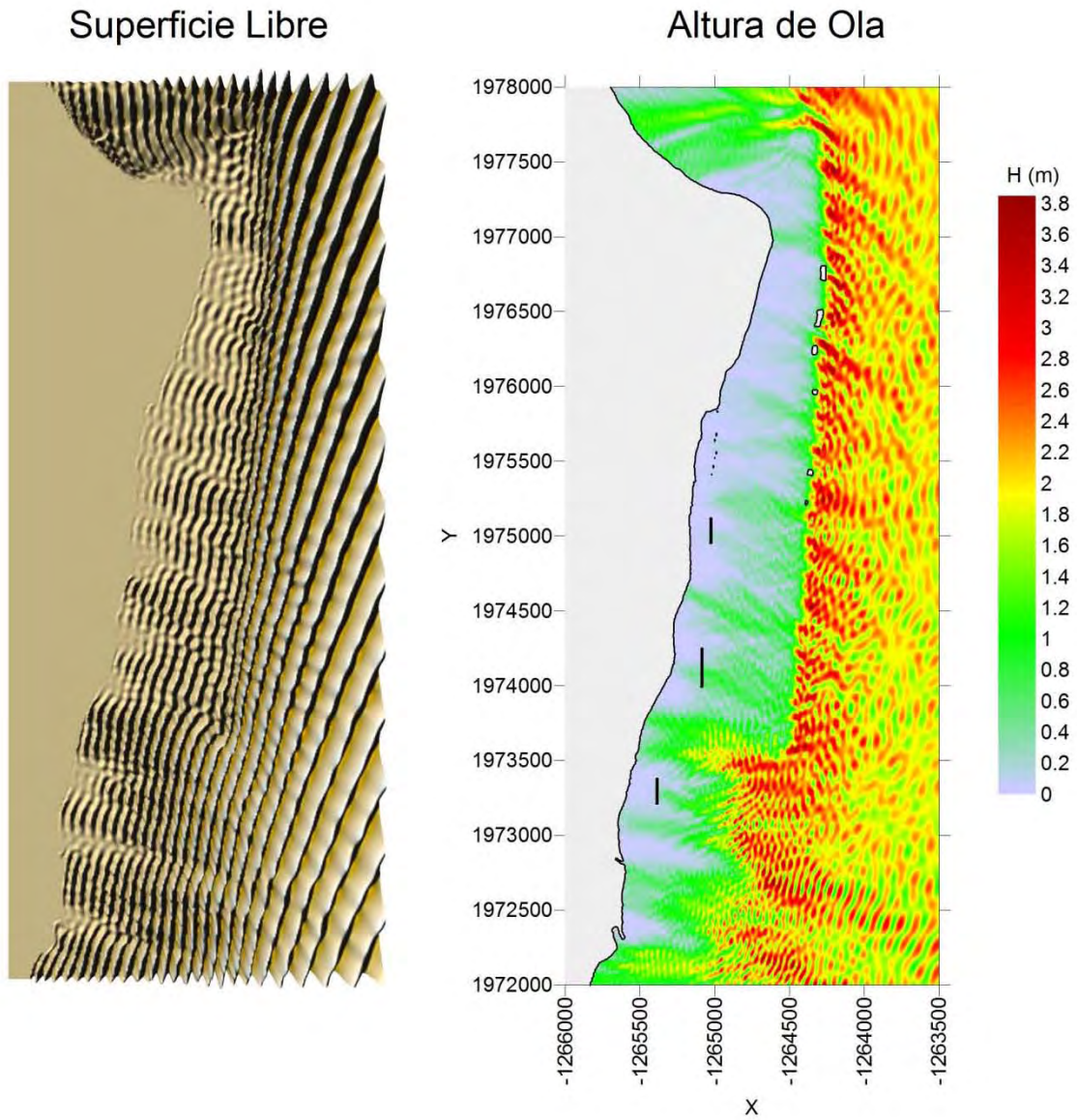
Sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



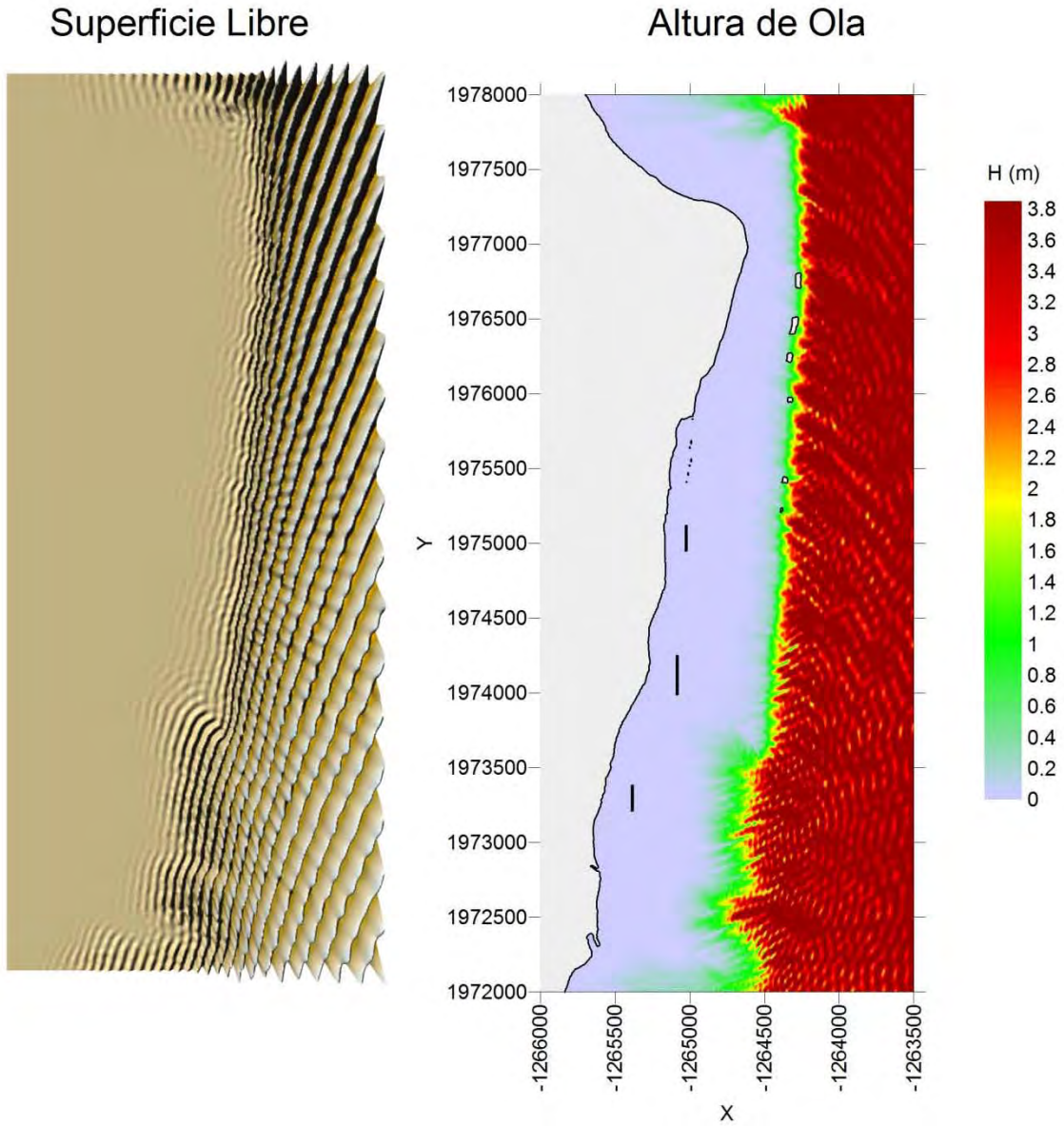
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



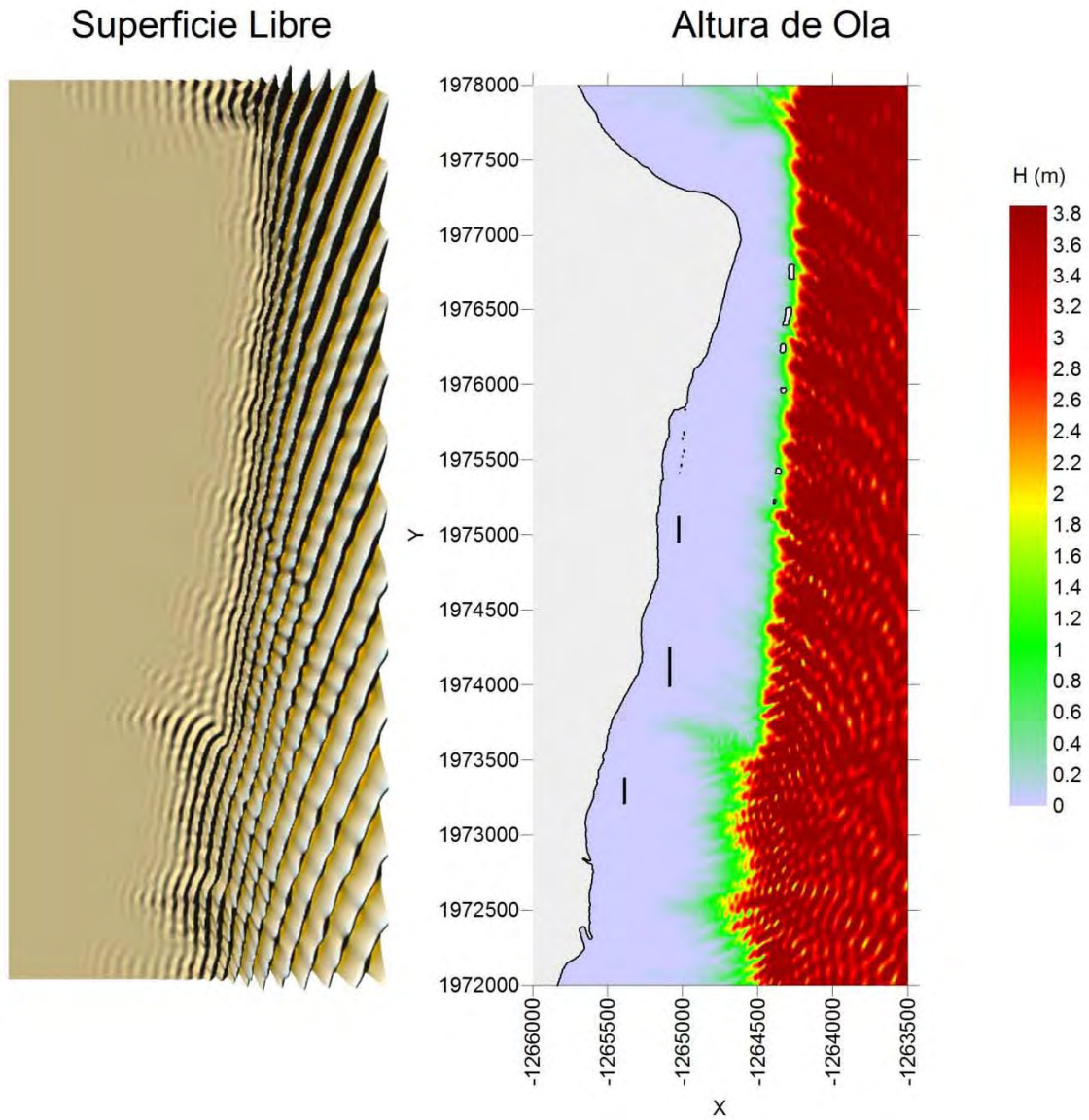
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



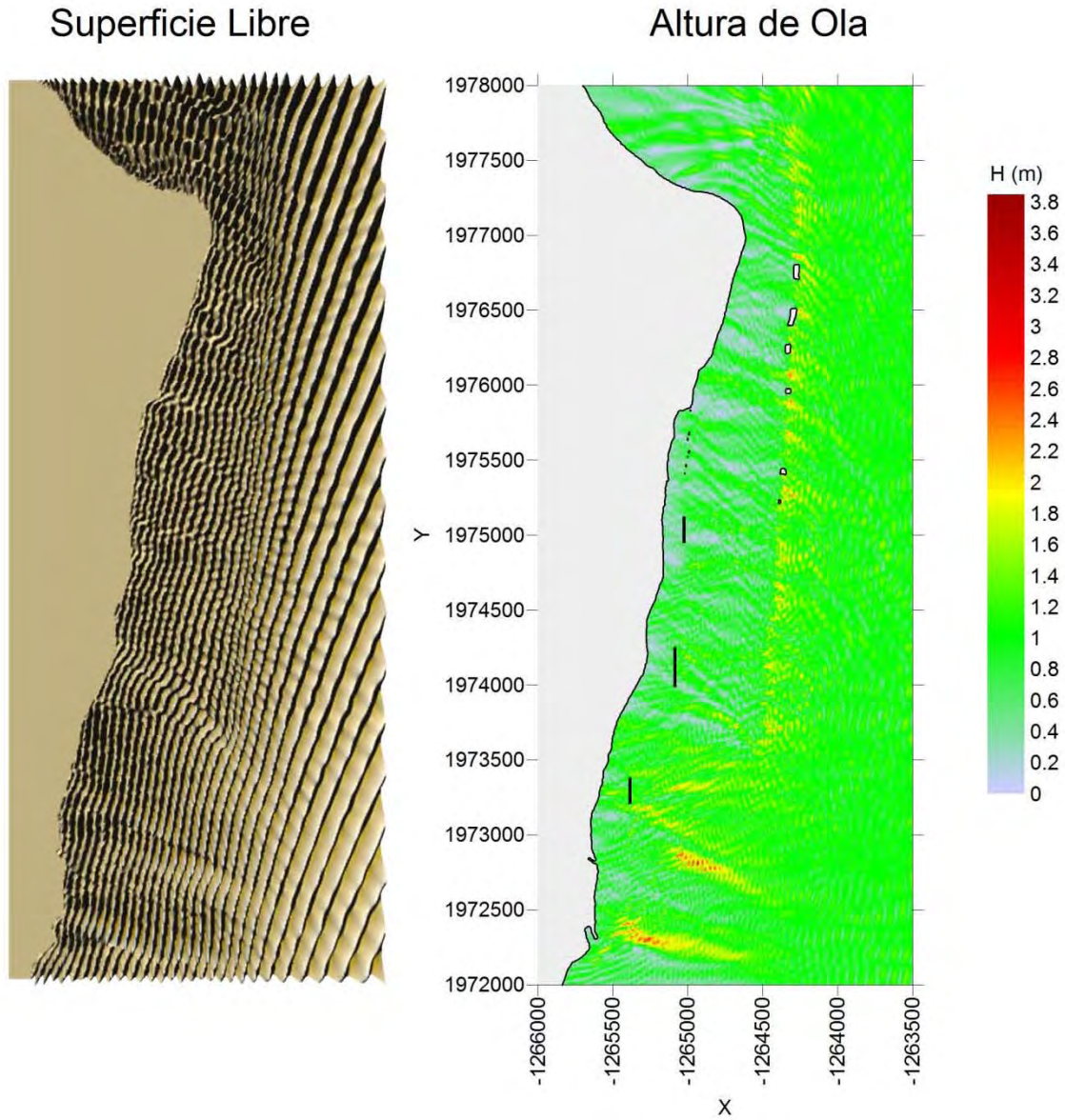
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



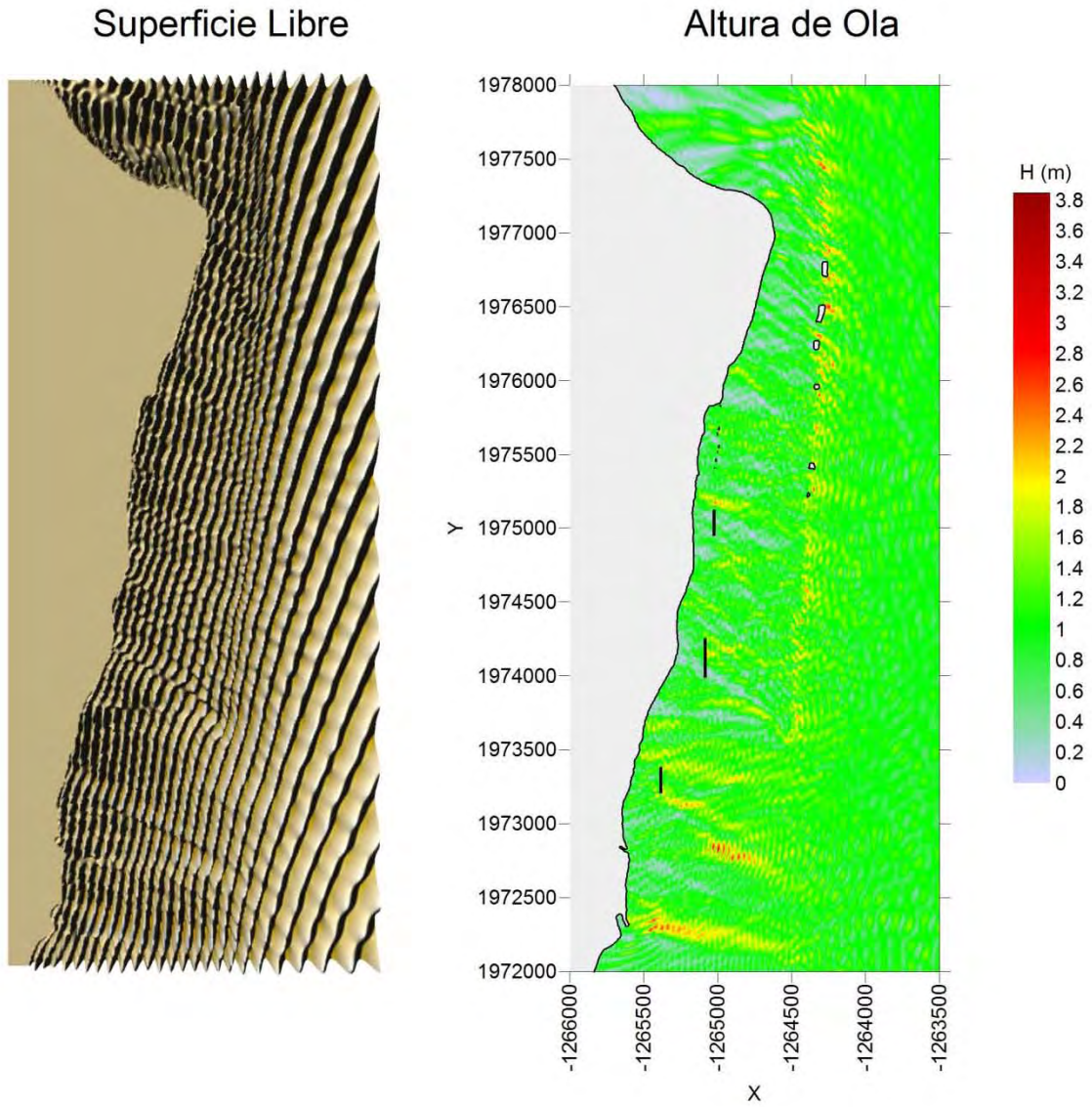
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



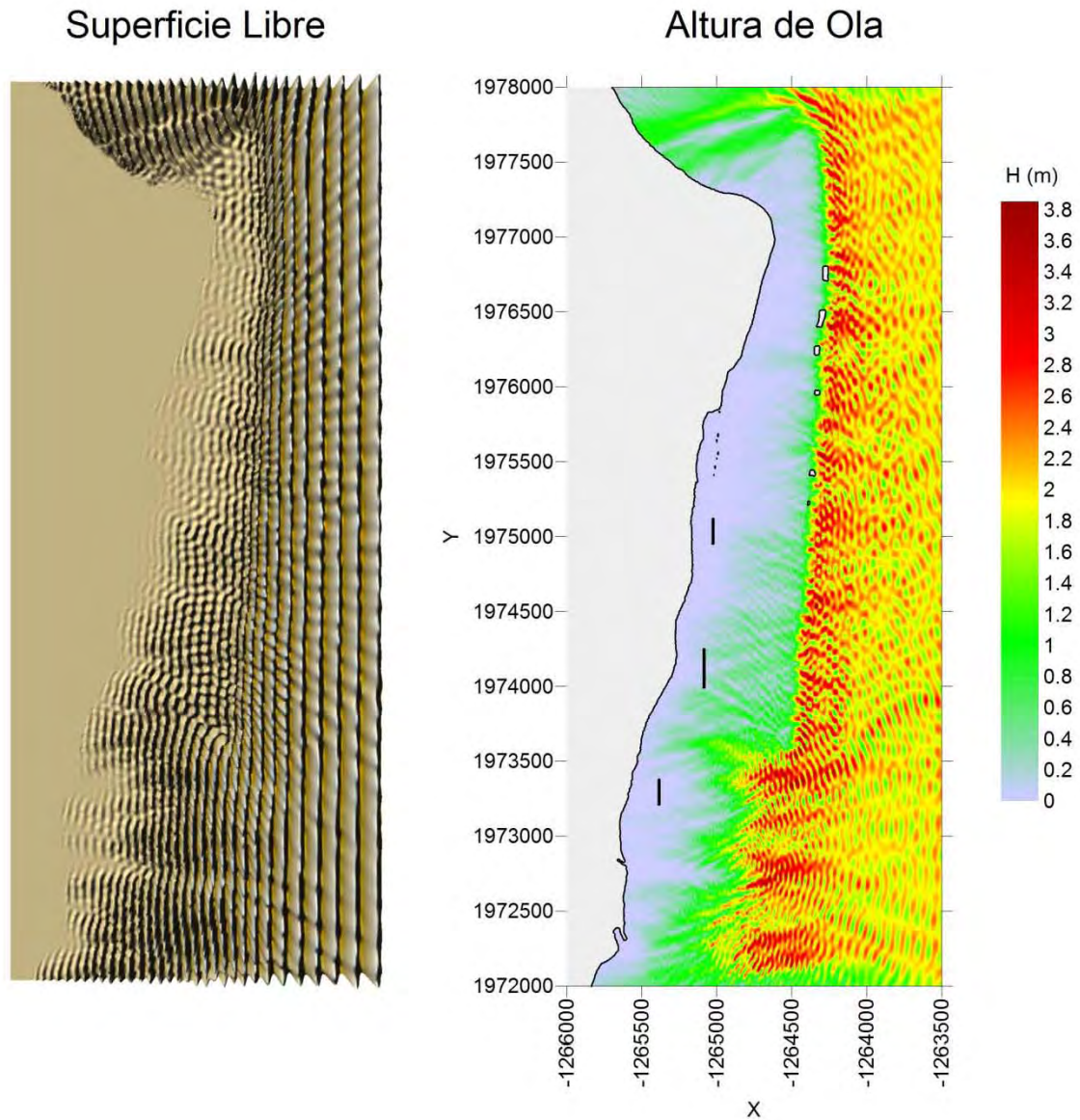
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



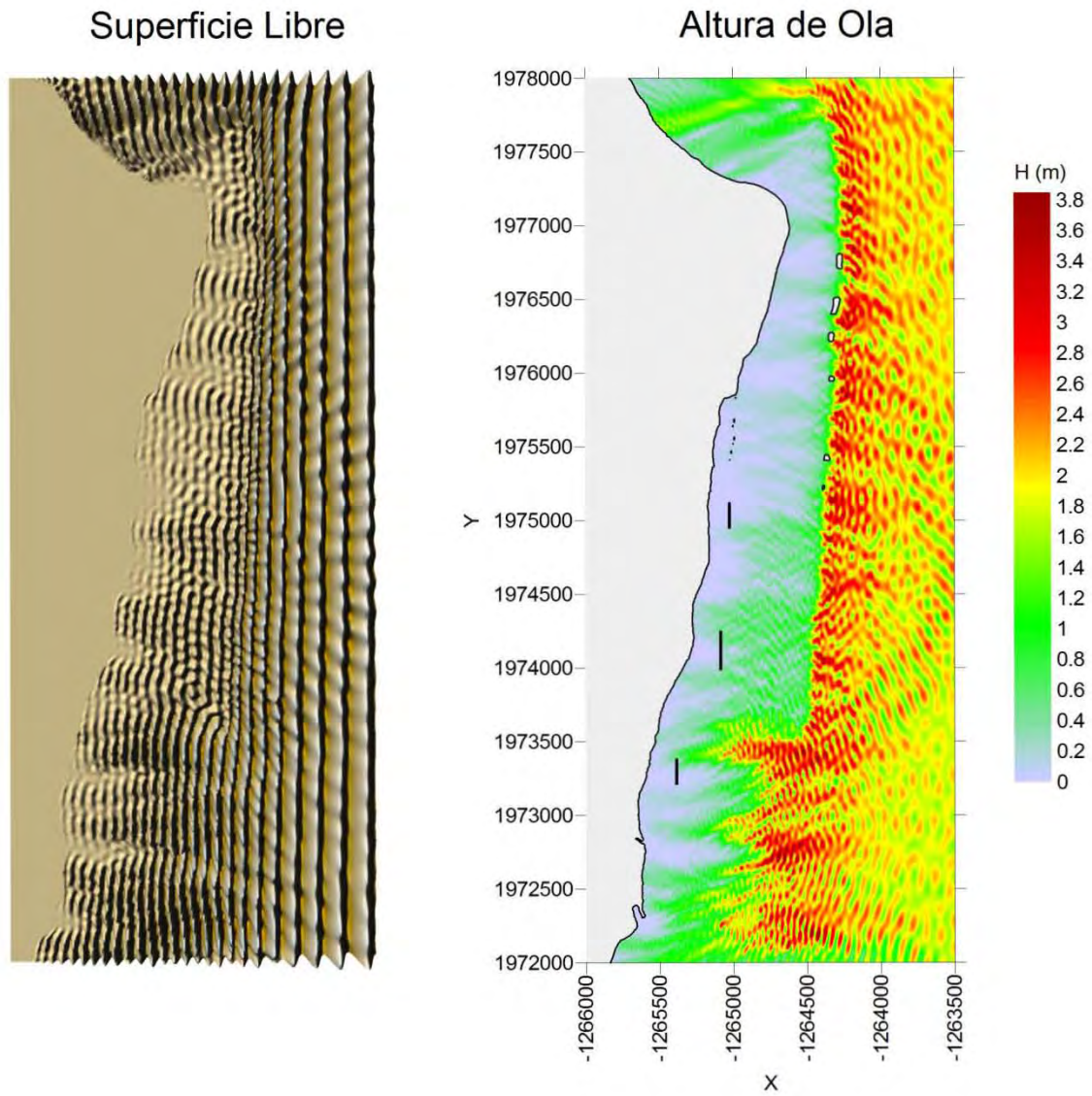
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



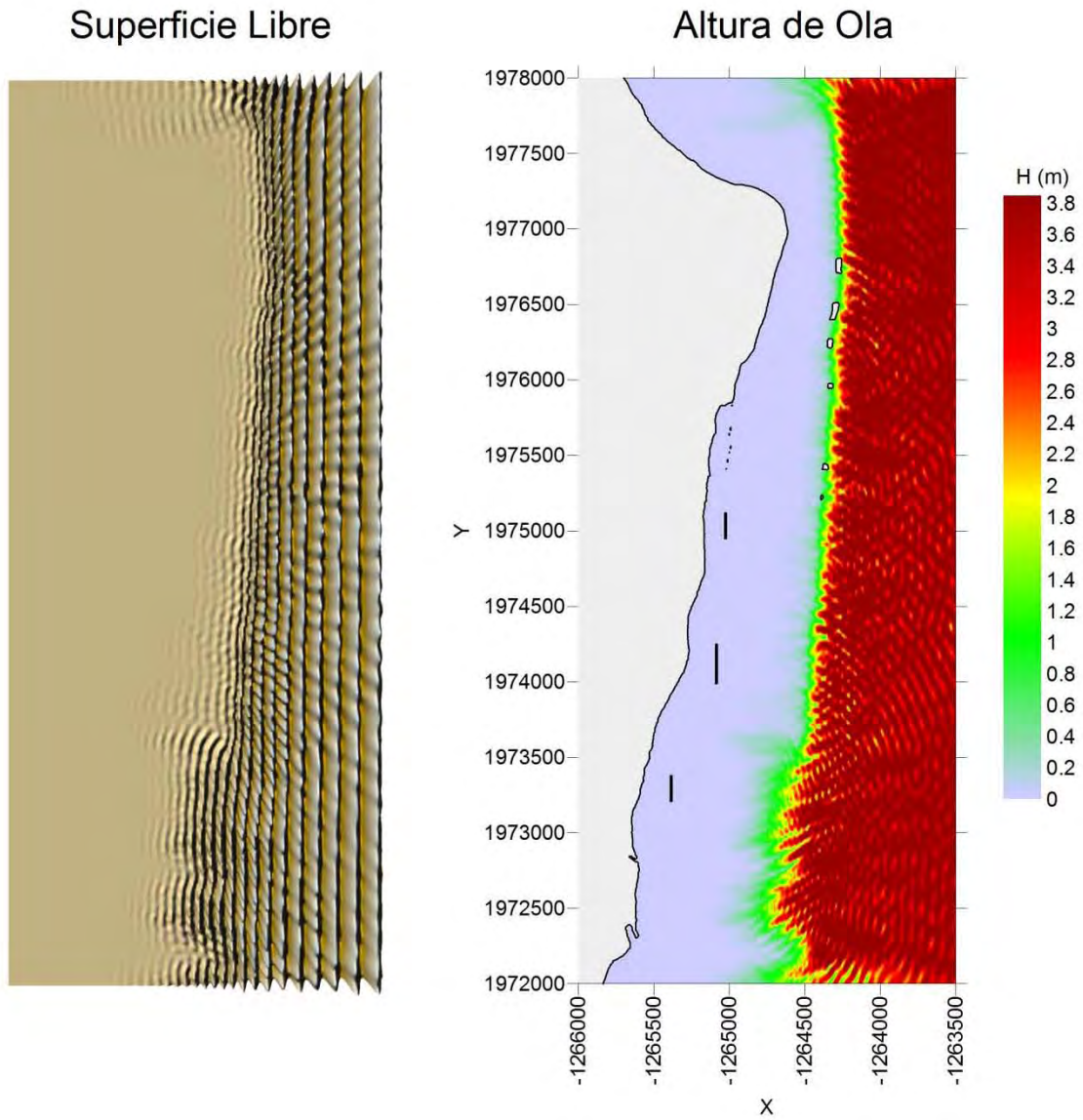
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



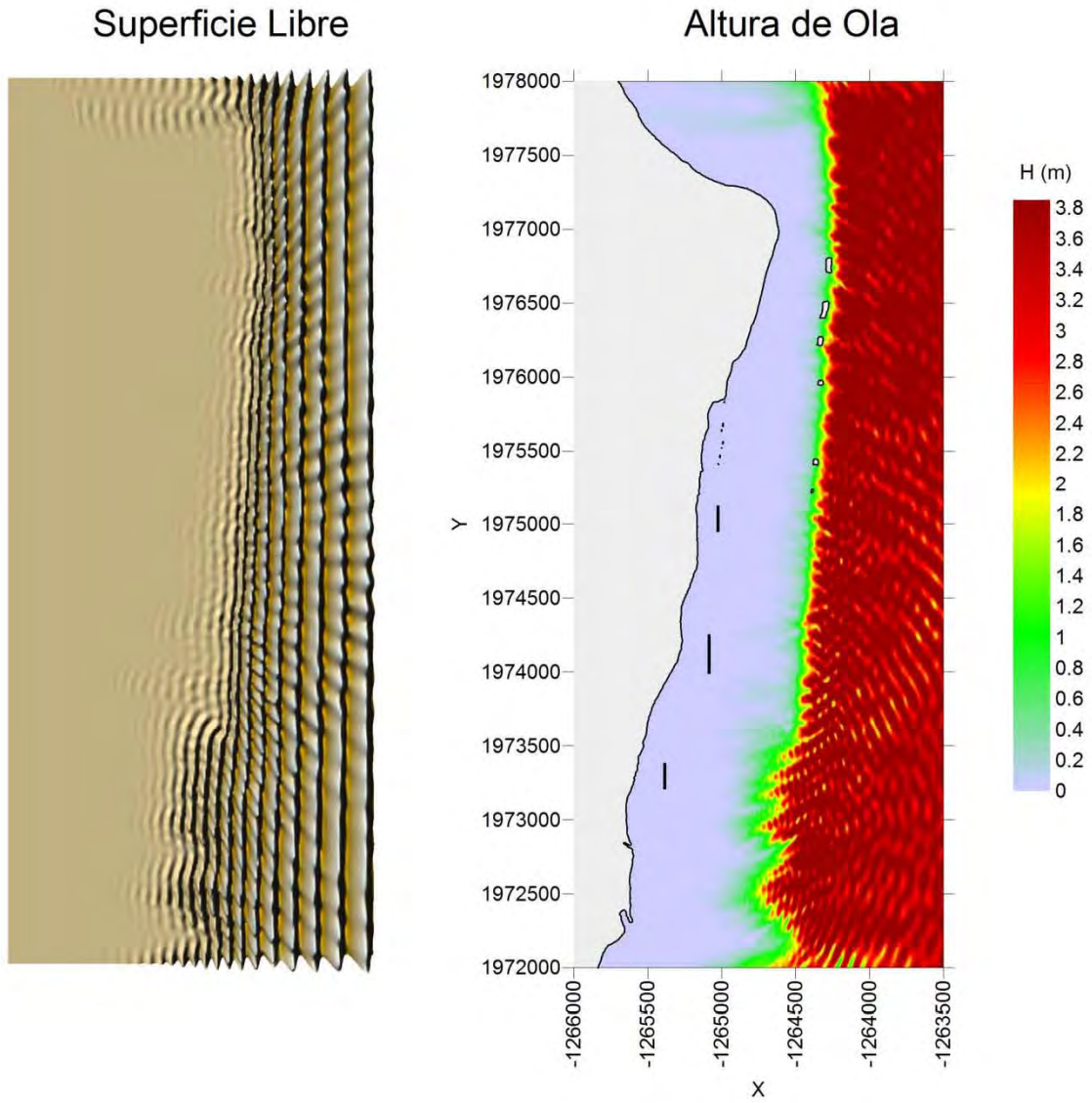
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



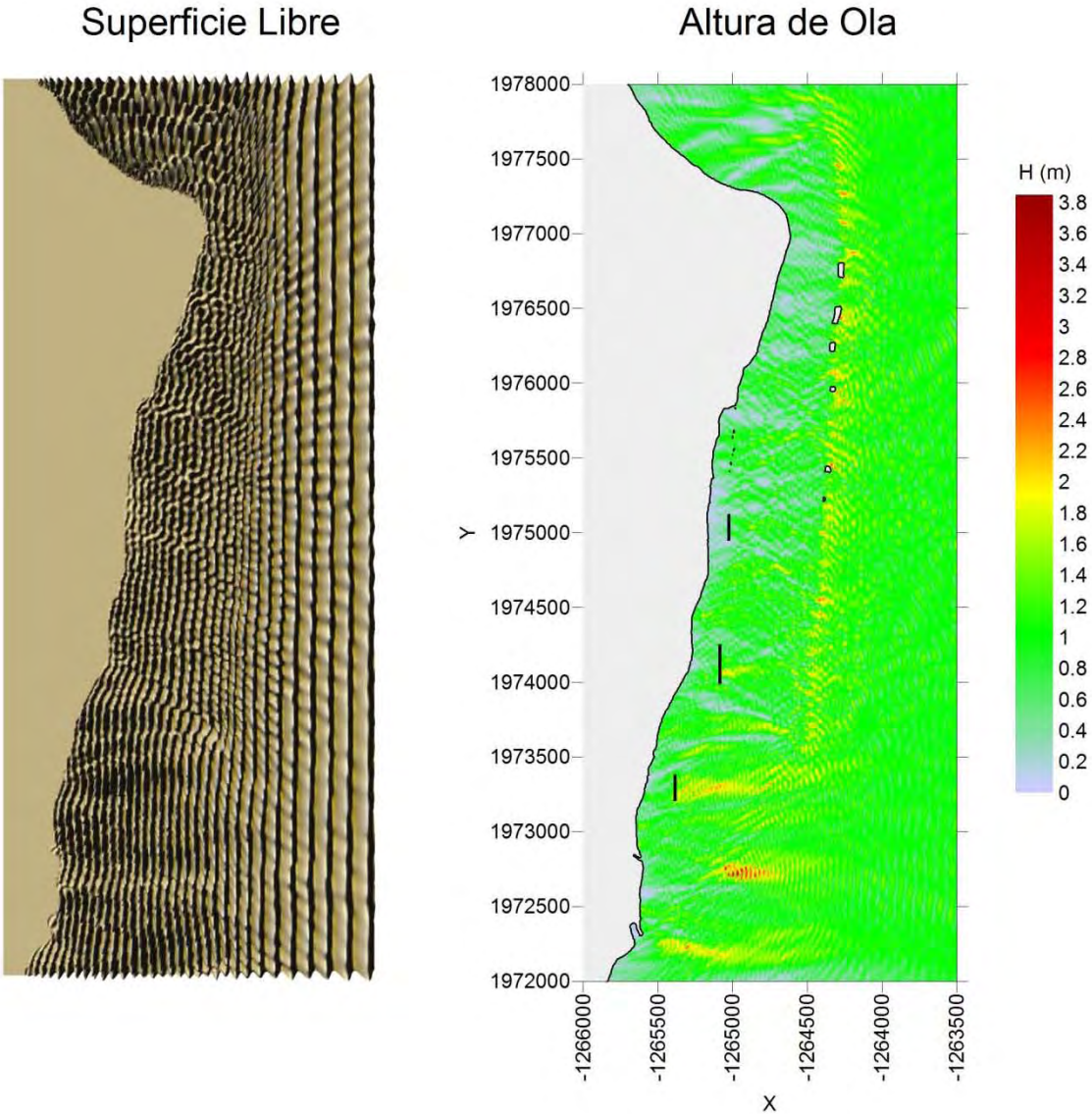
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



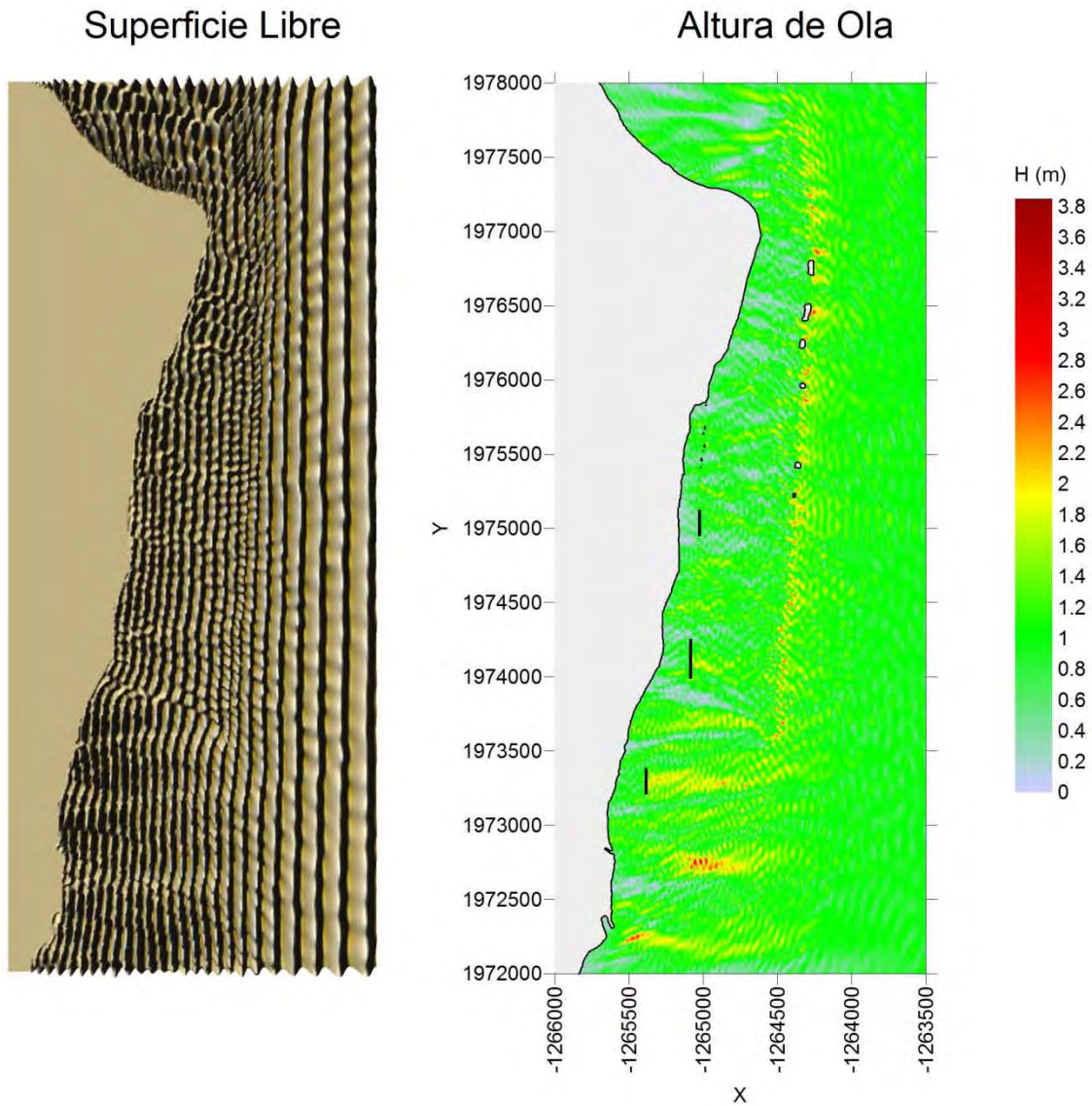
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



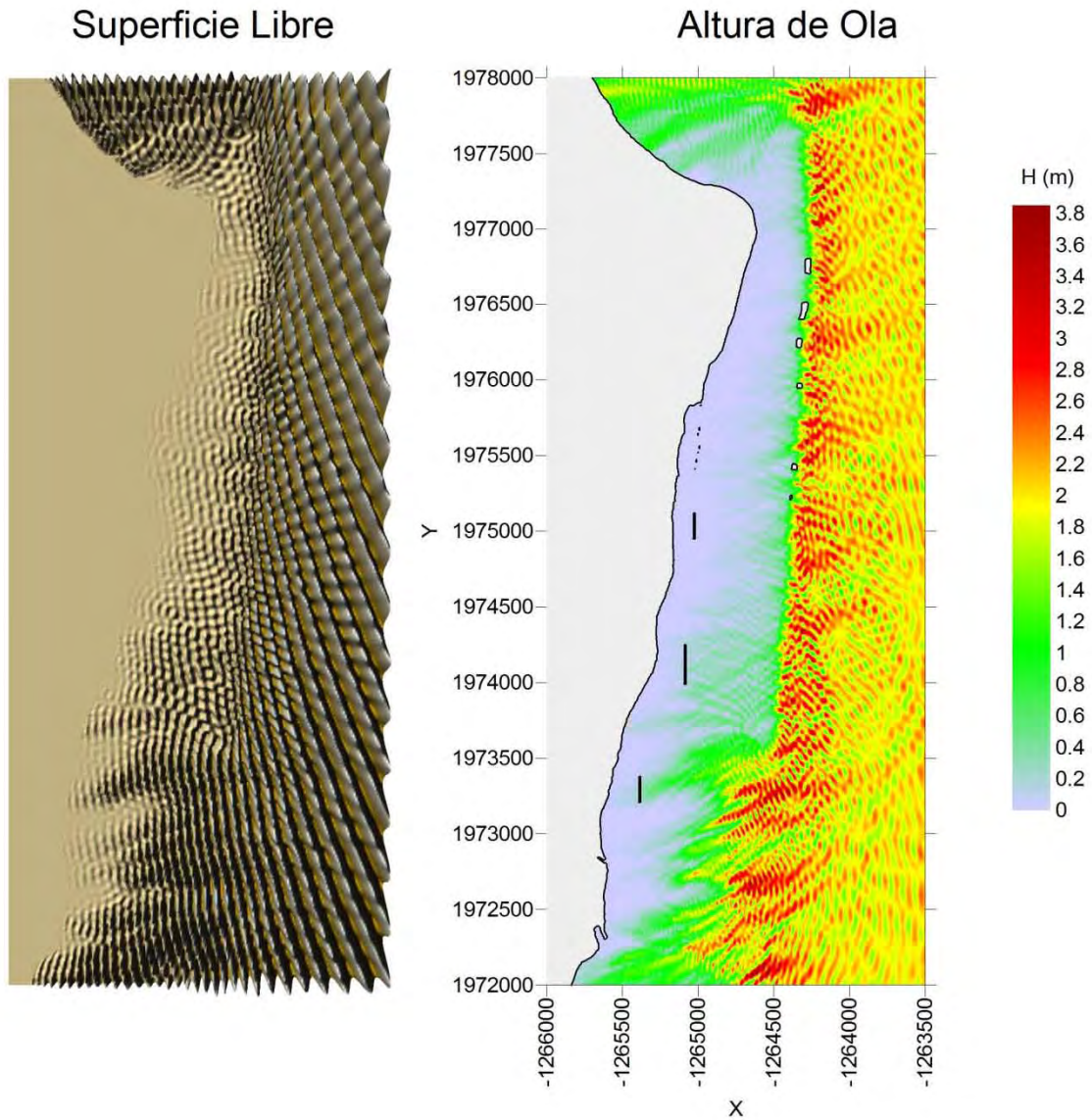
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



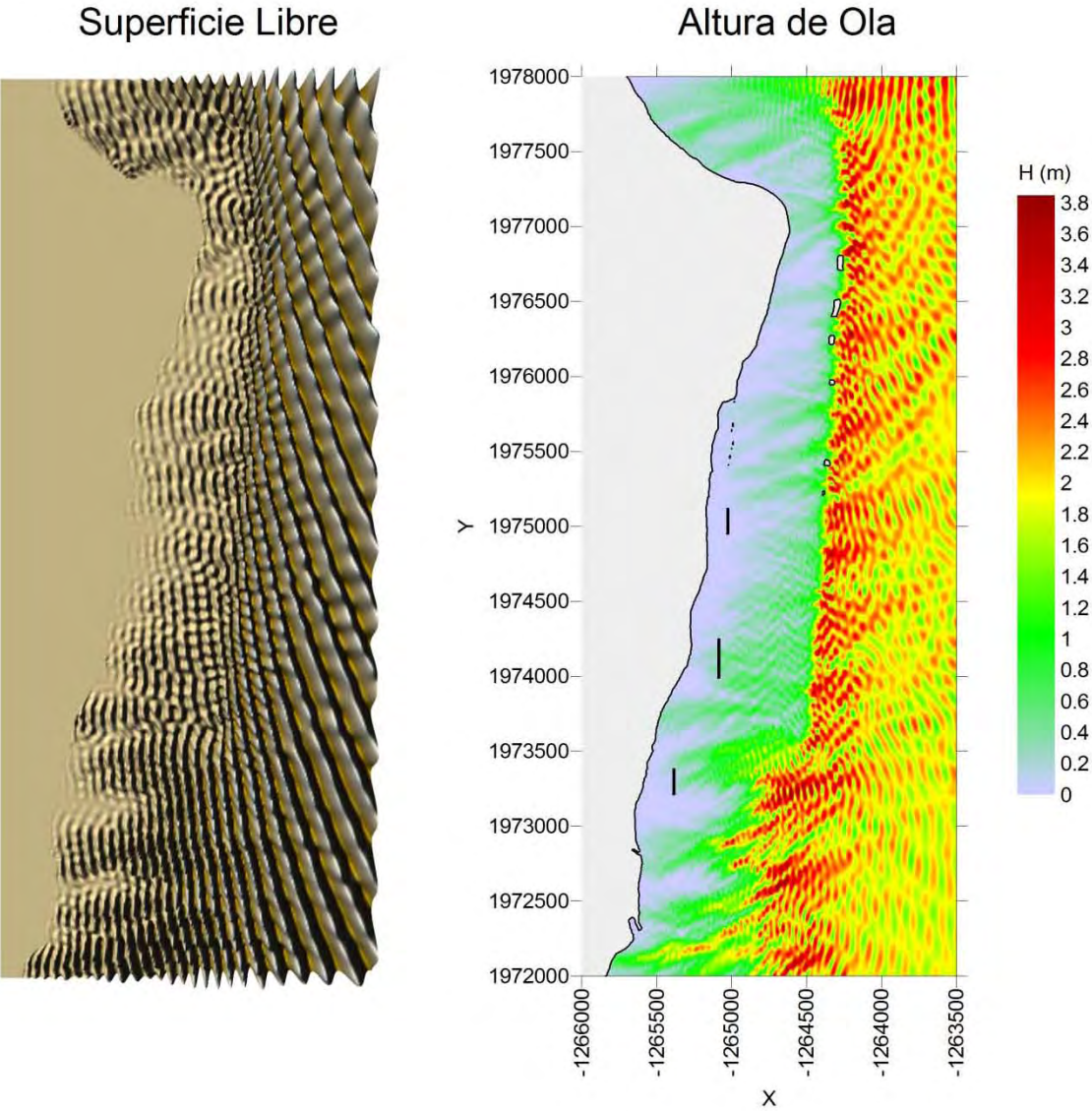
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



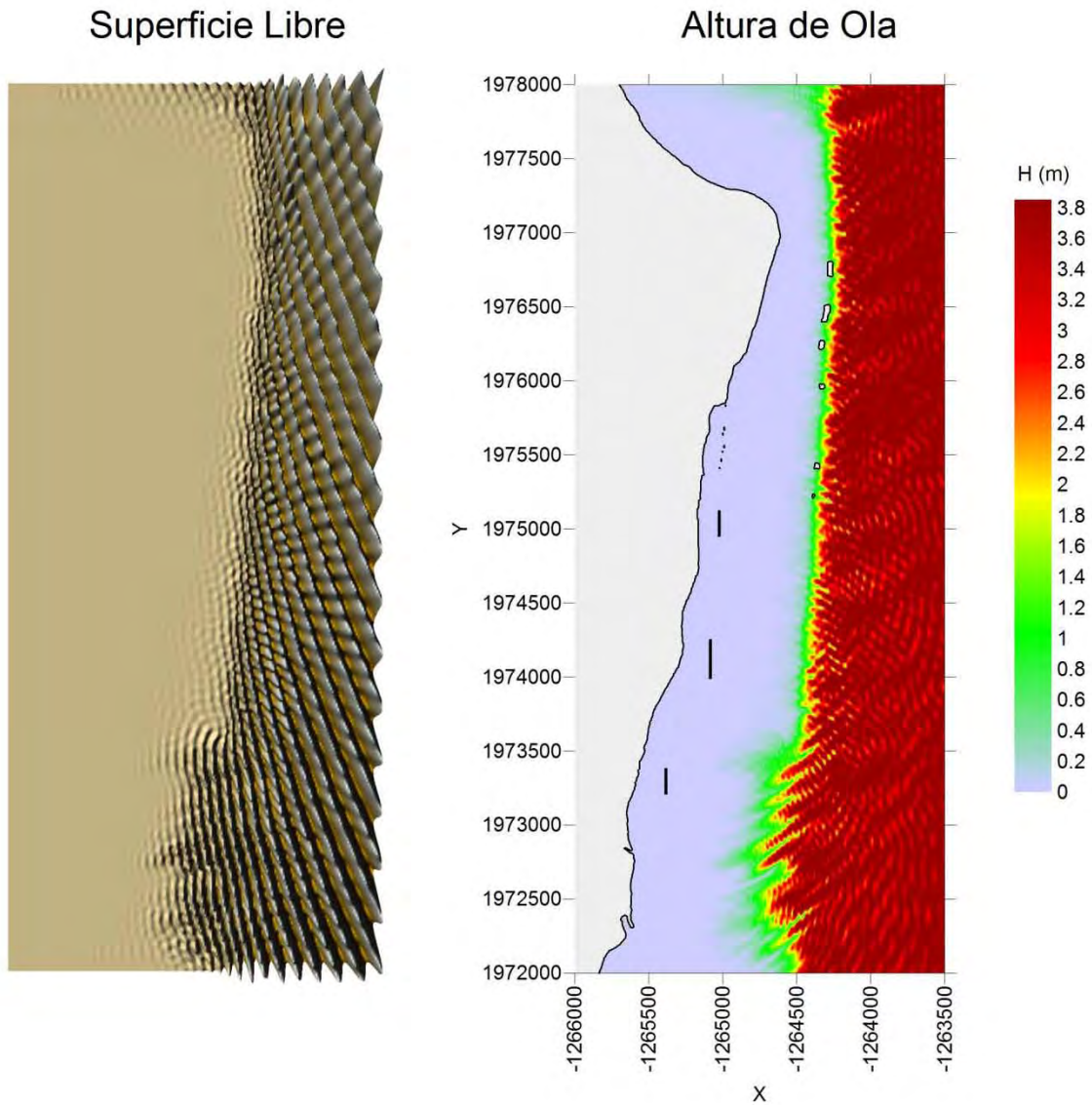
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



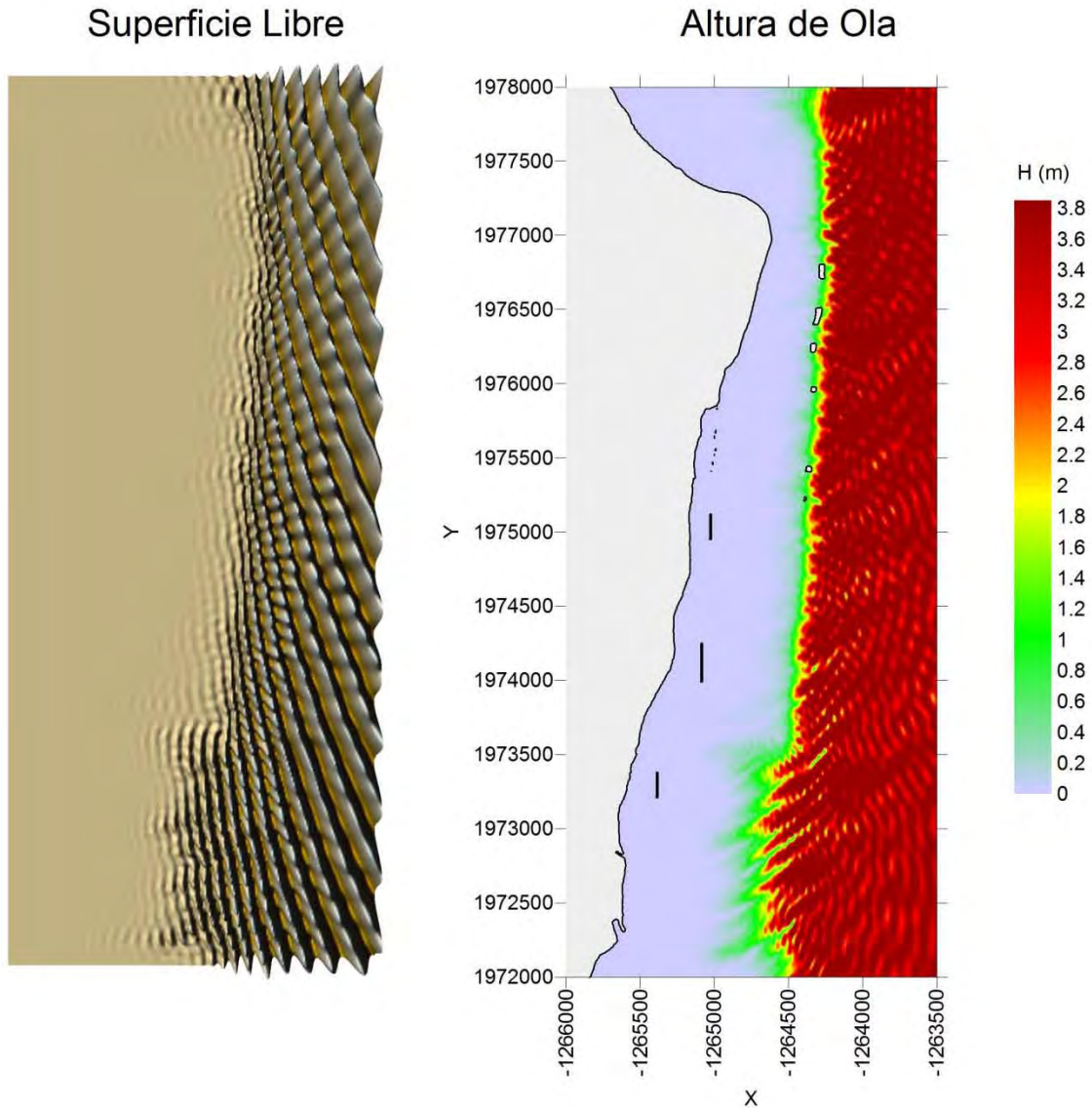
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



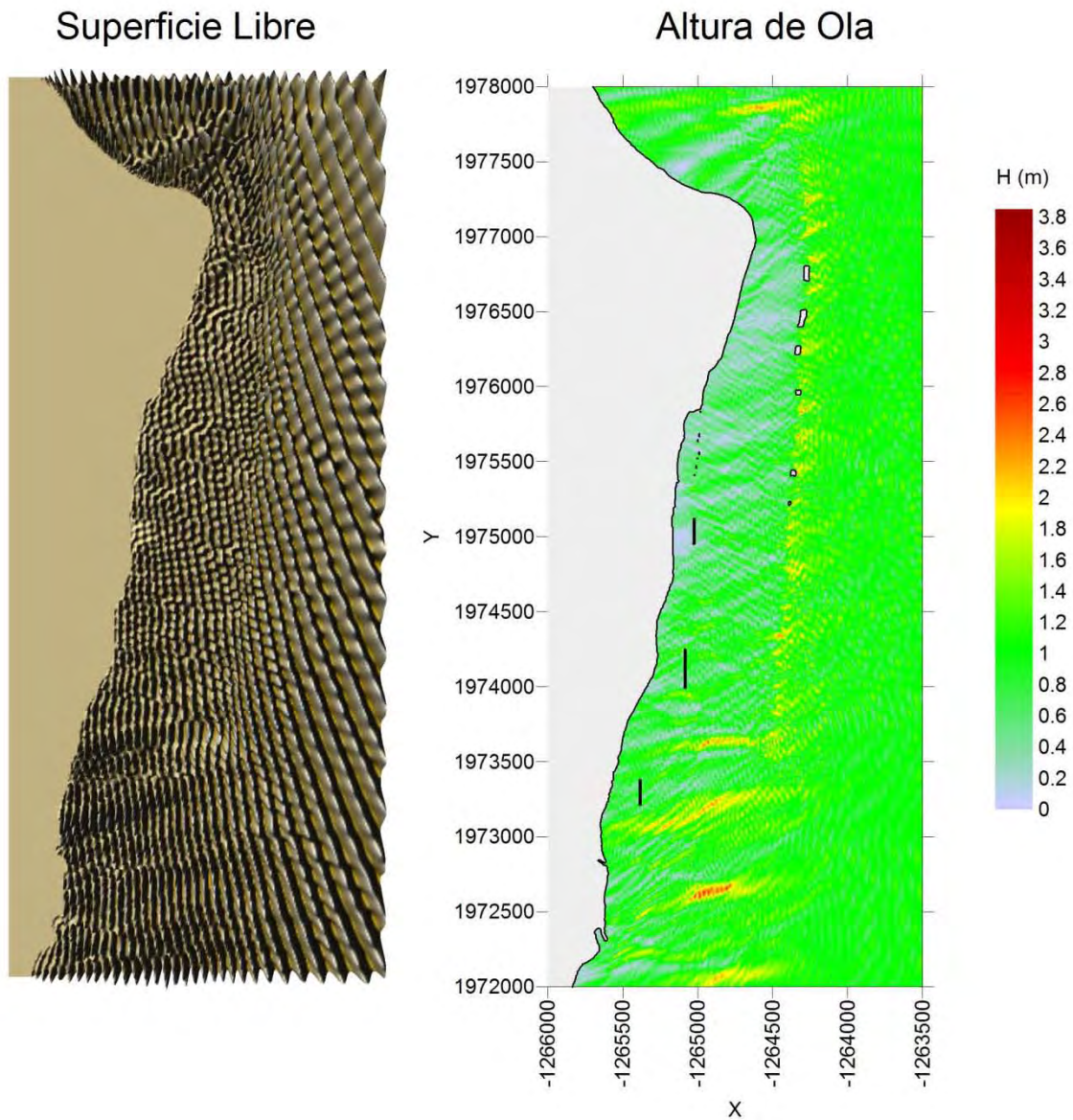
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



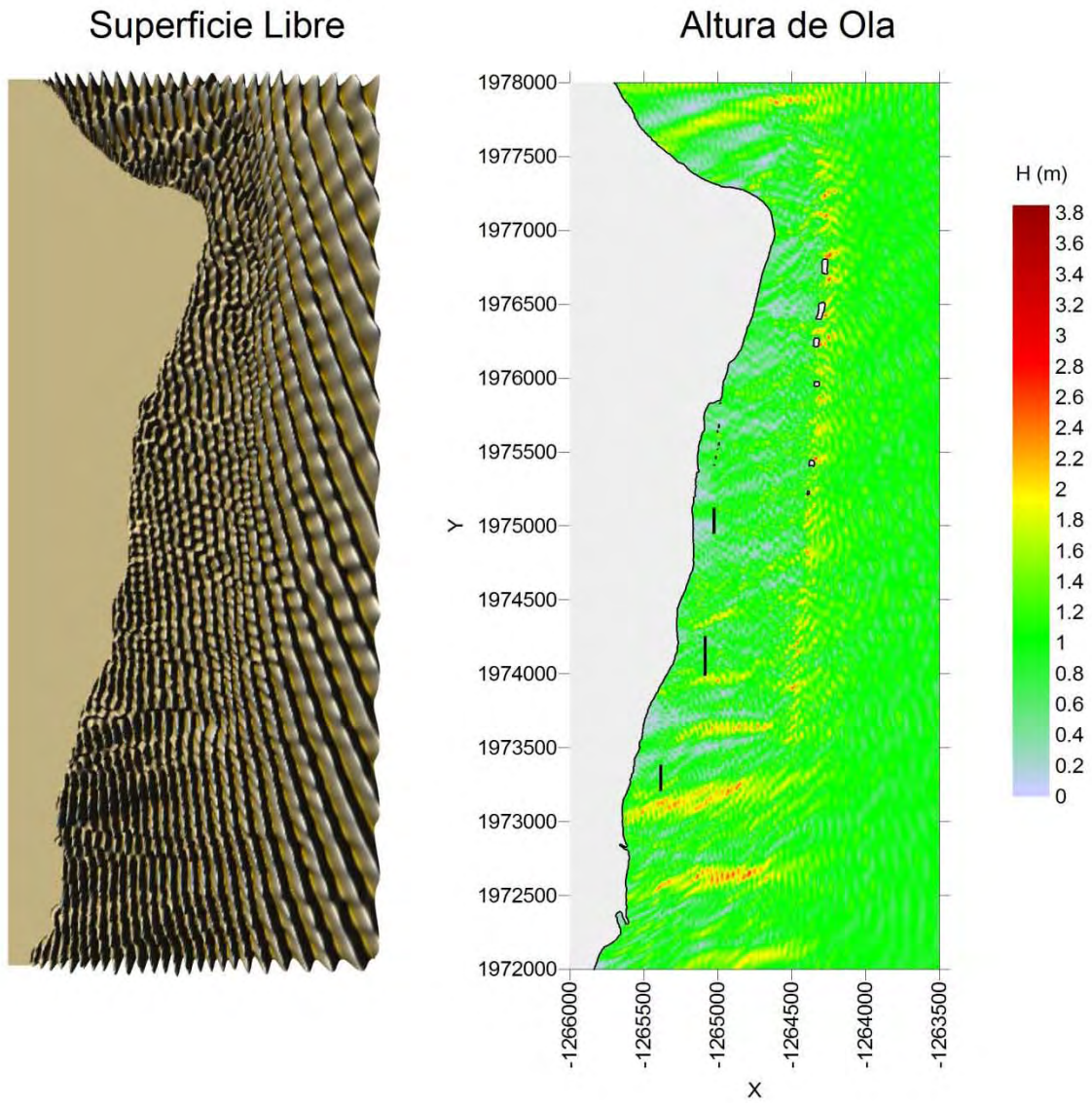
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



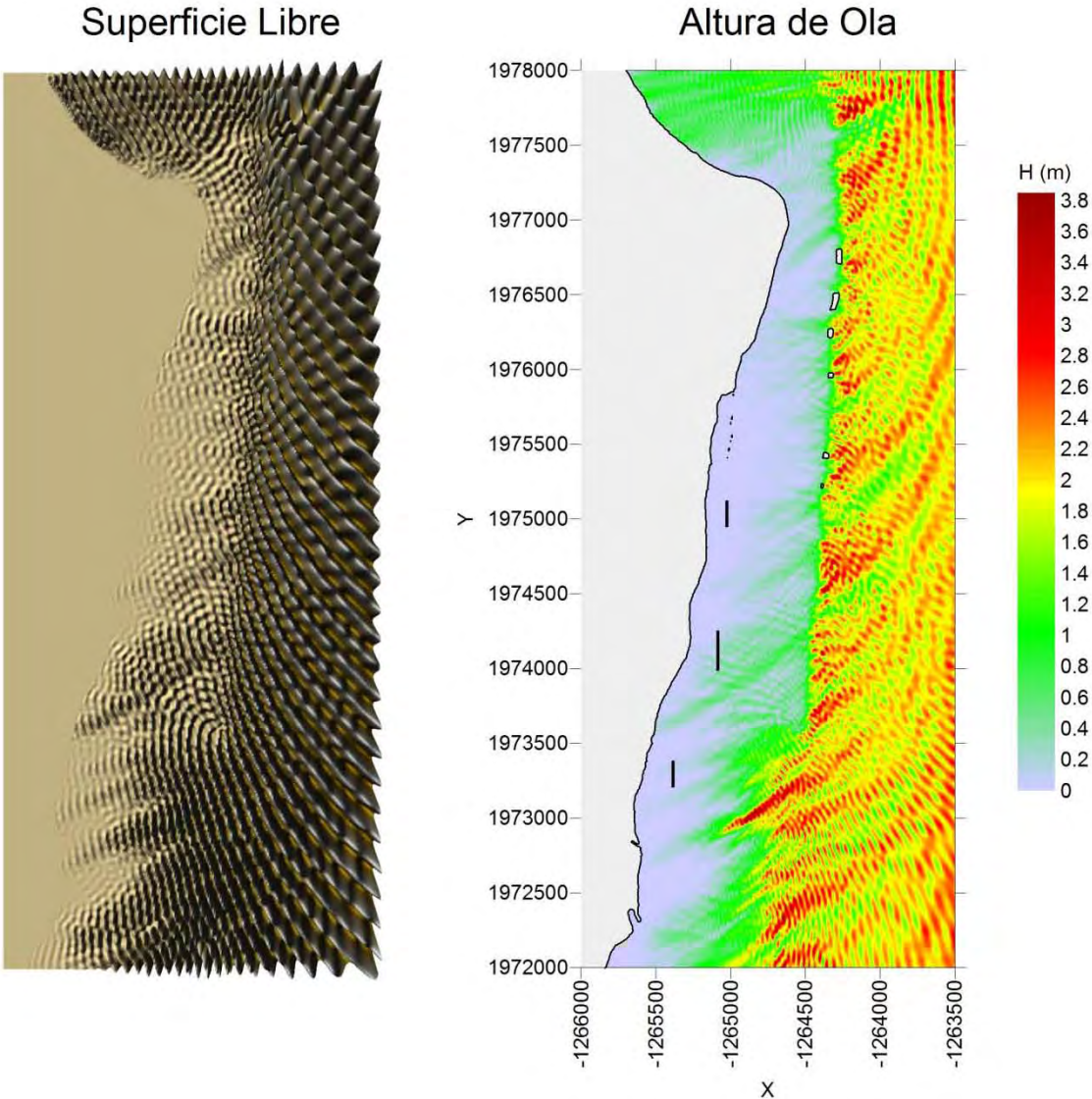
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



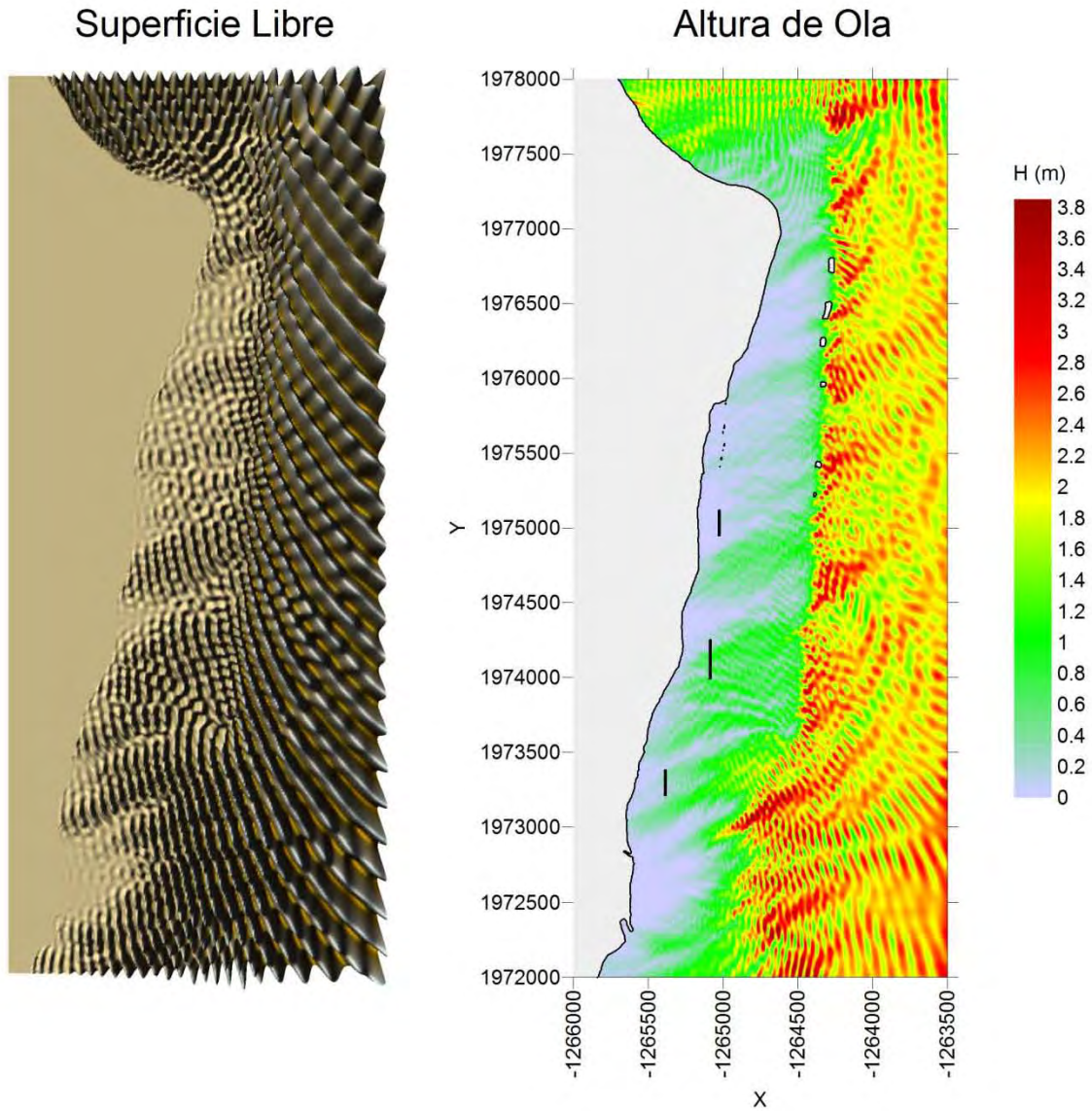
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



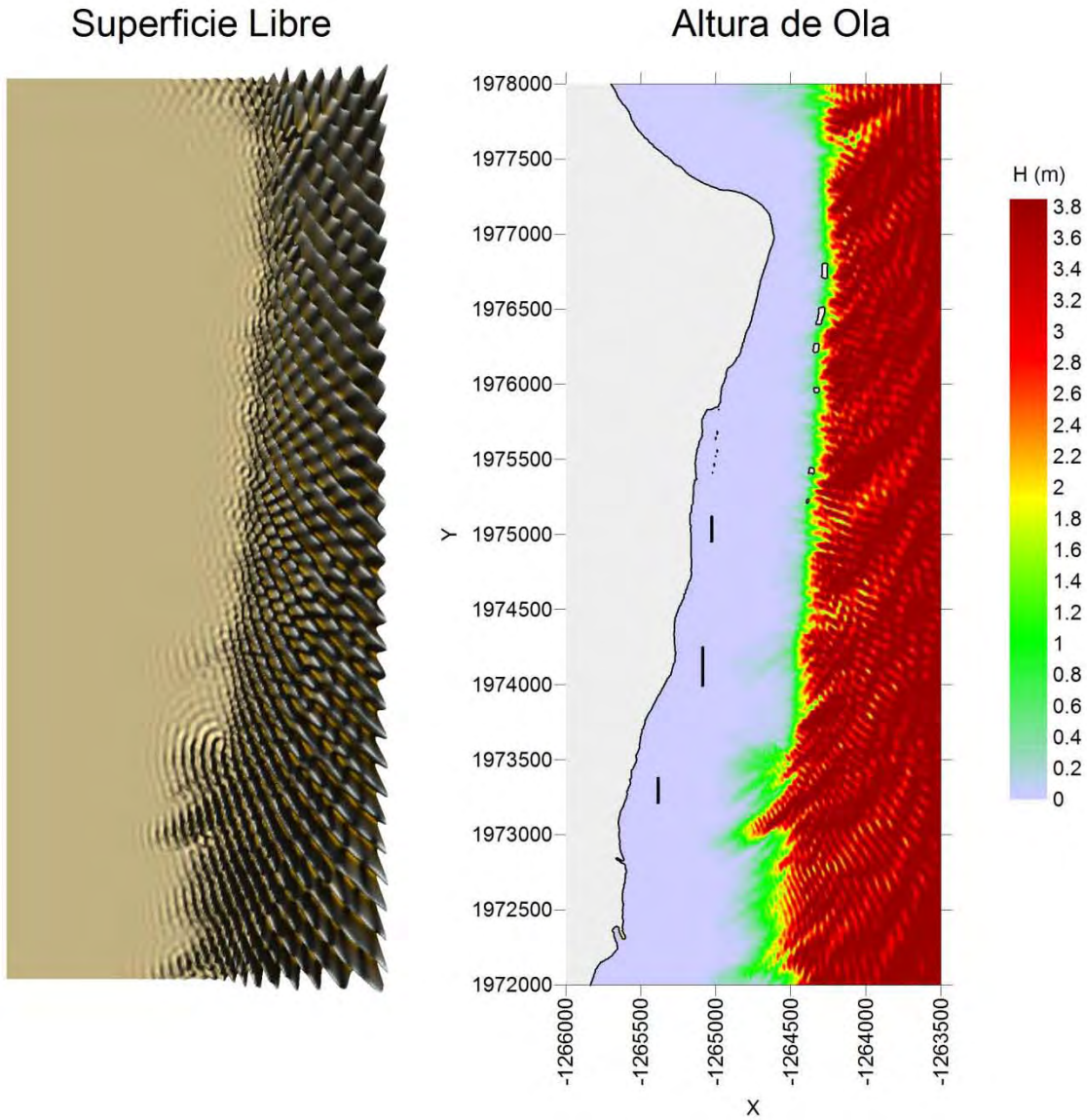
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta =45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



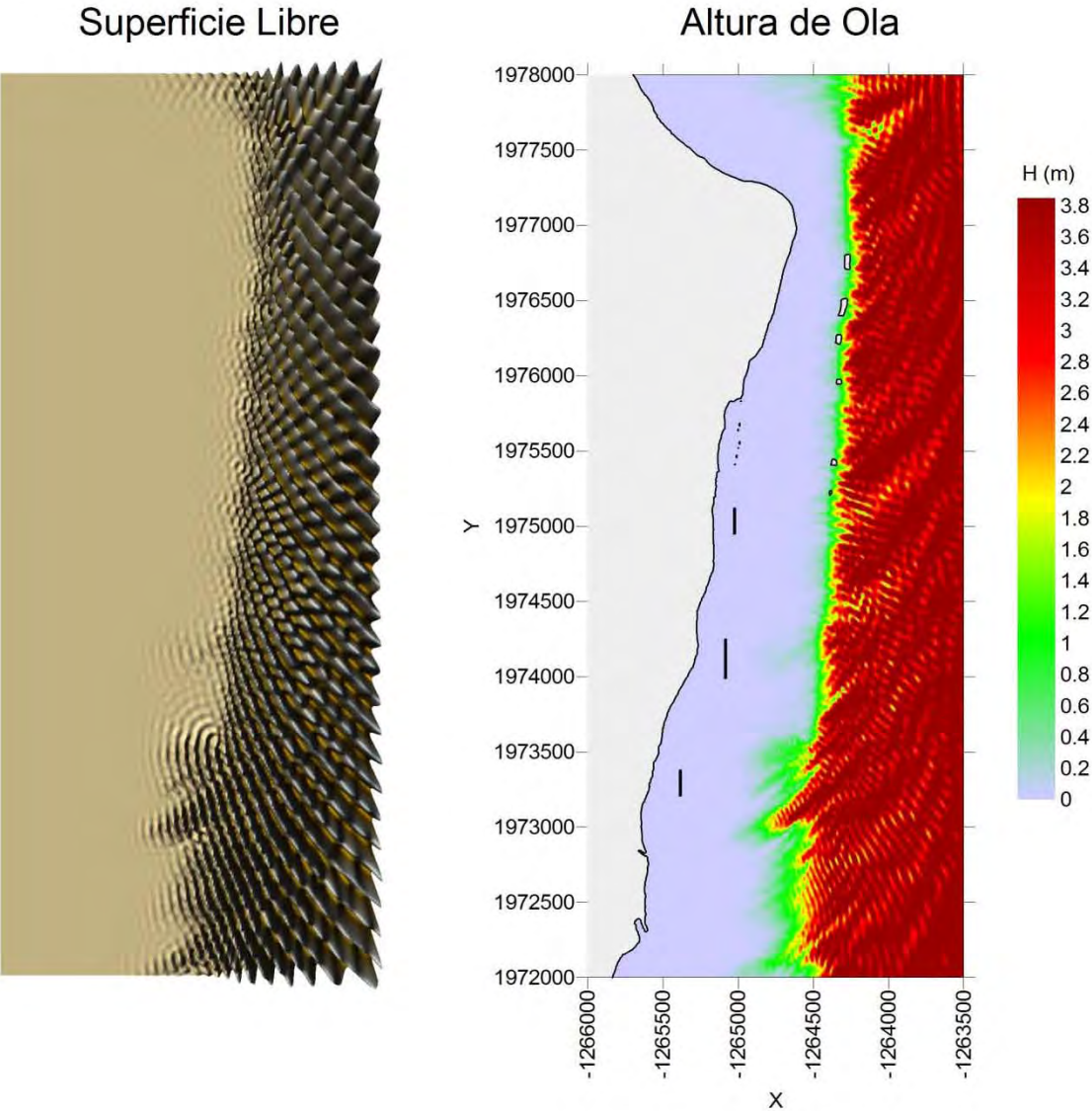
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



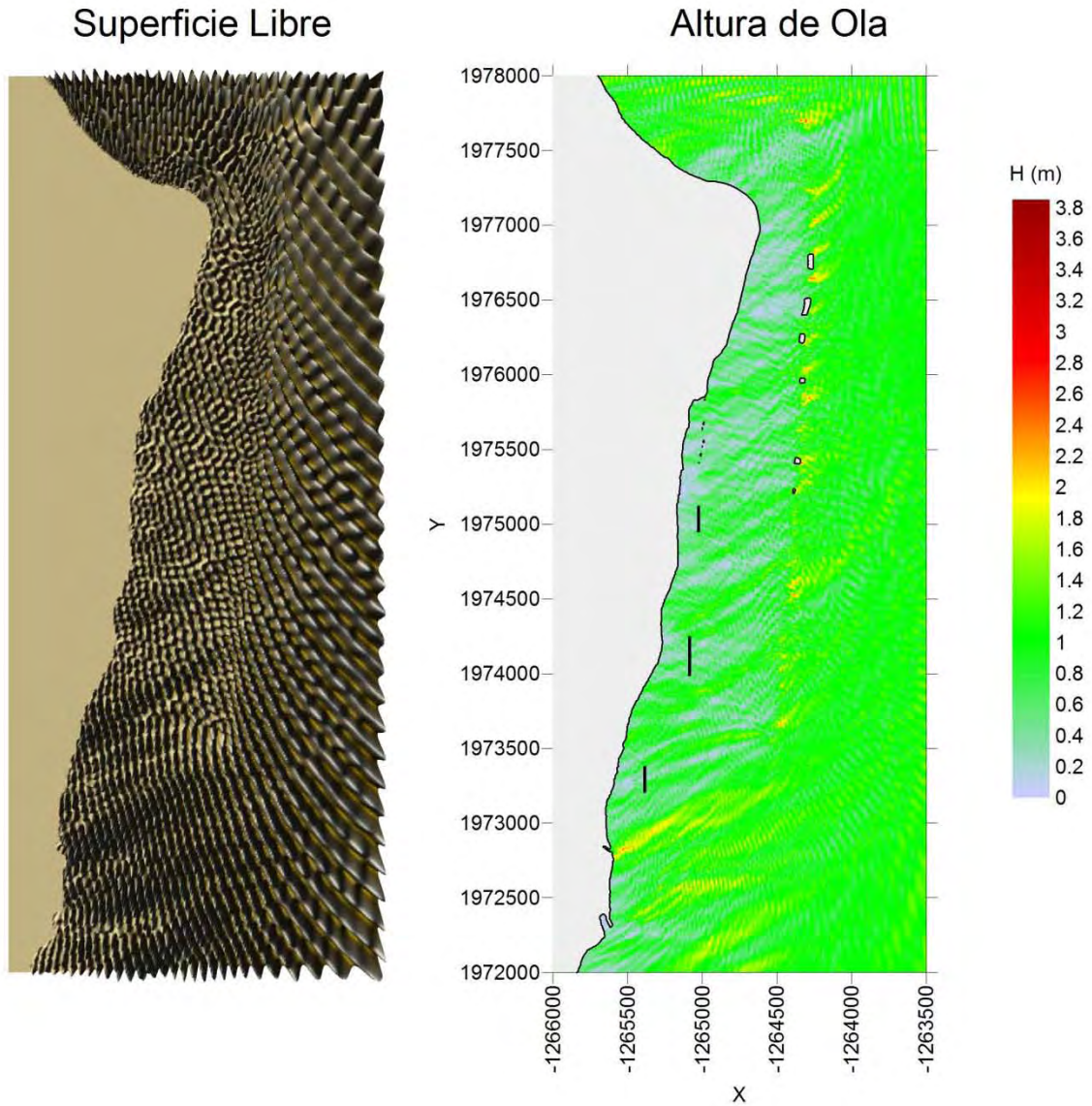
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)



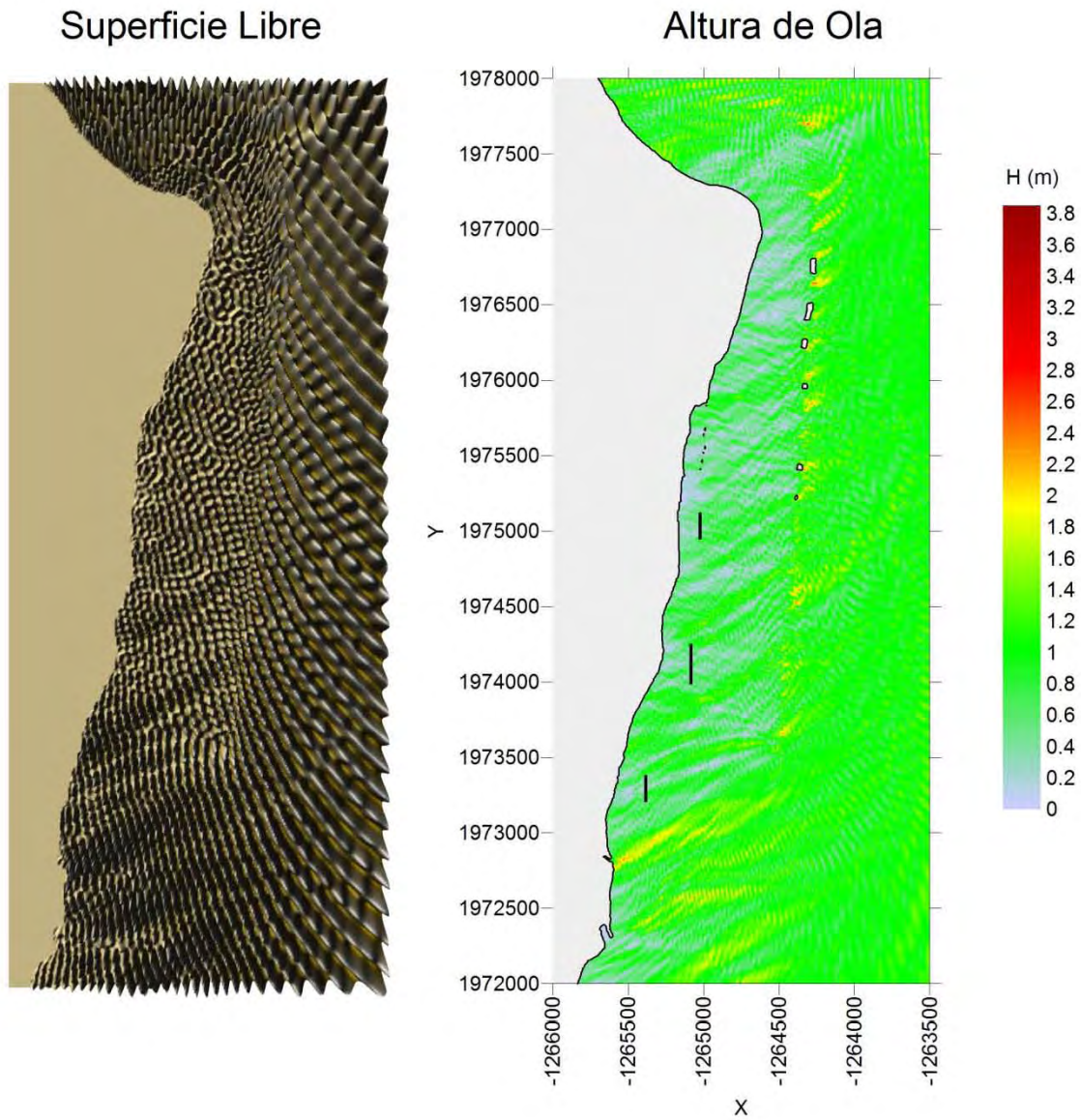
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 2 (m), T= 12 (s)

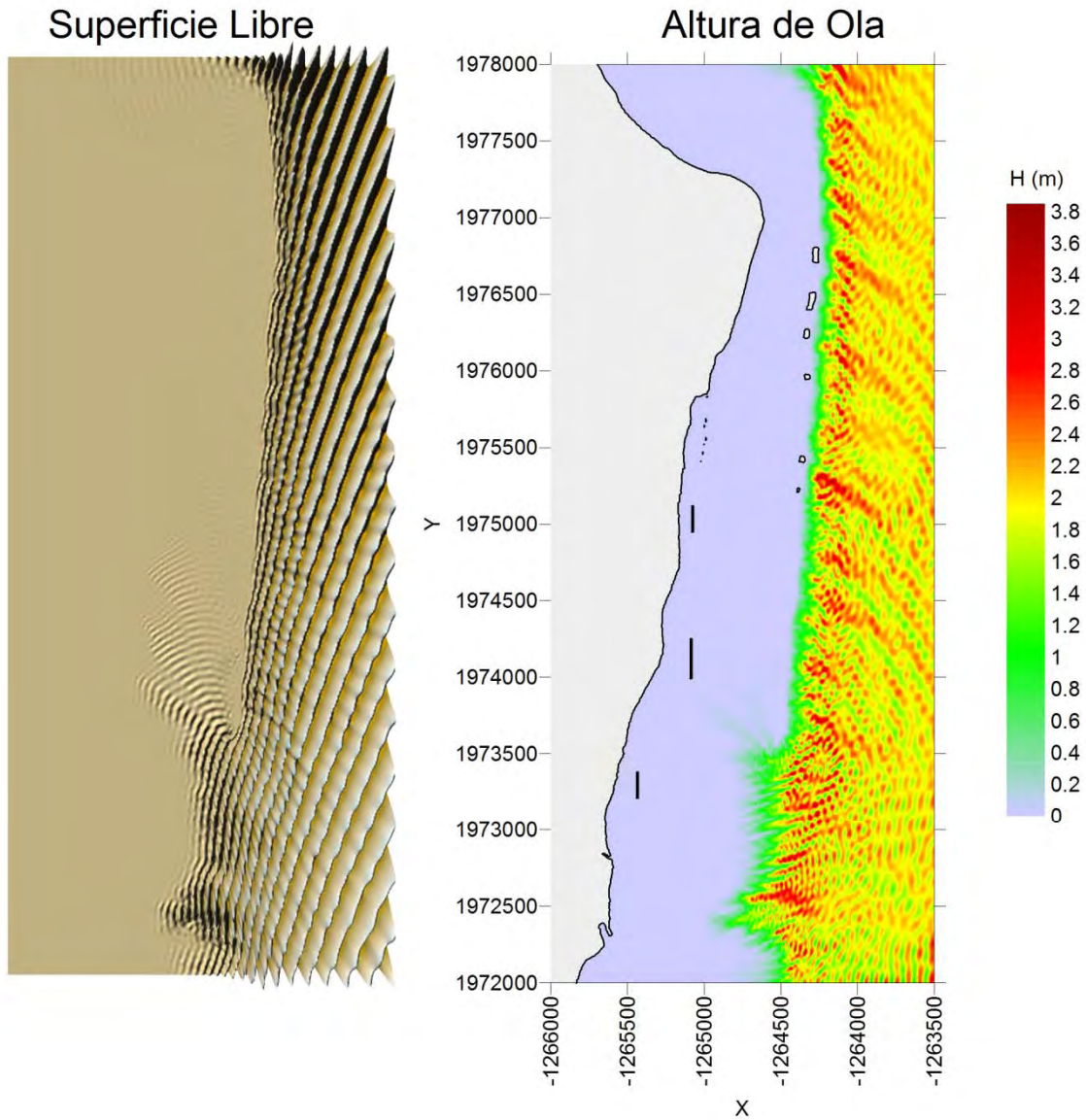


Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

Escenario 3

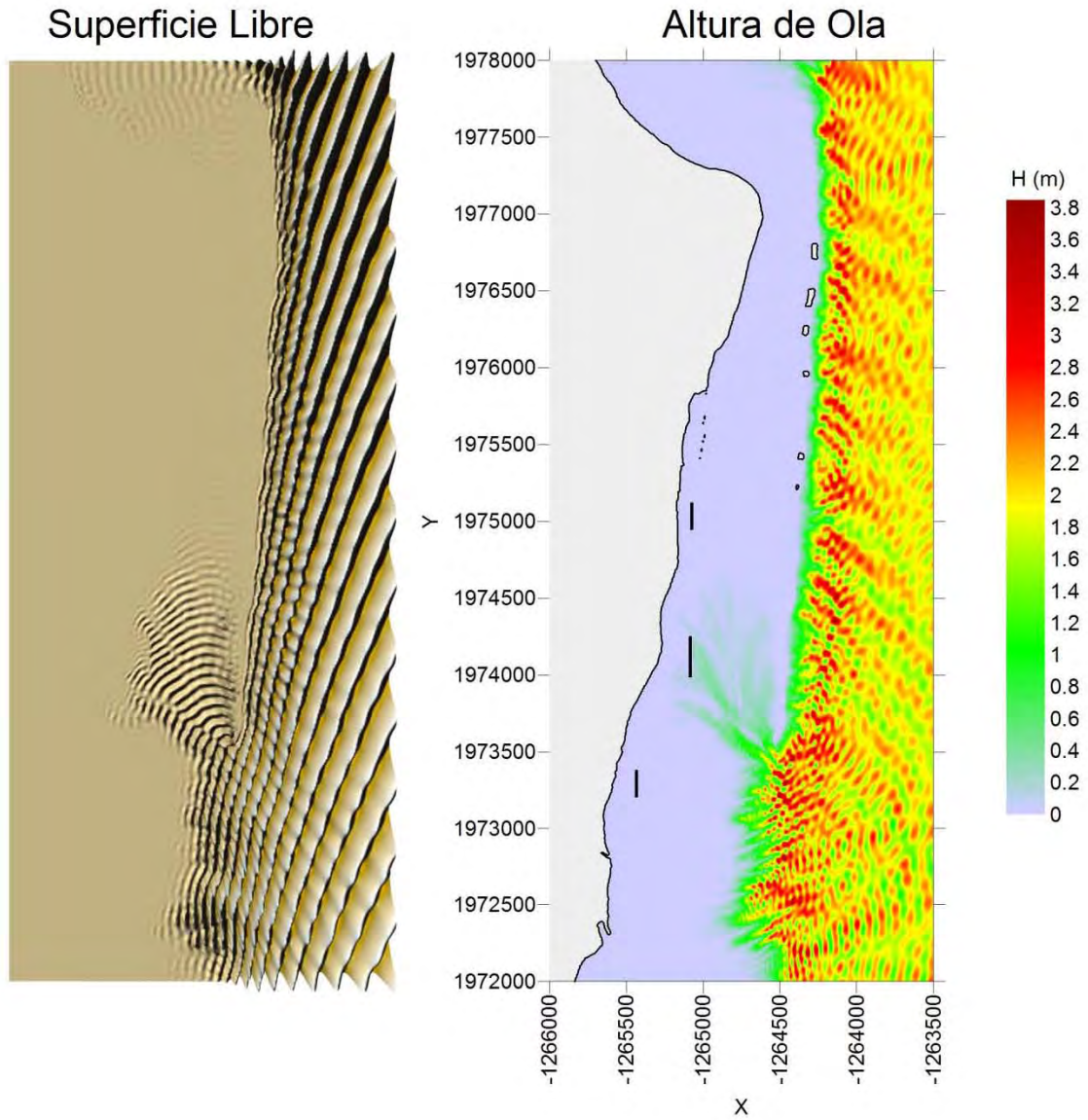
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



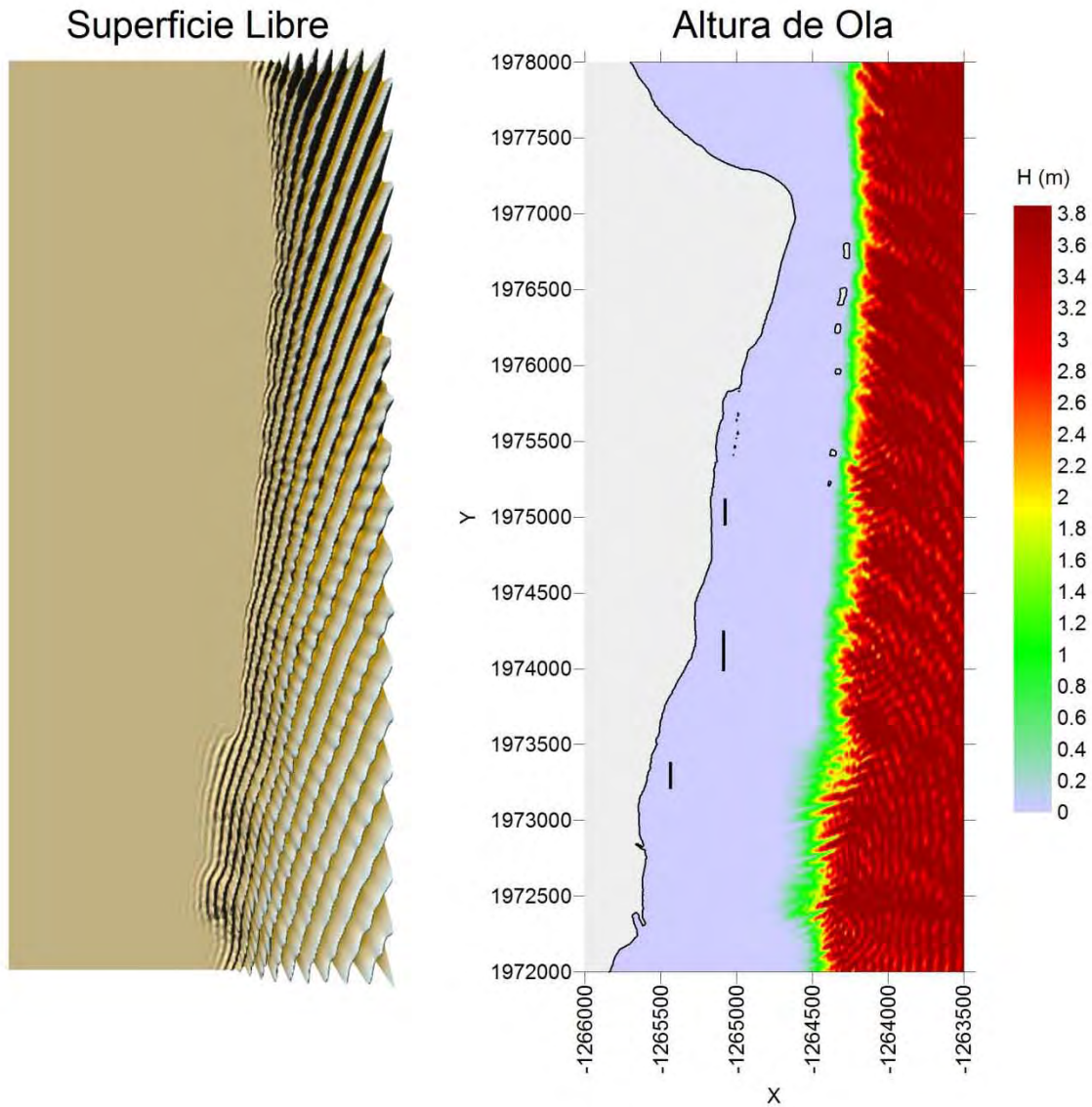
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



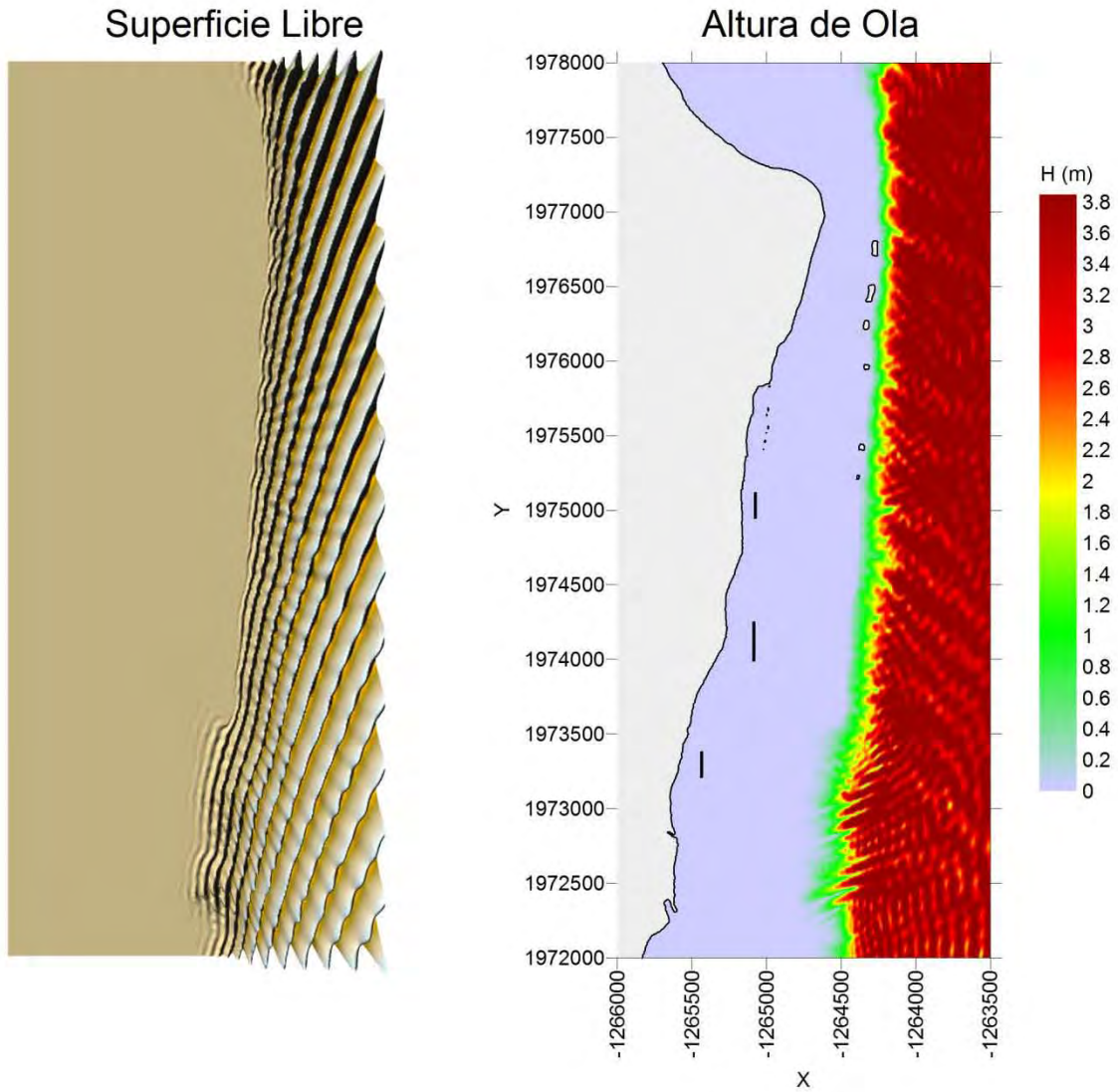
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



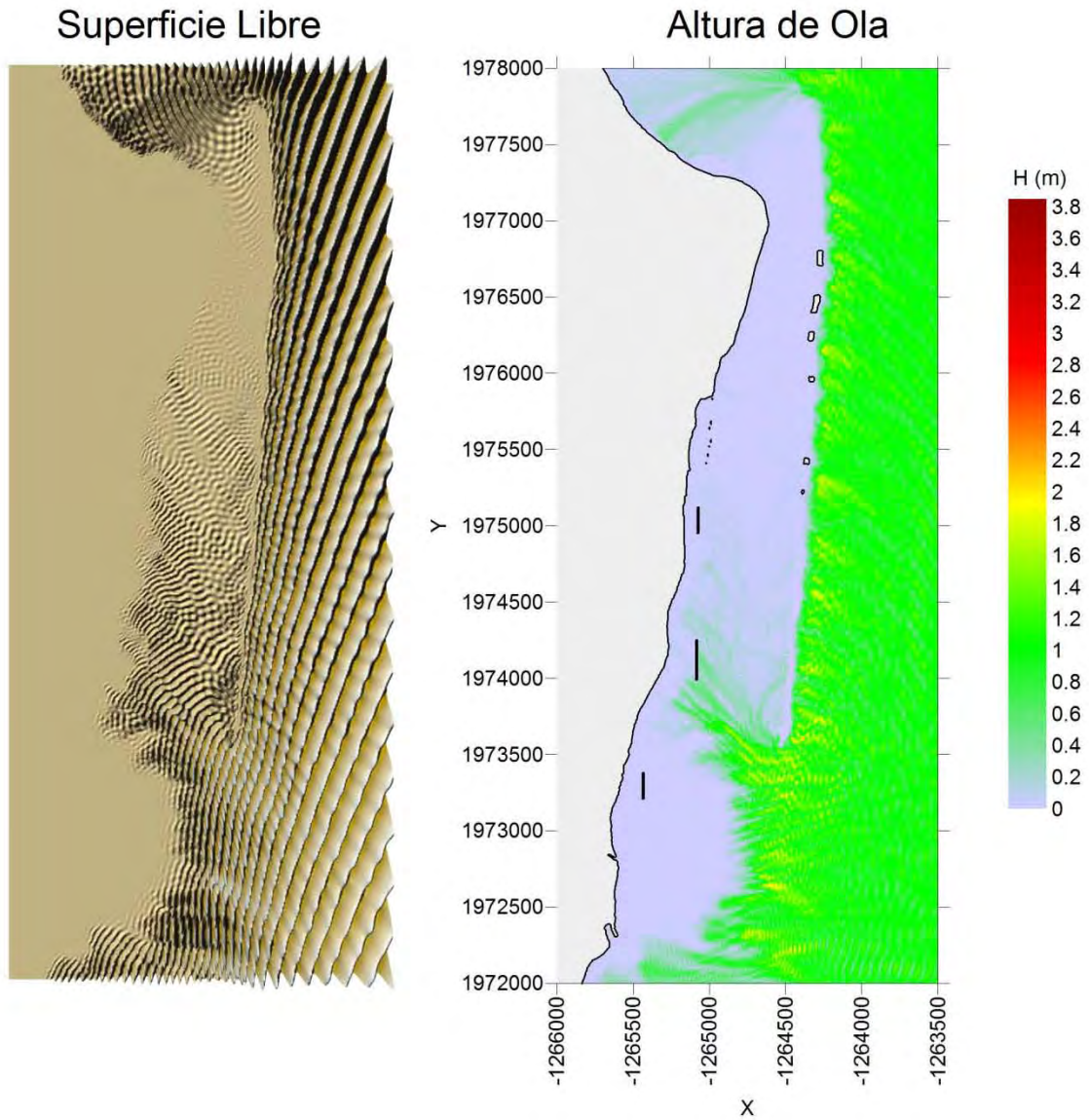
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



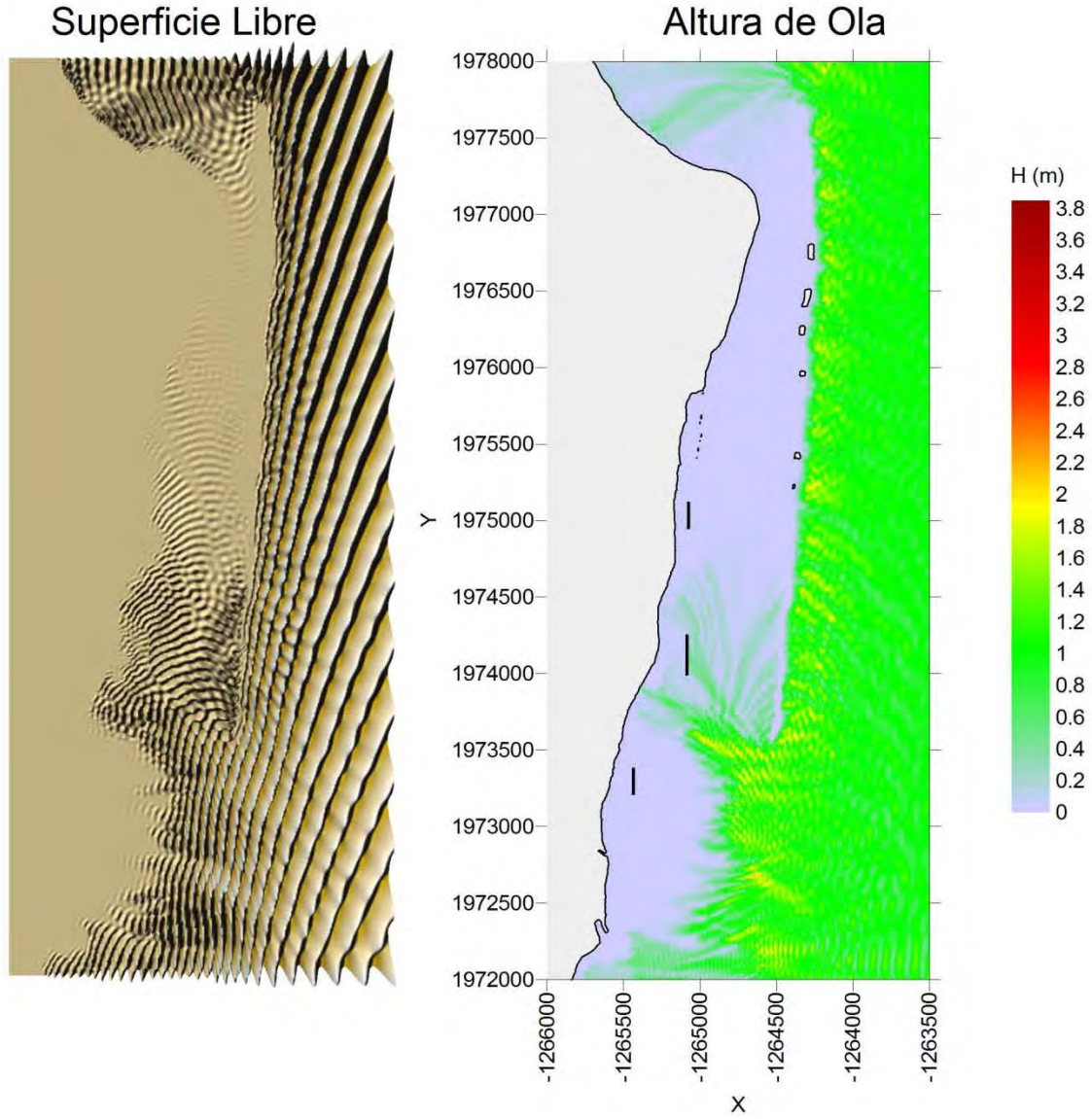
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



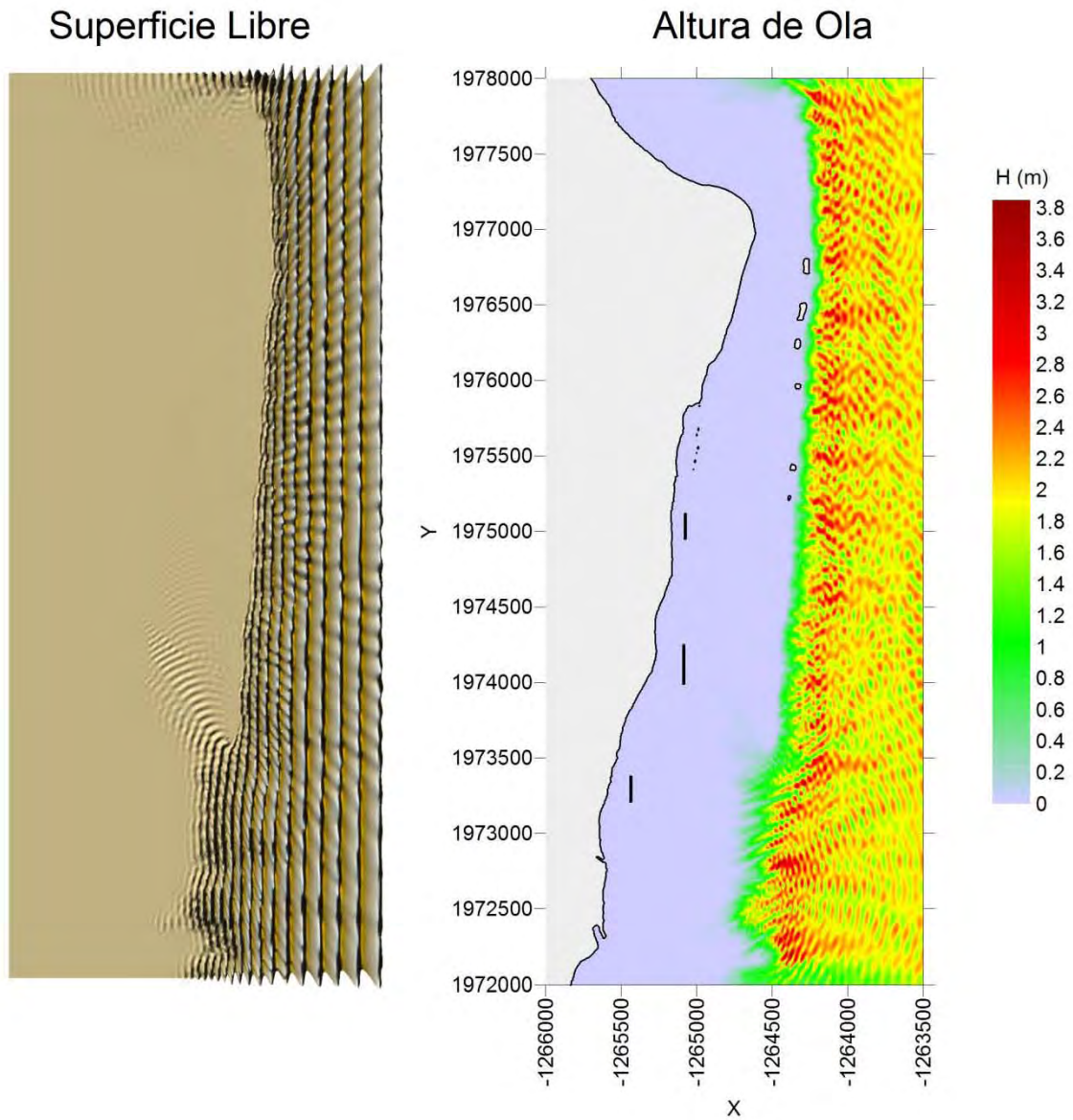
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



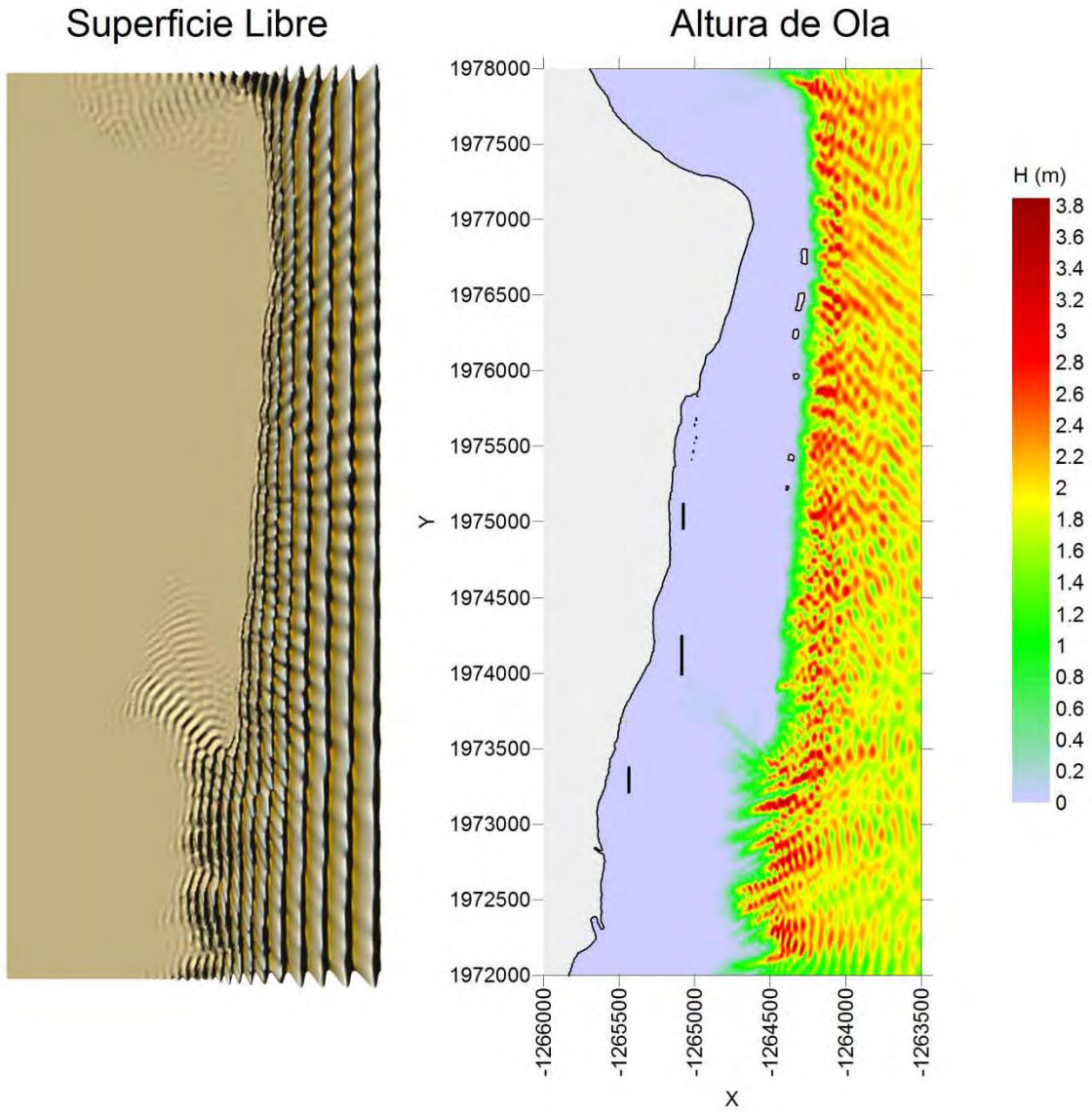
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



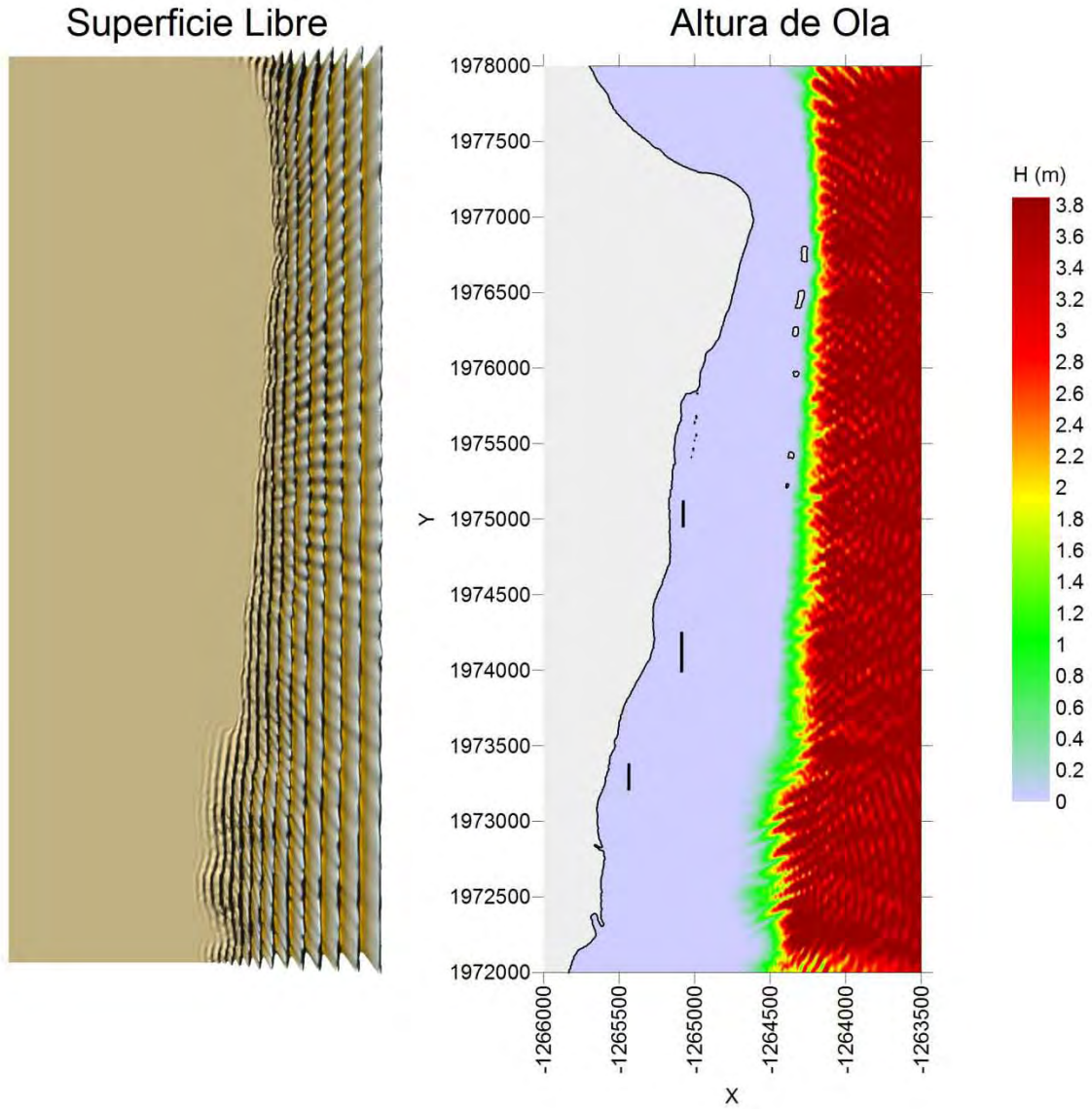
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



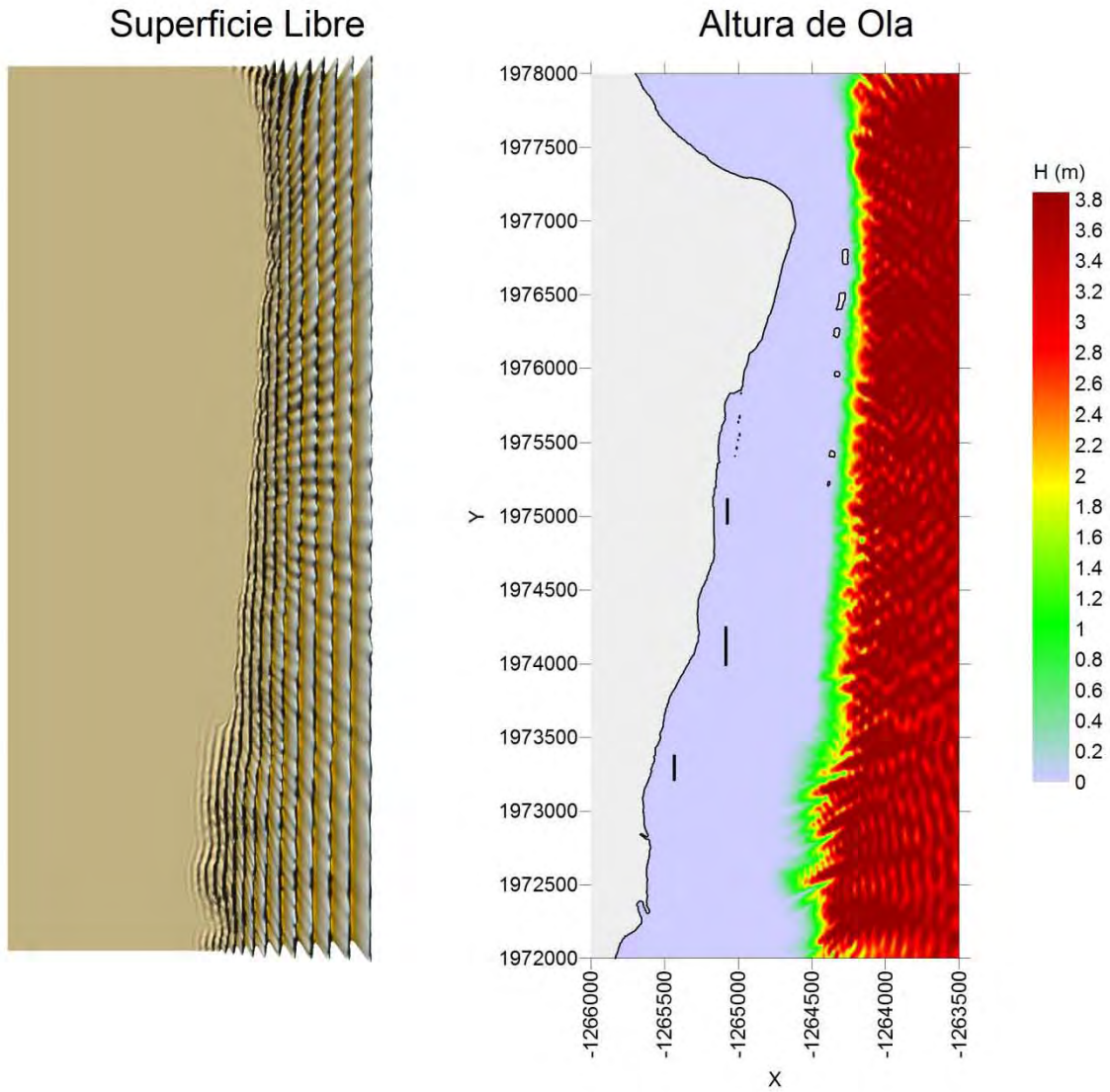
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



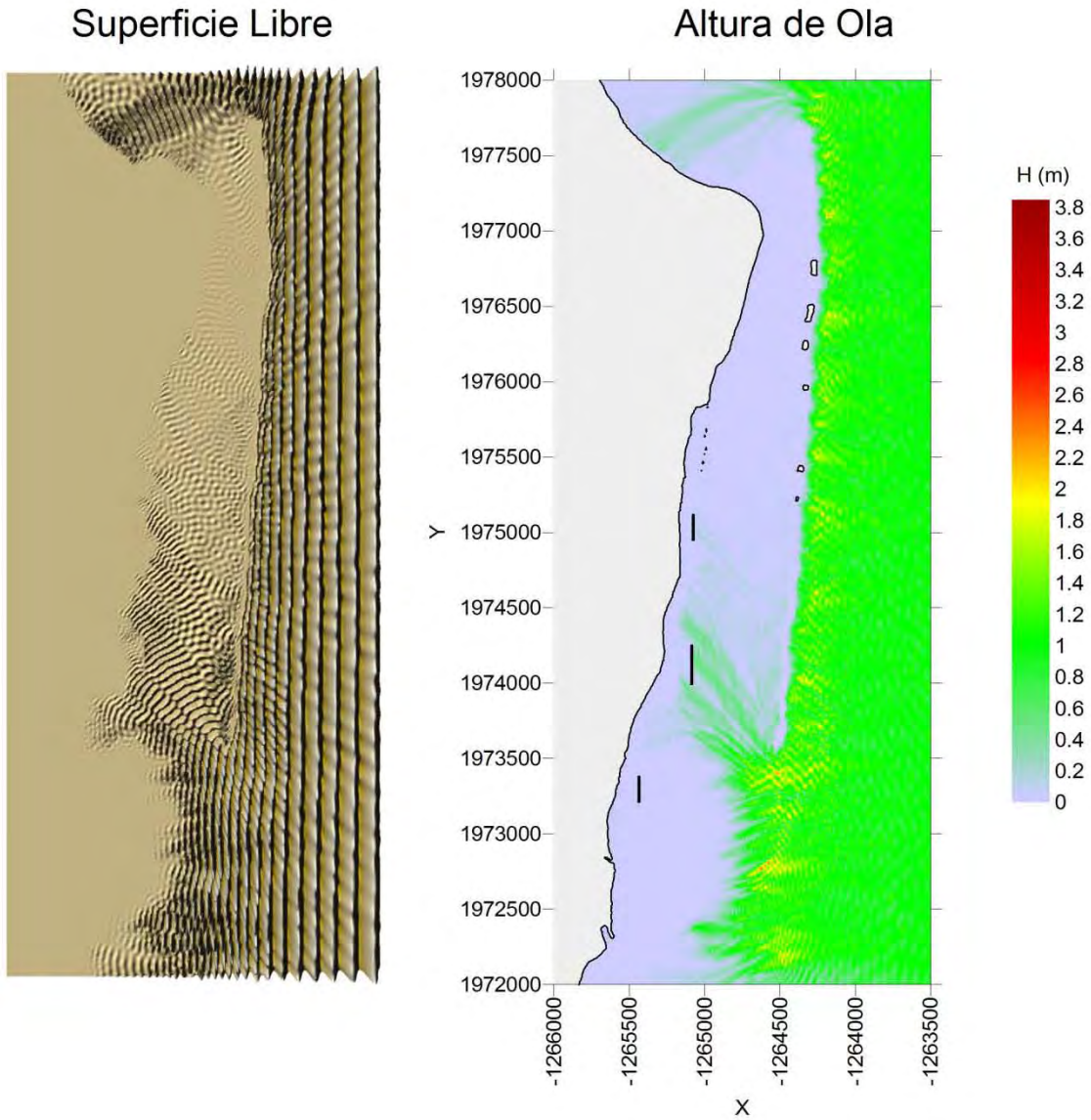
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



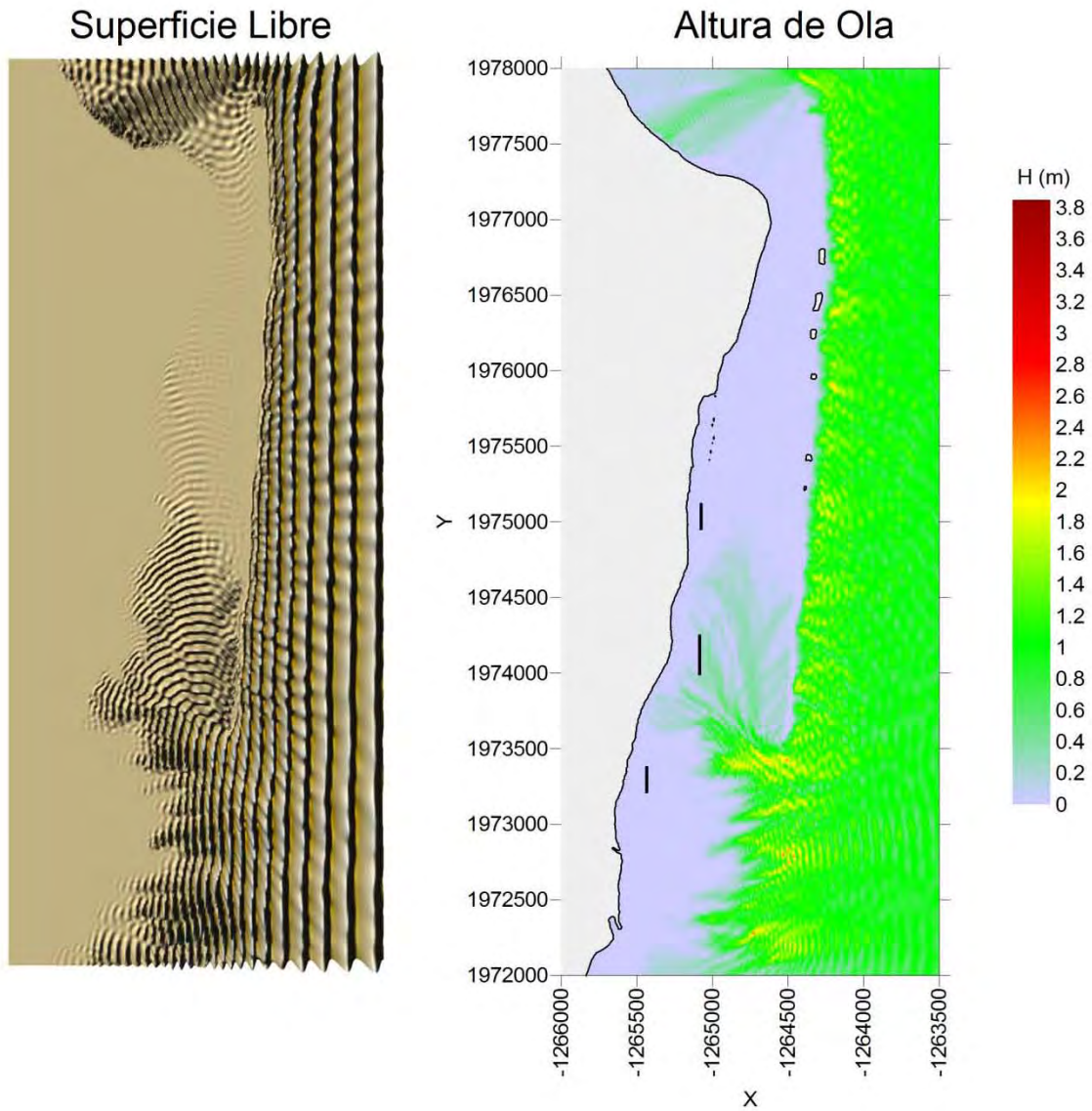
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



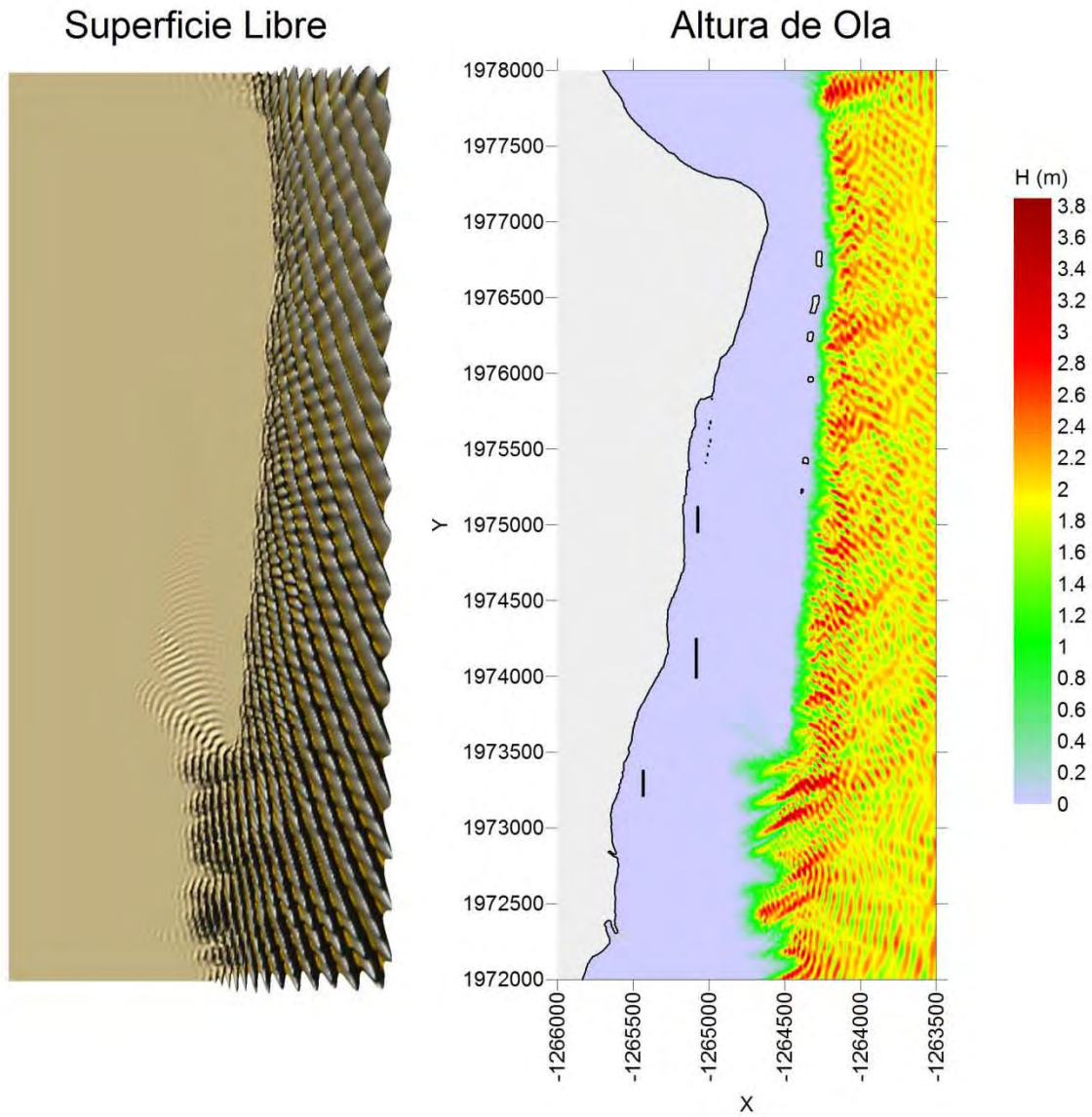
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



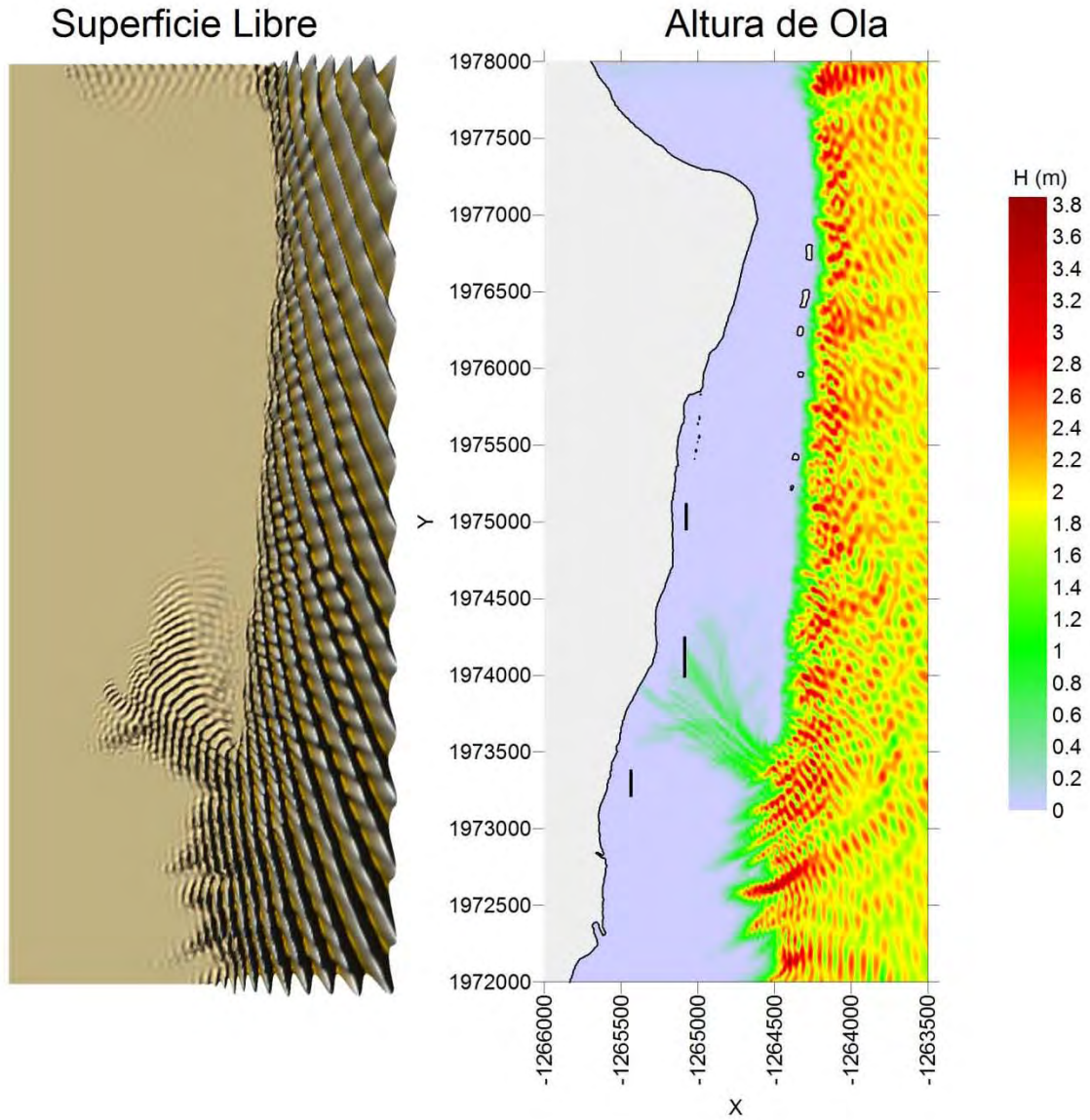
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



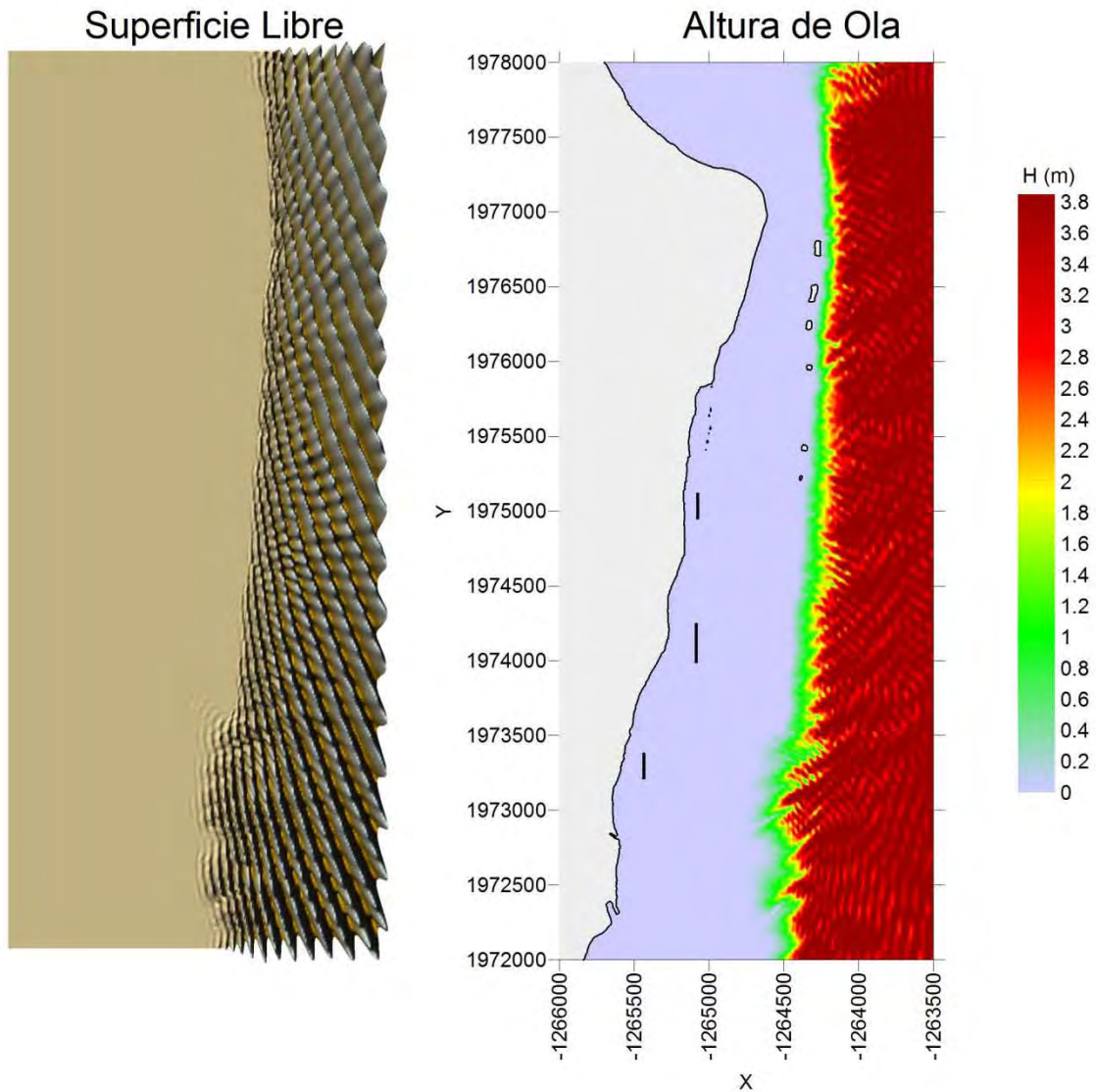
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



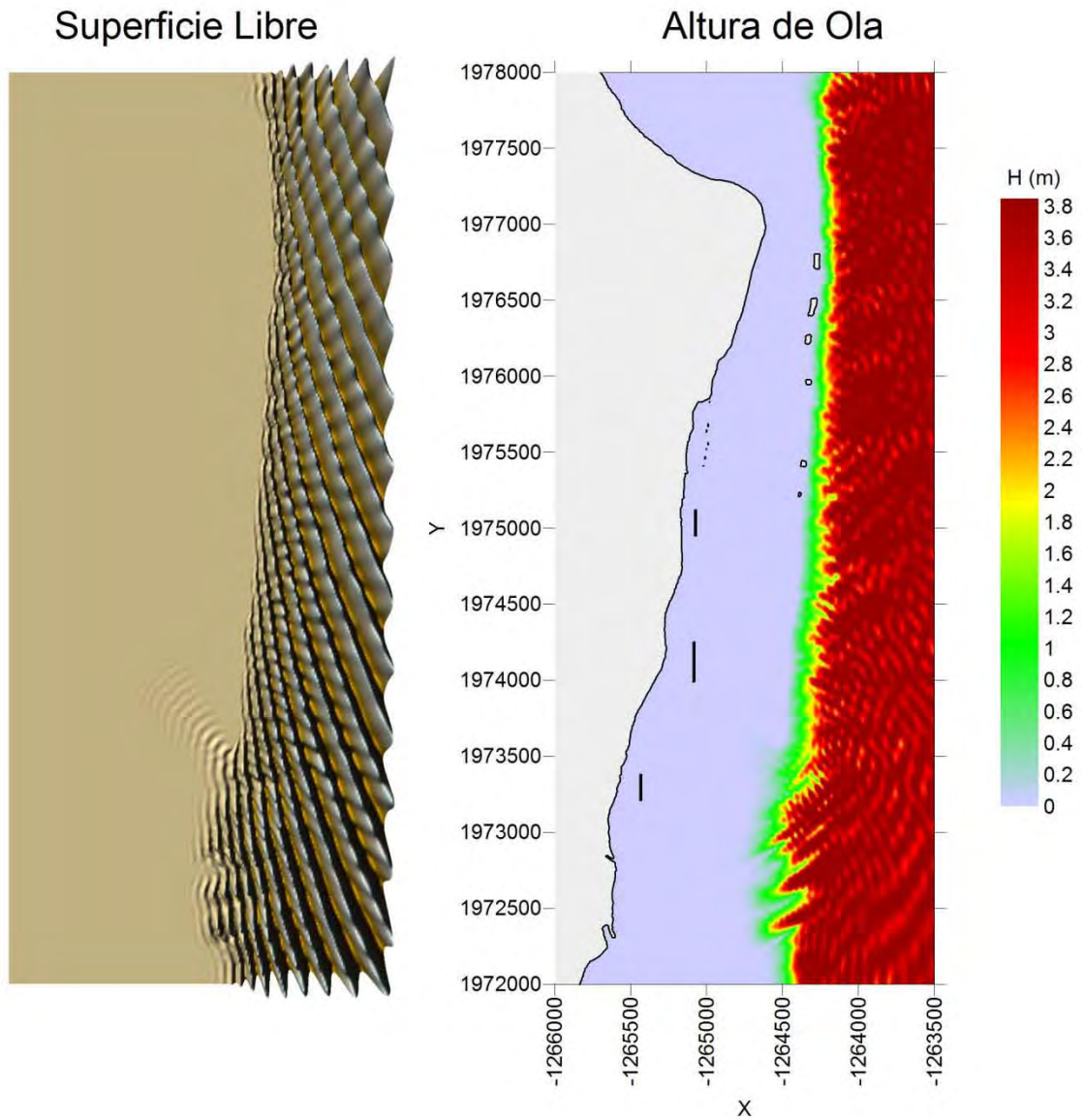
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

$H = 4 \text{ (m)}$, $\theta = 22.5^\circ$, $S = 0 \text{ (m)}$, $T = 10 \text{ (s)}$



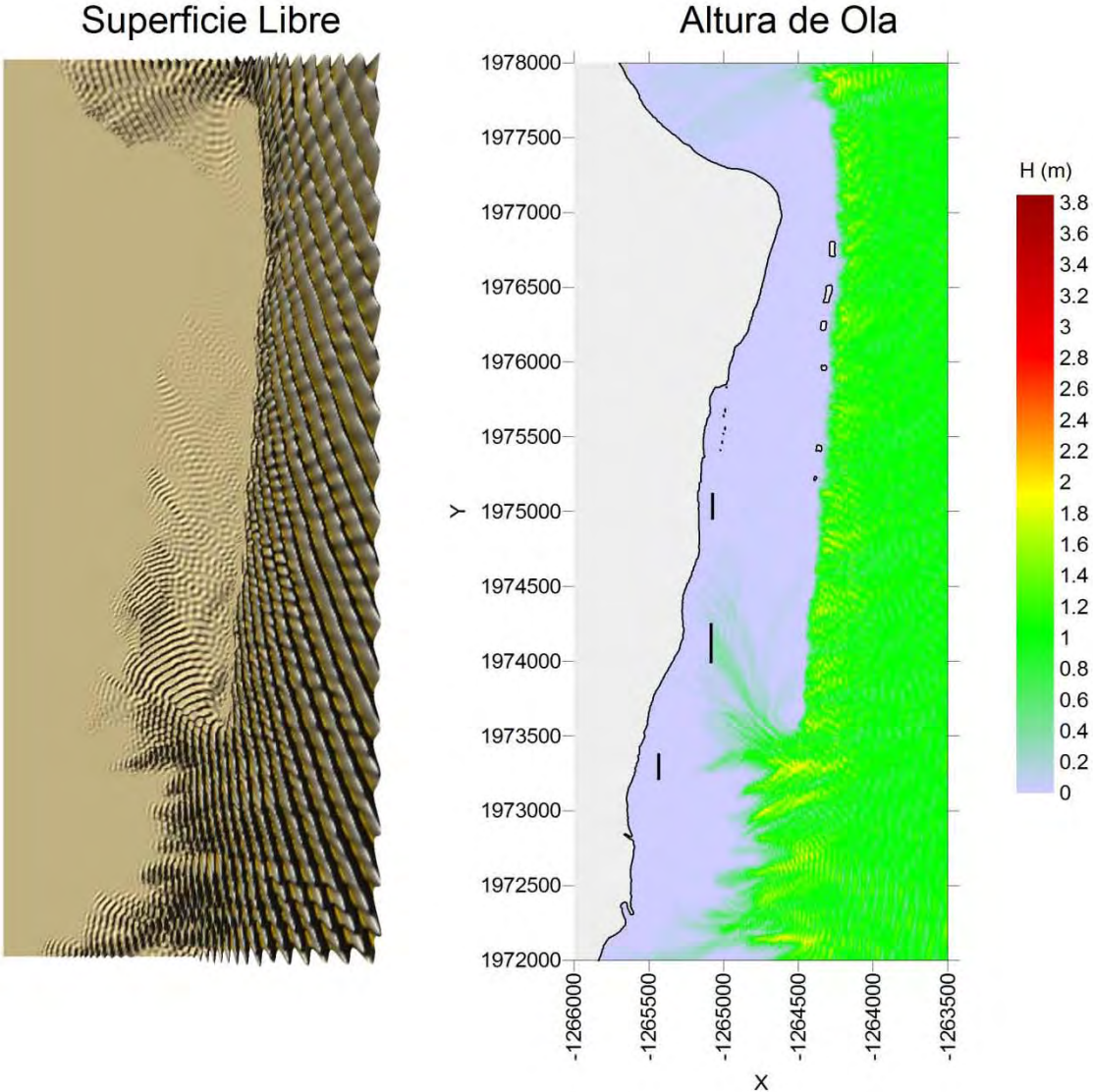
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



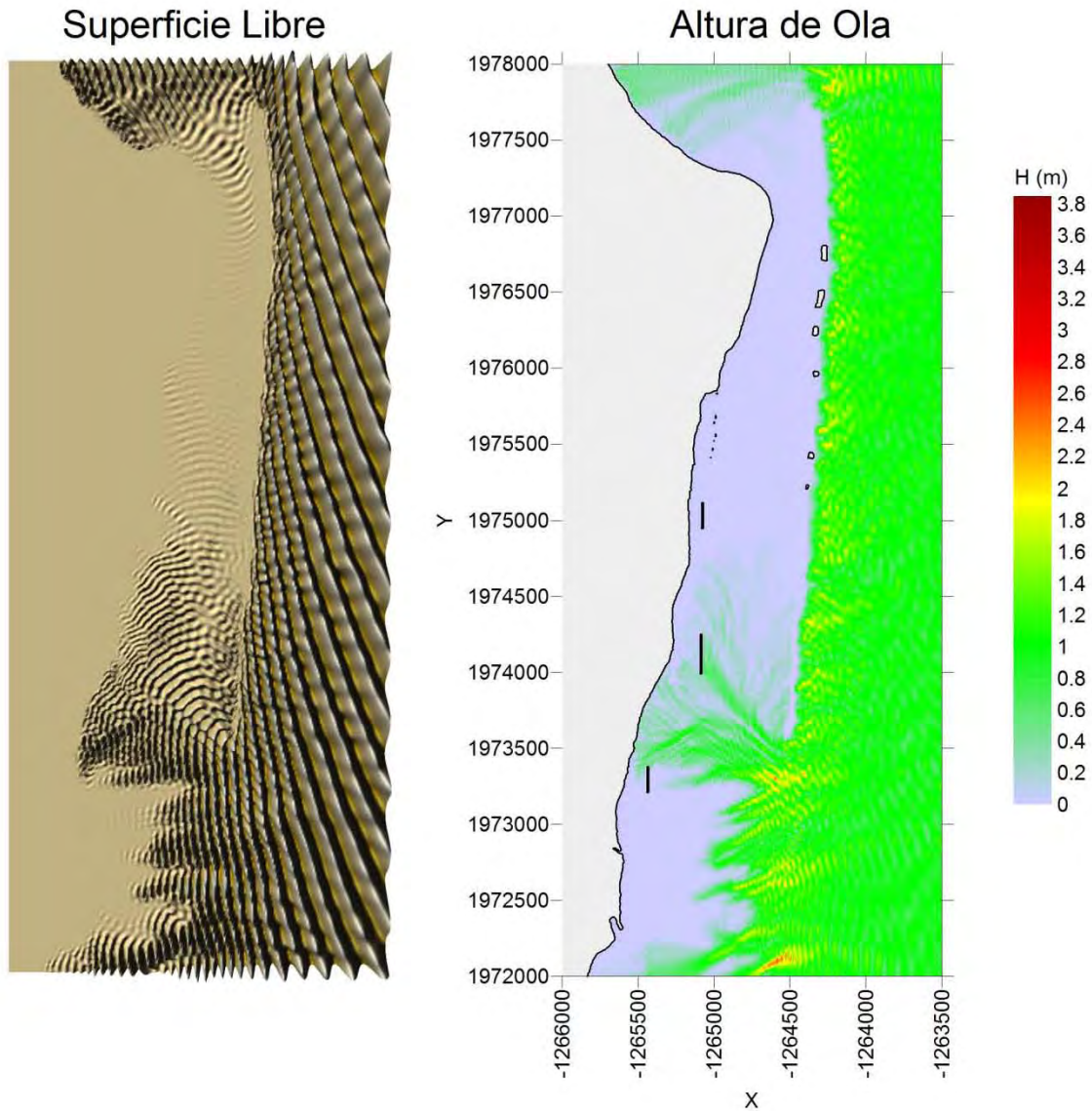
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



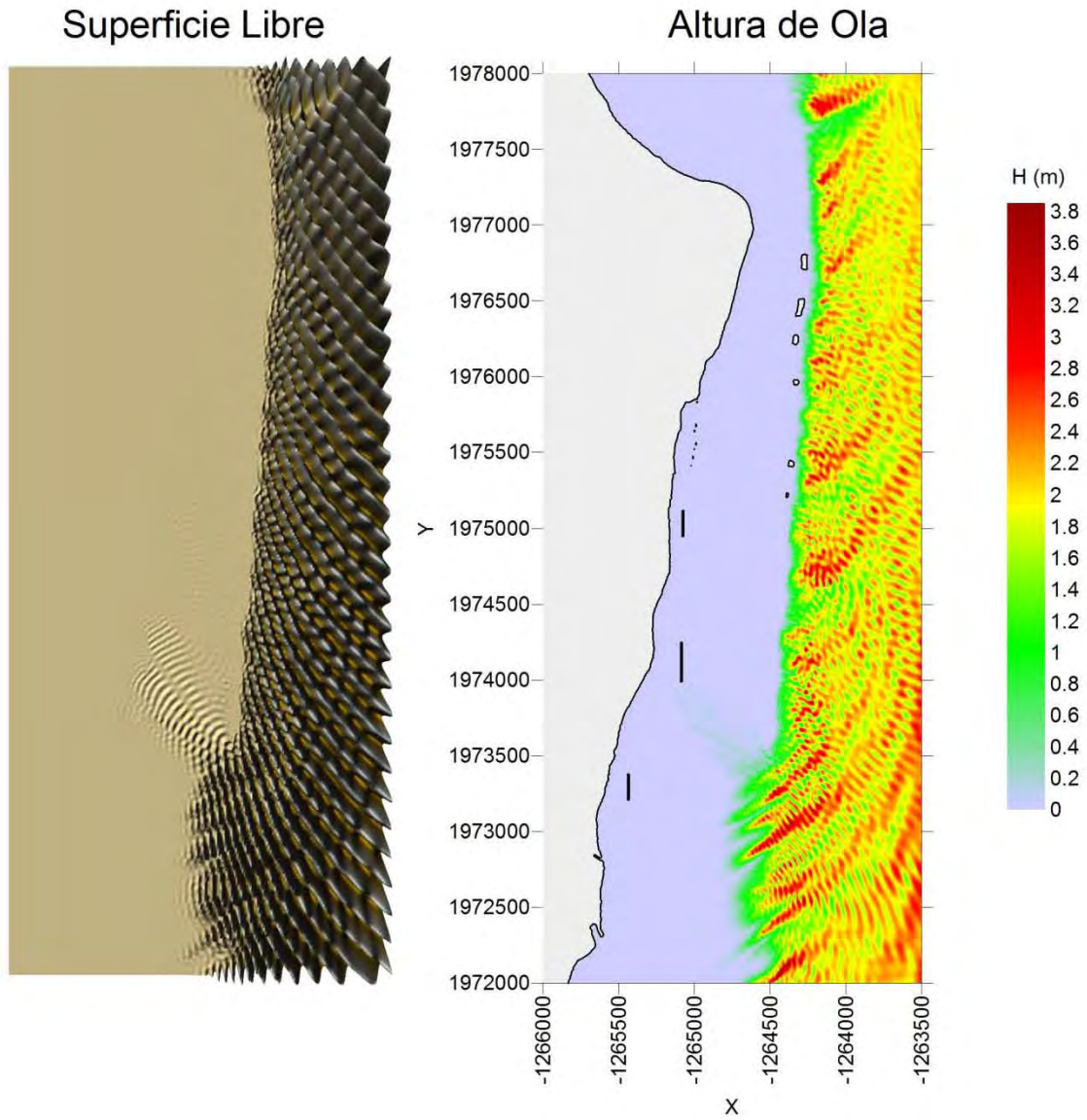
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



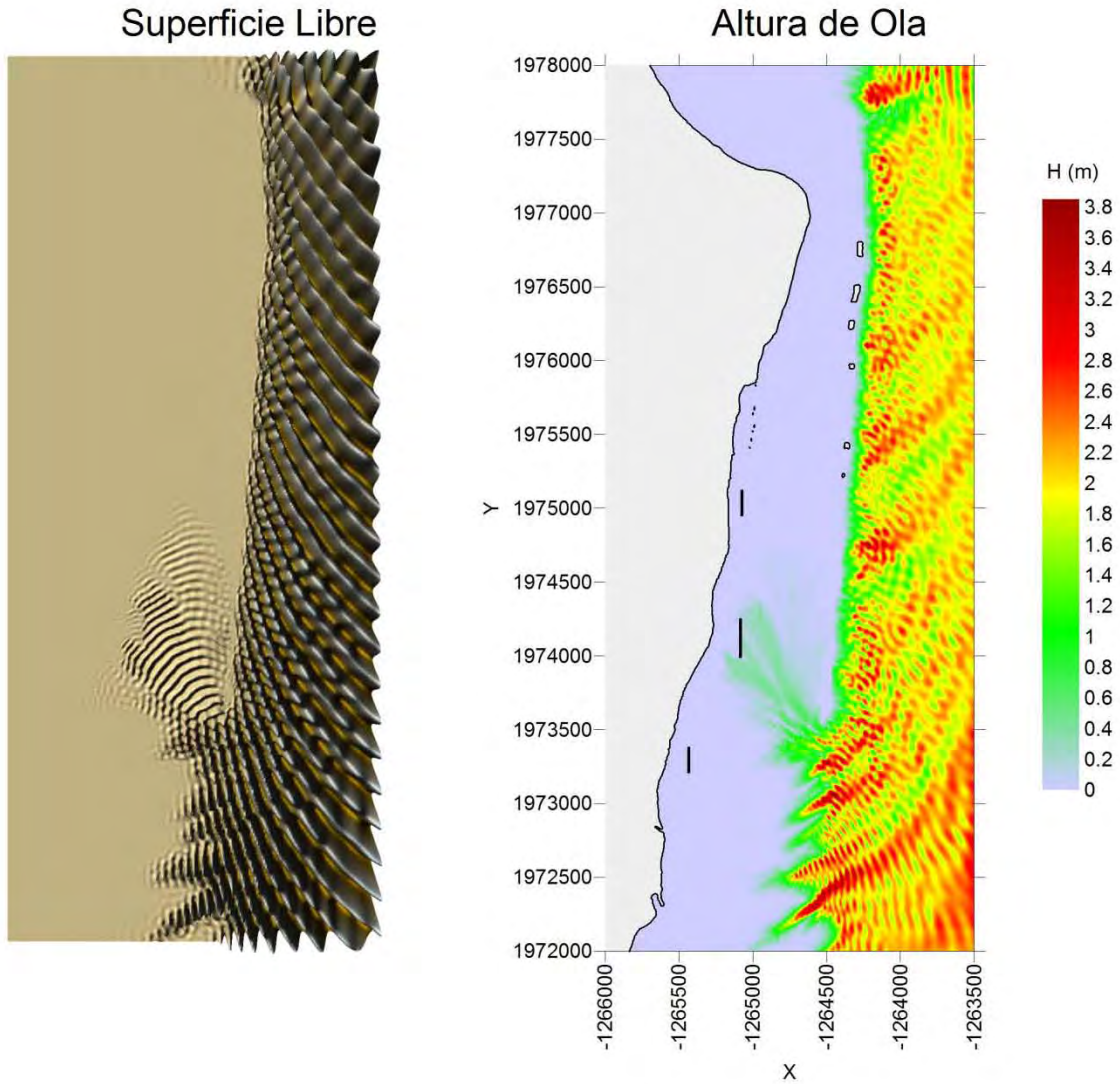
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



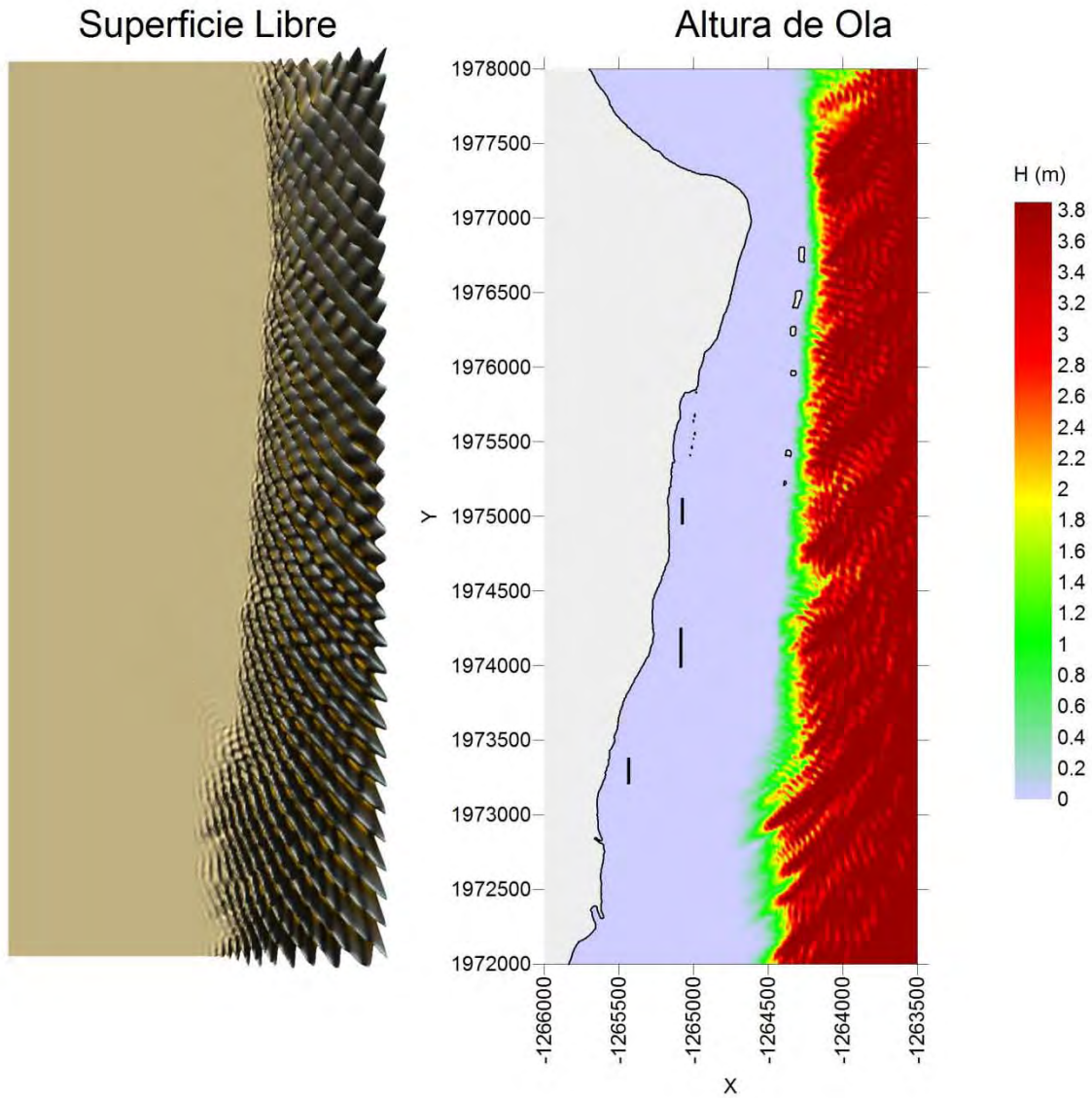
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



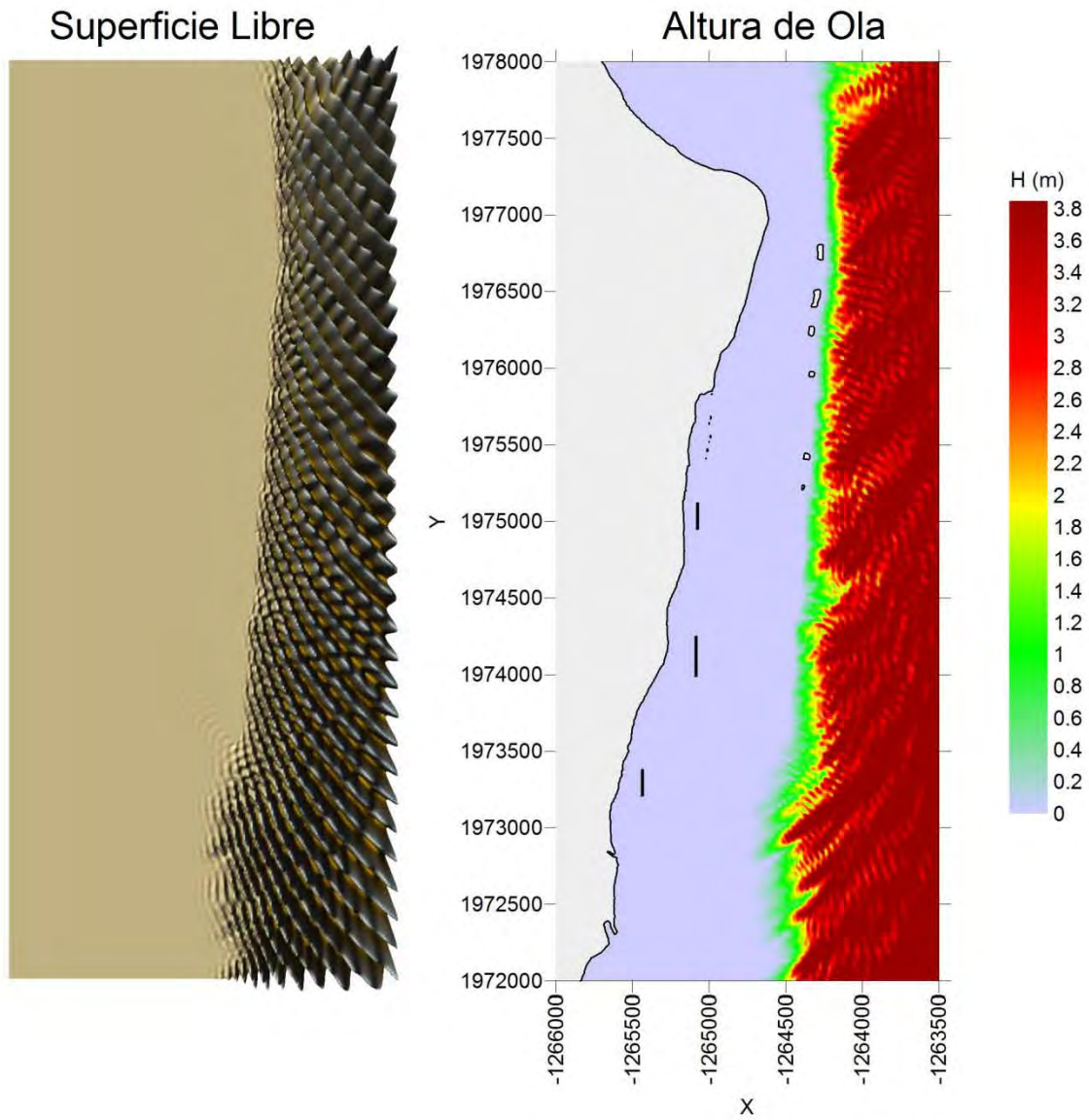
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



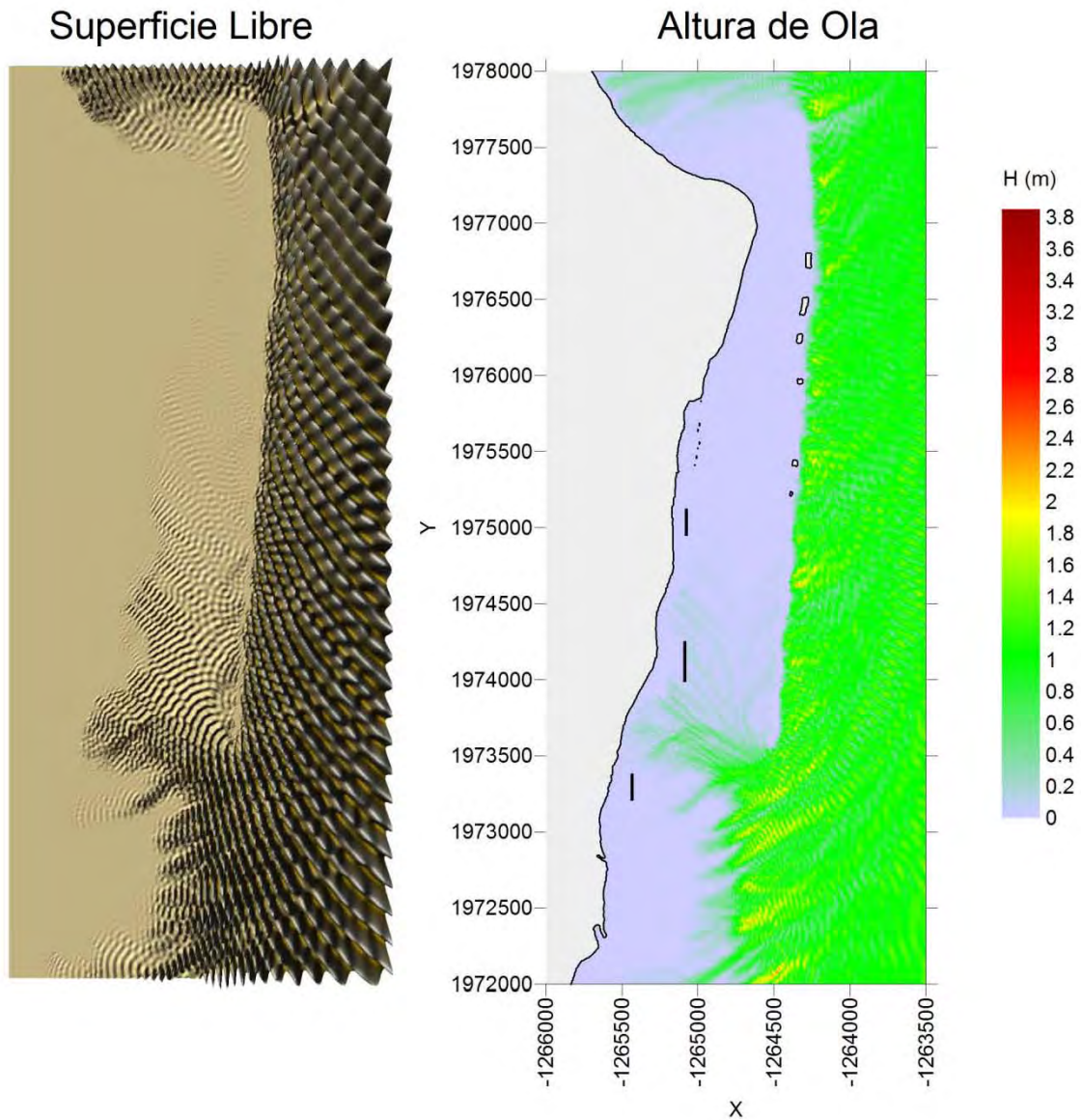
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



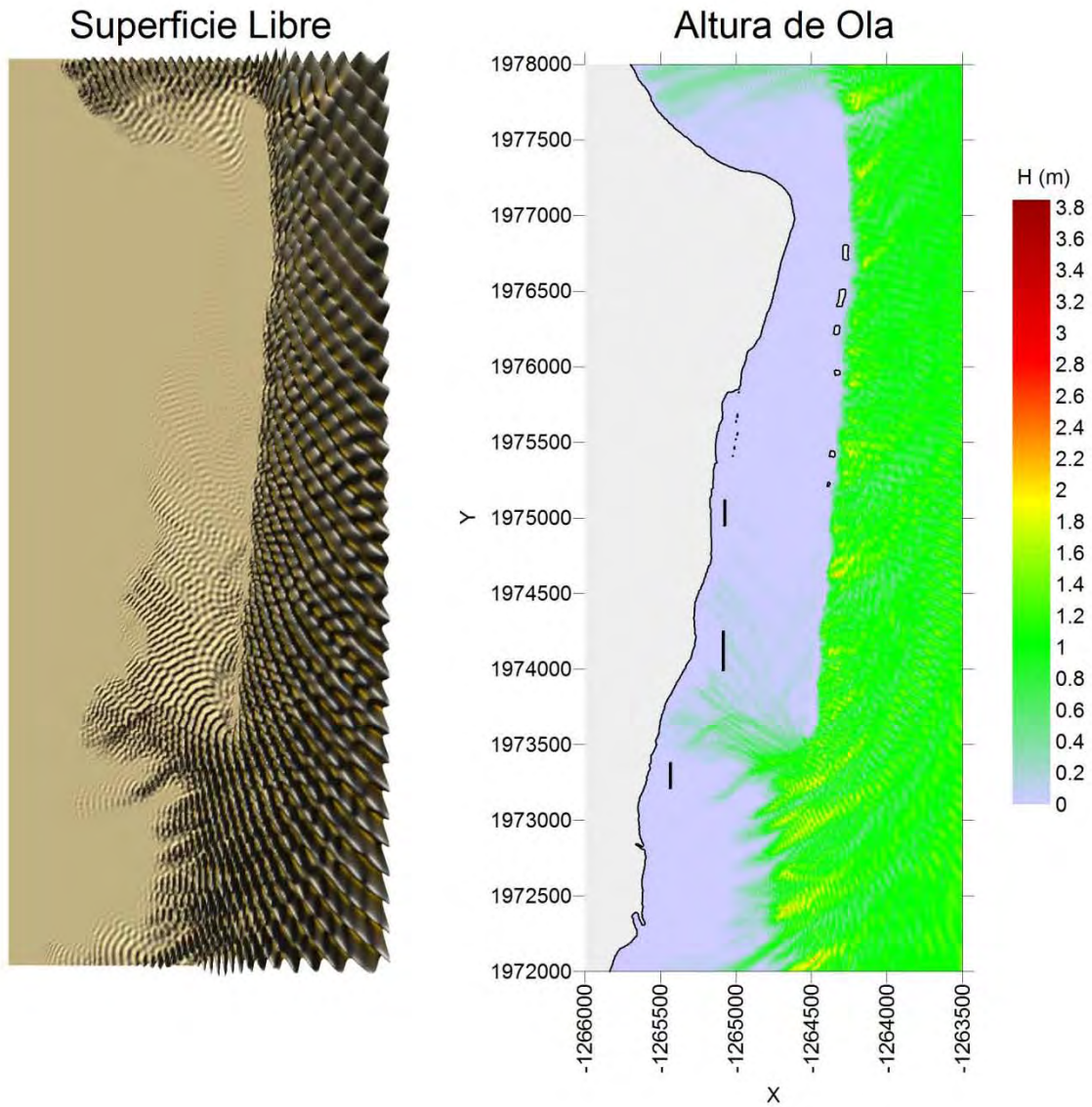
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)

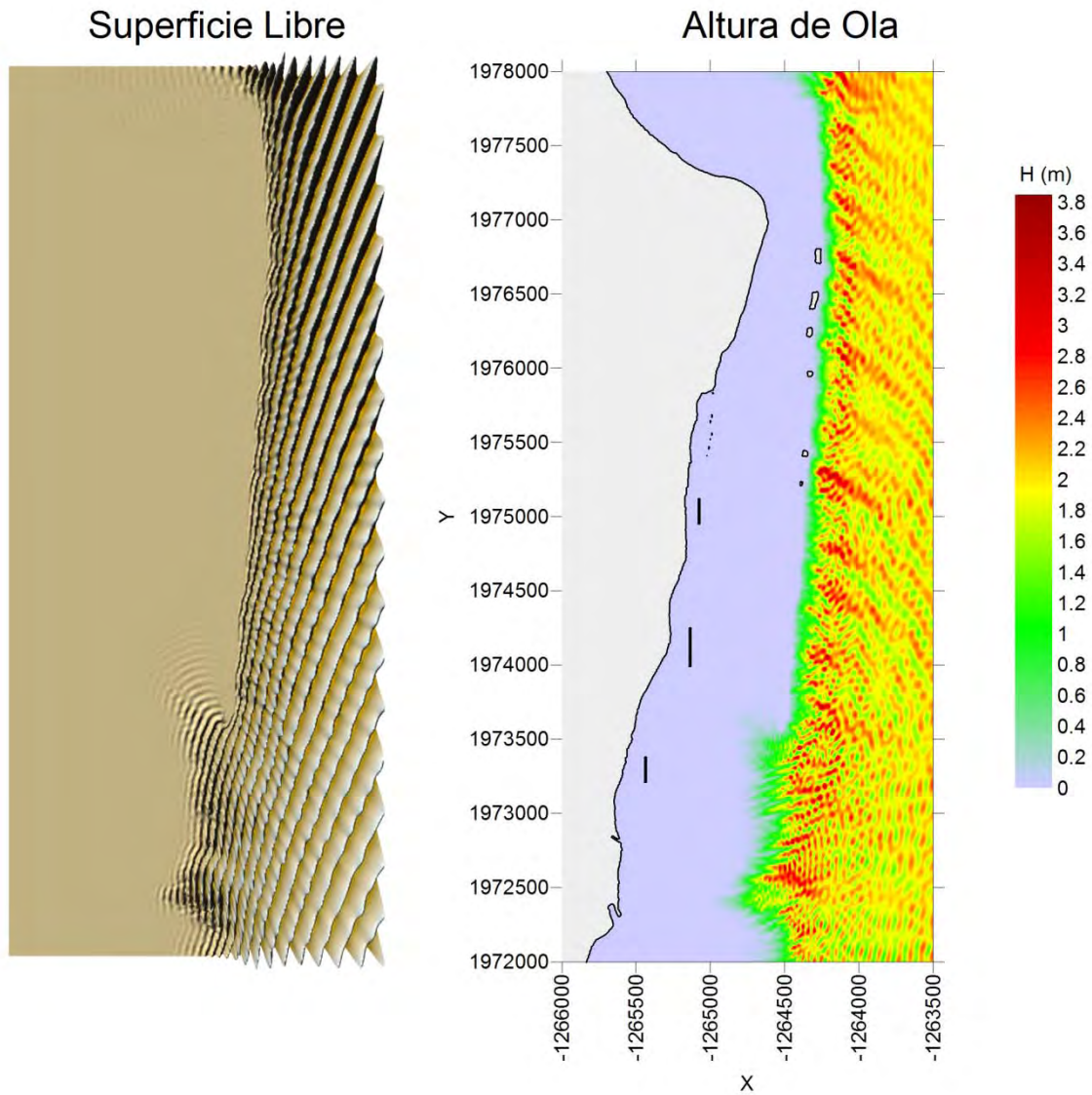


Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

Escenario 4

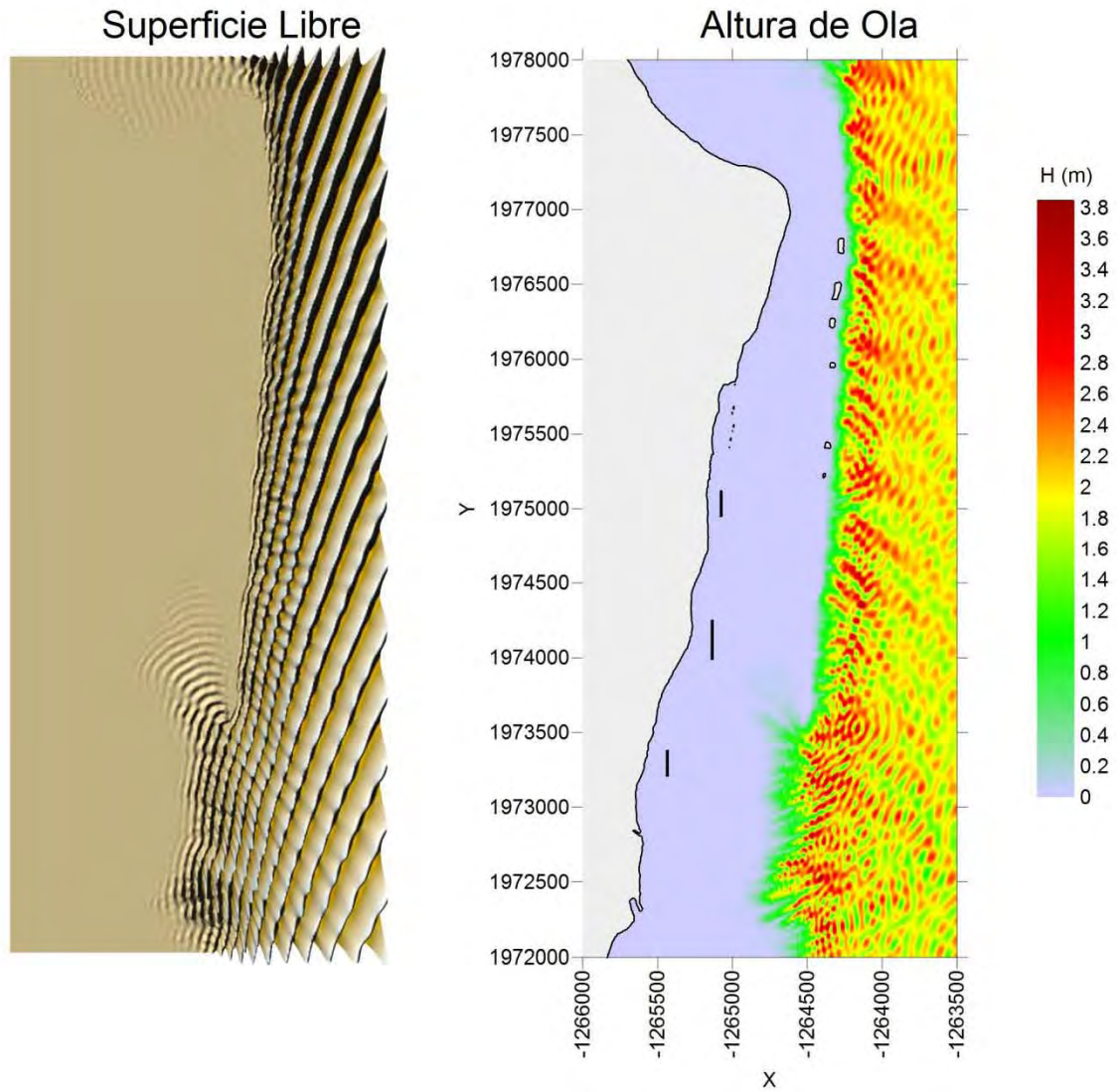
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H = 2 \text{ (m)}, \theta = -22.5^\circ, S = 0 \text{ (m)}, T = 10 \text{ (s)}$$



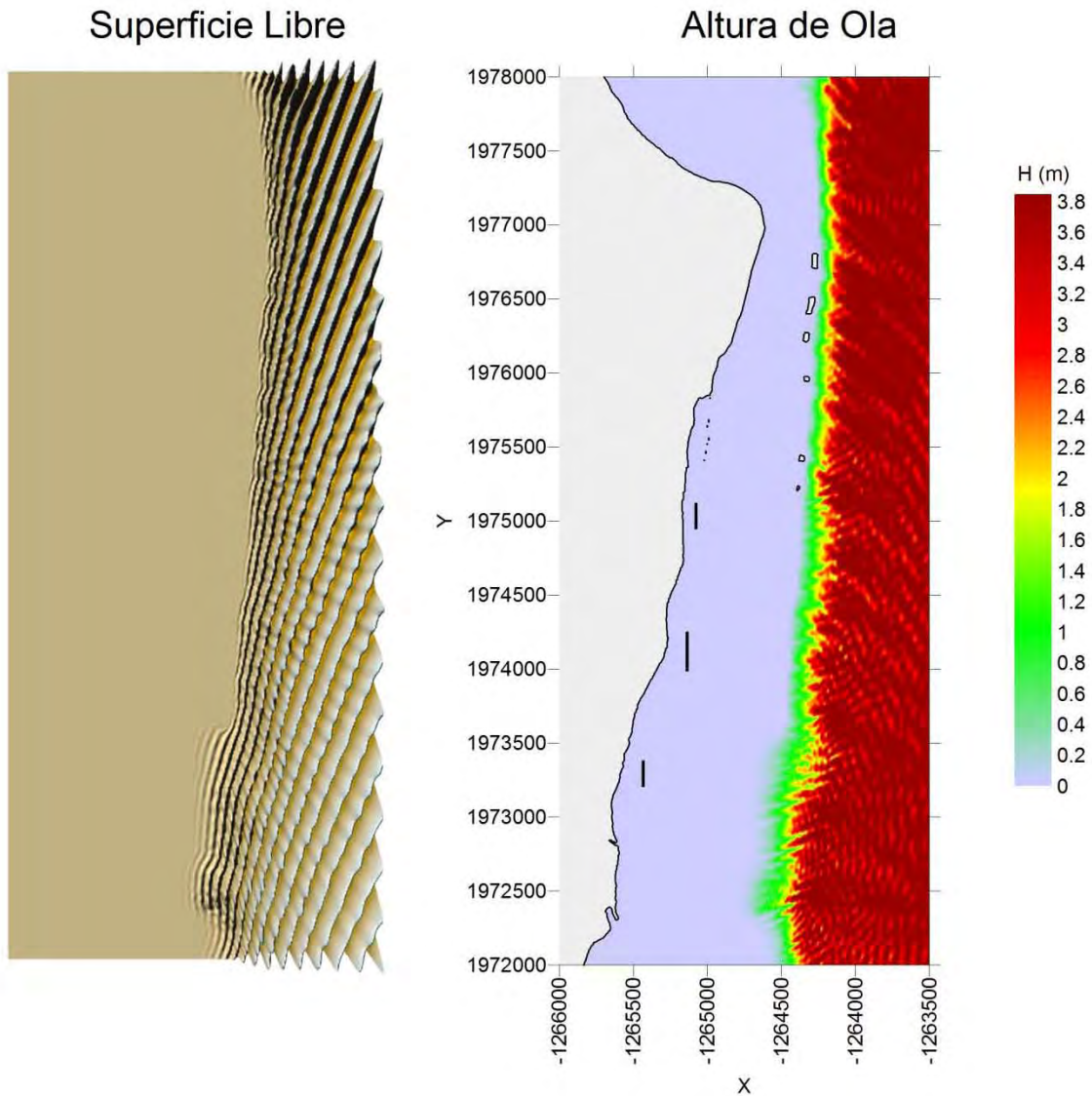
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



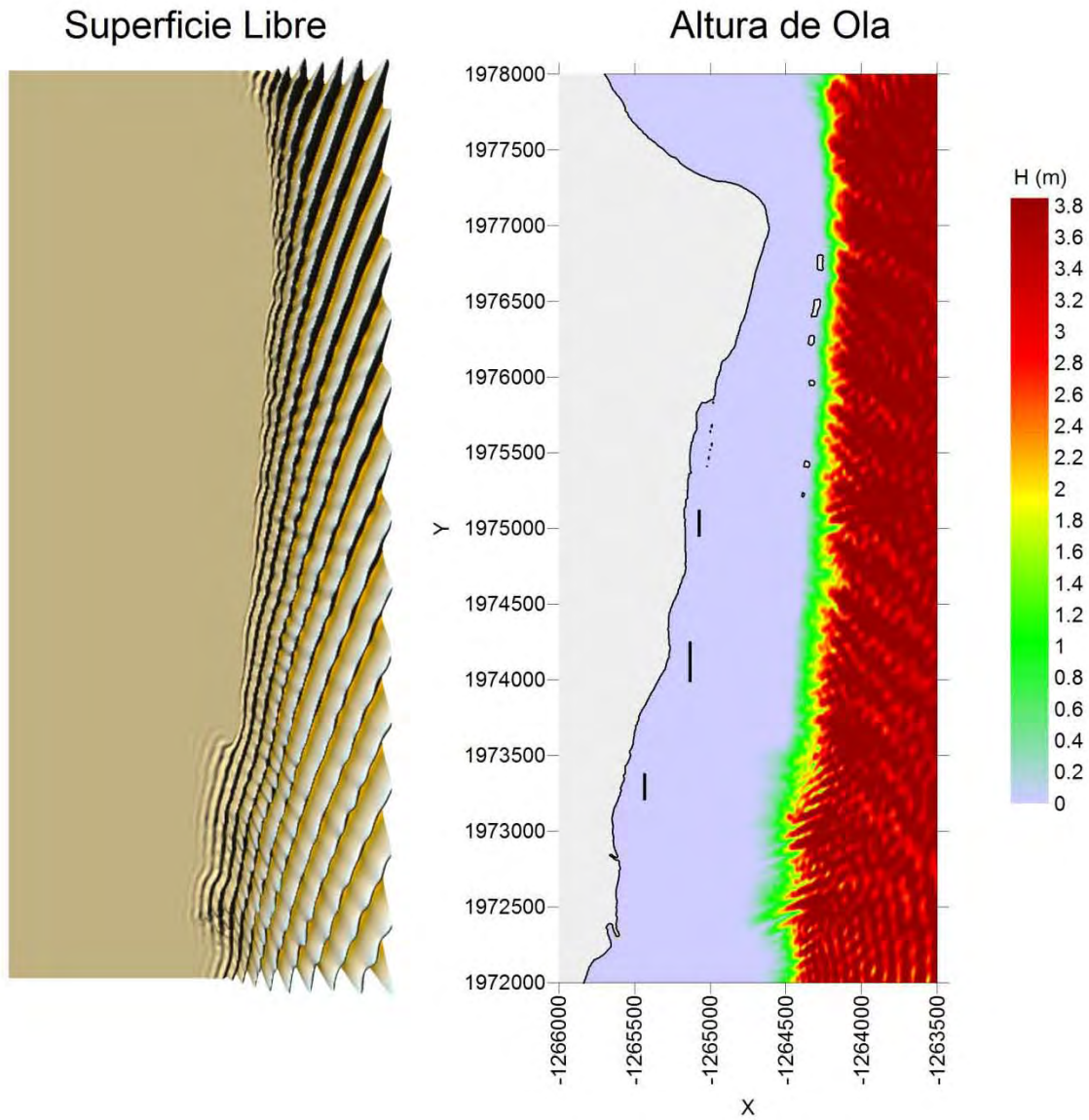
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



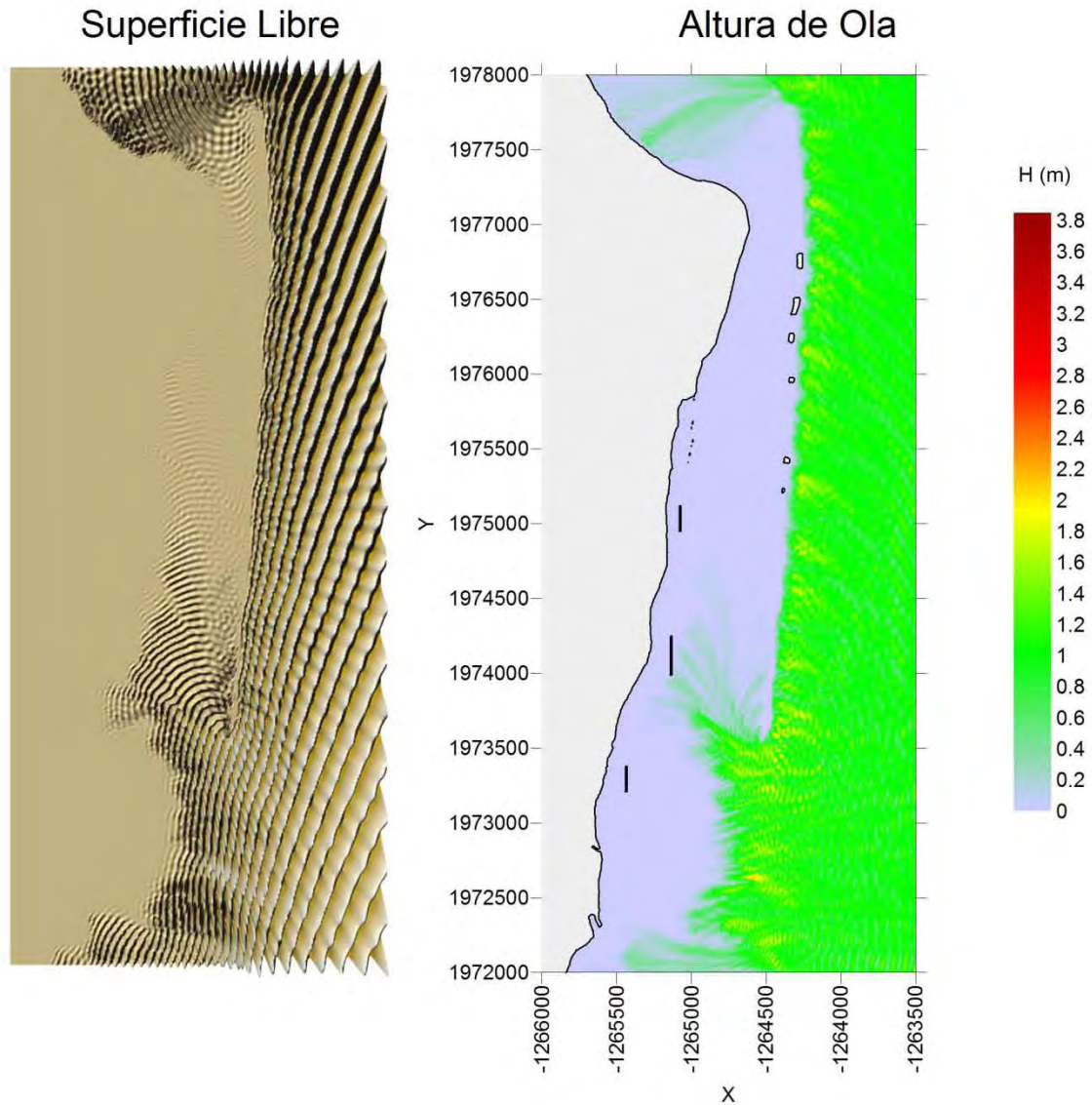
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



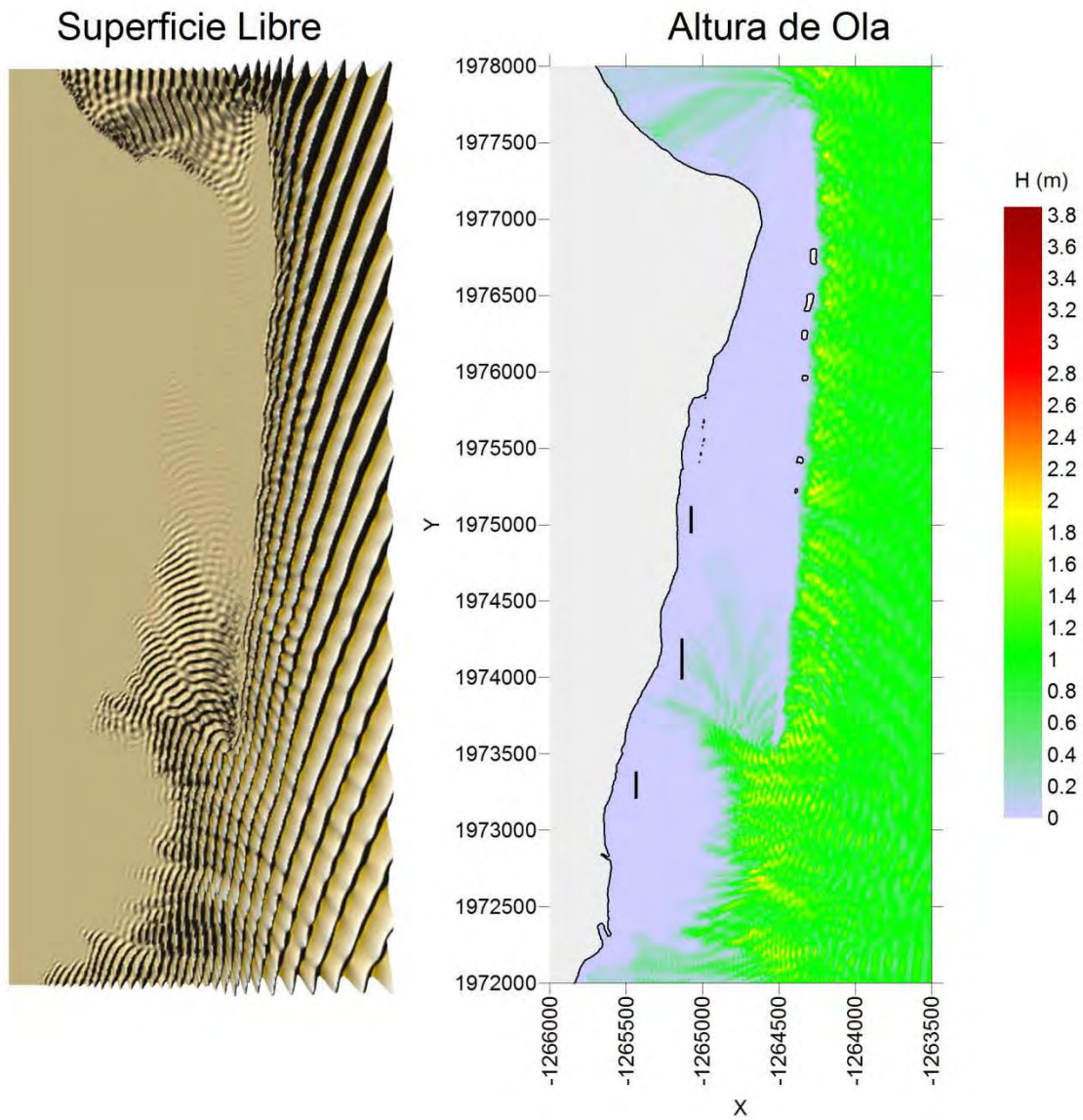
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



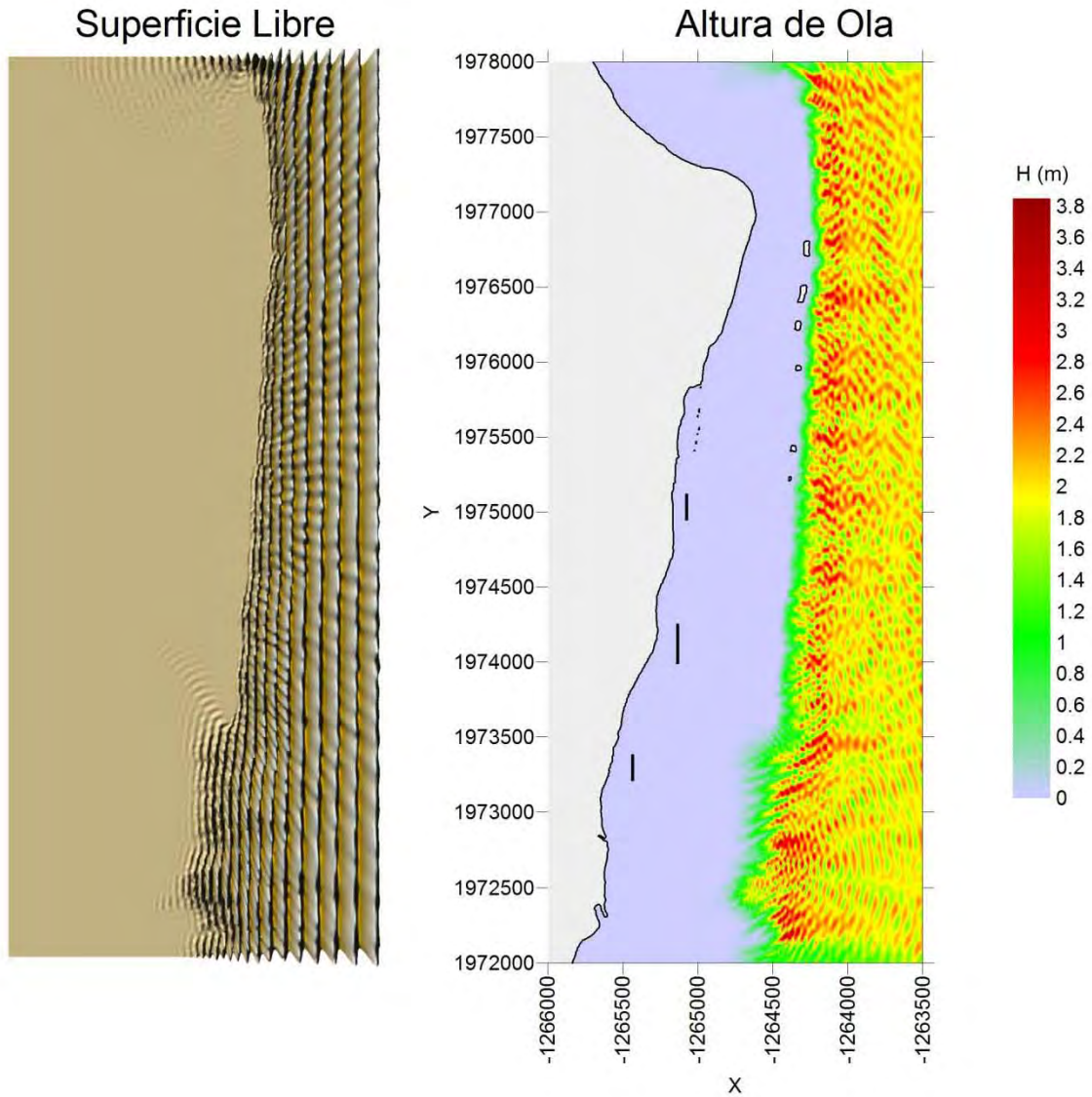
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



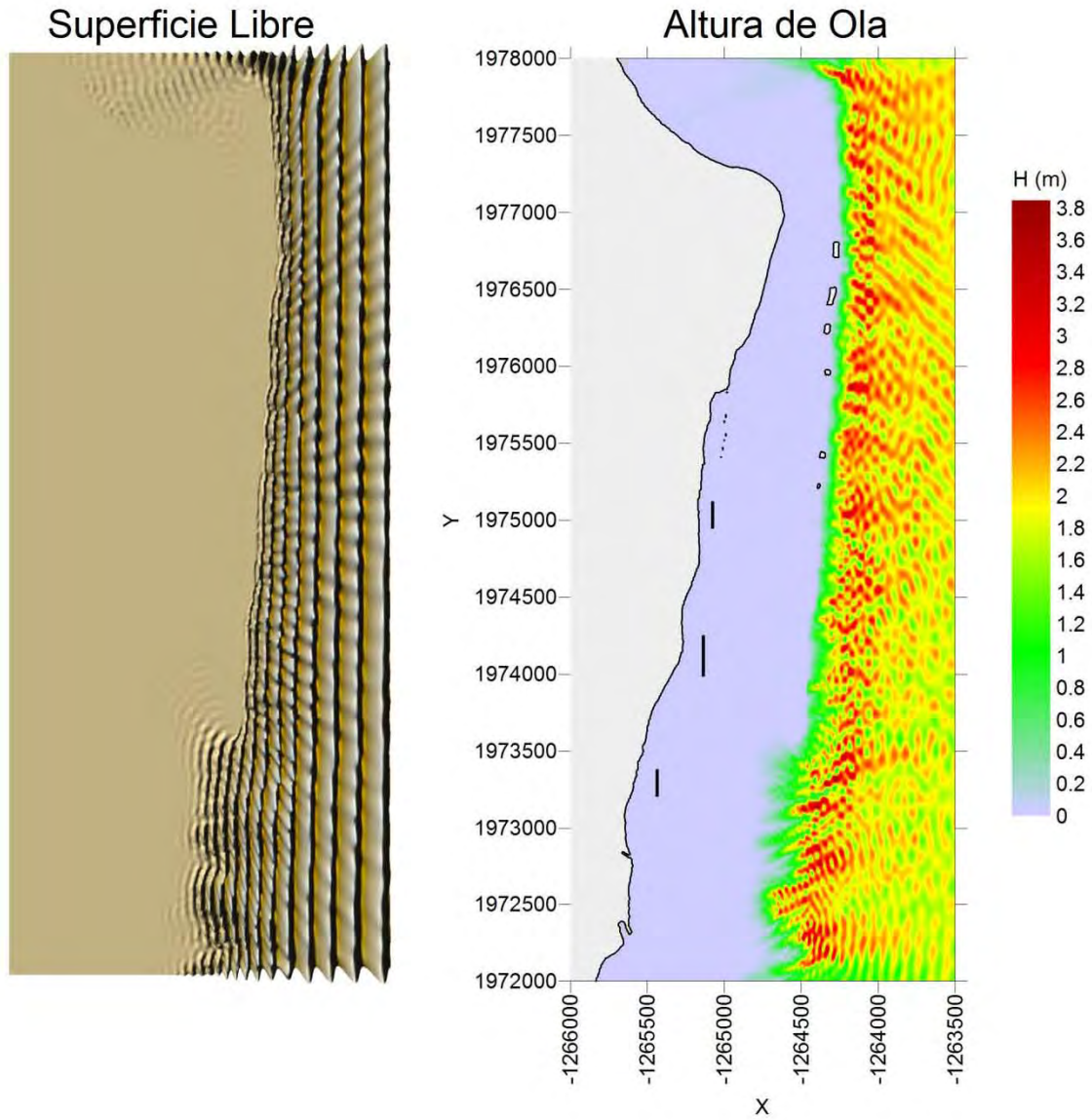
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



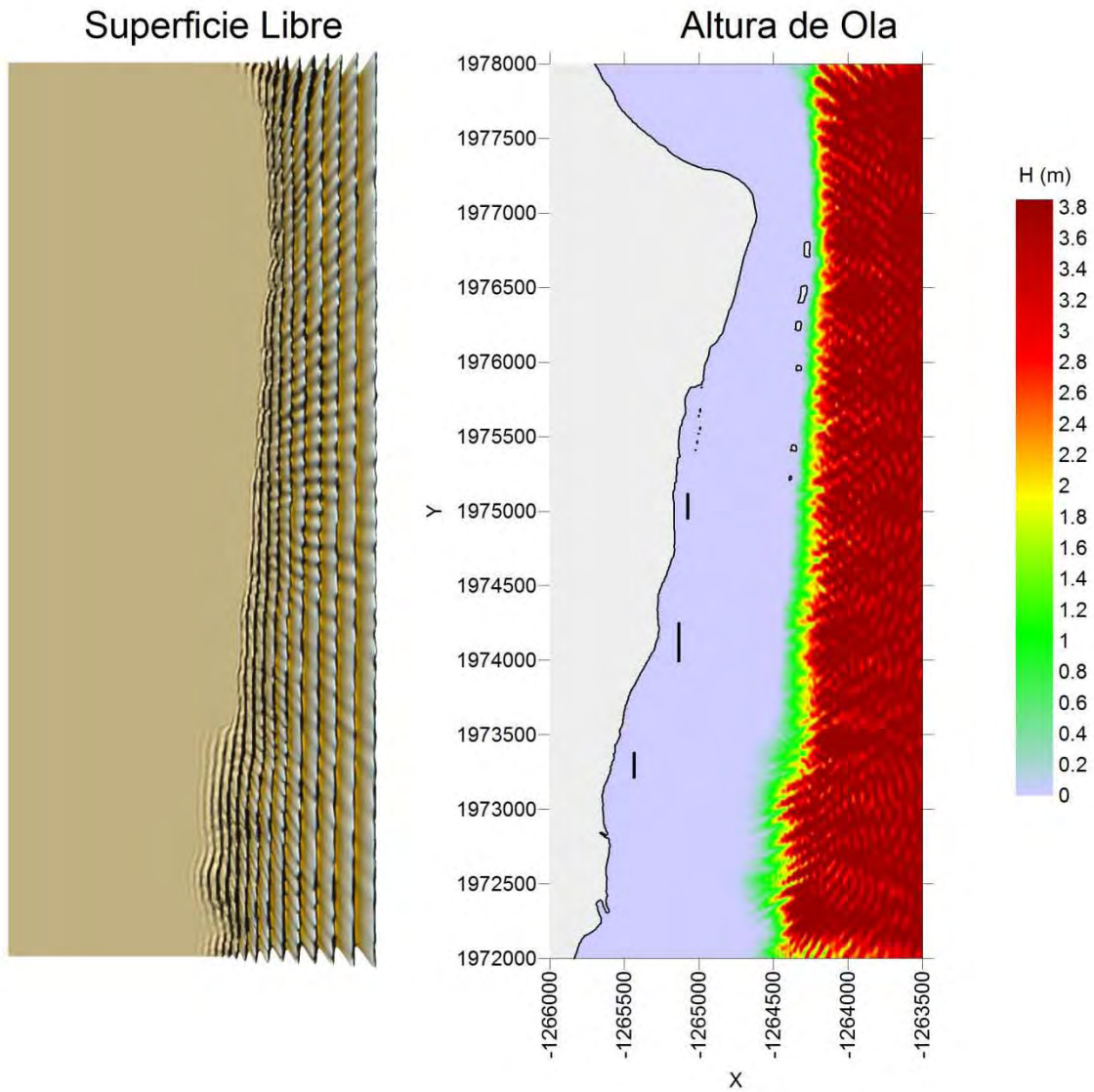
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



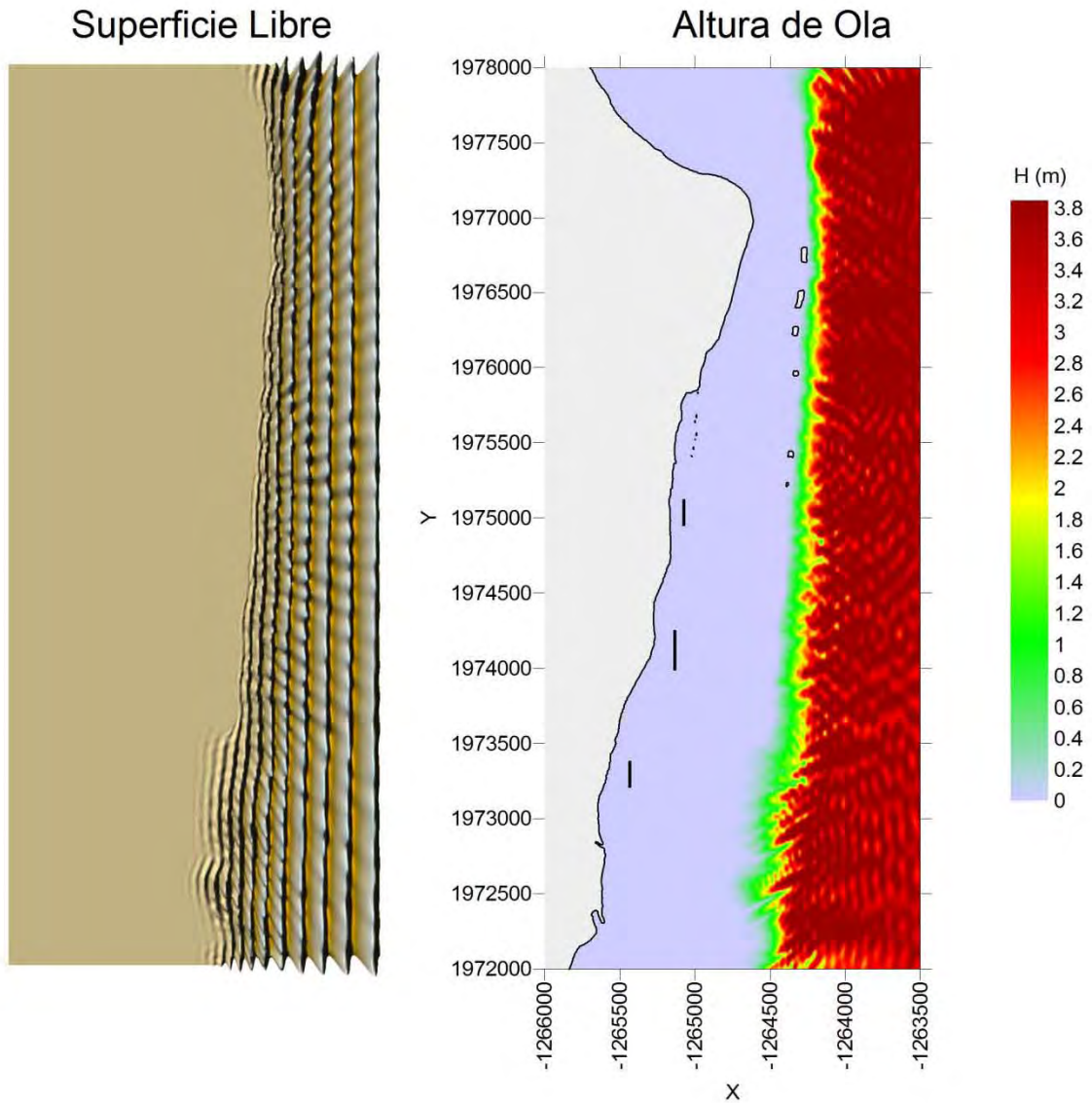
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



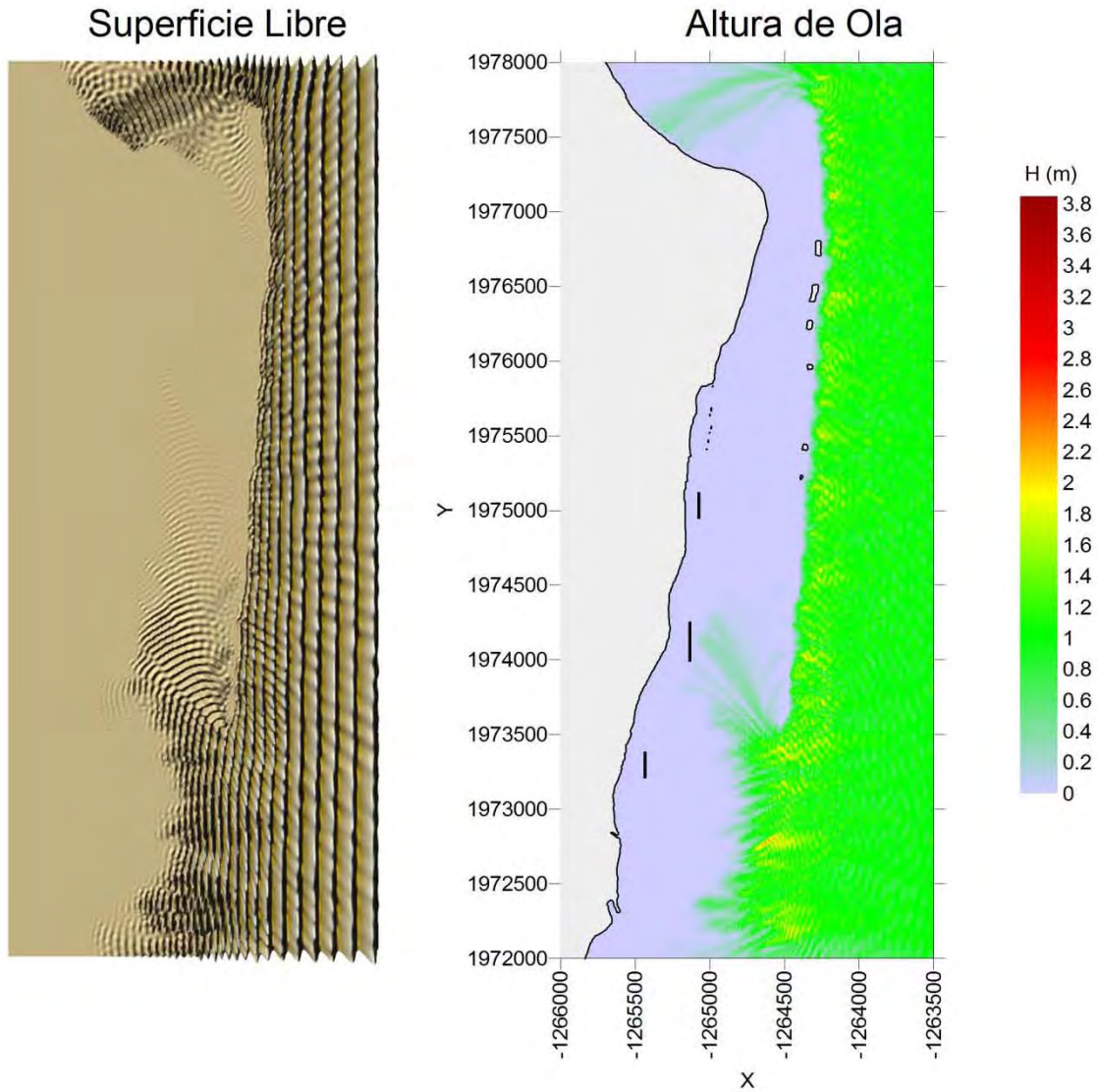
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



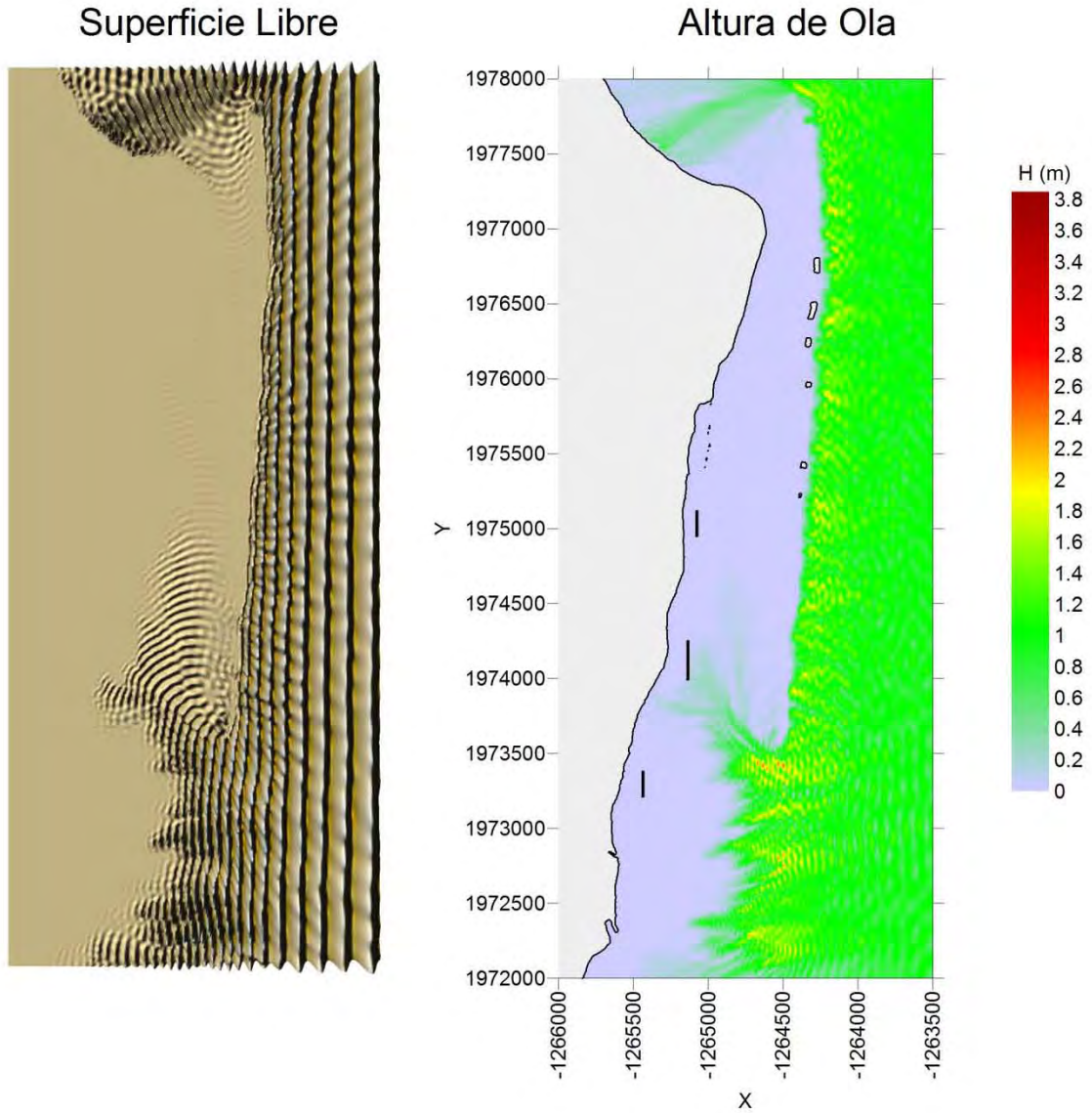
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



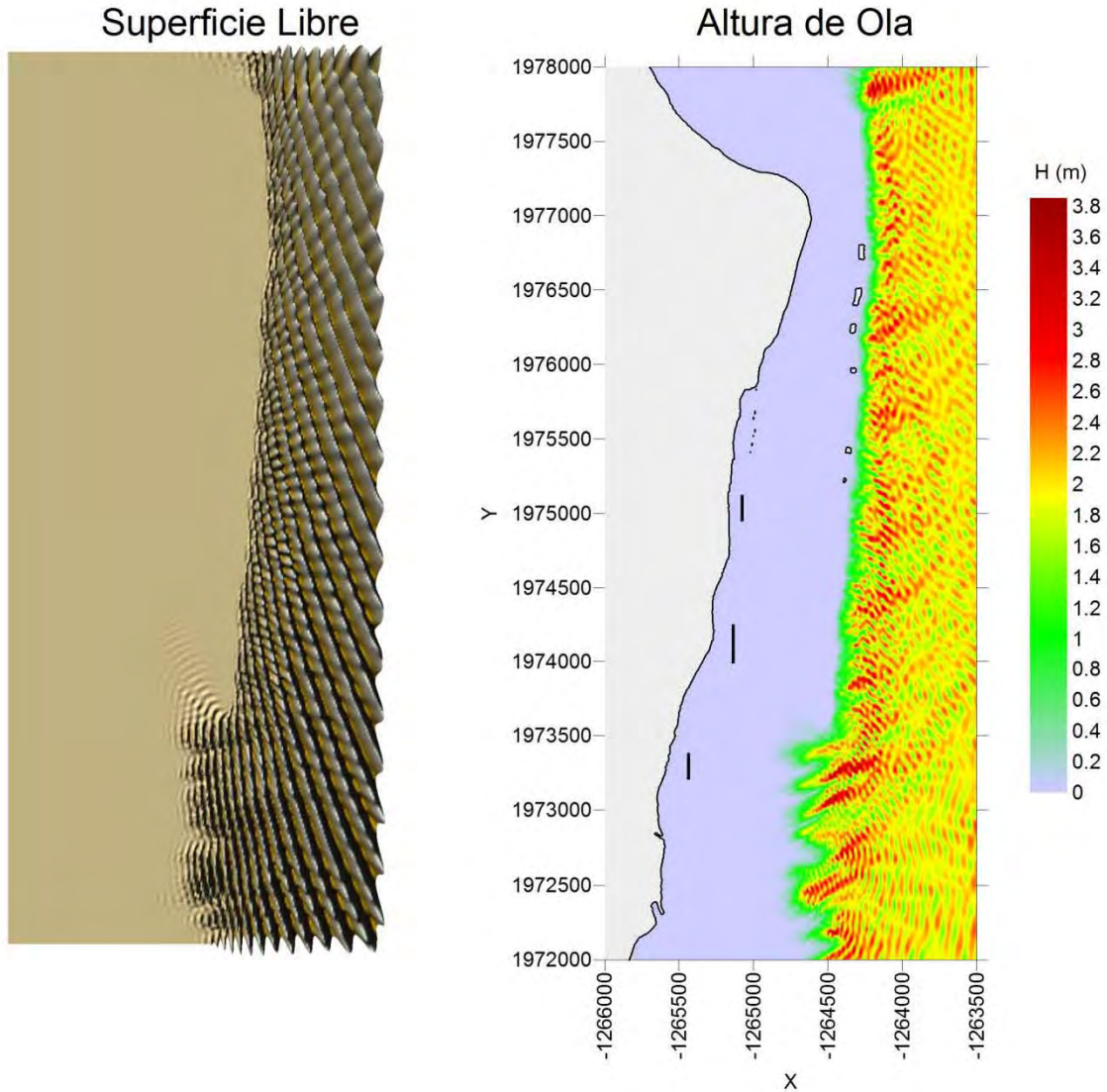
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



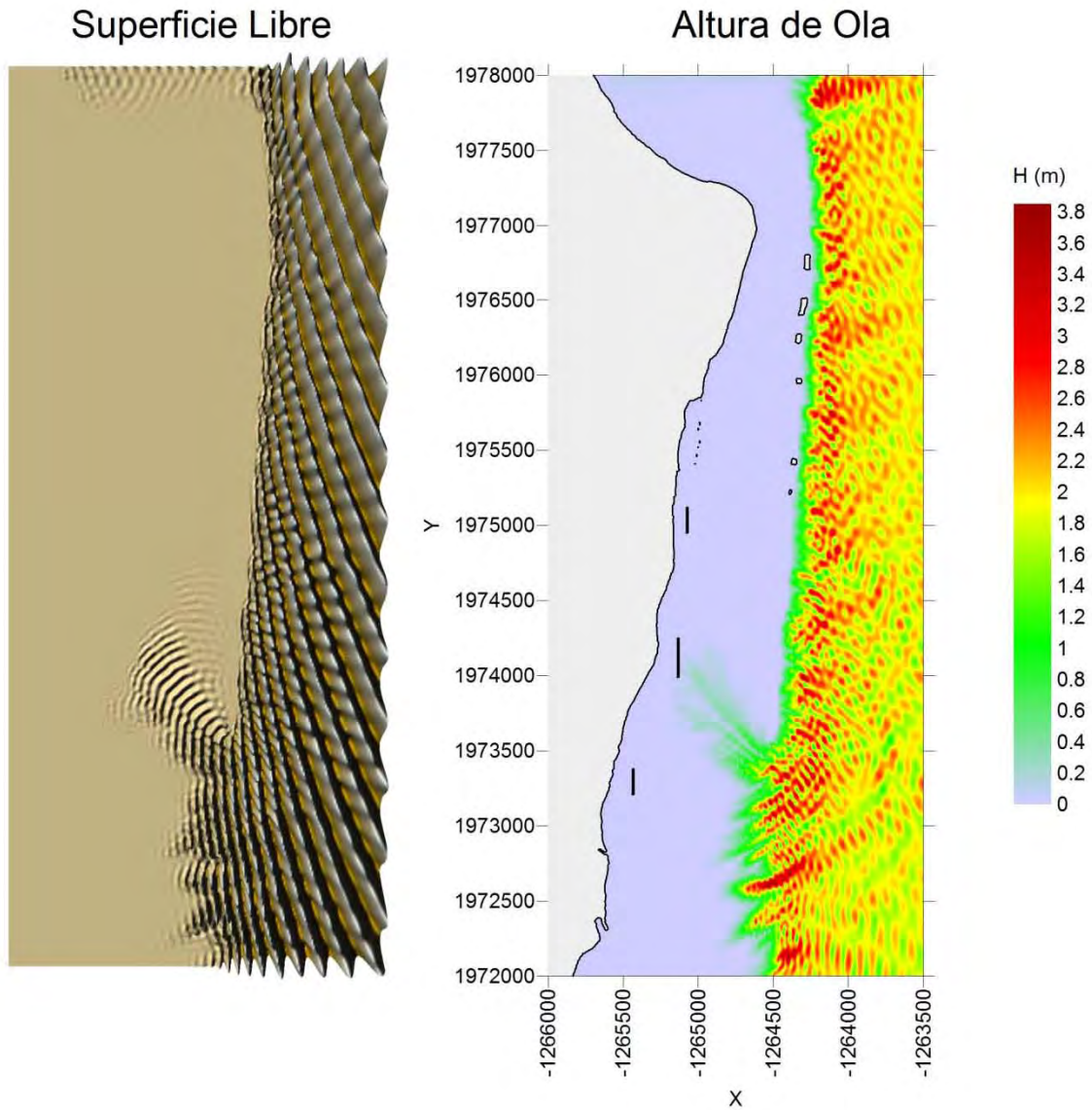
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



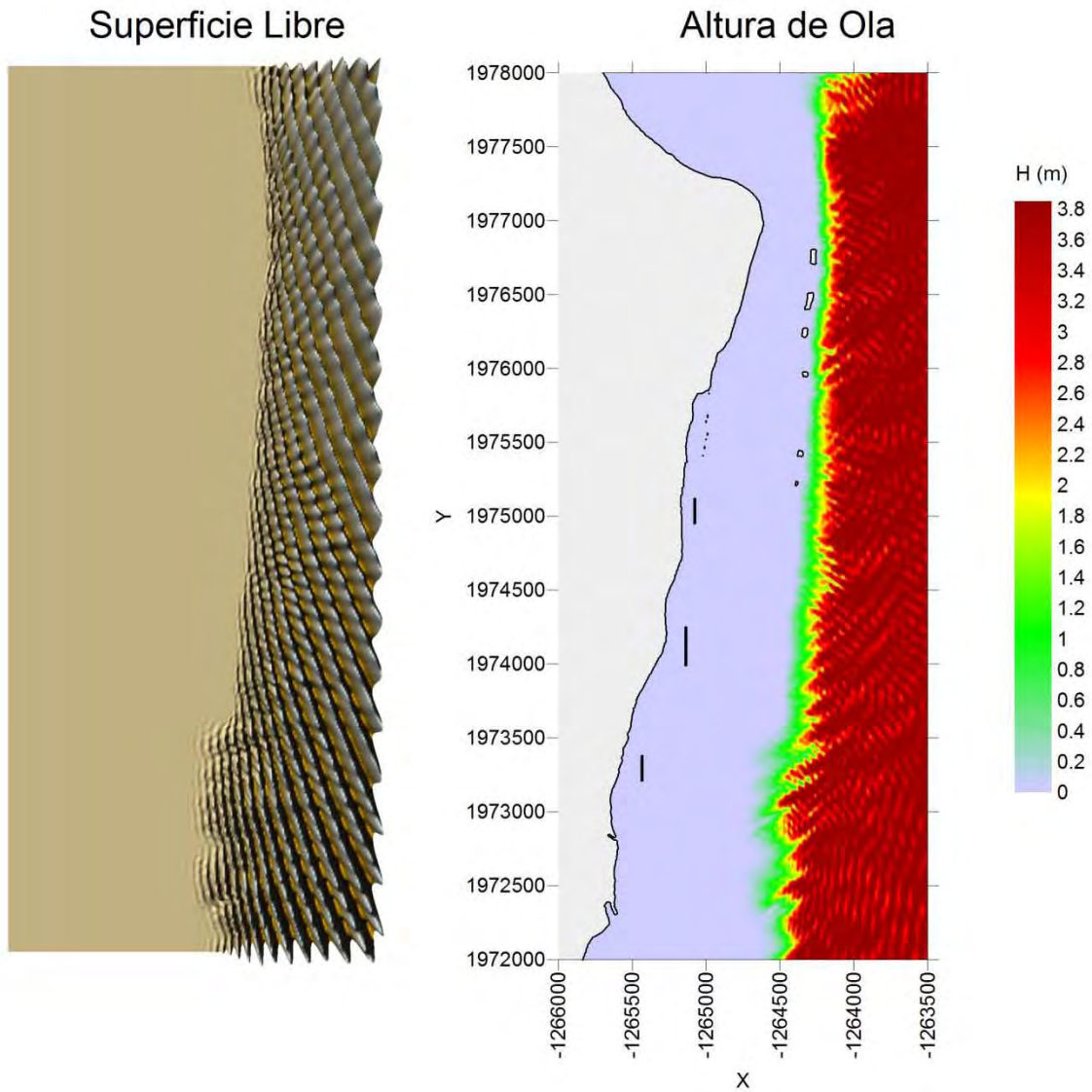
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



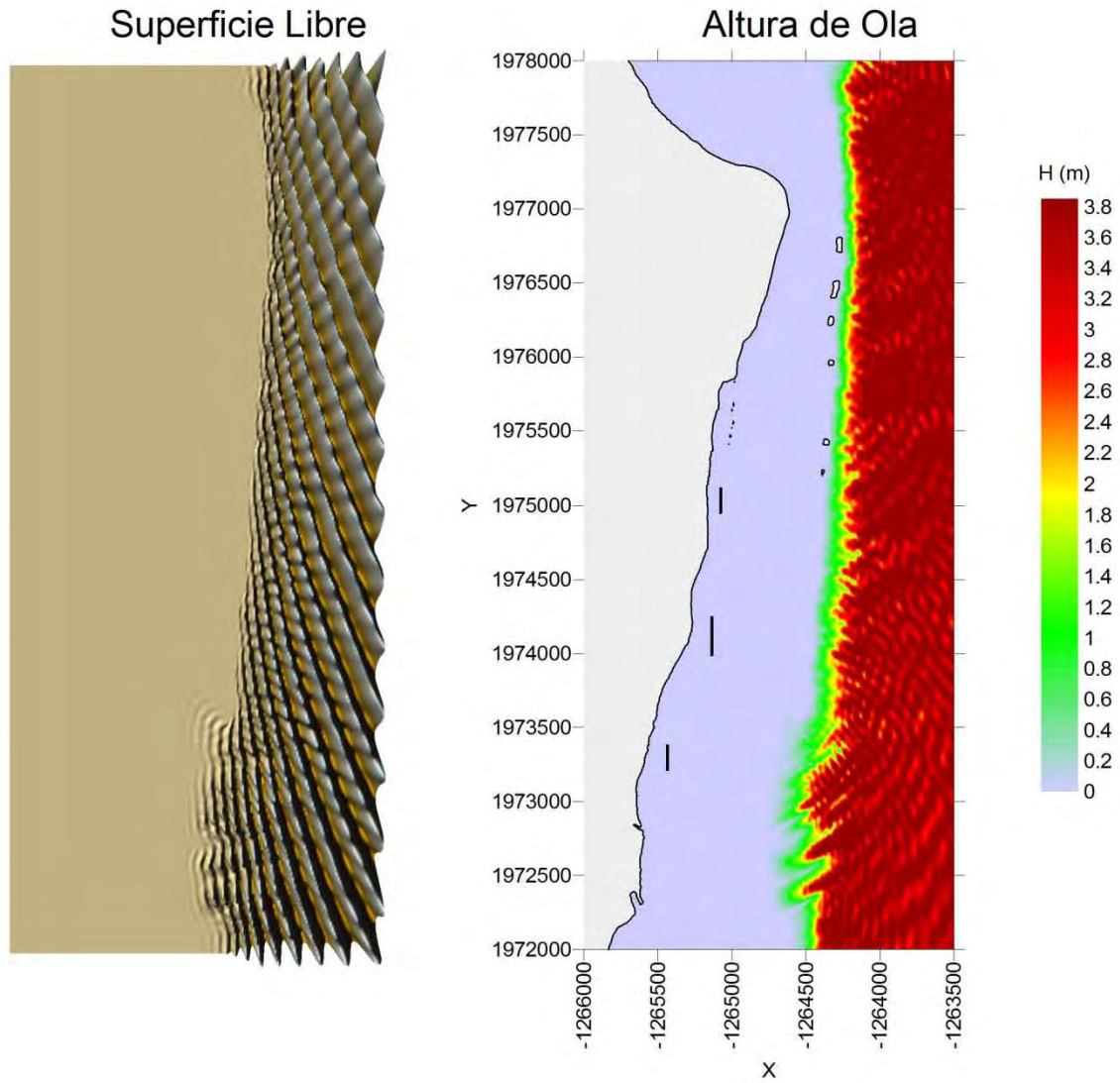
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



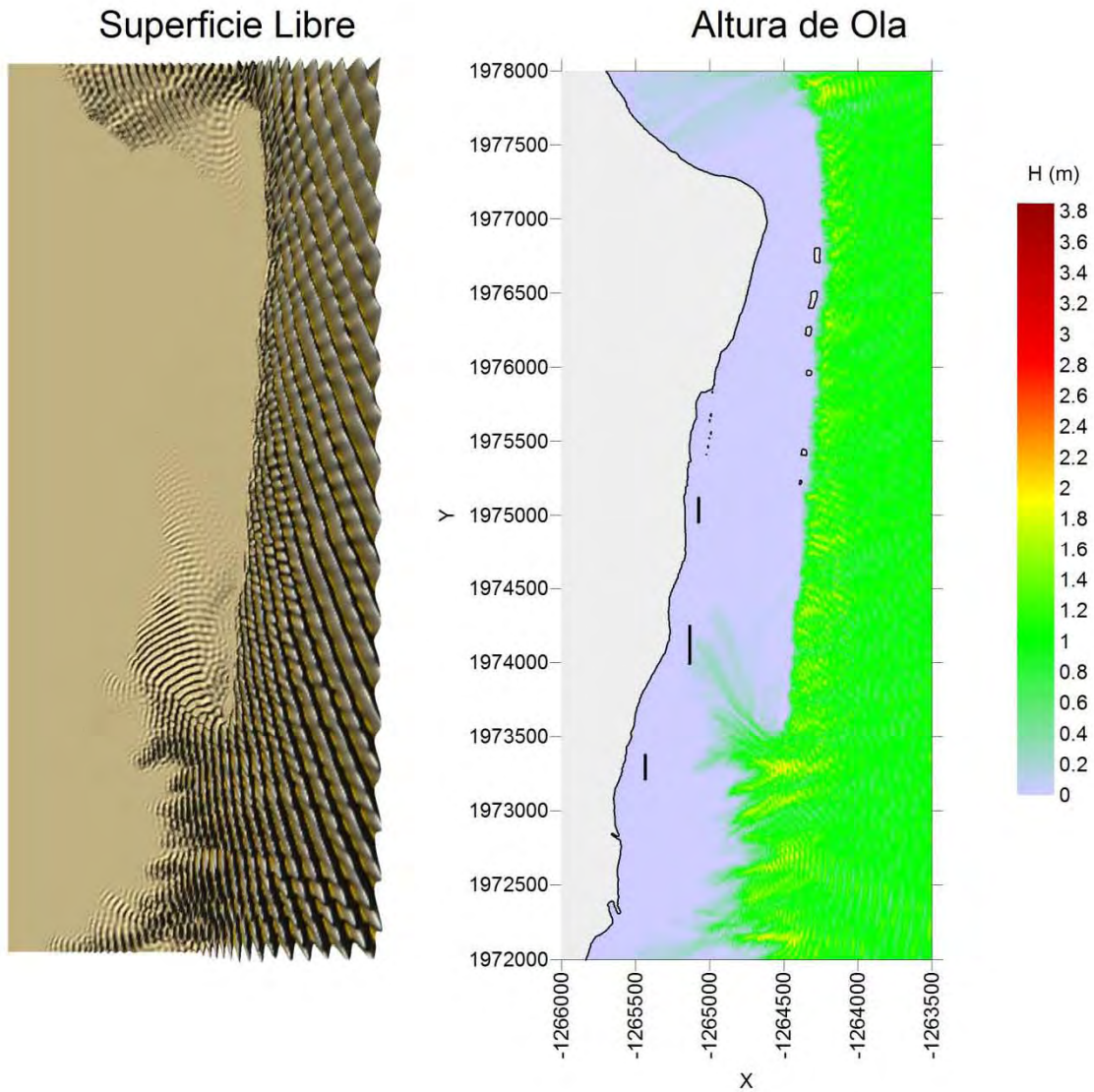
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



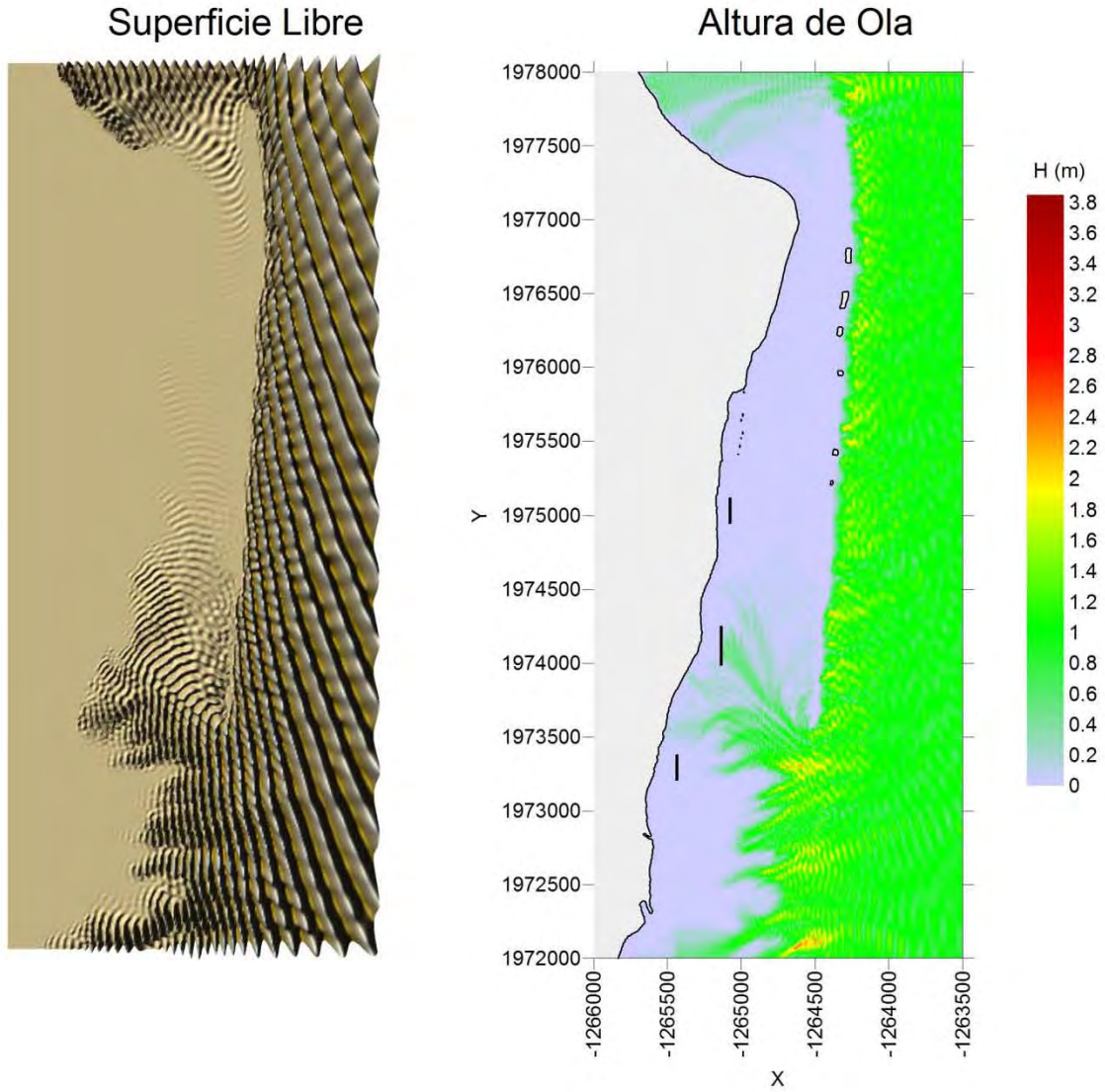
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



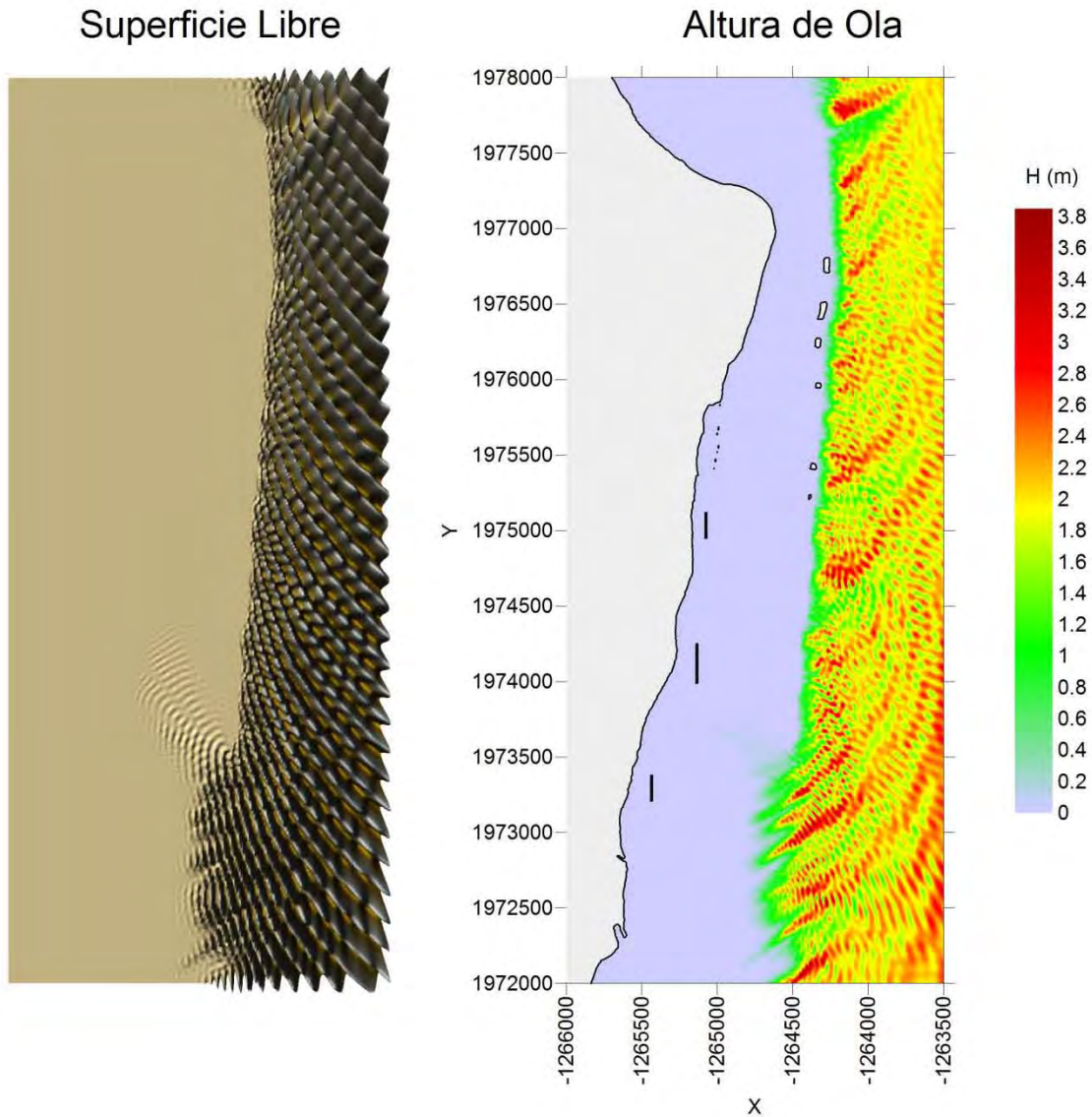
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



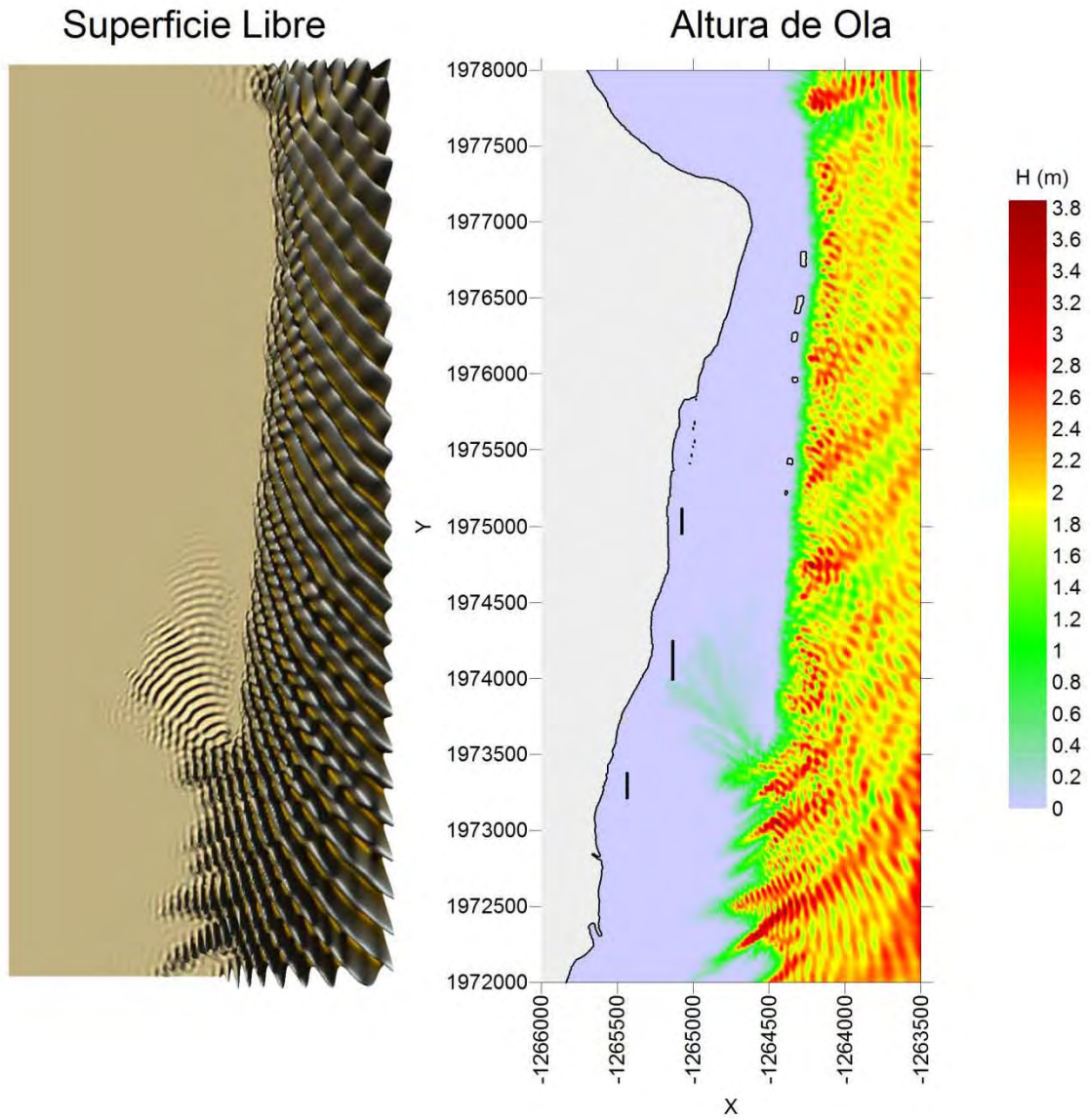
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



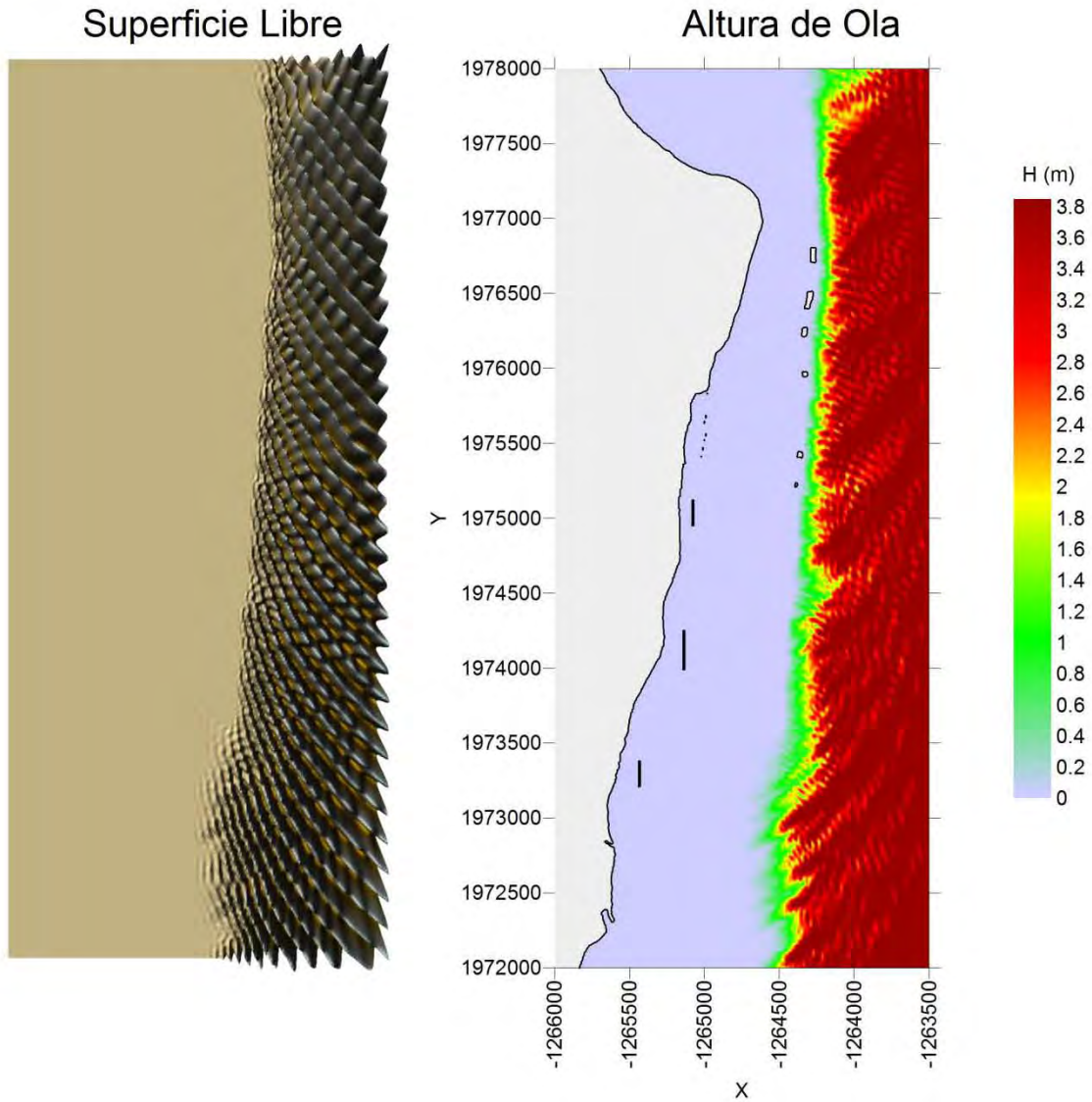
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



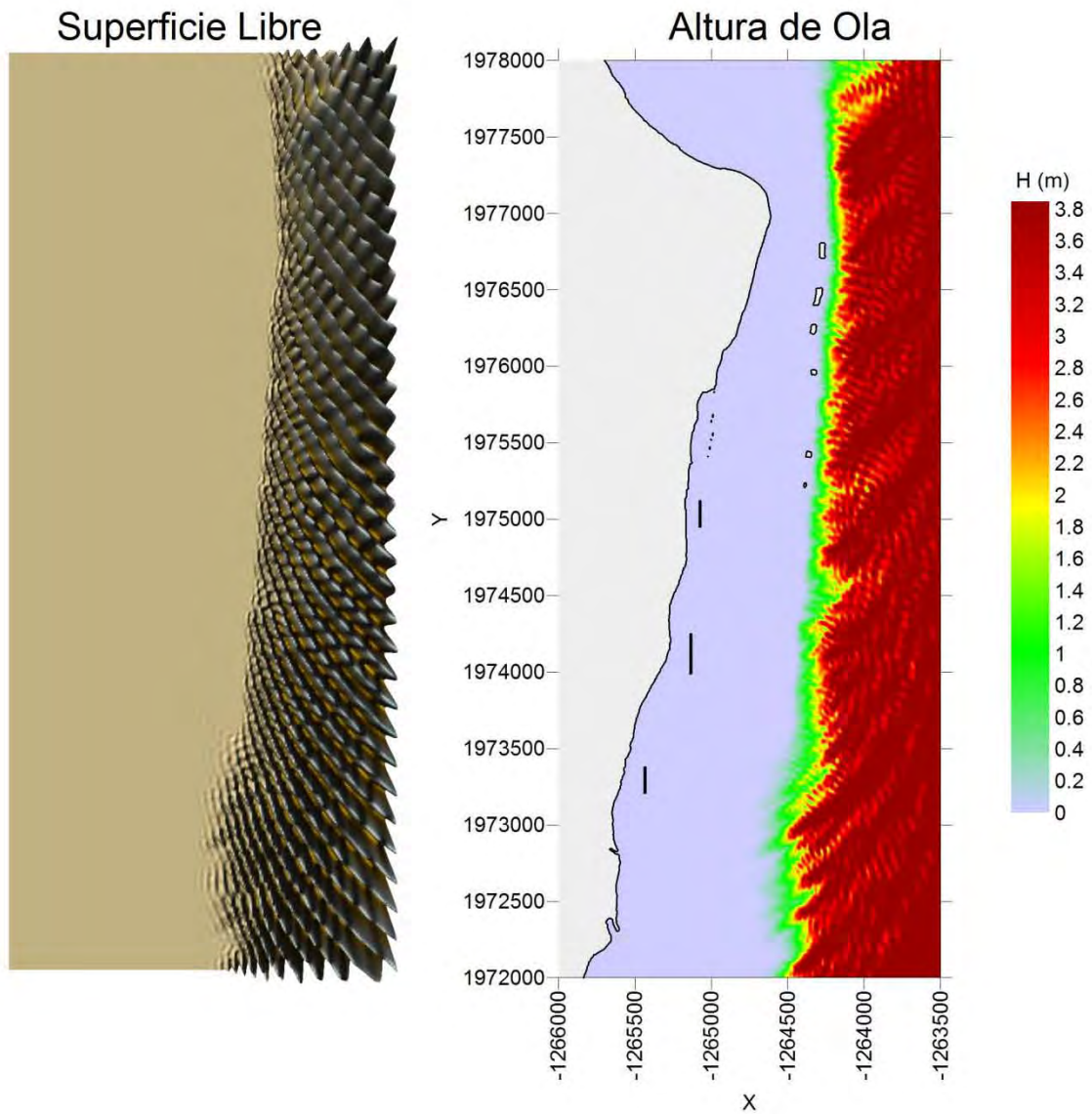
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



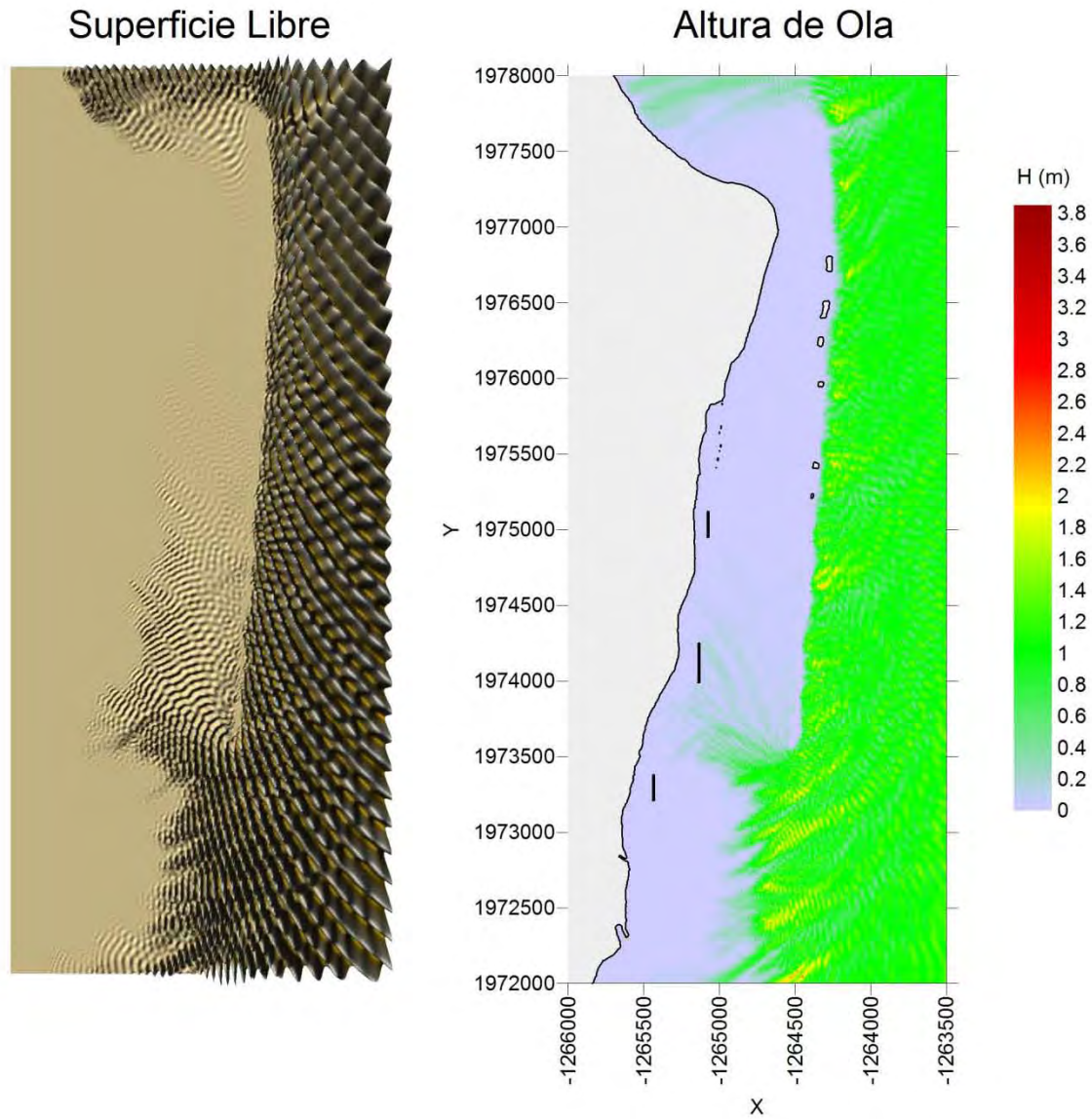
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



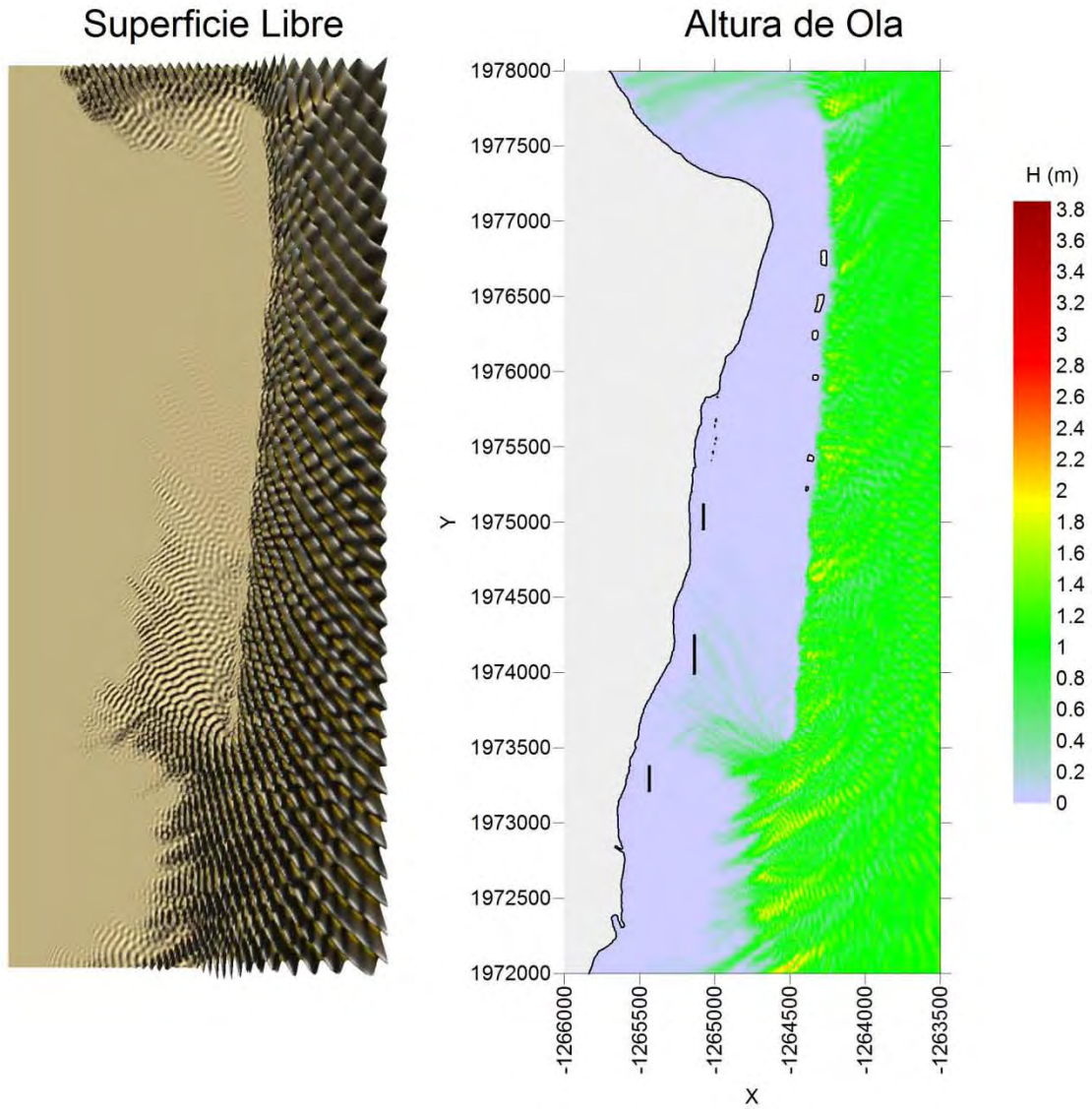
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

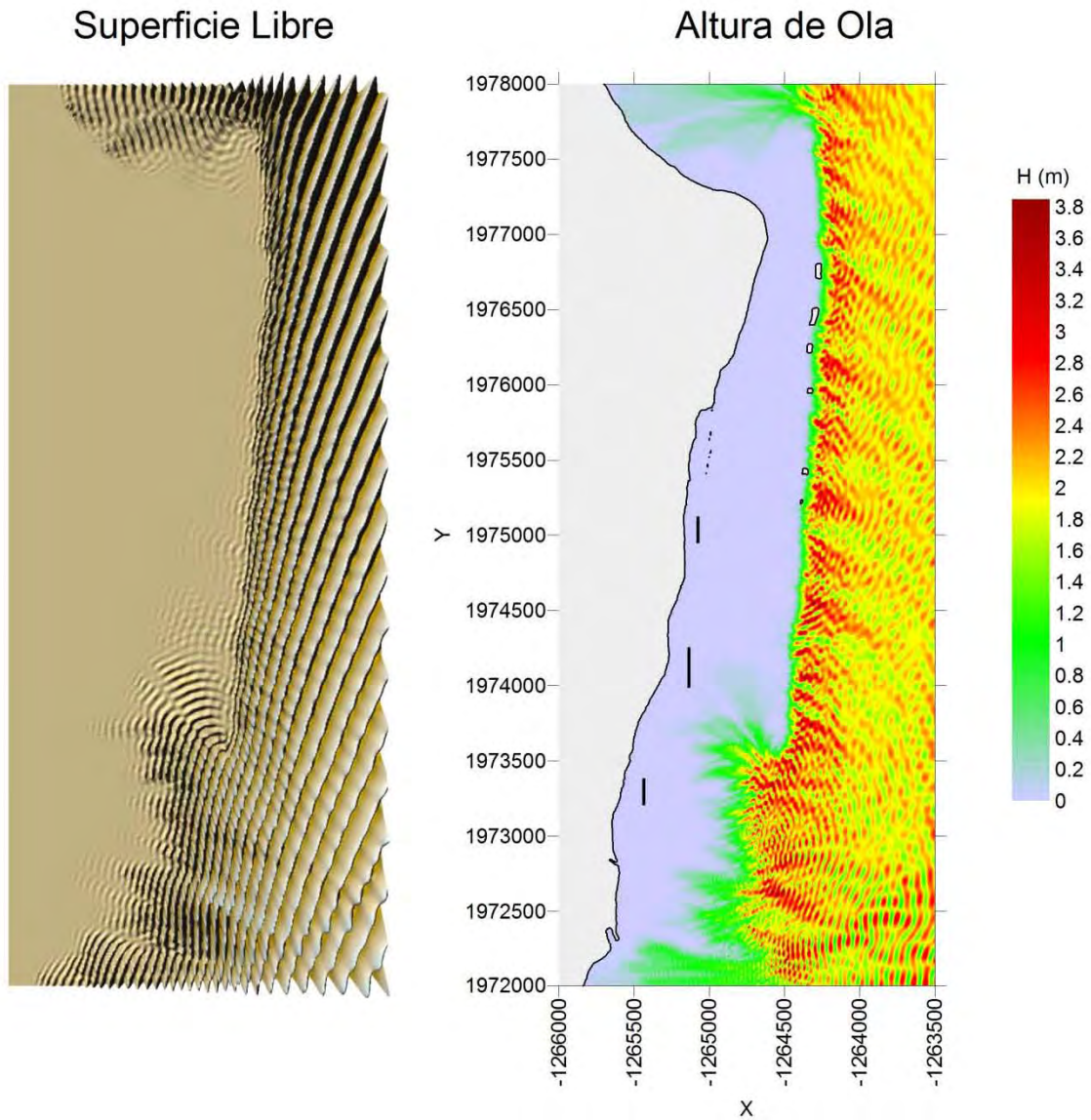
H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

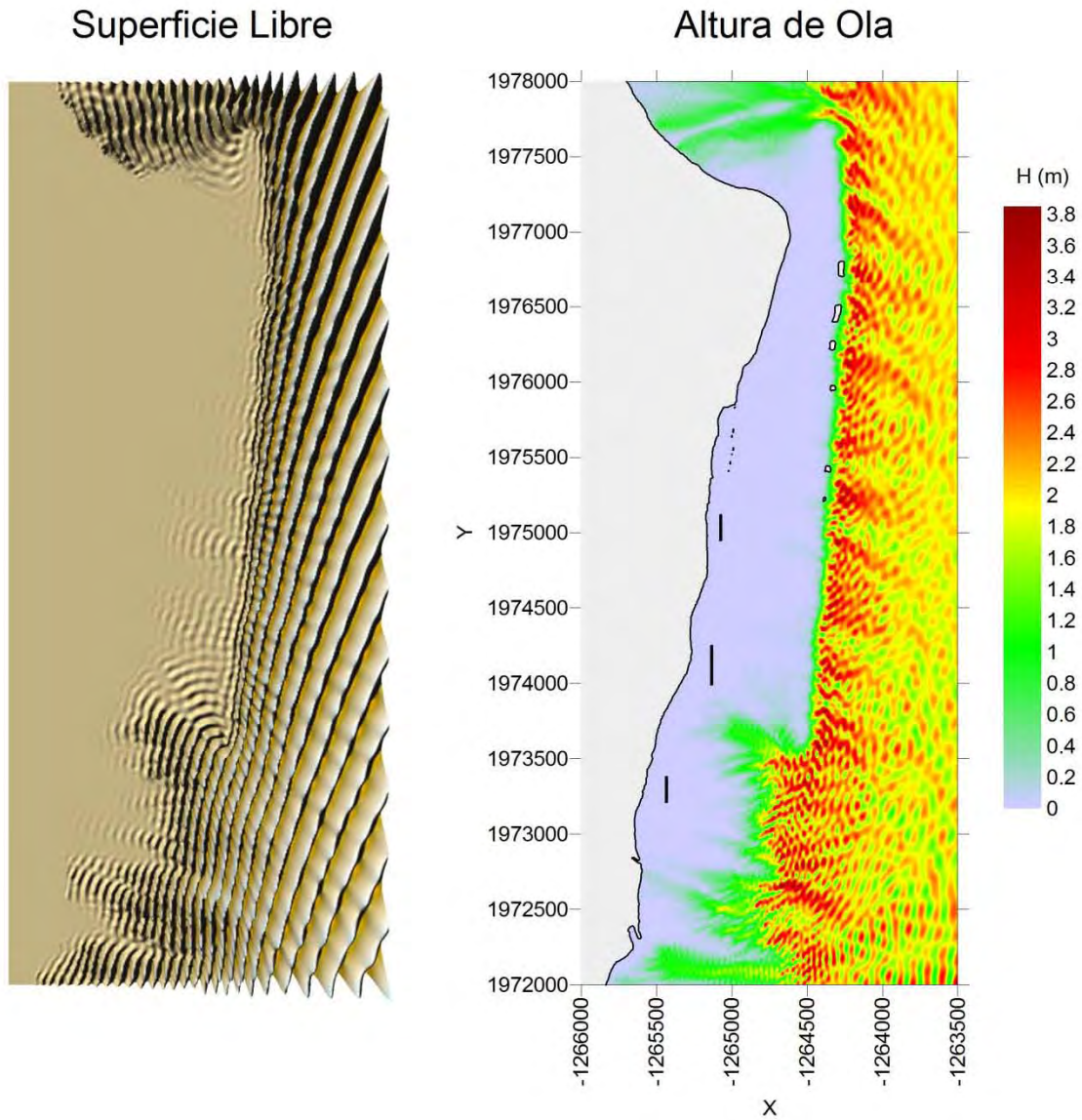
Sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



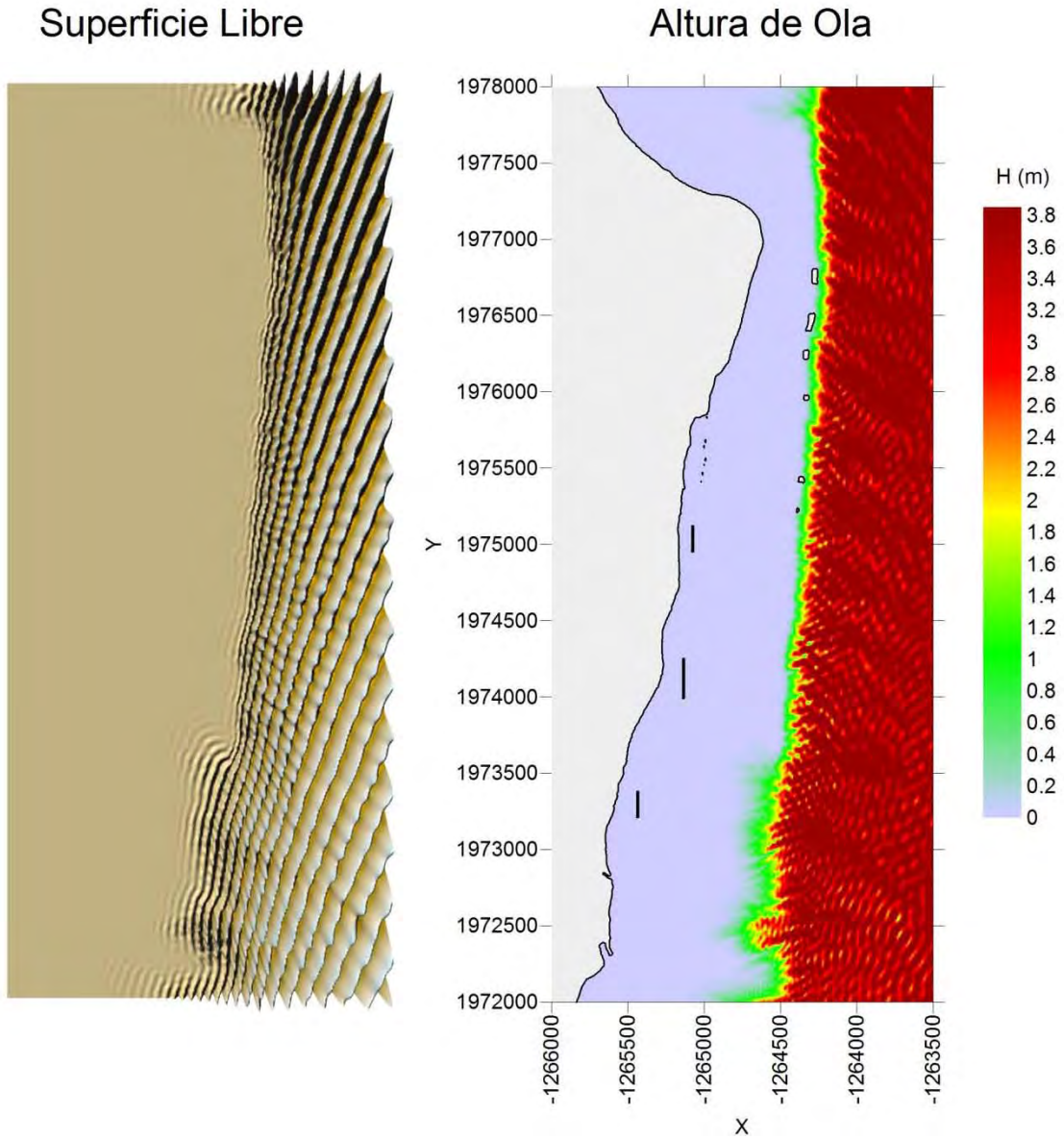
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



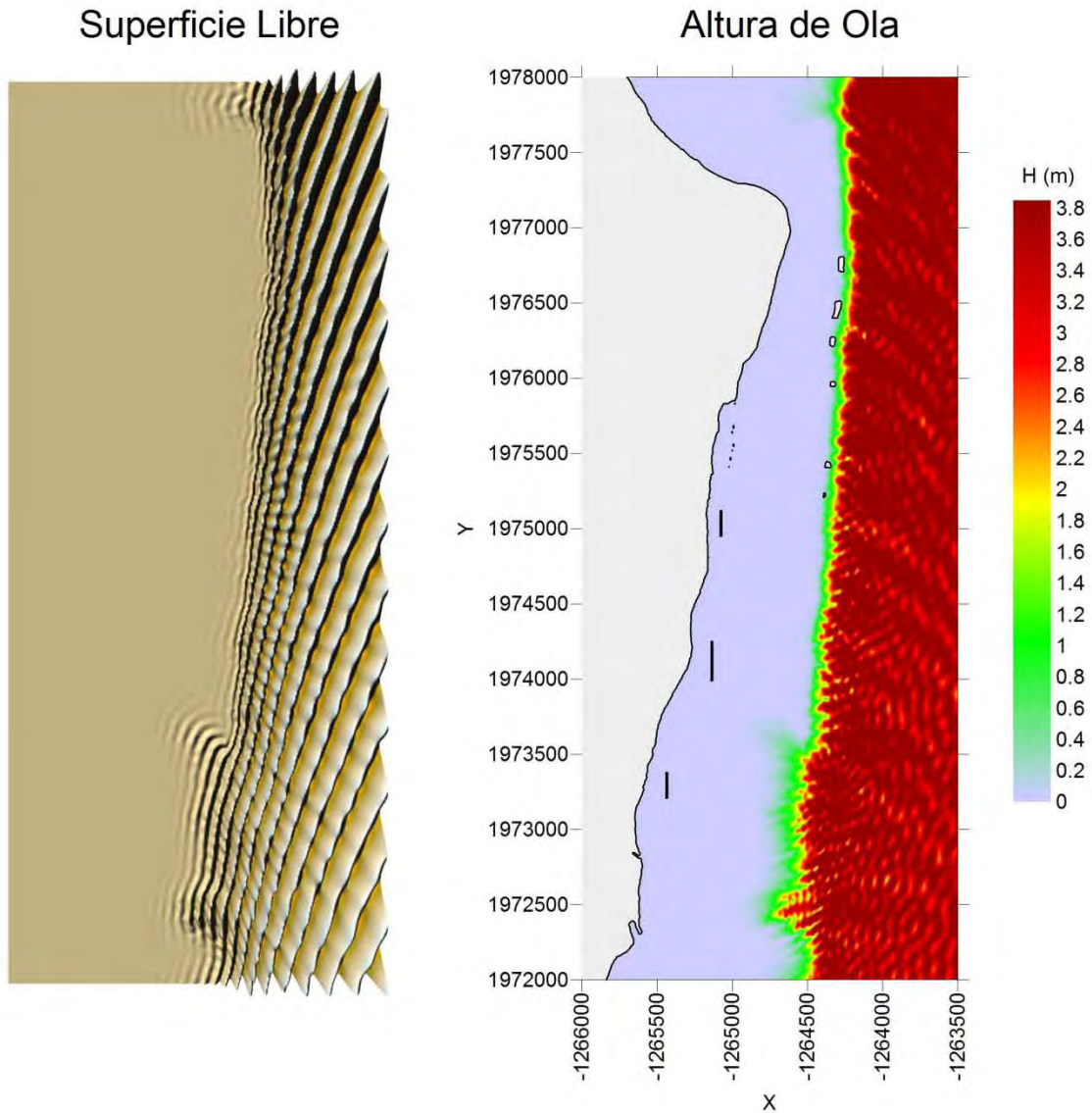
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



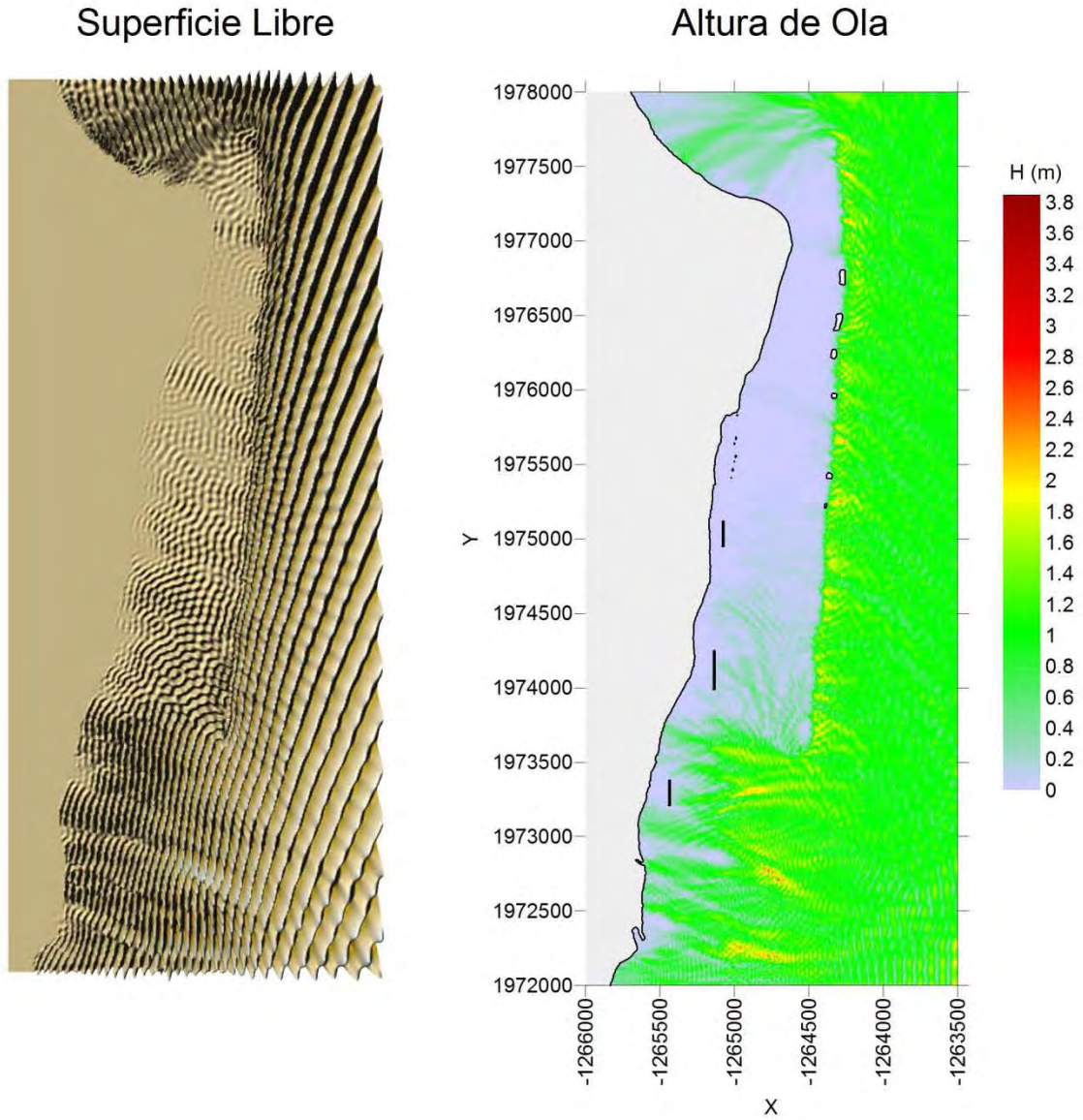
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



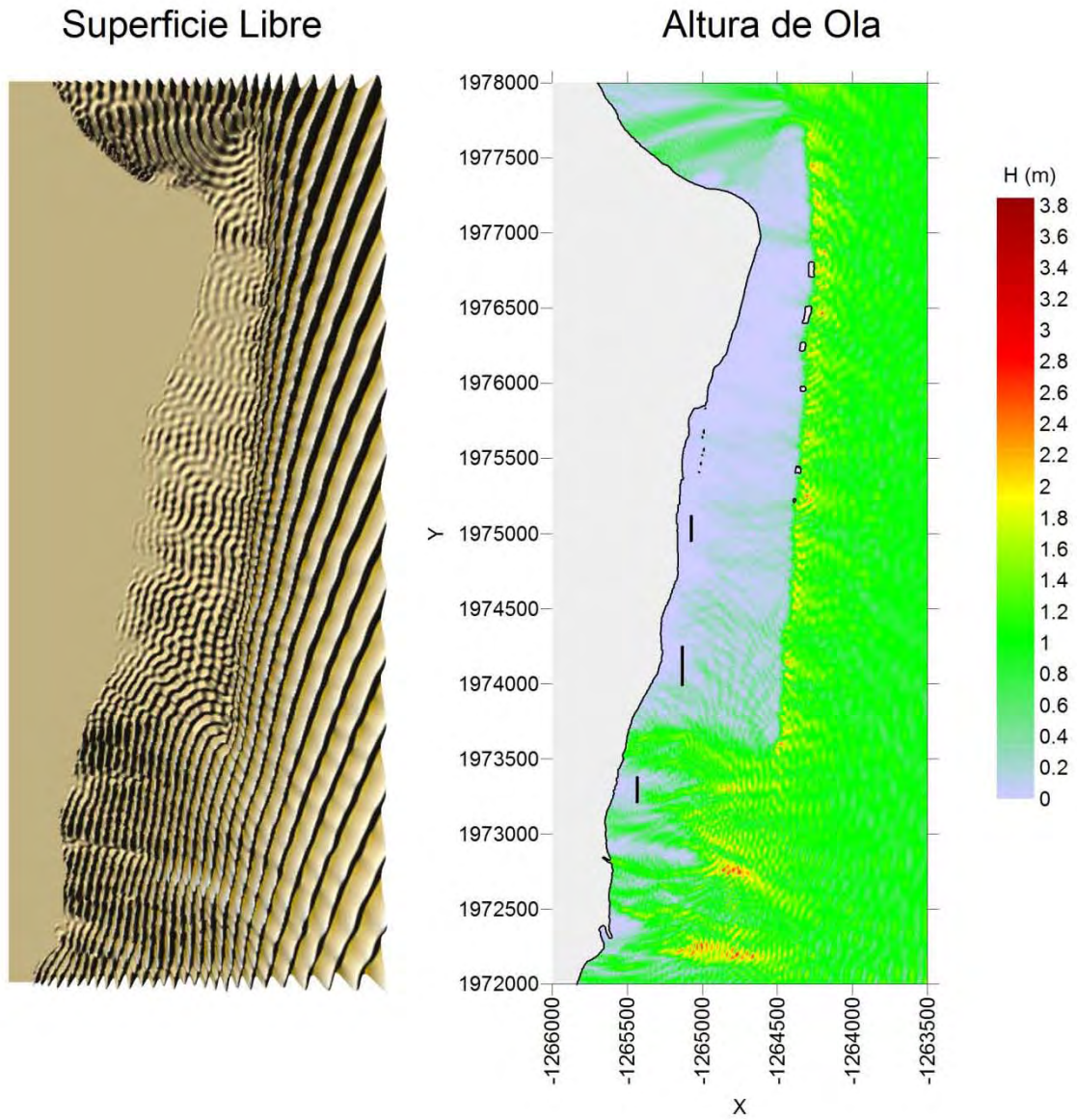
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



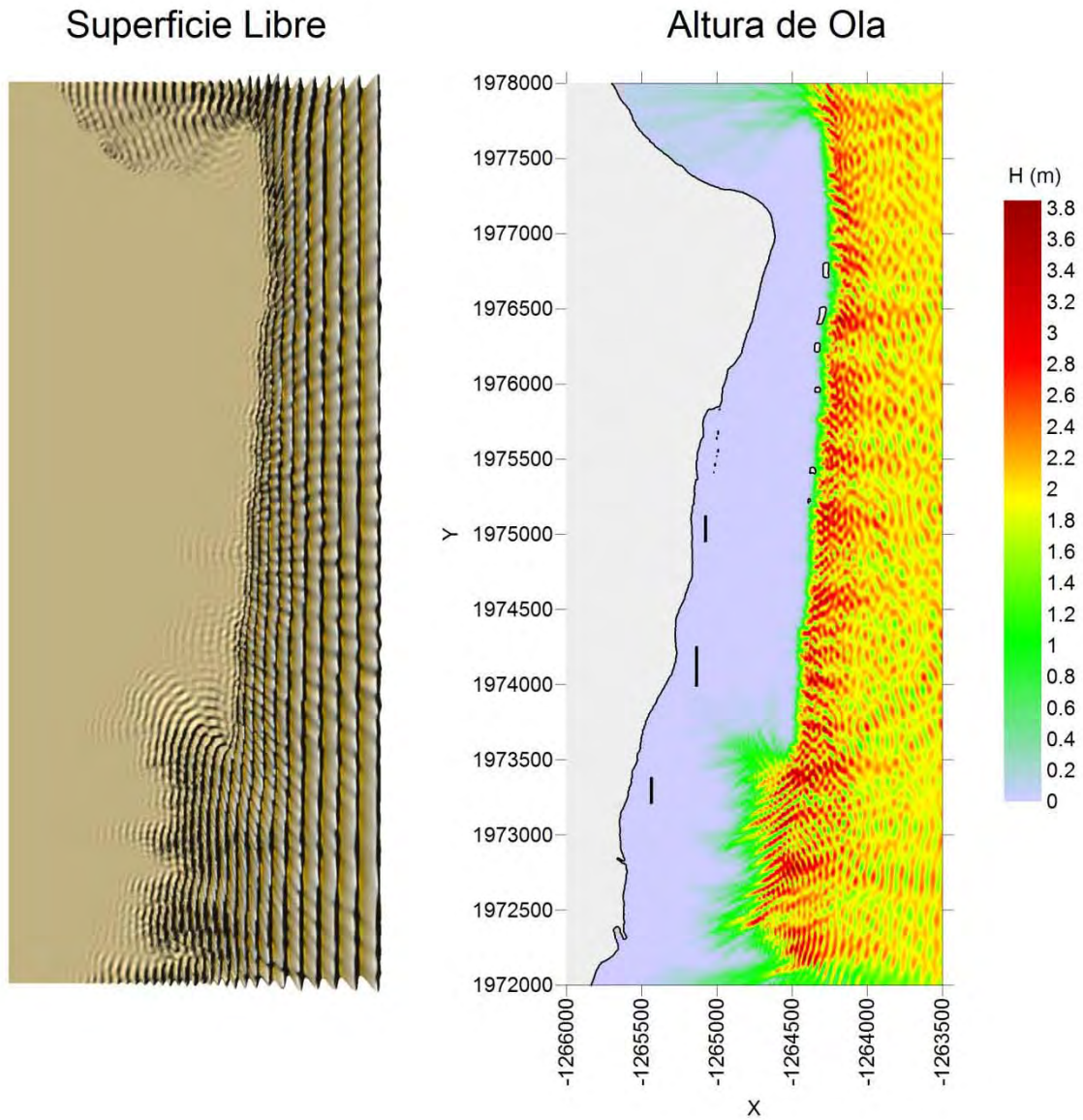
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



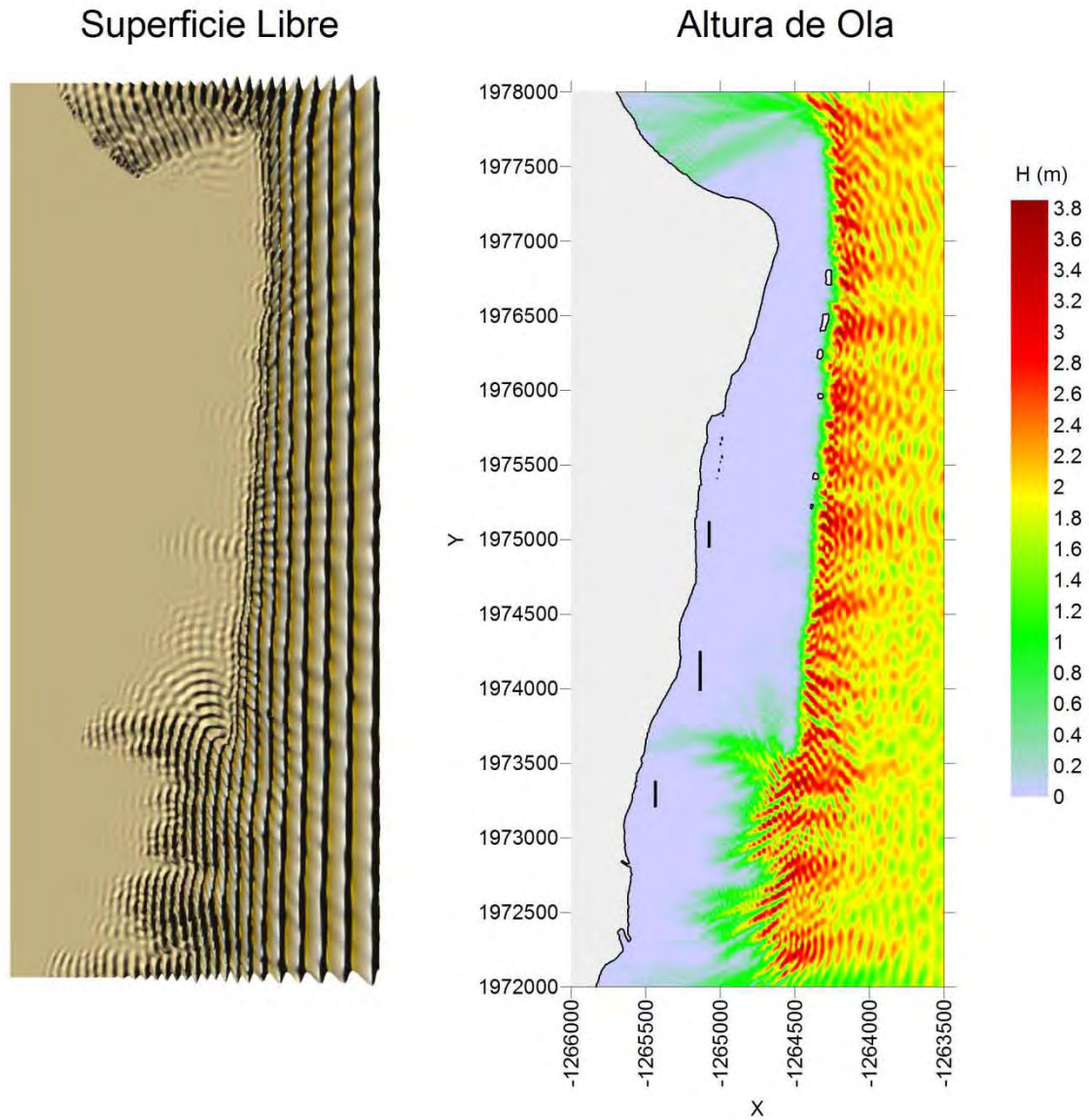
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



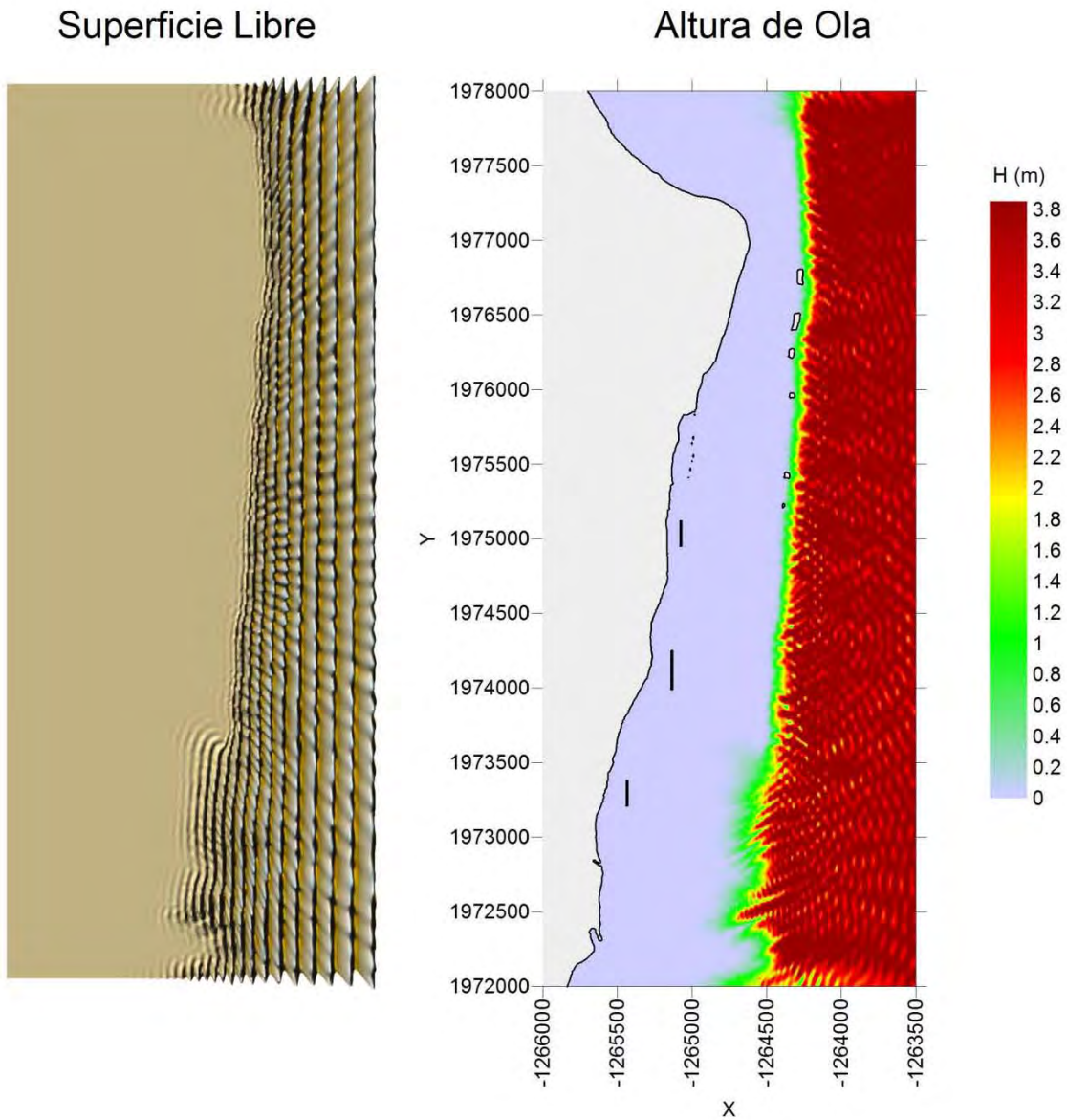
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



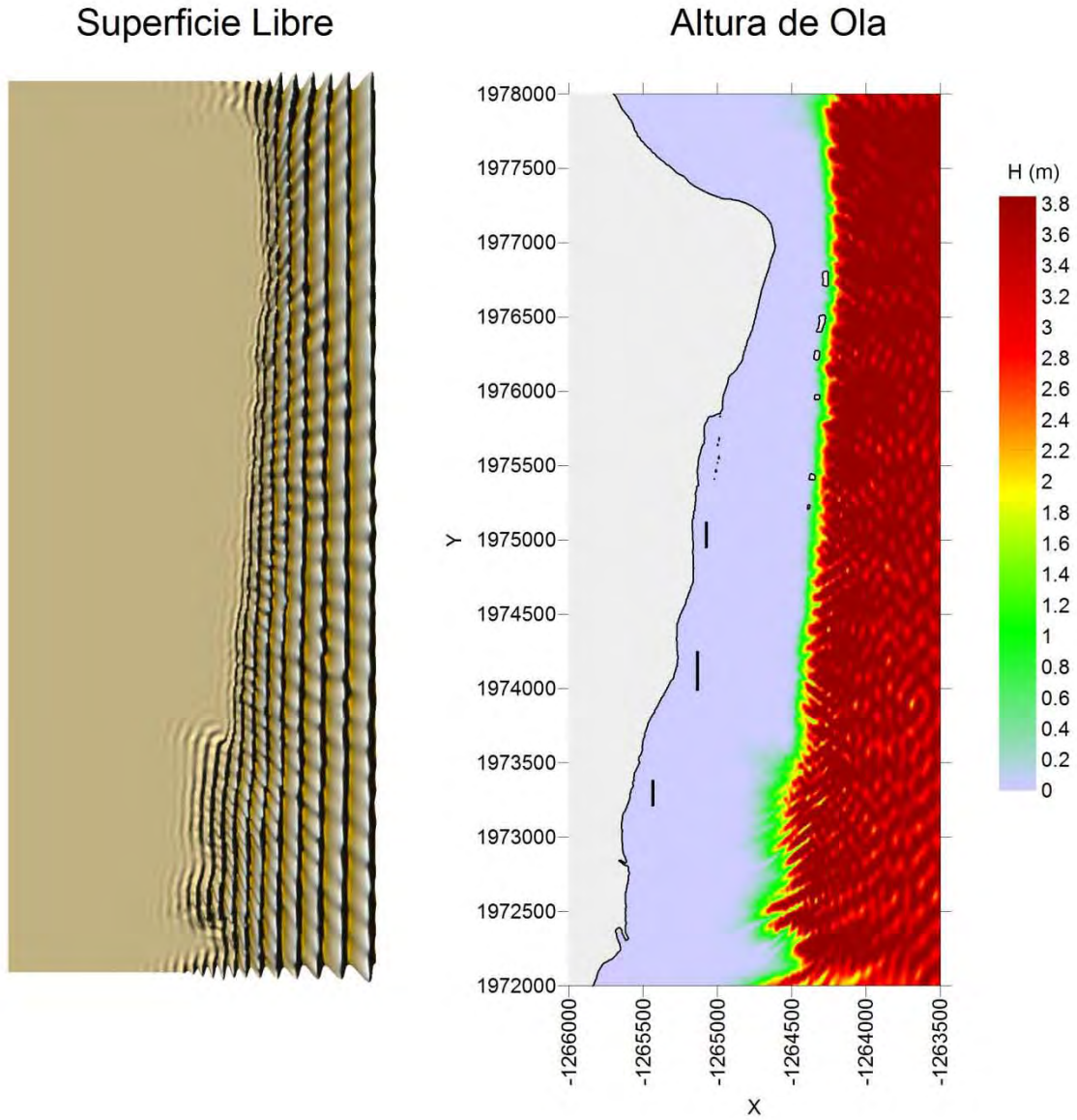
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



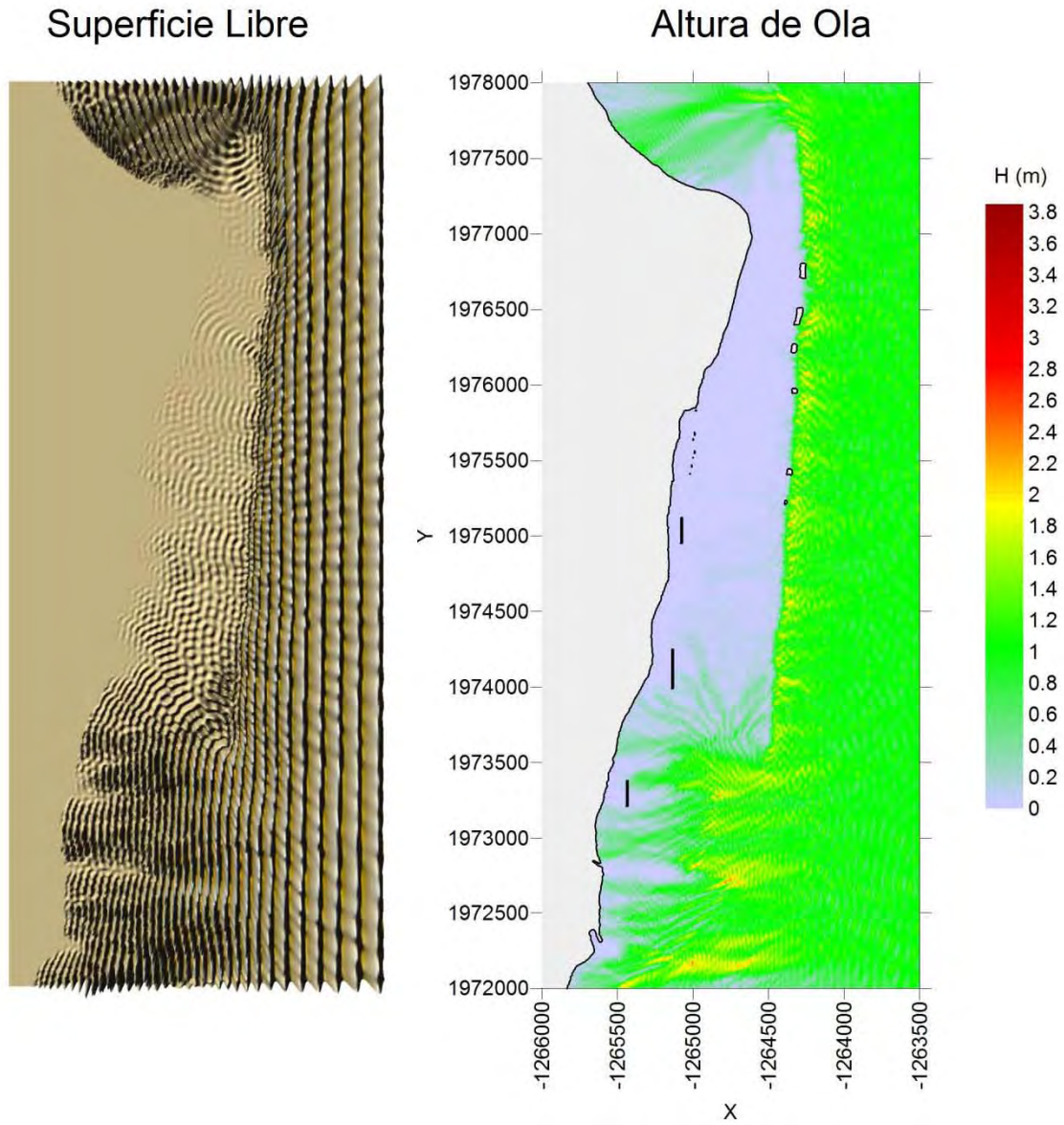
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



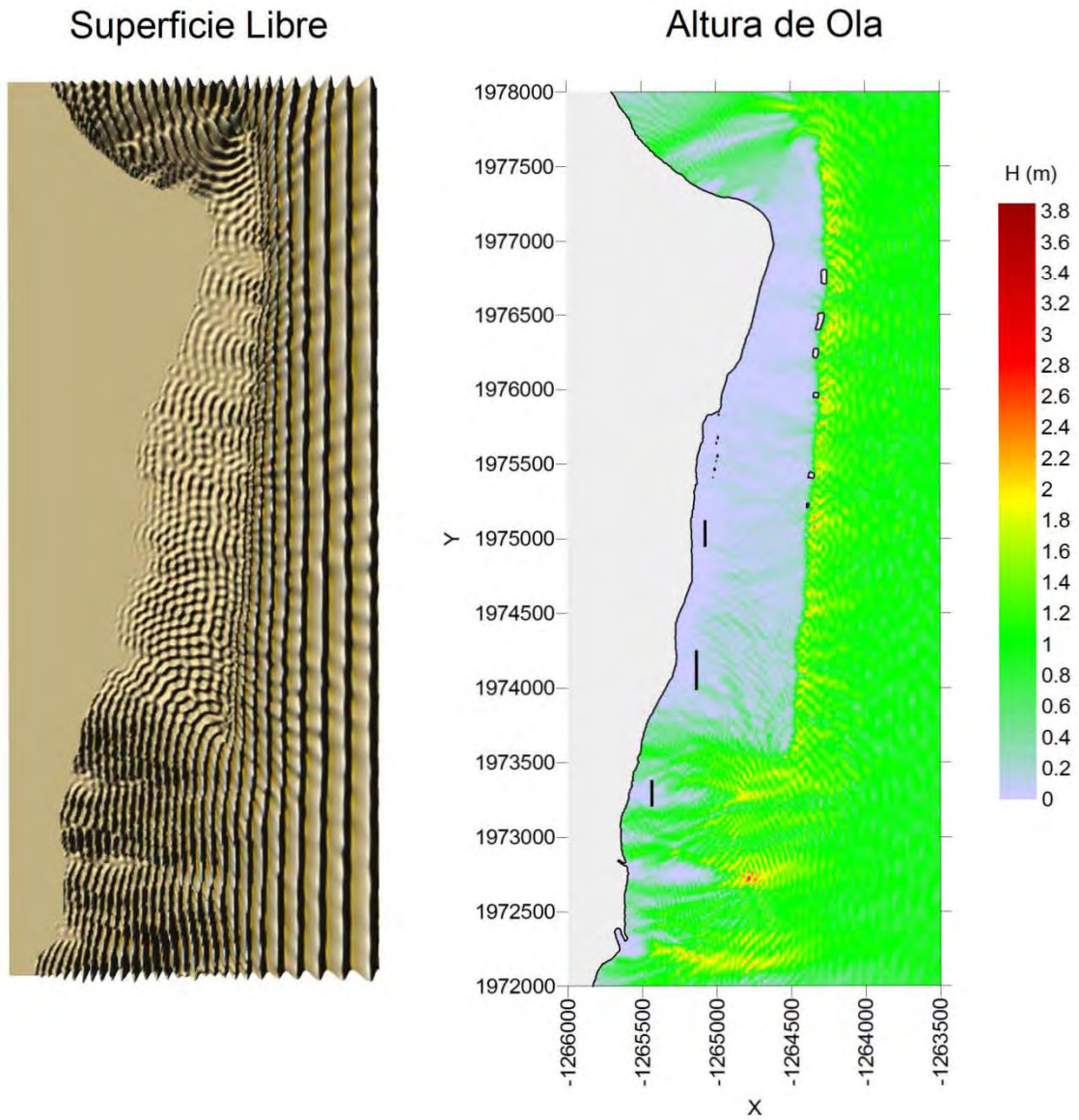
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



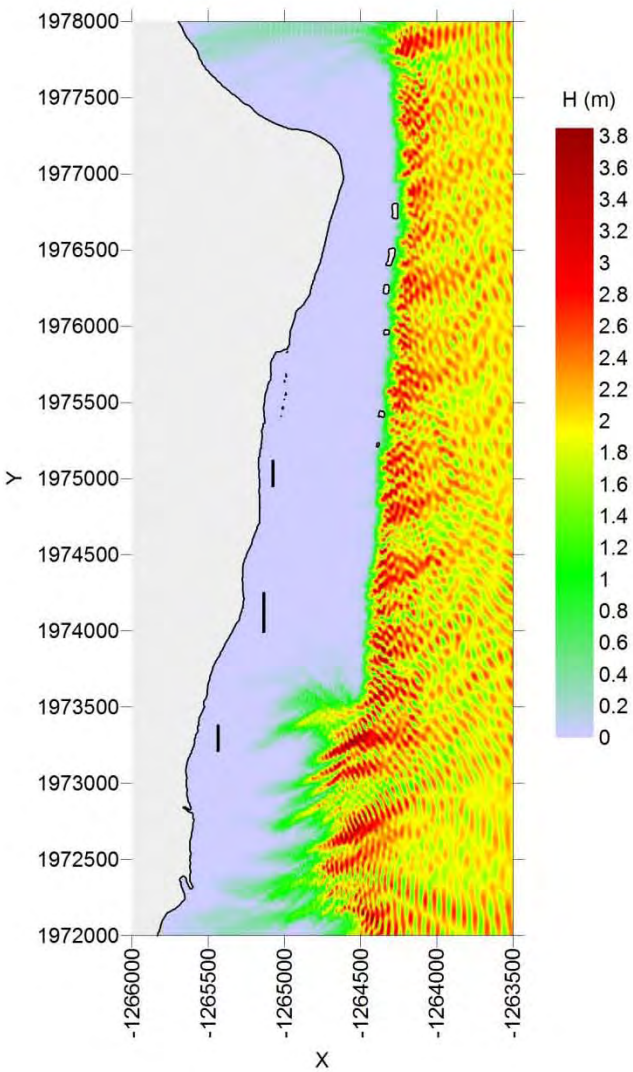
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)

Superficie Libre

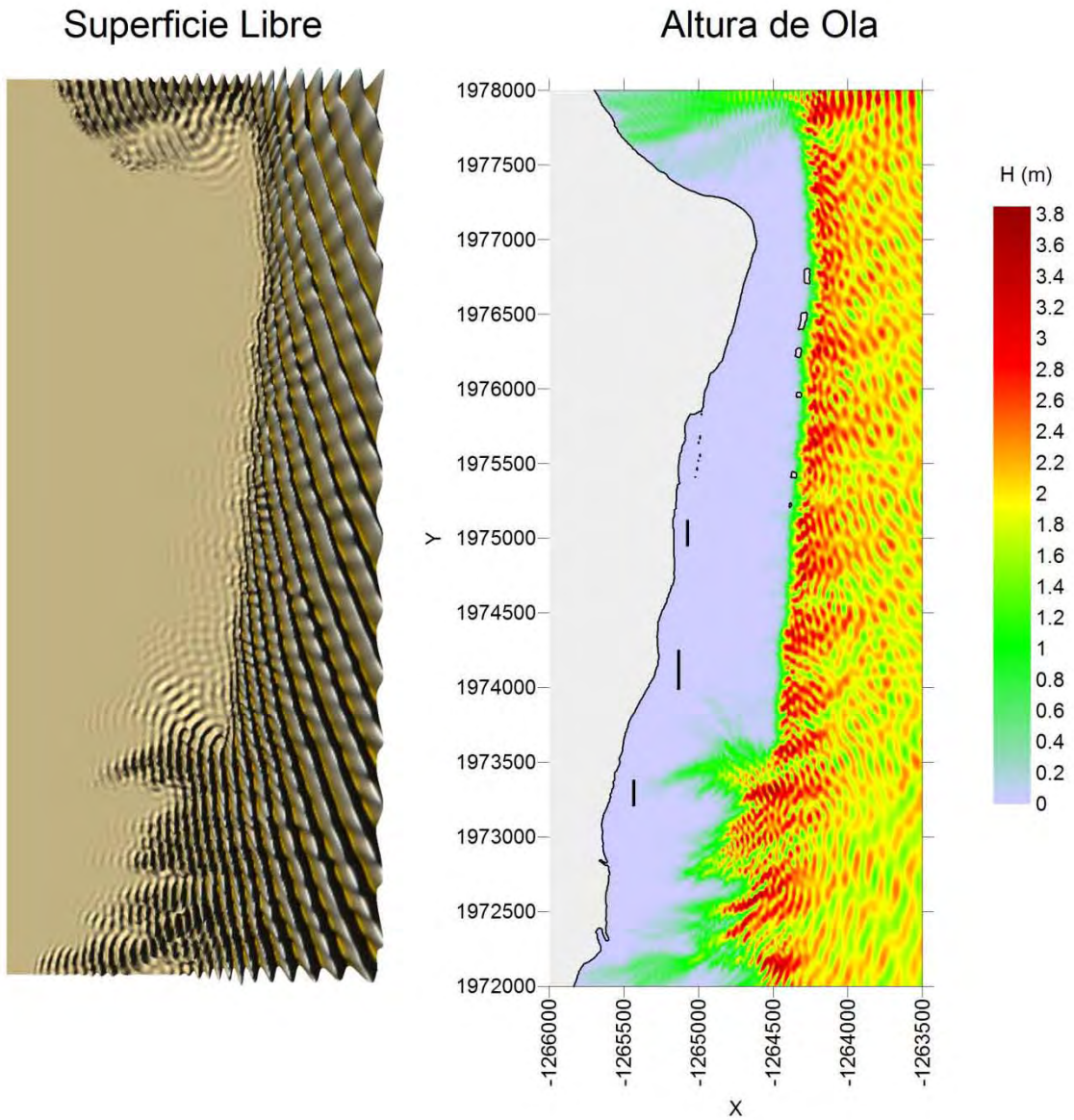


Altura de Ola



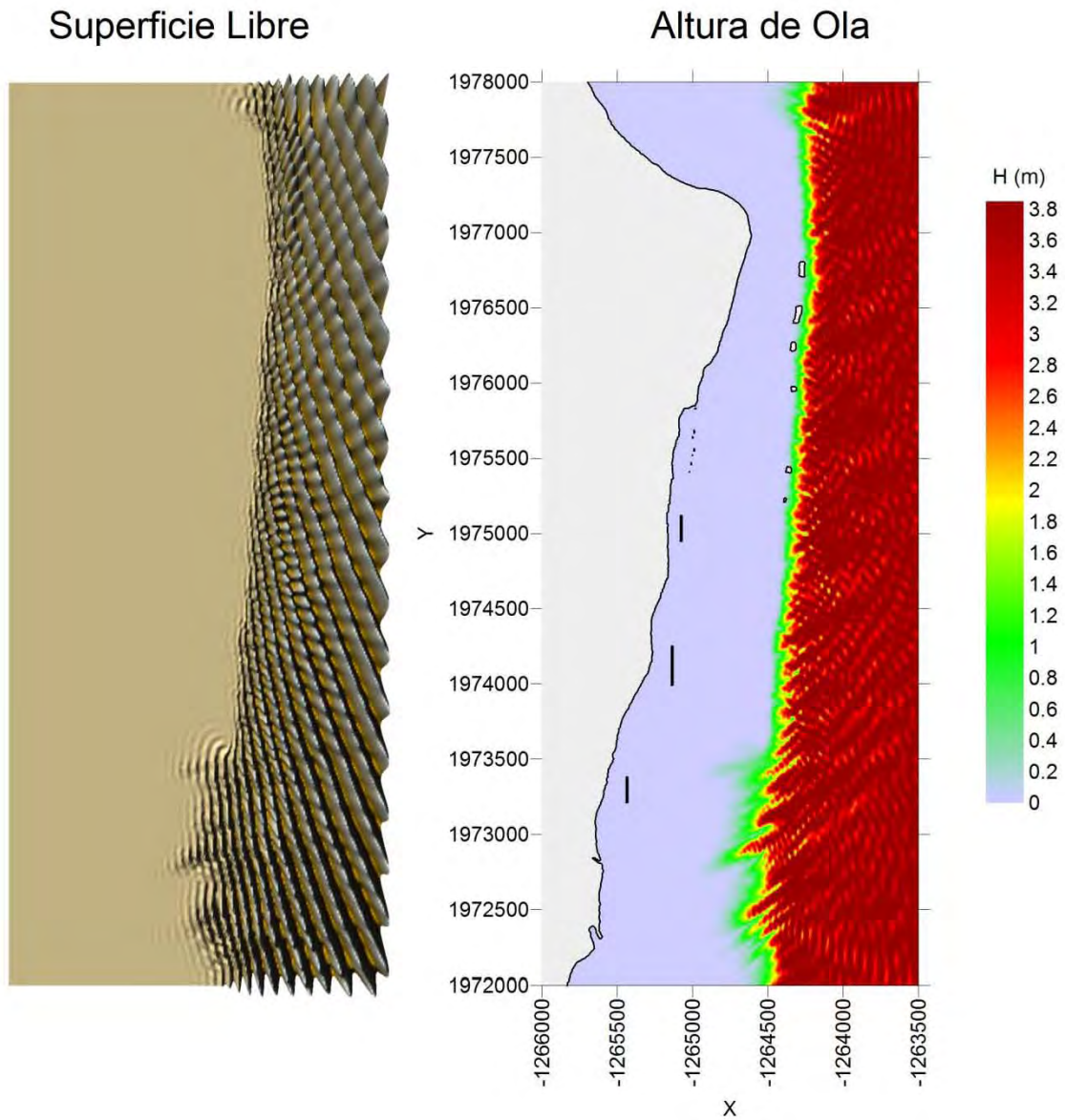
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



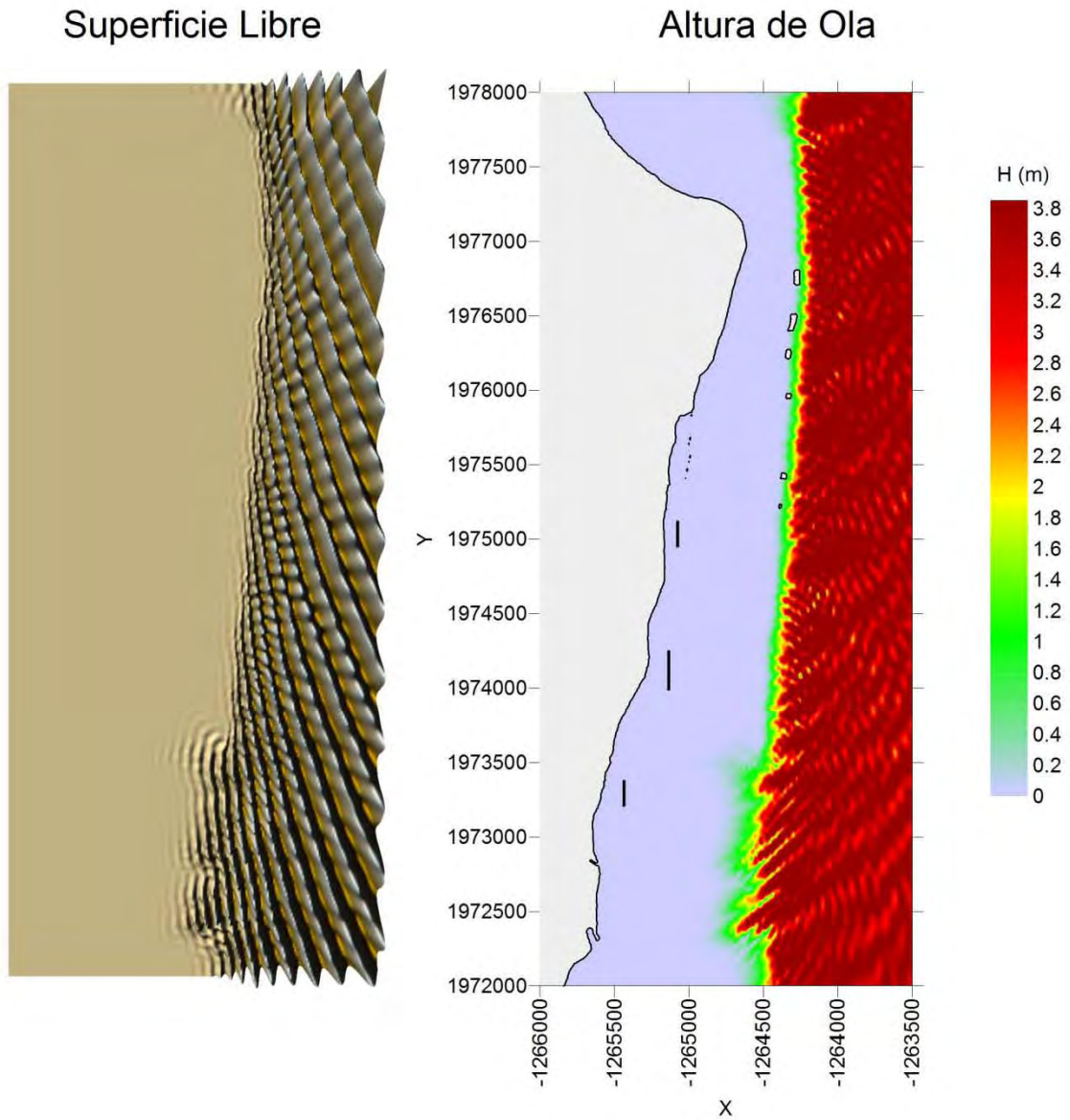
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



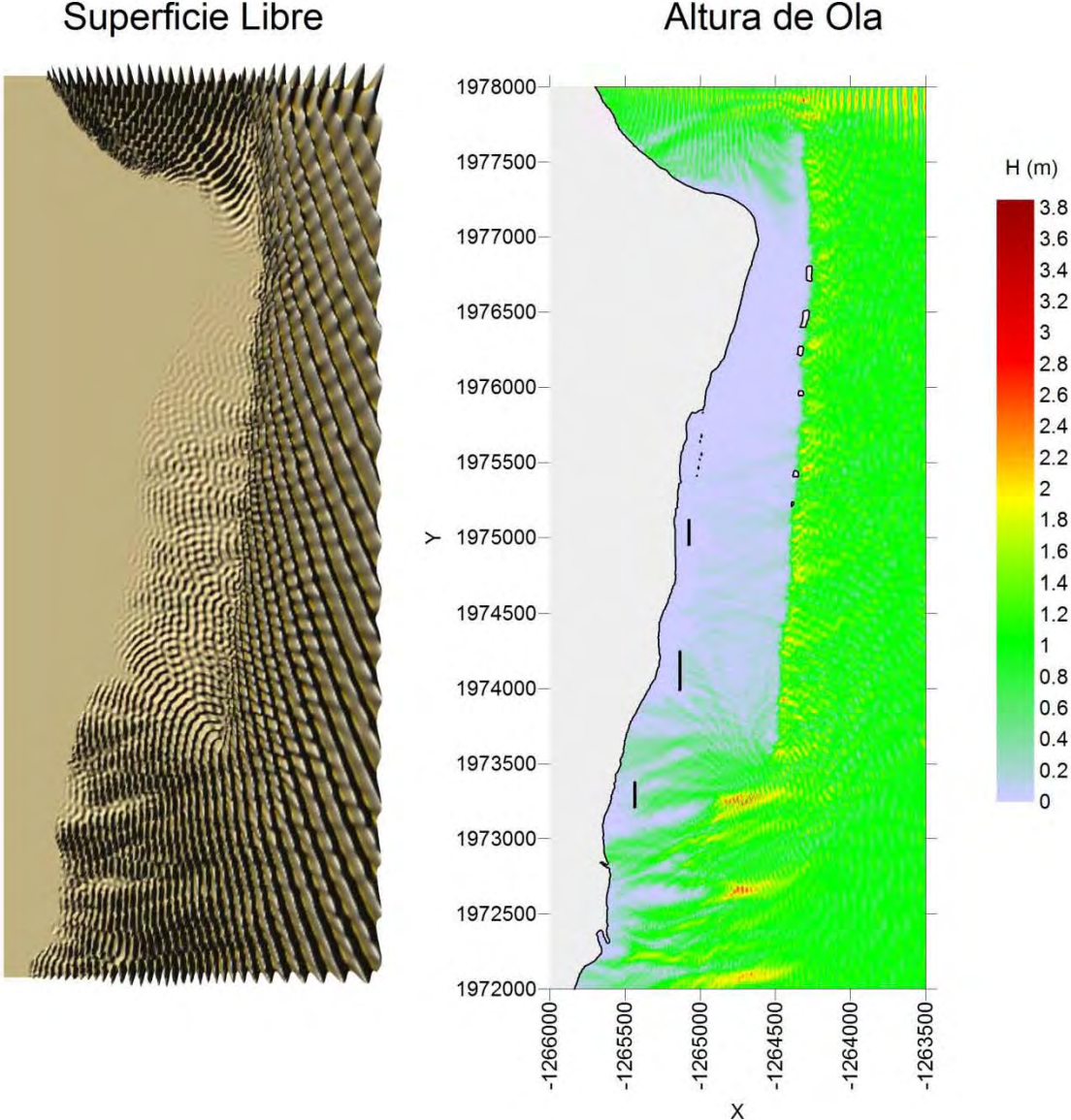
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



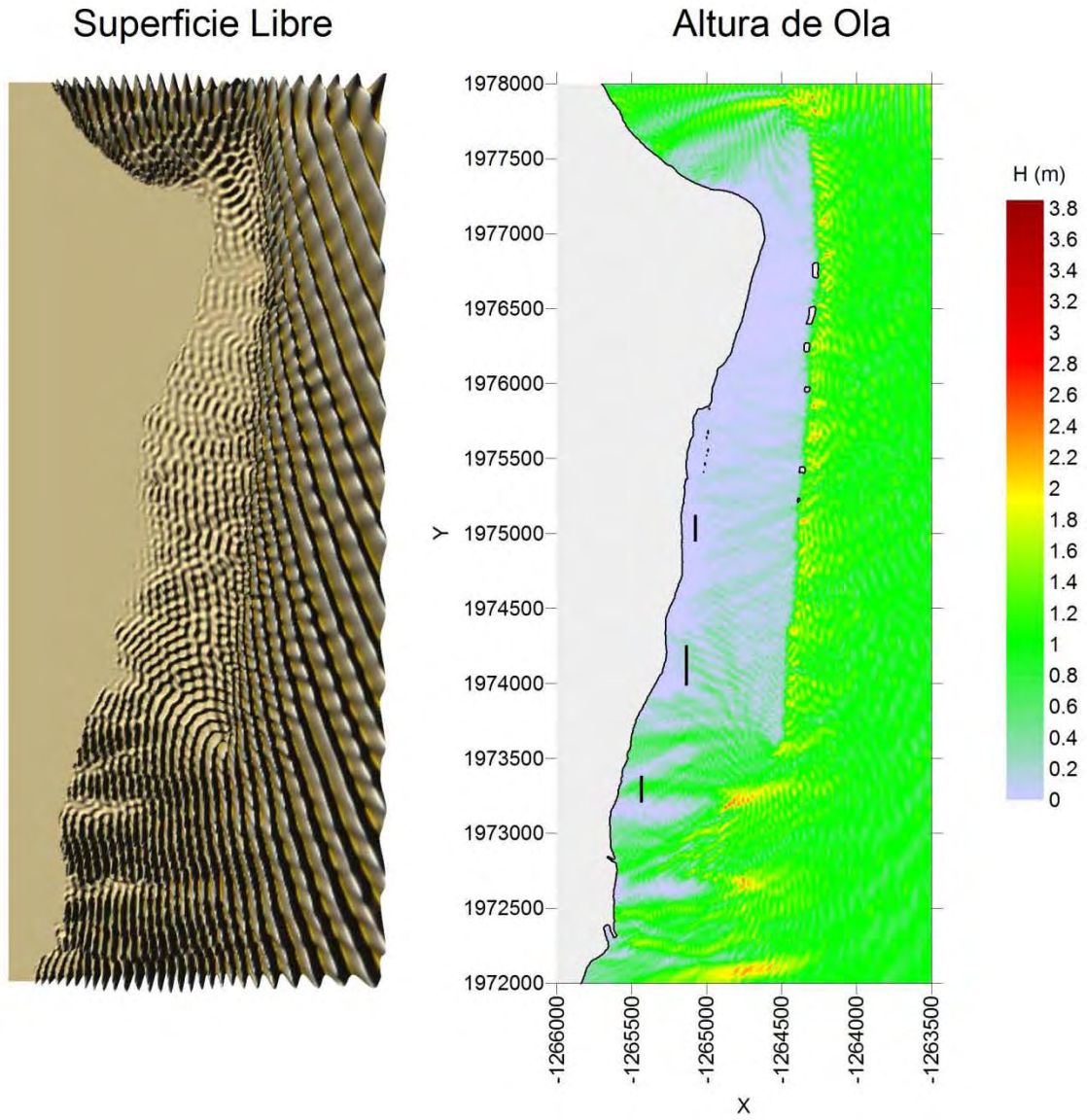
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



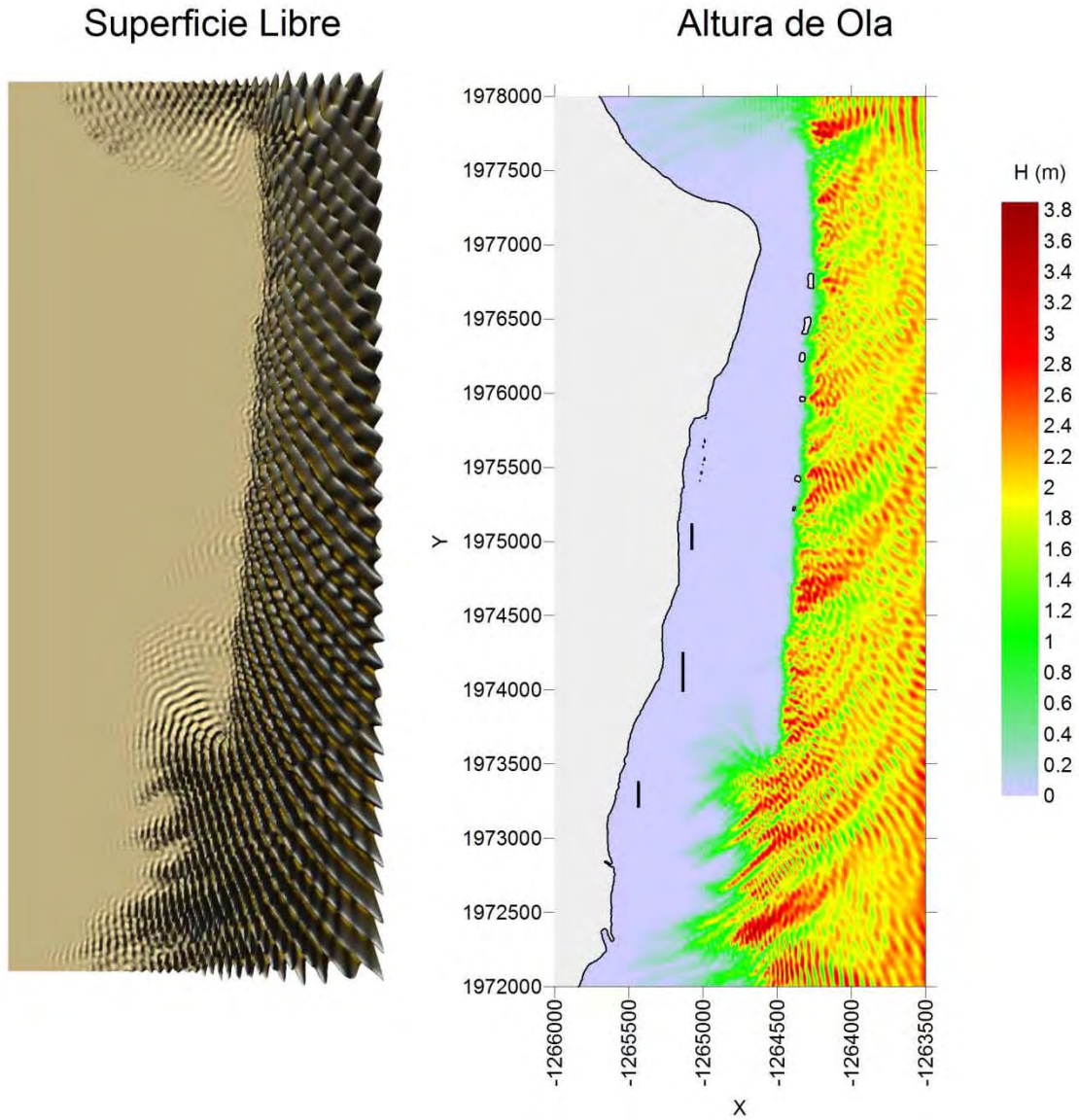
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



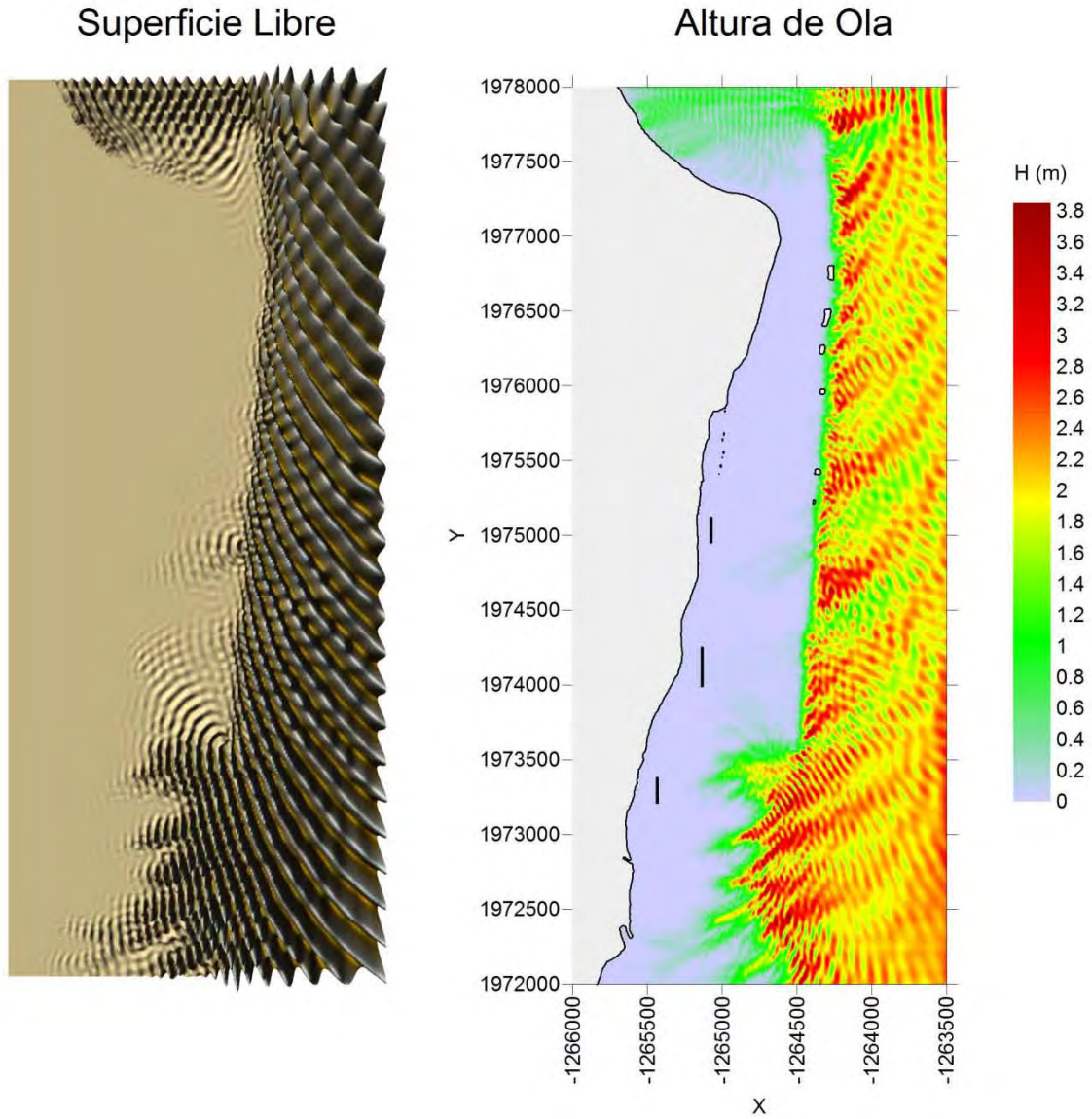
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



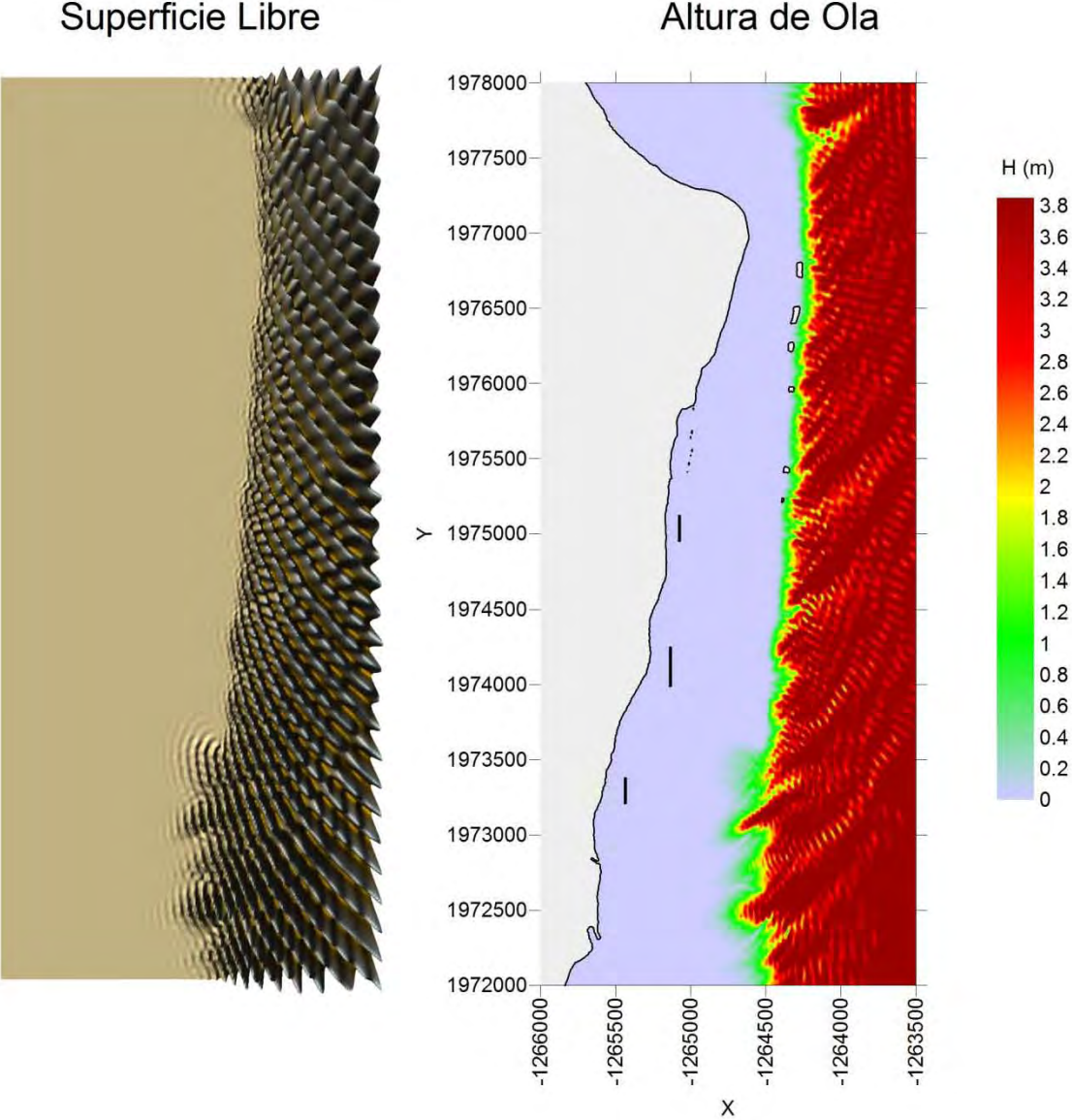
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



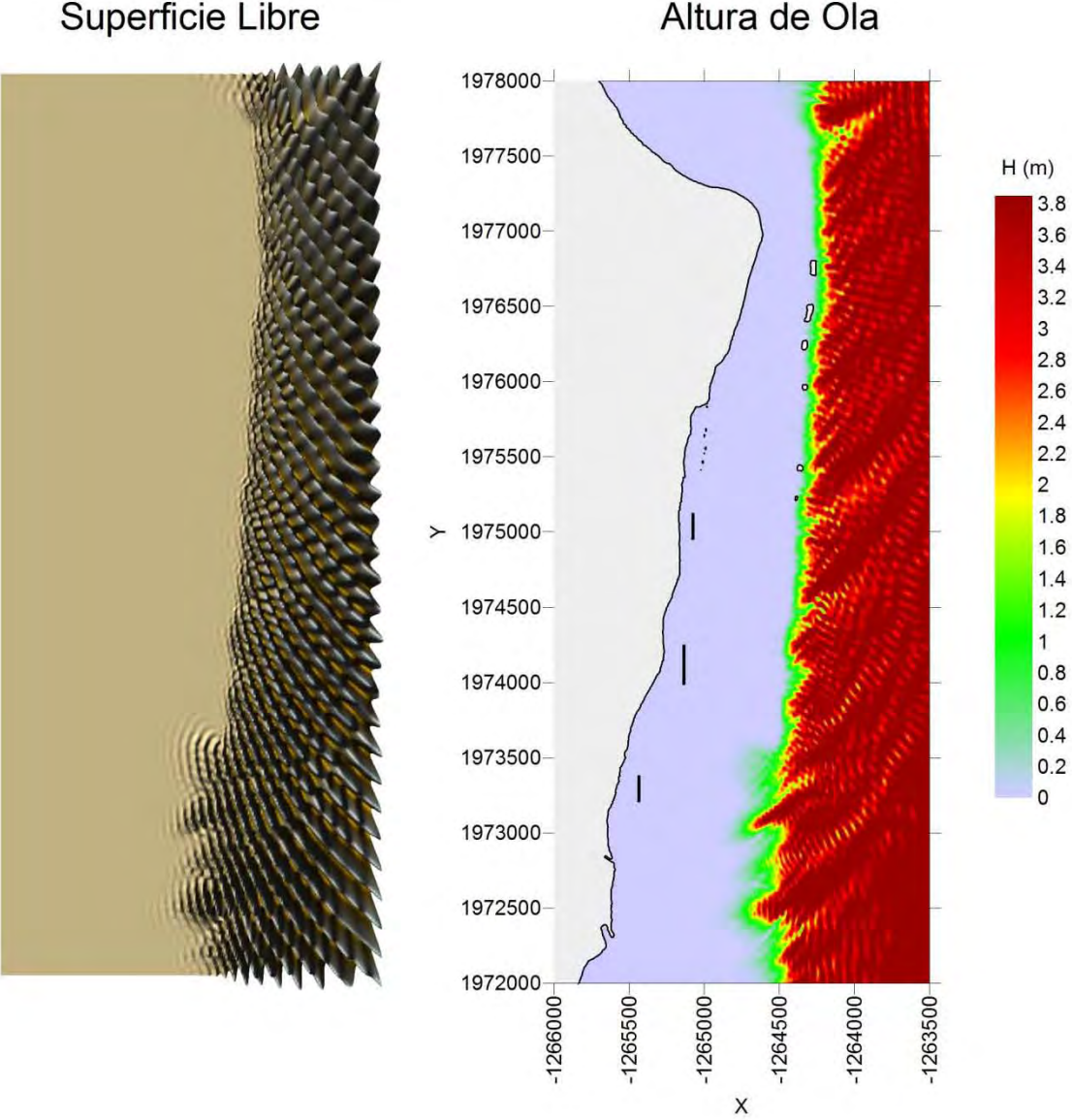
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



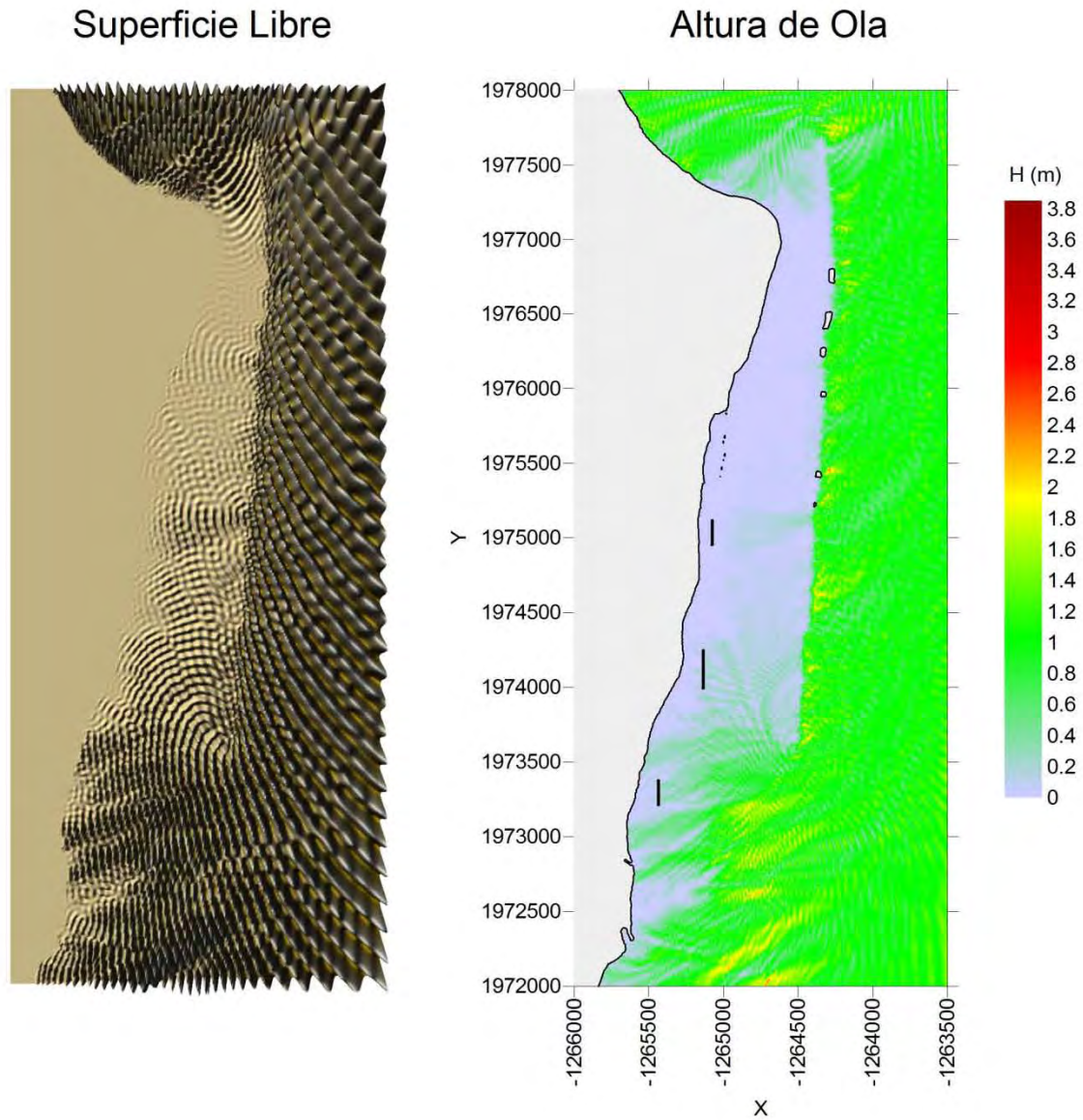
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



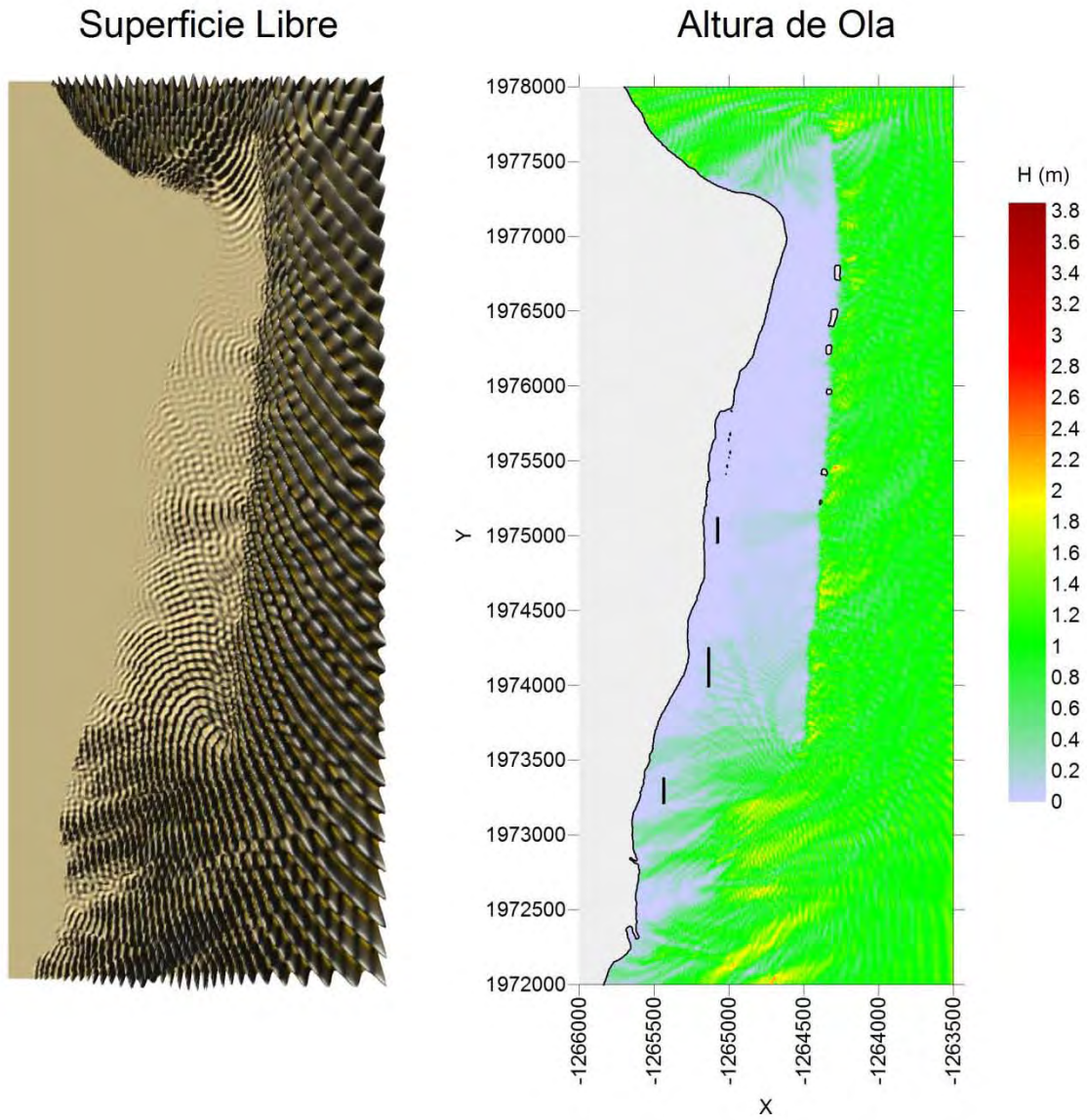
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)

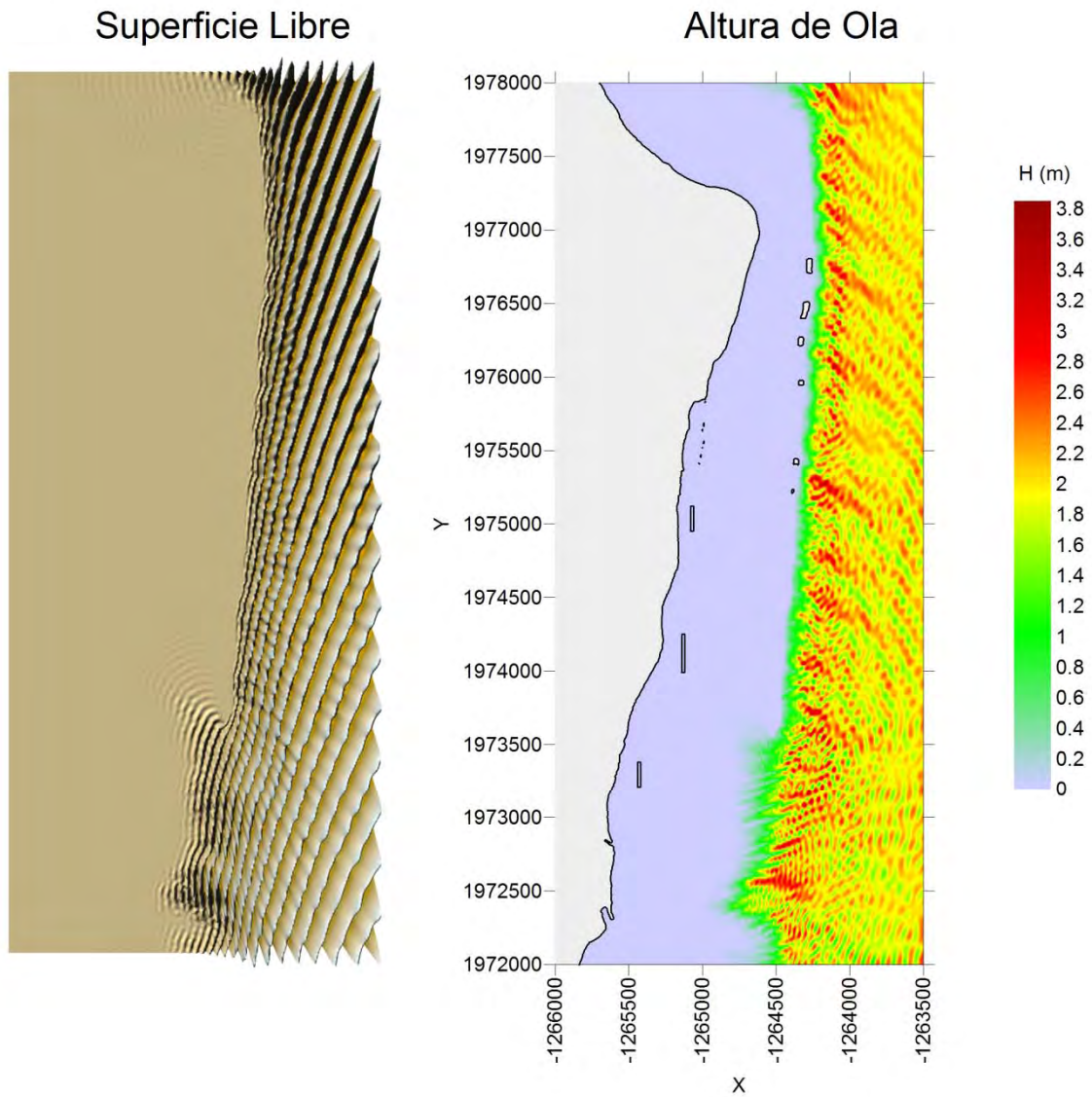


Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

Escenario 5

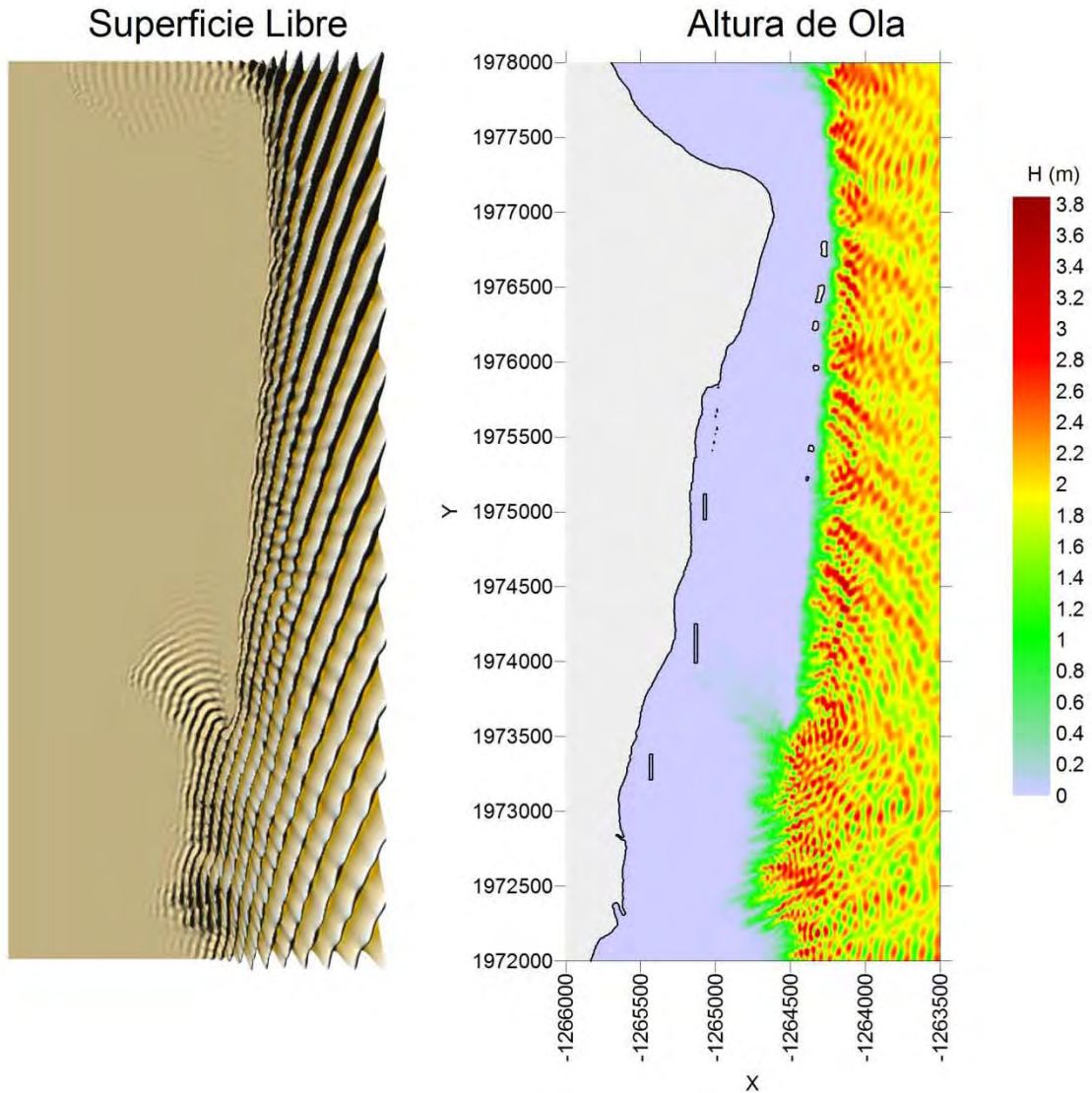
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H = 2 \text{ (m)}, \theta = -22.5^\circ, S = 0 \text{ (m)}, T = 10 \text{ (s)}$$



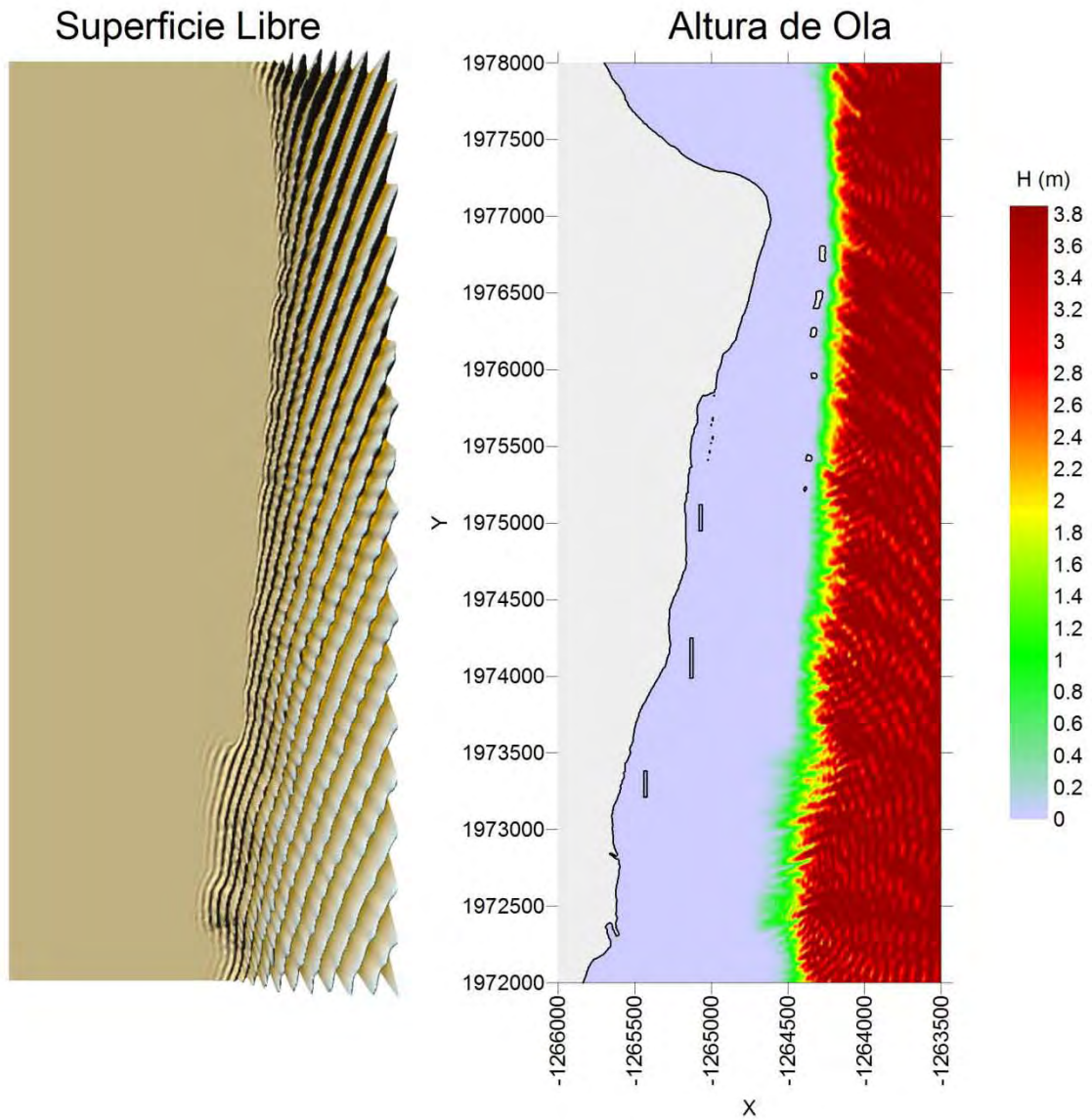
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



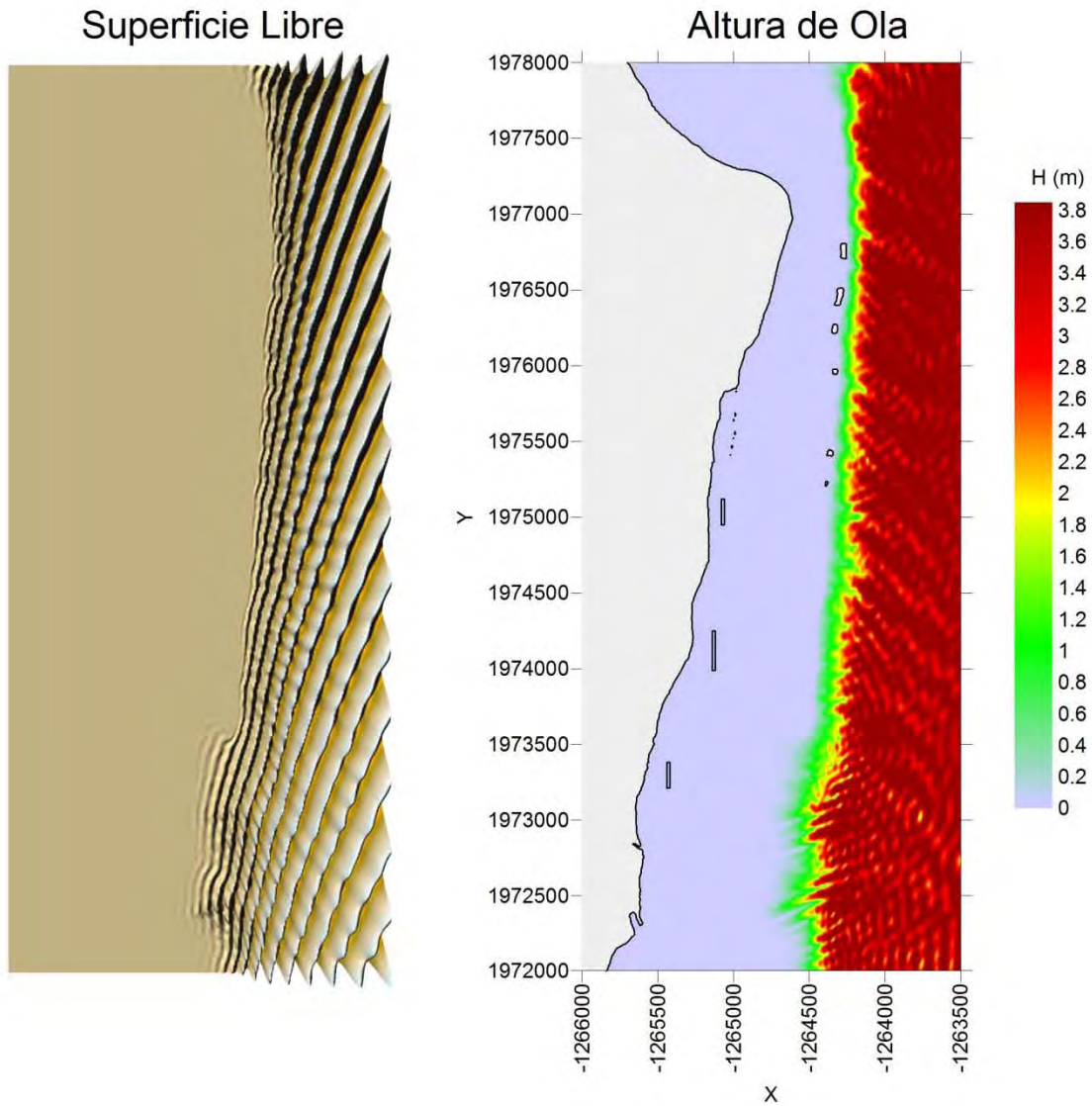
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



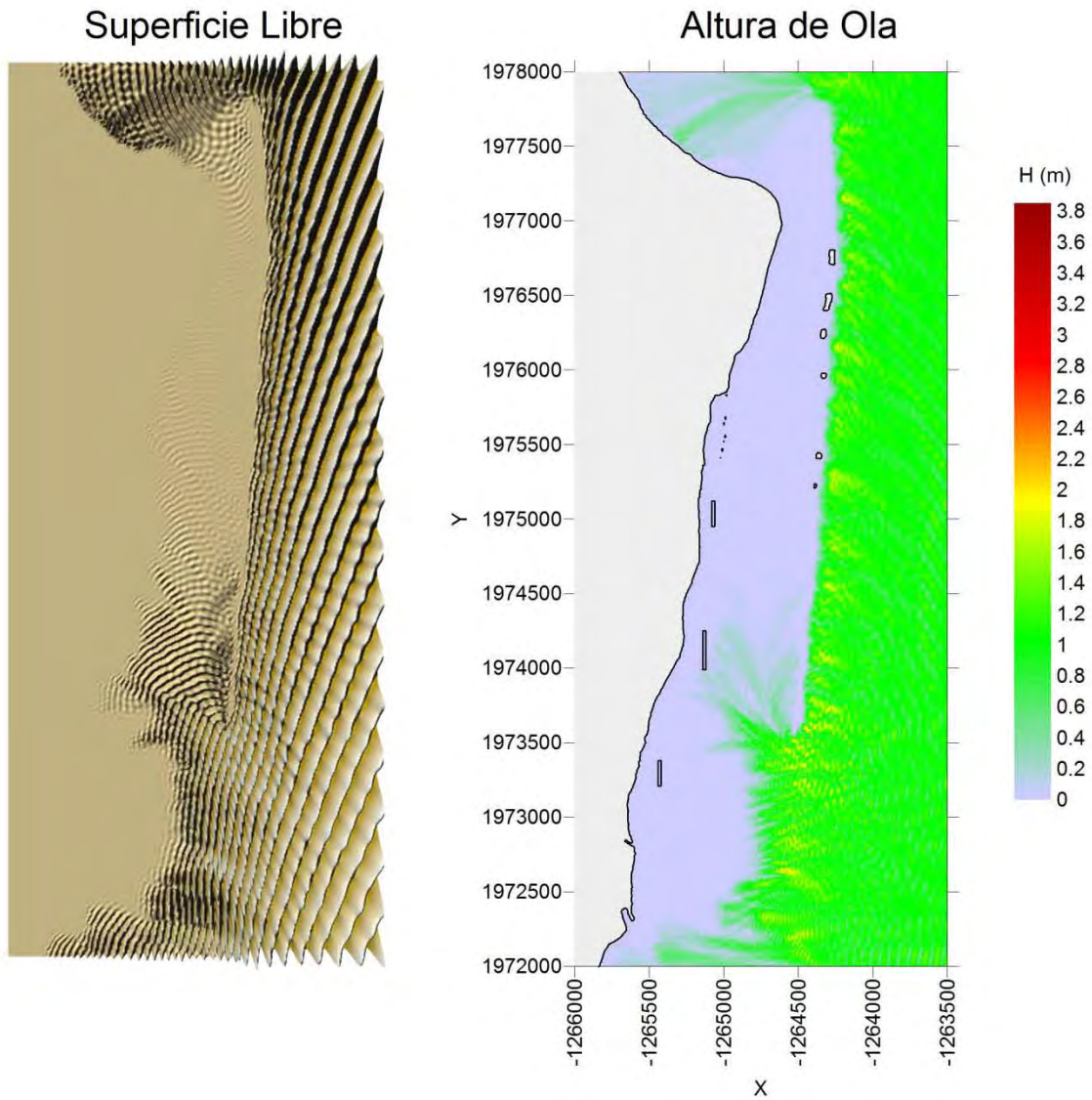
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



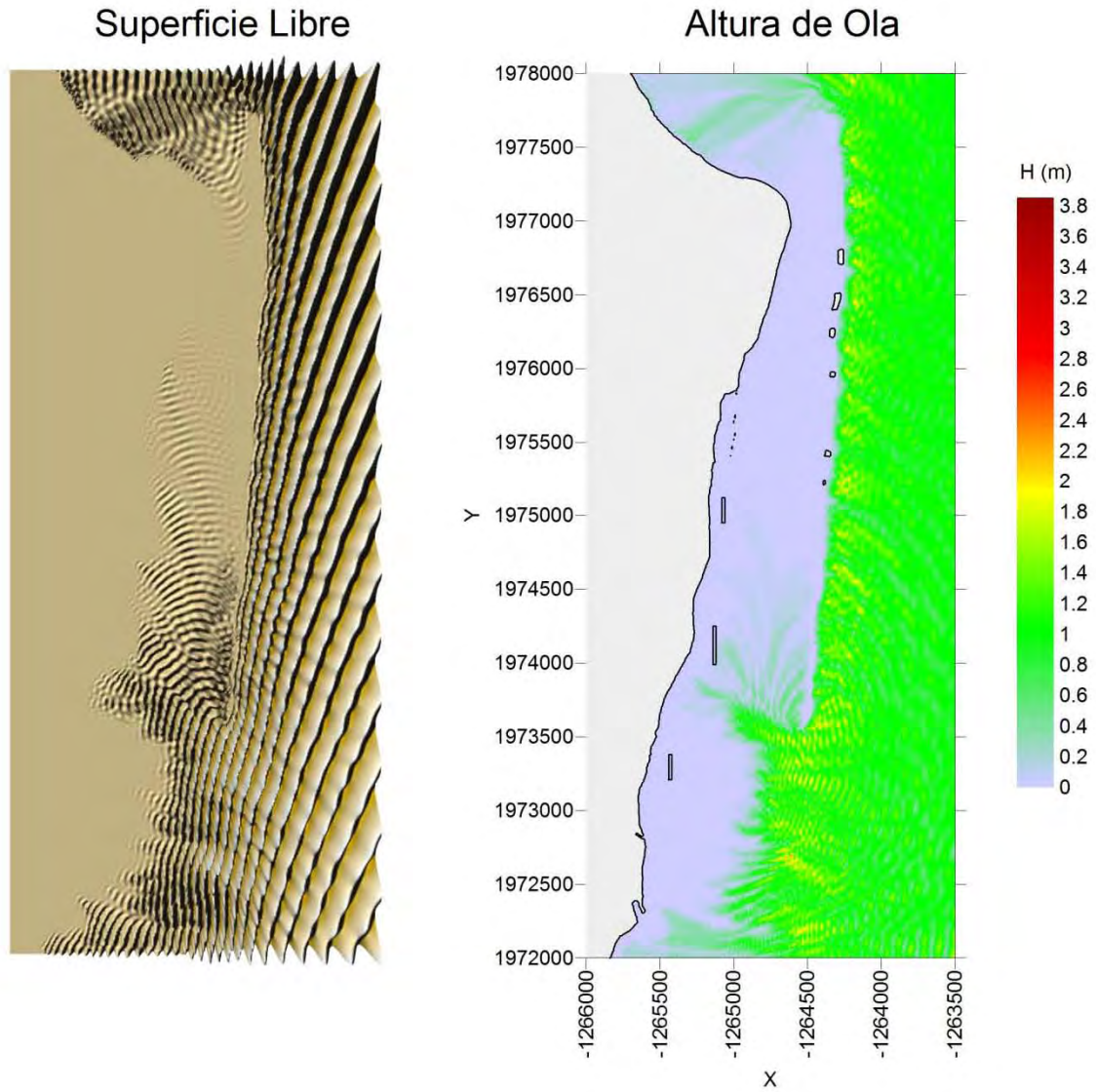
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



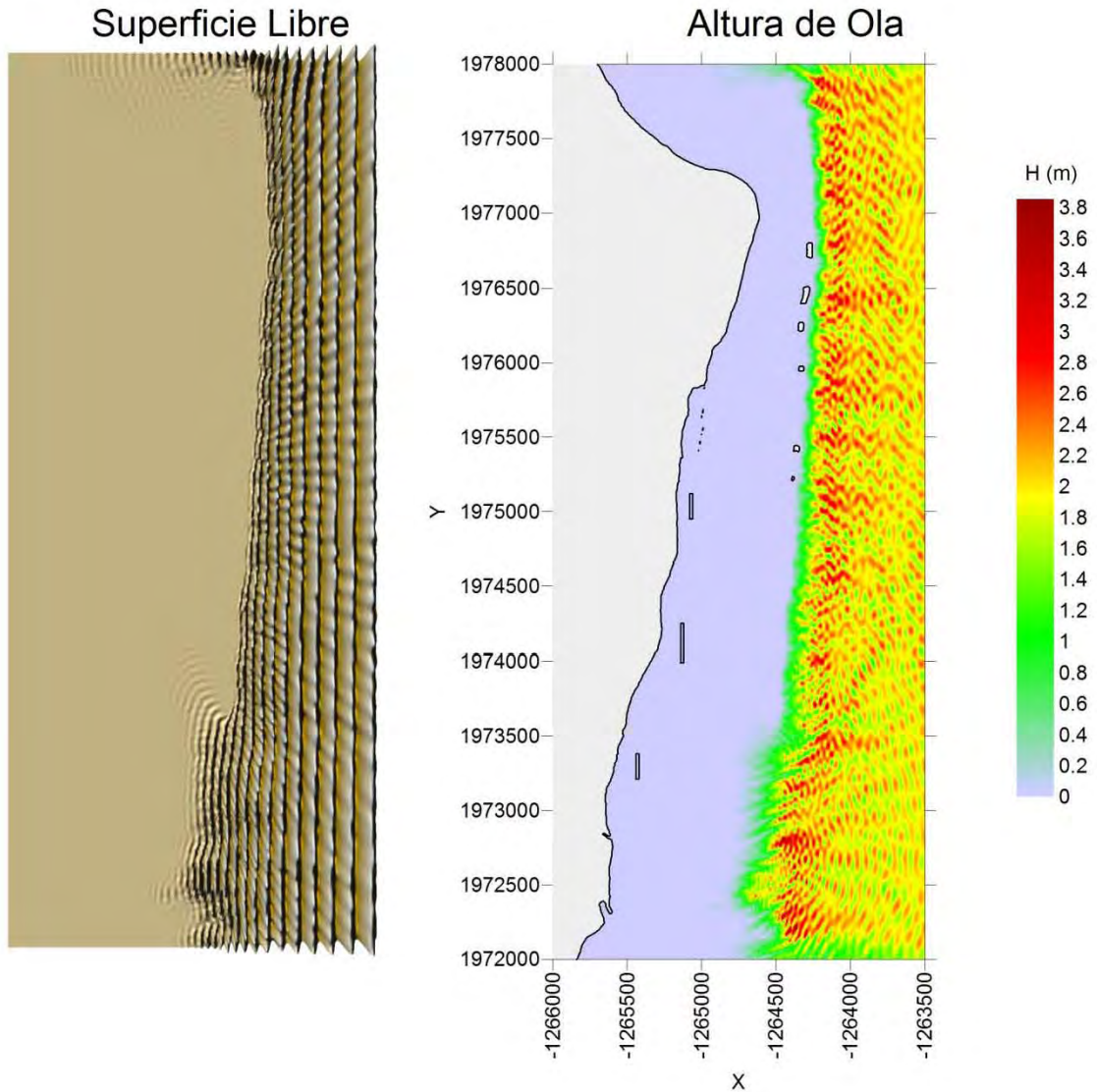
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



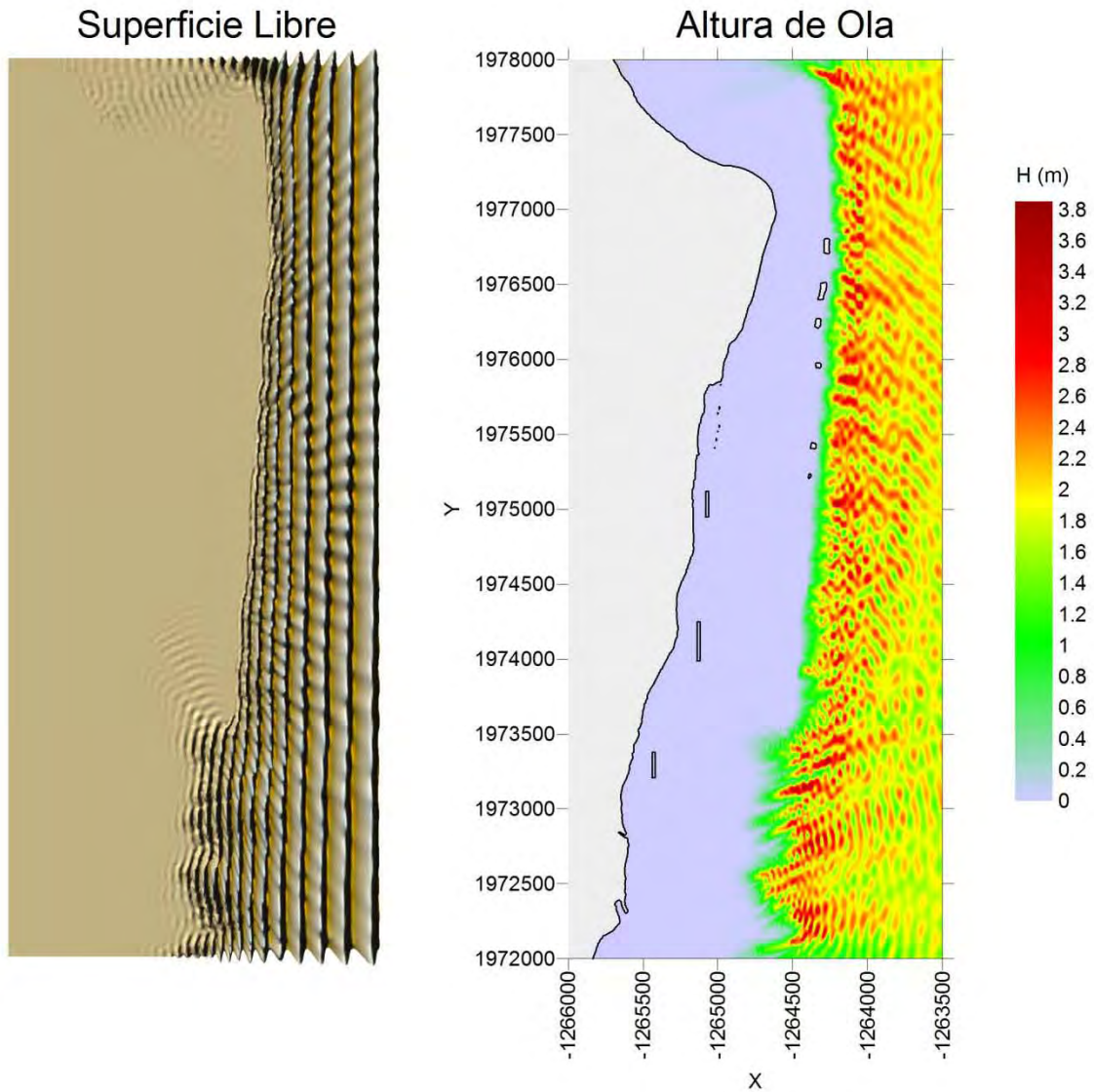
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



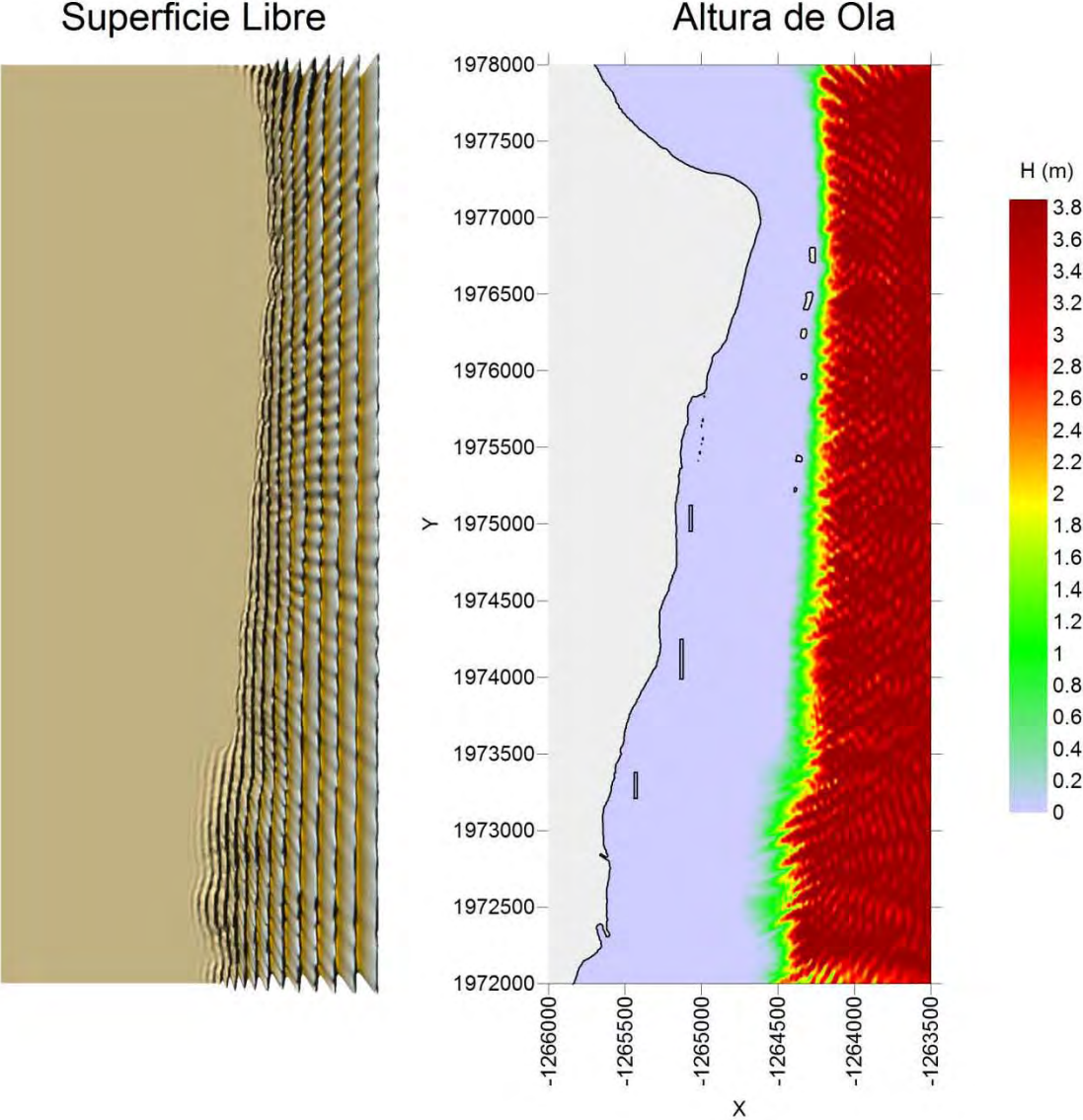
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



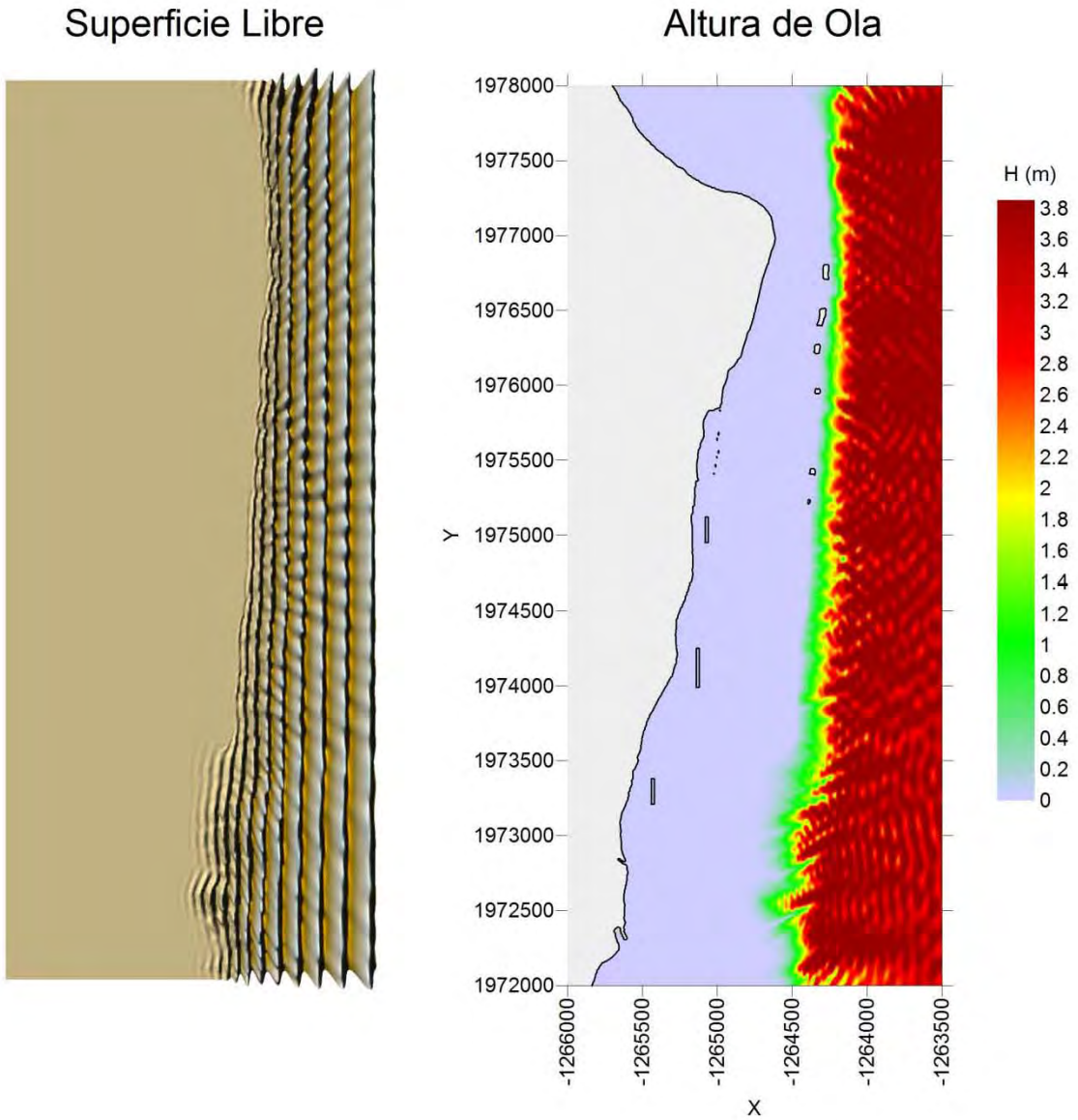
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



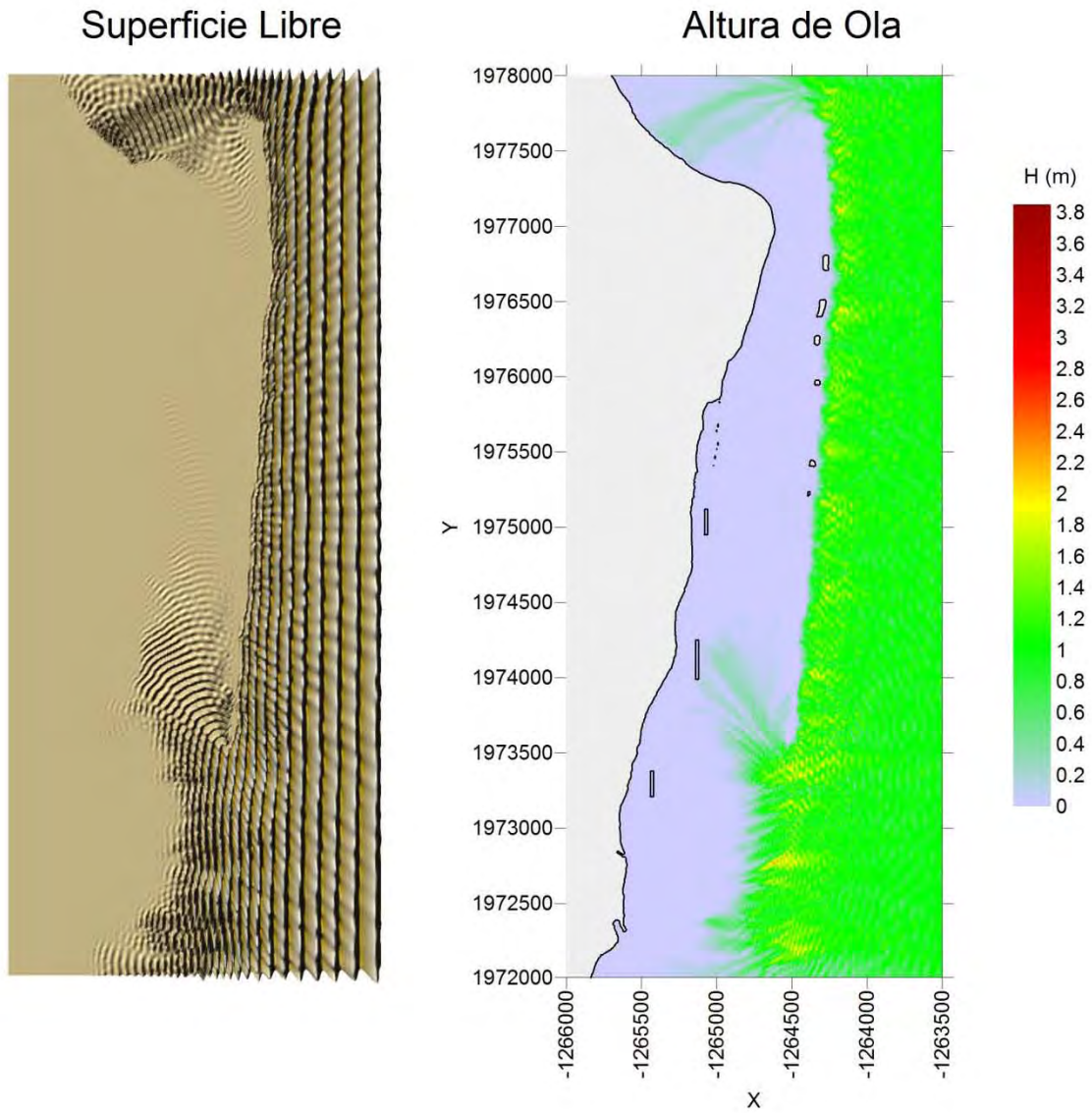
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



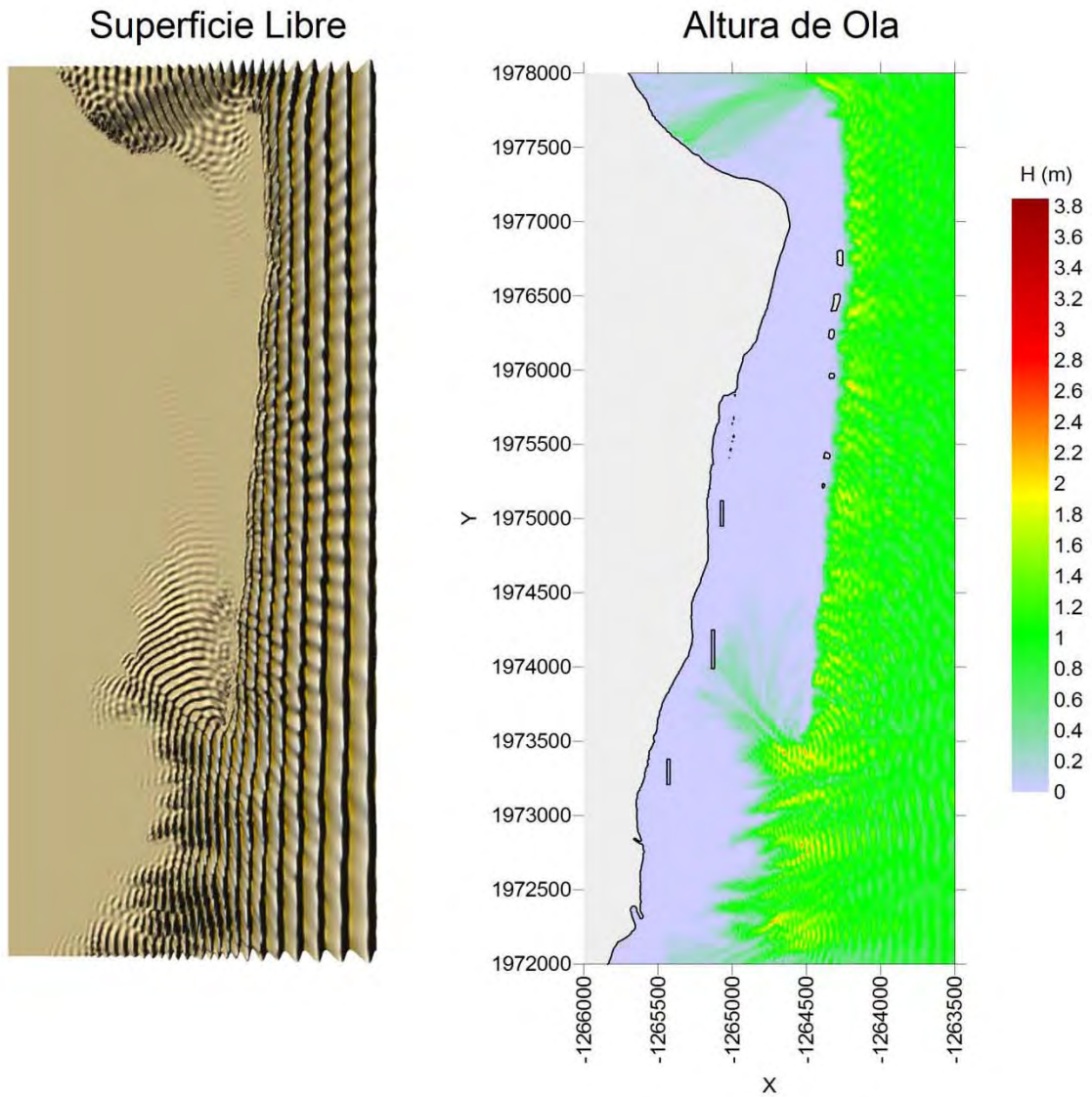
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



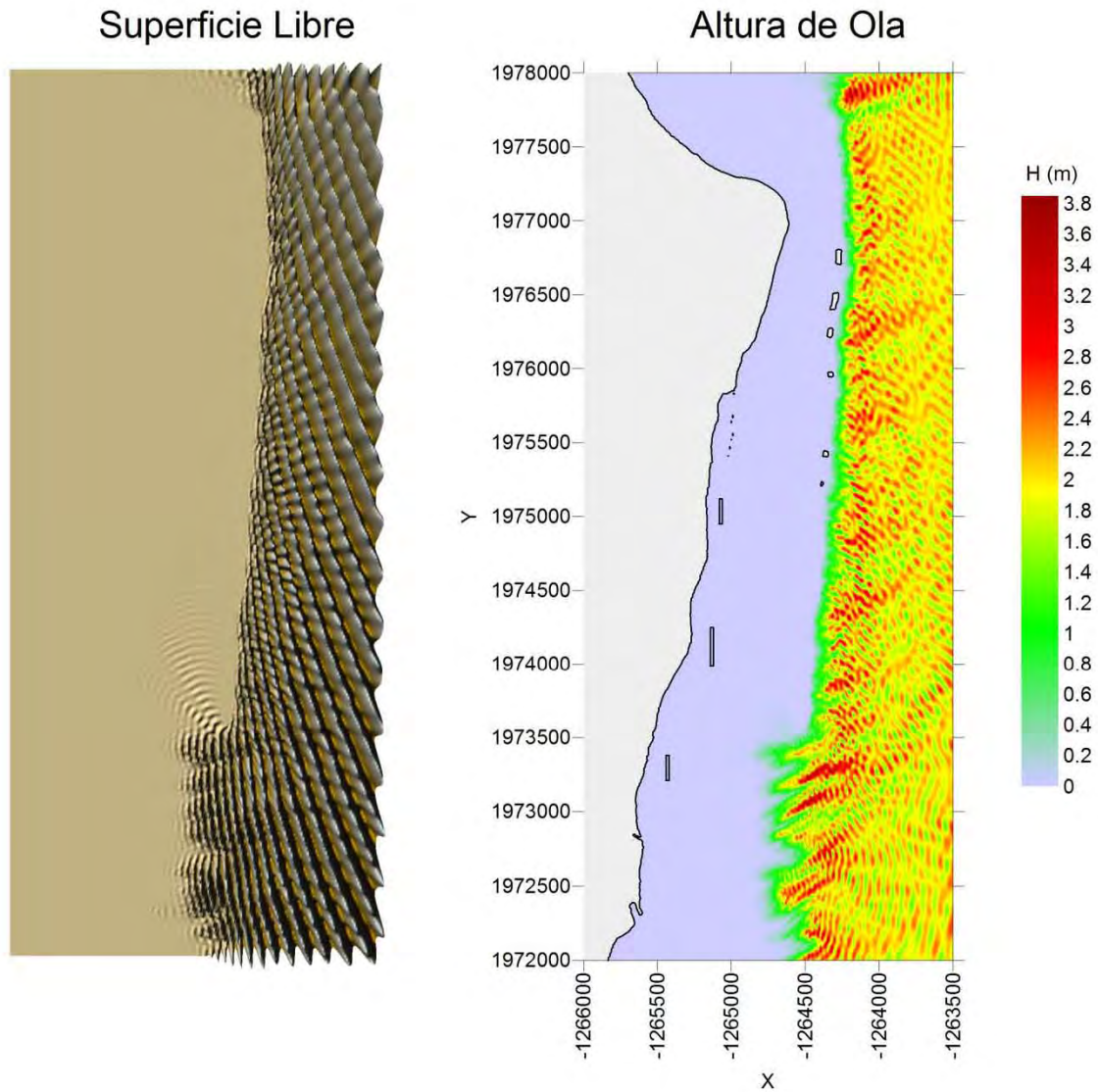
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



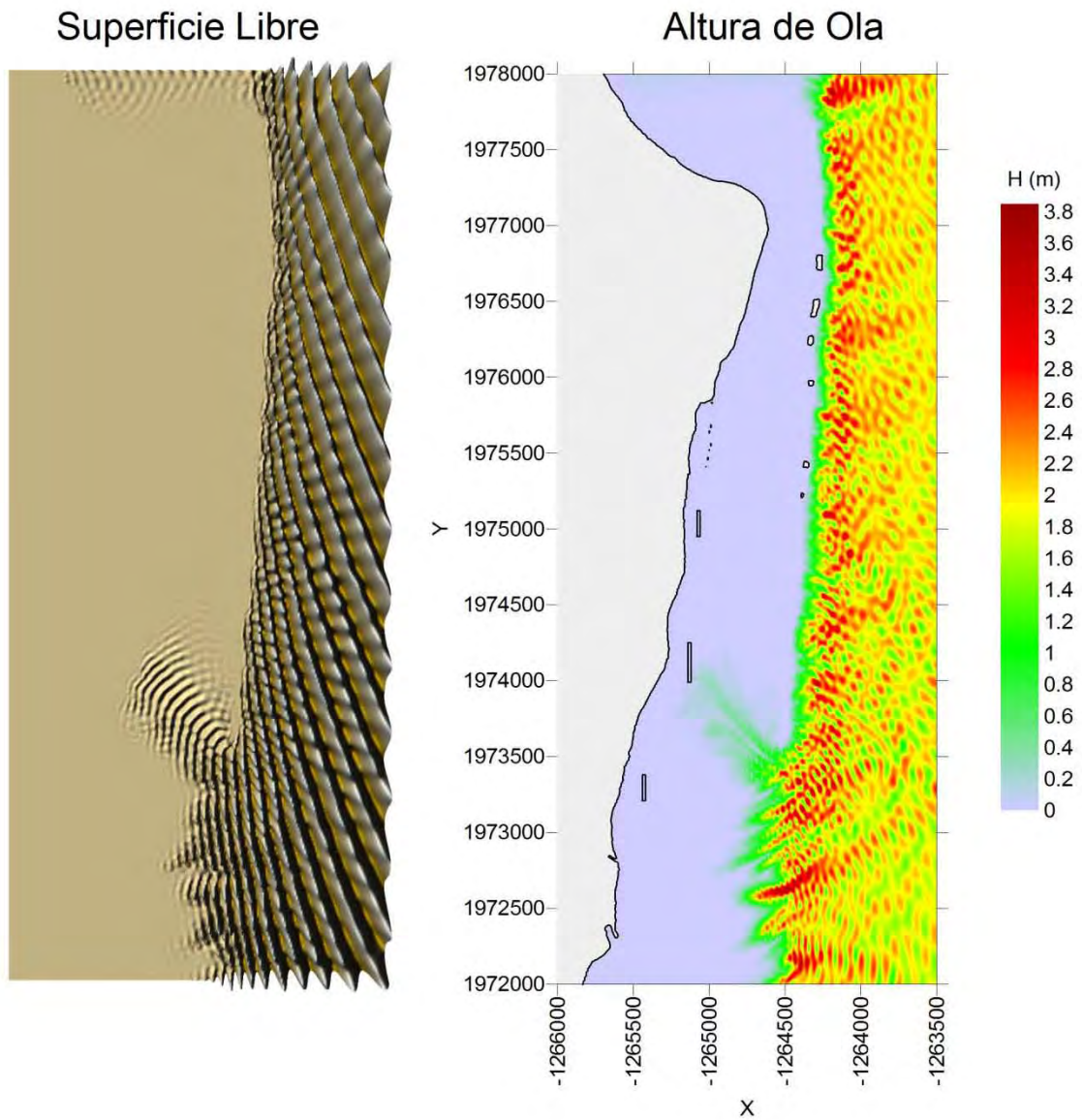
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



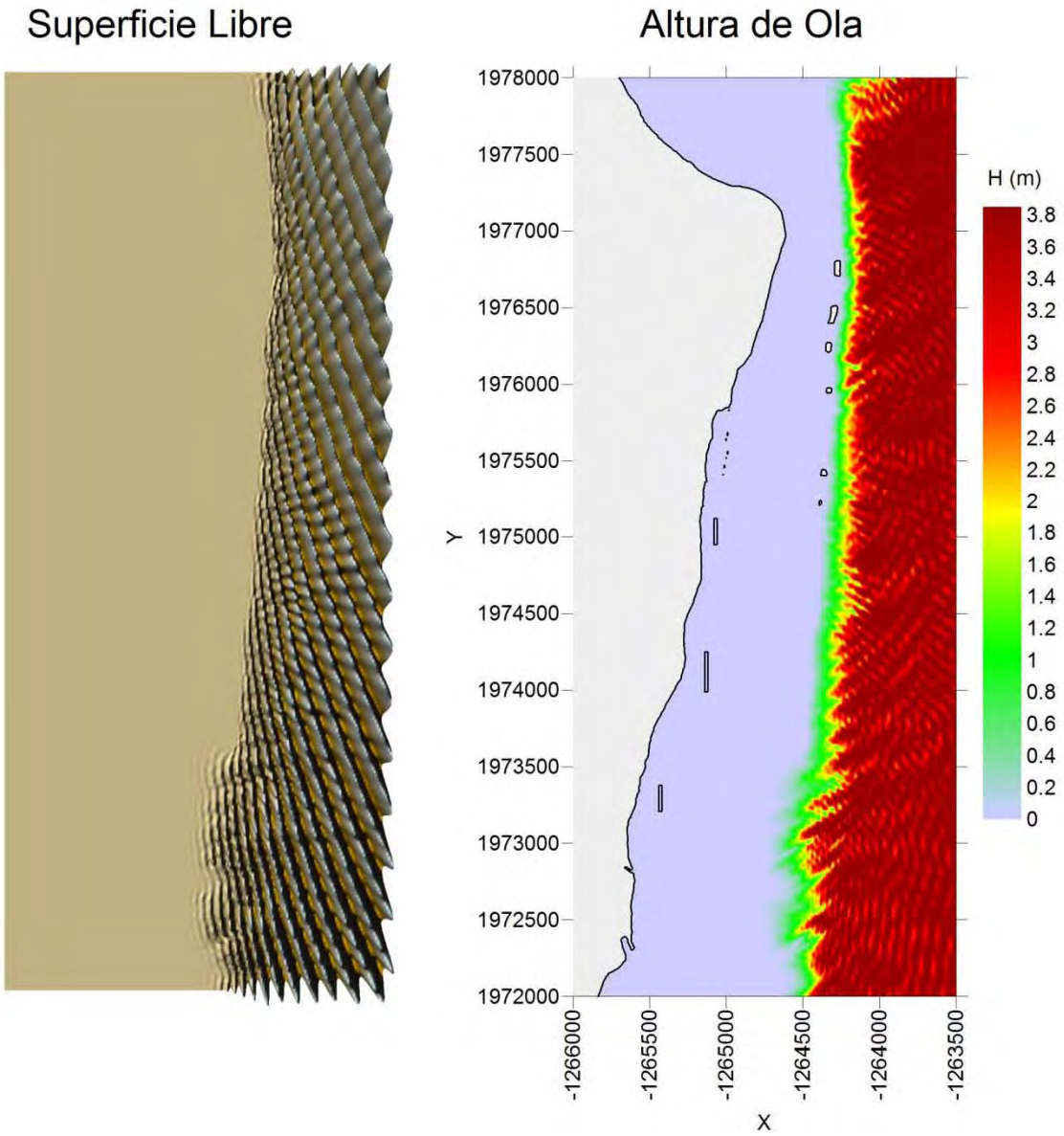
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



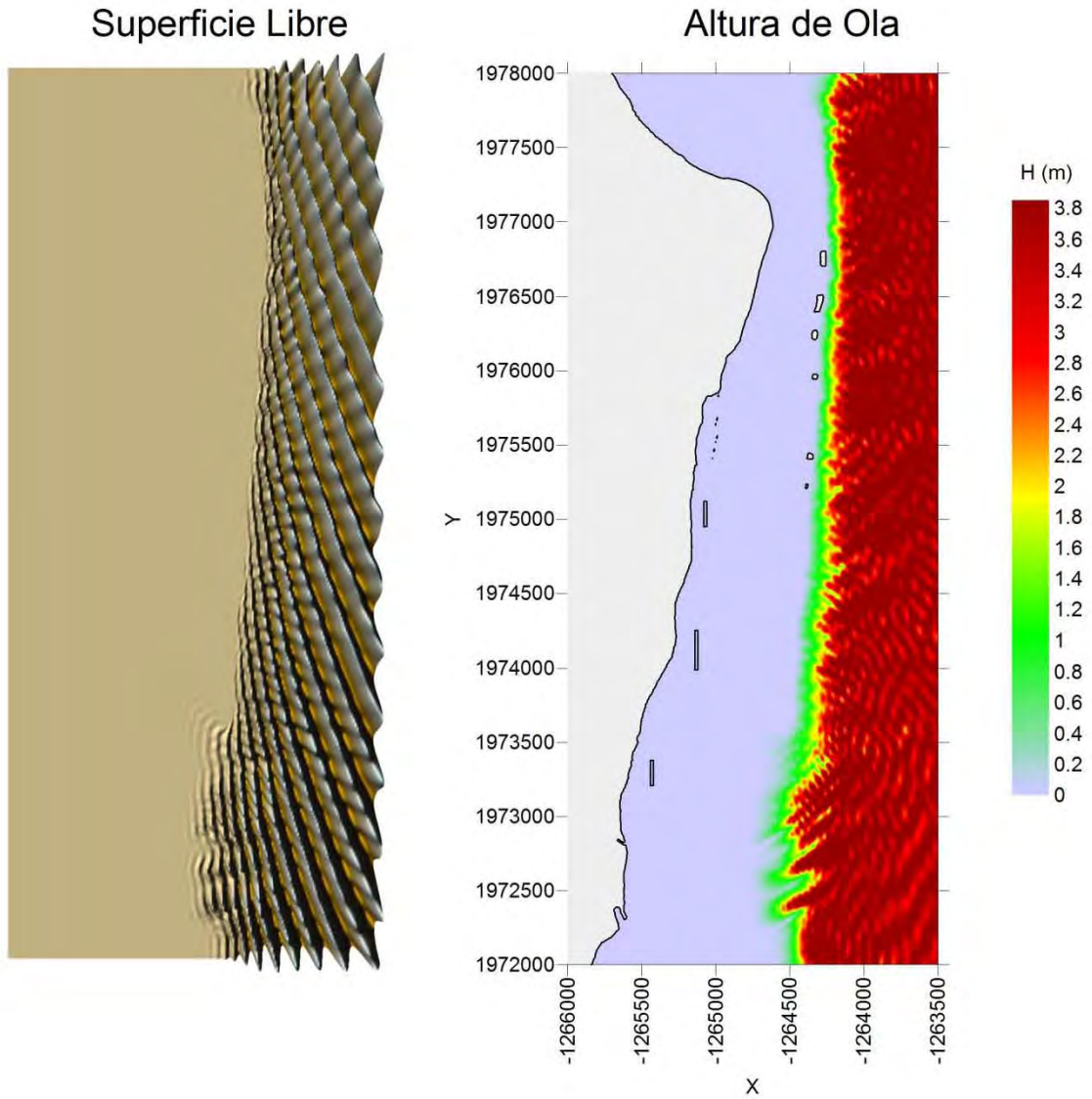
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



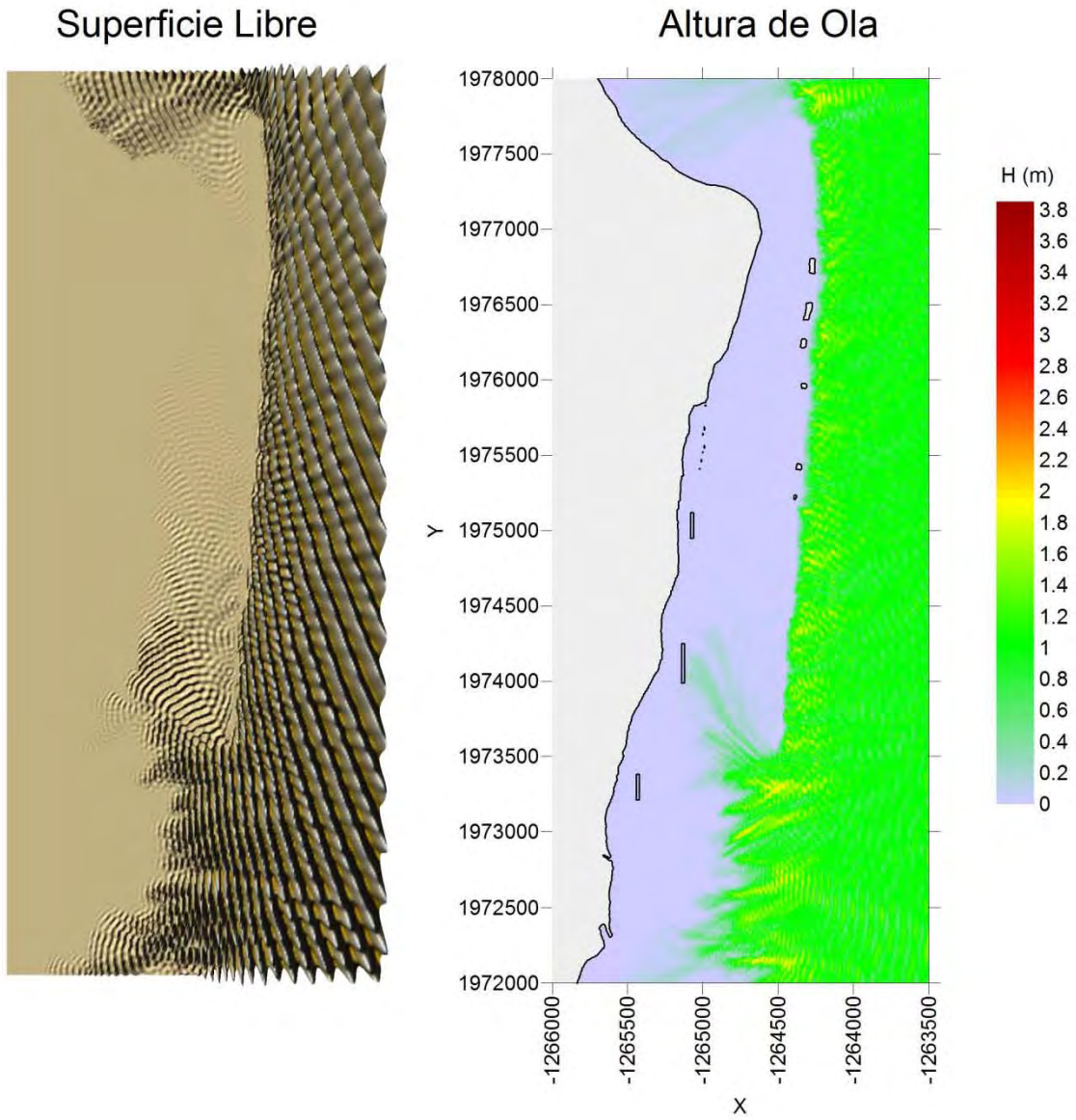
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



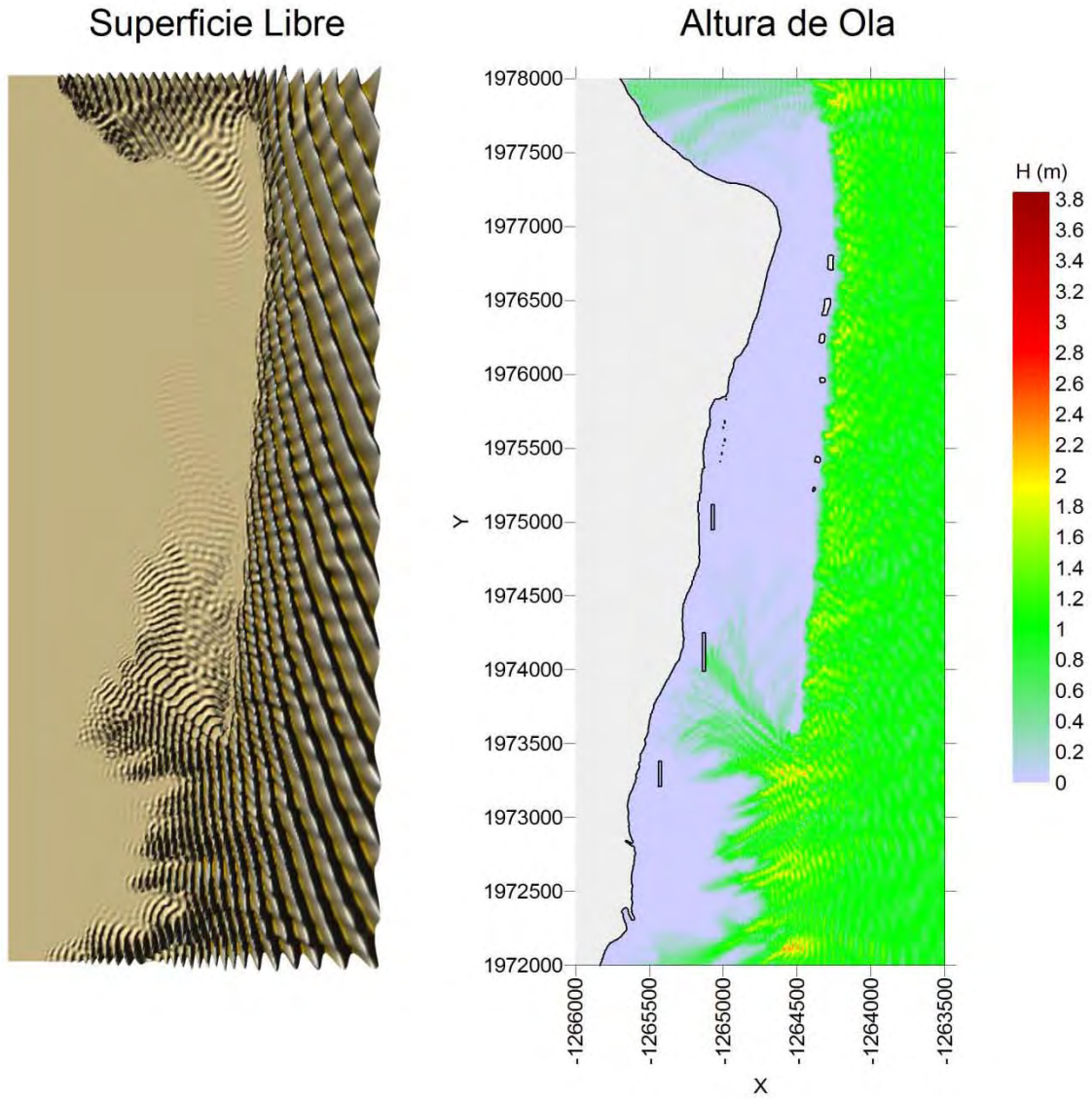
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



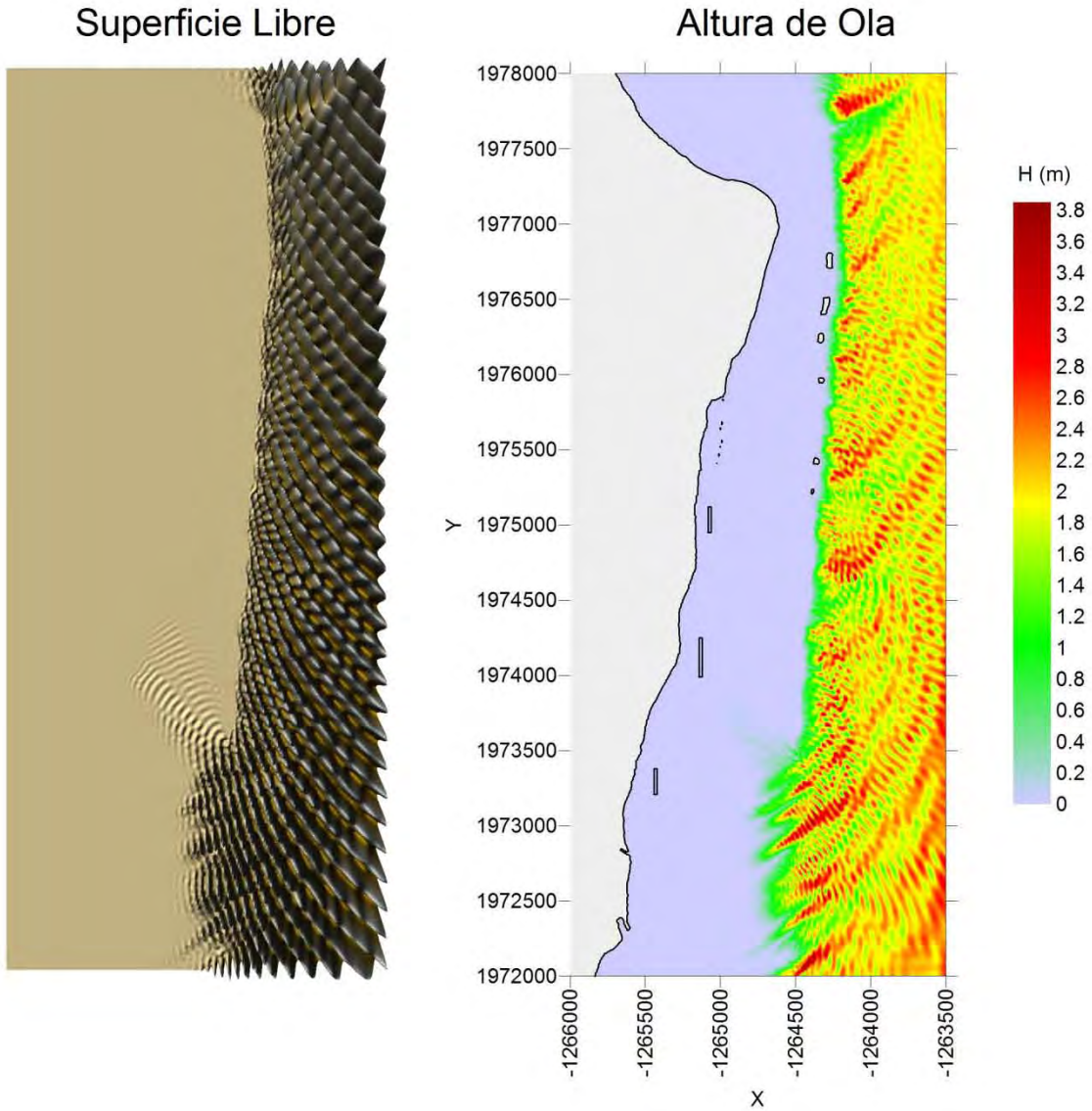
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



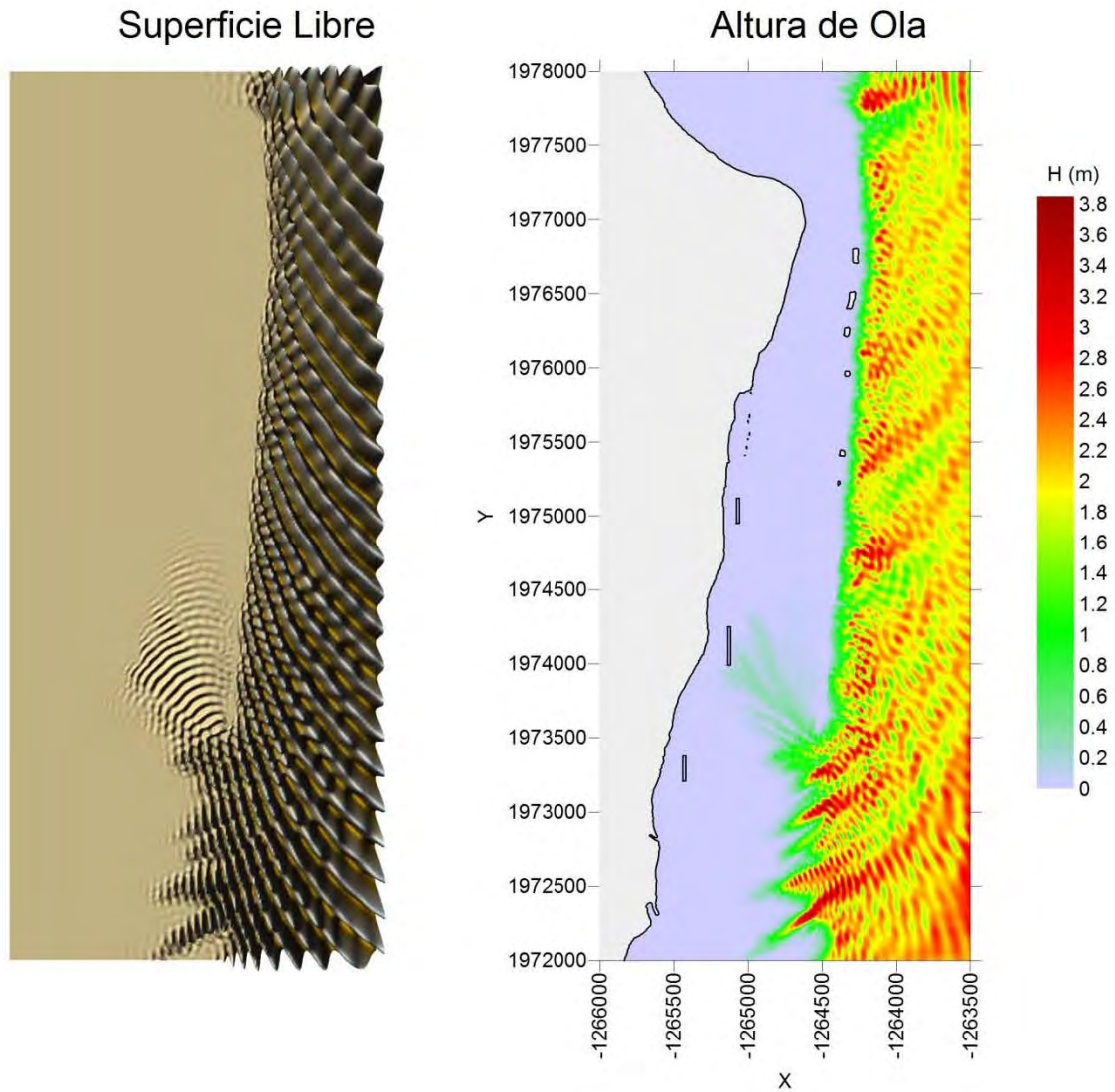
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



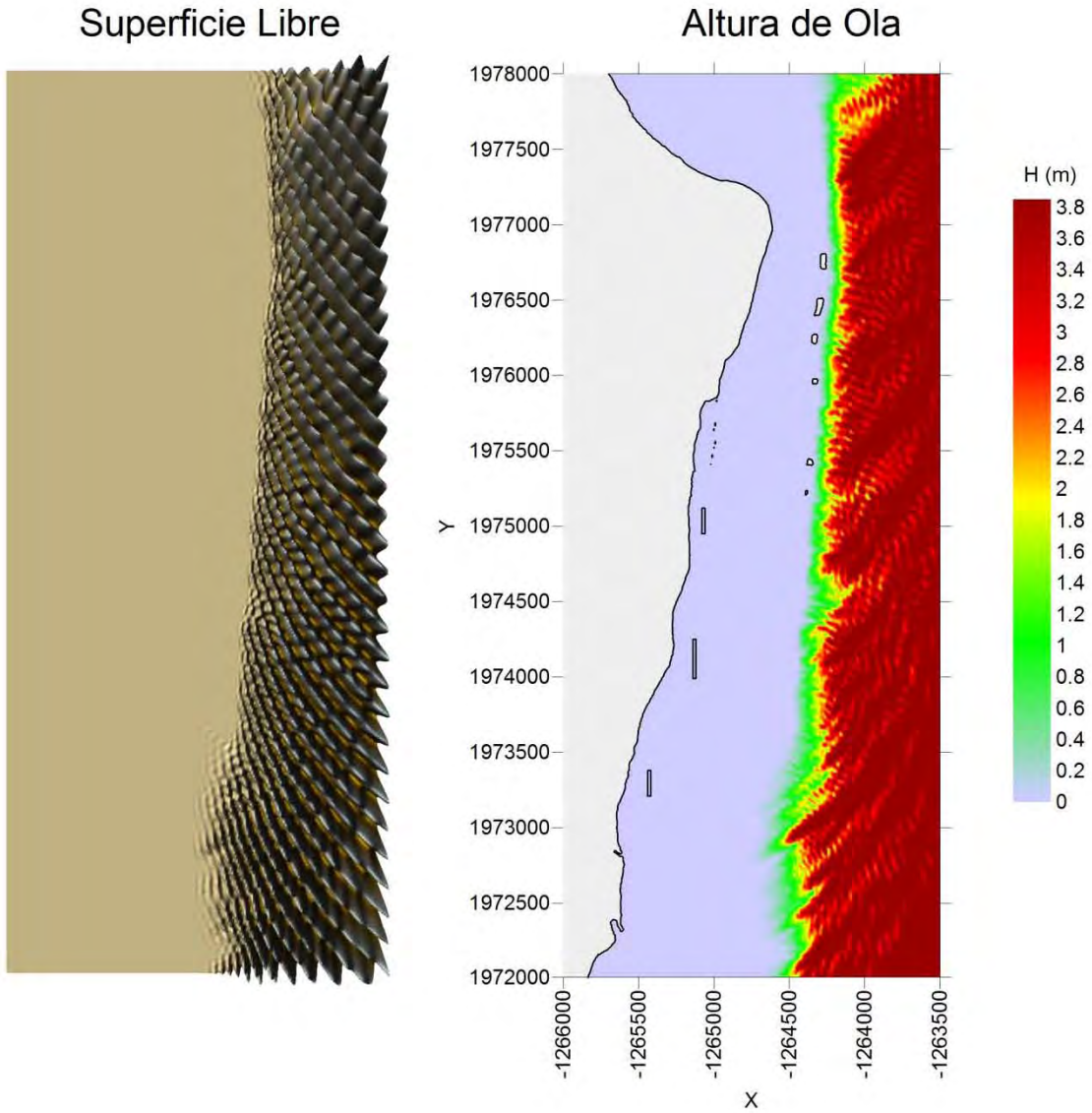
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



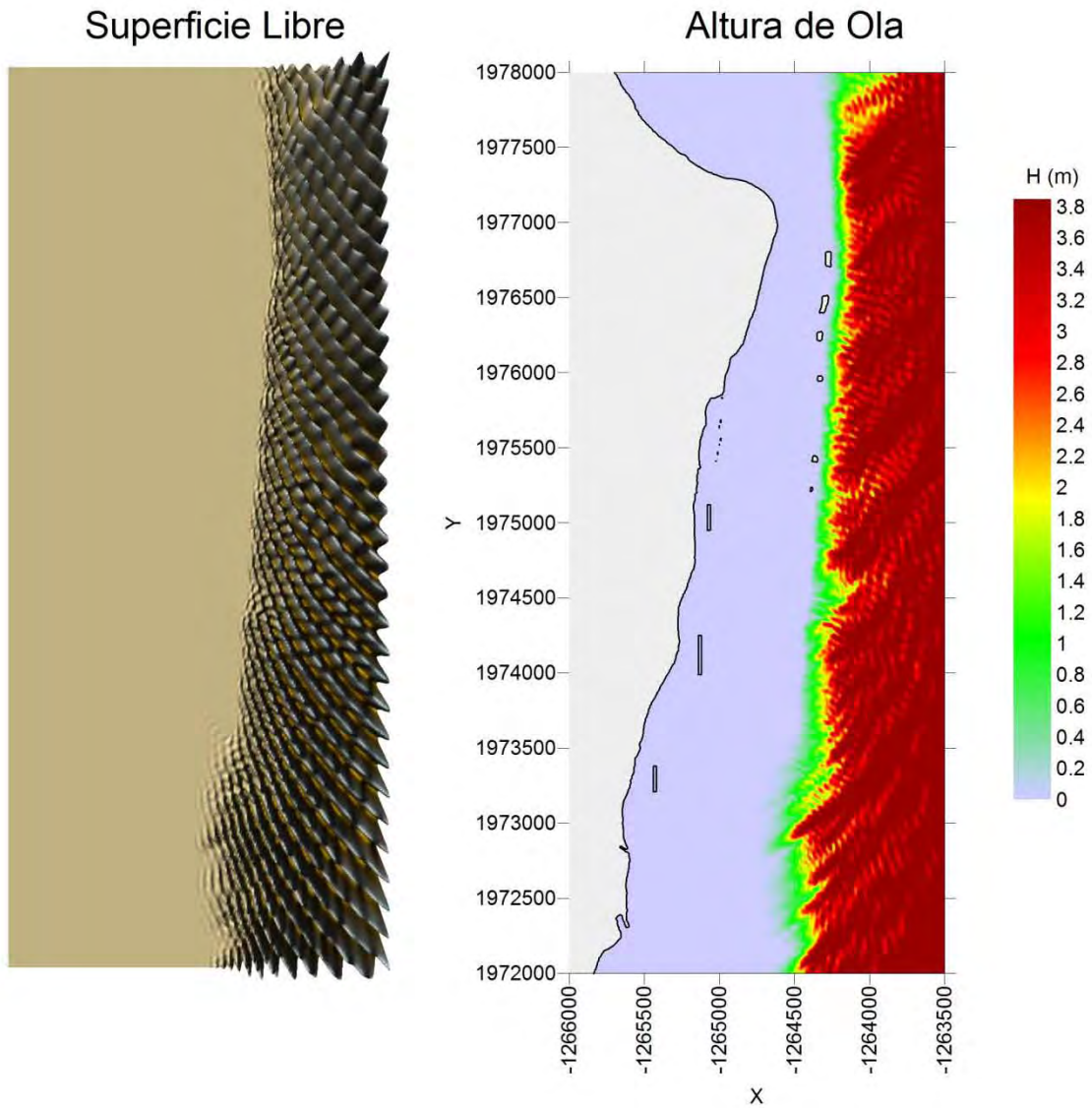
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



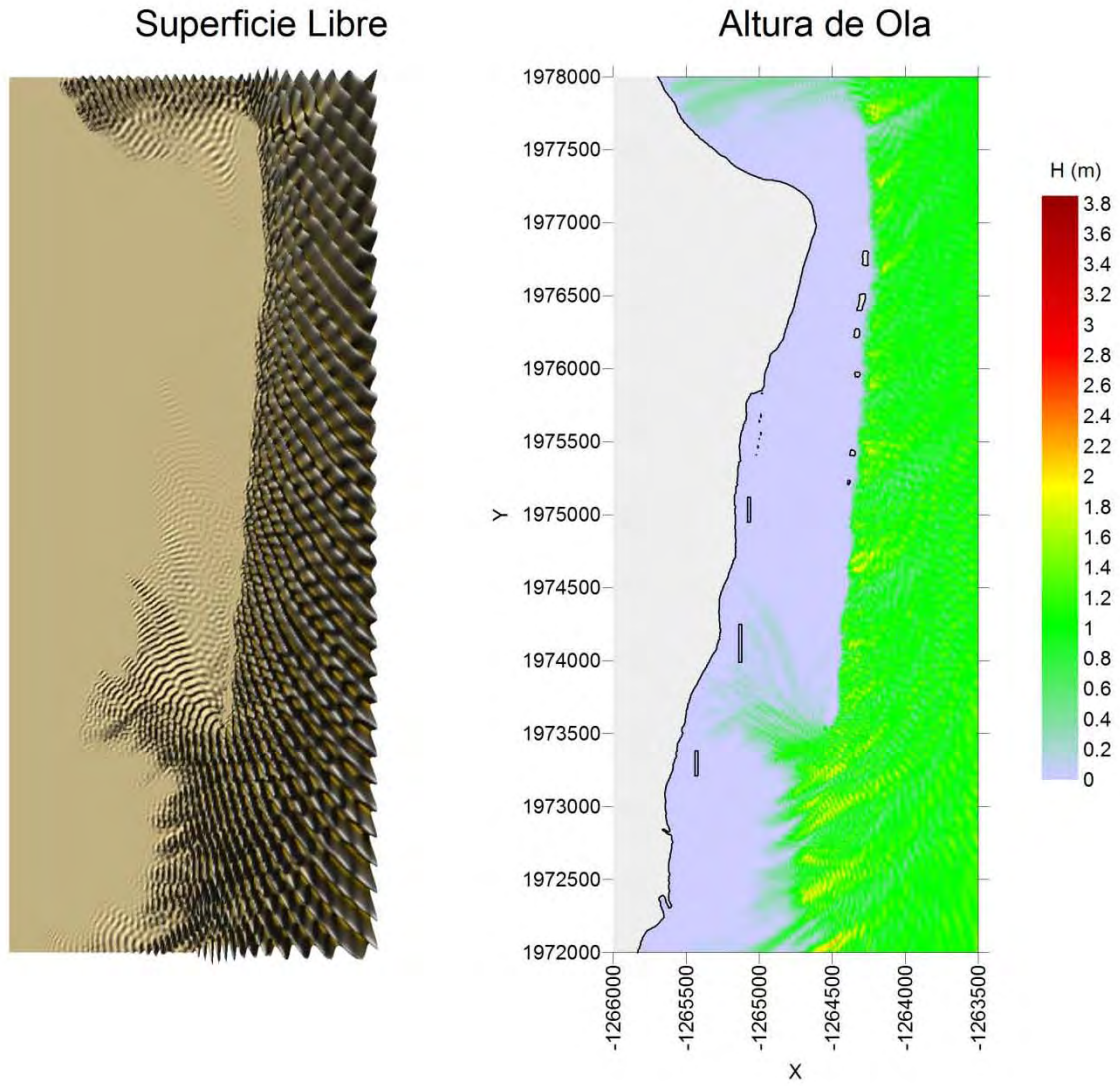
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



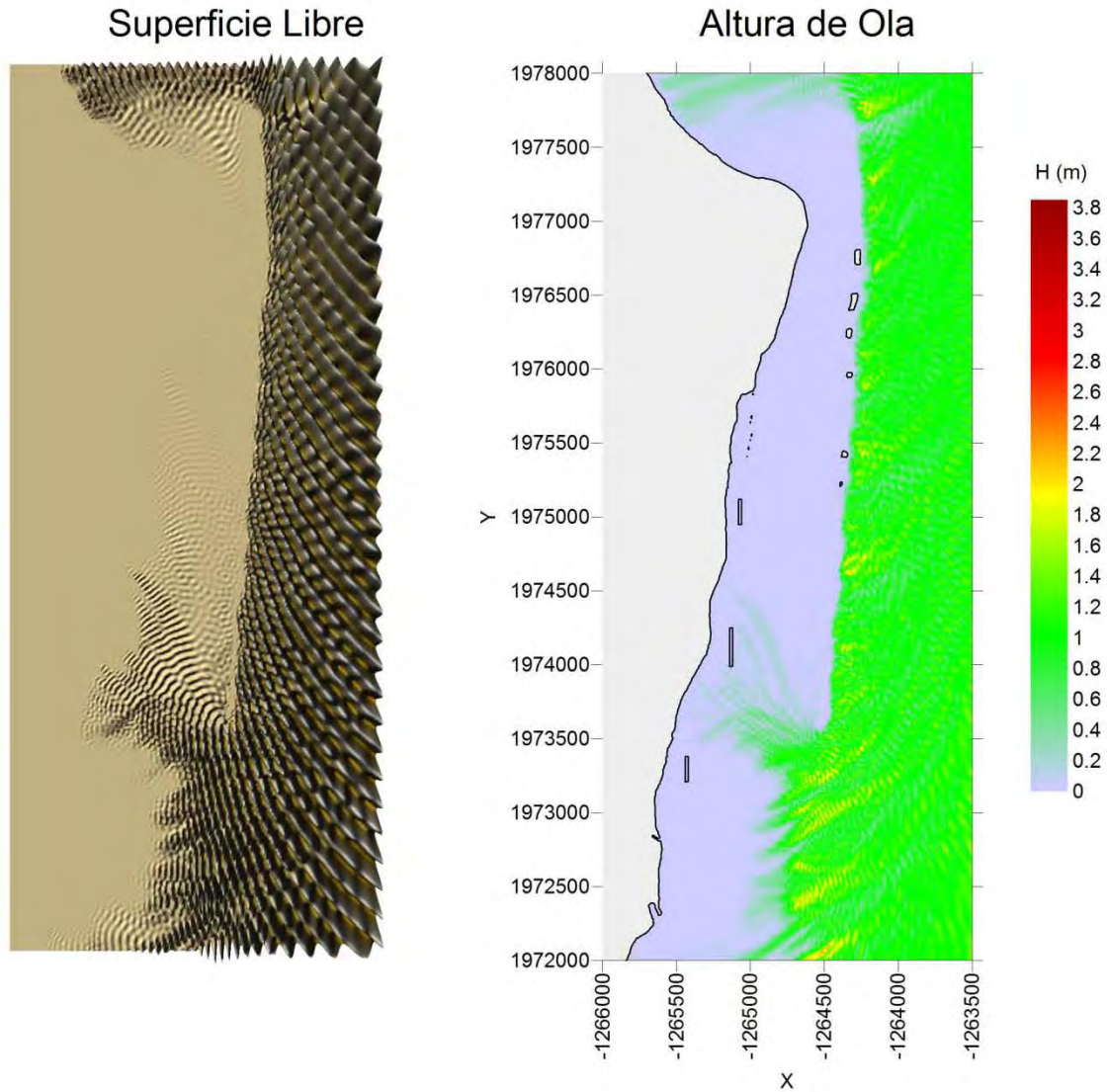
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

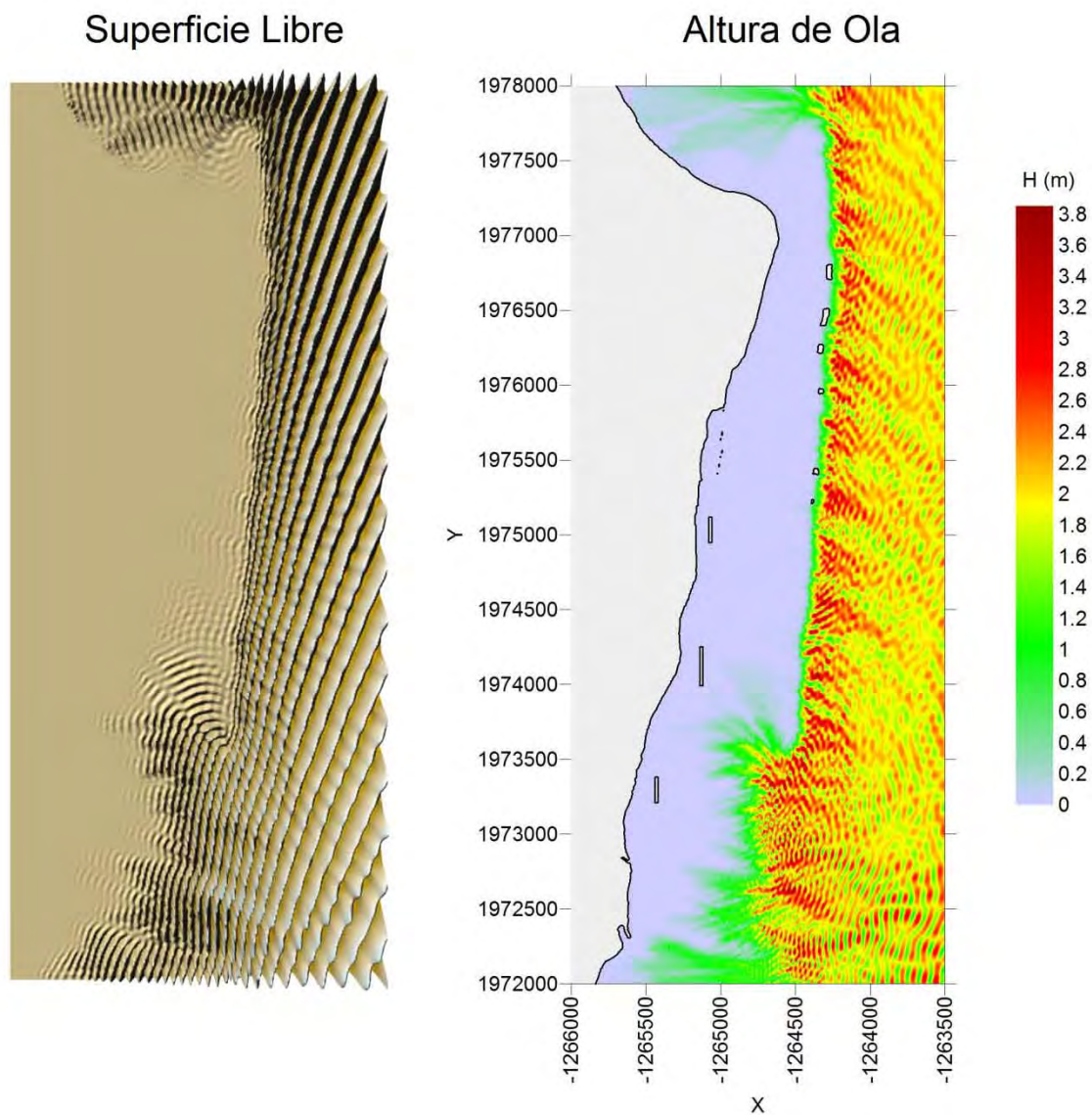
H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

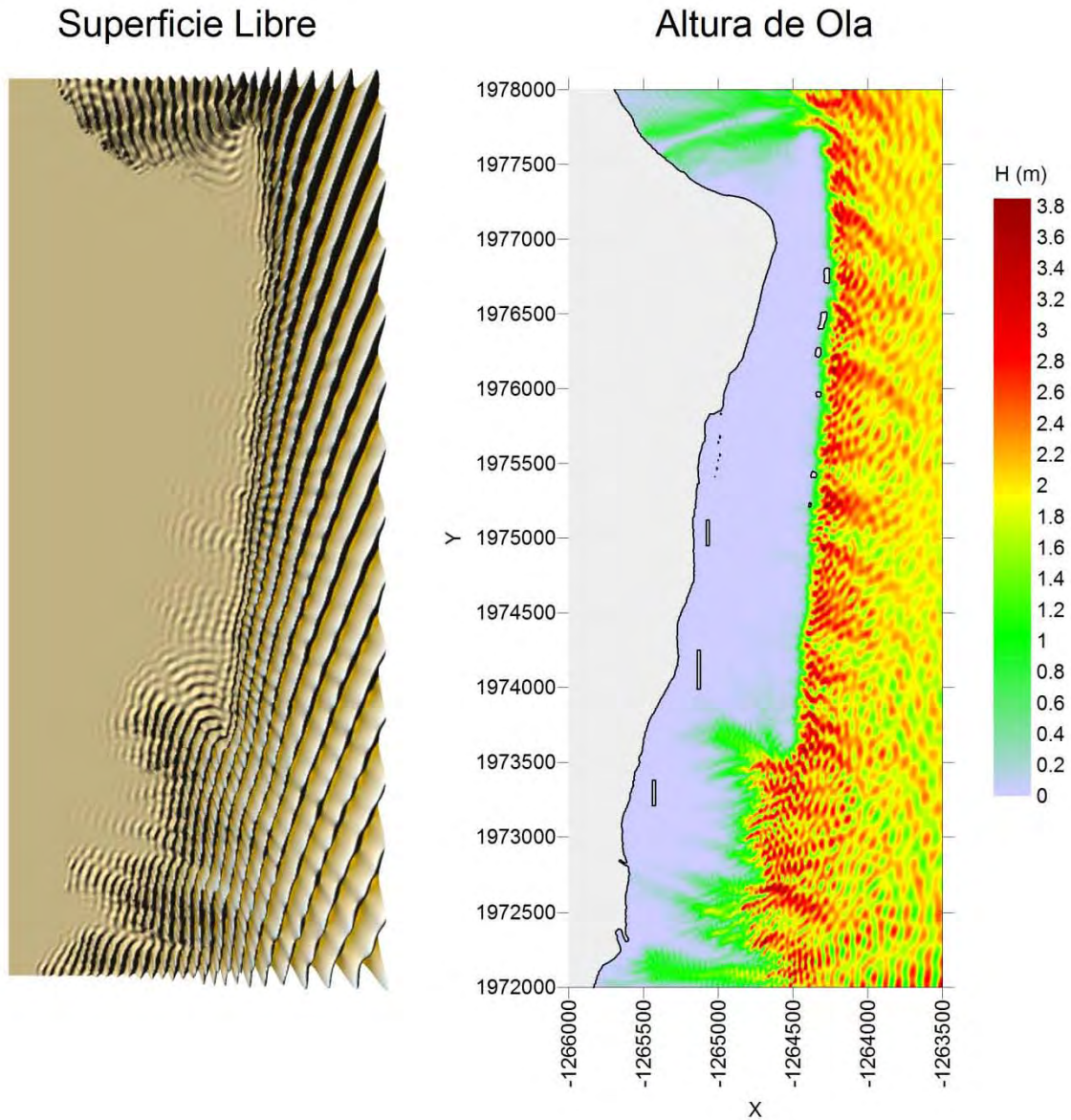
Sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



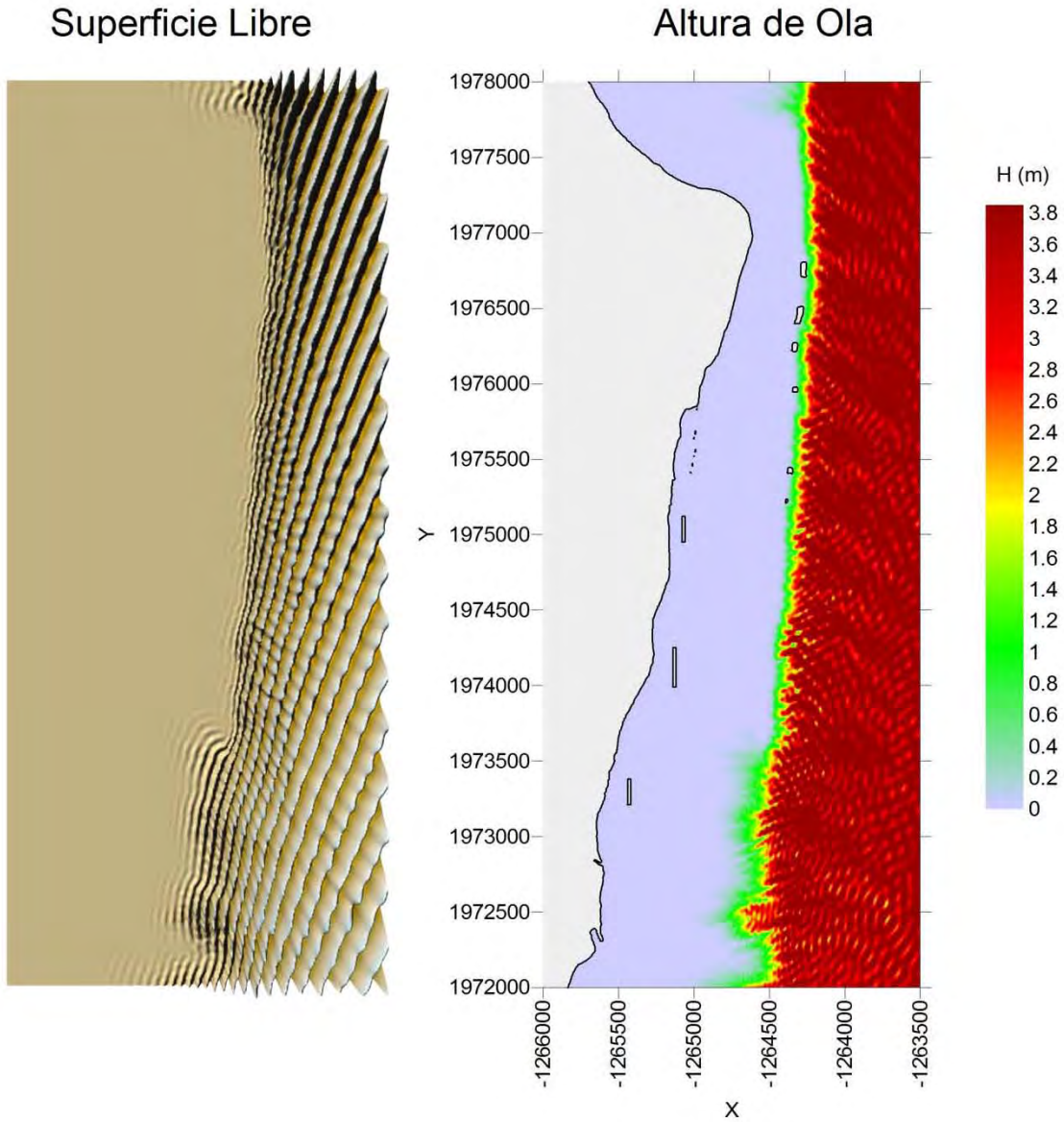
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



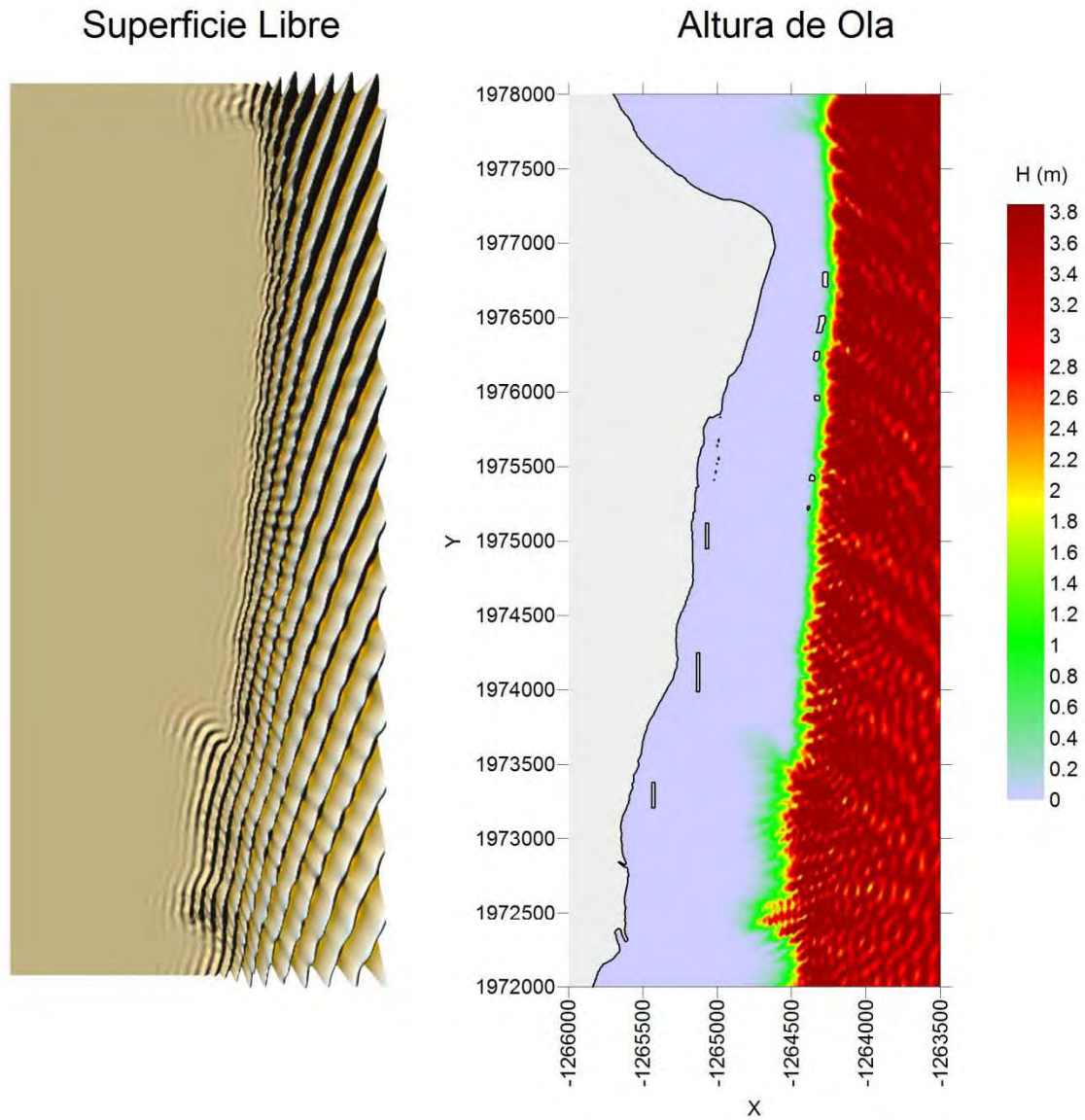
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



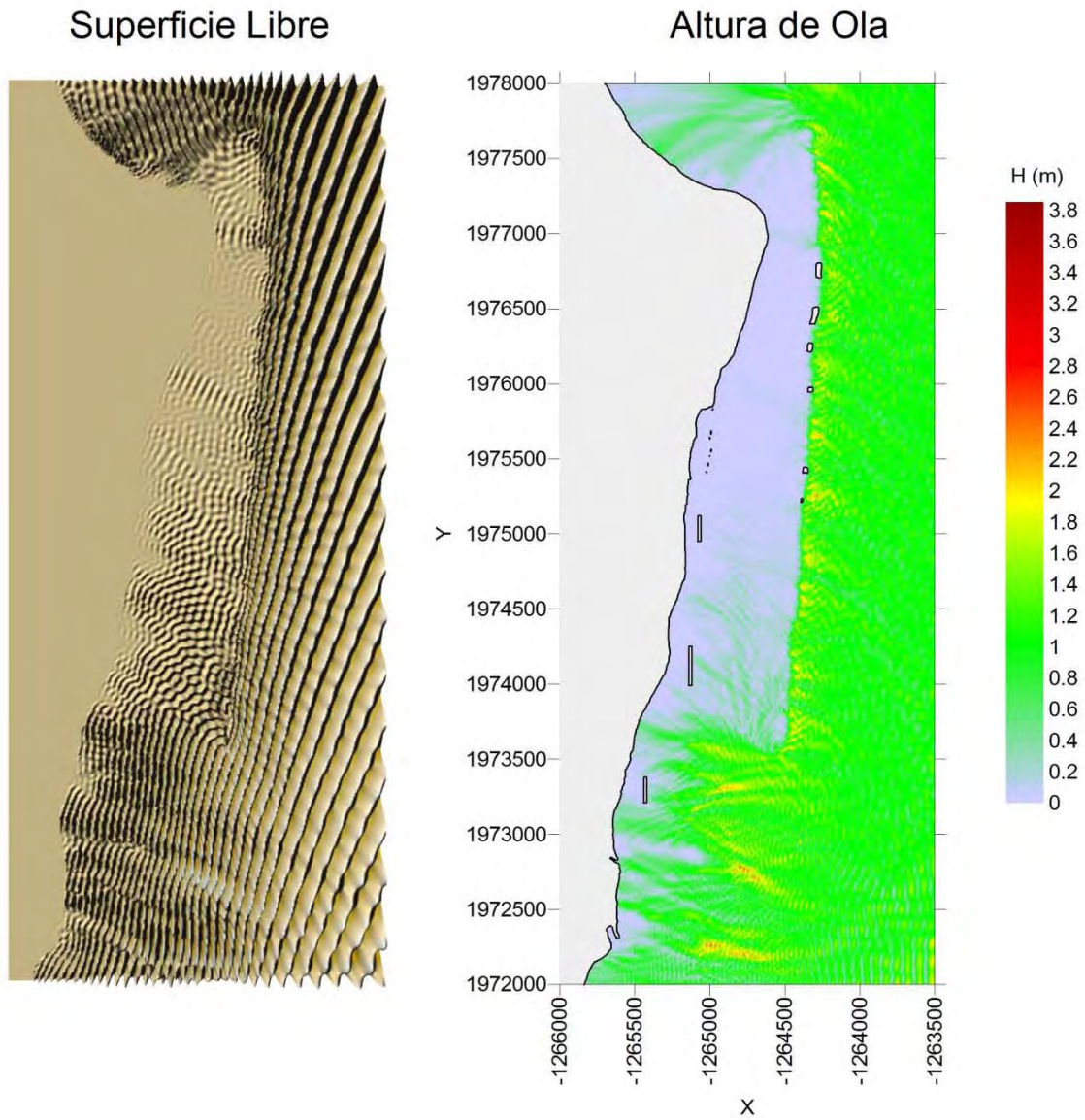
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



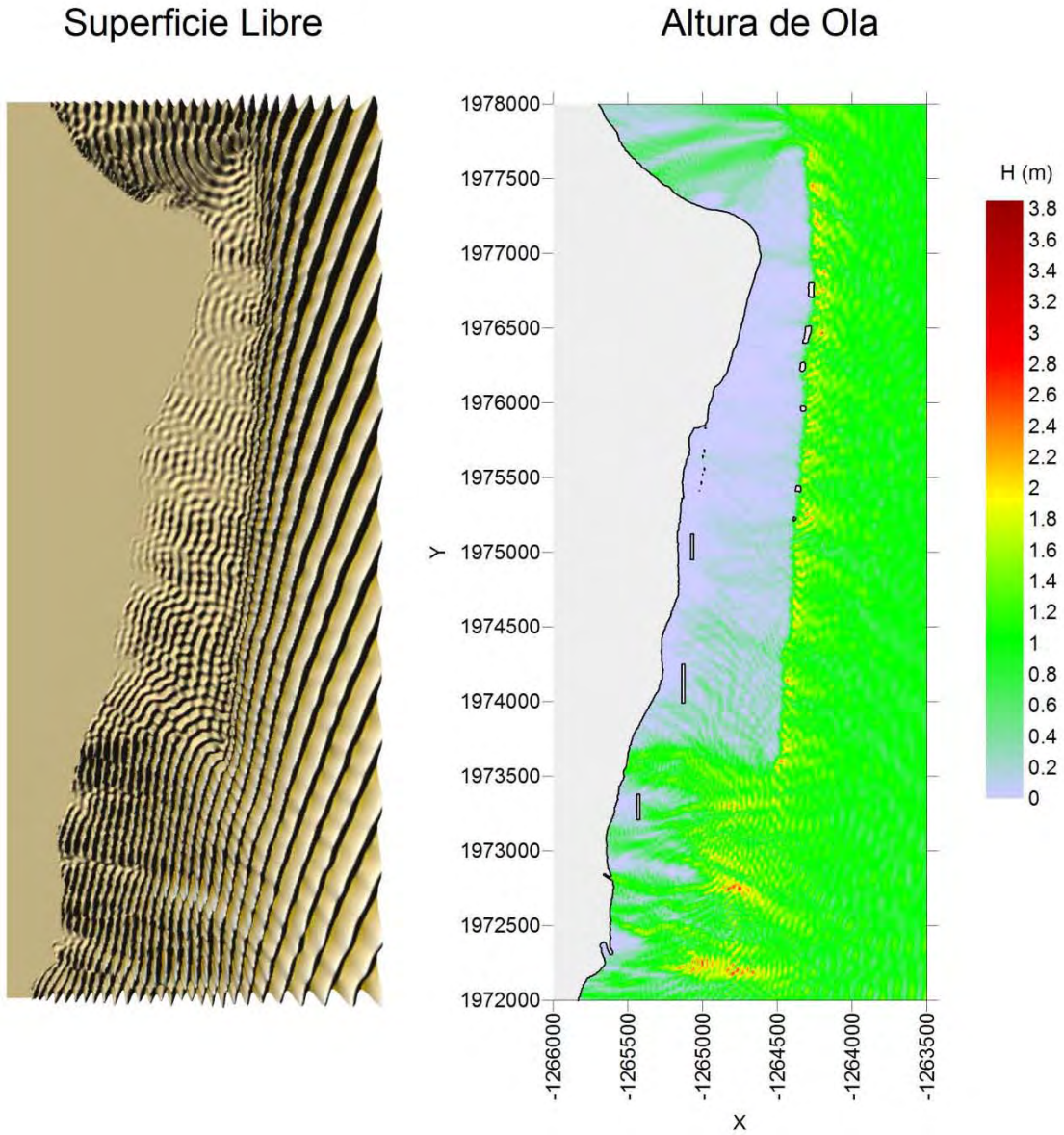
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H=1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



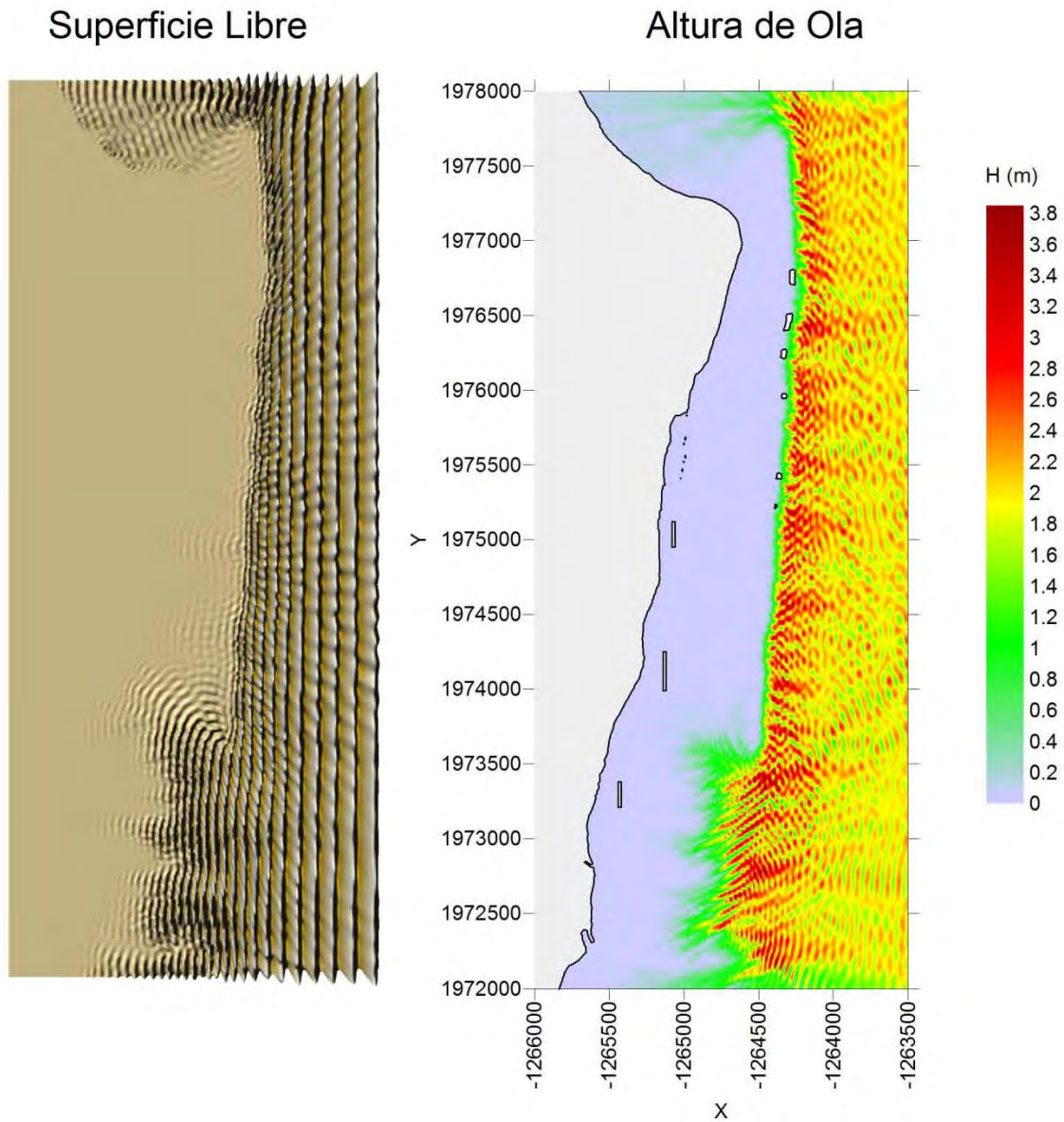
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



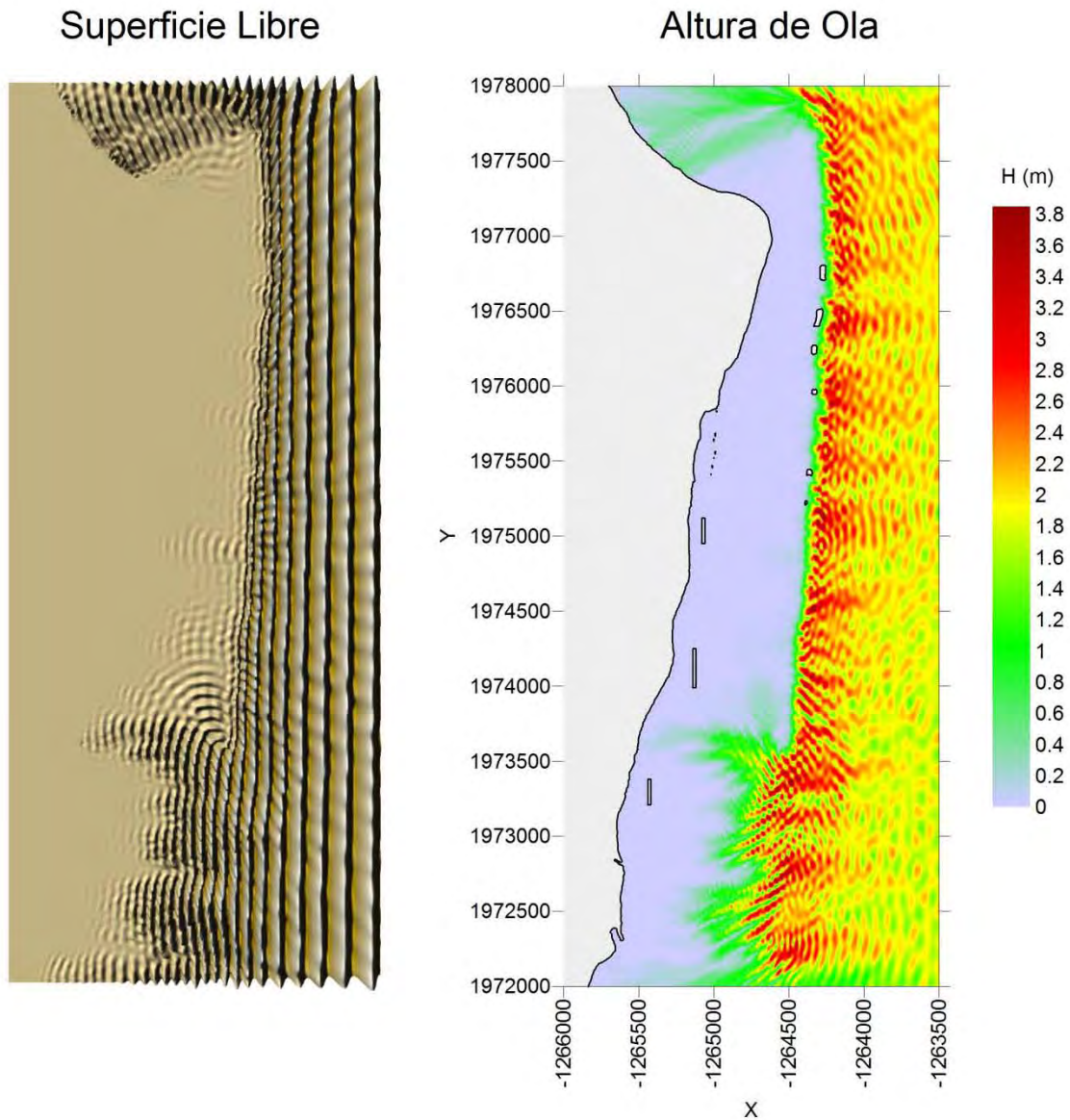
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



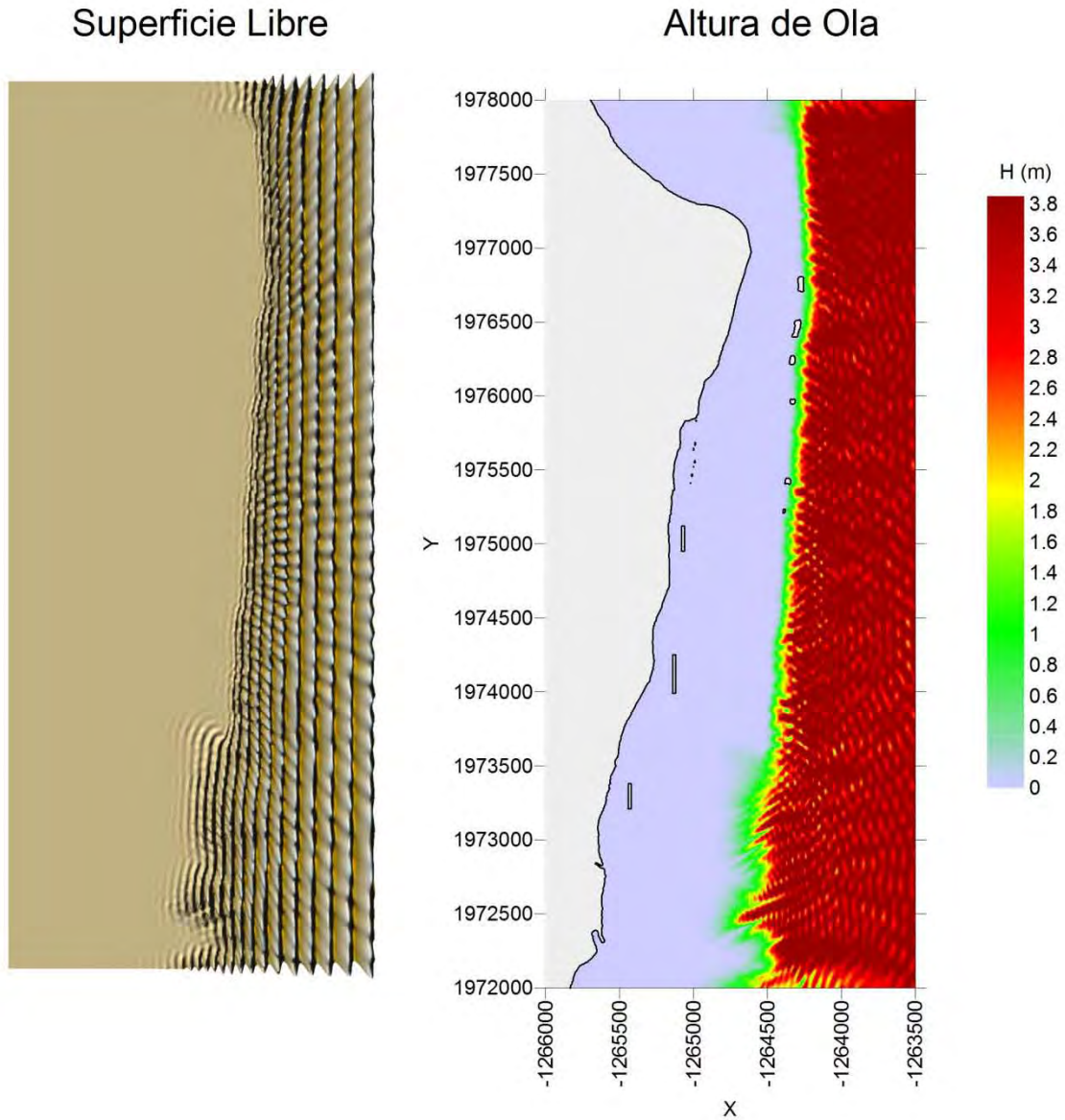
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



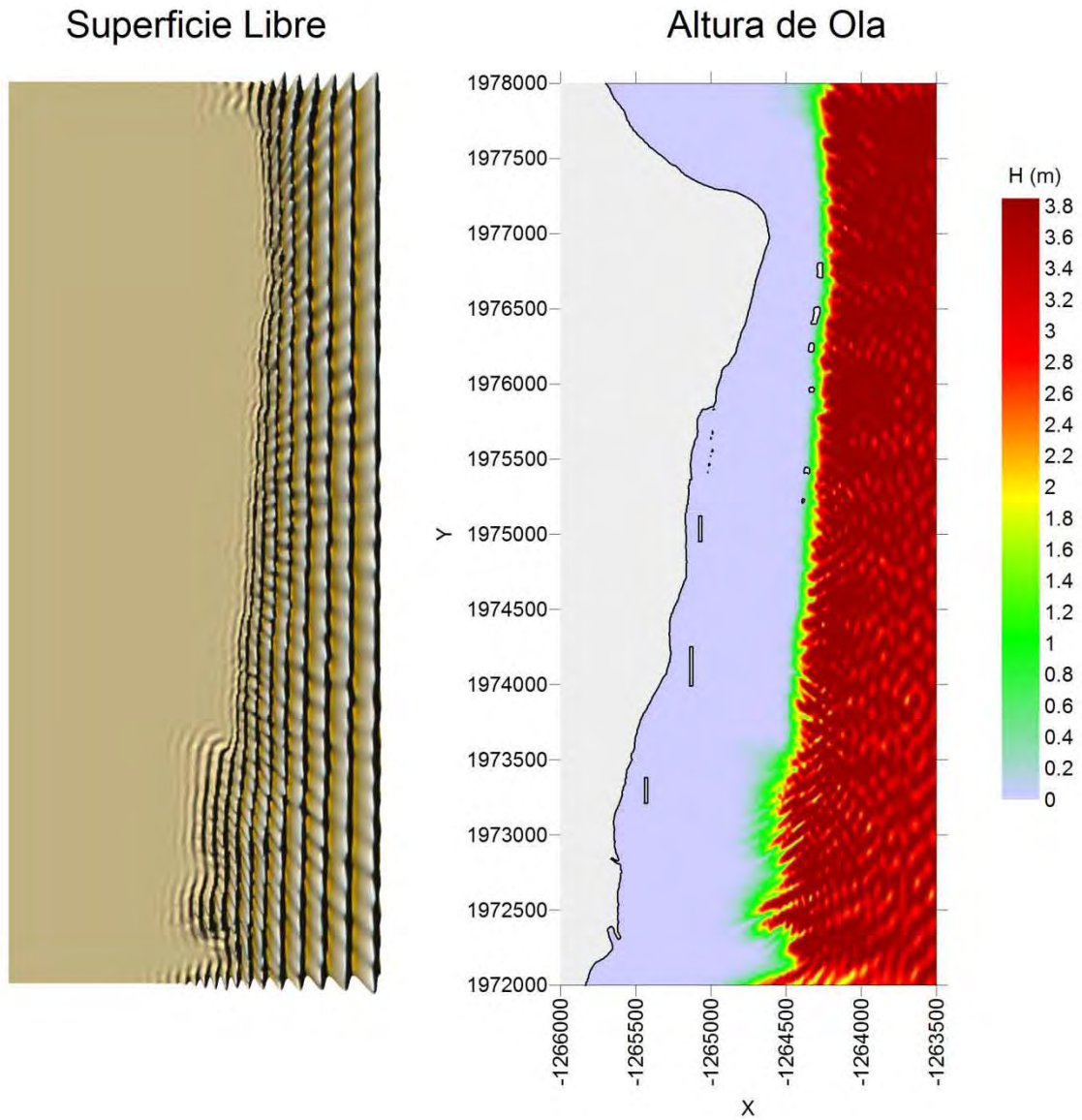
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



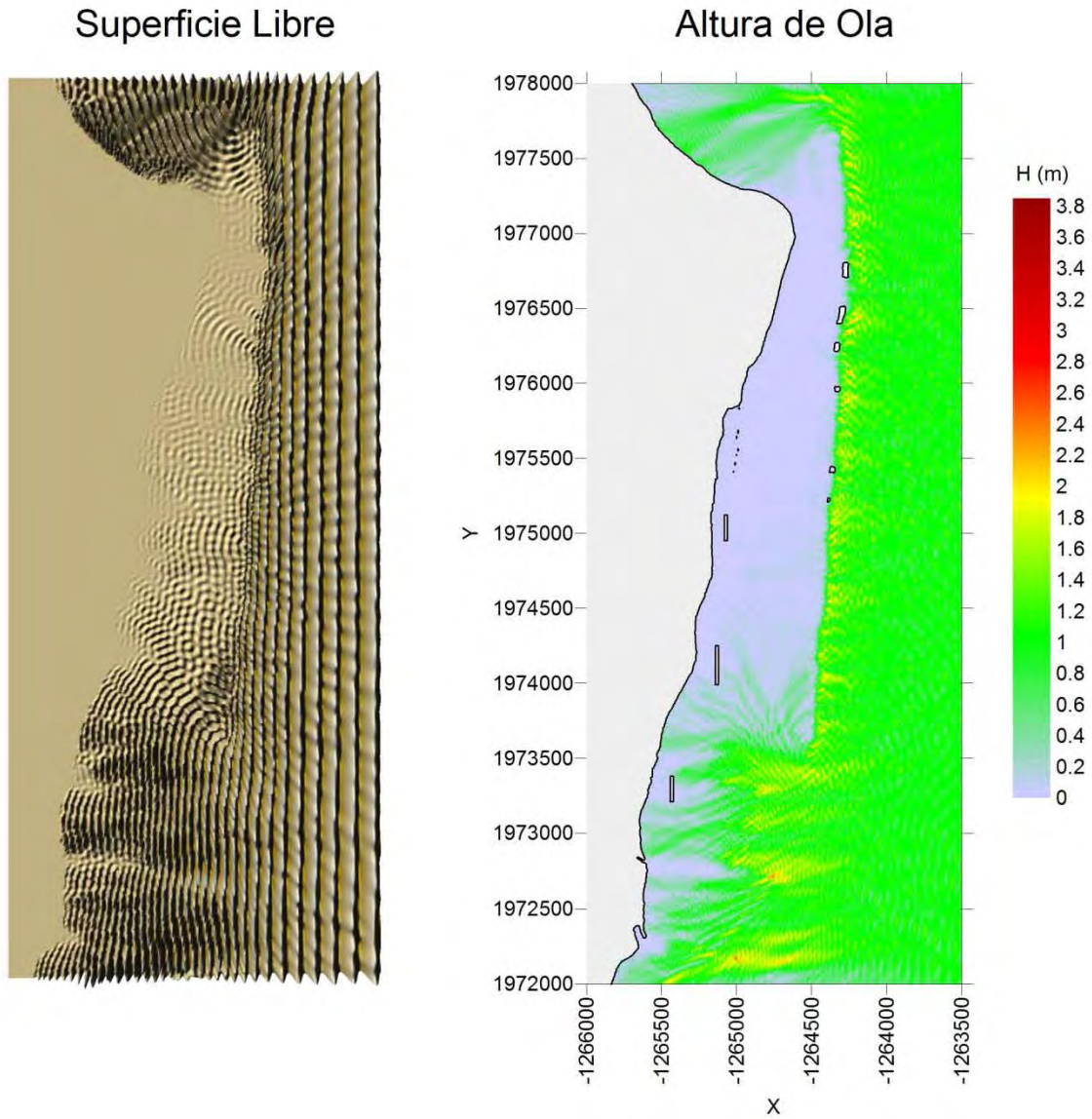
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



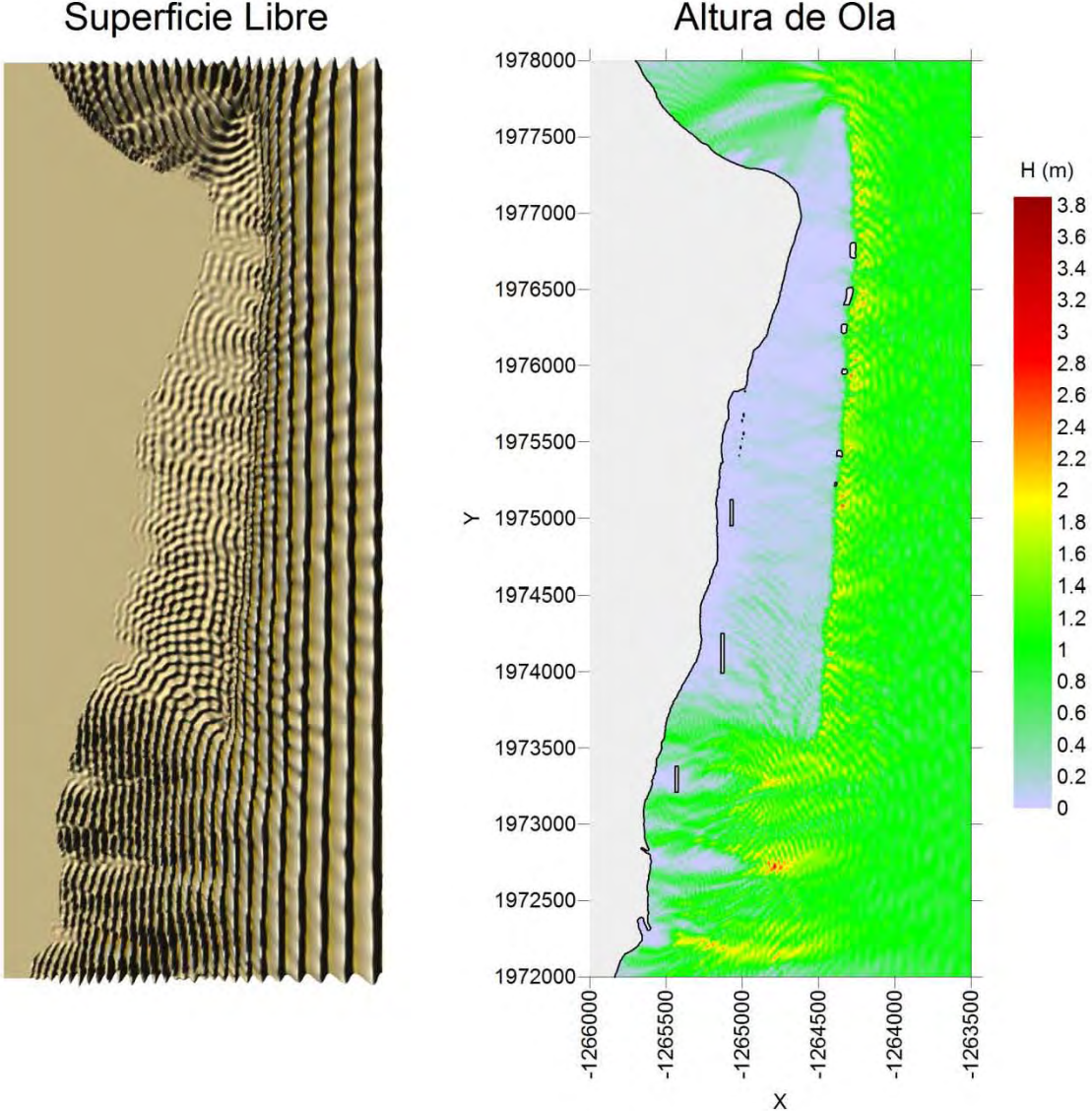
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



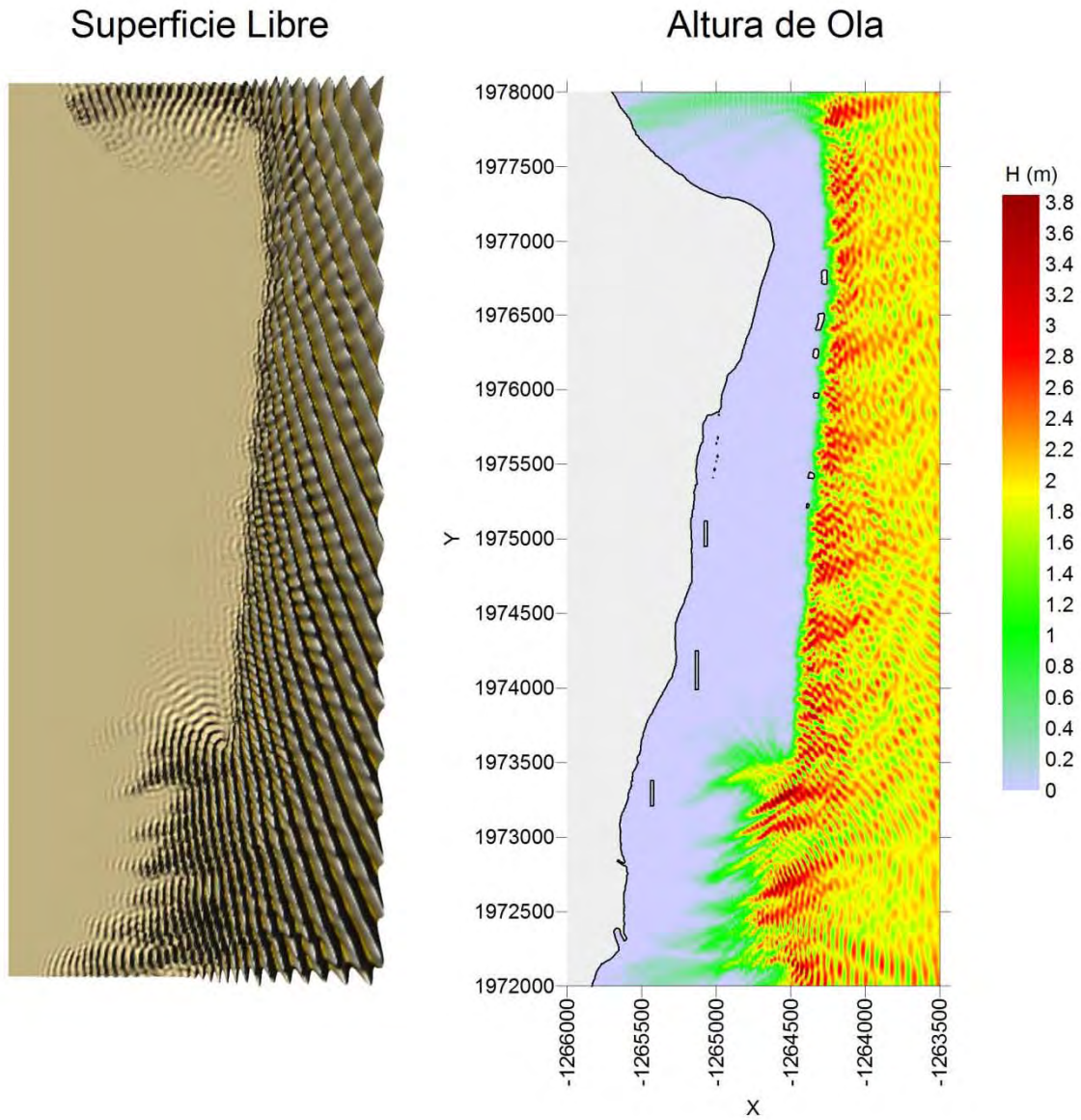
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



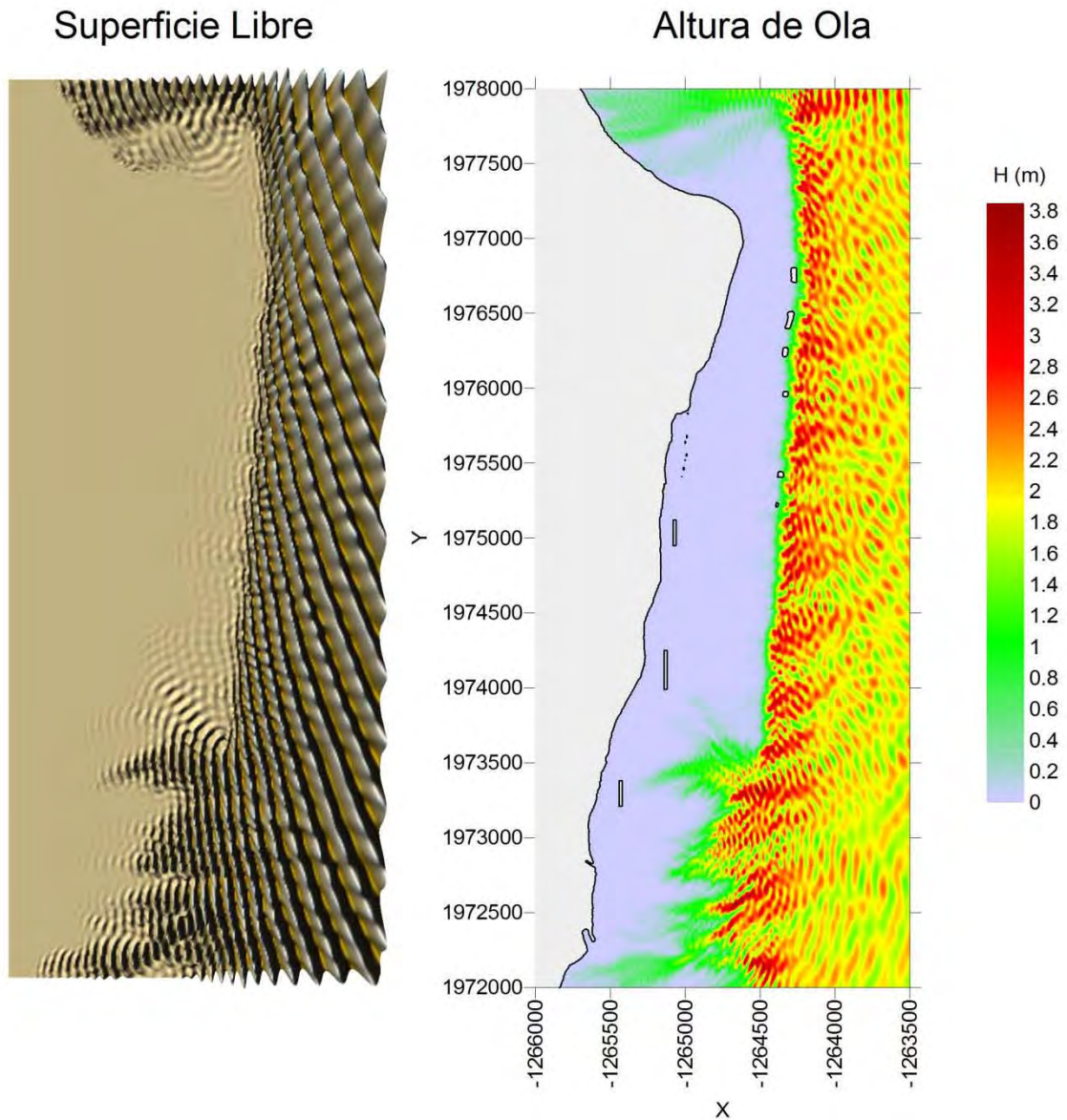
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



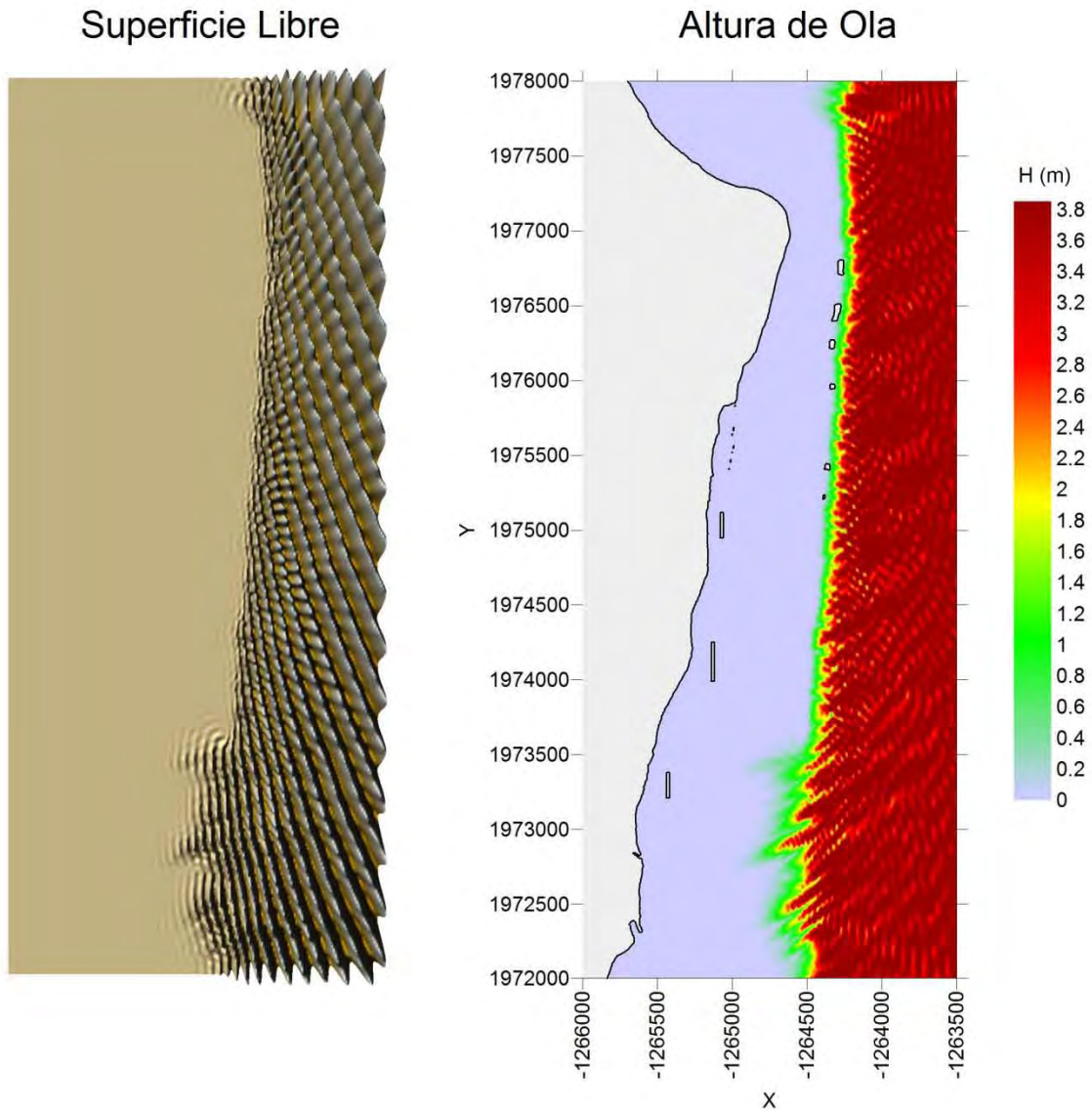
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



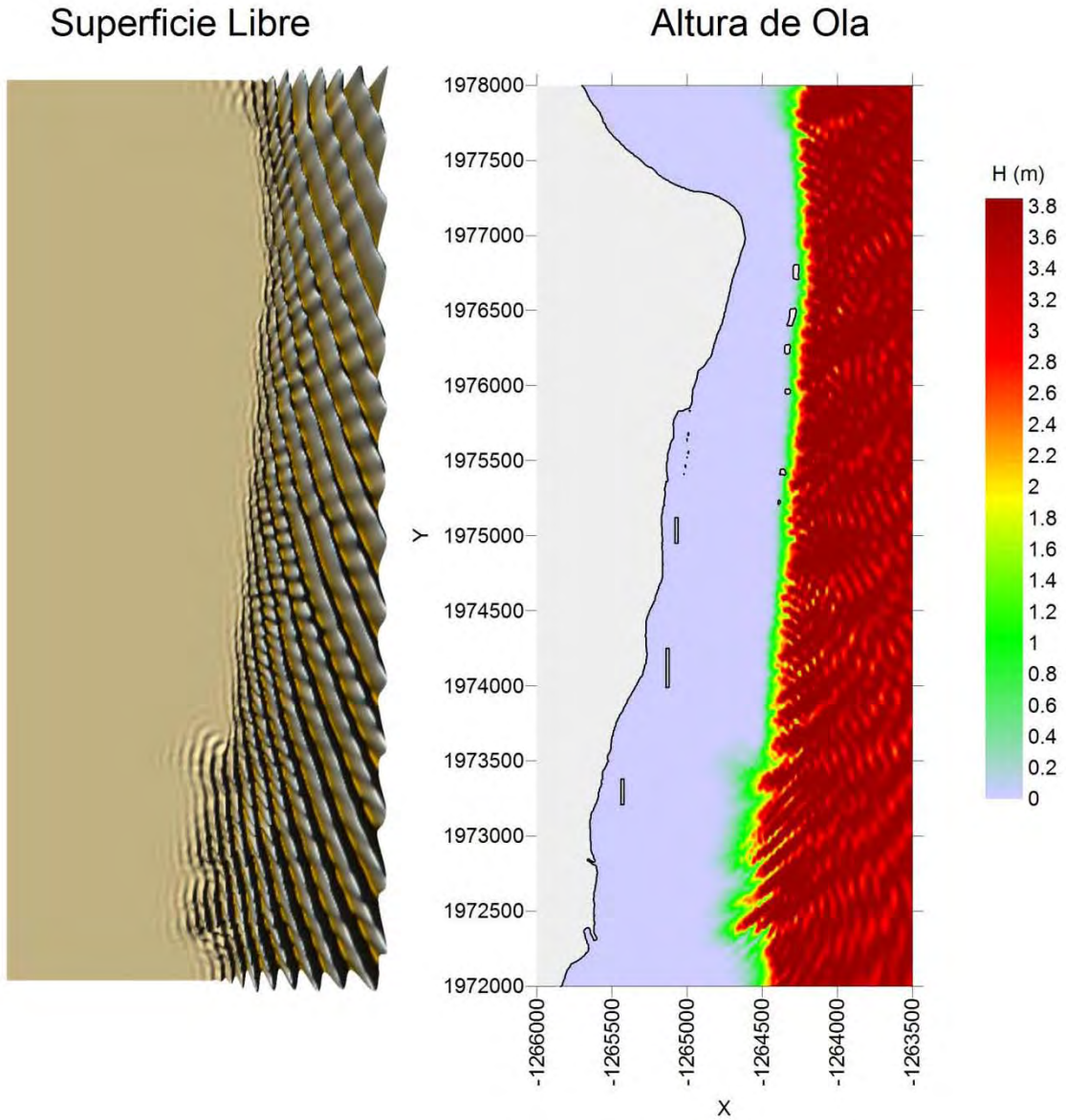
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



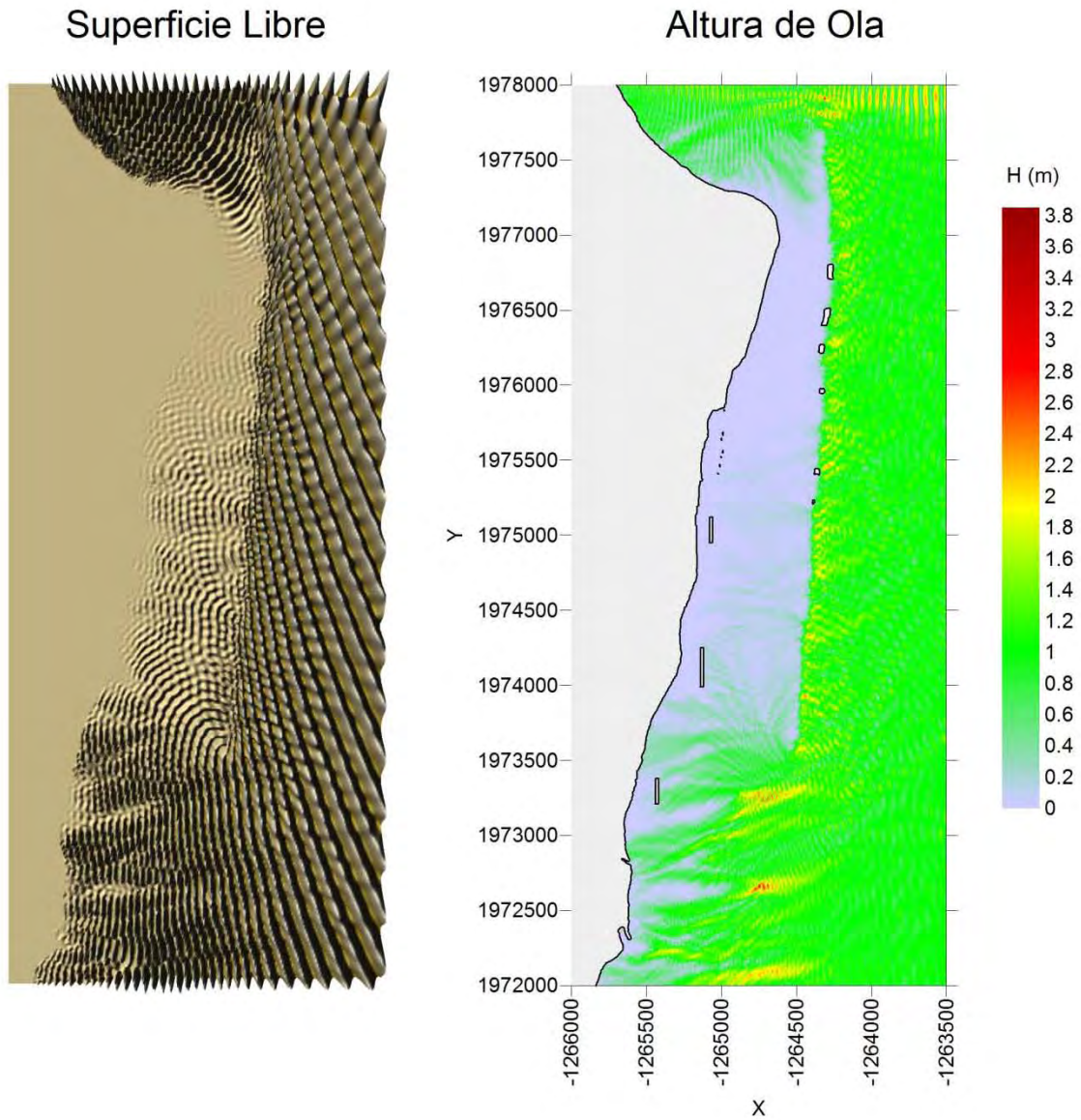
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



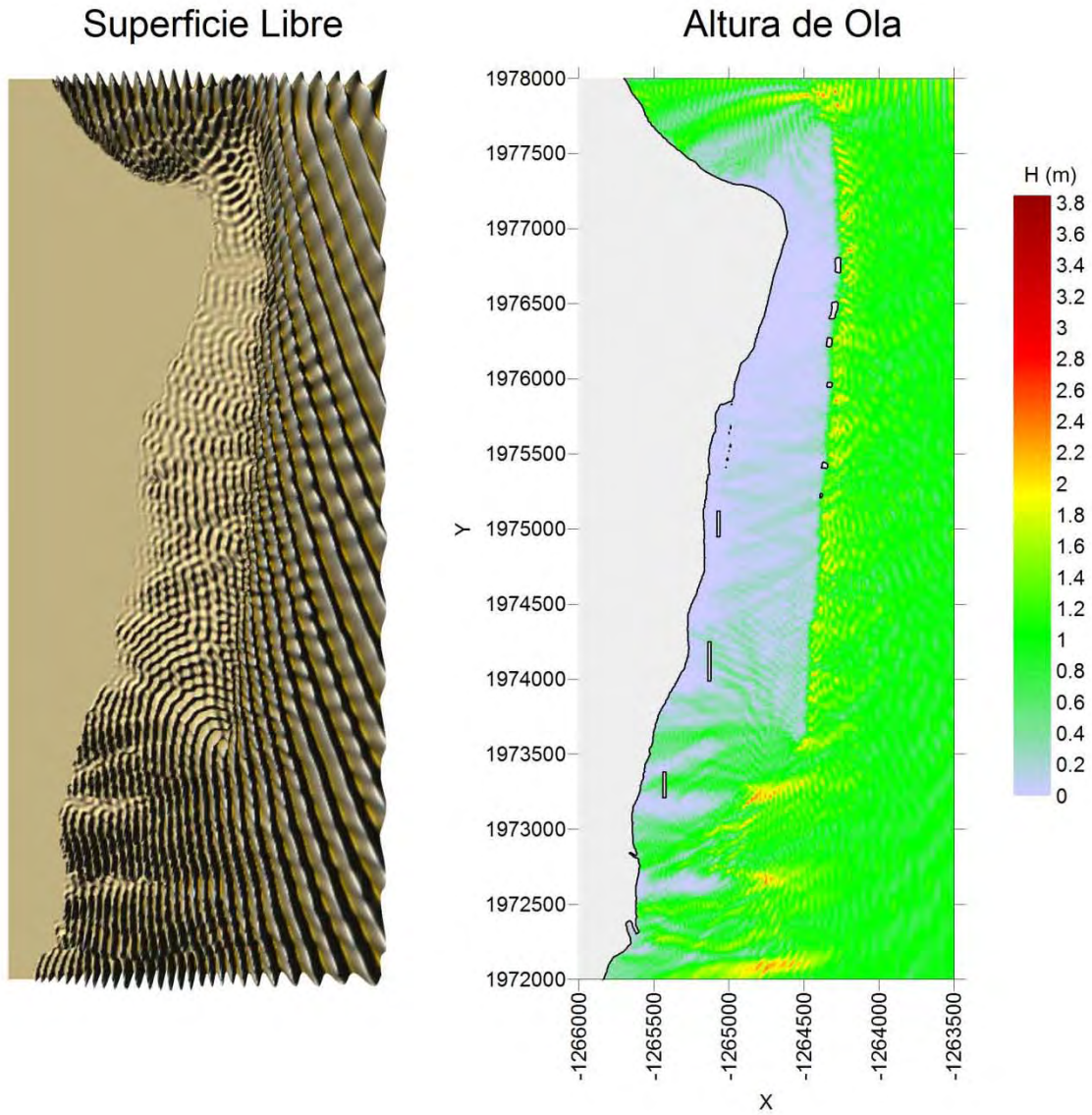
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



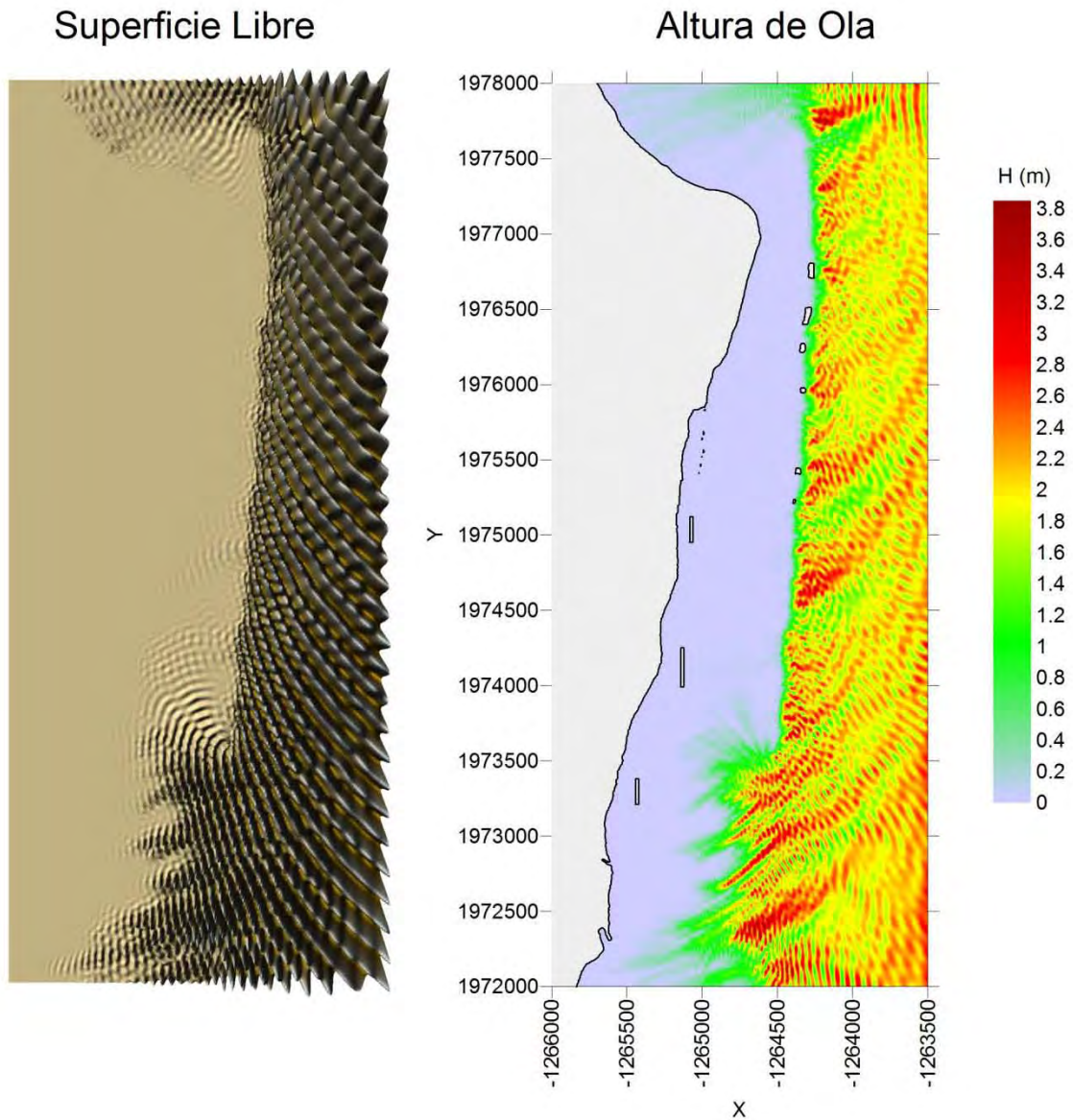
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



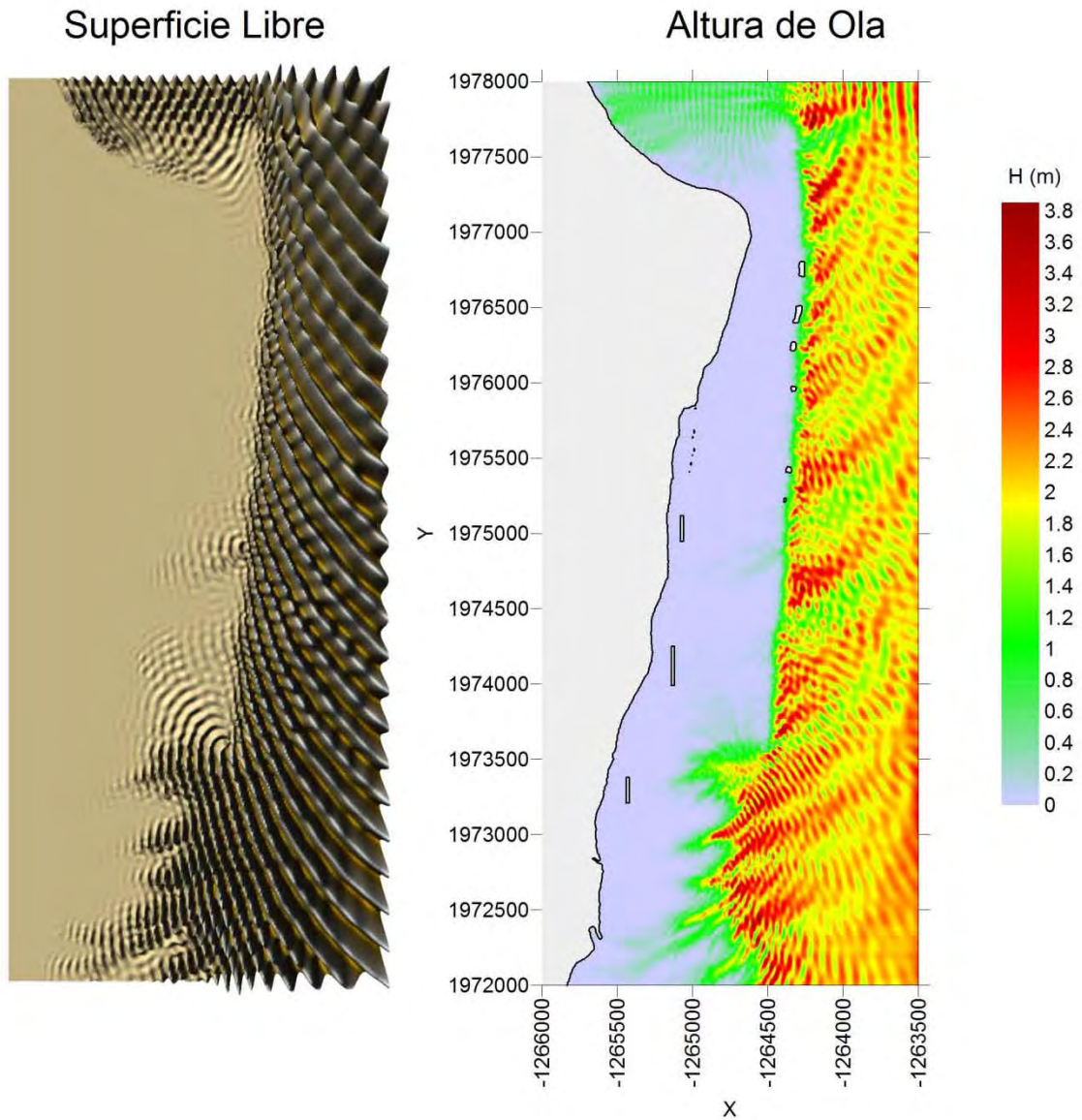
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



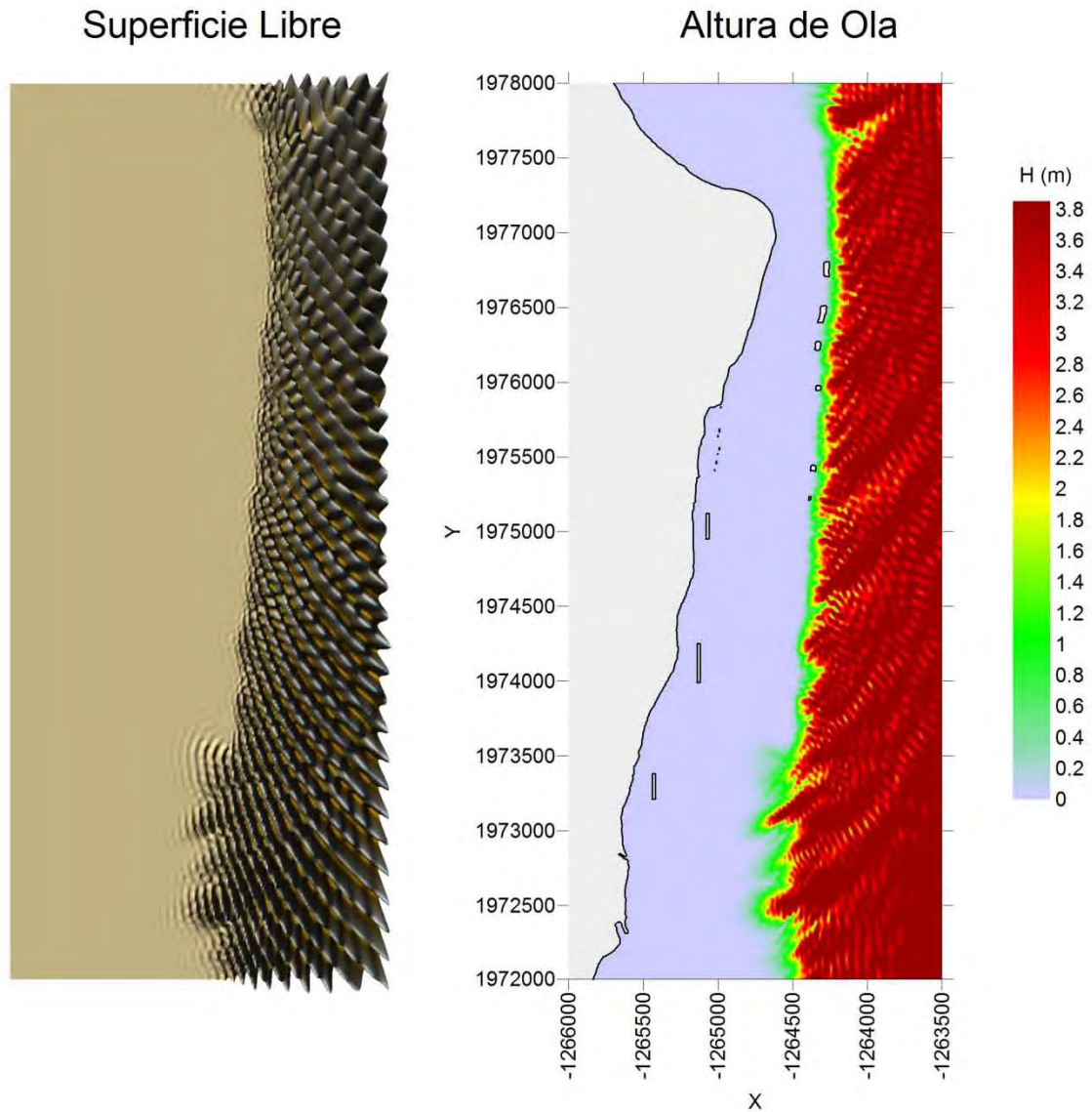
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



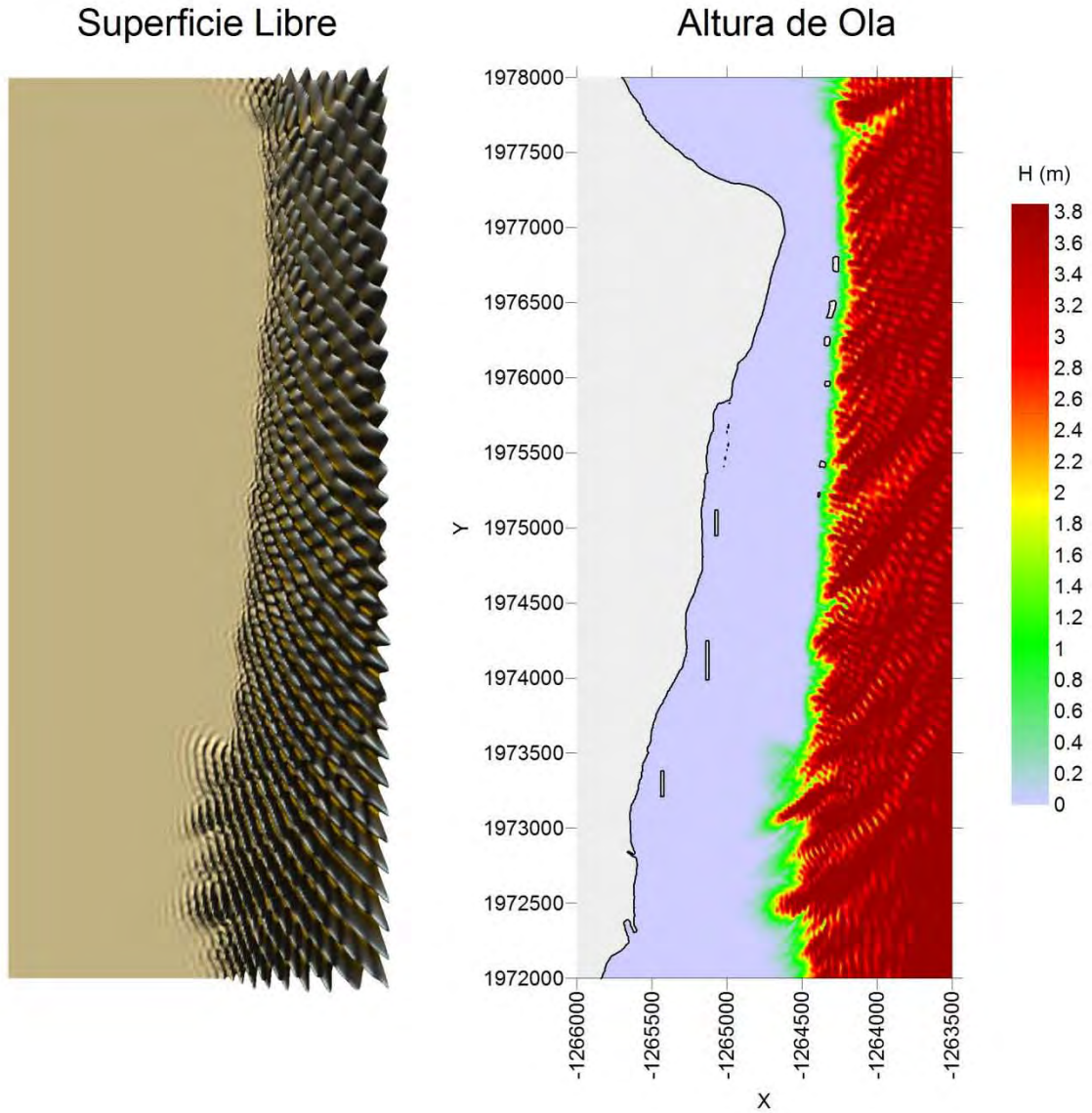
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



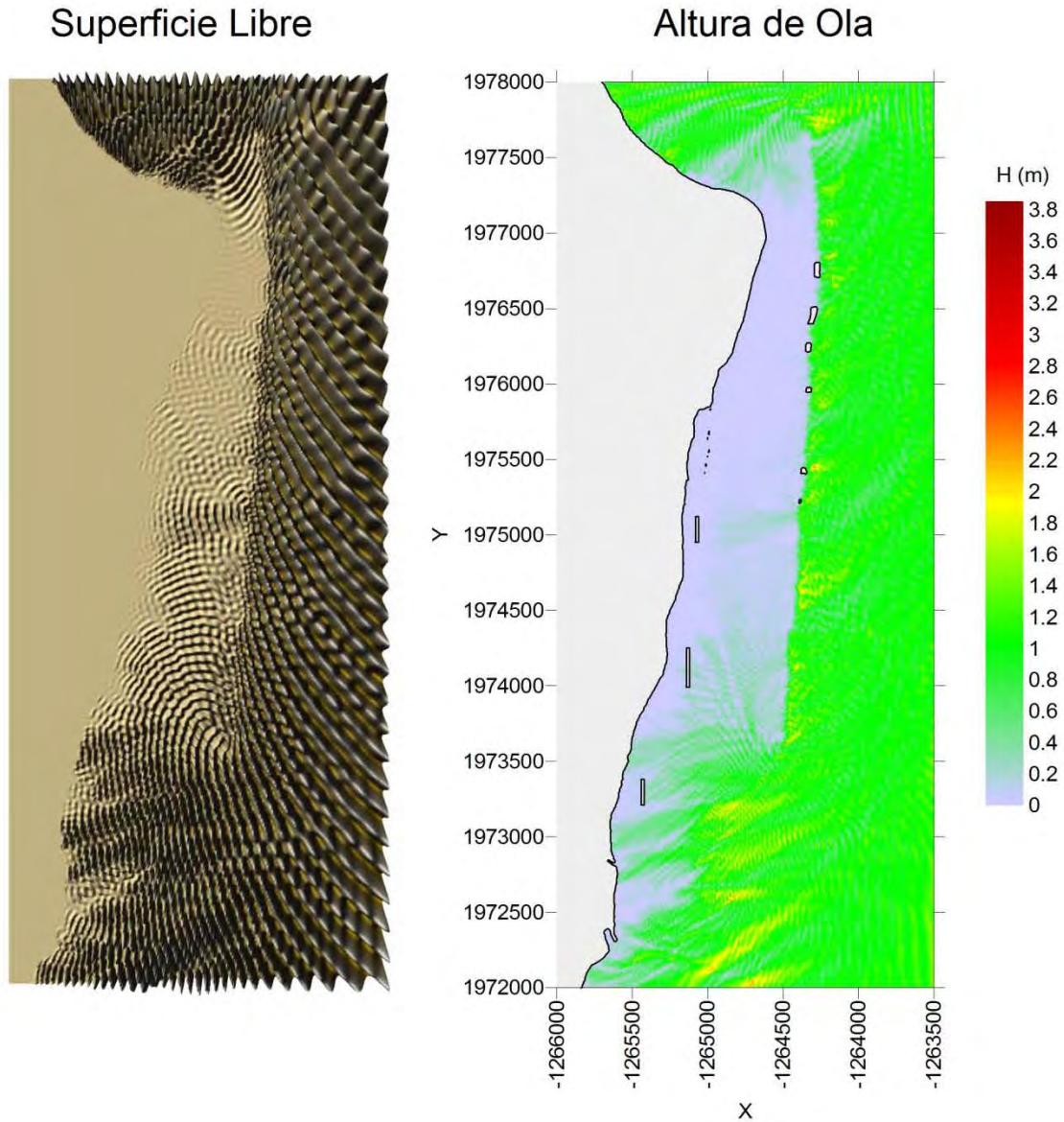
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta =45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)



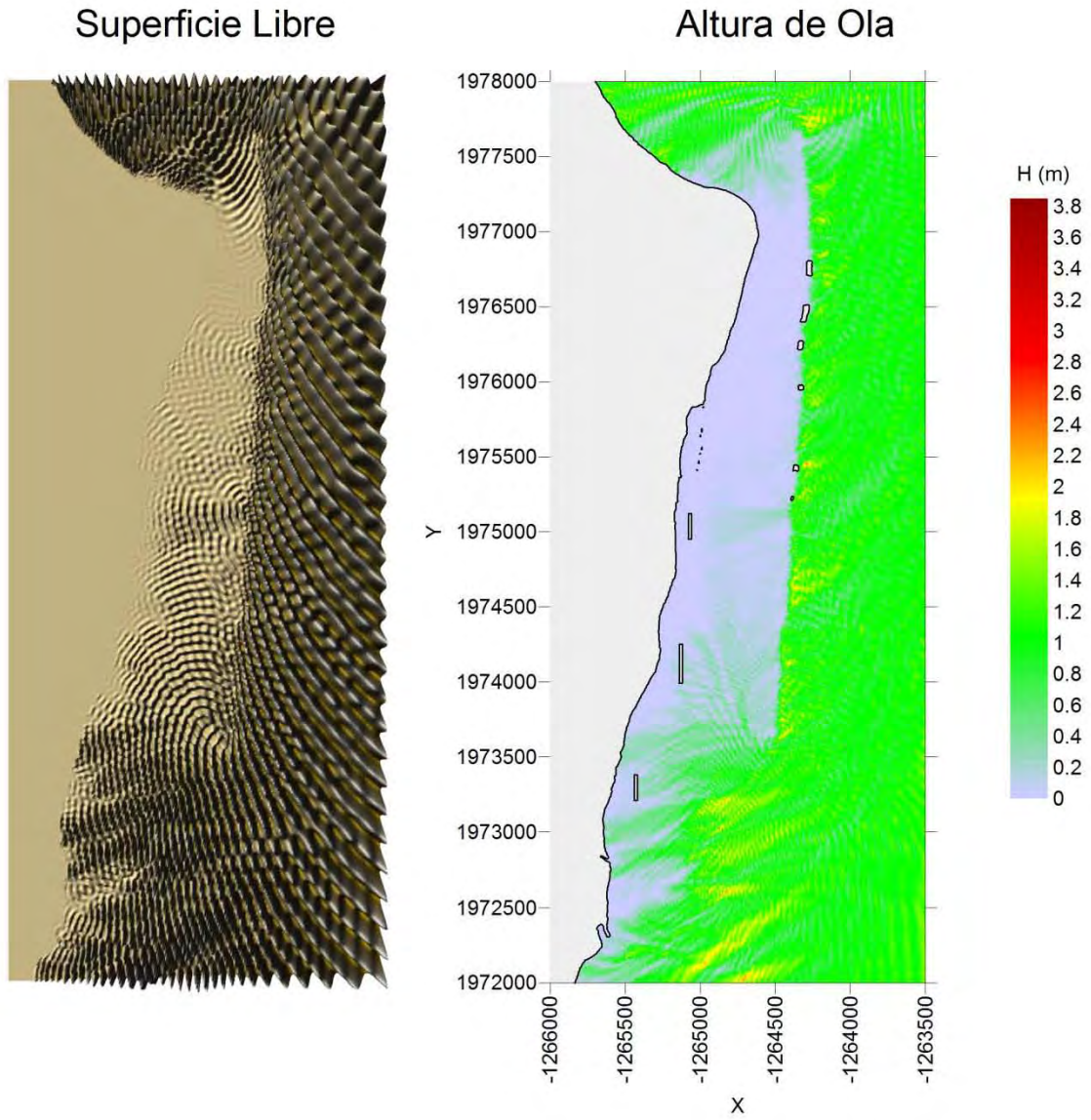
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 1 (m), T= 12 (s)

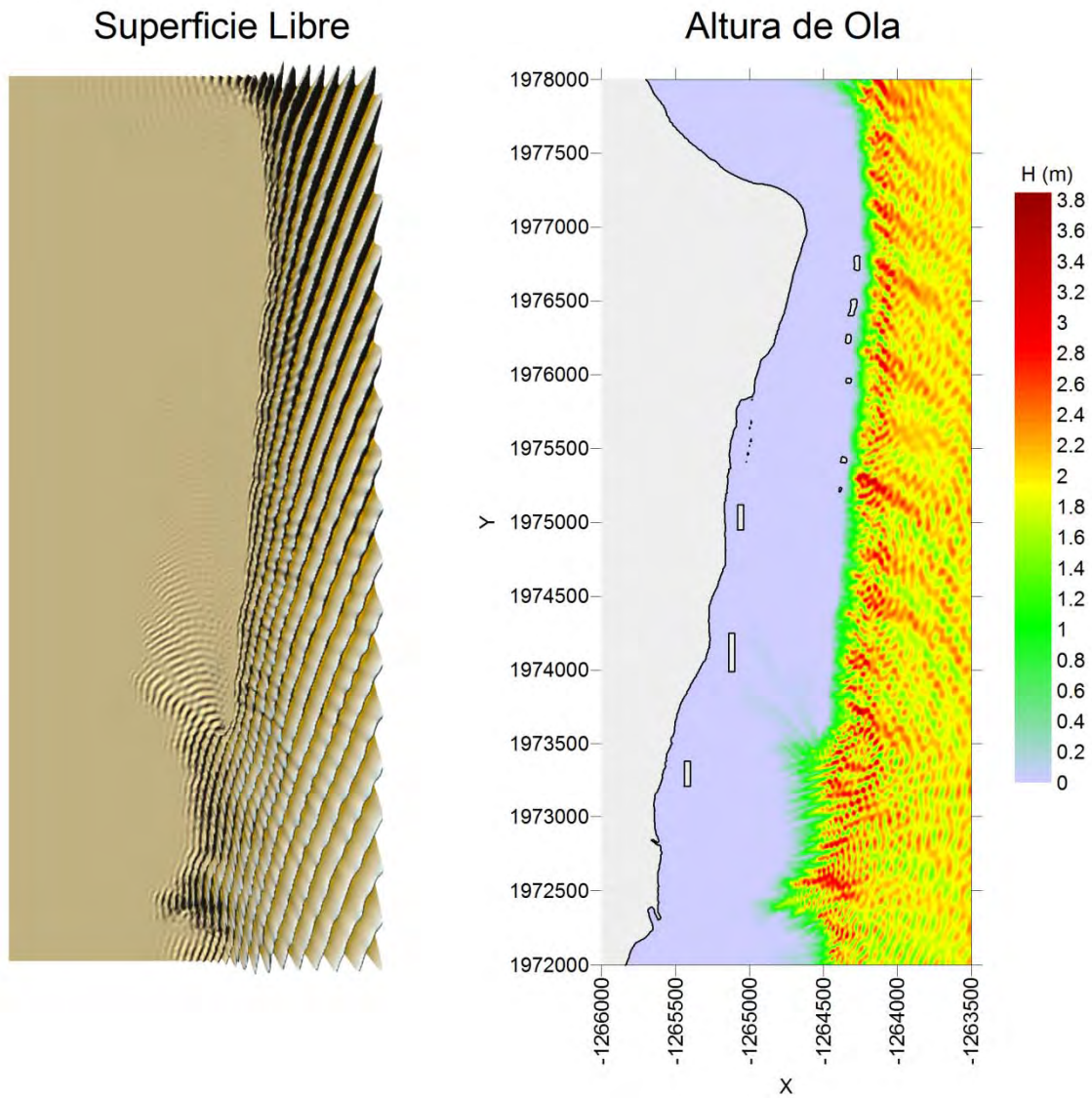


Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

Escenario 6

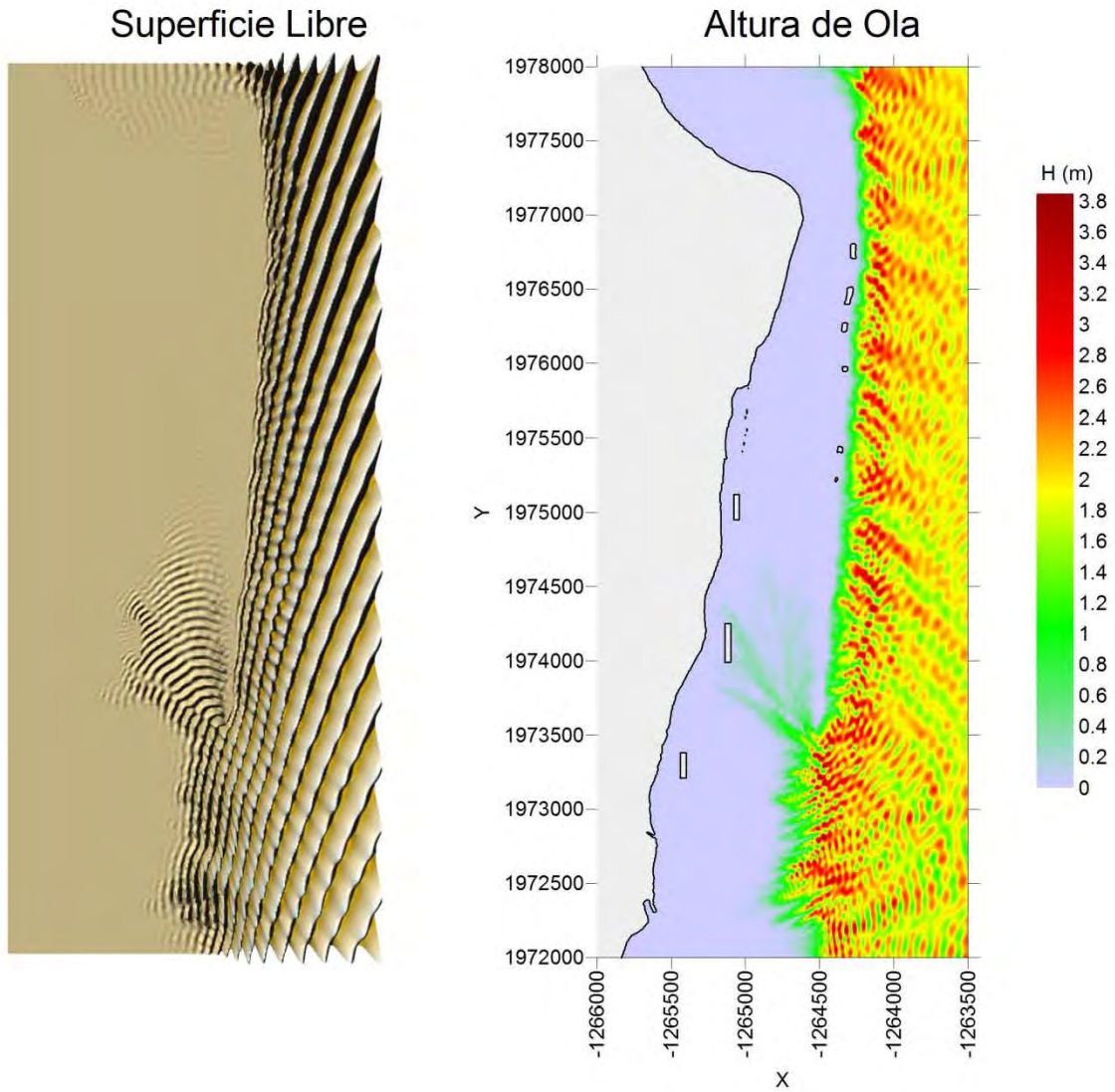
Sin sobre-elevación por marea de tormenta

$$H = 2 \text{ (m)}, \theta = -22.5^\circ, S = 0 \text{ (m)}, T = 10 \text{ (s)}$$



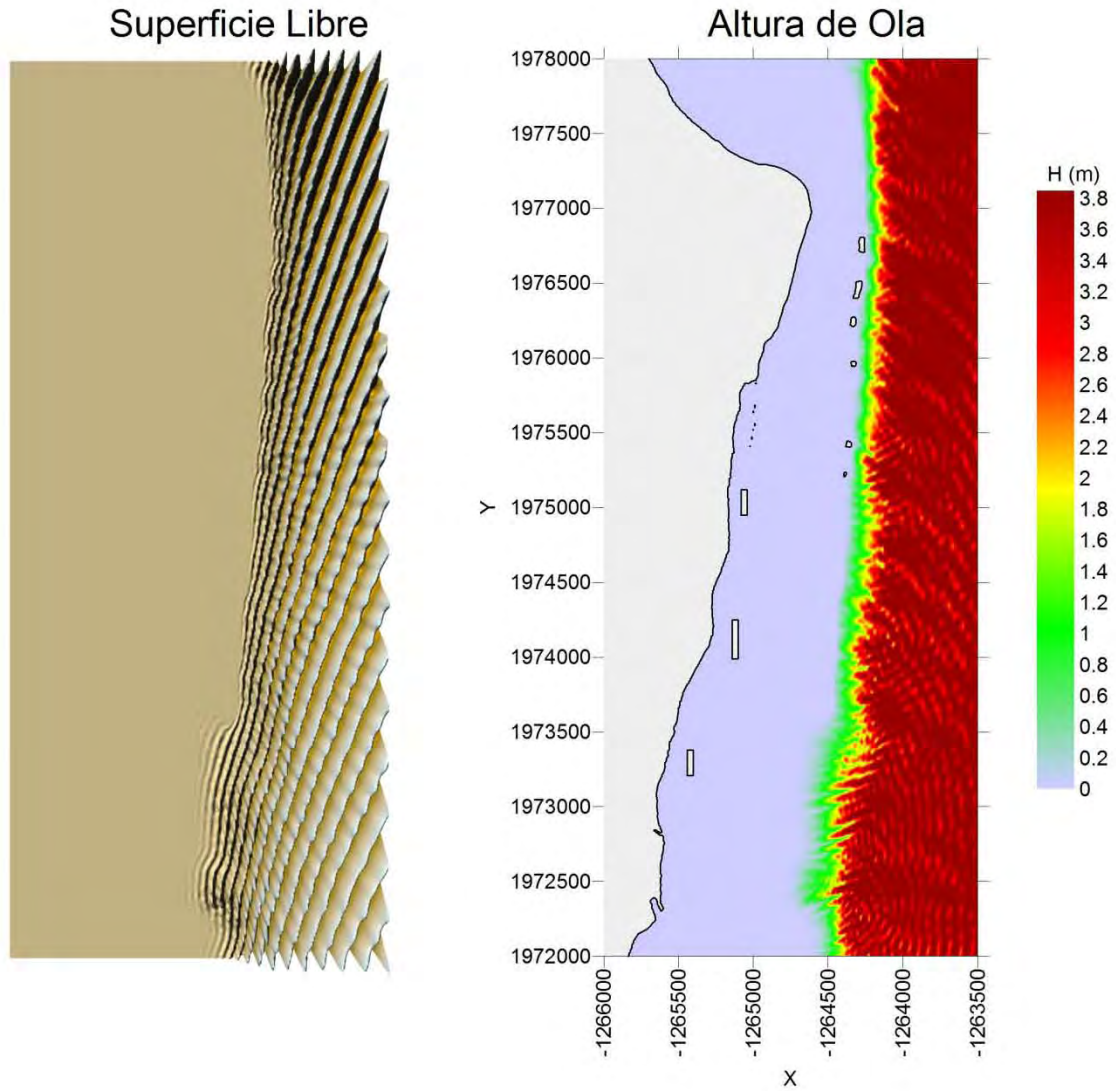
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



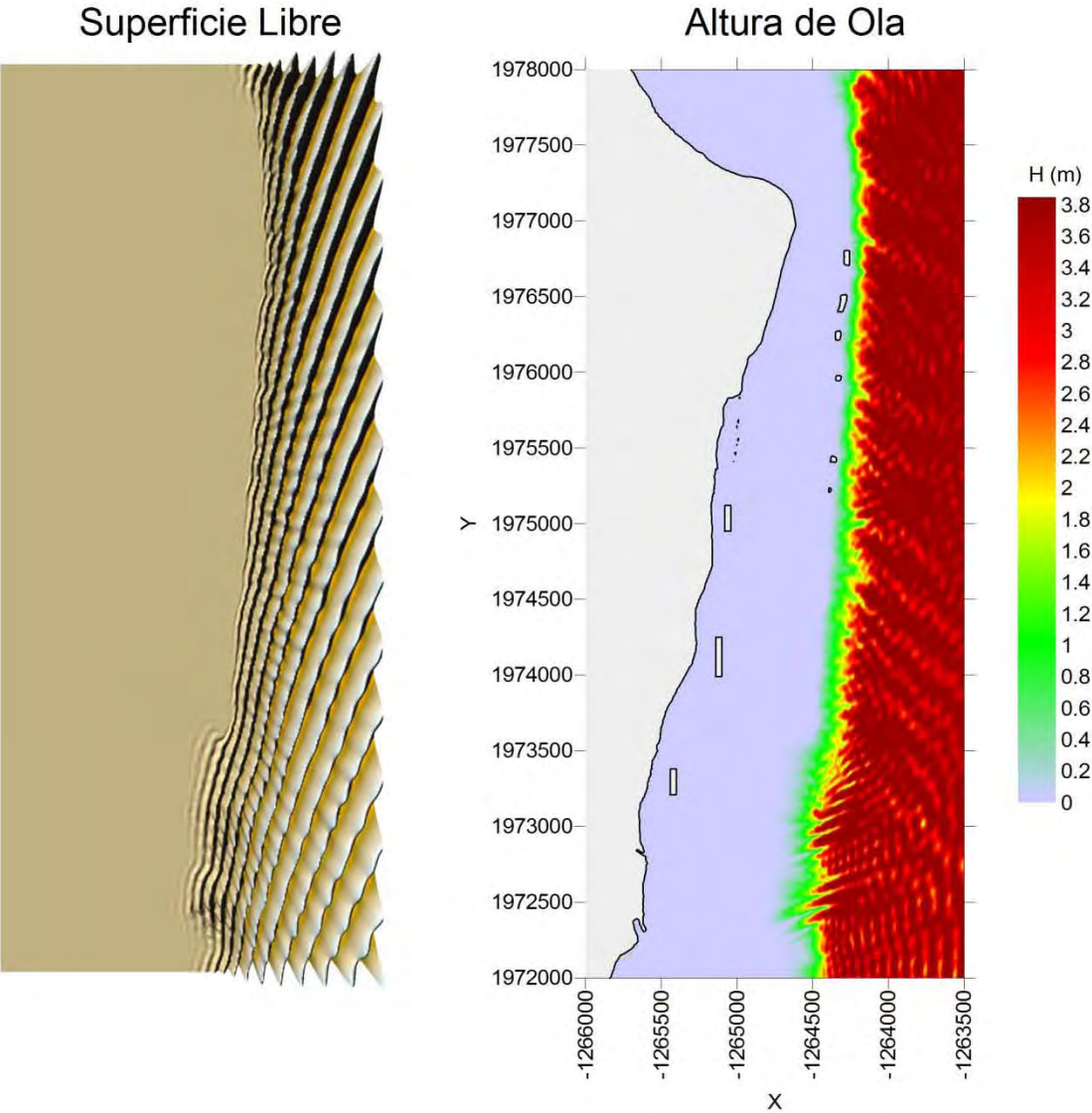
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



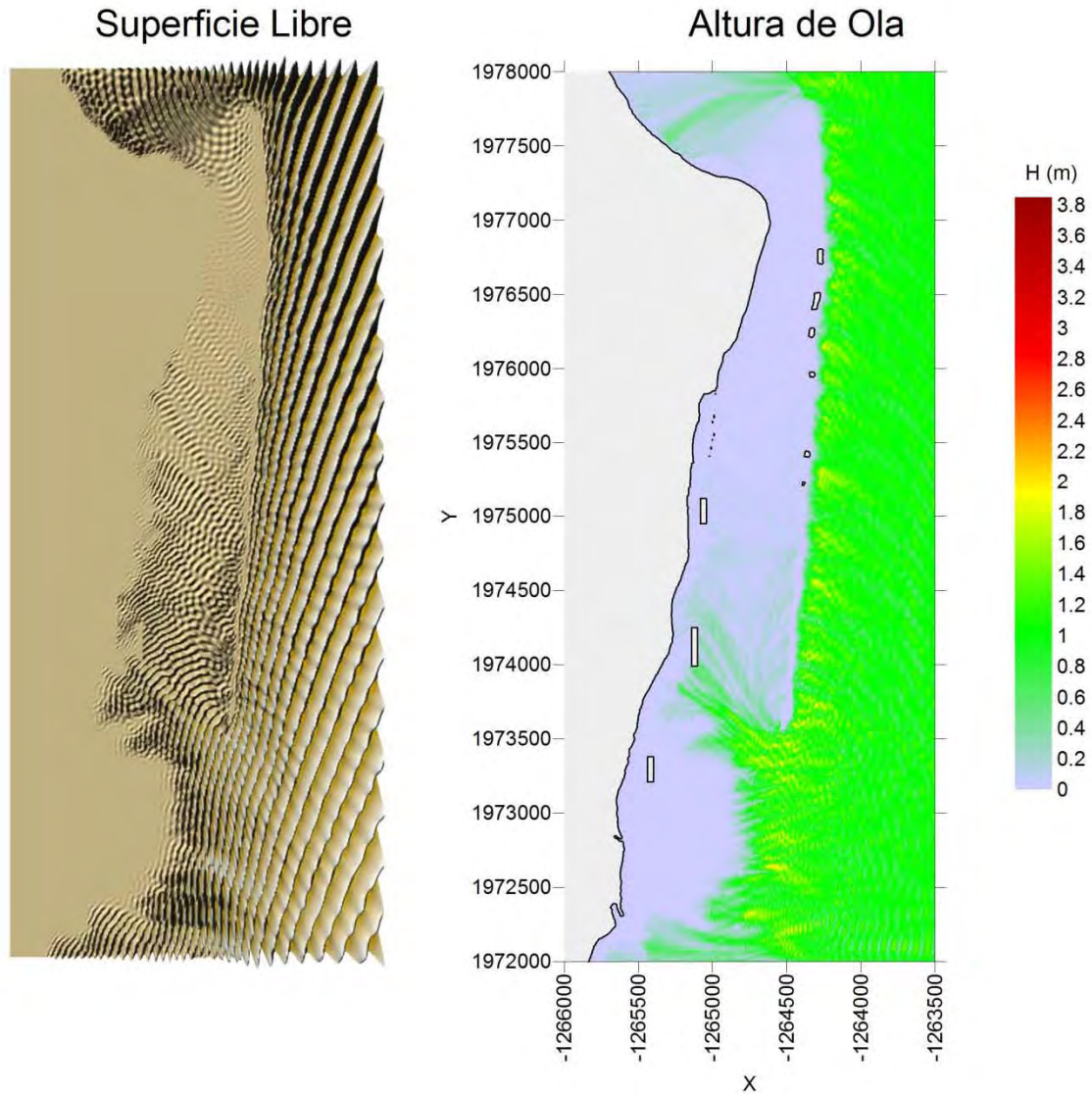
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



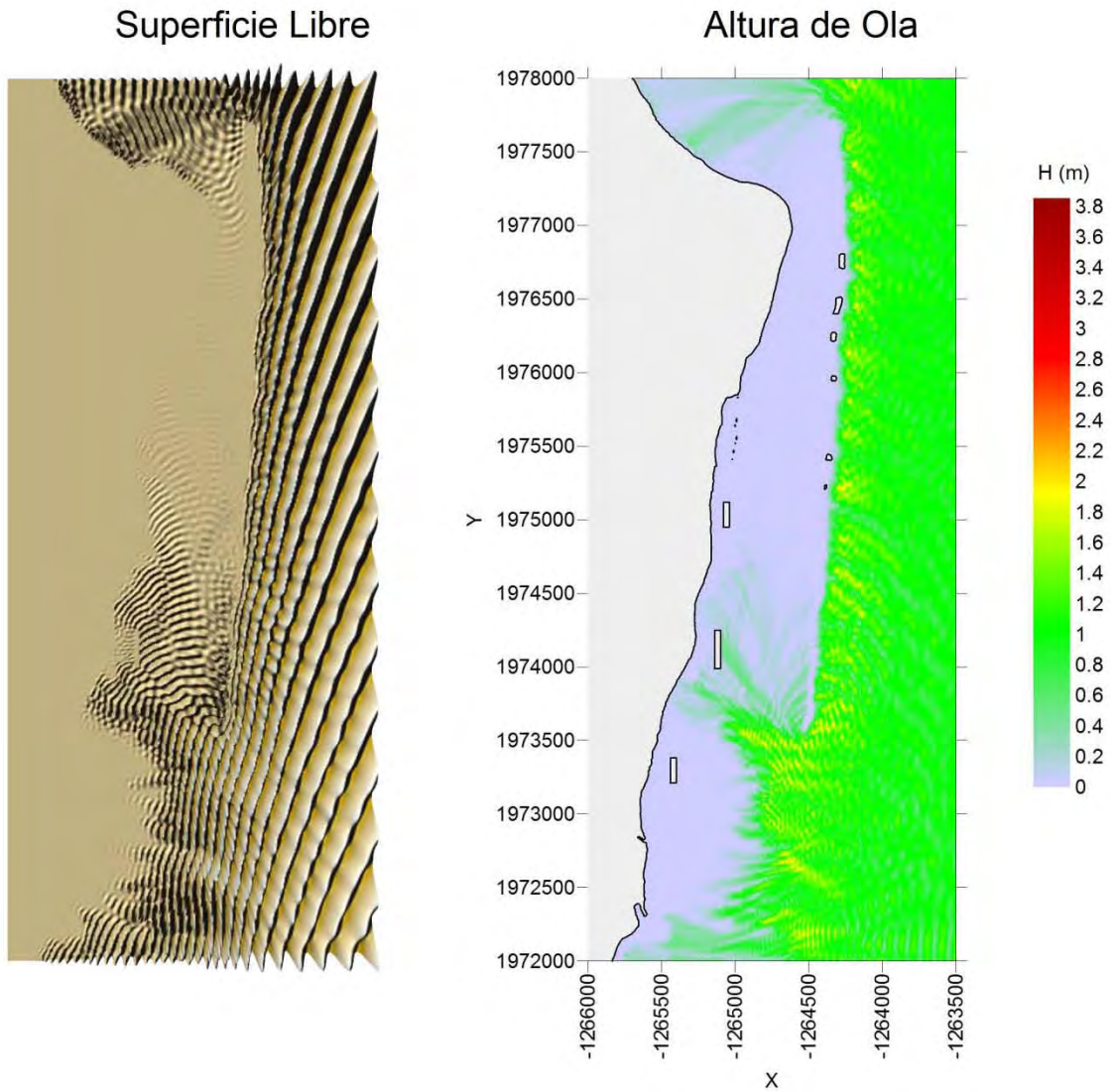
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



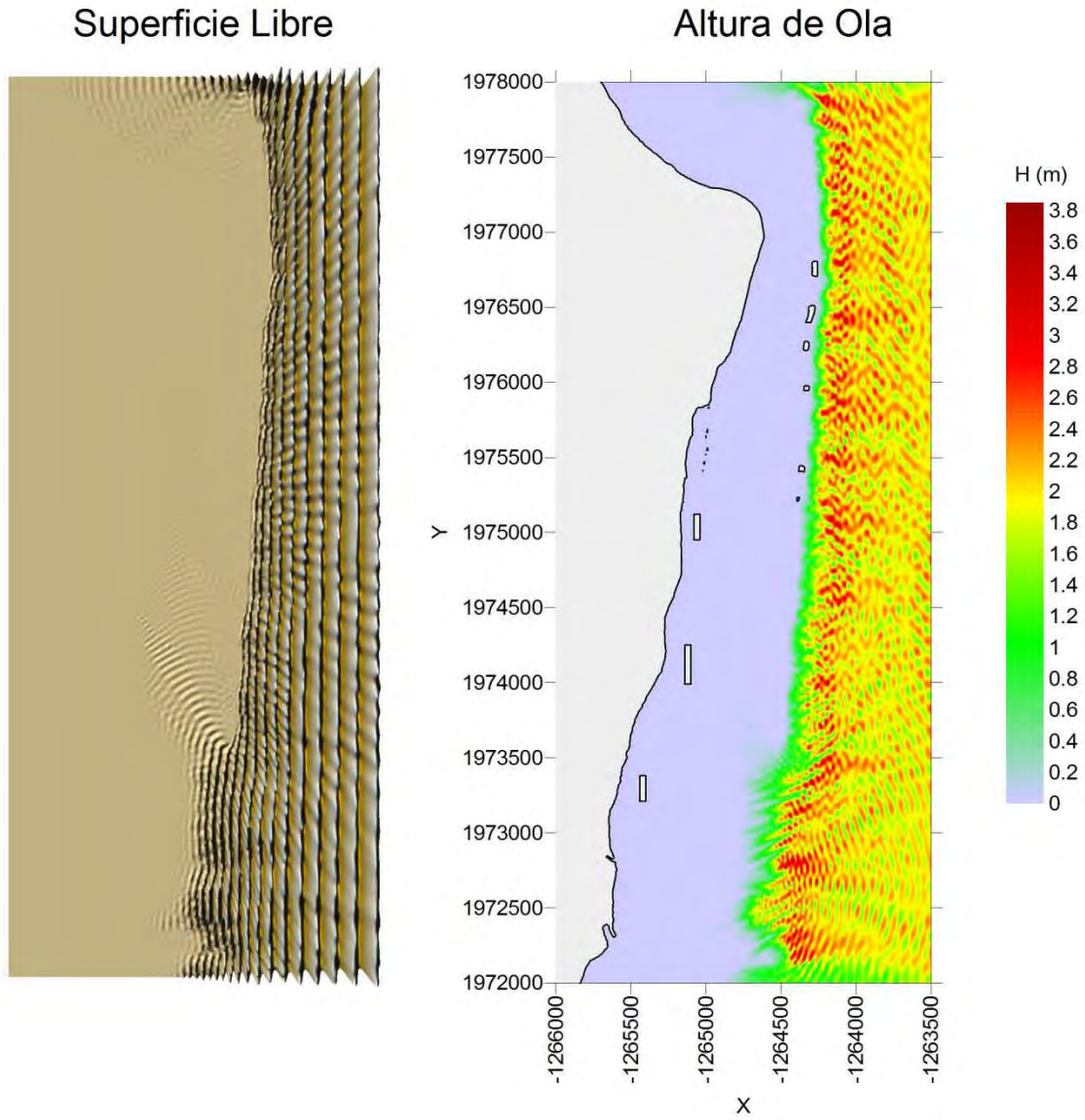
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



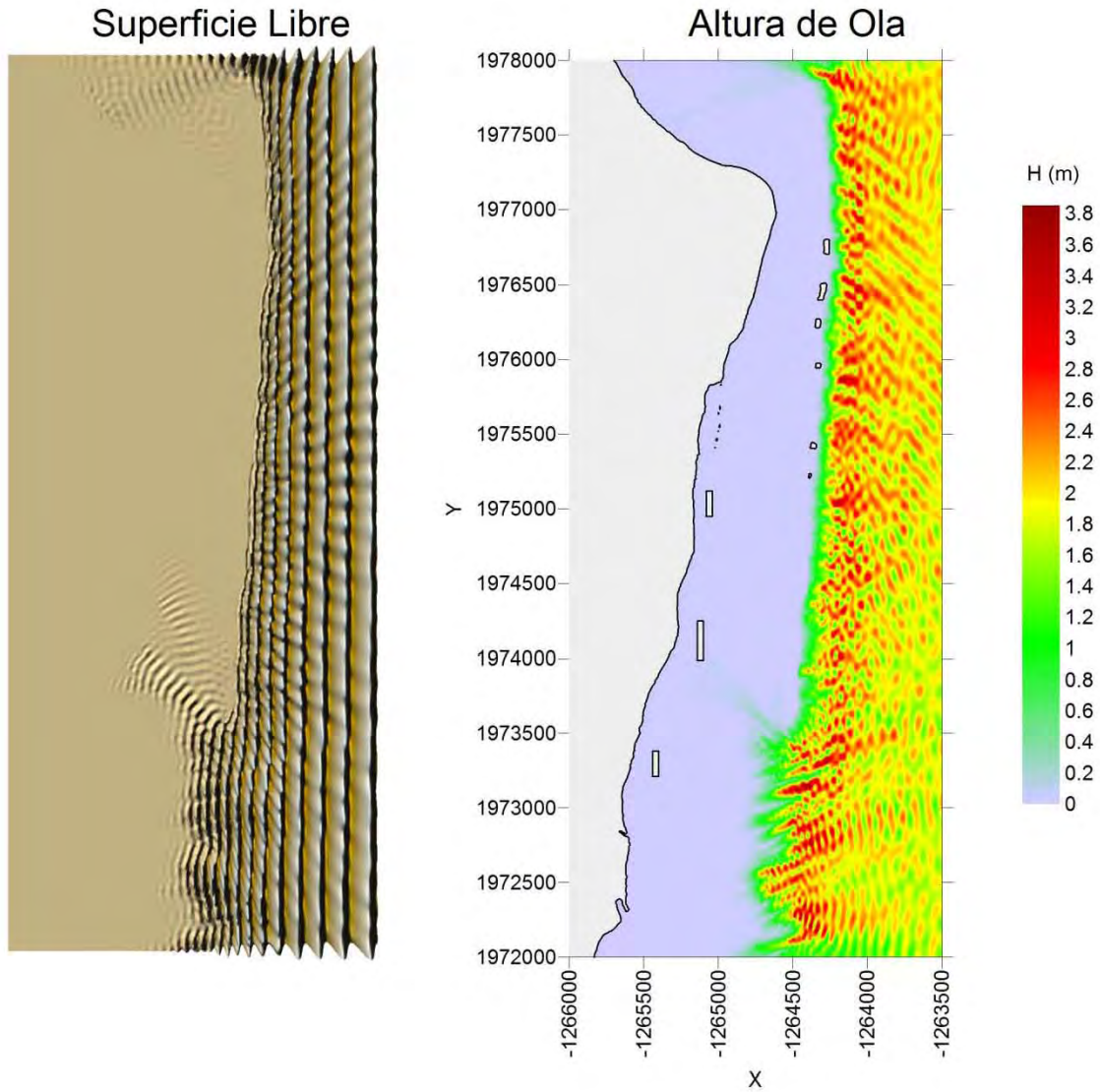
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



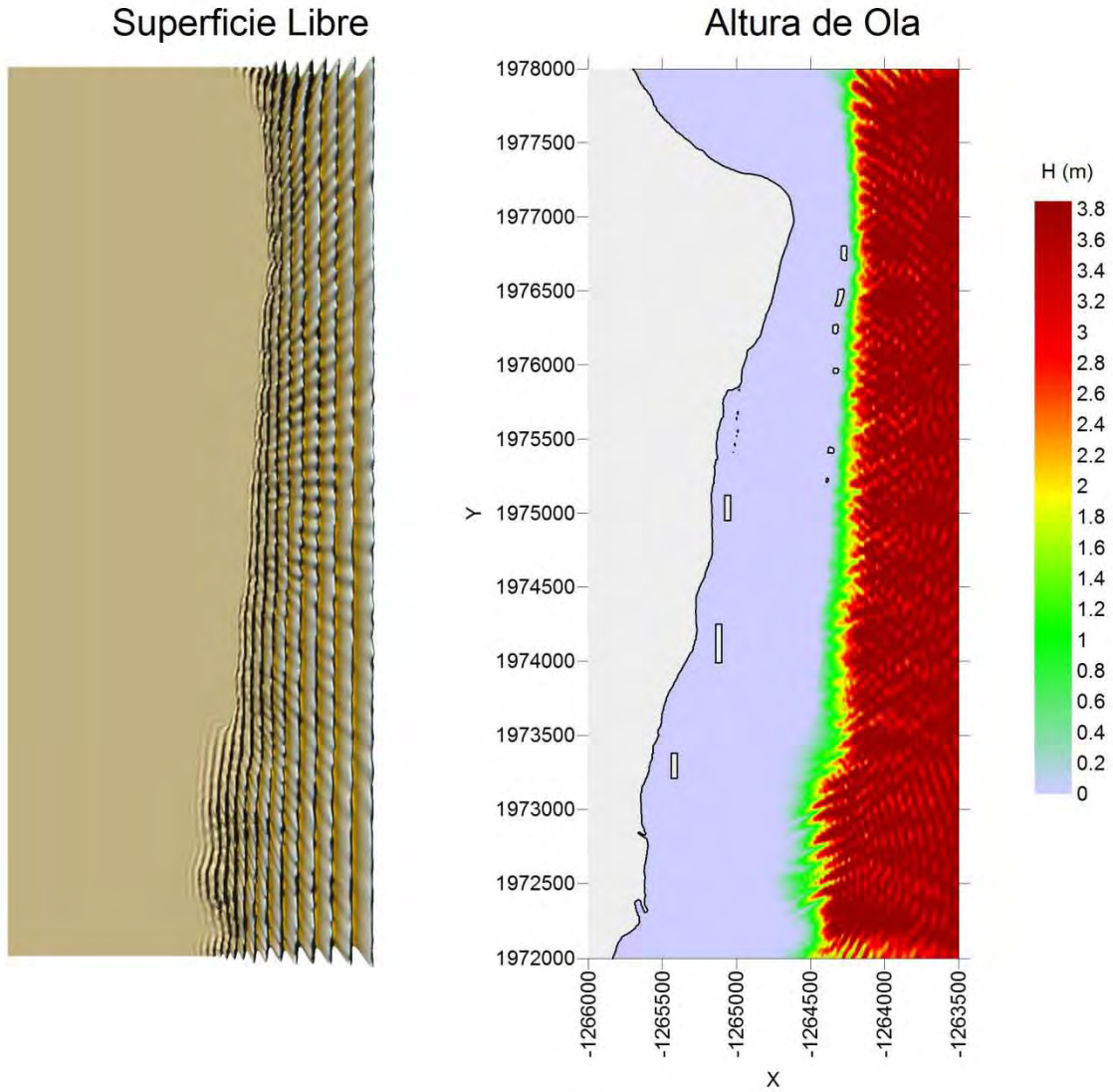
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



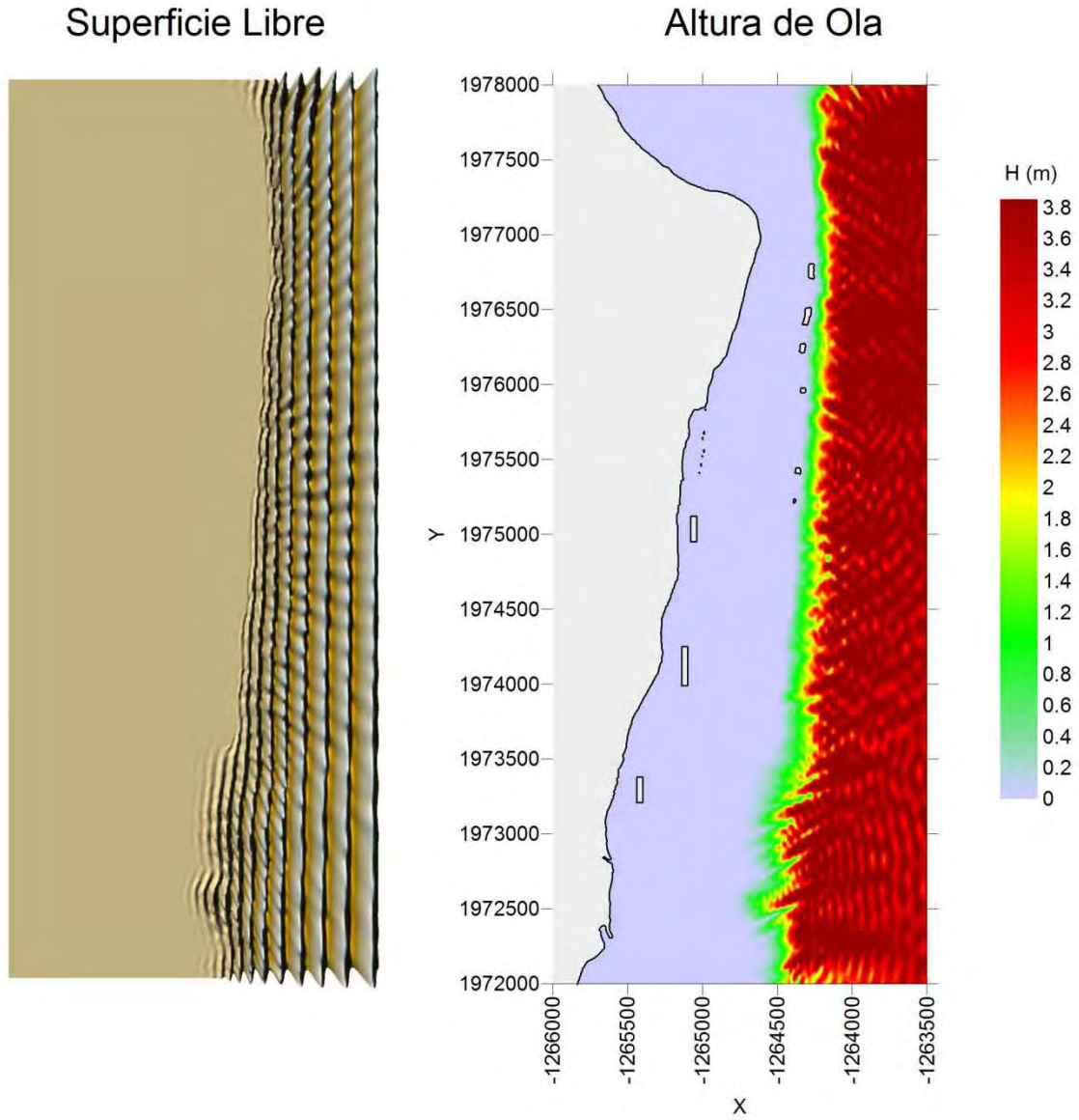
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



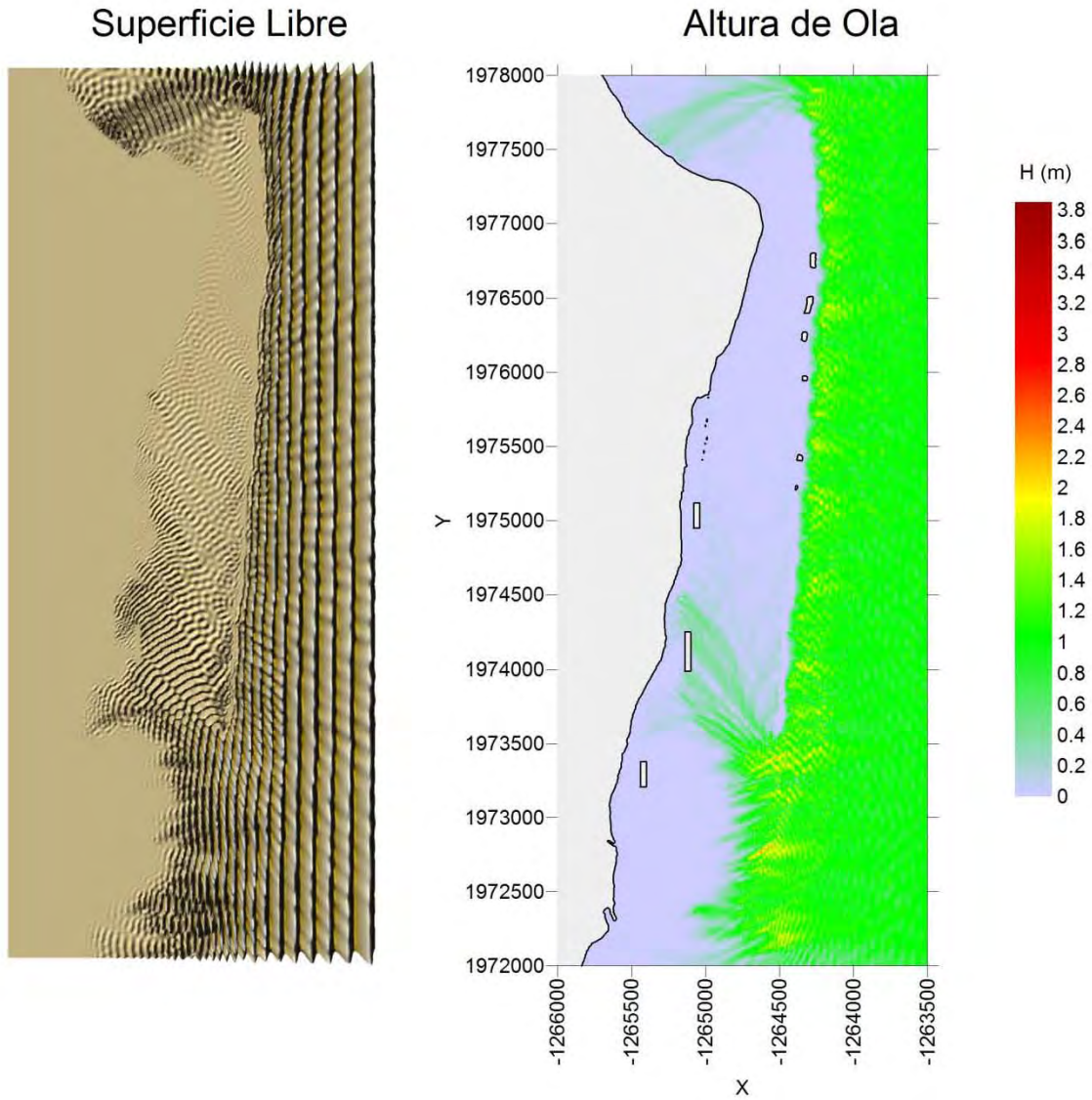
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



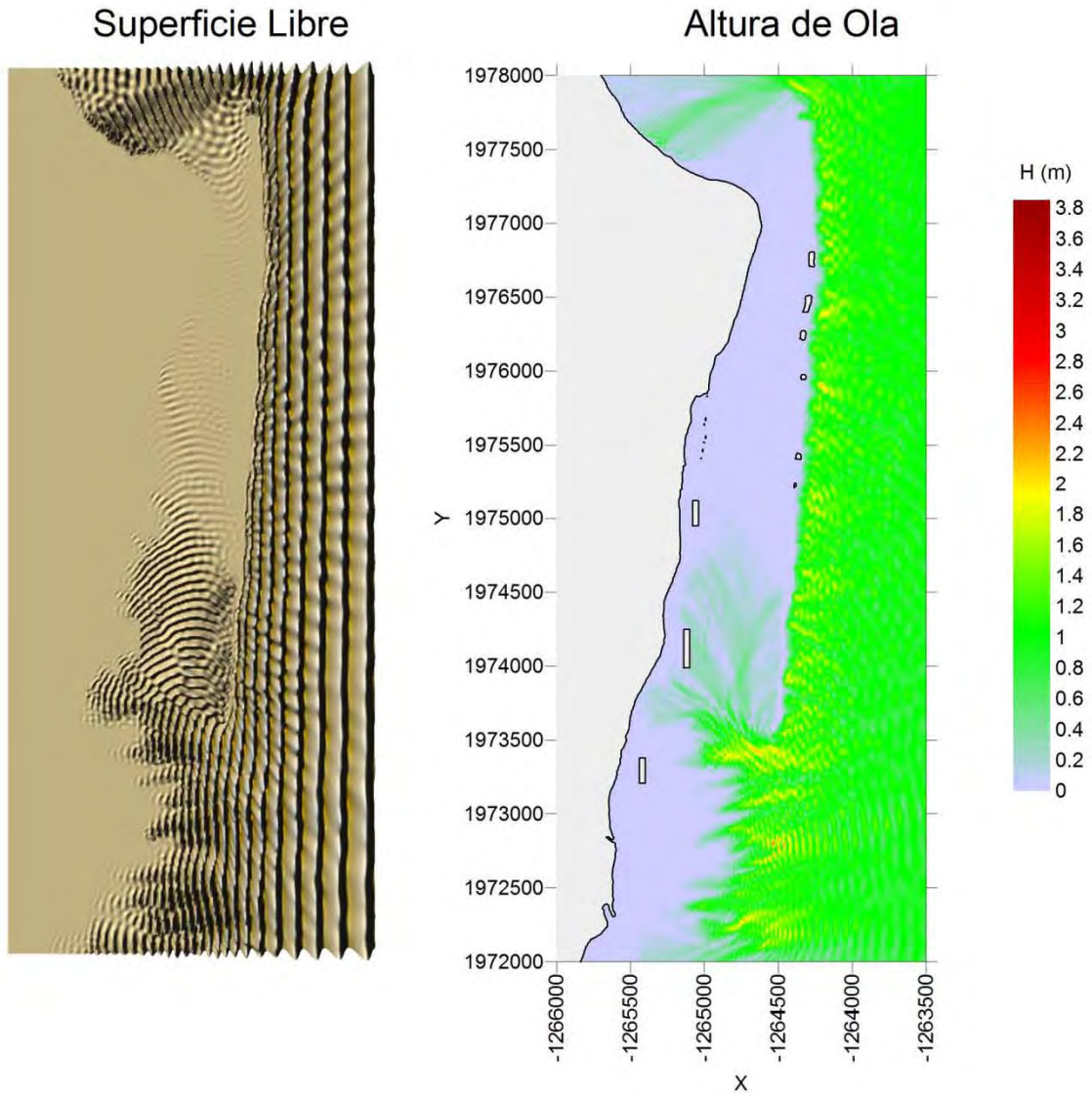
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



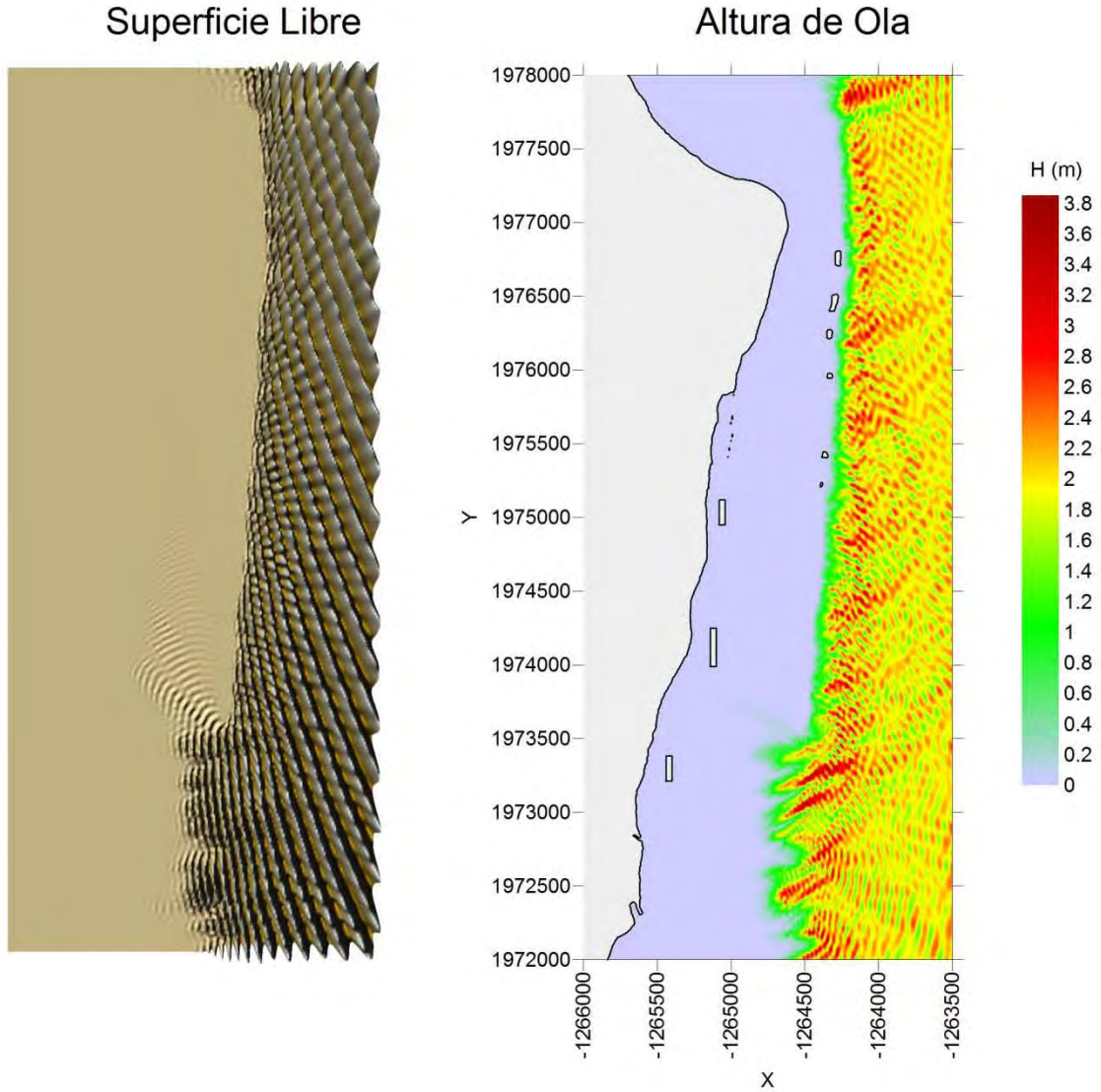
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



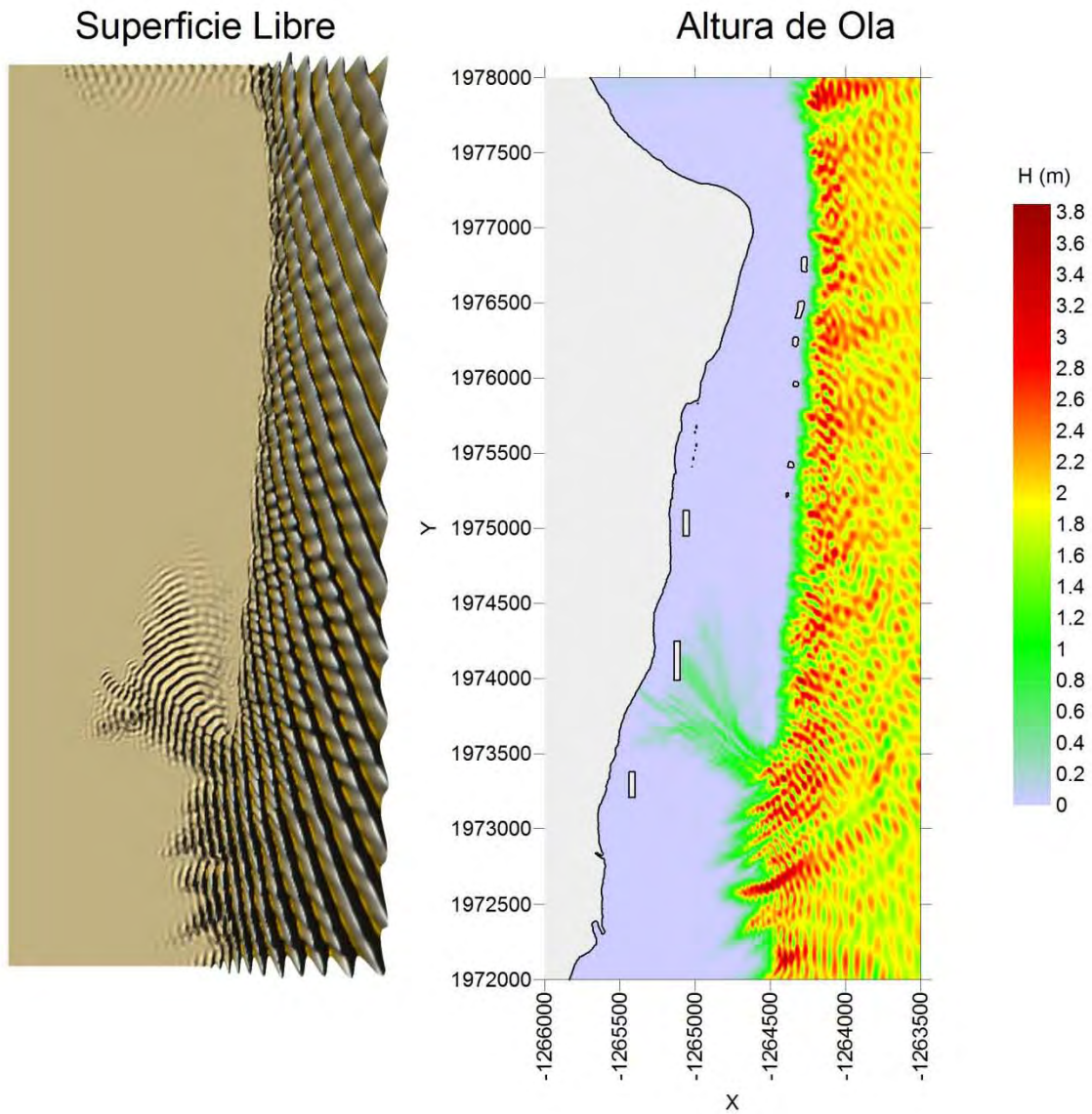
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



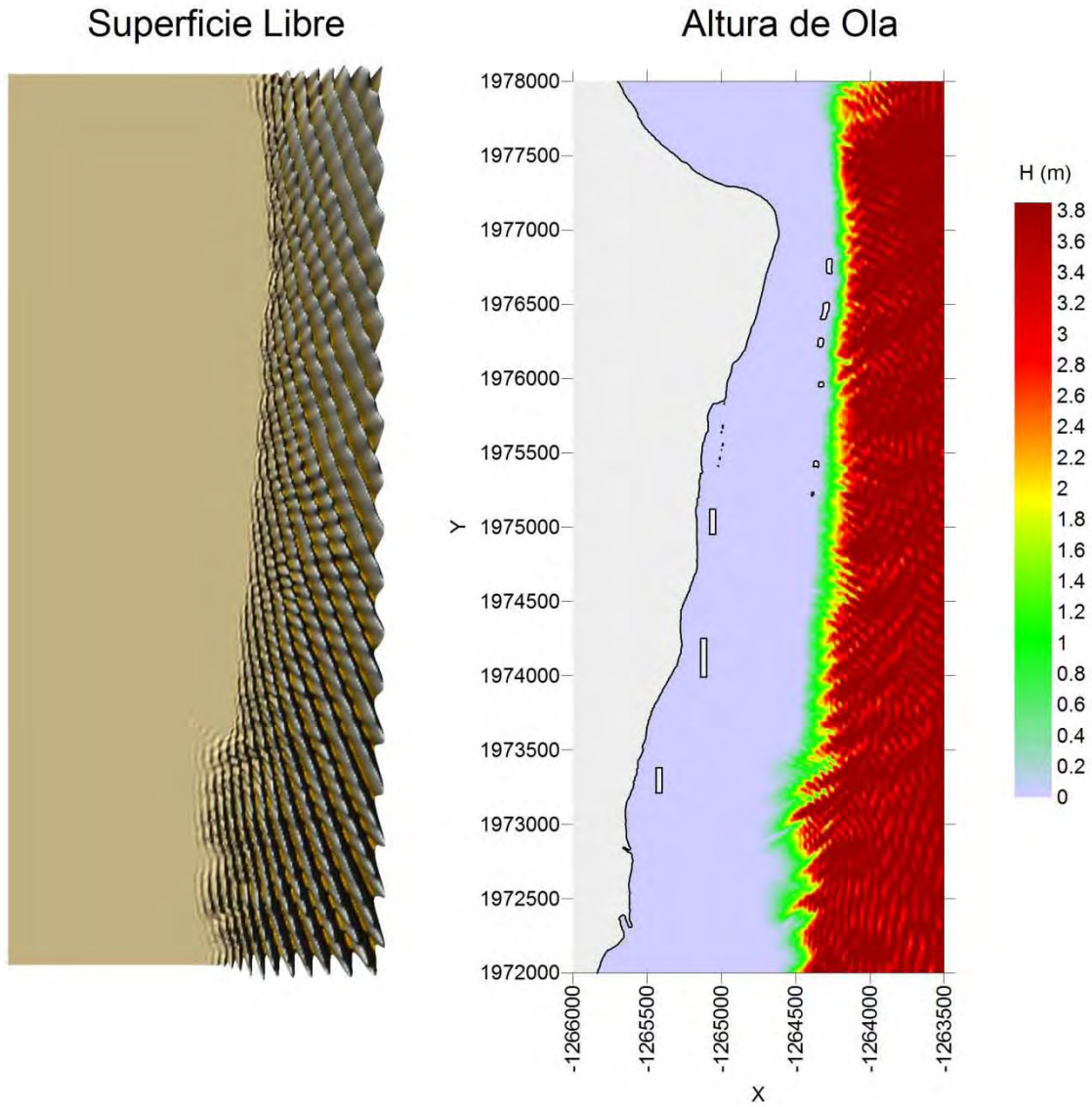
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



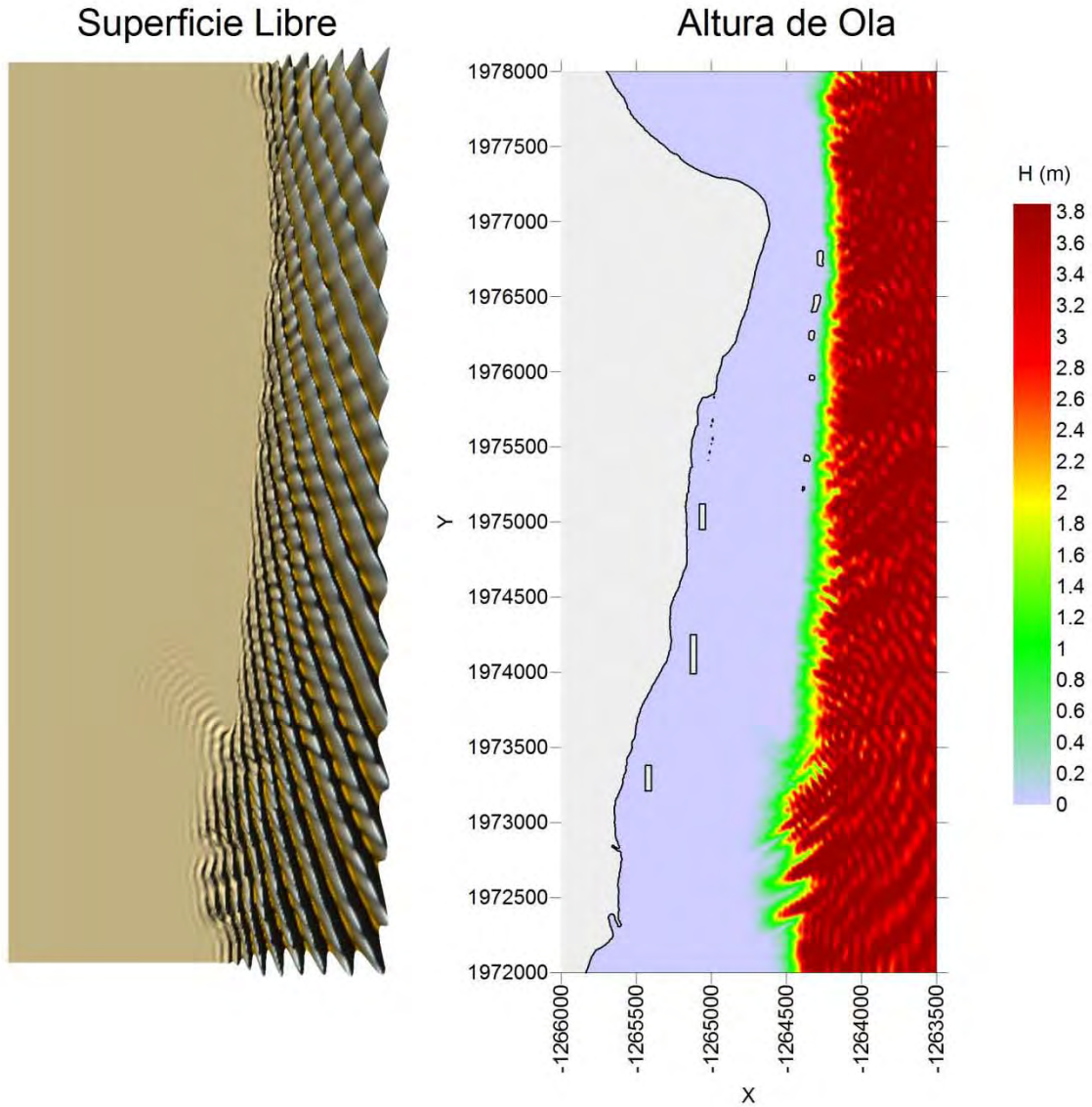
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



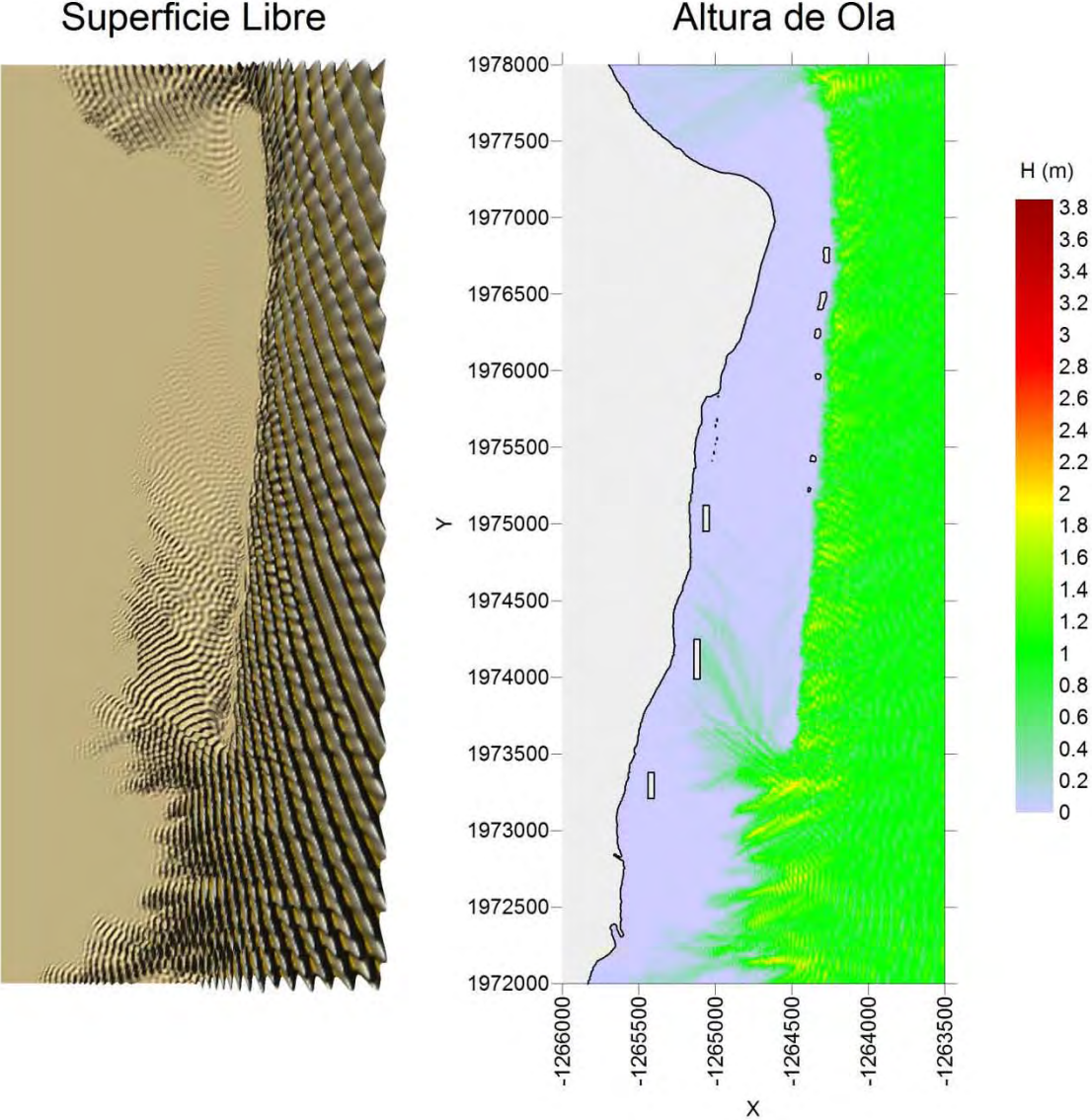
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



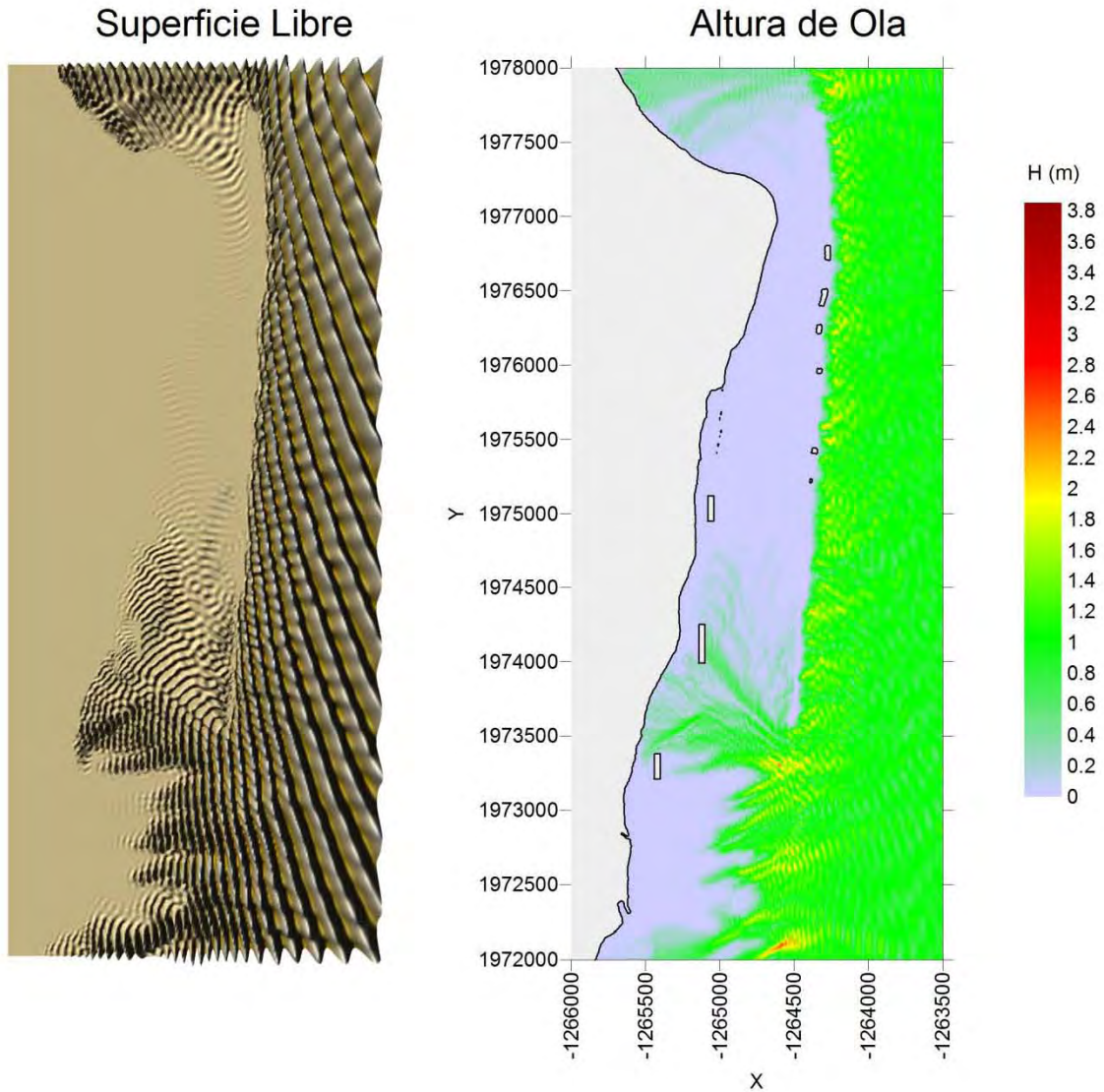
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



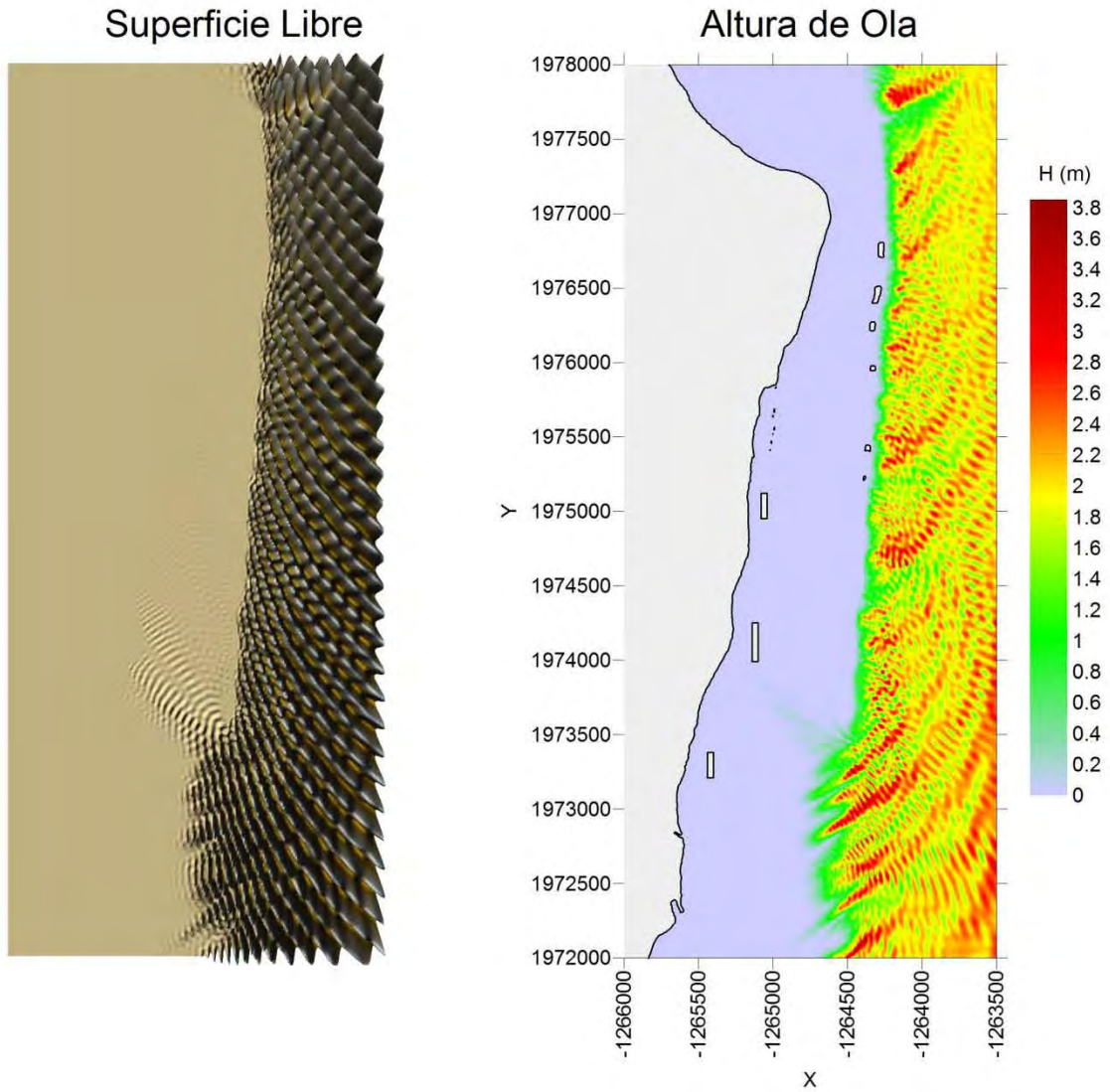
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



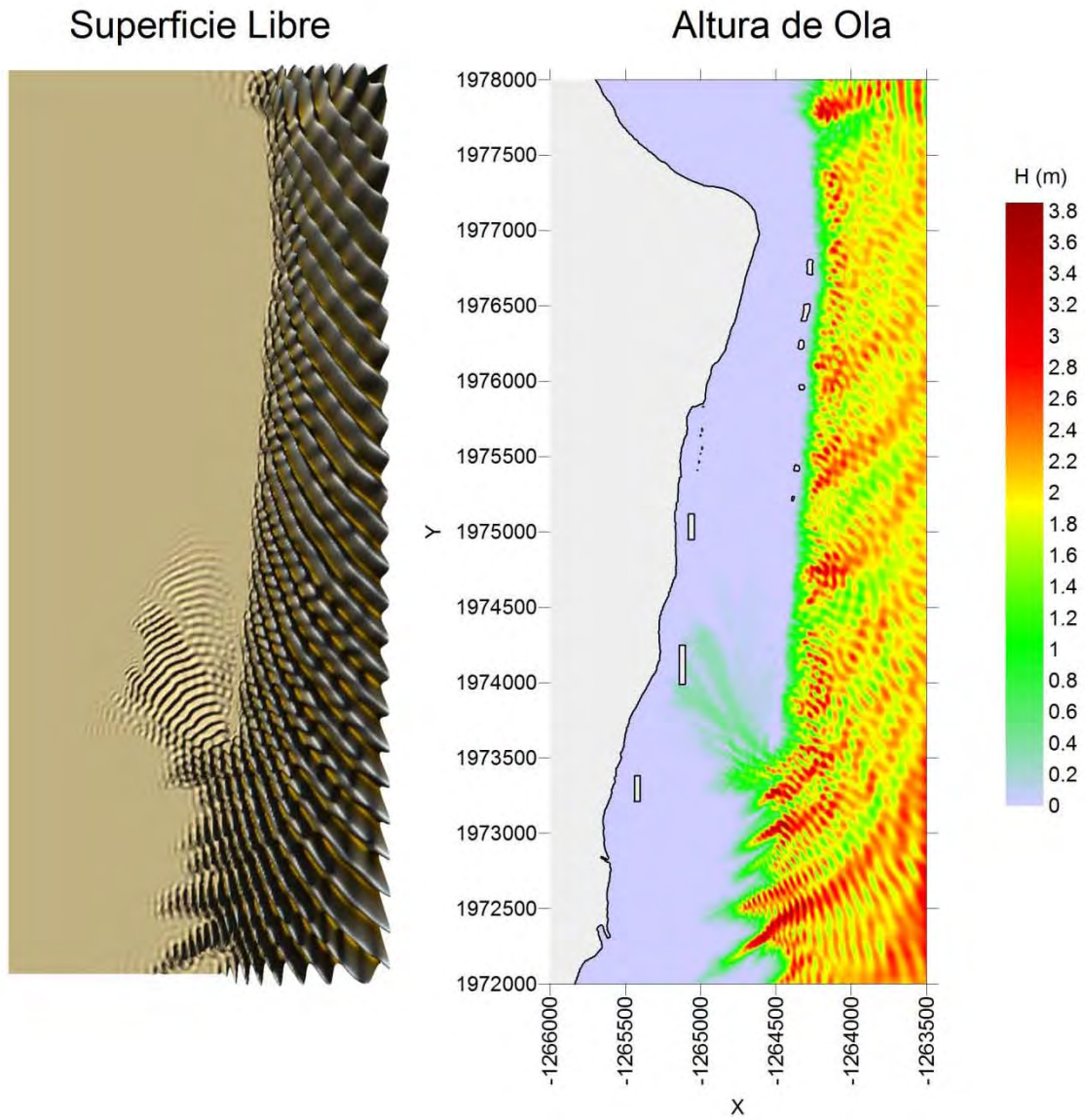
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



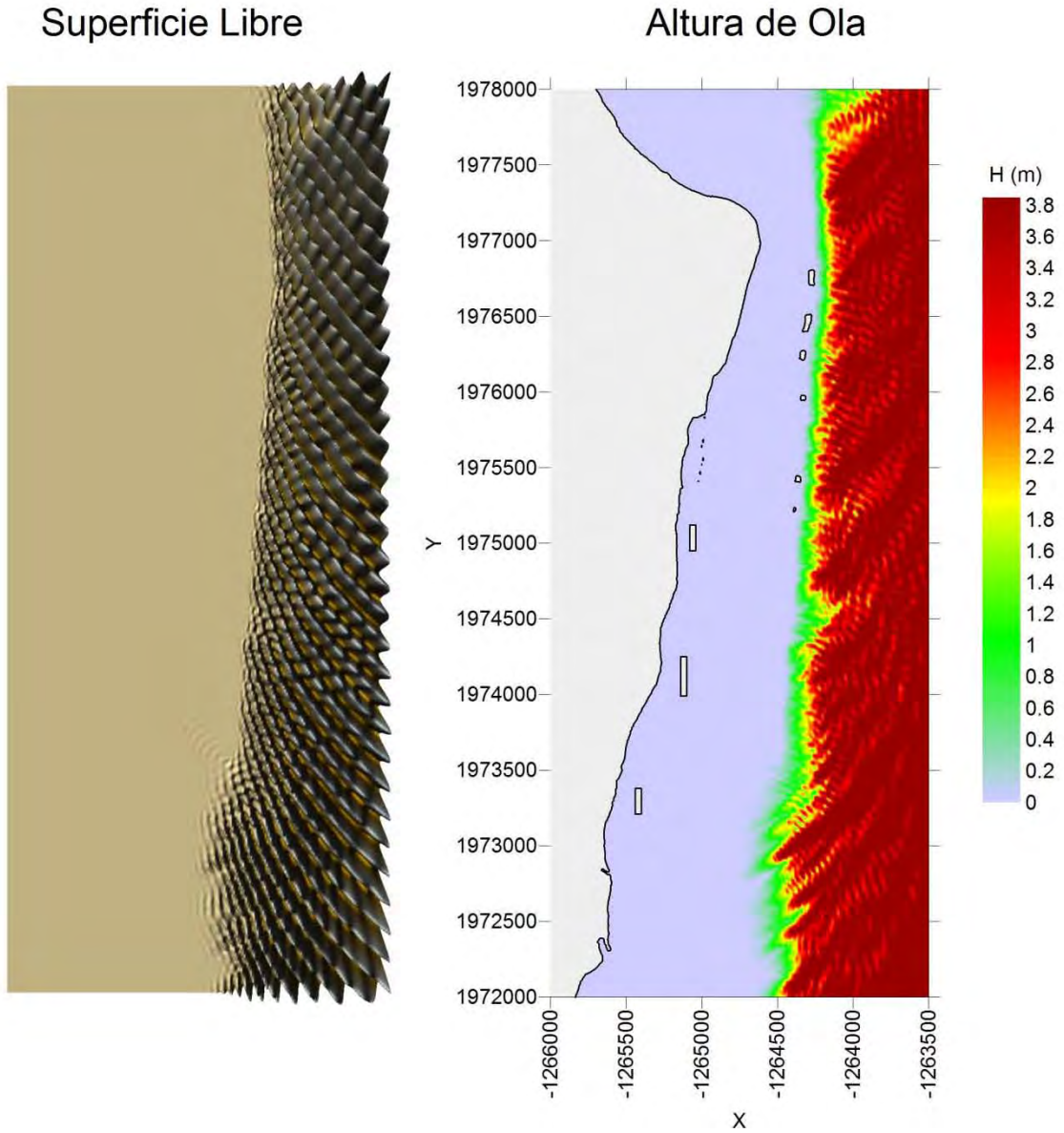
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



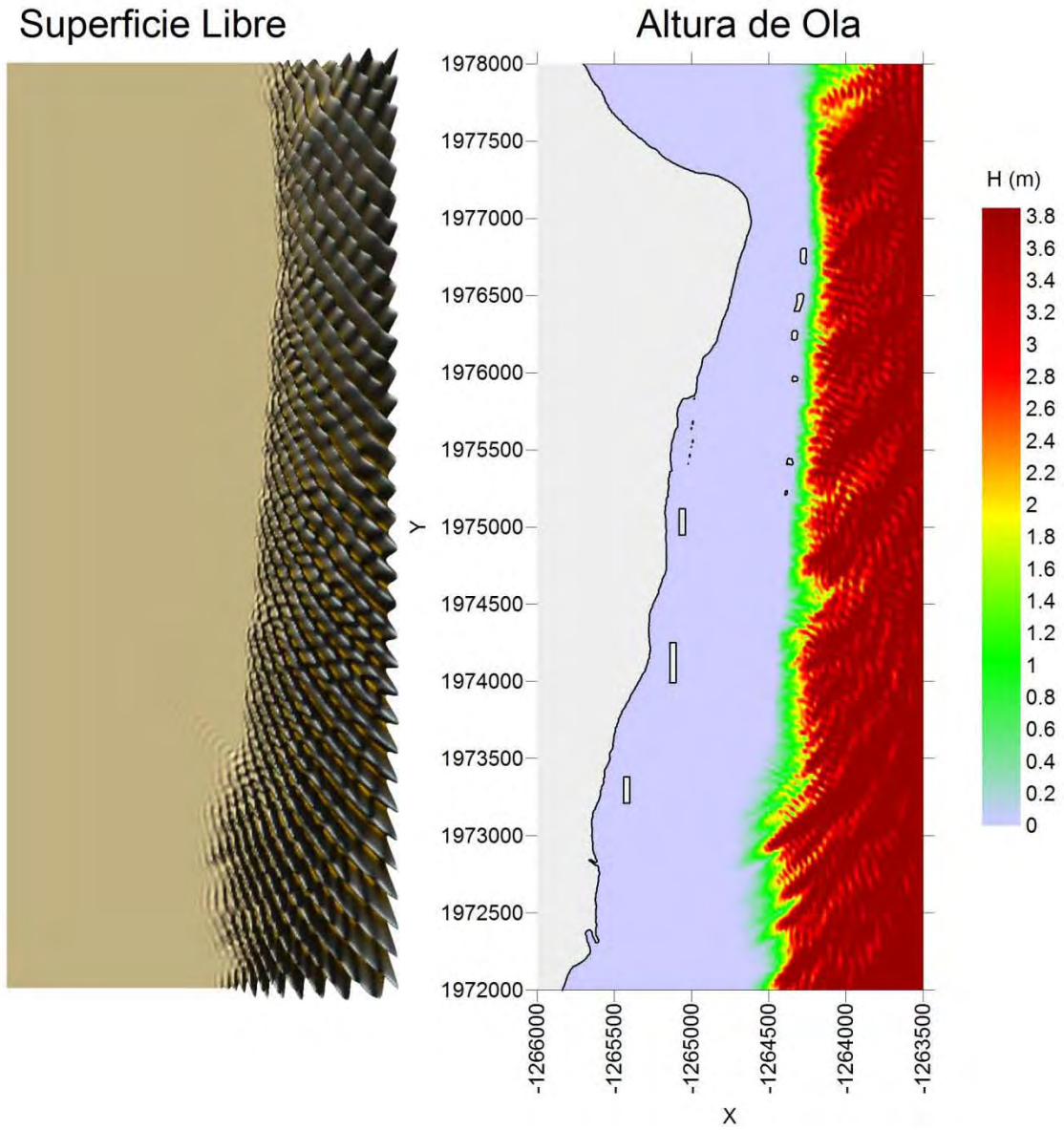
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



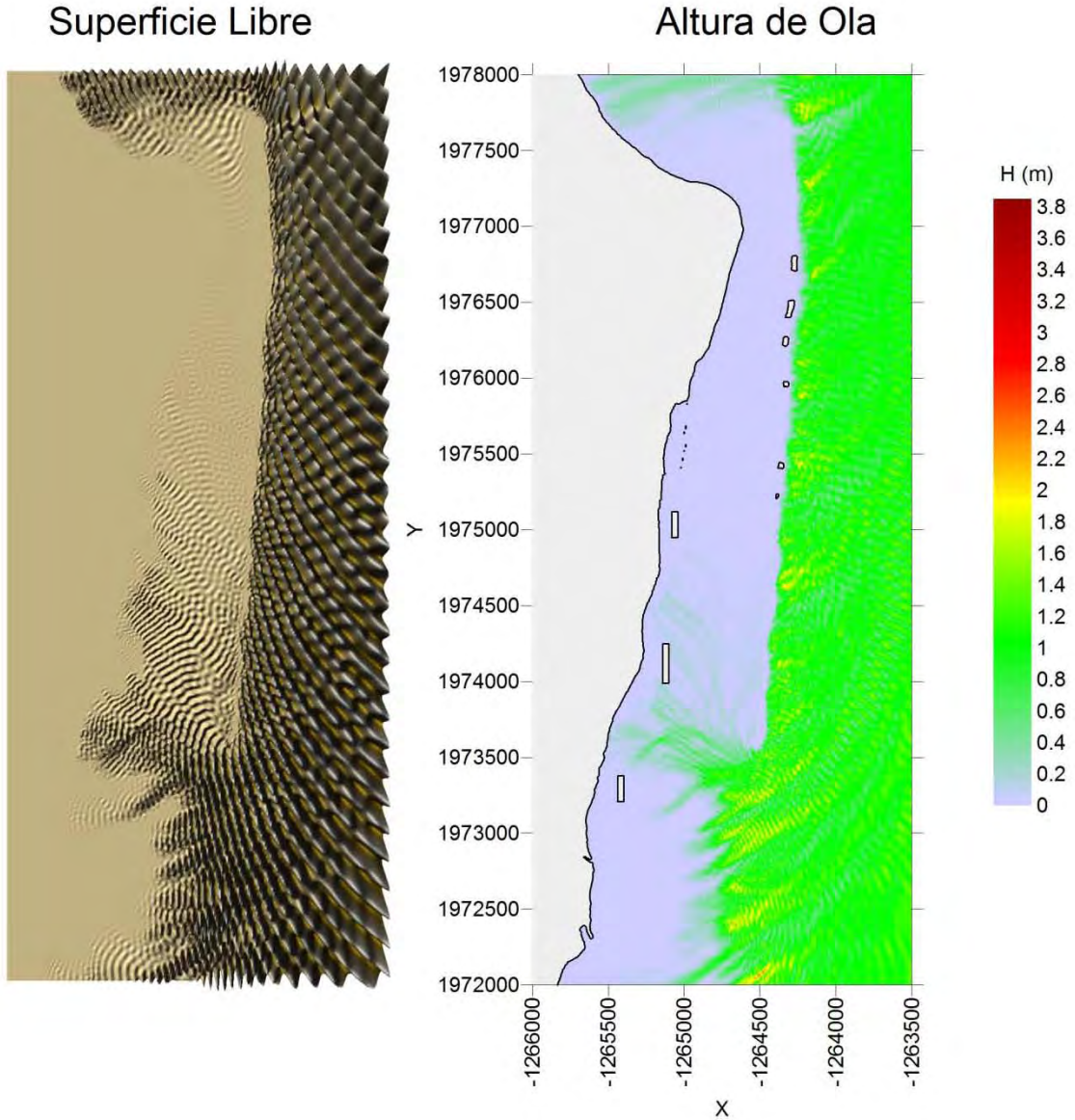
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



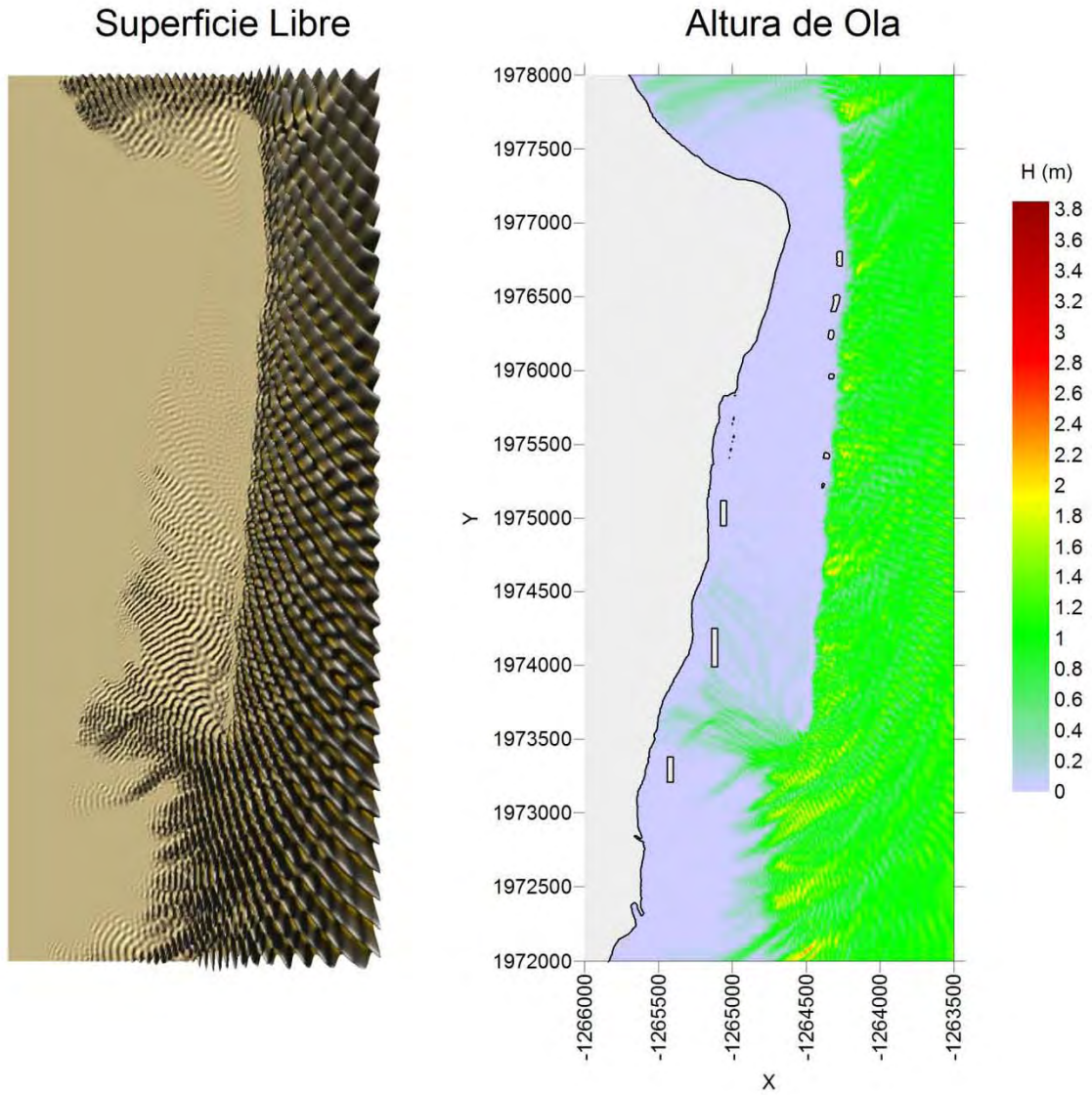
Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 10 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.

H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, S= 0 (m), T= 12 (s)



Nota: Este mapa es representativo de la localización de las estructuras protectoras.