



Memoria de proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO EN SECTORES DE MARGA MARGA,
BARÓN, CALETA PORTALES Y SAN MATEO, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE,
MEDIANTE TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN HIDROACÚSTICA.**

Enzo Javier Peirano Moreno

Diciembre 2019

**CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO EN SECTORES DE MARGA MARGA,
BARÓN, CALETA PORTALES Y SAN MATEO, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE,
MEDIANTE TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN HIDROACÚSTICA.**

Enzo Javier Peirano Moreno

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Alex Lobos A Profesor guía	_____	_____
Daniel Rossell Revisor	_____	_____
Felipe Caselli Revisor	_____	_____

DECLARACIÓN

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

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

Alex Lobos A.
Profesor guía

Enzo Peirano M
Alumno memorista

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos quienes me acompañaron y compartieron experiencias personales, conocimientos o simplemente un momento de distracción.

En particular quiero agradecer a mi familia, mamá y papá, quienes a pesar de todos los momentos difíciles remararon junto a mí para llegar a puerto, a mi hermano Francisco, a mi compañero de vida, Pablo, compañeros de trabajo, José, John, Ángela y Miguel, a Stefano por la grata retroalimentación que hemos tenido, a Felipe Caselli, Daniel Rossell y Alex Lobos, mis profesores guía, por su tiempo, paciencia e infinidad de conocimientos que han compartido conmigo, a mis amigos, Coke, Alfredo, Maricel y Angélica por su grata y eterna compañía. A los profesores Catalina Aguirre, Víctor Bravo y María Elena Valenzuela por siempre sus gratas palabras hacía mí y la confianza puesta en que al terminar esta etapa me iría muy bien, a mis compañeros de carrera y amigos, Michelle, compañera de estudio, Stefani, Diego, Dángela, Germán, Claudio, Jean Pierre, y a todos mis compañeros de generación.

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3	ALCANCES.....	3
4	MATERIALES Y HERRAMIENTAS.....	4
4.1	SISTEMA DE LEVANTAMIENTO DE DATOS BATIMÉTRICOS.....	4
4.1.1	<i>Sistema multihaz</i>	4
4.1.2	<i>Unidad de movimiento inercial</i>	5
4.1.3	<i>Sistema de navegación y posicionamiento</i>	6
4.2	MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO.....	7
4.3	SOFTWARES.....	7
4.3.1	<i>Qimera</i>	7
4.3.2	<i>Sonarwiz</i>	8
4.3.3	<i>Global mapper</i>	8
4.3.4	<i>Hypack</i>	9
4.4	EMBARCACIÓN.....	9
5	MARCO TEÓRICO.....	10
5.1	ONDAS.....	10
5.1.1	<i>Teoría de ondas</i>	10
5.1.2	<i>Onda acústica en el agua</i>	12
5.1.3	<i>Sistema multihaz</i>	15
6	METODOLOGÍA.....	18
7	RESULTADOS.....	27
7.1	BATIMETRÍA.....	27
7.1.1	<i>San Mateo</i>	27
7.1.2	<i>Barón</i>	31
7.1.3	<i>Caleta portales</i>	36
7.1.4	<i>Marga Marga</i>	41
7.2	RETRODISPERSIÓN.....	44
7.2.1	<i>San Mateo</i>	44
7.2.2	<i>Barón</i>	48
7.2.3	<i>Caleta Portales</i>	52
7.2.4	<i>Marga Marga</i>	56
8	CONCLUSIONES.....	60
9	REFERENCIAS.....	62

LISTA FIGURAS

Figura 3-1: Ubicación zonas de estudio, Valparaíso, Chile.	3
Figura 4-1: Componentes sistema Multihaz Edgetech 6205.	4
Figura 4-2: Unidad de movimiento inercial utilizada en el actual estudio.....	5
Figura 4-3: Antena GPS HEMISPHERE.	6
Figura 4-4: Sistema HEMISPHERE, vector VS330.	6
Figura 4-5: Perfilador de velocidad del sonido, AML base X.	7
Figura 4-6: Interfaz software Qimera.....	7
Figura 4-7: Interfaz software Sonarwiz.....	8
Figura 4-8: Interfaz software Global Mapper.	8
Figura 4-9: Interfaz software Hypack.	9
Figura 4-10: Embarcación GEOCIENCIAS.	9
Figura 5-1: Elementos de una onda.	10
Figura 5-2: Ondas transversales y longitudinales.....	12
Figura 5-3: Componentes de interacción entre dos medios para una onda incidente.....	14
Figura 5-4: Ensonificación sistema Multihaz.	16
Figura 5-5: Ejes principales de rotación embarcación.	17
Figura 5-6: Ejemplo zonas de prueba de parche.....	17
Figura 6-1: Líneas de recorrido para las cuatro áreas de estudio, A: San Mateo, B: Barón, C: Caleta Portales y D: Marga Marga.	18
Figura 6-2: Distribución sensores en la embarcación.....	19
Figura 6-3: Ubicación líneas prueba de parche.....	20
Figura 6-4: Serie de marea, 20 de marzo 2018.....	21
Figura 6-5: Serie de marea, 21 de marzo 2018.....	21
Figura 6-6: Serie de marea, 22 de marzo 2018.....	22
Figura 6-7: Serie de marea, 23 de marzo 2018.....	22

Figura 6-8: Serie de marea, 31 de agosto 2018.	23
Figura 6-9: Perfiles velocidad del sonido.....	23
Figura 6-10: Interfaz de trabajo software Qimera.	24
Figura 6-11: Interfaz de trabajo software Sonarwiz, comando "Bottom Tracking".	25
Figura 6-12: Interfaz de trabajo software Sonarwiz, comando clasificación de fondo.	26
Figura 7-1: Modelo digital batimétrico de San Mateo.	27
Figura 7-2: Ubicación perfiles batimétricos, San Mateo.	28
Figura 7-3: Perfiles batimétricos, San Mateo.	29
Figura 7-4: Elemento observado en San Mateo y perfiles descriptivos.	30
Figura 7-5: Modelo digital batimétrico Barón.	31
Figura 7-6: Ubicación perfiles batimétricos, Barón.	32
Figura 7-7: Perfiles batimétricos Barón.	33
Figura 7-8: Elemento observado Barón y perfiles descriptivos.	34
Figura 7-9: Perfiles datos brutos, Barón.	35
Figura 7-10: Actual "Lobera", vestigios del antiguo muelle de carbón.	35
Figura 7-11: Modelo digital batimétrico Caleta Portales.	36
Figura 7-12: Ubicación perfiles batimétricos, Caleta Portales.	37
Figura 7-13: Perfiles batimétricos, Caleta Portales.	38
Figura 7-14: Perfiles afloramiento rocoso, perpendiculares, Caleta Portales.	39
Figura 7-15: Perfiles afloramiento rocoso, paralelos, Caleta Portales.	40
Figura 7-16: Modelo digital batimétrico Marga Marga.	41
Figura 7-17: Ubicación perfiles batimétricos, Marga Marga.....	42
Figura 7-18: Perfiles batimétricos, Marga Marga.....	43
Figura 7-19: Fotomosaico fondo marino, San Mateo.....	44
Figura 7-20: Resultados pruebas algoritmo clasificación, San Mateo.	45

Figura 7-21: Clasificación y caracterización fondo marino, San Mateo.....	46
Figura 7-22: Elemento identificado, San Mateo.....	47
Figura 7-23: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), San Mateo.	47
Figura 7-24: Fotomosaico fondo marino, Barón.	48
Figura 7-25: Resultados pruebas algoritmo clasificación, Barón.	49
Figura 7-26: Clasificación y caracterización fondo marino, Barón.	50
Figura 7-27: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Barón.....	51
Figura 7-28: Fotomosaico fondo marino, Caleta Portales.	52
Figura 7-29: Resultados prueba algoritmo clasificación, Caleta Portales.	53
Figura 7-30: Clasificación y caracterización fondo marino, Caleta Portales.	54
Figura 7-31: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Caleta Portales.	55
Figura 7-32: Fotomosaico fondo marino, Marga Marga.....	56
Figura 7-33: Resultados prueba algoritmo clasificación, Marga Marga.	57
Figura 7-34: Clasificación y caracterización fondo marino, Marga Marga.....	58
Figura 7-35: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Marga Marga.	59

LISTA TABLAS

Tabla 4-1: Características técnicas sistema Multihaz 6205	5
Tabla 6-1: Correcciones estáticas sensores empleados adquisición datos	19
Tabla 6-2: Valores obtenidos de la prueba de parche.	20

RESUMEN

El uso de técnicas hidroacústicas, como es la transmisión y recepción de ondas acústicas en el agua, han permitido estudiar un medio complejo como el océano. Conocer algunas de sus características es fundamental para el desarrollo y toma de decisiones en diversas actividades que se lleven a cabo en dicho medio.

Este estudio de investigación posee un valor teórico debido a que contribuye al conocimiento del fondo marino. Para ello, se realizó un levantamiento hidrográfico a través de un sistema batimétrico multihaz en cuatro sectores marinos de la región de Valparaíso; San Mateo, Barón, Caleta Portales y Marga Marga.

Con base en dicha información adquirida, se realizó un análisis de las profundidades para cada sector (referidas al nivel de reducción de sondas local, referencia altimétrica) y se construyó un modelo digital batimétrico de alta resolución (50 [cms]). En la zona oeste de San Mateo se identificó la mayor profundidad en relación a los restantes sectores (72 [m]), Barón y Caleta Portales alcanzaron el veril de los 32 [m], al oeste y este respectivamente, mientras que Marga Marga alcanzó el veril de los 42 [m].

Se realizó un análisis de las características superficiales del fondo marino basado en la intensidad de eco reflejado. Para esto, se construyó un fotomosaico de los registros de retrodispersión y se utilizó la herramienta de clasificación del software Sonarwiz, la cual agrupa en clases los pixeles de similares características, permitiendo una correlación entre lo clasificado y visualizado en el fotomosaico. Una vez ejecutado el algoritmo de clasificación, la información se agrupó en dos clases: “sedimentos gruesos”, pertenecientes a partículas de mayor reflectividad y tamaño, y “sedimentos finos a medios” a partículas de menor reflectividad y tamaño. Esta clasificación fue posible solo en aquellos sectores donde el algoritmo reconoció diferencias en las respuestas de las intensidades en la señal acústica y relacionadas a lo visualizado en los fotomosaicos, caso contrario, se mencionan como “Sedimentos sin diferenciar”.

La parte costera de San Mateo presentó afloramientos rocosos, en otras áreas, sedimentos de menor tamaño y se identificó un posible naufragio. La parte oeste de Caleta Portales se caracterizó por una alta presencia de sedimentos gruesos, relacionados a afloramientos rocosos. En Barón y Marga Marga el algoritmo de clasificación no logró diferenciar patrones en las texturas observadas, coincidente con lo identificado en sus respectivos fotomosaicos, donde se observó uniformidad en la respuesta acústica del fondo marino. En Barón destacó la presencia de ripples (o rizaduras), asociadas a sedimentos de mayor tamaño y un rasgo morfológico bajo la estructura llamada “La Lobera”, asociada a vestigios de un antiguo muelle de Carbón. Finalmente, en Marga Marga destacó la presencia de un emisario submarino en dirección noroeste.

ABSTRACT

The use of hydroacoustic techniques like reception and transmission of acoustic waves in water has allowed the study of a complex environment like ocean. Recognize some of his characteristics is essential for the development and helps to make decisions about many activities. This research has a theoretical value because it contributes the understanding of that environment, for this, a survey was carried out using a bathymetric multibeam system on four places in Valparaíso; San Mateo, Barón, Caleta Portales and Marga Marga.

The multibeam data collected was used to analyze the depths (referred to a sounding reduction level, altimetric reference) and to build a high-resolution digital bathymetric model (50 [cms]) for the four areas. The west part of San Mateo reached depths of 72 [m], deeper than other areas. Barón and Caleta Portales reached depths of 32 [m] in the west and east parts respectively, while Marga Marga reached depths of 42 [m].

An analysis of the top sea-bed layer characteristics was made, this was based on the amplitude intensities of the reflected wave. For this analysis, a photomosaic was built from backscatter records and the Sonarwiz classification tool, which groups pixels of the similar characteristics, allowing a correlation between the classes and the photomosaic. The algorithm classes were grouped into two new classes “coarse sediments” or particles with bigger size and reflectivity, and “fine to middle sediments”, particles with small size and low reflectivity. This classification was possible only in those places where the algorithm recognized differences in the intensity of the acoustic signal and related to visualized in the photomosaics, in the opposite case, named as “Undifferentiated Sediments”.

San Mateo showed rocky outcrops along the coast, fine to middle sediments in other areas and a possible shipwreck. West part of Caleta Portales showed a high presence of coarse sediments related to rocky outcrops. In contrast, for Barón and Marga Marga the classification algorithm failed to differentiate patterns in the observed textures, consistent with the observed in the photomosaics, where a uniform response was shown. Finally, Barón photomosaic revealed ripples in the coast areas, associated with coarse sediments and an morphologic feature below the structure called “La Lobera” associated to an old structure which was part of the former “coal dock”. Marga Marga showed a submarine pipeline in northwest direction.

1 INTRODUCCIÓN

El avance en las tecnologías dedicadas a la descripción de fenómenos físicos para la caracterización del océano, ha permitido ampliar el conocimiento de dicho medio. En particular, el uso de sistemas batimétricos que utilizan el tiempo que tarda en ir y volver una onda acústica, han ayudado a caracterizar las profundidades y la capa superficial del fondo marino en sitios que, sin dichas tecnologías, hubiese sido difícil o imposible.

Con la información que entregan estos sistemas, llamados ecosondas, es posible realizar mediciones de las profundidades para un área deseada y construir modelos digitales batimétricos de alta resolución. Por otra parte, existen sistemas, tales como el empleado en el marco de este trabajo, que son capaces de registrar información respecto a la intensidad de la onda generada en la dirección de incidencia. Dicha información permite generar fотомosaicos del fondo marino en base a la reflectividad de las partículas o elementos allí presentes, permitiendo caracterizar la capa superficial del medio en el cual se reflejan (fondo marino).

Se posee acotada información de las profundidades marinas y la capa superficial de la zona costera de la región de Valparaíso, es por esto que se realizó un levantamiento en cuatro zonas de la región; San Mateo, Barón, Caleta Portales y Marga Marga. Con dicha información se analizó el rango de profundidades para cada sector en complemento a una clasificación superficial del fondo marino en base a la intensidad del eco obtenido.

En las secciones 2 y 3 se establecen los objetivos y alcances que limitan el trabajo, en la sección 4 se clarifican los equipos y softwares utilizados, luego el marco teórico que explica los principios acústicos y cómo lo implementan los sistemas batimétricos multihaz, la sección 5 expone la metodología utilizada para la adquisición, post proceso e interpretación de la información, y las secciones 6 y 7, los resultados y discusión general de lo obtenido.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar una caracterización del fondo marino en los sectores de Marga Marga, Barón, Caleta Portales y San Mateo, Región de Valparaíso, mediante técnicas de prospección hidroacústicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar modelos digitales batimétricos de alta resolución con bases en un levantamiento hidrográfico multihaz para los cuatro sectores de estudio.
- Construir fotomosaicos del fondo marino en base a la información de retrodispersión del levantamiento hidrográfico para los cuatro sectores de estudio.
- Realizar una descripción general de los sedimentos superficiales para los cuatro sectores estudiados en base a la información de retrodispersión.

3 ALCANCES

El dominio de estudio se encuentra en la Región de Valparaíso, Chile, específicamente en los sectores de San Mateo, Barón, Caleta Portales y Marga Marga (Viña del Mar) (ver Figura 3-1). Las áreas de prospección fueron de 28, 30, 50 y 80 [ha] respectivamente. Los datos para este trabajo fueron obtenidos mediante un levantamiento a través de la tecnología proporcionada por la empresa GEOCIENCIAS en dos etapas; la primera, desde el 20 al 23 de marzo del año 2018, la segunda, el 31 de agosto del mismo año, en ambos casos el autor participó de la expedición. Dichos levantamientos se realizaron desde una profundidad mínima de seguridad que permitiera el resguardo de la embarcación, tripulantes y equipo.

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó softwares con licencias proporcionadas por la empresa GEOCIENCIAS como QIMERA, SONARWIZ y GLOBAL MAPPER, por otra parte, para la interpretación y mapeo de datos se empleó el software HYPACK.

Finalmente, este estudio se limita a la caracterización del fondo marino a través de tecnologías de prospección hidroacústica, específicamente, Sistema batimétrico Multihaz y los resultados están limitados a la fecha de los trabajos.

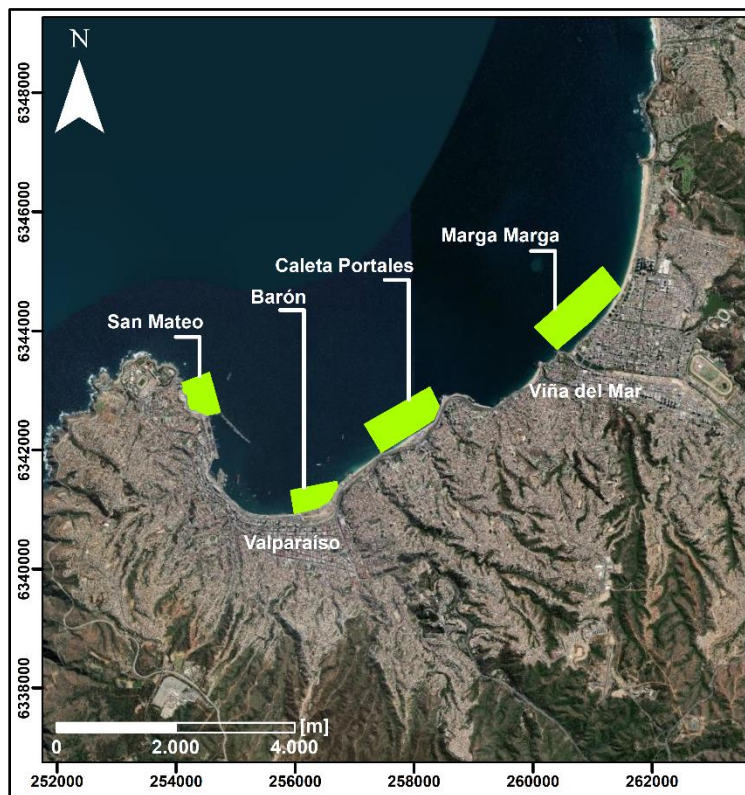


Figura 3-1: Ubicación zonas de estudio, Valparaíso, Chile.

(Fuente: Elaboración propia, basada en imágenes satelitales de ESRI, Arcmap.)

4 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

4.1 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO DE DATOS BATIMÉTRICOS

4.1.1 SISTEMA MULTHAZ

Descripción general del Sistema Multihaz

El sistema empleado para las mediciones de profundidad fue un ecosonda Multihaz EDGETECH modelo 6205 de alta resolución. Este sonar es un sistema dual, es decir, es un ecosonda Multihaz y un Sonar de Barrido Lateral en doble frecuencia. Está compuesto por dos transductores diseñados para trabajar en frecuencias de 230 y 550 [kHz], la batimetría puede ser obtenida en la frecuencia que se seleccione, mientras que la imagen de Barrido Lateral es almacenada en ambas frecuencias.

Cada transductor está construido por 11 elementos piezoeléctricos independientes, uno de ellos cumple la función de transmisión y de receptor de barrido lateral en alta resolución, mientras que los elementos restantes actúan como sensores receptores de batimetría (ver Figura 4-1).

La frecuencia a emplear es función de la profundidad a trabajar y la resolución deseada, una frecuencia de 230 [kHz] será útil para profundidades mayores, mientras que el canal de frecuencias de 550 [kHz] para agua someras, dicho sistema emplea la física de las ondas acústicas en el agua para la adquisición e interpretación de la información colectada (detalle de funcionamiento en 5.1.3).

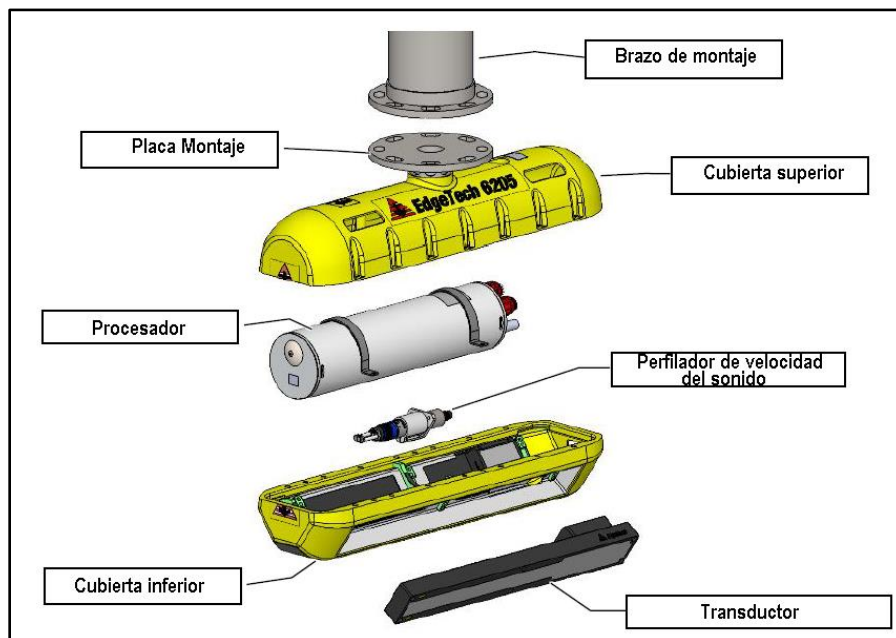


Figura 4-1: Componentes sistema Multihaz Edgetech 6205.

(Fuente: Adaptado de EdgeTech, 2017.)

Características técnicas del equipo

Tabla 4-1: Características técnicas sistema Multihaz 6205

MULTHAZ 6205 EDGETECH	
Modelo	6205
Frecuencias	230/550 [kHz]
Ancho banda horizontal	0.36°
Rango resolución	6 cm/2-15 [kHz], 8 cm/2-12 [kHz] y 10 cm/2-10 [kHz]
Modulación de pulsos	CW & FM CHIRP
Velocidad de adquisición	3-4 nudos (óptimo), 7 nudos (velocidad máxima de operación)
Navegación	GPS/NAV
Dimensiones	150 x 210 x 762[cm]
Peso	20 [kg]
Profundidad máxima de operación	150 [m]
Sistema operacional	Windows
Formato nativo de salida	JSF/XTF

(Fuente: Modificado de ficha técnica del sistema Multihaz 6205.)

4.1.2 UNIDAD DE MOVIMIENTO INERCIAL.

El movimiento continuo de la navegación provoca que se generen desviaciones relativas durante el recorrido de la onda acústica que deben ser compensados. Para la corrección y caracterización dinámica de la embarcación se utilizó una unidad de movimiento inercial (UMI, en adelante) marca TELEDYNE, modelo DMS-05 (ver



Figura 4-2). La UMI es un dispositivo electrónico que permite determinar la orientación, localización y movimiento de un cuerpo en el espacio, está formado por una combinación de acelerómetros y giroscopios, los primeros miden las fuerzas específicas y los segundos, la velocidad de rotación, integrándolos para determinar el cambio total respecto a la posición inicial.



Figura 4-2: Unidad de movimiento inercial utilizada en el actual estudio.

(Fuente: Extraído de geo-matching.com.)

4.1.3 SISTEMA DE NAVEGACIÓN Y POSICIONAMIENTO

Para definir la posición de la embarcación utilizada y al mismo tiempo georreferenciar la información de los datos registrados, se utilizó un receptor satelital Smart Antenna marca HEMISPHERE, modelo ATLAS LINK (ver Figura 4-3), con la capacidad de generar correcciones en tiempo real mediante señal satelital ATLAS.



Figura 4-3: Antena GPS HEMISPHERE.

(Fuente: www.hemispheregnss.com.)

Para definir el vector de rumbo y dirección de la navegación se utilizó un sistema de navegación marca HEMISPHERE modelo VECTOR VS330 (ver Figura 4-4), este modelo usa el posicionamiento diferencial GNSS y permite obtener la orientación de la embarcación. Sus dos antenas se montan por separado.



Figura 4-4: Sistema HEMISPHERE, vector VS330.

(Fuente: Extraído de www.hemispheregnss.com.)

4.2 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO

Para la compensación de los errores por variaciones en la velocidad de propagación de la onda acústica en el medio marino, se perfiló dicha variable a lo largo de la columna de agua con un perfilador de velocidad del sonido marca AML, modelo Xbase SVP (ver Figura 4-5). Dicho registro se llevó a cabo hasta la profundidad máxima de sondaje.



Figura 4-5: Perfilador de velocidad del sonido, AML base X.

(Fuente: amloceanographic.com.)

4.3 SOFTWARES

4.3.1 QIMERA

Software hidrográfico con una interfaz simple y fácil que permite procesar y analizar información geo-espacial en distintos formatos. Dicho software (ver Figura 4-6) entrega las herramientas necesarias para la limpieza, control de calidad y aplicación de diversas correcciones a los datos de entrada, por ejemplo; influencia de mareas, velocidad del

sonido, calibración de prueba de parche (descripción y valores obtenidos en 5.1.3 y Tabla 6-2).

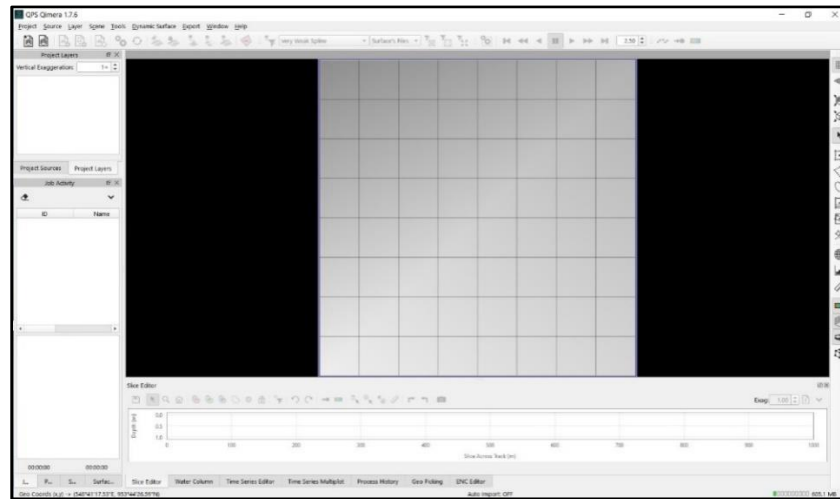


Figura 4-6: Interfaz software Qimera.

(Fuente: Extraído software Qimera).

4.3.2 SONARWIZ

Software (ver Figura 4-7) que permite procesar y generar fotomosaicos (o sonogramas) geo referenciados de variados archivos de datos acústicos en base a la intensidad acústica almacenada en cada pixel que conforma dicho fotomosaico. Posee herramientas de reconocimiento de hallazgos (ubicación y forma) y clasificación del tipo de fondo basado en la intensidad de la onda acústica reflejada en la capa superficial del fondo marino. (Chesapeake Technology, Inc., 2016)

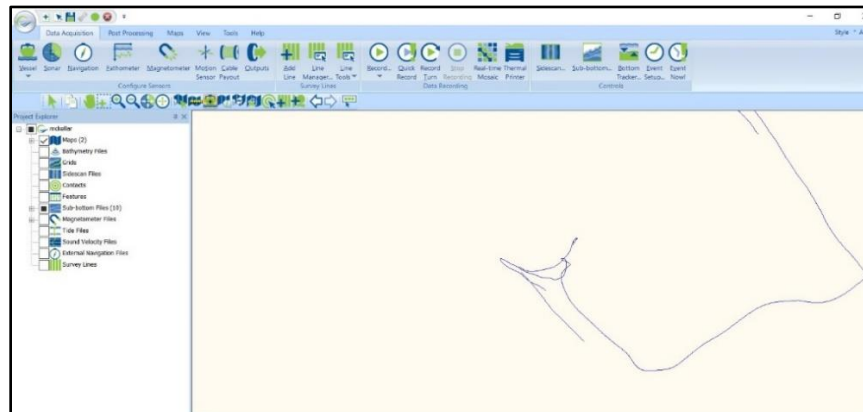


Figura 4-7: Interfaz software Sonarwiz.

(Fuente: Extraído software Sonarwiz).

4.3.3 GLOBAL MAPPER

Software (ver Figura 4-8) de información geográfica, permite el manejo de datos vectoriales y raster, ofreciendo una amplia librería de herramientas como; digitalización, visualización, edición y conversión.

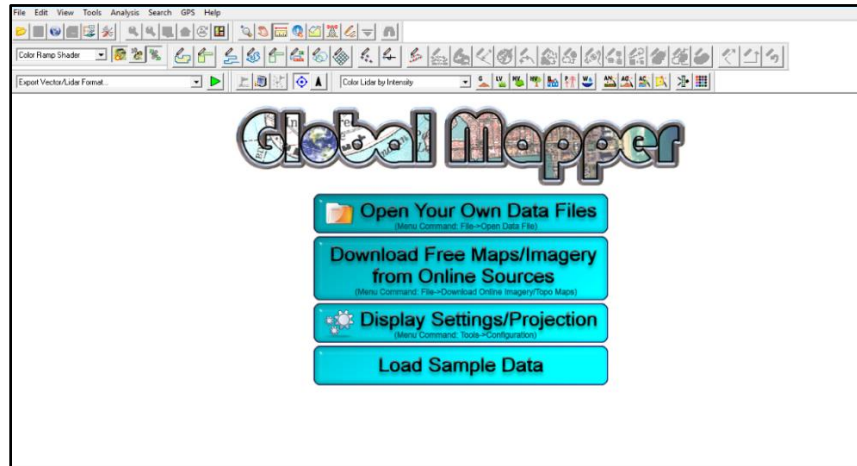


Figura 4-8: Interfaz software Global Mapper.

(Fuente: Extraído software Global Mapper).

4.3.4 HYPACK

Software (ver Figura 4-9) hidrográfico que permite la calibración, adquisición y proceso de múltiples sistemas sonares. Este permite controlar la dirección de la navegación, cobertura del área de sondaje y la planificación de líneas a sondear.

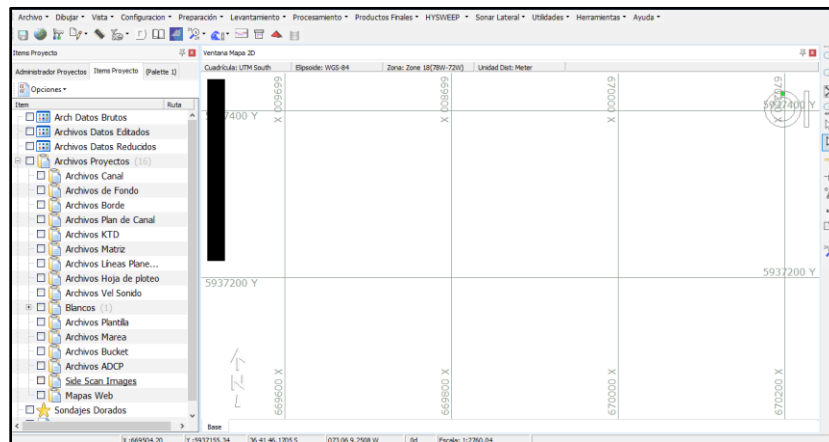


Figura 4-9: Interfaz software Hypack.

(Fuente: Extraído software Hypack).

4.4 EMBARCACIÓN

Para el montaje del sistema batimétrico multihaz, se utilizó una lancha a motor de 50 HP, con eslora de 7 [m] y manga de 2 [m]. La embarcación mencionada o “GEOCIENCIAS” (ver Figura 4-10), especialmente diseñada y condicionada para la integración y operación del sistema multihaz, cuenta con una instalación de acero inoxidable fuera de borda por babor donde se monta el mencionado sistema.



Figura 4-10: Embarcación GEOCIENCIAS.

(Fuente: Imagen proporcionada por Geociencias.)

5 MARCO TEÓRICO

5.1 ONDAS

5.1.1 TEORÍA DE ONDAS

Una onda es la propagación de una perturbación que sufren las partículas de un medio en el espacio y tiempo con transmisión de energía y no de materia. Si la oscilación de dichas partículas puede ser expresada como una función de seno o coseno, recibe el nombre de movimiento armónico (Resnick *et al.*, 1999).

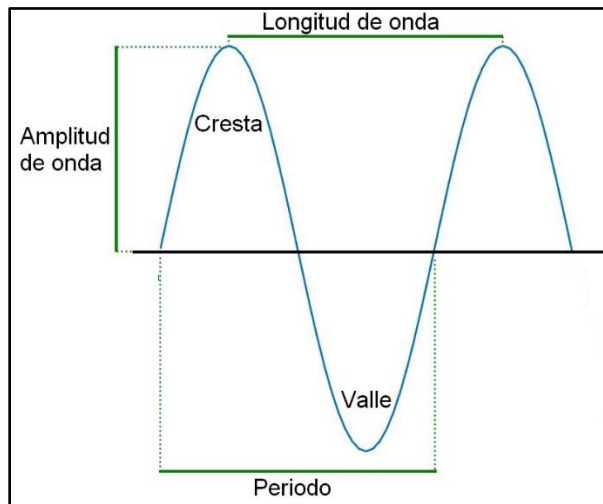


Figura 5-1: Elementos de una onda.

(Fuente: Elaboración propia.)

Dentro de los elementos que permiten entender el comportamiento de una onda (ver Figura 5-1) se encuentran, la cresta y valle, que son los puntos máximos y mínimos alcanzados respectivamente. A la zona de equilibrio de dicha vibración se le conoce como punto medio, este término da la referencia a la distancia de dicho punto a la cresta o valle, conocido como amplitud. La longitud de onda (λ , en metros) indica la distancia entre dos puntos de igual fase a lo largo de la dirección de propagación de la onda, mientras que el periodo (T), es el tiempo que le toma a una partícula moverse a través de un ciclo completo, es decir, el número de segundos por ciclo. Finalmente, este último parámetro (T) está inversamente relacionado a la frecuencia (f), el cual es descrito como el número vibraciones ejecutadas por una partícula en 1 segundo (1 hertz (Hz) = 1/s) (Bueche & Hecht, 2001).

$$f = \frac{1}{T}$$

Un fenómeno que puede ser descrito como un movimiento armónico, es el de mareas o marea gravitacional, el cual es el movimiento periódico de ascenso y descenso del nivel promedio del mar producto de las fuerzas gravitatorias entre la tierra, sol y luna. En un instante cualquiera, el nivel del mar se obtiene de la suma del nivel medio del mar, la marea y residuos meteorológicos.

El nivel medio del mar es definido como el plano en torno al cual oscila la marea y es un promedio de las alturas horarias (diario, semanal, mensual y anual). Los residuos meteorológicos o “marea meteorológica”, son irregulares y originados principalmente por variaciones de la presión atmosférica y vientos, este tipo de marea depende de la ubicación geográfica y la época del año ((SHOA) S. H., 1999).

El movimiento de las mareas se caracteriza por periodos en los cuales dicho fenómeno alcanza el nivel máximo, llamado pleamar (o cresta de la onda, ver Figura 5-1), mientras que el nivel mínimo alcanzado se le conoce como bajamar (o valle de la onda). En lo que

respecta a trabajos en el océano, la obtención de dichos planos mareales permite definir un plano al cual estén referidas todas las profundidades en un sector. En Chile, a este plano se le conoce como Nivel de Reducción de Sonadas (NRS, en adelante) y pertenece al plano que determina la mayor bajamar en sicigias. El uso de dicho plano (NRS) permite establecer un plano estandarizado debido a las variaciones de la superficie del nivel del mar al momento de realizar cualquier tipo de trabajo (SHOA, 1999).

5.1.1.1 Clasificación de ondas

(Giancoli, 2002) clasifica las ondas de acuerdo a su propagación en función de la dimensión o el medio en el que lo hacen, dicha dimensión puede ser; unidimensional, bidimensional o tridimensional, mientras que, en función del medio; ondas electromagnéticas u ondas mecánicas.

Las ondas electromagnéticas no requieren de un medio material para existir, o sea, pueden viajar a través del vacío. Todas las ondas electromagnéticas viajan a través del vacío a la misma velocidad y algunos ejemplos de este tipo de onda son la luz ultravioleta y visible, ondas de radio y televisión o rayos x.

Por otra parte, las ondas mecánicas están gobernadas por las Leyes de Newton y por la necesidad de un medio elástico para viajar (por ejemplo; aire, agua o roca). Debido a las propiedades elásticas del medio, la perturbación se propaga a través de éste cuando una onda alcanza a una partícula situada en dicho medio, la pone en movimiento y la desplaza, transfiriéndole de esta forma energía. Algunos ejemplos de este tipo de onda son las ondas acuáticas, ondas sonoras y ondas sísmicas (Hewitt, 1997).

Las ondas mecánicas se pueden clasificar según la dirección de vibración de las partículas y propagación de la onda, si la amplitud del movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, se habla de una onda transversal. Por otra parte, si la amplitud del movimiento de las partículas es a lo largo de la dirección de propagación de la onda, se conoce como onda longitudinal. En estas últimas, la zona de compresión corresponde a una zona de alta presión, es decir, las partículas se encuentran más concentradas, al avanzar esta zona de alta presión va dejando atrás una zona de baja presión (expansión) (ver Figura 5-2), ejemplo de ellas, las ondas sonoras (Hewitt, 1997).

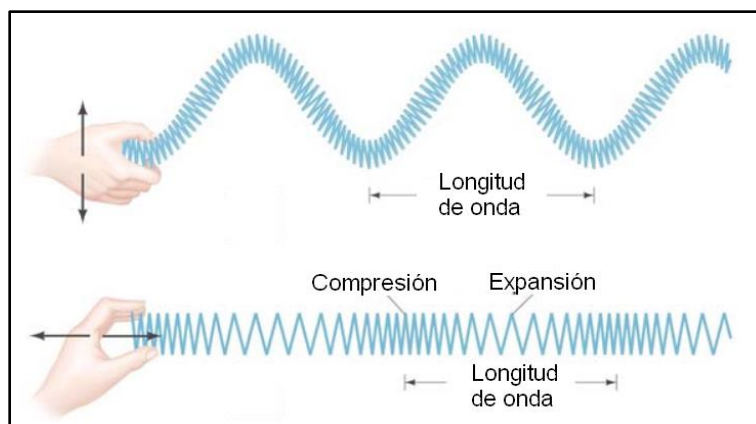


Figura 5-2: Ondas transversales y longitudinales.

(Fuente: Adaptado de Serway – Jewett, 2008.)

5.1.2 ONDA ACÚSTICA EN EL AGUA

Una onda acústica viaja en el agua a través del avance de una serie de frentes de presión, llamados también, ondas de compresión. Estos frentes se propagan a una velocidad específica en el agua, la cual puede variar dependiendo de las condiciones de dicho medio, como su salinidad, temperatura y presión.

Como se mencionó anteriormente, las componentes de una onda están estrechamente relacionadas, en particular, la longitud y frecuencia de la onda, éstas se relacionan a través de la velocidad de la onda acústica en el agua (medida en [$\frac{m}{s}$]).

$$V = \lambda * f$$

Una onda acústica transporta una cierta cantidad de energía acústica, esta energía puede ser medida por un instrumento llamado hidrófono, el cual registra las oscilaciones en la presión a medida que los frentes de presión de una onda acústica pasan. El tamaño de dichas oscilaciones es la amplitud de la onda, y dicha amplitud está relacionada a la energía acústica transmitida en la onda (mayor amplitud de onda, transporta mayor energía).

Cuando dicha onda viaja a través del agua, se encuentra con elementos que pueden reducir su fuerza (o intensidad). Cualquier pérdida de fuerza en la señal de esta forma se conoce como pérdida de transmisión.

5.1.2.1 Pérdidas de transmisión

Las pérdidas de transmisión están relacionadas a la reducción de la energía de una onda acústica que viaja alejándose de su fuente, mucha de esta energía se pierde por las condiciones del océano y distancia. Los procesos relacionados a la pérdida de transmisión acústica son; divergencia, absorción y dispersión. La pérdida por divergencia es independiente de la frecuencia, en cambio, la absorción y dispersión están relacionados a pérdidas por atenuación que dependen de la frecuencia de transmisión. Altas frecuencias se atenúan más rápido, el haz es más estrecho, lo que implica un menor rango y conlleva a una mayor resolución de los objetos más cercanos, mientras que baja frecuencia, puede viajar sin mayores obstáculos a través del medio, lo que implica la detección de objetos a distancias mayores, pero también a resoluciones menores (Naval Personnel Program Support Activity, 1968).

Divergencia

Cuando una onda acústica se proyecta desde una fuente, adopta una forma esférica, propagándose igualmente en todas las direcciones. Dicha propagación es llamada divergencia esférica, y mientras más avanza la onda, más energía pierde. Debido a su divergencia esférica, la energía perdida por una onda acústica, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde su fuente.

En áreas de poca profundidad, la superficie y el fondo son fronteras que limitan la divergencia vertical de la onda acústica, esto conlleva a que el frente de onda que se

propaga adopte una forma cilíndrica en lugar de esférica y con una pérdida por propagación de solo la mitad de la esférica (Naval Personnel Program Support Activity, 1968).

Absorción

La pérdida por absorción está relacionada a las repetidas compresiones y expansiones de la onda acústica, esto provoca que las moléculas de agua se muevan de un lado a otro, permitiendo el paso de dicha onda y perdiendo energía producto del roce entre dichas moléculas.

Dispersión

Además de las pérdidas causadas por divergencia y absorción, una onda acústica pierde energía debido a la composición del medio por el que pasa. La composición del océano varía dependiendo del lugar y momento. En general, el agua de mar contiene gran cantidad de partículas diminutas de materia y muchos tipos de vida marina de todas las formas y tamaños (Naval Personnel Program Support Activity, 1968).

Cuando una onda acústica viaja en un medio puede encontrarse en la frontera con otro medio, donde, una parte de su energía se propaga hacia ese medio y otra se refleja. La cantidad de energía transmitida depende de varios factores que incluyen; impedancia (producto de la densidad del medio y la velocidad del sonido de él), la cual es la resistencia que opone un medio a las ondas acústicas que se propagan sobre este, generando disipación de energía, el ángulo de incidencia de dicha onda (ángulo en el cual llega al nuevo medio) y la rugosidad superficial del nuevo medio (Kinsler *et al.*, 1999).

La energía que no se transmite a este nuevo medio vuelve al medio incidente como sonido, una cantidad es reflejada en la superficie del nuevo medio, esto es, rebotar en una dirección que depende del ángulo de incidencia, el resto se dispersa en todas las direcciones (ver Figura 5-3). La energía que regresa el agua (es decir, la energía que no se transmite al nuevo medio) es llamada eco (L3 communications, 2000).

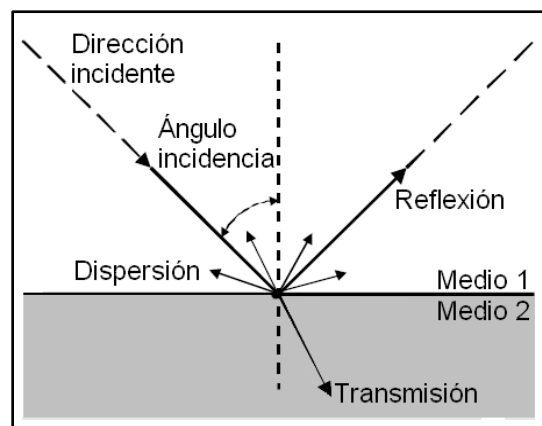


Figura 5-3: Componentes de interacción entre dos medios para una onda incidente.

(Fuente: Adaptado de L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000.)

Aplicación del sonido en sistemas hidrográficos

A principios del siglo XX el ascendente interés por el estudio de las características del océano, como sus profundidades y la composición del fondo marino llevaron a desarrollar los primeros métodos o técnicas de muestreo. Uno de esos métodos consistió en el uso de una cuerda al costado de una embarcación para medir las profundidades de un determinado punto. Este tipo de métodos se acotaban al estudio en lugares no complejos.

Los avances tecnológicos y científicos respecto de la propagación de las ondas acústicas en el medio acuático y cómo interactúa dicho fenómeno con la frontera de otros medios, llevó a la implementación de los primeros sonares, destinados inicialmente para la marina y entidades ligadas a la oceanografía (Dierssen & Theberge Jr, 2014). Estos sonares trabajan en base a la interacción de la onda acústica entre dos medios e inicialmente utilizaban sólo un haz (sistema monohaz), lo cual limitaba el área ensonificada y los tiempos de trabajo. Con las nuevas tecnologías disponibles, se implementaron los sistemas batimétricos multihaz, que llevaron a distintos avances como; reconocimientos arqueológicos, búsqueda de naves hundidas y estudios superficiales del fondo marino (Klaucke, 2018).

Recientemente, varios autores (Buscome *et al.*, 2015; Dartnell & Dardner, 2004; Rodrigo, 2006) han empleado distintas características de los actuales sistemas batimétricos multihaz, en particular, para estudios relacionados a la adquisición de profundidades y reconocimiento de sedimentos superficiales en el fondo marino, esto último en base a fotomosaicos (o sonogramas) de la intensidad de las señales acústicas recibidas (retrodispersión, imagen de barrido lateral). Como la construcción de dicho fotomosaico está relacionado a la intensidad de cada pixel que lo conforma y dicha intensidad está relacionada con las características propias del medio (por ejemplo, morfología) en la cual se refleja la onda, la intensidad del eco retornado puede emplearse como un indicador de la composición de los sedimentos.

Una superficie más dura, con mayor impedancia acústica, como sedimentos más gruesos, retornan más energía acústica que los sedimentos más finos, como el limo, por ejemplo. Esta relación entre la señal recibida y la textura de los pixeles de dicho fotomosaico proveen un fundamento para la distinción de tamaños de los granos y dureza de un determinado ambiente sedimentario.

5.1.3 SISTEMA MULTHAZ

Como se mencionó anteriormente, el avance en las tecnologías llevó al desarrollo de distintos sistemas que trabajan en base a la propagación del sonido en el agua y su interacción entre distintos medios, llamados sonares o ecosondas. En particular aquí se detalla el funcionamiento de los ecosondas batimétricos multihaz.

5.1.3.1 Características del sistema

Un sonar es un dispositivo que usa el sonido en el agua, un tipo de estos son los llamados sonares activos, que emiten y reciben la señal acústica. El principio general de estos equipos es la generación de una onda sonora a una frecuencia controlada y luego la

recepción de dicho eco producto del cambio de medio, por ejemplo; superficie del fondo marino.

El tiempo entre la generación-transmisión de dicha onda acústica y su retorno, es el tiempo que le toma viajar, conocido este tiempo y la velocidad del sonido en el agua, es posible calcular la distancia o rango. El sonar usa unos dispositivos llamados transductores, estos están contruidos de cerámica piezoeléctrica y son utilizados para producir ondas acústicas con ciertas características. A dichos transductores se les aplica energía eléctrica, haciéndolos oscilar y convirtiendo dicha energía eléctrica en una onda acústica a una determinada frecuencia. Cuando esta onda es recibida de regreso en forma de eco una unidad de procesamiento interpreta la señal, es decir, toma el tiempo que le demora a la onda ir y regresar y la convierte en profundidad en función de dicho tiempo y la velocidad del sonido. Con respecto a la señal enviada, el proceso de propagación y el encuentro con un nuevo medio llevará a cambios en la intensidad de la energía reflejada, esta razón que vuelve en la misma dirección de incidencia se le conoce como retrodispersión (backscatter en inglés) (L3 communications, 2000).

Con dicha información, se unen los datos de todas las señales reflejadas-recibidas y se construye un fotomosaico con el que es posible diferenciar aspectos superficiales del fondo marino. En todas las partes de este proceso, o sea, generación de la onda acústica, propagación, eco y recepción, existen algunas fuentes que se agregan a la señal final recibida, por ejemplo, criaturas submarinas y falsas señales, estas se conocen como ruido acústico y dicho ruido puede limitar el rango de alcance.

La señal enviada por el transductor a través del medio está relacionada al ancho del haz, este es el ángulo aproximado con el que se propaga dicha señal, la medición se efectúa en cualquier dirección en el interior del área ensonificada por el haz (ver Figura 5-4). El ancho del haz está relacionado a las dimensiones del transductor y la longitud de la onda acústica, por otra parte, el ancho del barrido está condicionado a la profundidad que se desea sondear (EdgeTech, 2017; L3 communications, 2000).

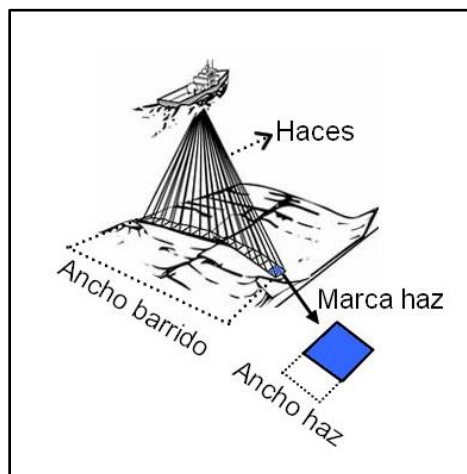


Figura 5-4: Ensonificación sistema Multihaz.

(Fuente: Adaptado de www.oicinc.com.)

5.1.3.2 Correcciones de las mediciones

Como el océano es un sistema dinámico, cualquier embarcación (y equipos montados en ella) estará sujeta a los efectos o movimientos de dicho sistema. Con el fin de que las mediciones sean lo más precisas posibles, es que se lleva a cabo una serie de mediciones definidas por cada fabricante para así corregir incertidumbres, como distancia entre sensores, movimientos, otros.

Correcciones estáticas

Las correcciones estáticas corresponden a los valores de referencia de los sensores y el sistema Multihaz en relación a un punto 0 de un plano arbitrario en la embarcación, en particular, a la ubicación de la UMI. A partir de dicho punto se miden las distancias y los valores obtenidos se ingresan al software de proceso de datos, y de esta forma, las mediciones del sonar quedan referidas al punto de referencia de la UMI (esquema de dichas correcciones y valores obtenidos para este estudio en sección 6).

Correcciones dinámicas

Las correcciones dinámicas son los valores que permiten corregir los movimientos angulares de la embarcación y la disposición de los componentes del sistema multihaz. Estas correcciones se hacen en función de los tres ejes principales de rotación definidos en el sistema de navegación inercial (ver Figura 5-5), denominado Prueba de Parche (Patch Test, en inglés).

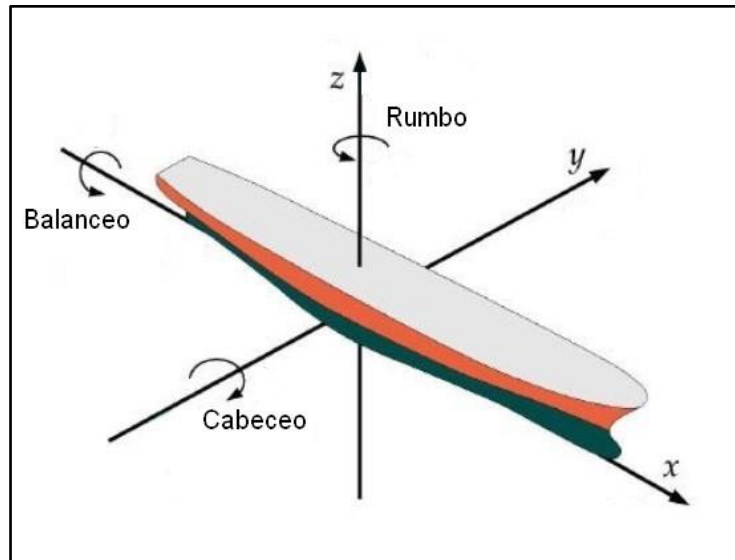


Figura 5-5: Ejes principales de rotación embarcación.

(Fuente: Adaptado de Rostock, 2012.)

Para la corrección de cada uno de estos parámetros se debe cumplir que; en el balanceo las líneas deben ser sobre un área plana, tres líneas equiespaciadas, misma velocidad de navegación, pero la línea central en sentido contrario a sus líneas laterales. Cabeceo, se

debe obtener dos líneas, a la misma velocidad de navegación, en sentido contrario y sobre una pendiente u objeto, finalmente, para el rumbo, se debe ejecutar dos líneas en igual sentido, velocidad de navegación y sobre una pendiente u objeto (Ver Figura 5-6).

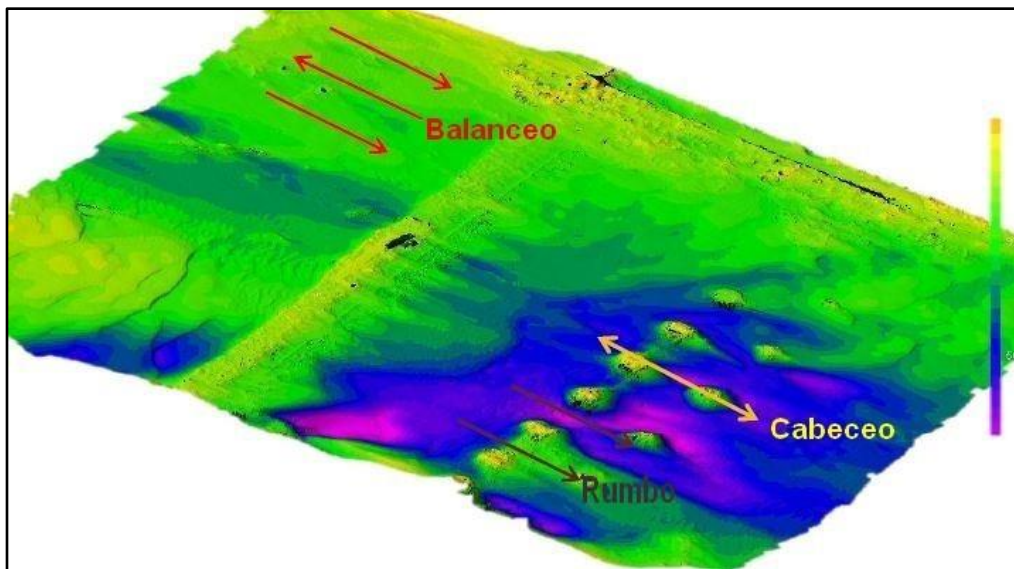


Figura 5-6: Ejemplo zonas de prueba de parche.

(Fuente: Elaboración propia.)

6 METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un levantamiento el año 2018 en dos etapas, la primera entre el 20 y 23 de marzo, y la segunda, el 31 de agosto. Para la adquisición de los datos se utilizó el sistema batimétrico Multihaz 6205 a una frecuencia de muestreo de 550 [kHz]. La referencia altimétrica del levantamiento fue el NRS, para la referencia horizontal se utilizó el Datum WGS-84 con coordenadas en UTM. Se realizó un plan de líneas paralelo a la costa en cada sector que se estudió (ver Figura 6-1), dicha planificación estuvo sujeta a cambios en favor del resguardo y seguridad de la embarcación, equipo, tripulantes y condiciones climáticas locales.



Figura 6-1: Líneas de recorrido para las cuatro áreas de estudio, A: San Mateo, B: Barón, C: Caleta Portales y D: Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia. imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Las correcciones de posición, dirección de la embarcación e información levantada se realizaron en simultáneo al levantamiento con los equipos definidos en 4.1.2 y 4.1.3. Los valores de las correcciones estáticas (Tabla 6-1) se midieron con cinta métrica respecto a la configuración de los equipos esquematizada en la Figura 6-2. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

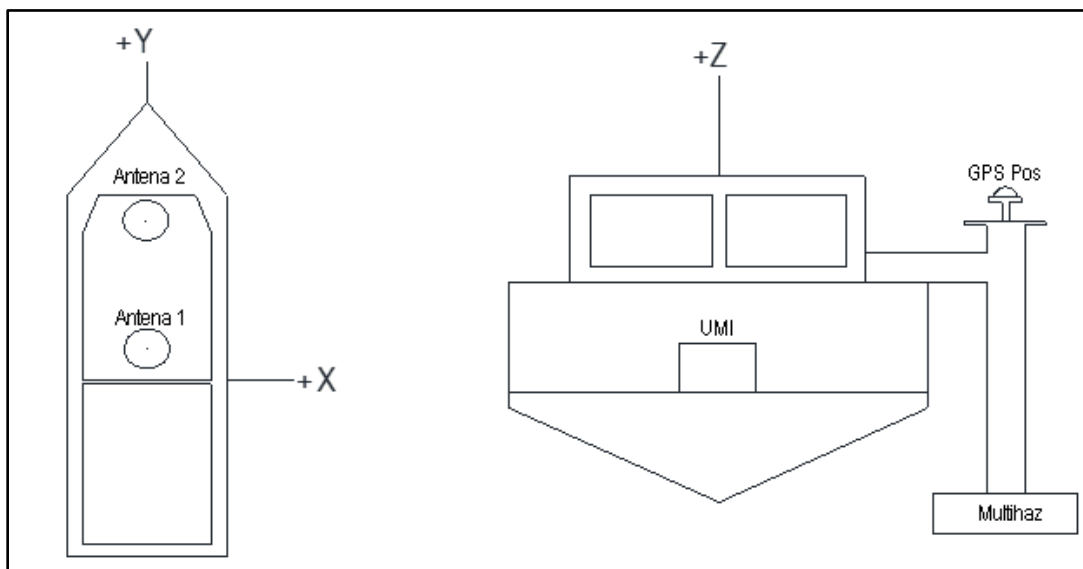


Figura 6-2: Distribución sensores en la embarcación.

(Fuente: Elaboración propia.)

Tabla 6-1: Correcciones estáticas sensores empleados adquisición datos

Instrumento	x [m]	y [m]	z [m]
UMI	0.000	0.000	0.000
Antena 1 nav.	-0.056	0.273	1.755
Antena 2 nav.	-0.021	2.325	1.610
Antena 3 (GPS pos)	-1.250	-0.952	0.947
Multihaz	-1.250	-0.952	-0.619

(Fuente: Elaboración propia.)

Las mediciones para la Prueba de Parche se efectuaron en un área a un costado del sitio 8 del puerto de Valparaíso (ver Figura 6-3), lugar que cumple con las indicaciones del fabricante.



Figura 6-3: Ubicación líneas prueba de parche.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Una vez cubiertas las áreas de sondeo y obtenidos los datos, se procesó la información en el software Quimera, esta etapa corresponde a la de proceso y limpieza de datos brutos. Primero se creó una superficie de alta resolución de 50 [cm] (es decir, dato de sondas cada 50 [cm]), luego se realizó la prueba de parche, donde se obtuvo los valores para dichas correcciones (ver Tabla 6-2) y se ingresaron al software.

Tabla 6-2: Valores obtenidos de la prueba de parche.

Parámetro	Valor original	Valor calculado
Tx Cabeceo	0.000	-4.740
Rx Balanceo Port	0.000	-3.500
Rx Balanceo Stbd	0.000	-1.070
Tx Rumbo	0.000	-0.650

(Fuente: Elaboración propia.)

Posterior a esto se ingresó las correcciones de marea para cada sector, estas series (Figura 6-4 a Figura 6-8) se obtuvieron para los rangos y días en los cuales se midió con el equipo. Dichas series fueron generadas a través del procedimiento para calcular en cualquier instante una serie de marea del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Las series de marea están referidas al NRS local, estimado por la misma entidad, 0.91 [m] ((SHOA) S. H., 2017).

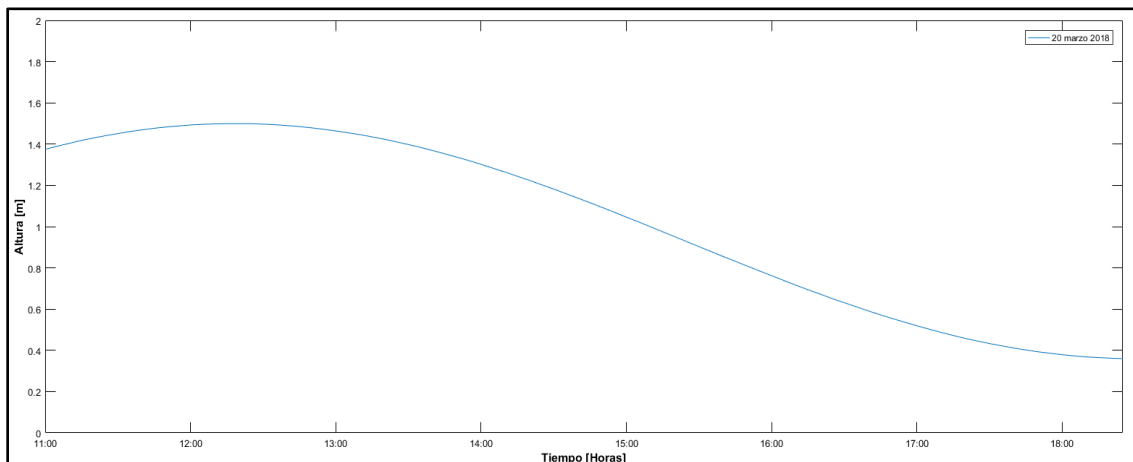


Figura 6-4: Serie de marea, 20 de marzo 2018.

(Fuente: Elaboración propia.)

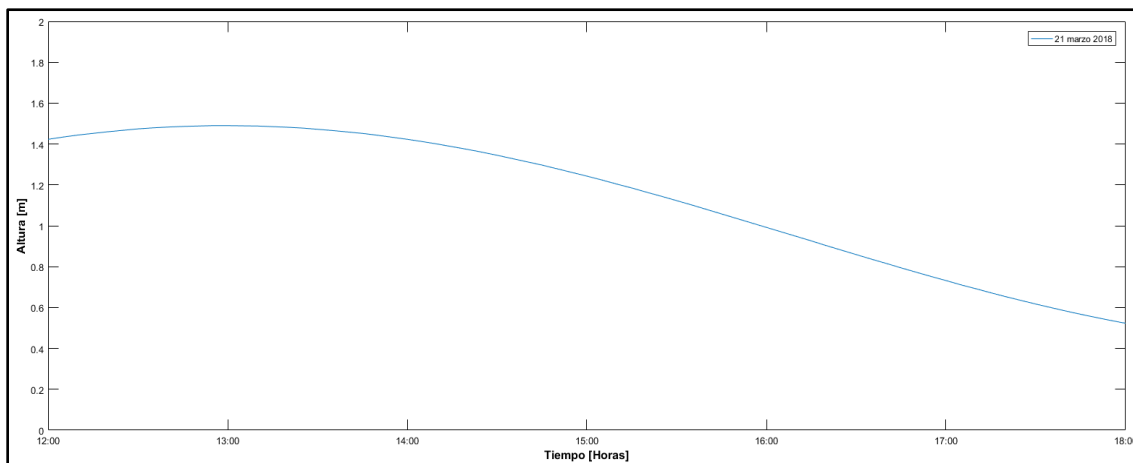


Figura 6-5: Serie de marea, 21 de marzo 2018.

(Fuente: Elaboración propia.)

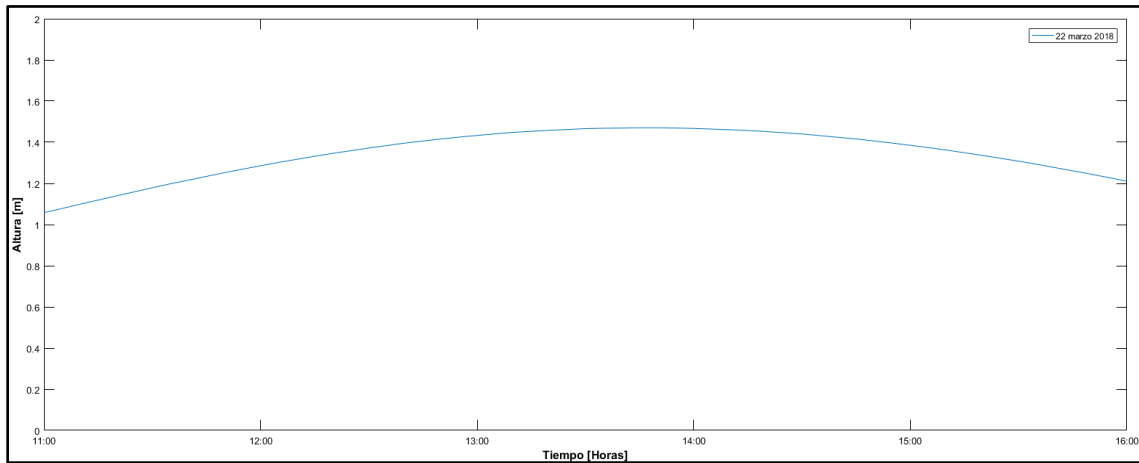


Figura 6-6: Serie de marea, 22 de marzo 2018.

(Fuente: Elaboración propia.)

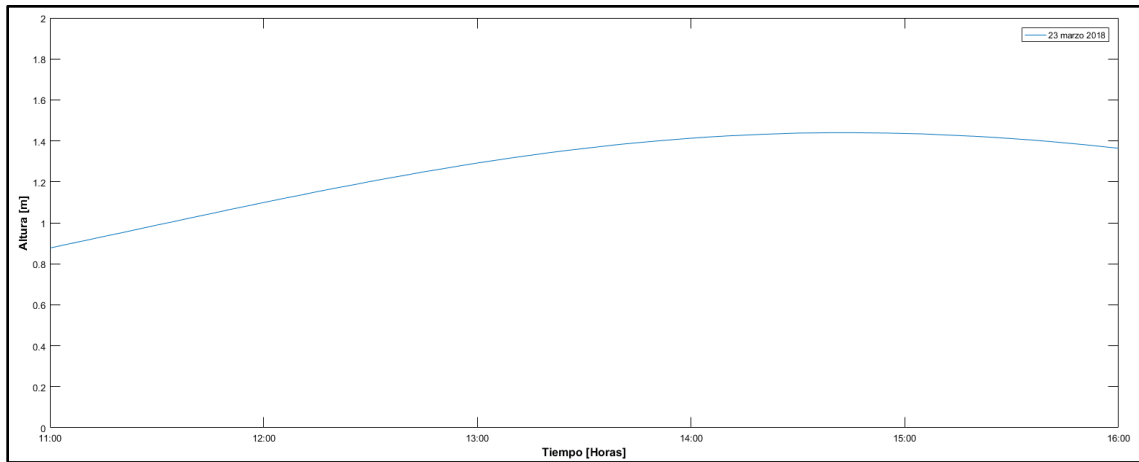


Figura 6-7: Serie de marea, 23 de marzo 2018.

(Fuente: Elaboración propia.)

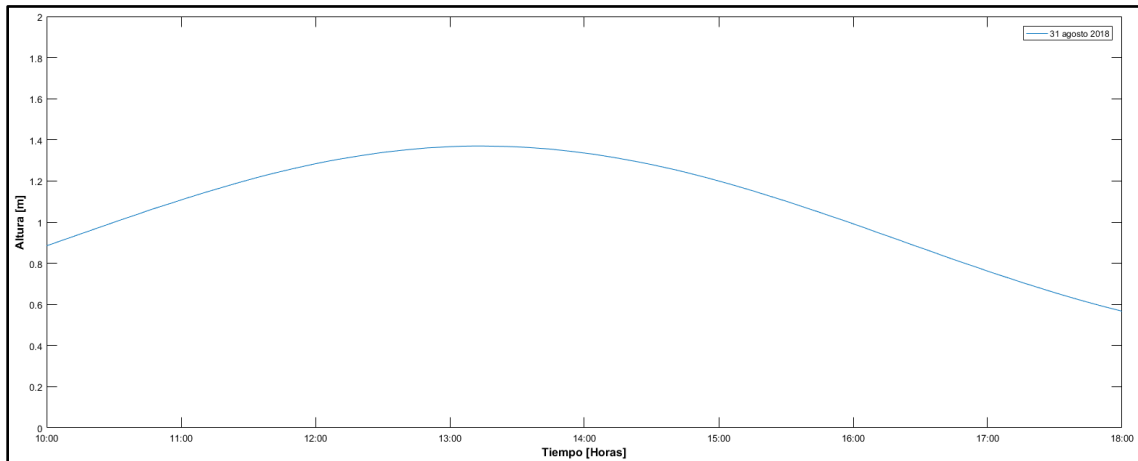


Figura 6-8: Serie de marea, 31 de agosto 2018.

(Fuente: Elaboración propia.)

Una vez ingresadas las correcciones por marea, se ingresó los perfiles de velocidad del sonido (Figura 6-9) que caracterizan dicho fenómeno a lo largo de la columna de agua. Posteriormente, se procedió a la limpieza de los datos. En esta última etapa, se eliminan todos aquellos datos batimétricos anómalos o interferencias que se hayan producido en la señal (mencionando anteriormente como ruido) que no sigan el patrón de la zona levantada.

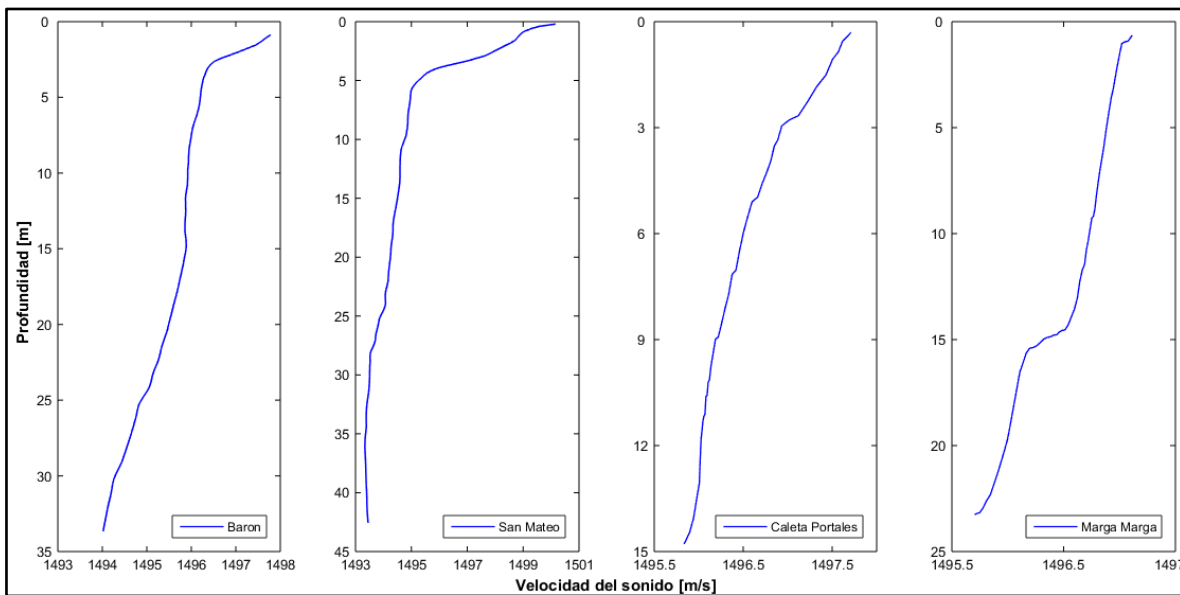


Figura 6-9: Perfiles velocidad del sonido.

(Fuente: Elaboración propia.)

La Figura 6-10 muestra la ventana de trabajo del software usado, en la esquina inferior derecha el comando de limpieza de datos, donde se ven dos líneas ajustadas a través de la prueba de parche.

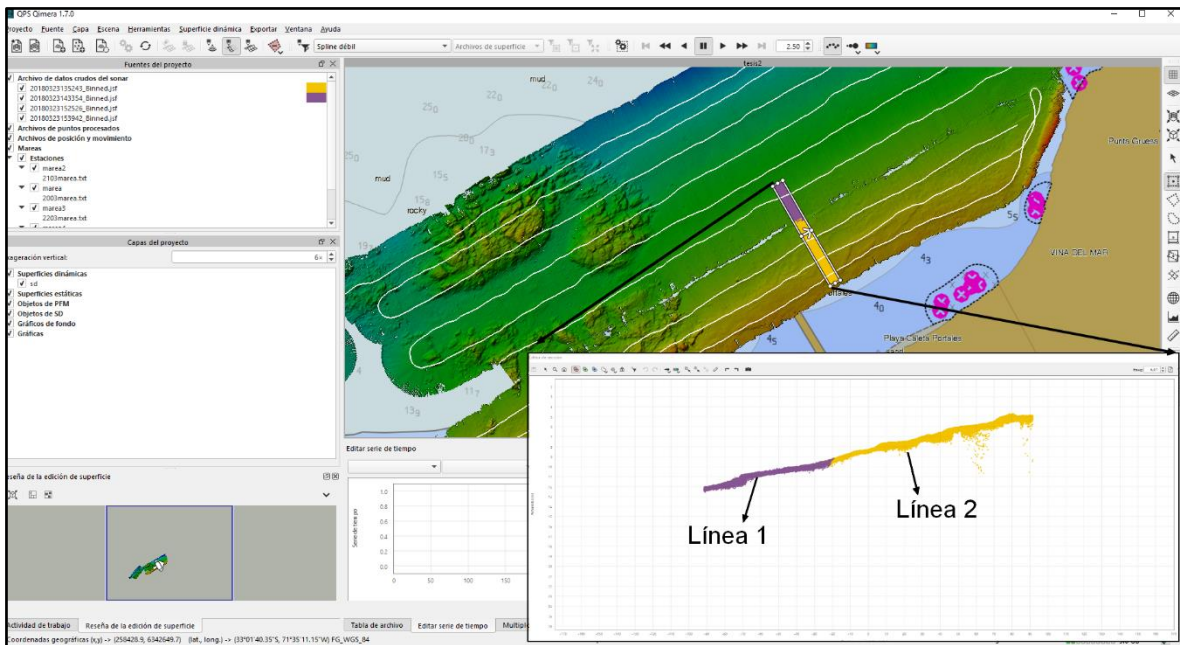


Figura 6-10: Interfaz de trabajo software Qimera.

(Fuente: Elaboración propia, Qimera.)

Con la limpieza de datos finalizada se generó un archivo con extensión *.xyz para cada sector, este archivo contiene posición en dos de sus columnas x e y (UTM, es decir, norte y este en metros) y la coordenada z, el valor de profundidad (en metros) para cada punto.

En el software HYPACK se cargó imágenes extraídas de Global Mapper y Arcmap, georreferenciadas para ser usadas como borde horizontal de los modelos. Se cargó los archivos *.xyz en dicho software y se generó los modelos mediante el método TIN (Triangulated Irregular Network). Este método representa una superficie de caras triangulares a partir de puntos cercanos. Los vértices de dichos triángulos se crean a partir de mediciones puntuales adquiridas en tres dimensiones, la estructura de datos TIN es un algoritmo de interpolación lineal que da como resultado elementos triangulares no superpuestos y de tamaño variable, de esta forma crea una representación más precisa (HYPACK, 2018). Luego, a partir de dichos modelos, se obtuvo tres perfiles batimétricos costa afuera por cada sector.

Para iniciar el proceso de la información y posteriormente generar los fotomosaicos del fondo marino, se cargó las líneas adquiridas en el software Sonarwiz. Se definió la línea de fondo marino, para así identificar el primer retorno acústico y establecer la altura del sonar respecto al fondo marino (ver Figura 6-11).

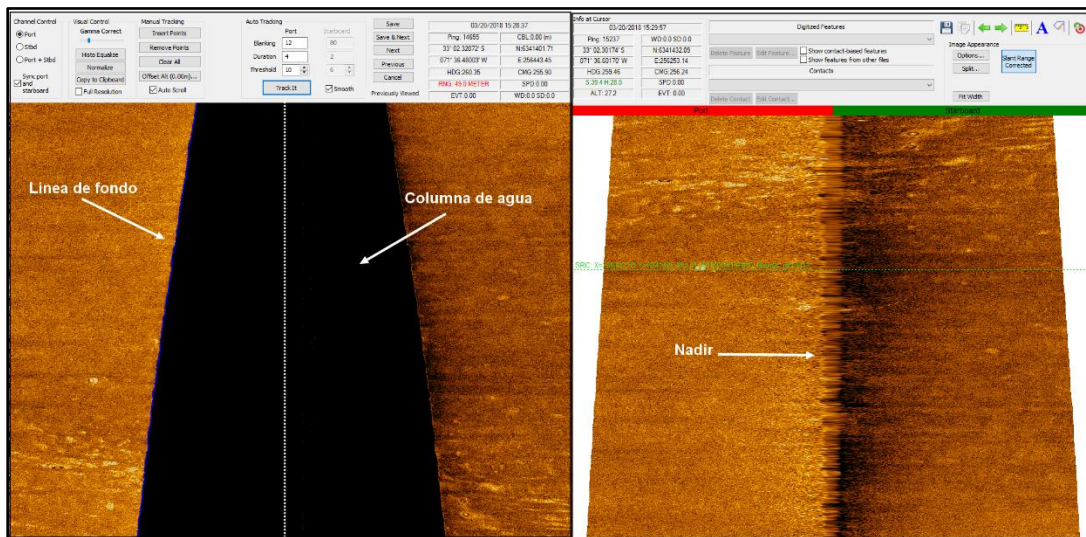


Figura 6-11: Interfaz de trabajo software Sonarwiz, comando "Bottom Tracking".

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz).

El cuadro izquierdo de la Figura 6-11 muestra una imagen del comando de reconocimiento del fondo marino (línea azul), allí es posible diferenciar la columna de agua y la línea de fondo. Una vez definido el fondo, el comando produce una imagen en la cual ha eliminado la columna de agua (imagen derecha Figura 6-11).

Una vez definida la línea de fondo se aplicó el filtro de nadir, el cual reduce la diferencia entre los valores de los píxeles del nadir y los que se encuentran a su alrededor. Luego se aplicó a los datos una función de corrección (Normalización Empírica de Ganancia, o EGN por sus siglas en inglés) que calcula el promedio de la suma de todas las intensidades de las líneas cargadas en un rango. Hecho esto, se obtienen los fotomosaicos del fondo marino y se aplica el comando de caracterización del mismo fondo.

El comando de caracterización es un algoritmo que sugiere que para una correcta y más representativa caracterización se aplique solo las correcciones mencionadas en el párrafo anterior. El comando (ver Figura 6-12) trabaja clasificando la textura de cada píxel en una cierta ubicación a través del cálculo de distintos estadísticos como la entropía y desviación estándar de la imagen acústica generada. En base a dicho algoritmo entrega un set de clases en polígonos con similares texturas.

Importante destacar que no entrega una clasificación del tipo de sedimento, pero sí de la intensidad recibida de la señal reflejada, lo que permite inferir el tipo de sedimento superficial en base a dicha intensidad recibida. Para una clasificación más completa es aconsejable realizar un muestreo del fondo marino para correlacionar las clases obtenidas del comando con lo obtenido en dichas muestras. Para el caso del presente estudio, las clases se definen en base a lo observado en los fotomosaicos.

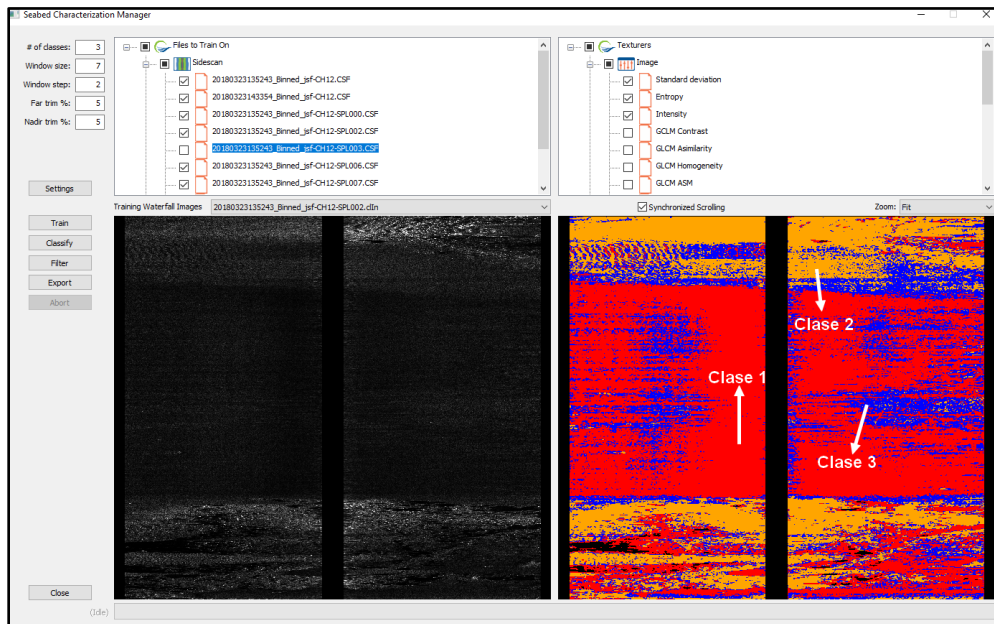


Figura 6-12: Interfaz de trabajo software Sonarwiz, comando clasificación de fondo.

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz.)

Finalmente, la clasificación entregada por el algoritmo para cada sector se comparó con su respectivo fottomosaico, para así, comprobar la certeza y concordancia entre ambos. Se generó una clasificación final basada en dos clases; “sedimentos gruesos”, para aquellos sectores de mayor reflectividad e intensidad de la señal, relacionados a granulometrías de mayor tamaño, y “sedimentos finos a medios”, para intensidades menores y relacionadas a granulometrías de menor tamaño. Aquellos lugares donde no fue posible diferenciar la granulometría en base al algoritmo y fottomosaico no fueron clasificados y se mencionan como “sedimentos sin diferenciar”.

7 RESULTADOS

Primero se presentan los modelos y sus perfiles batimétricos. Además, se identificó el veril de los 15 [m] en cada área y sus principales características observadas, luego, los fotomosaicos del fondo marino y su respectiva clasificación sedimentaria.

7.1 BATIMETRÍA

7.1.1 SAN MATEO

La Figura 7-1 muestra el modelo digital batimétrico de Playa San Mateo, dichas profundidades están referidas al NRS local y de los cuatro sectores estudiados, este es el que se encuentra más al poniente, cercano a Punta de Ángel, zona de tierra que protege la zona costera de Valparaíso del oleaje proveniente del sur y sur-oeste. Respecto a lo observado del modelo, el rango de profundidades para el área levantada alcanza su máximo a los 72 [m] al noreste del lugar.

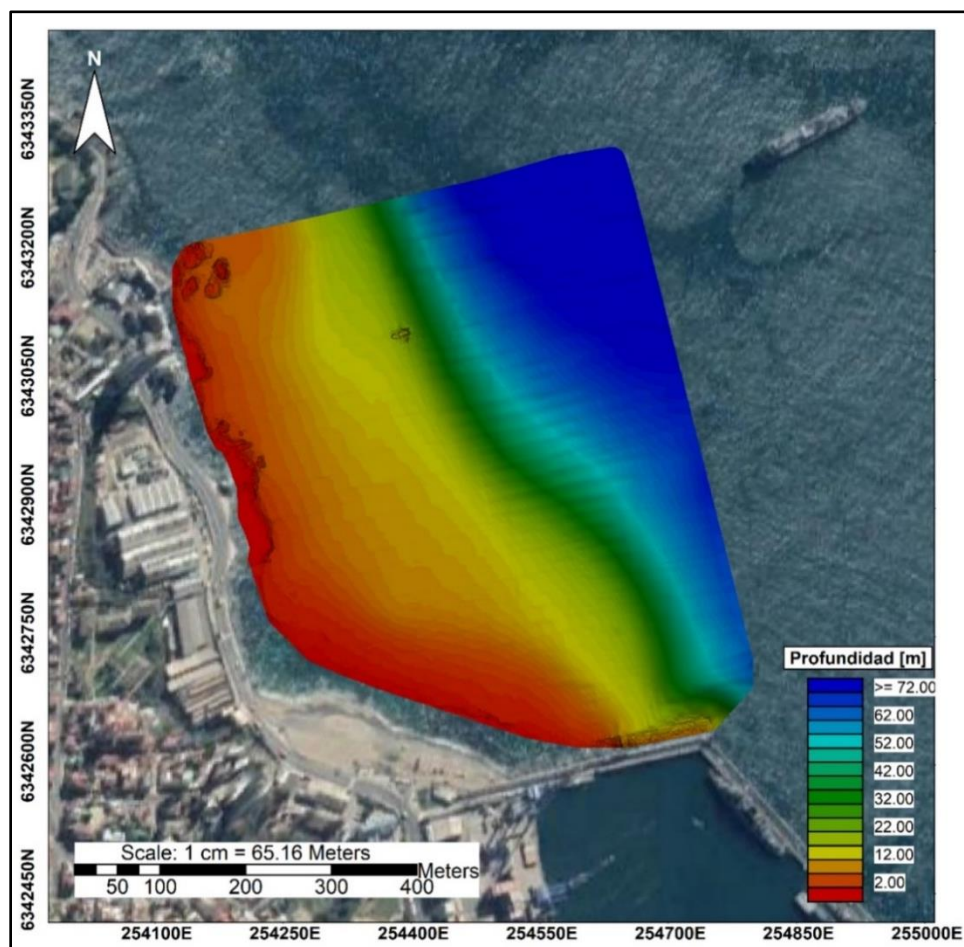


Figura 7-1: Modelo digital batimétrico de San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

La Figura 7-2 y Figura 7-3 muestran la ubicación de los perfiles batimétricos realizados y el resultado de estos. Los perfiles se encuentran distanciados cada 200 [m], de ellos es posible identificar que la pendiente de fondo se mantiene constante y suave hasta el veril de los 20 [m]. Respecto a la costa, del perfil 1 (P1), perfil 2 (P2) y perfil 3 (P3), se observa que la pendiente de fondo se inclina a 240 [m], 280 [m] y 360 [m], respectivamente. A una distancia de 550 [m] de la costa, dicha pendiente alcanza profundidades de 70 [m], 60 [m] y 55 [m] para P1, P2 y P3.

En P1 el veril de los 15 [m] se alcanza a 150 [m] de la costa, en P2 a 250 [m] y en P3 a 310 [m].

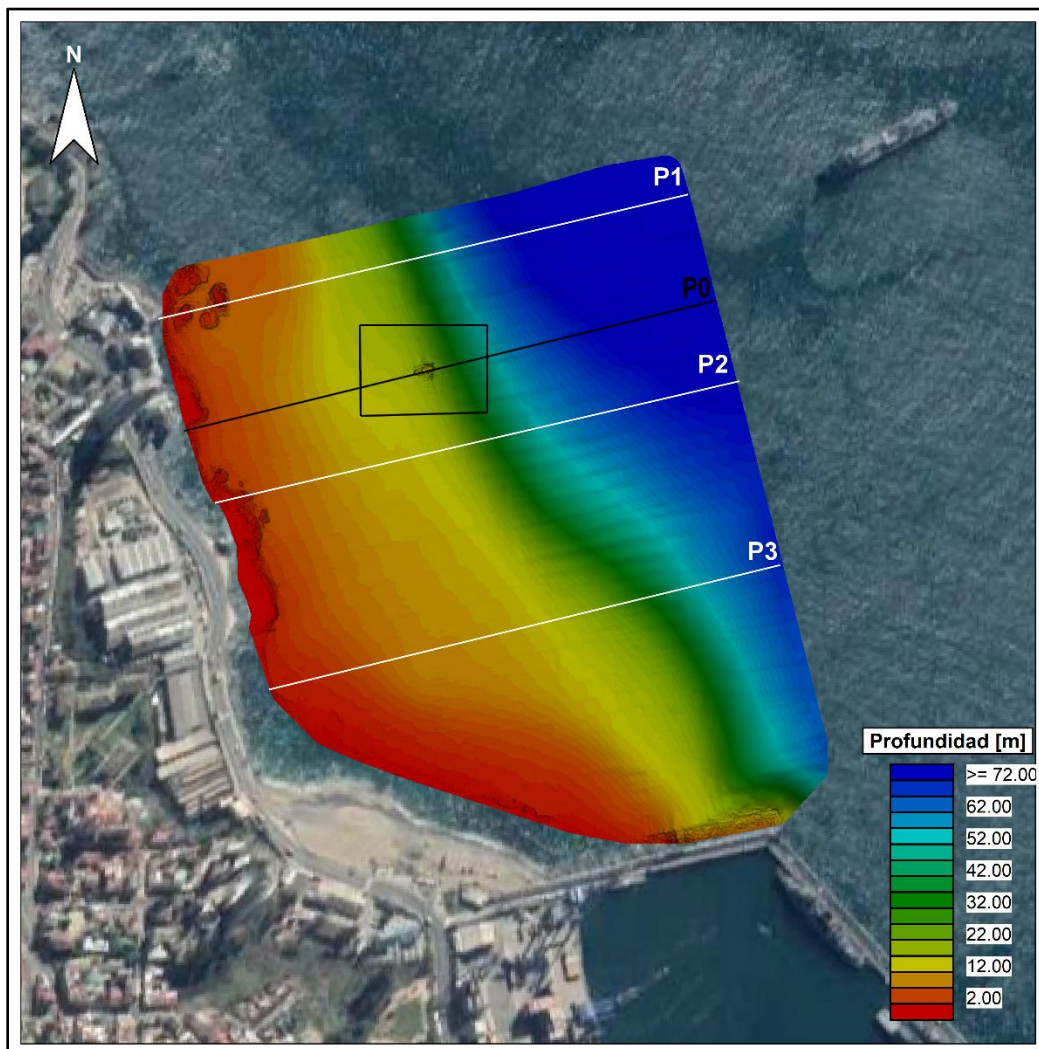


Figura 7-2: Ubicación perfiles batimétricos, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

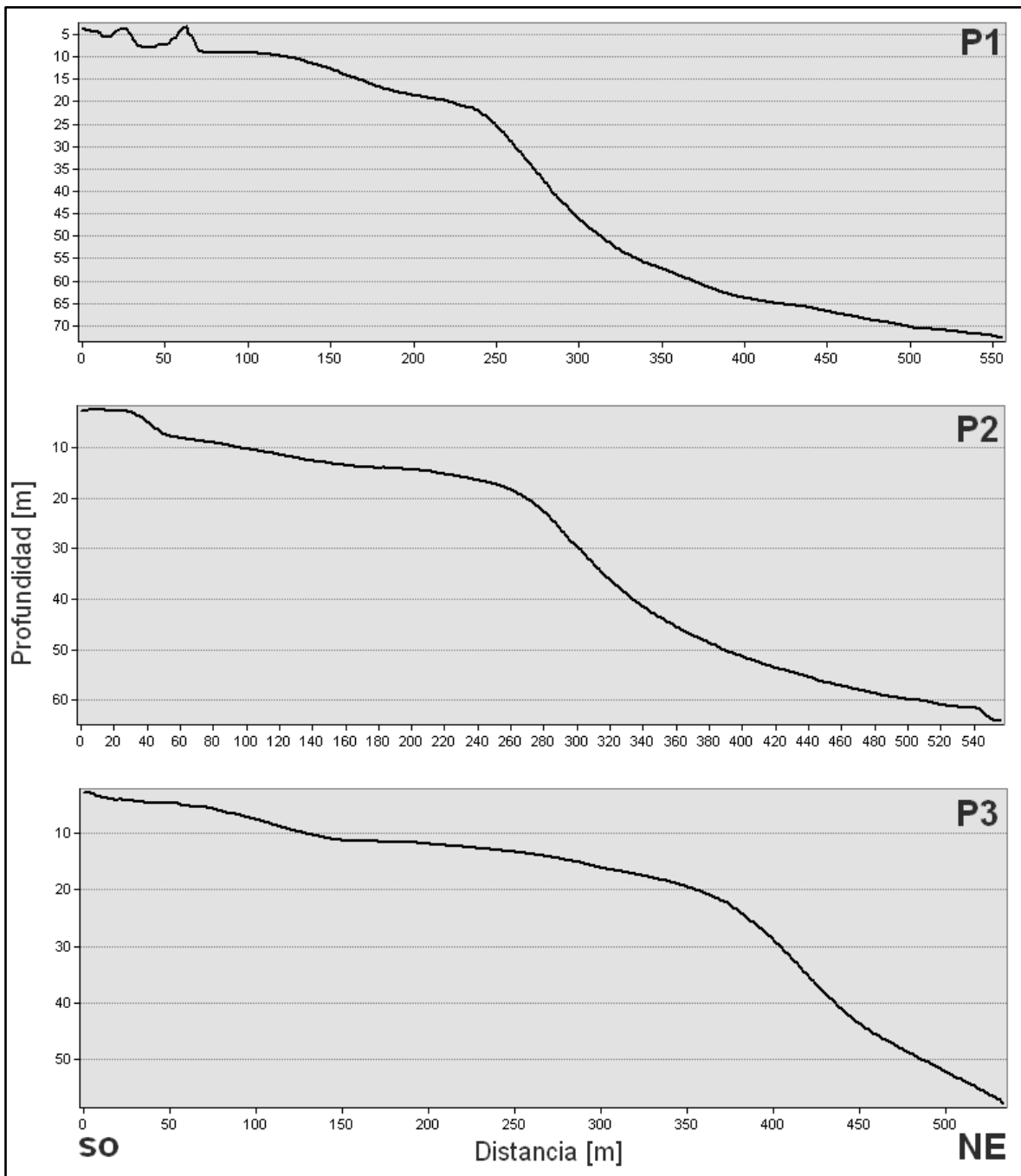


Figura 7-3: Perfiles batimétricos, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia.)

A aproximadamente 240 [m] de la costa (entre P1 y P2, Figura 7-2), en el veril de los 18 [m], se observa un rasgo en el fondo marino justo antes de la inclinación de la pendiente. Para su caracterización se trazó un perfil P0 paralelo a P1, P2 y P3, y, además, se generó cuatro perfiles sobre dicho elemento, uno longitudinal (L1) y tres transversales (L2, L3 y L4)

separados cada 7 [m] (ver Figura 7-4). De lo observado en los perfiles trazados, aquel elemento pareciese ser un naufragio de una embarcación, posee un largo aproximado de 22 [m], un ancho de 7 [m] y se encuentra a una profundidad de 16 [m]. A lo largo de la zona costera (noroeste y oeste) se observan varios afloramientos rocosos y en la parte suroeste, a lo largo del molo, el relleno de protección de dicha estructura a no más de 3 [m] de profundidad.

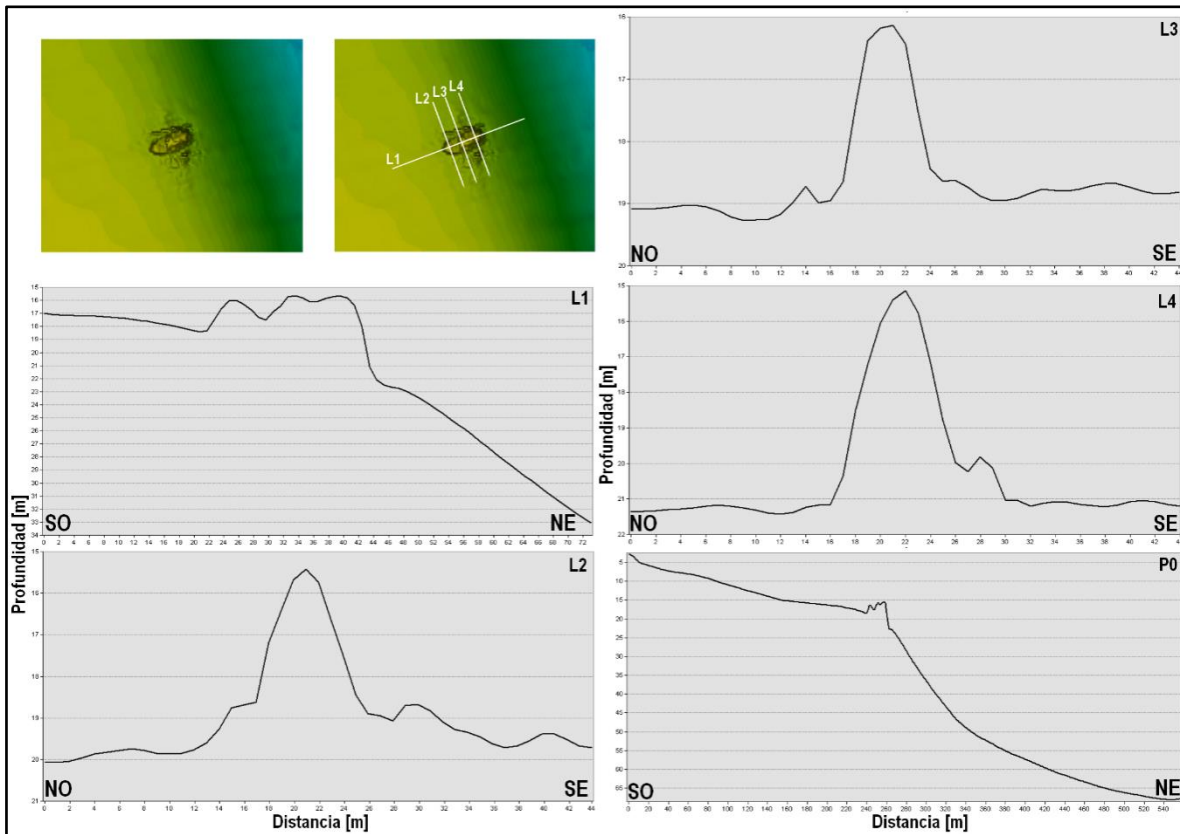


Figura 7-4: Elemento observado en San Mateo y perfiles descriptivos.

(Fuente: Elaboración propia.)

7.1.2 BARÓN

La Figura 7-5 muestra el modelo digital batimétrico de Barón cuyas profundidades están referidas al NRS local, del rango levantado la máxima profundidad alcanzada fue de 32 [m] al noroeste de dicha área.

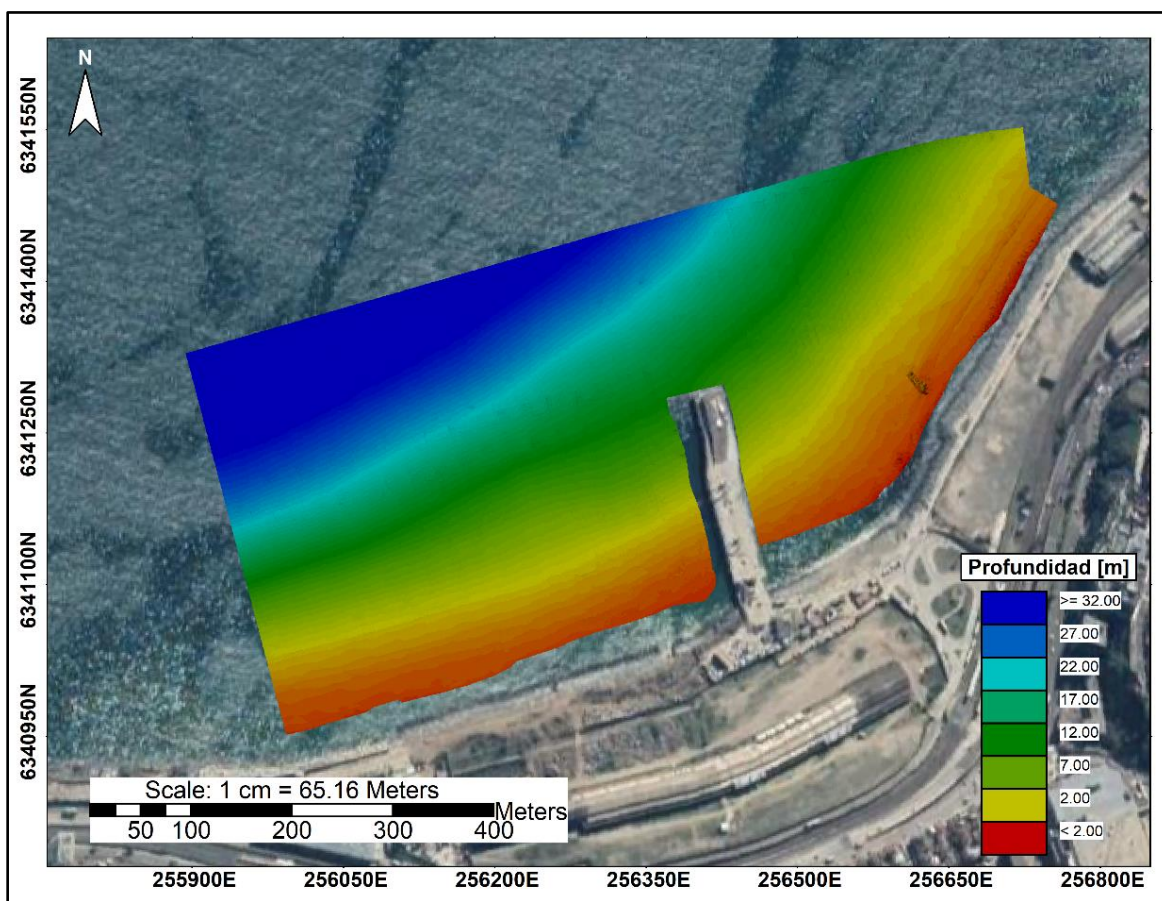


Figura 7-5: Modelo digital batimétrico Barón.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

La Figura 7-6 y Figura 7-7 muestran la ubicación de los perfiles batimétricos realizados para Barón y el resultado de estos. Los perfiles se encuentran distanciados cada 300 [m], de ellos es posible identificar que la pendiente de fondo es constante hasta 380 [m] de distancia a la costa y alcanzando mayores profundidades en la parte oeste del sector. En el perfil 1 (P1) el veril de los 15 [m] se alcanza a 160 [m] de los costa, en el perfil 2 (P2) a 200 [m] y en el perfil 3 (P3) a 250 [m]. El muelle aquí presente, llamado muelle Barón alcanza hasta profundidades de 13 [m].

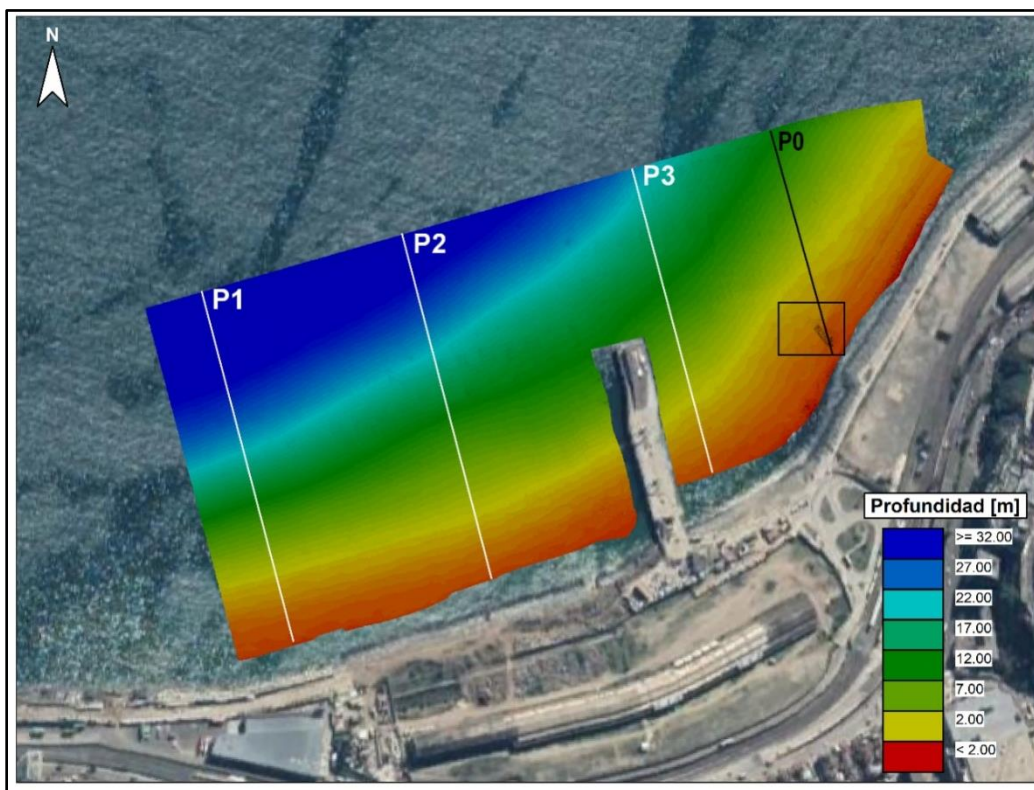


Figura 7-6: Ubicación perfiles batimétricos, Barón.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

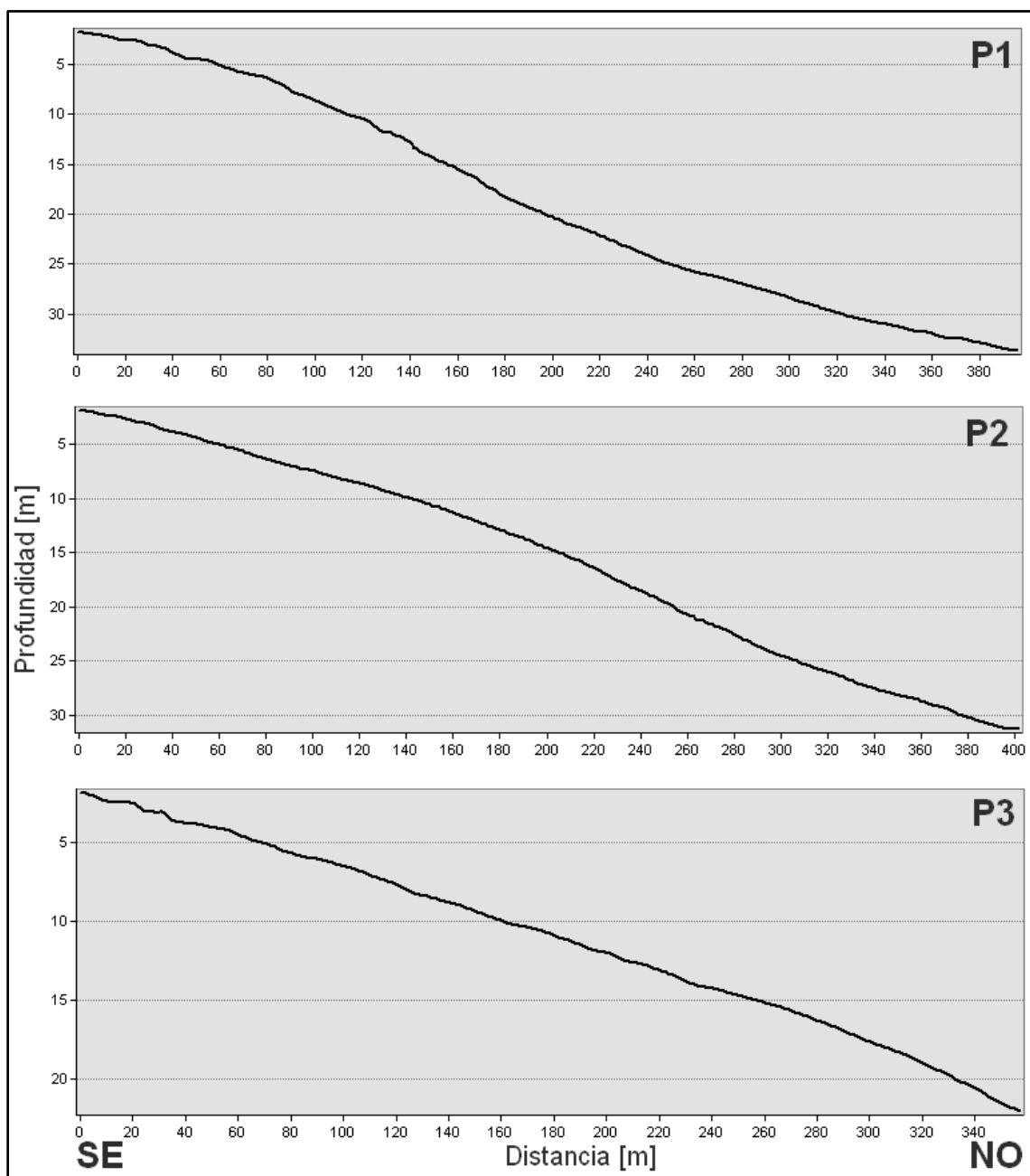


Figura 7-7: Perfiles batimétricos Barón.

(Fuente: Elaboración propia.)

Al este del área estudiada (ver Figura 7-6) se observa un rasgo en el fondo (cuadro negro, Figura 7-6), y para su caracterización, se trazó un perfil P0, paralelo a P1, P2 y P3 y, además, tres perfiles sobre dicho rasgo, uno longitudinal (L1) y dos transversales (L2 y L3) separados 16 [m] (Figura 7-8). Este elemento es un remanente de un muelle de carbón, el cual era uno de los muelles que se proyectó con el fin de atender el movimiento y desembarco de materiales y carbón para el servicio de ferrocarriles del estado en la región

de Valparaíso. En la actualidad dicha estructura tiene un carácter turístico para la zona, debido a que es utilizada por lobos marinos como reposadero, denominada como “La Lobera” (Figura 7-10).

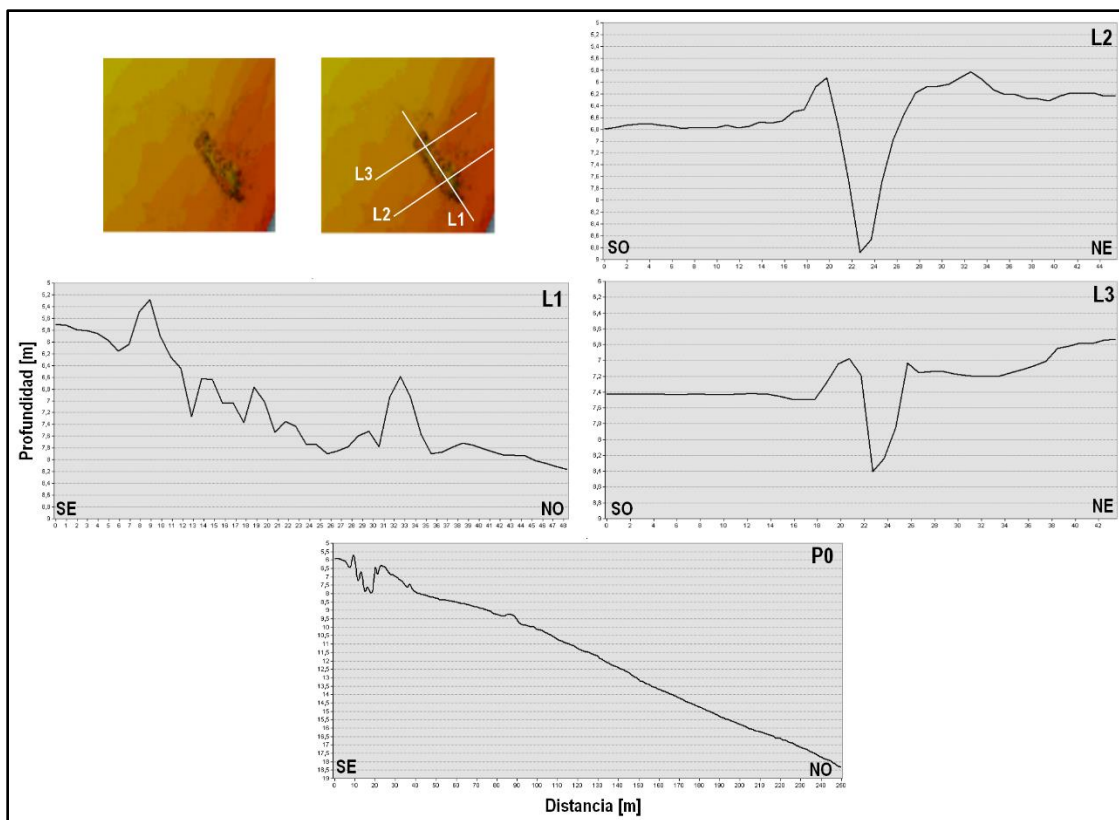


Figura 7-8: Elemento observado Barón y perfiles descriptivos.

(Fuente: Elaboración propia.)

En los perfiles de la Figura 7-8 bajo la estructura identificada como “La Lobera” cerca del veril de los 7 [m] se observa una depresión que en L2 alcanza una profundidad aproximada de 1.5 [m] y en L3 de 1 [m], esta información se corroboró con los datos brutos (sin editar) de dicho sector (Figura 7-9) donde dicho rasgo morfológico se encuentra presente.

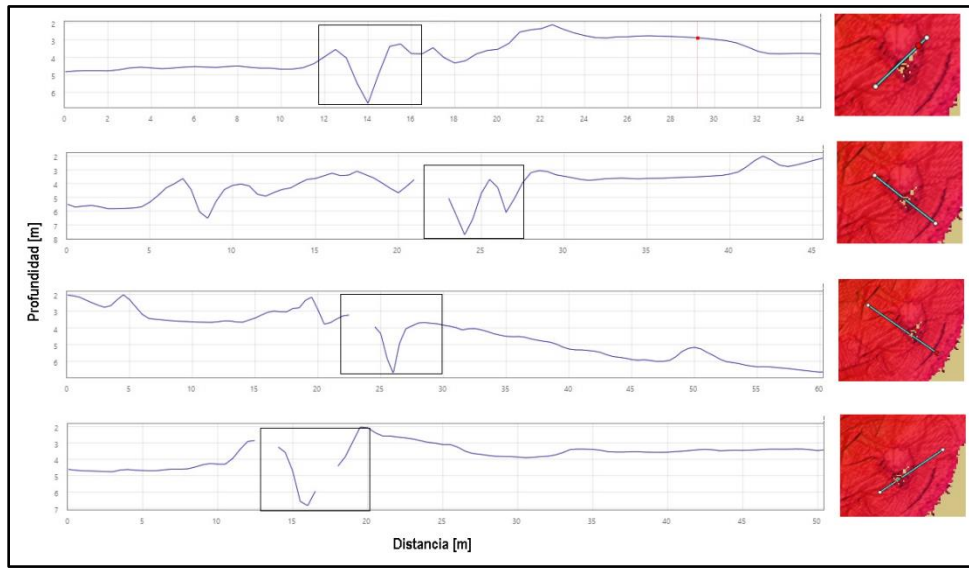


Figura 7-9: Perfiles datos brutos, Barón.

(Fuente: Elaboración propia.)

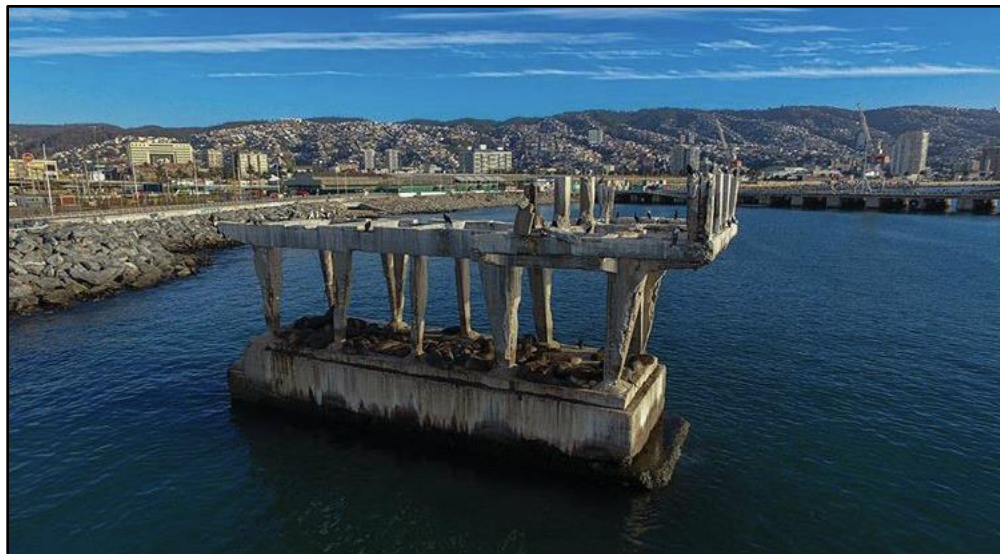


Figura 7-10: Actual "Lobera", vestigios del antiguo muelle de carbón.

(Fuente: Imagen compartida de archivo personal de Adolfo Andaur, Ingeniero Civil Oceánico.)

7.1.3 CALETA PORTALES

La Figura 7-11 muestra el modelo digital batimétrico de Caleta Portales, cuyas profundidades están referidas al NRS local, del rango levantado la máxima profundidad alcanzada fue de 32 [m] al noreste del área. Al oeste y suroeste, se encuentra el denominado “Bajo Ester”, caracterizado por una zona de afloramientos rocosos, peligrosos para la navegación y que explica la disminución de las profundidades en la batimetría de este sector.

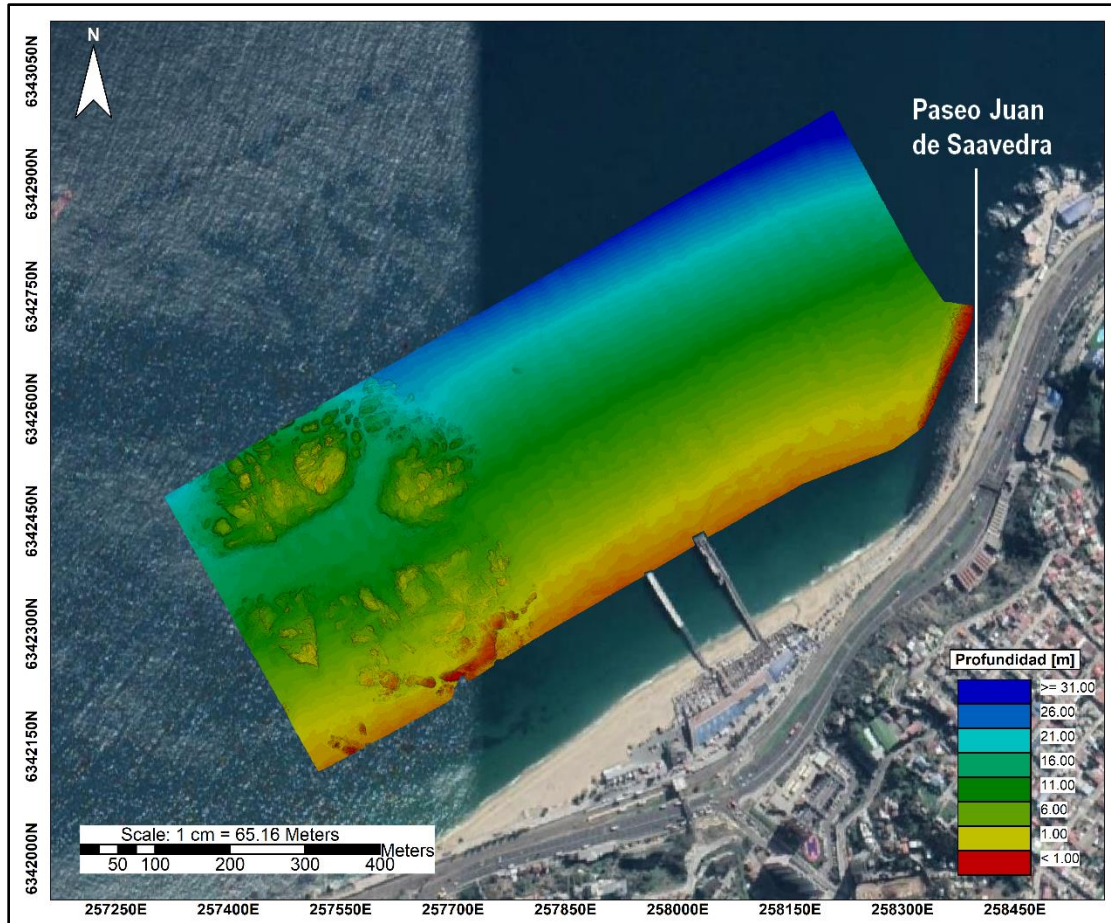


Figura 7-11: Modelo digital batimétrico Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Las Figura 7-12 y Figura 7-13 muestran la ubicación de los perfiles batimétricos realizados para Caleta Portales y el resultado de estos. Los perfiles se encuentran distanciados cada 450 [m], del perfil 1 (P1) se observa un fondo irregular y con desniveles, coincidentes con los afloramientos rocosos del modelo. Hacia el noreste, del perfil 2 (P2) y perfil 3 (P3), la pendiente de fondo es más regular y constante hasta los 400 [m] de distancia de la costa.

El veril de los 15 [m] en P1, P2 y P3 se alcanza a los 250, 290 y 280 [m] respectivamente. Contrario a la parte oeste y suroeste, la zona central y noreste del área presenta las mayores profundidades. A 440 [m], P1 alcanza los 18 [m] de profundidad, P2, 23 [m] y P3, 27 [m].

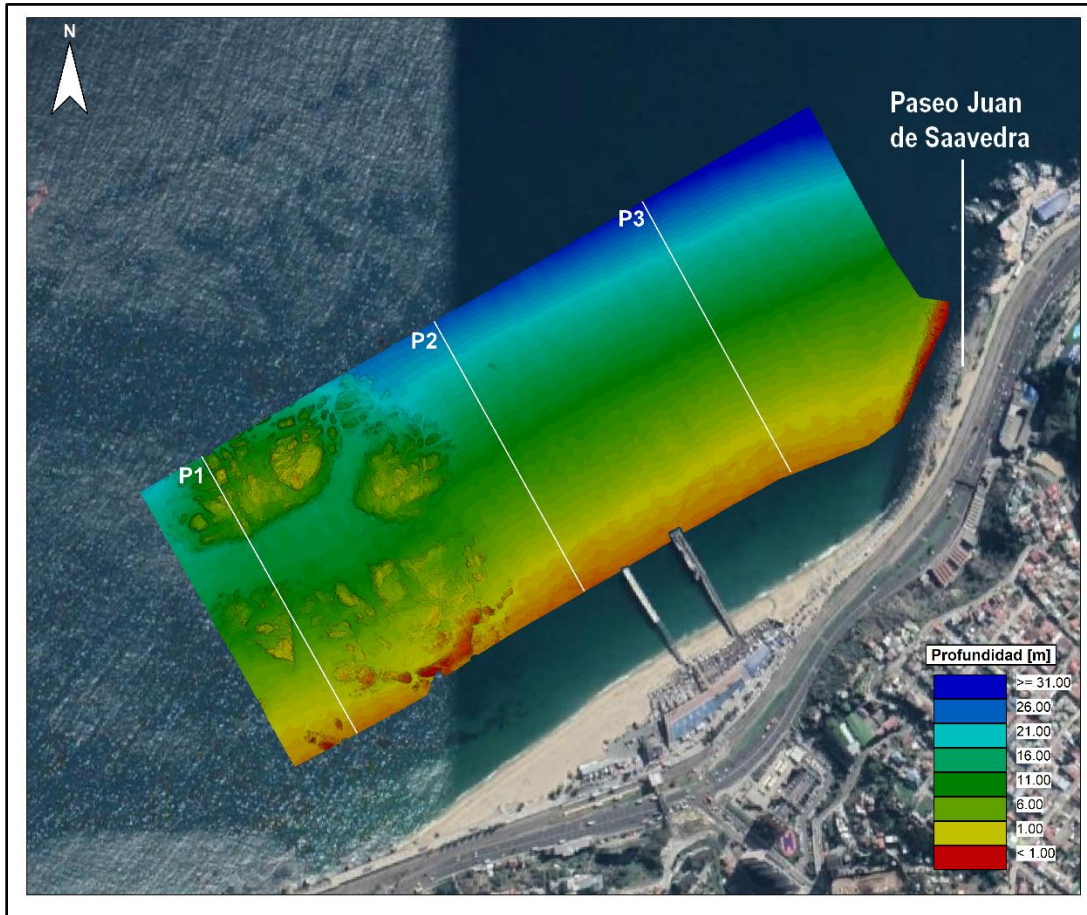


Figura 7-12: Ubicación perfiles batimétricos, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

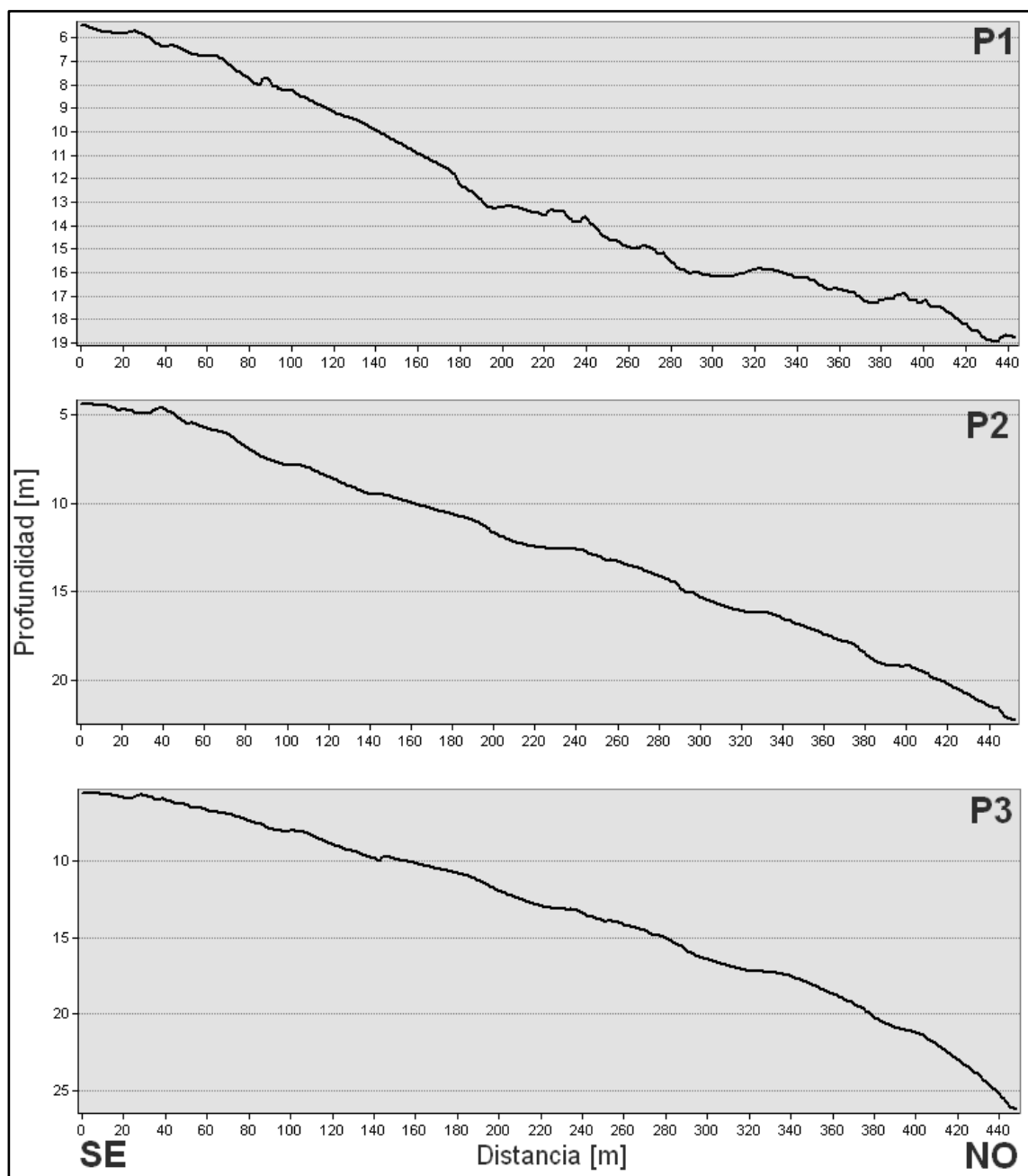


Figura 7-13: Perfiles batimétricos, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia.)

Adicional a los perfiles antes analizados, se trazó seis perfiles con el fin de caracterizar la irregularidad del fondo allí diferenciado. Dos de ellos perpendicular a la costa, distanciados 140 [m] y cuatro paralelos, distanciados 90 [m] (Figura 7-14 y Figura 7-15). De L1 y L3 a 300 [m] de la costa se observa que el afloramiento rocoso se encuentra a 6 - 8 [m] de profundidad aproximadamente, a 40 [m] de la costa, todos los afloramientos rocosos se encuentran en un rango de profundidades entre 6 y 8.5 [m].

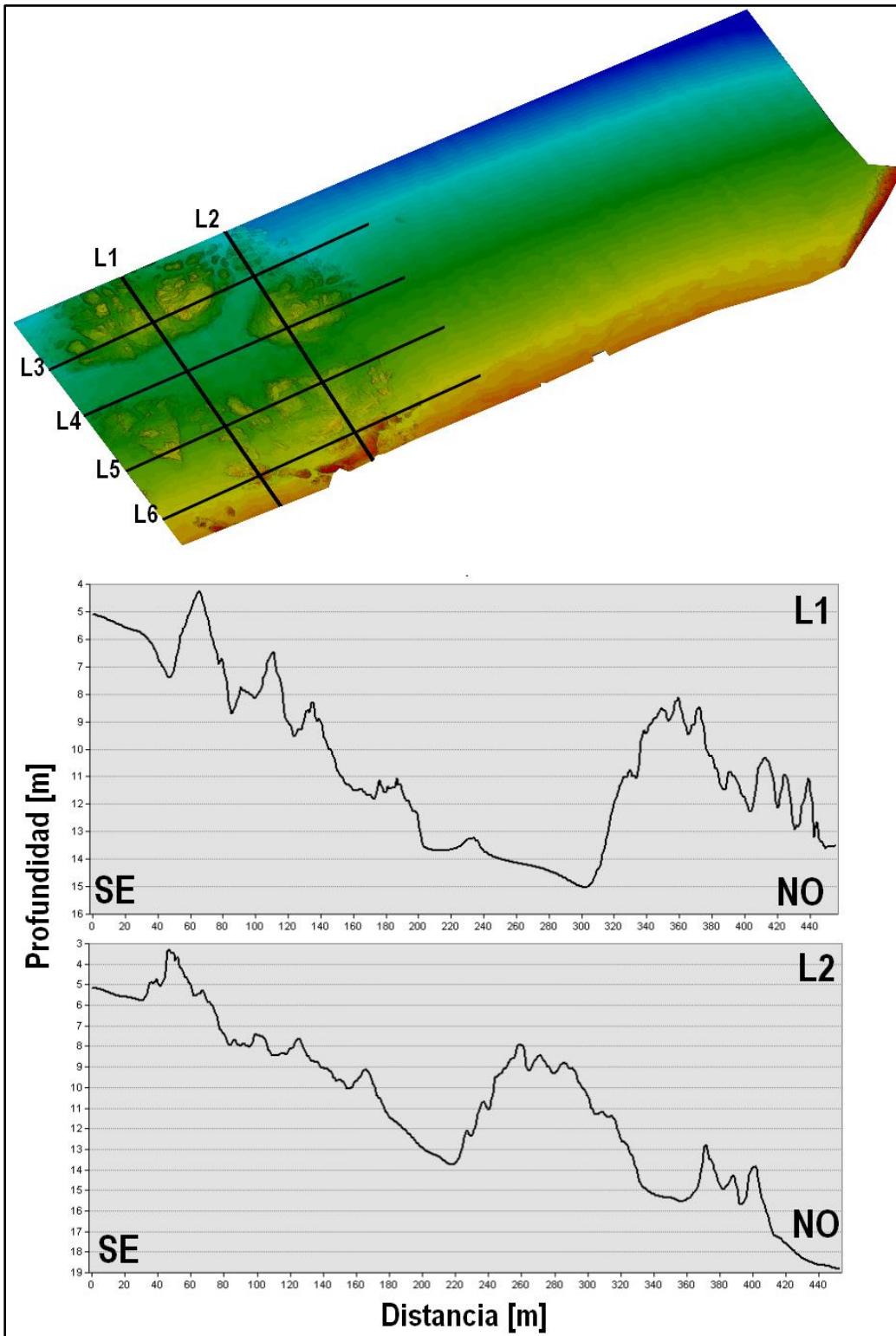


Figura 7-14: Perfiles afloramiento rocoso, perpendiculares, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia.)

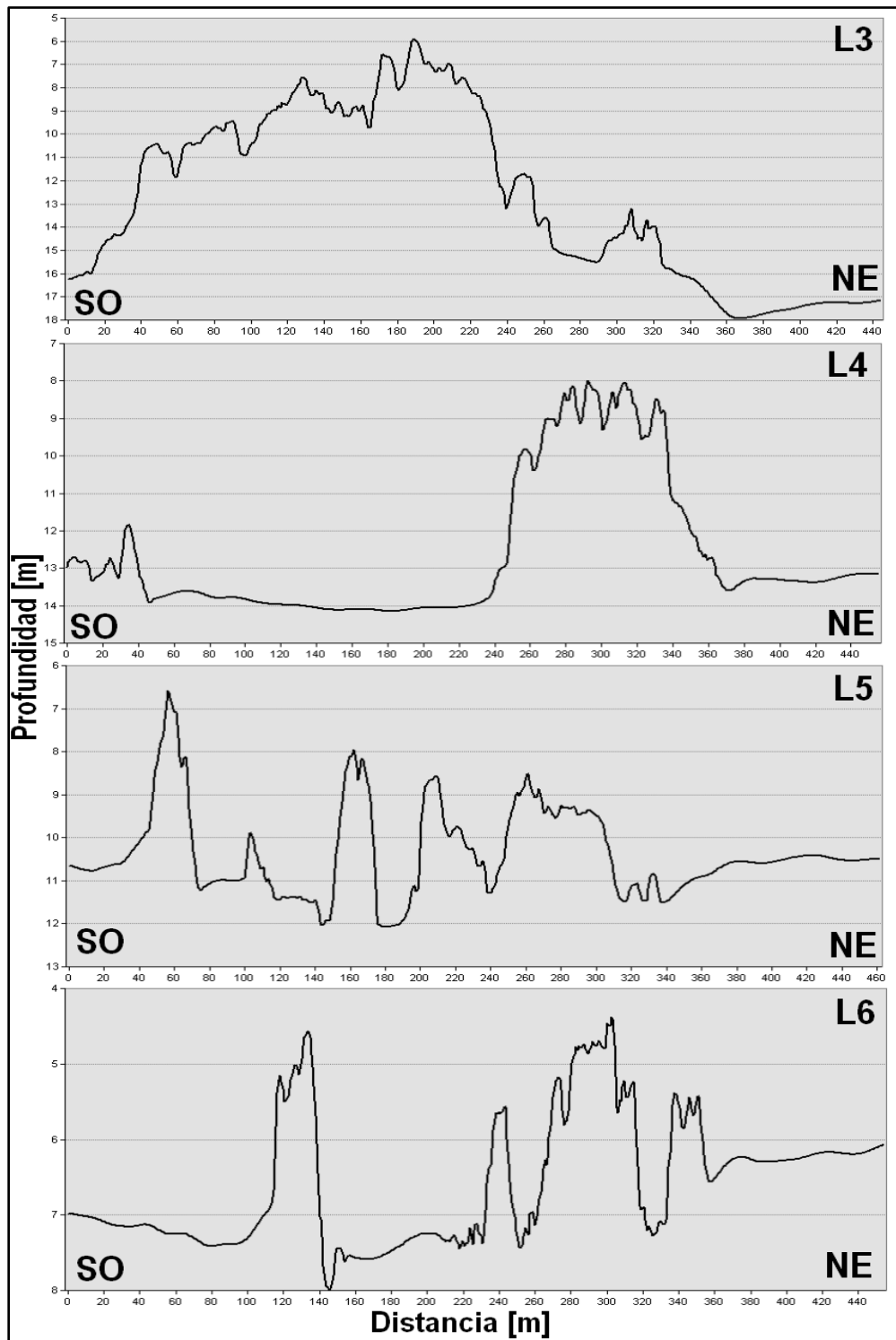


Figura 7-15: Perfiles afloramiento rocoso, paralelos, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia.)

7.1.4 MARGA MARGA

La Figura 7-16 muestra el modelo digital batimétrico de Marga Marga cuyas profundidades están referidas al NRS local, del rango levantado, la máxima profundidad alcanzada fue de 42 [m] en la zona noreste del área. En dicho modelo se observa la presencia de un emisario submarino dirección noroeste cerca del sector del casino de la ciudad de Viña del Mar.

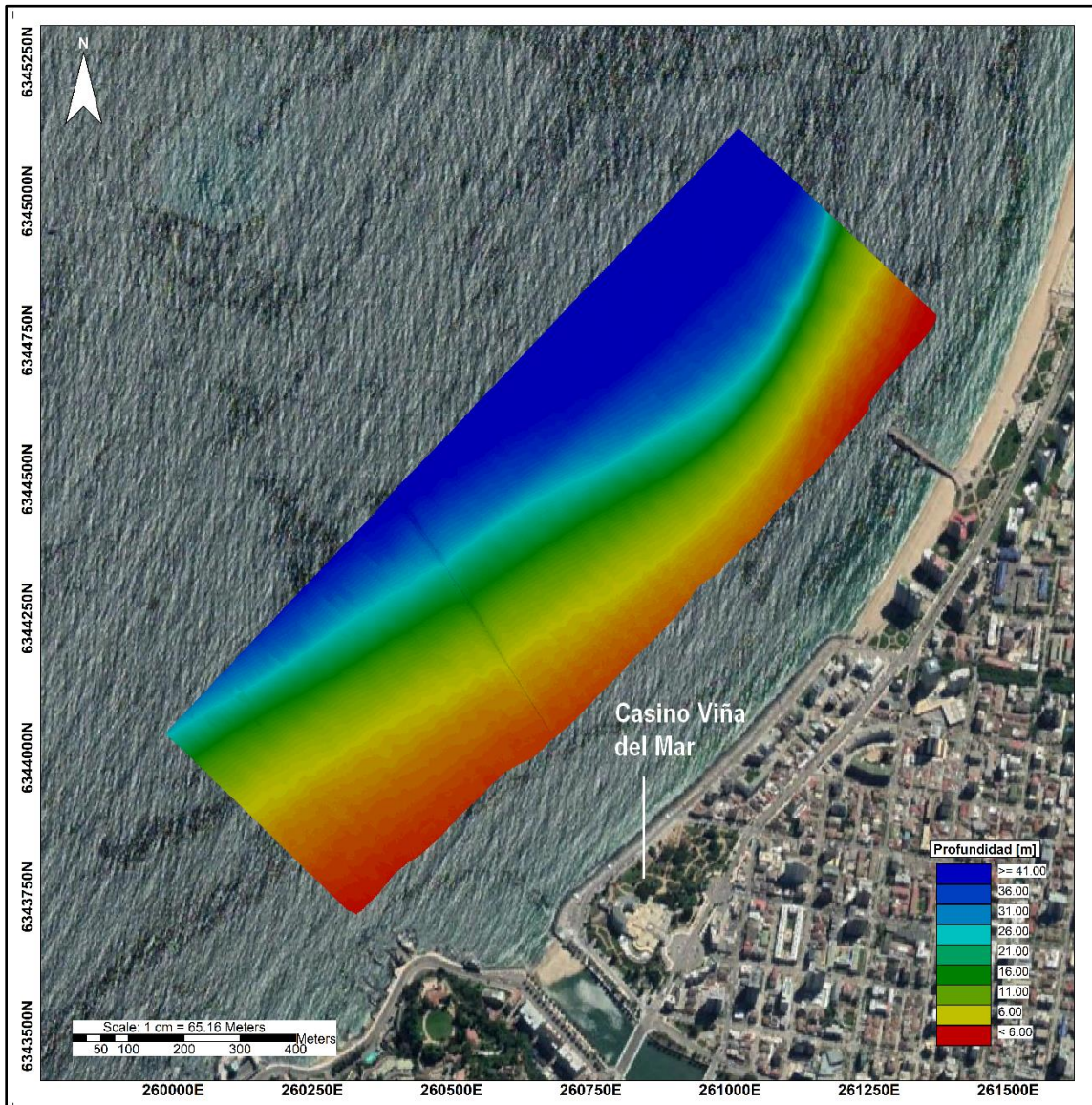


Figura 7-16: Modelo digital batimétrico Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Las Figura 7-17 y Figura 7-18 muestran la ubicación de los perfiles batimétricos realizados para Marga Marga y el resultado de estos. Los perfiles se encuentran distanciados cada 500 [m], al noreste, la pendiente de fondo se inclina a 150 [m] de la costa a 16 [m] de

profundidad, en contraste a la parte suroeste, donde la pendiente es constante hasta una distancia de 340 [m] de la costa, esta característica puede deberse a la dinámica costera del lugar.

Del perfil 1 (P1), perfil 2 (P2) y perfil 3 (P3), el veril de los 15 [m] se alcanza a los 350 [m], 230 [m] y 140 [m] respectivamente, al noreste del área estudiada es donde se alcanzan mayores profundidades. Es posible alcanzar mayores profundidades a una distancia menor de la costa en la parte noreste del área ensonificada, cercano al muelle allí ubicado. A 550 [m] de la costa, P1 alcanza 32 [m], P2, 36 [m] y P3, 39 [m].

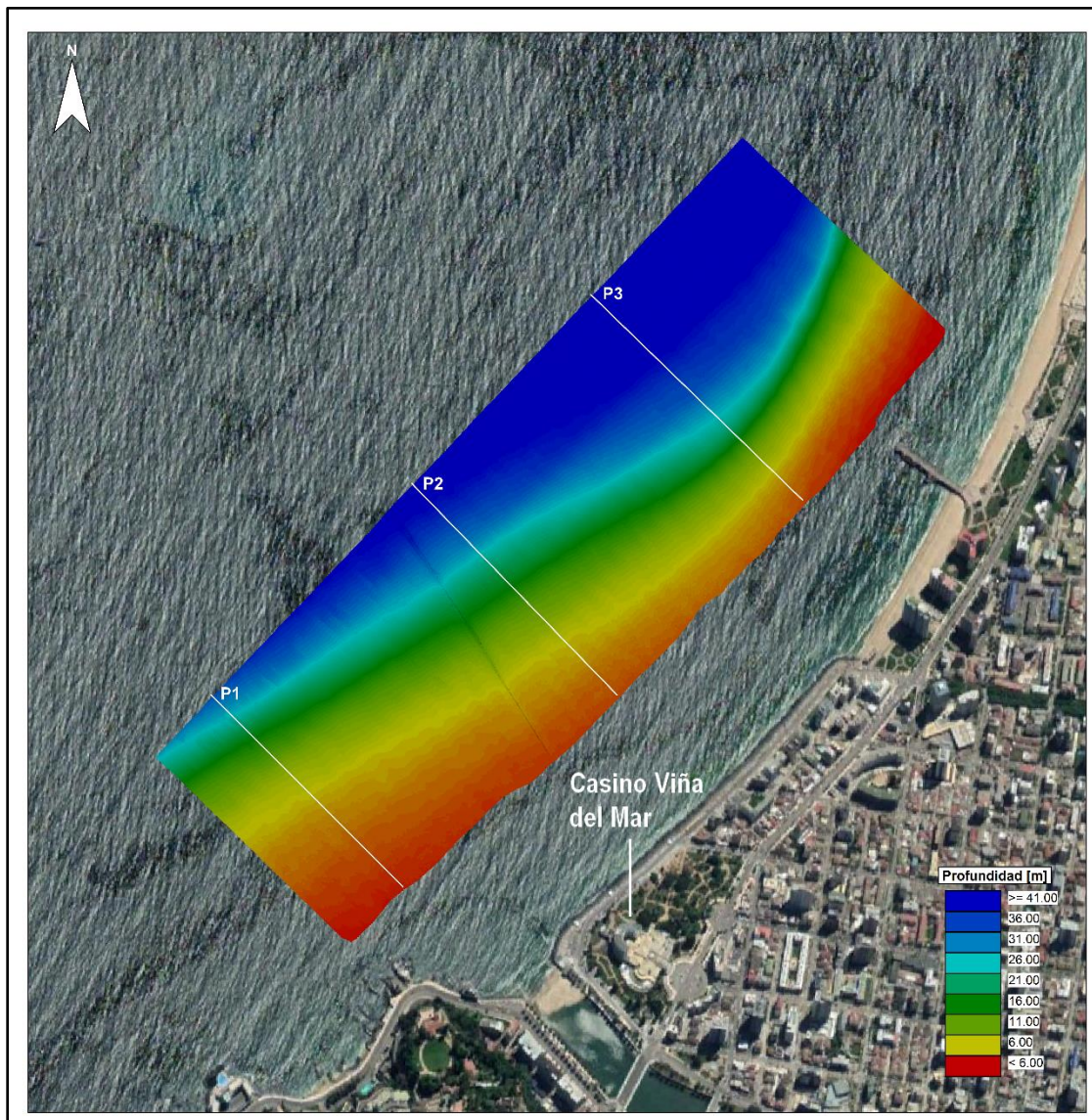


Figura 7-17: Ubicación perfiles batimétricos, Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

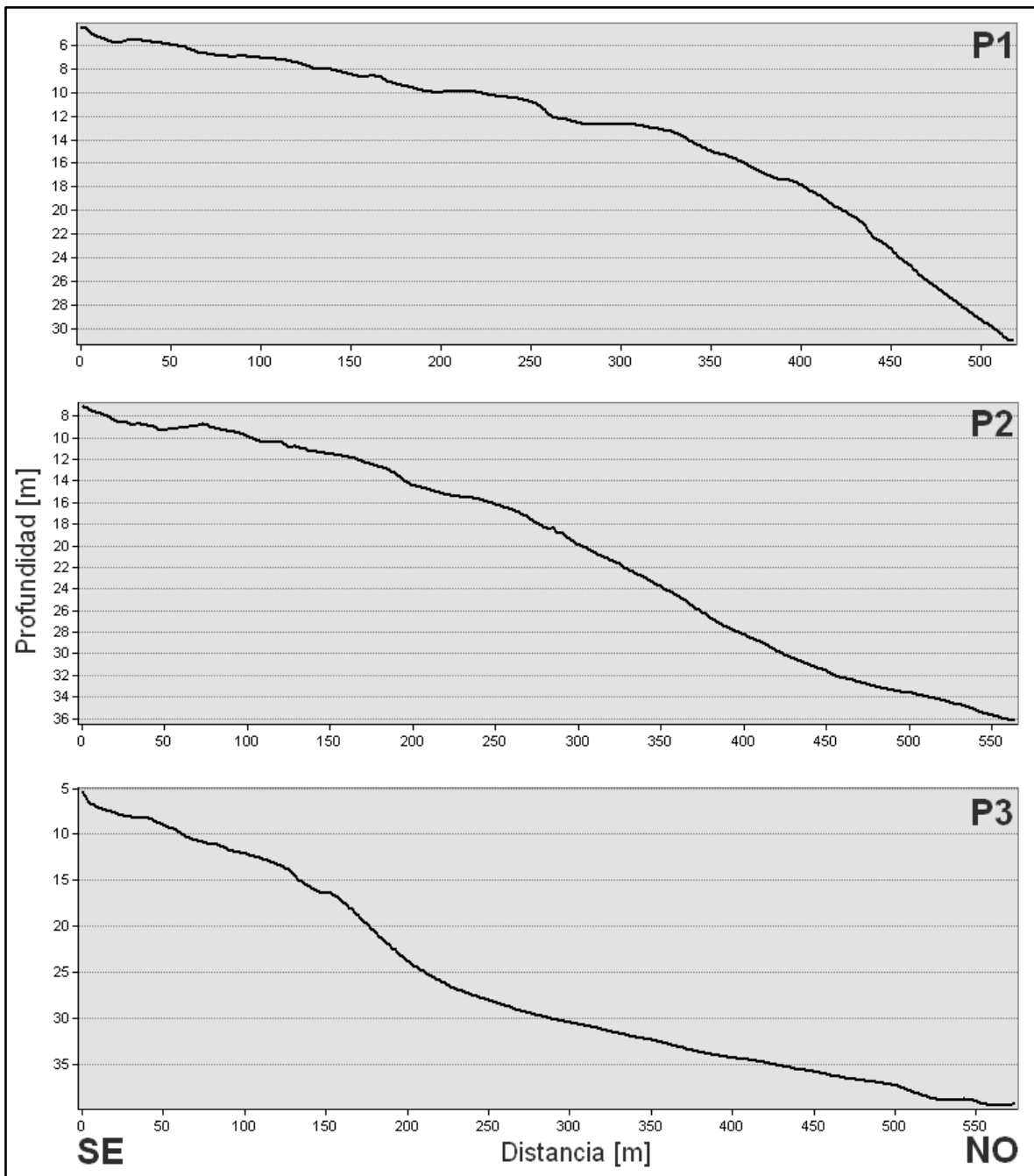


Figura 7-18: Perfiles batimétricos, Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia.)

7.2 RETRODISPERSIÓN.

7.2.1 SAN MATEO

La Figura 7-19 muestra el fotomosaico del fondo marino construido en base a la intensidad del eco recibido. A simple vista, se aprecia diferencias en las intensidades en la parte costera noroeste y oeste, coincidentes con los afloramientos rocosos observados. En la parte sureste, al costado del molo de abrigo también es posible observar sedimentos gruesos que son parte del relleno de dicha estructura.

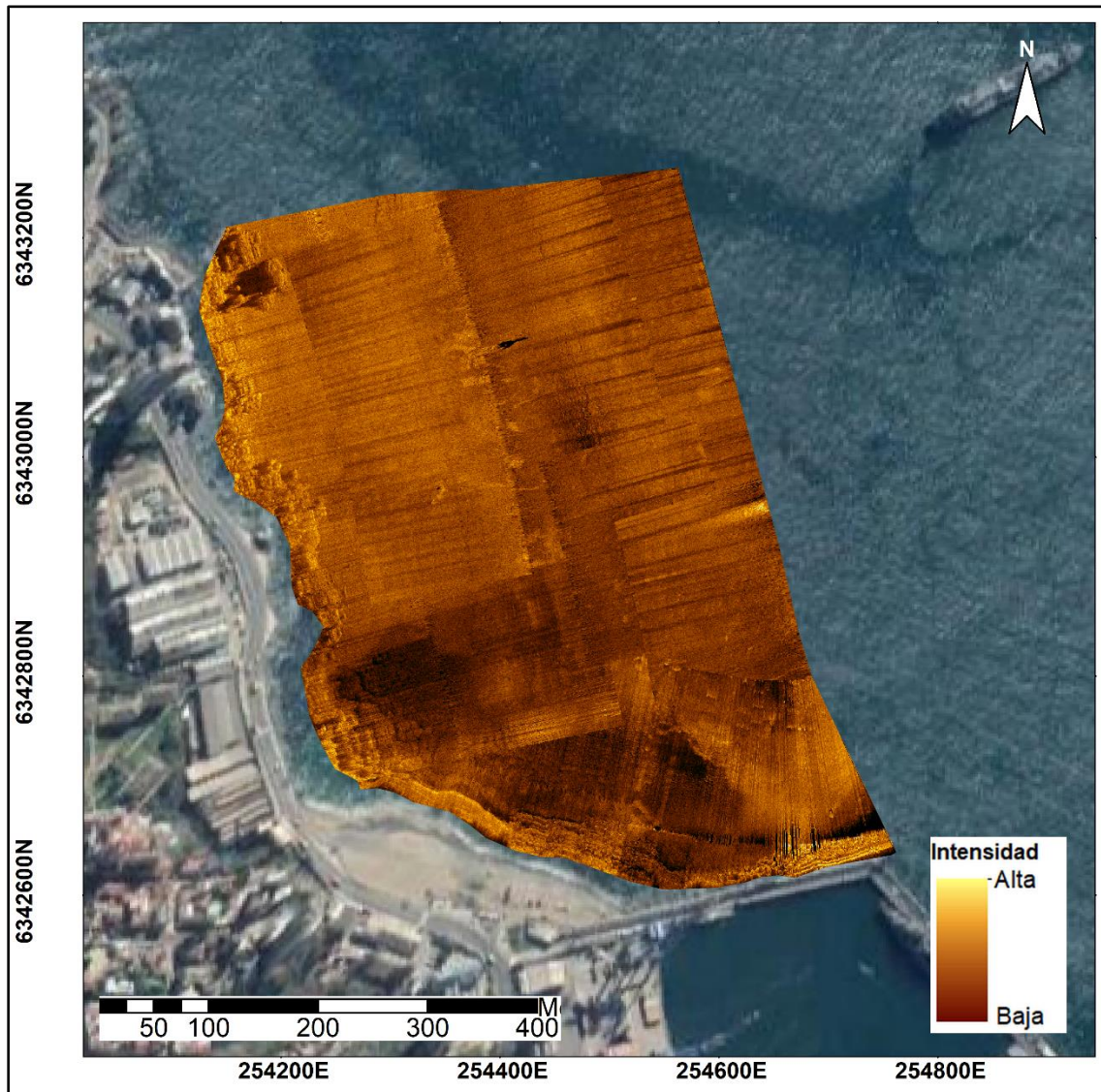


Figura 7-19: Fotomosaico fondo marino, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Como se mencionó en 6 (ver Figura 6-12), de las pruebas de clasificación realizadas (ver Figura 7-20) en este sector, los resultados fueron mayoritariamente coincidentes con lo observado en el fotomosaico, con esto se generó la clasificación final en Figura 7-21.

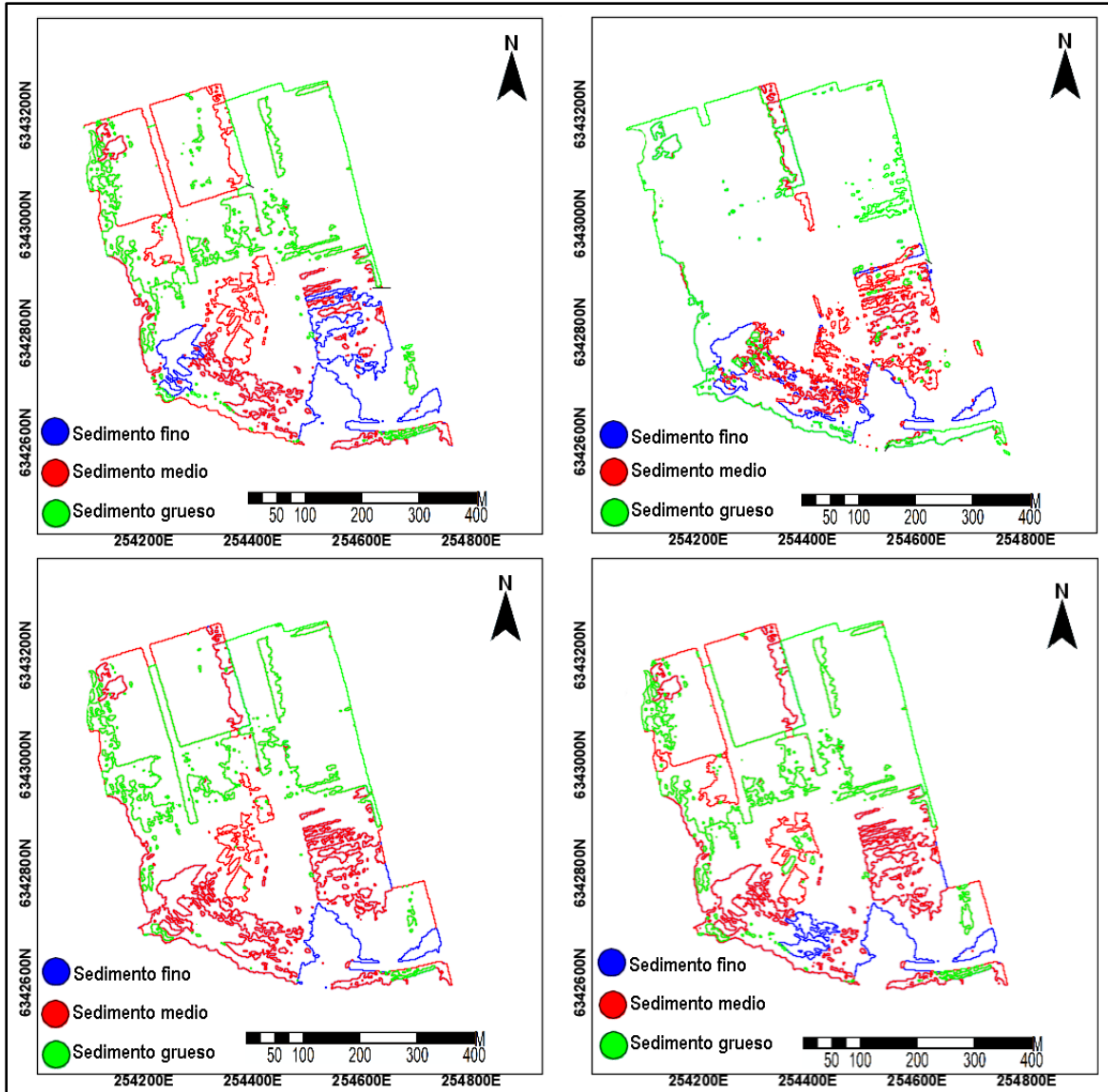


Figura 7-20: Resultados pruebas algoritmo clasificación, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia.)

Para este sector, la clasificación de la Figura 7-21 consistió en dos clases, “sedimentos gruesos” y “sedimentos finos a medios”. Los sedimentos gruesos clasificados se concentran en su mayoría en la parte costera (A y B, Figura 7-21), coincidentes con los afloramientos rocosos presentes en el fotomosaico y lo identificado en la batimetría. Además, se destaca áreas con sombras proyectadas por dichos afloramientos.

La parte central del sector se clasificó como “sedimentos finos a medios”, correspondientes a granulometrías de menor tamaño, esto debido a que el algoritmo no arrojó patrones diferenciados claros. Justo al inicio de la inclinación de la pendiente de fondo se identificó un elemento asociado a un naufragio mencionado en 7.1.1, la Figura 7-22 muestra dicha embarcación (se observa la sombra generada por dicho elemento) y la Figura 7-23 la comparación entre batimetría y retrodispersión, concordante con lo observado en ambos productos.

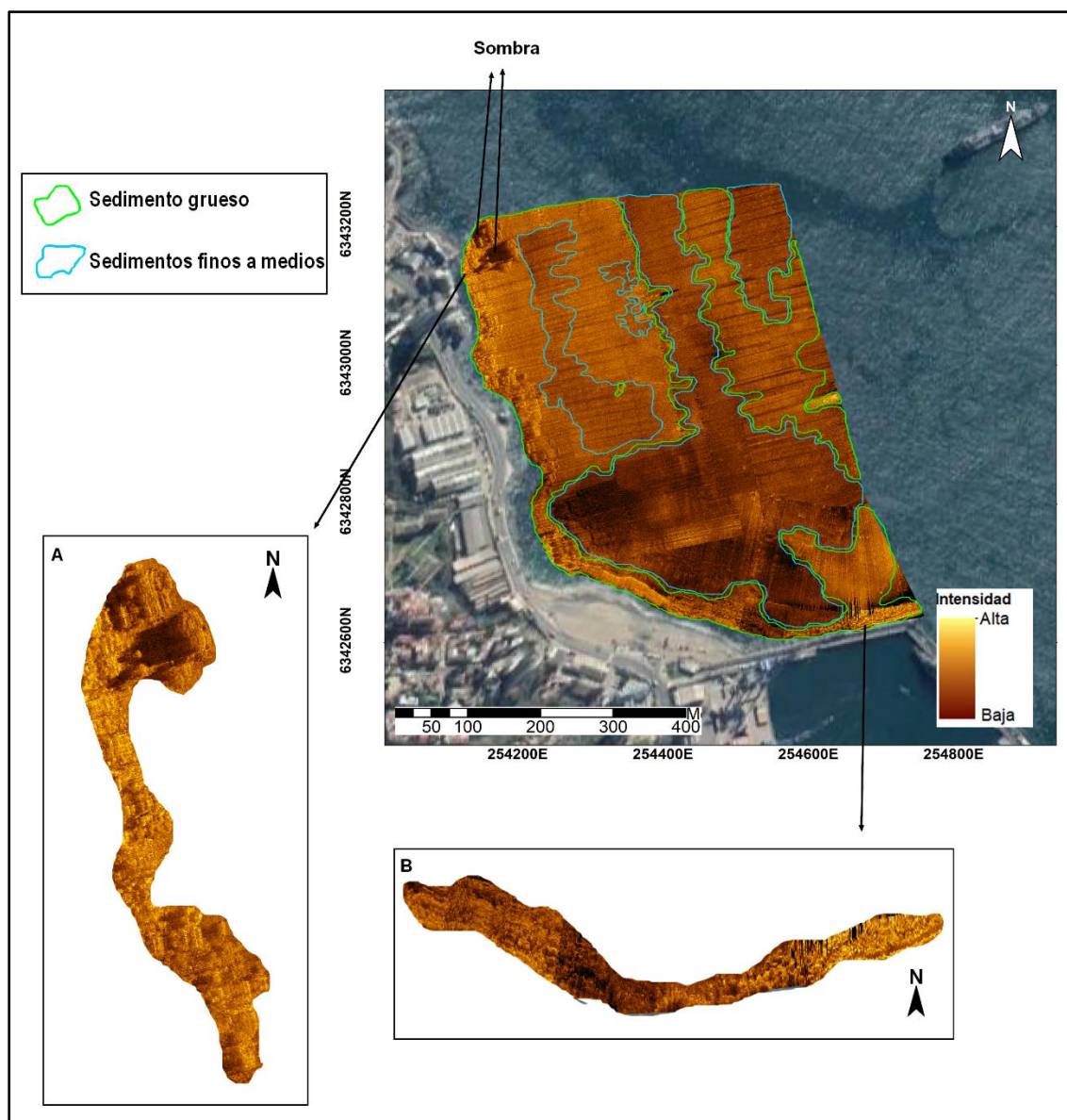


Figura 7-21: Clasificación y caracterización fondo marino, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

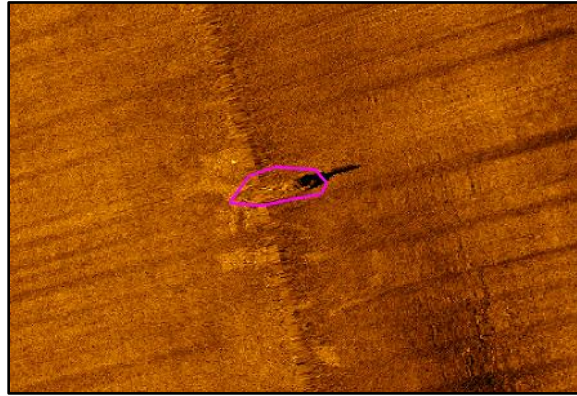


Figura 7-22: Elemento identificado, San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz).

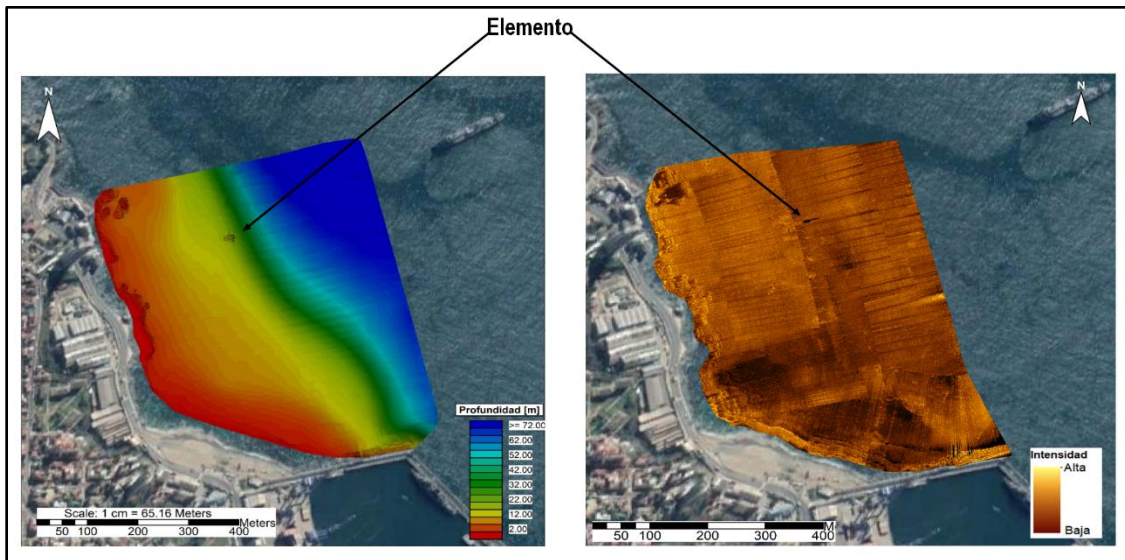


Figura 7-23: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), San Mateo.

(Fuente: Elaboración propia).

7.2.2 BARÓN

La Figura 7-24 muestra el fotomosaico del fondo marino de Barón, a simple vista no se observan grandes variaciones en la intensidad del eco recibido, lo cual puede deberse a las condiciones del sector (granulometría uniforme) como a parámetros al momento de la adquisición.

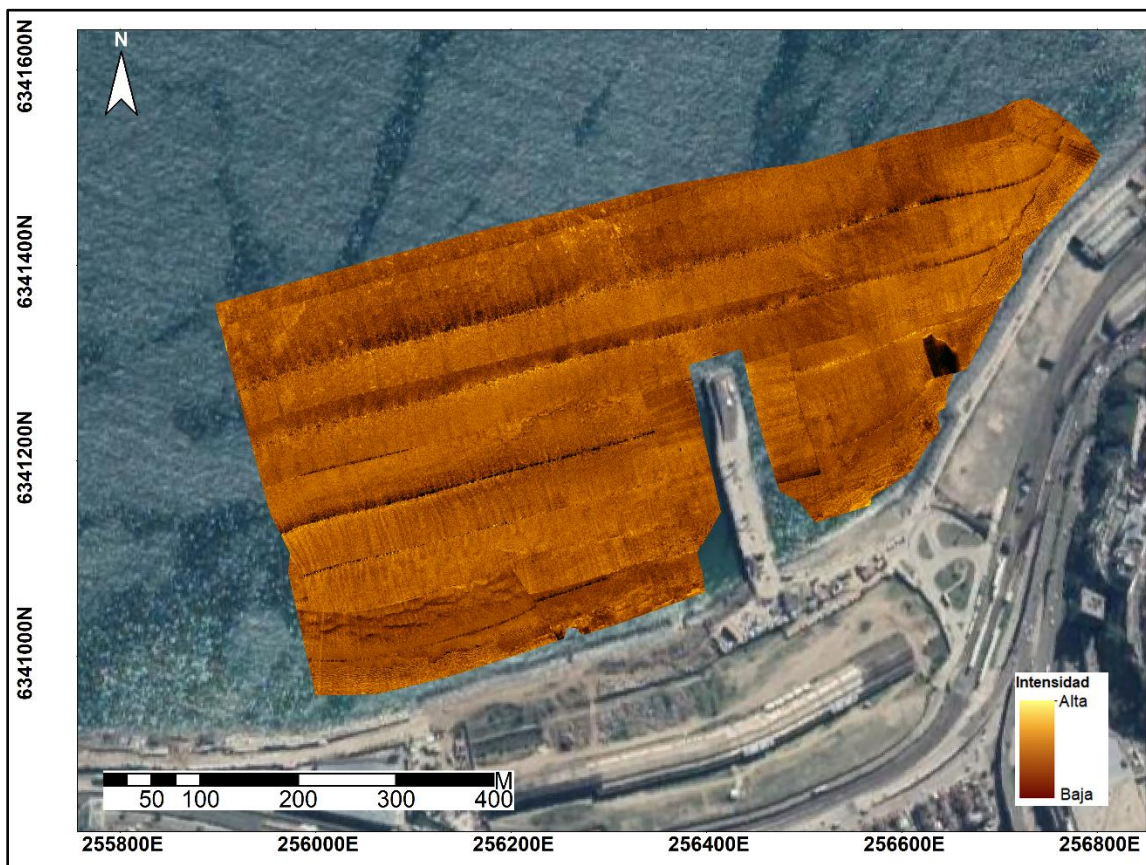


Figura 7-24: Fotomosaico fondo marino, Barón.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Respecto a las pruebas de clasificación (ver Figura 7-25), el algoritmo arrojó sólo una clase de sedimentos gruesos, coincidente con algunas áreas del sector estudiado, la clasificación final se muestra en Figura 7-26.

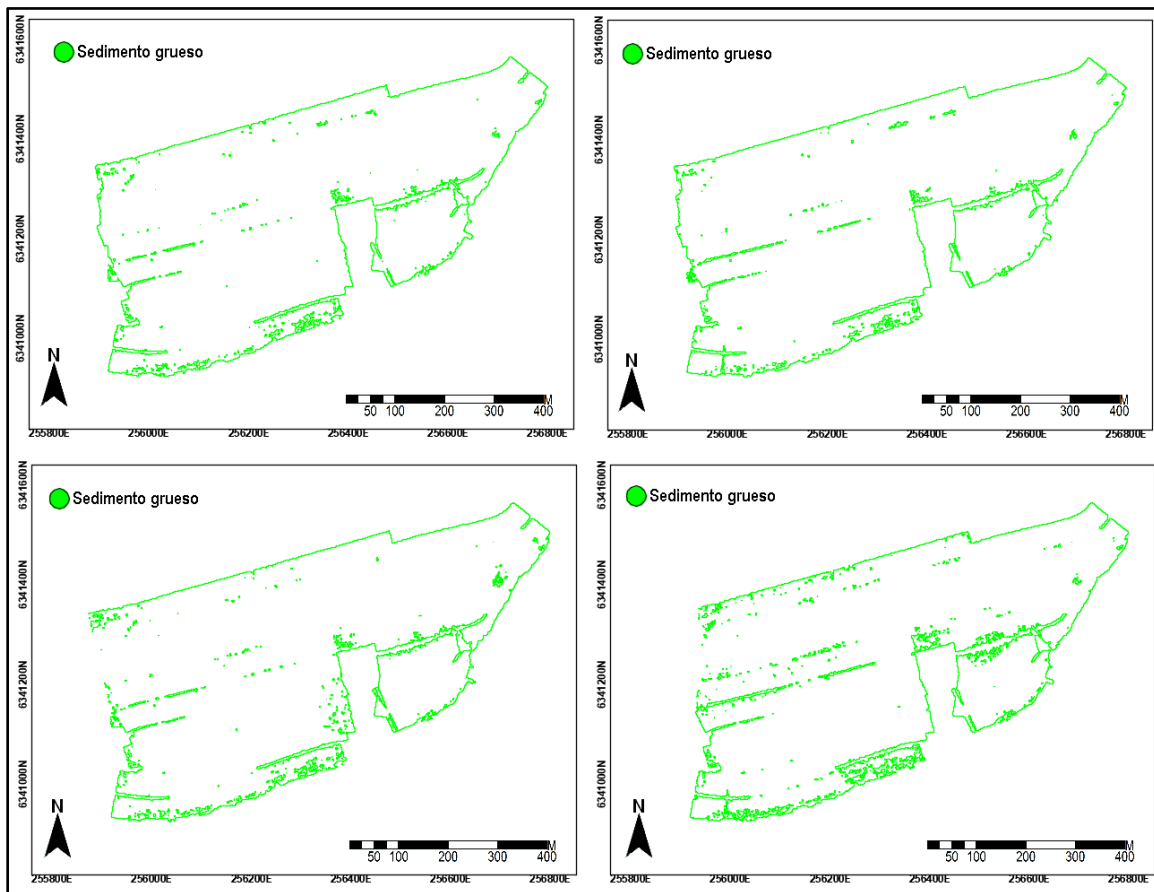


Figura 7-25: Resultados pruebas algoritmo clasificación, Barón.

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz).

En este sector se clasificó las áreas de sedimentos gruesos coincidentes con los visualizado en el fotomosaico, de allí es posible observar (A, B, Figura 7-26) zonas de ripples en la parte suroeste del sector y en lugares al este y colindantes a La Lobera que allí se encuentra. Estos ripples están asociados generalmente a sedimentos de mayor tamaño y de rasgos angulados, pudiendo ser producto de corrientes características del sector.

Al este del lugar de estudio se observa una sombra, coincidente con el análisis de los datos batimétricos, asociada a la estructura allí ubicada y las características morfológicas bajo ella, denominada como “La Lobera”. Las áreas restantes y no clasificadas dentro de la categoría de “sedimentos gruesos”, corresponden a sedimentos sin diferenciar.

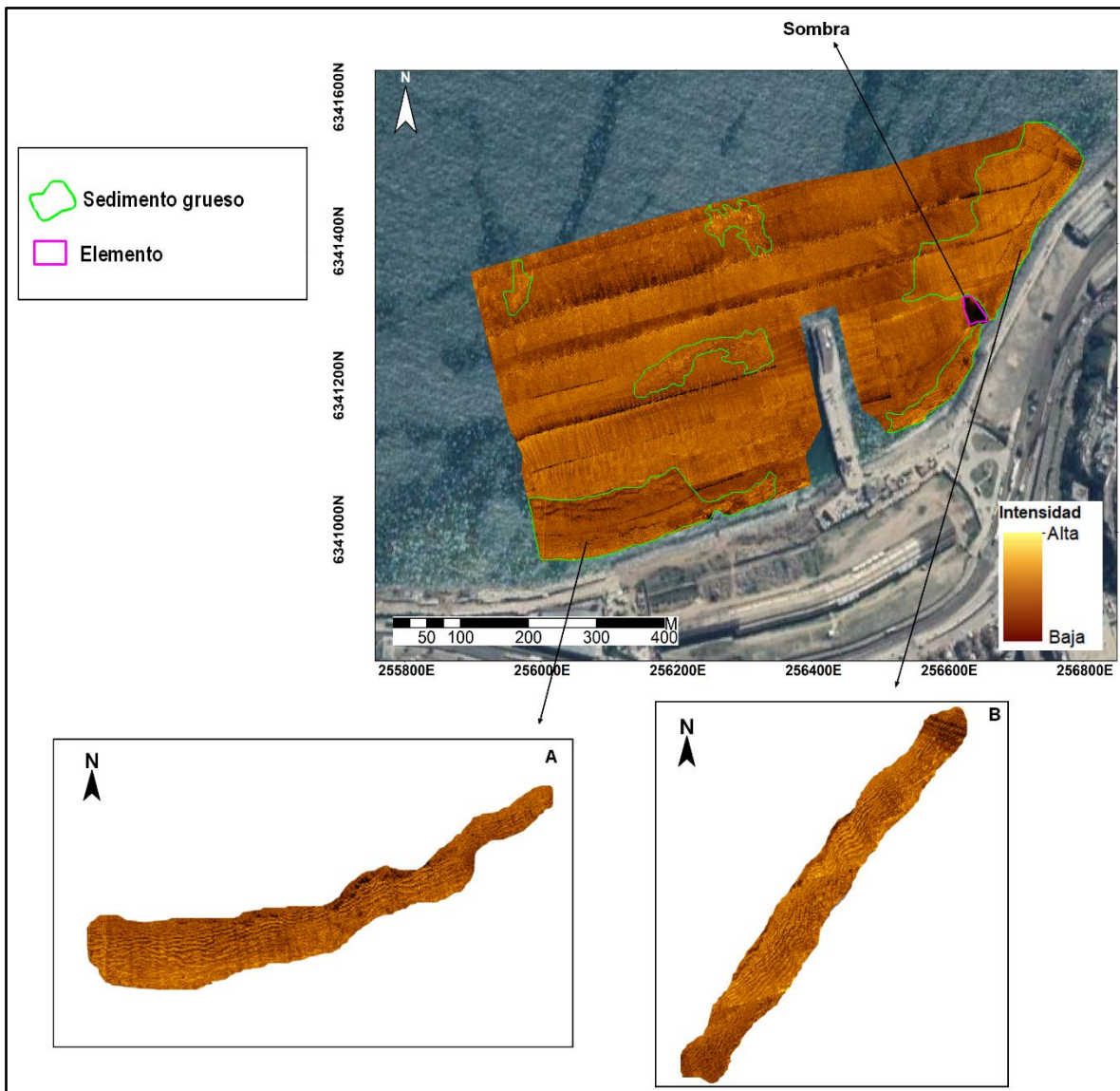


Figura 7-26: Clasificación y caracterización fondo marino, Barón.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

La Figura 7-27 muestra una comparación entre batimetría y retrodispersión, la sombra observada en el fotomosaico puede deberse al rasgo morfológico identificado allí, correspondiente a una depresión bajo La Lobera (Figura 7-8). Esto, sumado a otros factores como los trabajos de terreno, es decir, el recorrido realizado por la embarcación y posición del equipo sobre ese lugar, no permitió la adecuada propagación de los haces dentro de dicha depresión, generando de esta forma una pérdida de información y del eco retornado y, por consiguiente, la visualización de dicha sombra acústica.

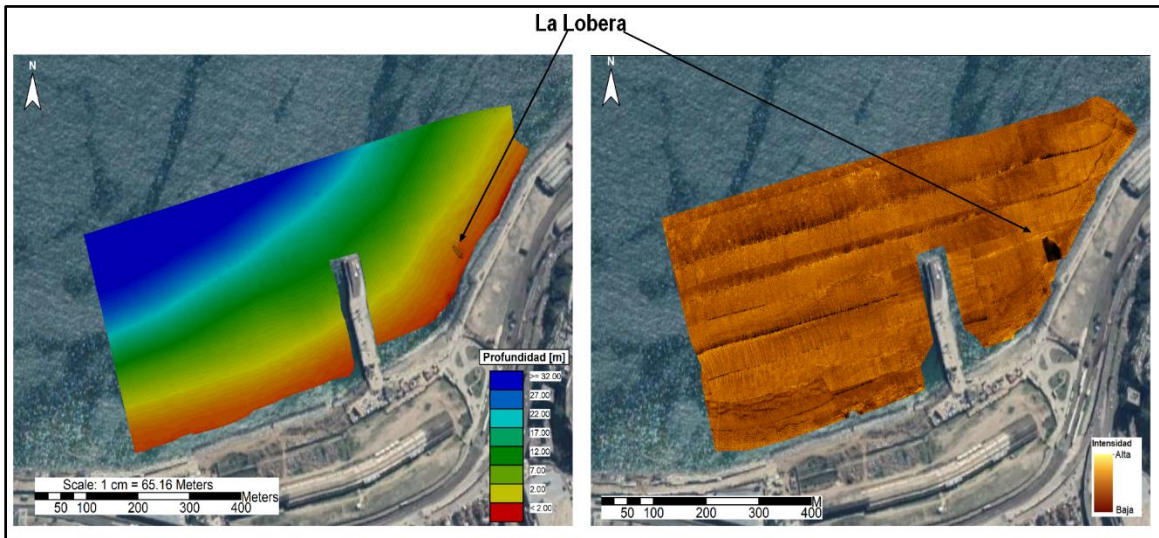


Figura 7-27: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Barón.

(Fuente: Elaboración propia).

7.2.3 CALETA PORTALES

La Figura 7-28 muestra el fotomosaico de fondo marino de Caleta Portales, aquí es posible observar dos patrones diferenciados en la intensidad del eco recibido; mayores intensidades al este (frente a paseo Juan de Saavedra), suroeste y oeste, con presencia de afloramientos rocos, asociados al Bajo Ester y coincidentes con lo arrojado por el modelo digital batimétrico. Menores intensidades, asociadas a sedimentos de menor tamaño se observan mar adentro frente a los muelles y al noreste de ellos.

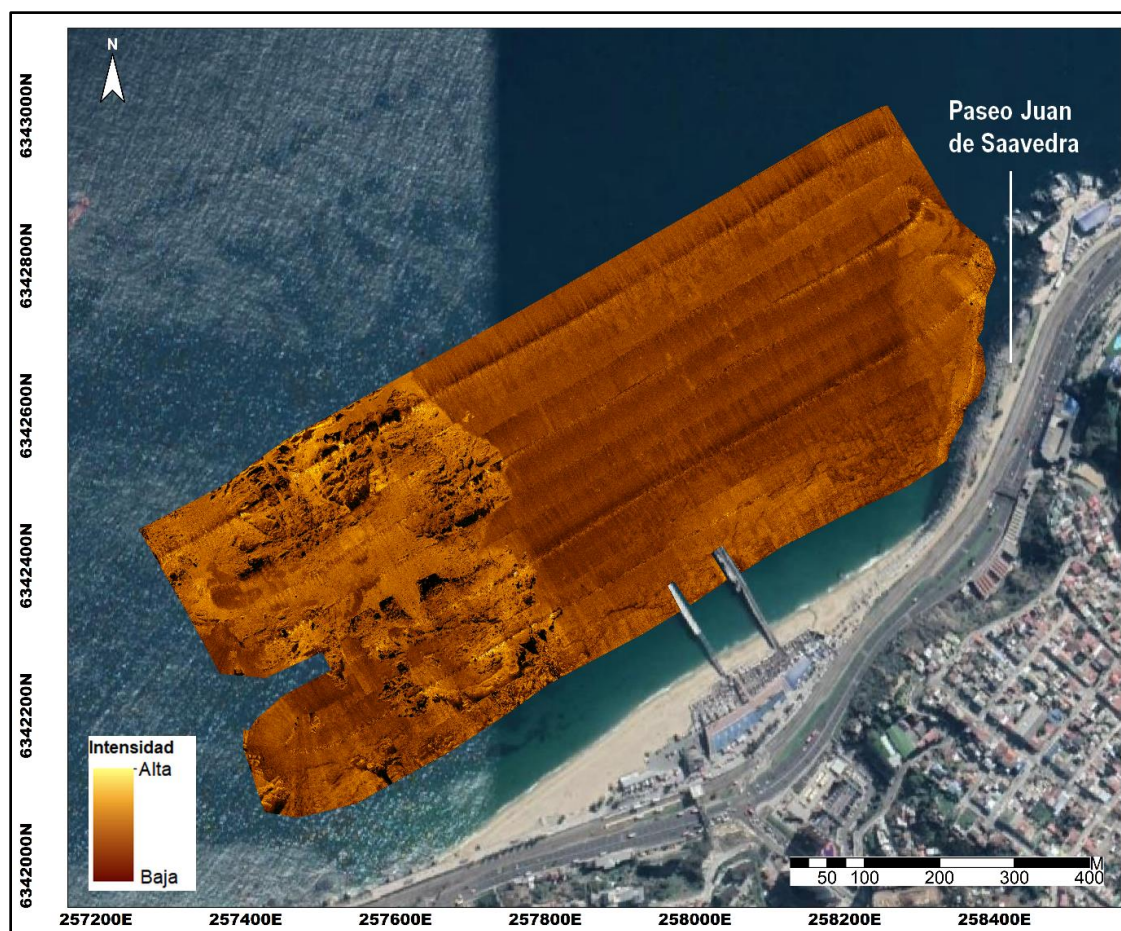


Figura 7-28: Fotomosaico fondo marino, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Respecto a las pruebas de clasificación (ver Figura 7-29), estas fueron coincidentes con lo visualizado en el fotomosaico, diferenciando claramente los patrones de reflectividad del sector, la clasificación final se muestra en Figura 7-30.

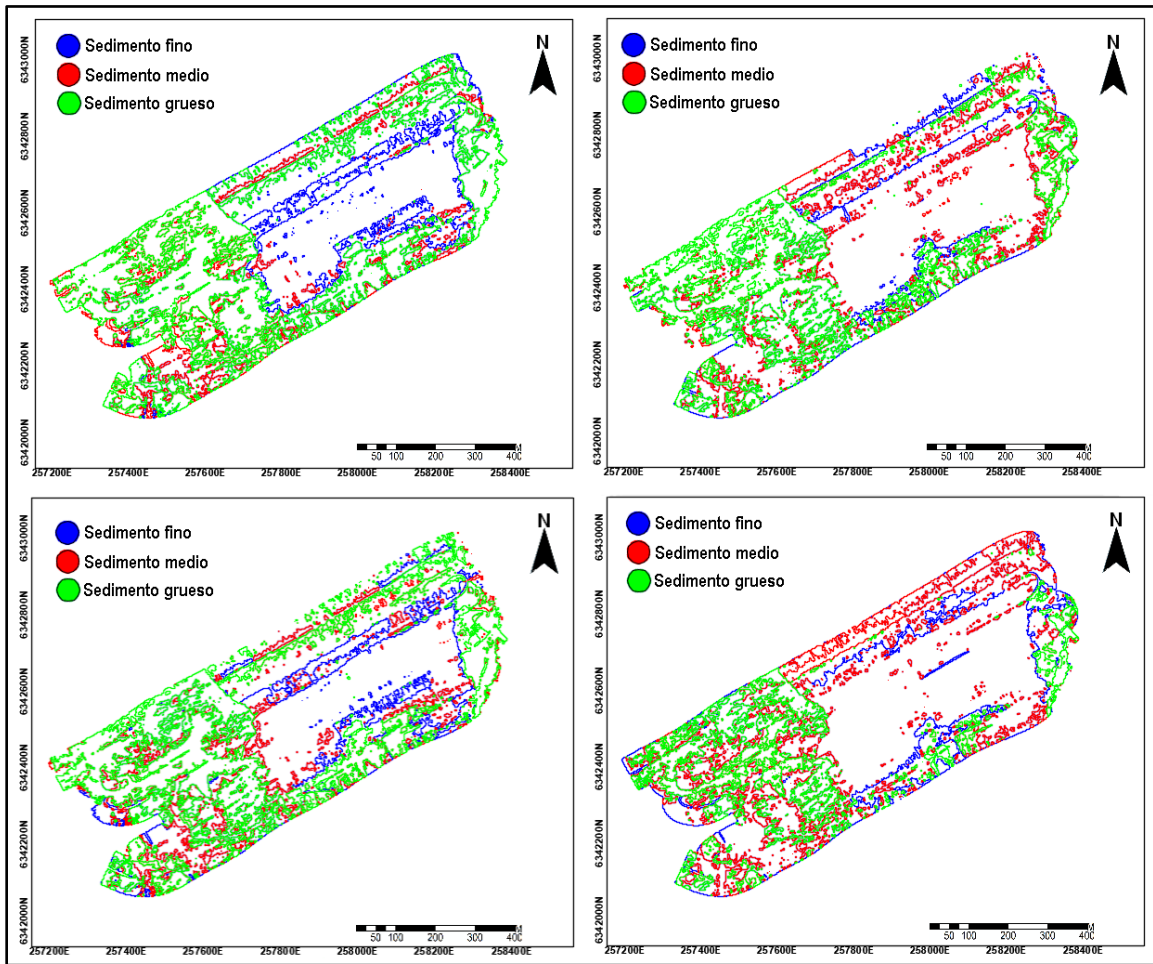


Figura 7-29: Resultados prueba algoritmo clasificación, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz).

De lo estimado por el algoritmo se generó dos clases, “sedimentos gruesos”, asociados a intensidades mayores y mayor reflectividad y “sedimentos finos a medios”, asociados a intensidades menores y de menor reflectividad. Como se mencionó anteriormente, la parte suroeste y oeste del sector se caracterizó por una gran presencia de granulometría mayor, relacionada a afloramientos rocosos y coincidente con los visualizado en el fotomosaico (ver Figura 7-28). En la parte costera cercana a los muelles también se identificó altas intensidades de retorno, asociados a la presencia de ripples (A, B, Figura 7-30) al igual que Barón. Por otra parte, costa afuera frente a los muelles y al noreste de ellos se caracterizó por un fondo marino superficial de sedimentos finos a medio.

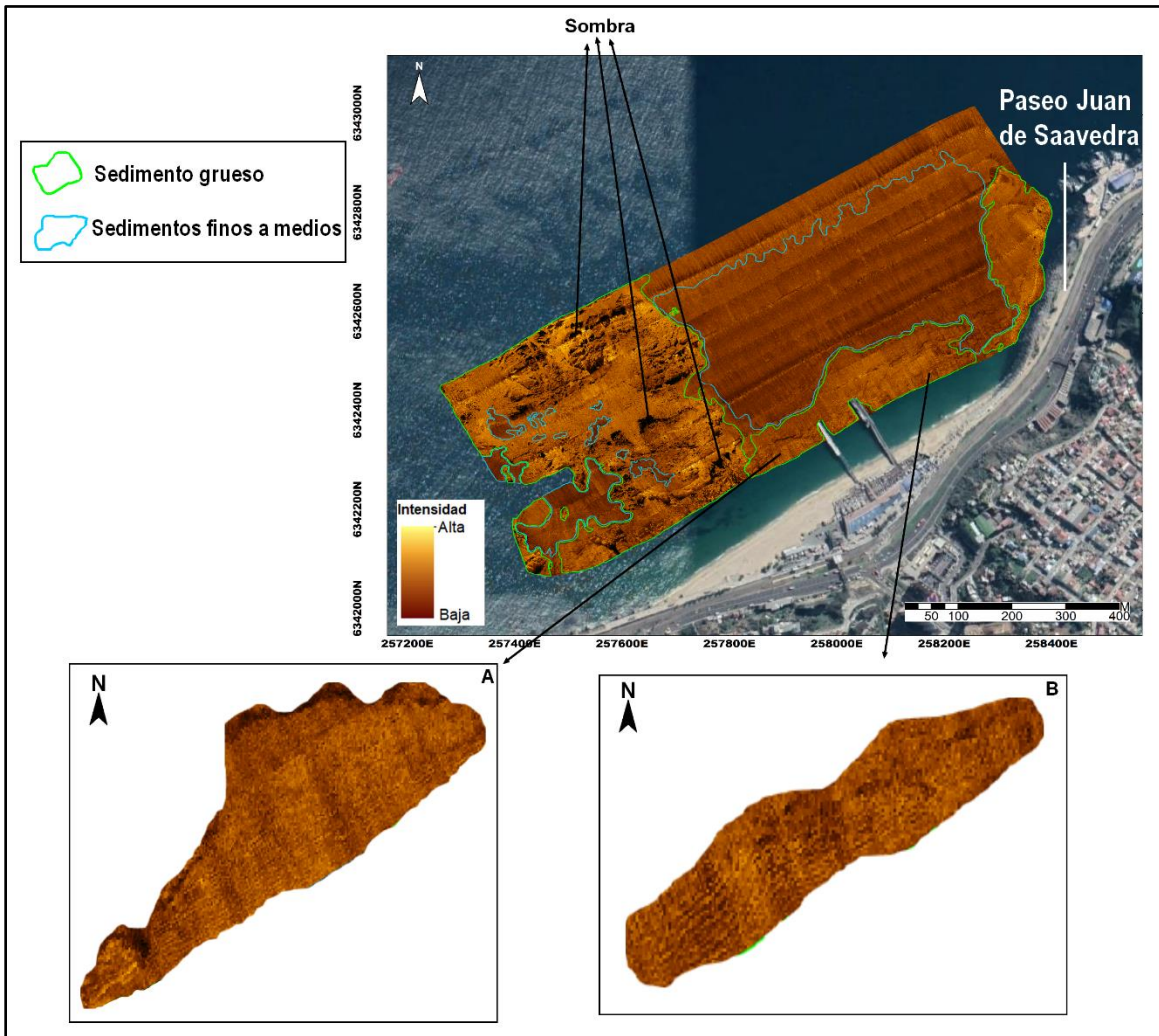


Figura 7-30: Clasificación y caracterización fondo marino, Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

La Figura 7-31 muestra una comparación entre batimetría y retrodispersión, en dicha imagen es posible identificar los principales rasgos presentes en este sector y la concordancia entre ambos productos generados, en particular los afloramientos rocosos en la parte oeste del sector y el rango de profundidades en el que se encuentran.

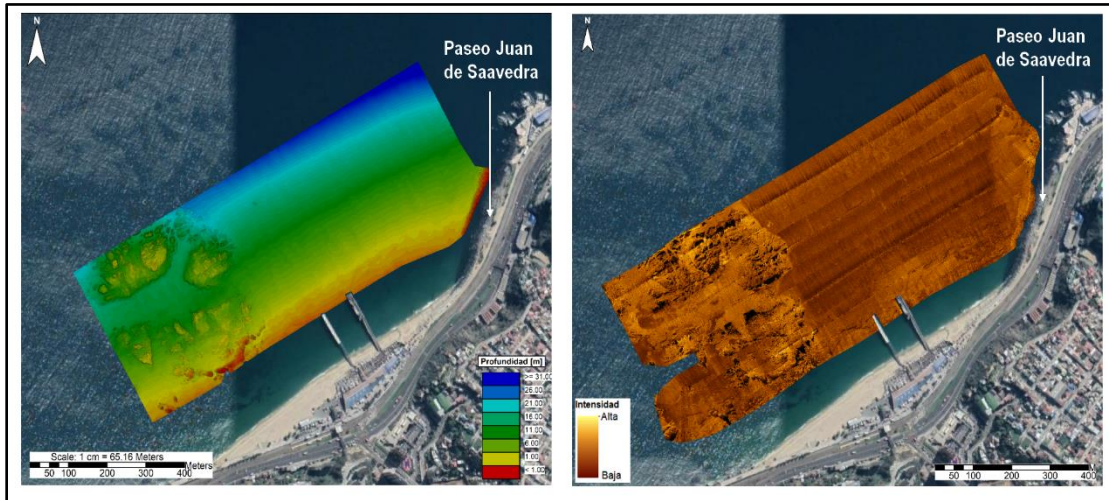


Figura 7-31: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Caleta Portales.

(Fuente: Elaboración propia).

7.2.4 MARGA MARGA

La Figura 7-32 muestra el fonomosaico del fondo marino de Marga Marga, aquí al igual que Barón, no se observaron patrones diferenciados en la intensidad del eco recibido.

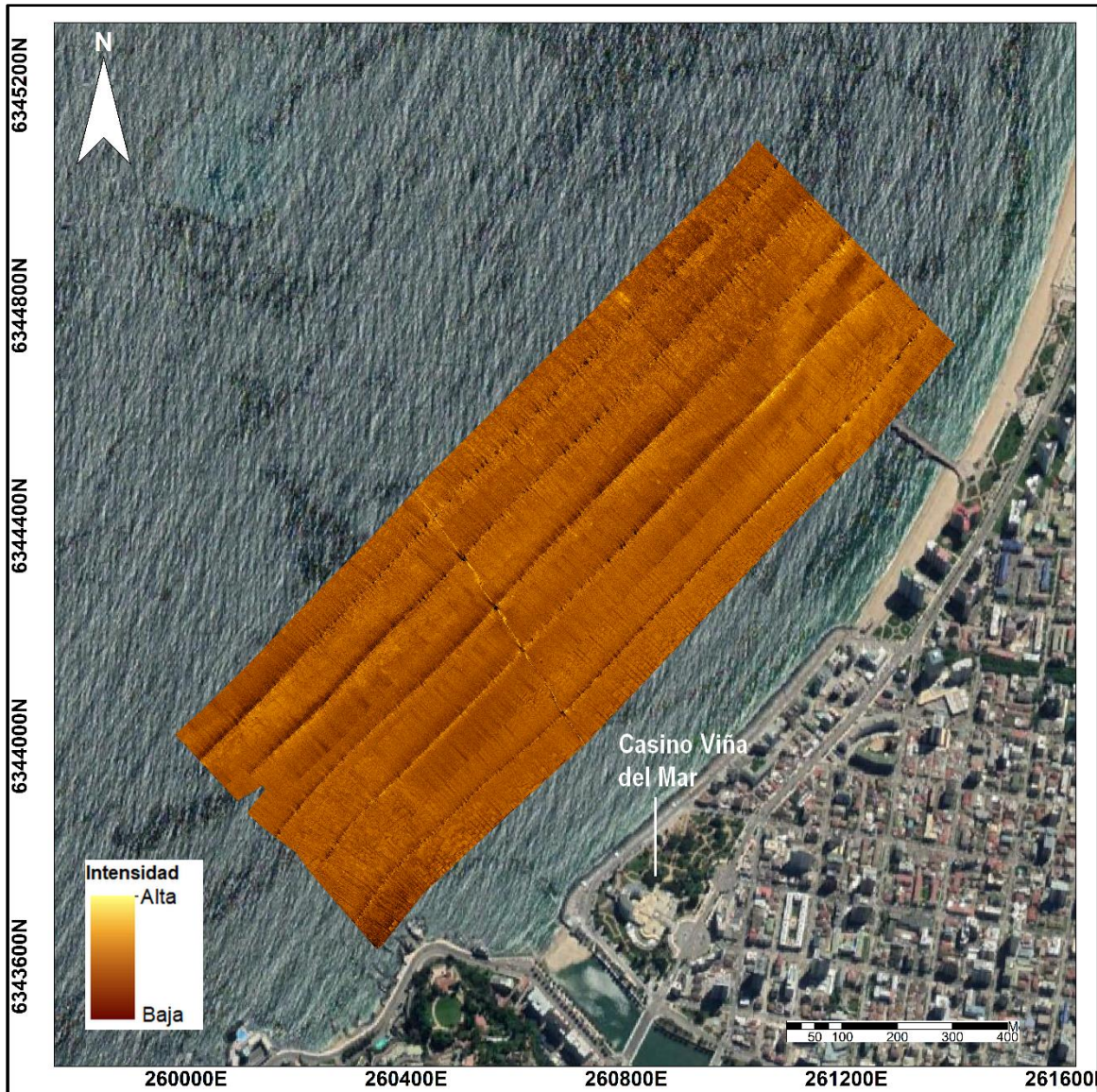


Figura 7-32: Fonomosaico fondo marino, Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

Respecto a las pruebas de clasificación (ver Figura 7-33), el algoritmo no definió patrones de distribución y no coincidió con lo observado en el fotomosaico, aquí en particular se utilizó lo visualizado en el fotomosaico para definir la clasificación, esta se muestra en la Figura 7-34.

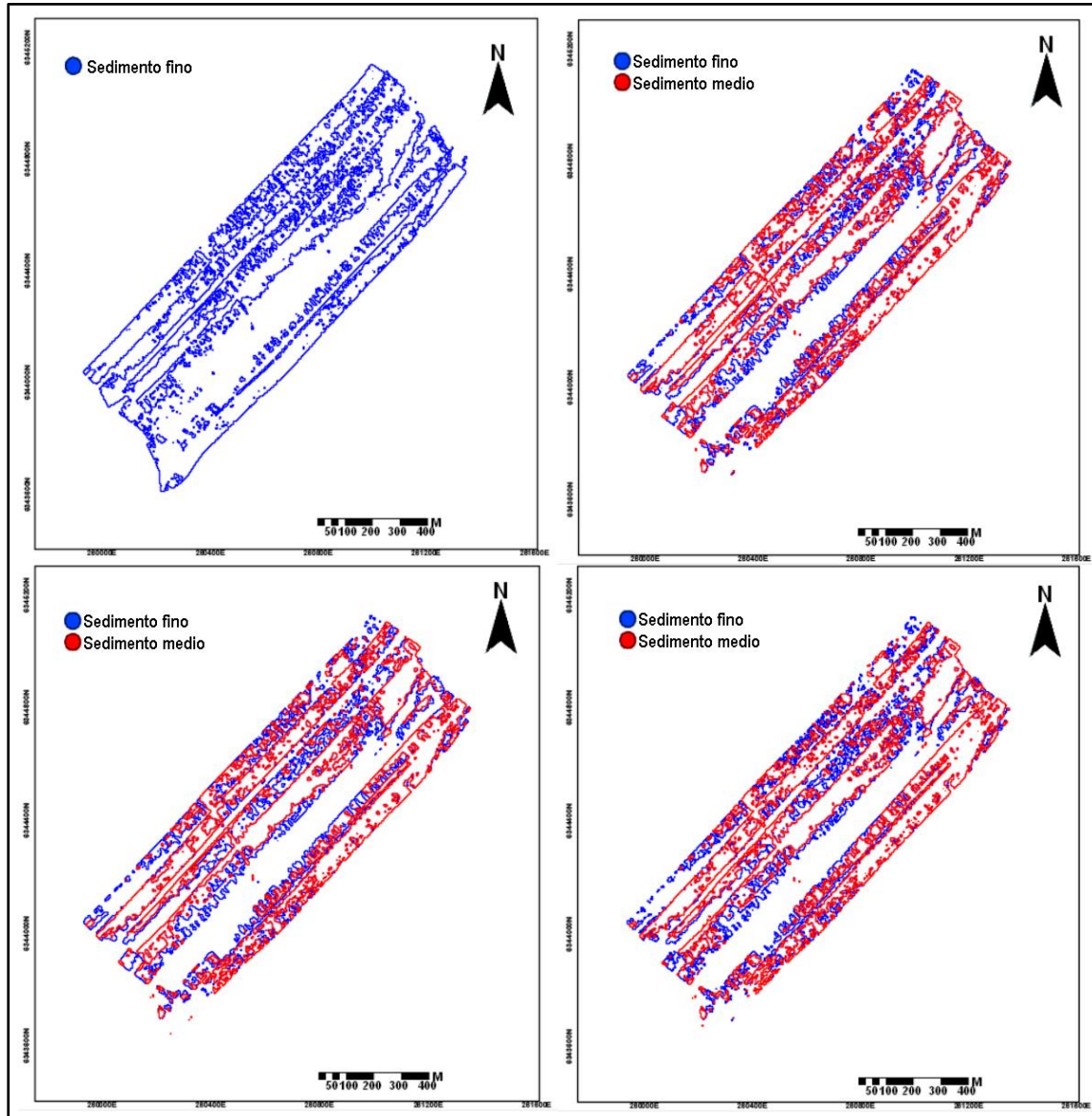


Figura 7-33: Resultados prueba algoritmo clasificación, Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia, Sonarwiz).

En general, este sector no evidenció patrones diferenciados en el comando de clasificación y lo arrojado por el fotomosaico. Pese a que la intensidad no es la misma respecto a los sectores antes estudiados, se identificó granulometría de mayor tamaño o sedimentos gruesos en el área suroeste (A, Figura 7-34), ubicada cerca del área de roqueríos en la desembocadura del Estero Marga Marga y que pudiesen ser producto de la hidrodinámica del sector. Por otra parte, en el área restante no es posible diferenciar con certeza el tipo de granulometría, correspondiendo a sedimentos sin diferenciar, coincidente con la respuesta de las intensidades del fotomosaico y la clasificación generada por el algoritmo. Finalmente, destaca la presencia de un emisario submarino (B, Figura 7-34) en dirección noroeste y de longitud aproximada de 500 [m].

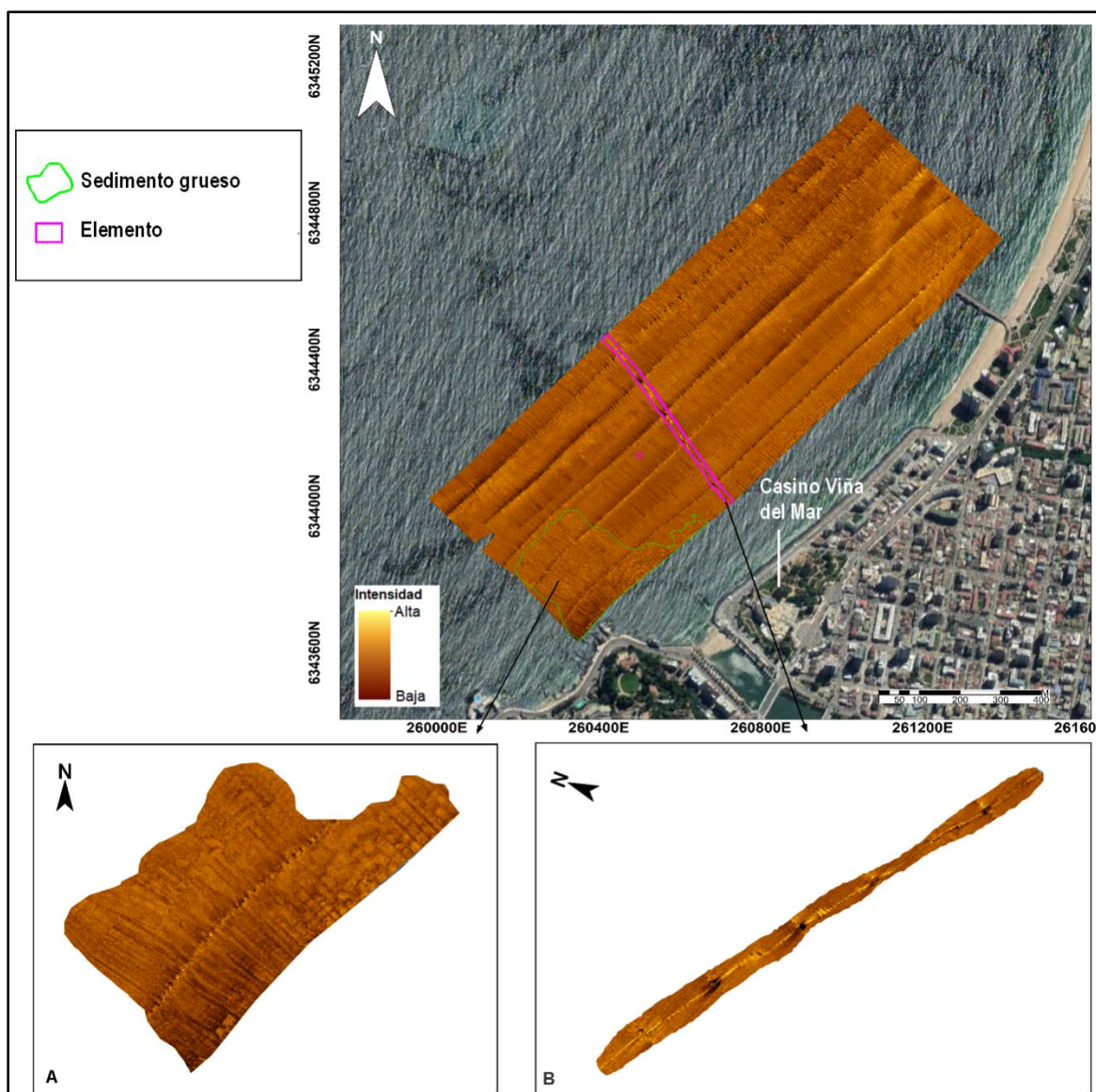


Figura 7-34: Clasificación y caracterización fondo marino, Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia, imágenes satelitales tomadas de ESRI, Arcmap).

La Figura 7-35 compara batimetría con retrodispersión, aquí al igual que en los sectores antes analizados, ambos productos son concordantes, en particular, con la presencia del emisario submarino identificado en dirección noroeste y el rango de profundidades en el que se encuentra.

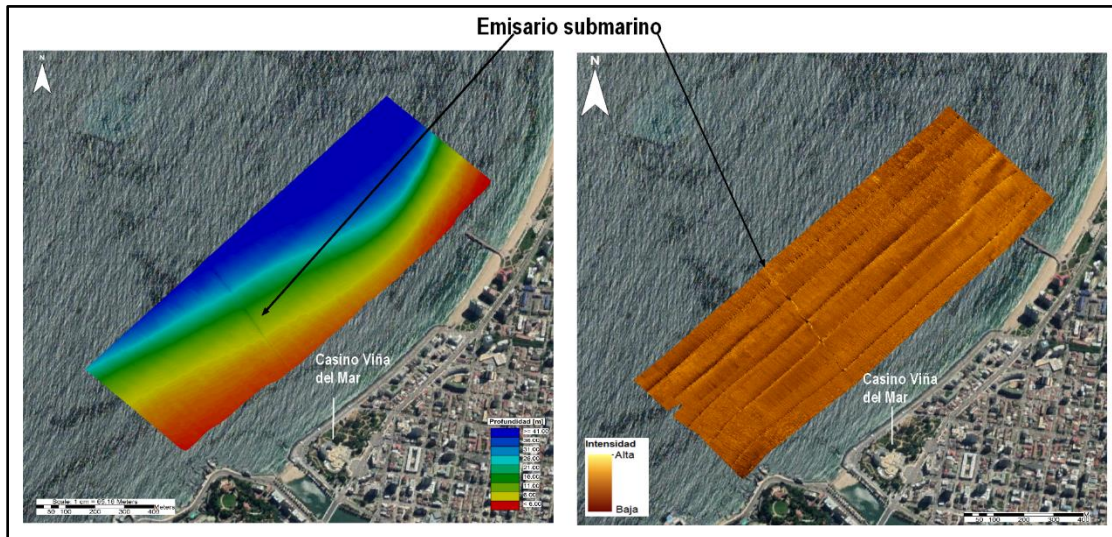


Figura 7-35: Comparación batimetría (izquierda) y retrodispersión (derecha), Marga Marga.

(Fuente: Elaboración propia).

8 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio permiten aportar al conocimiento y sentar bases para posteriores investigaciones. En este contexto, una correcta y precisa representación del fondo marino es esencial en determinados campos de la ingeniería oceánica, entre ellos; modelado numérico (como propagación de oleaje), dinámica costera o estabilidad de playas, viabilidad de proyectos portuarios, base de información para cartas de navegación y maniobras de buques en zonas portuarias.

Se caracterizó el fondo marino en cuatro sectores de la región de Valparaíso (San Mateo, Barón, Caleta Portales y Marga Marga), el estudio consistió en el reconocimiento del rango de profundidades, tipo de sedimento y elementos presentes en la superficie de dicho fondo. Se utilizó un sistema multihaz con el cual se obtuvo la información necesaria para generar un modelo digital batimétrico de alta resolución y un fotomosaico del fondo marino para cada sector.

De los modelos digitales batimétricos, en San Mateo el rango de profundidades alcanzó hasta los 72 [m] al noreste del área levantada. En Barón y Caleta Portales se observó profundidades máximas de 32 [m] al noroeste y noreste respectivamente, Marga Marga presentó su máxima profundidad en el veril 42 [m] al noreste del área. Respecto a la pendiente de fondo, se trazó tres perfiles equiespaciados por sector. En San Mateo, la pendiente de fondo marino se mantiene constante hasta el veril de los 20 [m]. Respecto a la costa, dicha profundidad, de noroeste a sureste, se alcanza a 240 [m] y 360 [m] respectivamente. A partir de los 20 [m], la pendiente se inclina extendiéndose hasta 550 [m] de la costa. En Barón la pendiente de fondo es constante hasta 380 [m] respecto a la costa y alcanzando mayores profundidades en la parte oeste. La pendiente en la parte oeste y suroeste de Caleta Portales es irregular debido a la presencia de afloramientos rocosos. Hacia el noreste es constante hasta los 440 [m] respecto a la costa. En Marga Marga, al noreste, la pendiente de fondo se empieza a inclinar a 150 [m] de la costa, a 16 [m] de profundidad, en contraste a su parte suroeste, donde la pendiente se mantiene constante hasta aproximadamente 340 [m] de la costa. Esta variabilidad del fondo marino superficial puede deberse a procesos dinámicos costeros propios de la zona.

Respecto a los sedimentos superficiales del fondo marino, estos se identificaron en base a la intensidad del eco recibido. Una de las variables que afectan a la intensidad de dicho eco, es el tamaño del grano en el cual se reflejan, se ha estudiado que a medida que aumenta el tamaño del grano, el backscatter decae menos, es decir, alta intensidad de retorno, caso contrario, si disminuye el tamaño del grano, el eco recibido será más bajo. Ante esto, y con la información proporcionada por los fotomosaicos, se observó qué; San Mateo presentó una alta intensidad del eco recibido en su parte costera al noroeste y oeste, asociados a afloramientos rocosos y caracterizados como “sedimentos gruesos”. Al sureste, al costado del molo de abrigo también se identificó una alta respuesta del eco, coincidentes con el relleno de protección de la estructura antes mencionada. La parte sur y central se caracterizó por la presencia de “sedimentos finos a medios” relacionados a una baja intensidad en la respuesta del eco. El sector de Barón se caracterizó por una granulometría más uniforme, debido a que no se observó patrones diferenciados en la intensidad del eco. Sin embargo, a profundidades someras de 2 [m], en la parte costera suroeste y este colindante a la estructura denominada “La Lobera”, se identificó la presencia de ripples,

asociados a sedimentos de mayor tamaño. Las áreas restantes se identificaron como “sedimentos sin diferenciar” debido a la respuesta uniforme del eco. Caleta Portales presentó dos claros patrones del eco recibido. Mayores intensidades se identificaron al este, frente a Paseo Juan de Saavedra y al oeste y suroeste, en el sitio denominado “Bajo Ester”, coincidentes con los afloramientos rocosos allí presentes. En la parte costera central, cercana a los muelles se identificó ripples, asociados a altas intensidades del eco recibido. Por otra parte, menores intensidades o “sedimentos finos a medios” se identificaron mar adentro en la parte central del área y al noreste de los muelles. En Marga Marga no se observó patrones diferenciados en la intensidad del eco recibido que permitieran una clasificación por parte del algoritmo utilizado. La clasificación se limitó a lo visualizado en el fotomosaico y del cual se identificó sedimentos de mayor tamaño al suroeste del área ensonificada, cercano al sitio de roqueríos en la desembocadura del estero Marga Marga. Debido a la respuesta uniforme del eco, el área restante se clasificó como “sedimentos sin diferenciar”.

La resolución de la información permitió identificar elementos en la capa superficial del fondo marino, en San Mateo destaca la presencia del relleno de protección a lo largo del molo de abrigo y un posible naufragio a 240 [m] de la costa (justo antes del cambio en la inclinación de la pendiente), a 16 [m] de profundidad y con una longitud aproximada de 22 [m]. En Barón, en la zona de los vestigios del muelle de carbón y que actualmente es usado como reposadero por lobos marinos (“La Lobera”), se identificó una sombra acústica producida probablemente por la característica del eco retornado. Esto puede estar relacionado a la morfología en particular de aquel lugar (depresión visualizada a través de perfiles), recorrido y posición del equipo utilizado. En Marga Marga se reconoció un emisario submarino en dirección noroeste, a 37 [m] de profundidad alcanza una extensión hasta 500 [m] respecto a la costa.

De los cuatro sectores estudiados, Caleta Portales presentó mayor proporción de granulometrías de mayor tamaño al igual que Barón en toda su parte costera y somera. San Mateo presentó proporciones similares entre granulometrías gruesas y finas a medias y Marga Marga sólo fue posible diferencias granulometrías mayores en la parte suroeste de dicho sector. La implementación de técnicas de prospección hidroacústica, en particular, el uso de un sistema multihaz de alta resolución, permitió reconocer las principales características superficiales del fondo marino en la zona costera de la región de Valparaíso. Como se mostró en este estudio, el conocimiento del comportamiento de una onda acústica, su interacción entre dos medios distintos, y la composición del fondo marino superficial permite caracterizar en una primera aproximación las profundidades, el tipo de sedimento y elementos presentes de un área ensonificada. En general, el uso de equipos de alta resolución facilita y amplía el acceso a información de un medio dinámico y complejo como es el océano, esto permite el desarrollo de proyectos portuarios, proteger de peligros en la navegación y apoyar diversas líneas de investigación de procesos físicos costeros y medio ambientales.

Finalmente, los resultados aquí expuestos se limitan a las fechas de ejecución de los datos, por lo que posterior a esto, dichos resultados están sujetos a distintas variables relacionadas a eventos locales. Para una certera caracterización superficial del fondo marino, es adecuado complementar dicha información con muestras obtenidas del lugar estudiado a fin de correlacionar los resultados obtenidos con el sistema multihaz y la toma de muestras in situ.

9 REFERENCIAS

- (SHOA), S. H. (1999). *Instrucciones Oceanográficas N°2*. Valparaíso, Chile.
- (SHOA), S. H. (2017). *Tablas de mareas de la Costa de Chile*. Valparaíso: SHOA.
- Bueche, F., & Hecht, E. (2001). *Física general*. D.F, México: McGRAW-HILL Interamericana editores, s.A. de C.V.
- Buscome, D., Grams, P., & Smith, S. (2015). *Automated Riverbed Sediment Classification Using Low-cost Sidescan Sonar*. Flagstaff, U.S.A: Journal of Hydraulic Engineering.
- Chesapeake Technology, Inc. (2016). *SonarWiz User Guide*. California.
- Chile, S. H. (2017). *Tablas de Mareas de la Costa de Chile*. Valparaíso.: SHOA.
- Dartnell, P., & Dardner, J. (2004). *Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data* (Vol. 70). California, U.S.A: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.
- Dierssen, H., & Theberge Jr, A. (2014). *Bathymetry: History of Seafloor Mapping*. Maryland, U.S.A: Taylo & Francis.
- EdgeTech. (2017). *6205 Bathymetry & Side Scan System*. (EdgeTech, Ed.) Massachusetts, U.S.A.
- Giancoli, D. (2002). *Física para universitarios* (Vol. 1). México: Pearson educación.
- Hewitt, P. (1997). *Física conceptual* (Vol. Tercero). México: Addison Wesley.
- HYPACK. (2018). *Hypack User Manual*. Connecticut.
- Kinsler, L., Frey, A., Coppens, A., & Sanders, J. (1999). *Fundamentos de acústica*. México D.F.: LIMUSA, S.A.
- Klaucke, I. (2018). *Sidescan Sonar*. Kiel, Alemania: Springer International Publishing AG.
- L3 ccommunications, S. I. (2000). *Multibeam Sonar, Theory of Operation*. Massachusetts, U.S.A.
- Naval Personnel Program Support Activity, W. D. (1968). *Introduction to Sonar, Navy Training Course*. Washington, DC.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1999). *Física* (Vol. 1). D.F., México: CECSA.
- Rodrigo, C. (2006). *Caracterización y clasificación de la bahía de Puerto Montt mediante batimetría de multihaz y datos de backscatter*. Valparaíso, Chile: Investigaciones marinas.