
Anexo nº 1.- Caracterización del fondo marino

ÍNDICE

ANEXO Nº 1.- CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	BATIMETRÍA DE PROSPECCIÓN	2
1.1.2	CAMPAÑA DE TERRENO	3
1.1.3	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	4
1.1.4	RESULTADOS – BATIMETRÍA	4
1.1.5	RESULTADOS - DUREZA DEL FONDO MARINO	6
1.2	CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS	8
1.2.1	EQUIPOS UTILIZADOS	10
1.2.2	CAMPAÑA DE TERRENO	10
1.2.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	11
1.2.4	RESULTADOS – PLANO MORFOLÓGICO	11
1.3	INSPECCIÓN ROV	13
1.3.1	EQUIPOS UTILIZADOS	14
1.3.2	CAMPAÑA DE TERRENO	14
1.3.3	RESULTADOS	14

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	REPRESENTACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS COMPLETADAS (ÁREA DE ESTUDIO).	3
FIGURA 2.	PUNTOS DE SONDEO OBTENIDOS DURANTE EL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	4
FIGURA 3.	PLANO BATIMÉTRICO DEL ENTORNO DEL PUERTO DE ARICA	5
FIGURA 4.	PERFILES LONGITUD Y TRANSVERSAL DE PROFUNDIDAD.	6
FIGURA 5.	PORCENTAJE DE DUREZA DEL FONDO MARINO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	7
FIGURA 6.	PERFIL BATIMÉTRICO LONGITUDINAL. LOS COLORES REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE DUREZA.	7
FIGURA 7.	PERFIL BATIMÉTRICO TRANSVERSAL. LOS COLORES REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE DUREZA.	8
FIGURA 8.	REPRESENTACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS COMPLETADAS (ÁREA DE ESTUDIO).	9
FIGURA 9.	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN EL ENTORNO DEL PUERTO DE ARICA.	10
FIGURA 10.	PLANO MORFOLÓGICO DEL ENTORNO DEL PUERTO DE ARICA.	13
FIGURA 11.	UBICACIÓN DE LAS ZONAS INSPECCIONADAS CON ROV.	14
FIGURA 12.	ROV2. ARRIBA. IMAGEN DEL ENROCADO. ABAJO. A 12 M DE PROFUNDIDAD SE ALCANZA EL FONDO ARENOSO.	15
FIGURA 13.	EL EXTREMO DEL MOLO, HASTA LA ESTACIÓN DE MUESTREO MF7/ROV3 PRESENTA FRAGMENTOS DE ROCAS DE DIVERSO TAMAÑO.	16
FIGURA 14.	PRESENCIA DE RESTOS BLANCOS DE ORIGEN CALCÁREO MEZCLADOS CON LA ARENA DE COLOR OSCURO.	17
FIGURA 15.	ROV5. ARRIBA. RIPPLES SOBRE EL FONDO ARENOSO. EN LA PARTE DE ABAJO DETALLE DE LA PROTECCIÓN DEL ROV ENTERRADA EN LA ARENA.	18

1. Introducción

Con el fin de identificar el lugar de ubicación del equipo de medición de corrientes y oleaje, así como la traza para el tendido del cable, se ha realizado el estudio de caracterización del fondo marino en el entorno de la zona de embarque del práctico y a lo largo de la traza prevista para el fondeo del cable submarino. En concreto se ha realizado:

- Batimetría de prospección.
- Toma de muestras de sedimentos y análisis granulométrico.
- Revisión con vídeo submarino de lugares específicos del área de trabajo:
 - Zona prevista de bajada del cable entre la escollera.
 - Zona alternativa de bajada del cable.
 - Selección de puntos dentro de la dársena (especialmente en el entorno del molo).
 - Selección de puntos en el exterior del Puerto.

La autorización para la realización de los trabajos por parte del SHOA se recibió el día 12 de noviembre de 2020. Ver documento adjunto en el Apéndice nº 1.1 de este Anexo.

A continuación, se describen los trabajos realizados y los resultados obtenidos.

1.1 BATIMETRÍA DE PROSPECCIÓN

Se ha realizado un levantamiento batimétrico de prospección en el entorno del Puerto de Arica. En concreto, el área de estudio incluye la traza prevista de tendido del cable, hasta un lugar situado en el entorno de la zona de espera del práctico nº 2 (ZEP-2). Este lugar se corresponde con el punto donde actualmente la Empresa Portuaria de Arica está recibiendo el pronóstico de oleaje.

El levantamiento batimétrico ha contribuido a:

- Determinar las características del fondo marino en el área de estudio.
- Conocer las profundidades en el área de estudio.

La Figura 1 presenta el área de estudio. En la imagen se pueden ver las trayectorias completadas durante la ejecución del levantamiento batimétrico.

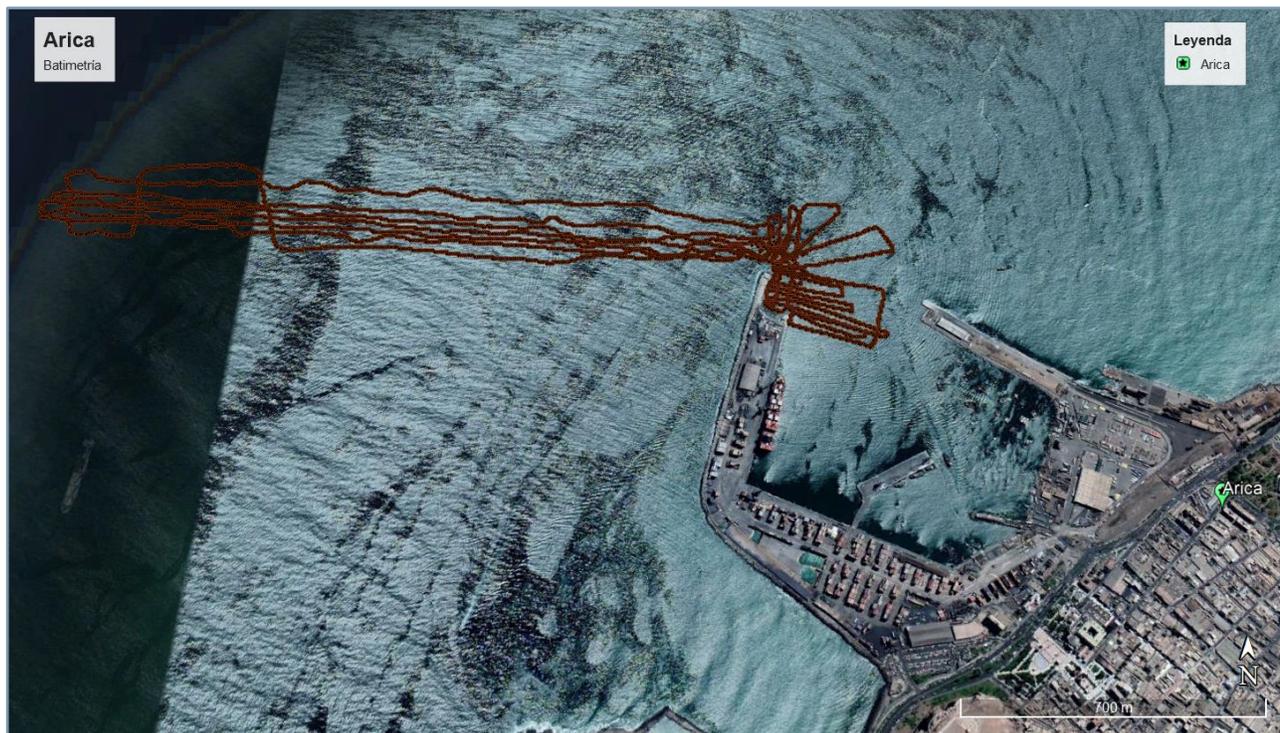


Figura 1. Representación de las trayectorias completadas (área de estudio).

1.1.1.1 Equipos utilizados

La batimetría se ha realizado con un sistema OLEX 7.34 N° Serie 7057 que almacena y procesa en tiempo real los datos obtenidos por el ecosonda y un GPS.

- Videosonda Marca: Hondex Modelo: HE-7300DI, con número de serie 770139 con pantalla LCD Color de 10,4”.
- Transductor de goma Modelo TD67 50/200 Khz.- 1,8 Kw.
- Software Olex-ht para cartografía con dureza del fondo.
- Antena GPS: Hondex modelo 16H Serie K13096 con una caja de interconexión nmea (GPS y sonda).
- PC notebook HP Pavilion con software y carta navionics.
- Soporte de transductor.
- La campaña en terreno se realizó desde la embarcación LM Valentín (QUE. 691) de 11 metros de eslora. El transductor del ecosonda se fijó por babor en la zona media de la embarcación, y la antena GPS en sobre el transductor del ecosonda.

1.1.2 Campaña de terreno

El Levantamiento batimétrico, se realizó entre el 15 y 16 de noviembre de 2019 y comprendió una superficie de 56 hectáreas.

Durante la ejecución de los trabajos en terreno las condiciones del oleaje fueron de calma.

Se registraron 4038 puntos (XYZ) de sondeo durante la ejecución del levantamiento batimétrico. Ver Figura 2.

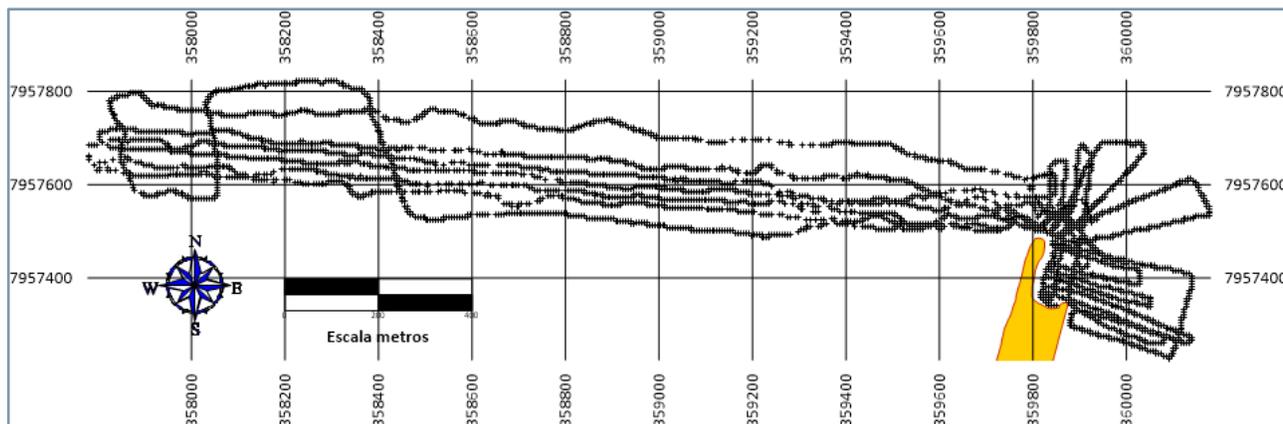


Figura 2. Puntos de sondeo obtenidos durante el levantamiento batimétrico.

1.1.3 Procesamiento de los datos

Tras la campaña de terreno se realizó el siguiente trabajo de gabinete.

- Revisión de datos y eliminación de valores espurios. Se utilizó el módulo de Olex para localizar datos erróneos y eliminarlos, se consideró el método piramidal con un factor de 0.2.
- Generación de curvas de nivel con el software *surfer*. (Método Inverse distance to Power). Se incorporó la línea referencial de costa, que se determinó mediante GPS en terreno.
- Elaboración de planos (batimetría y dureza de fondo).

Olex permite trazar cartas de dureza del lecho marino a partir de los ecos del fondo, teniendo en cuenta parámetros como la longitud del pulso, ancho del haz y tipo de transductor.

1.1.4 Resultados – Batimetría

La batimetría muestra un fondo con pendiente suave desde la bocana hasta la zona de embarque del práctico nº 2 (ZEP-2), sin formaciones geomorfológicas reseñables que puedan condicionar el tendido del cable. Ver Figura 3.

- Profundidad mínima de 15 m aprox. en el interior de la dársena
- Profundidad máxima de 23 m aprox. en el punto donde actualmente la EPA obtiene datos de pronóstico (ZEP – 2).

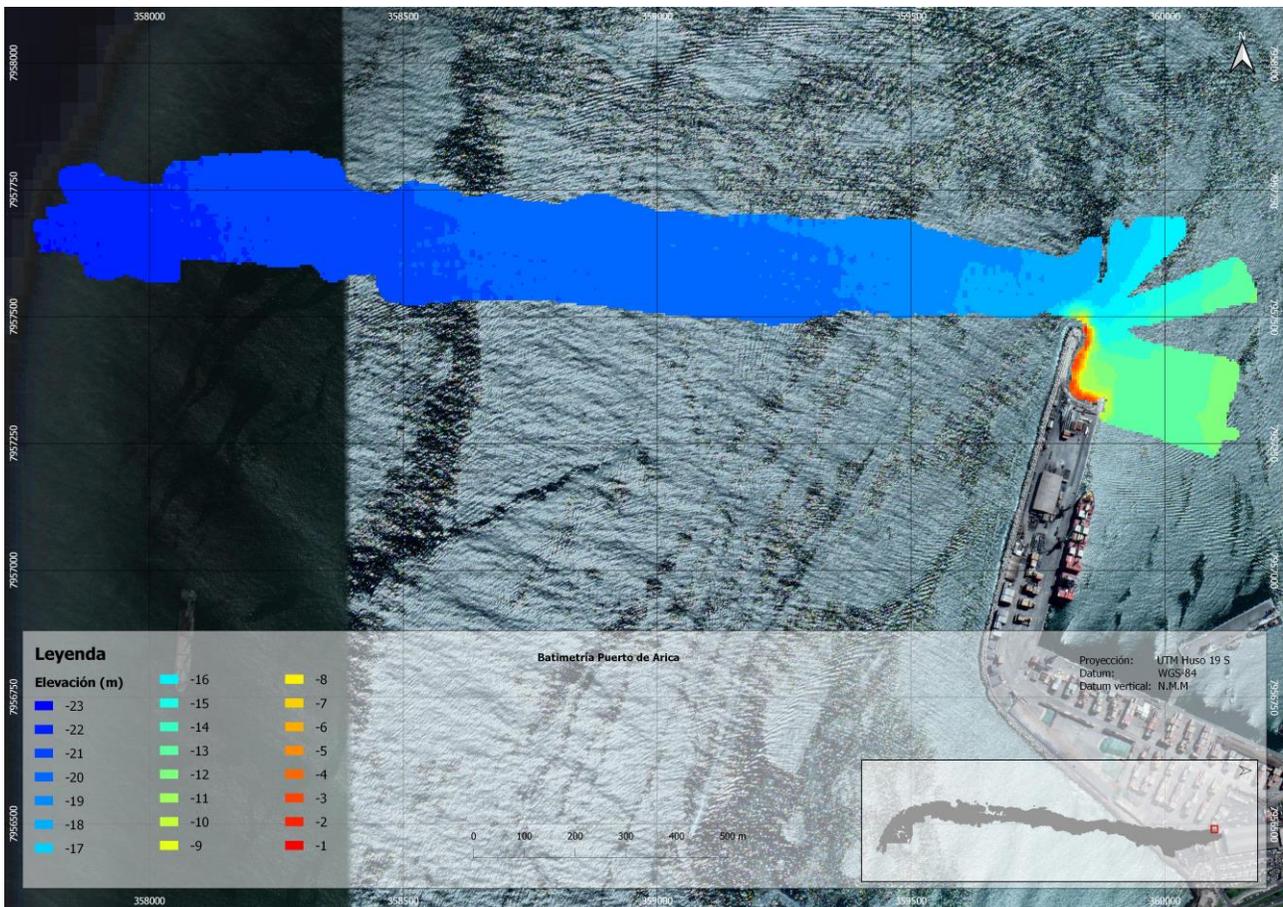
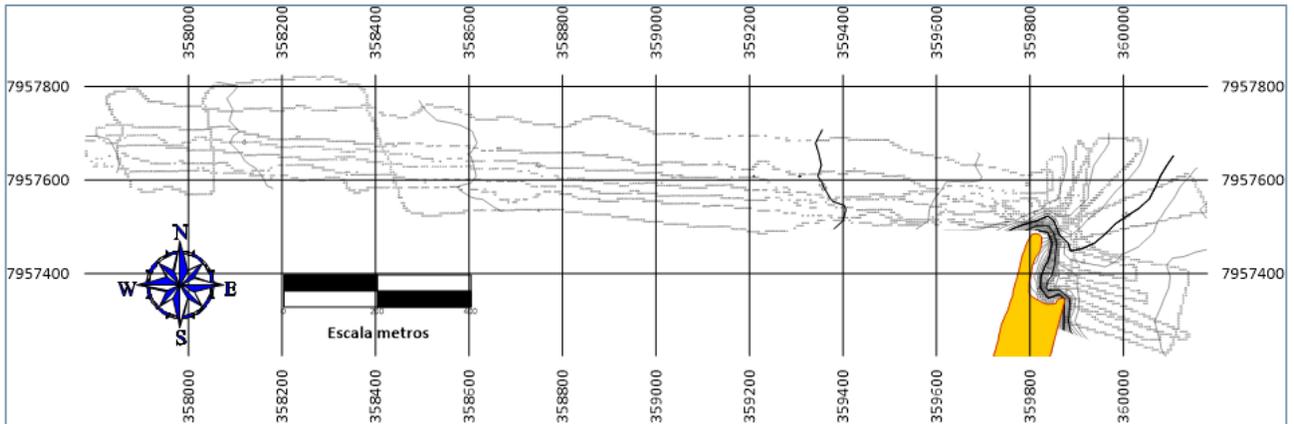


Figura 3. Plano batimétrico del entorno del Puerto de Arica

La Figura 4 muestra dos perfiles trazados: 1) El perfil “A” es un corte longitudinal sobre el área de estudio; 2) el perfil “B” es un corte transversal.

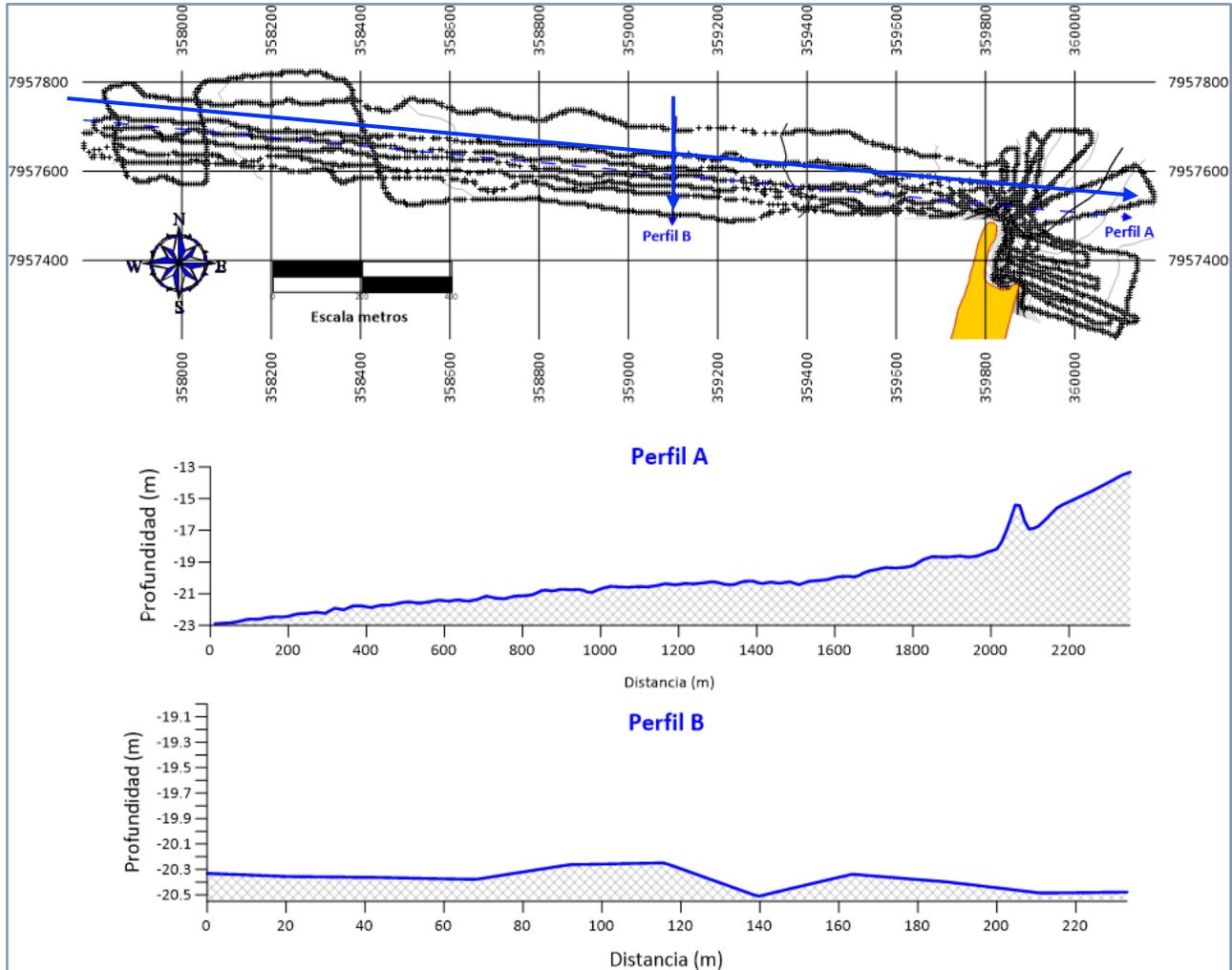


Figura 4. Perfiles longitud y transversal de profundidad.

1.1.5 Resultados - Dureza del fondo marino

El porcentaje de dureza de fondo se presenta en una escala de 0% (morado) a 100%, (rojo) siendo este último el máximo valor de dureza. De acuerdo a la Figura 5, el exterior del Puerto presenta un sustrato de dureza elevada (predominio de colores rojo y naranja), respecto al tipo de sustrato que encontramos en el interior de la dársena del Puerto (predominio de colores azul y verde).

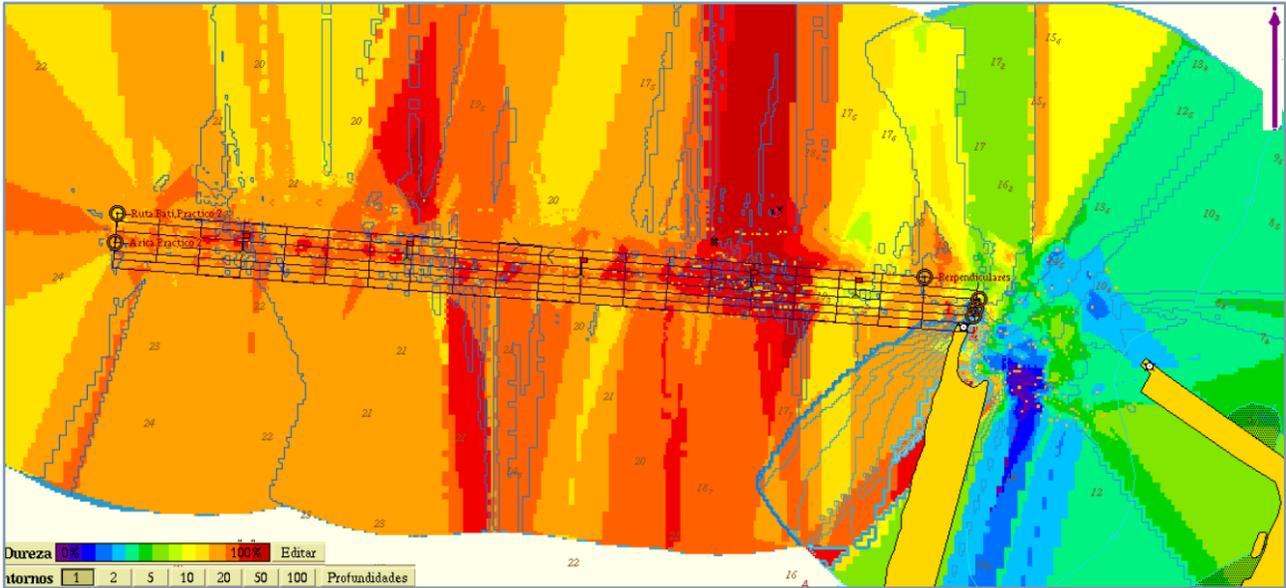


Figura 5. Porcentaje de dureza del fondo marino en el área de estudio.

La Figura 6 y la Figura 7 muestran los perfiles batimétricos longitudinales y transversales al área de estudio, con la incorporación de información relativa al porcentaje (%) de dureza del fondo.

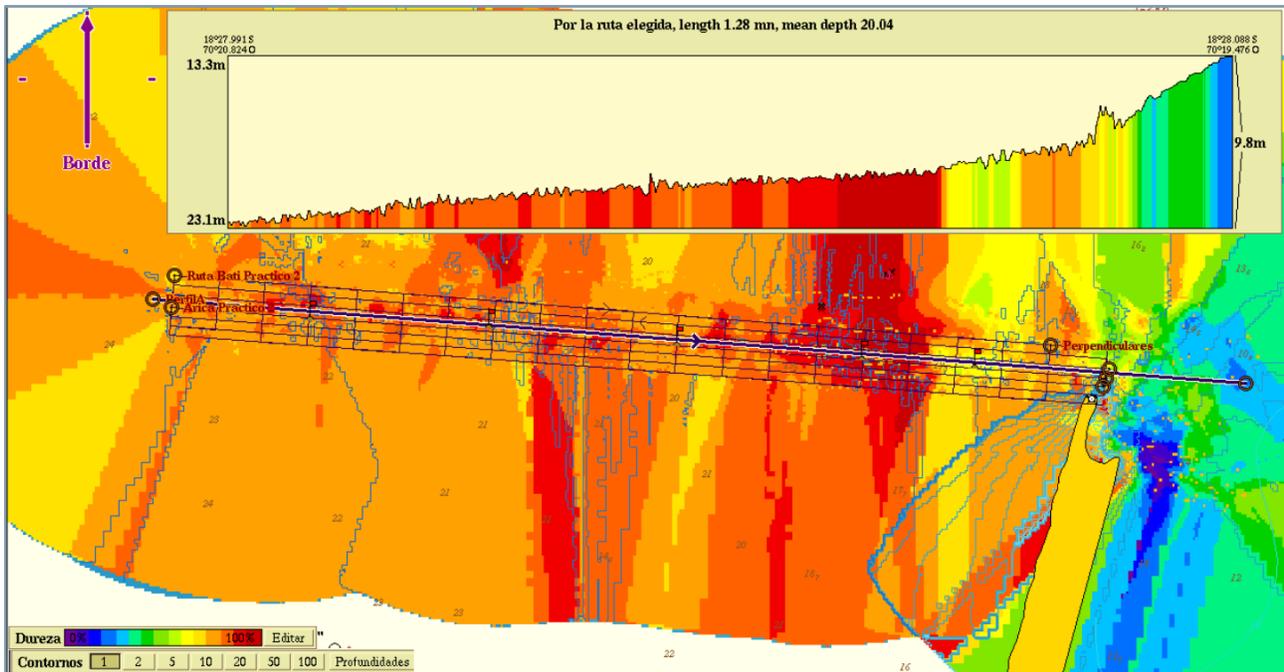


Figura 6. Perfil batimétrico longitudinal. Los colores representan el porcentaje de dureza.

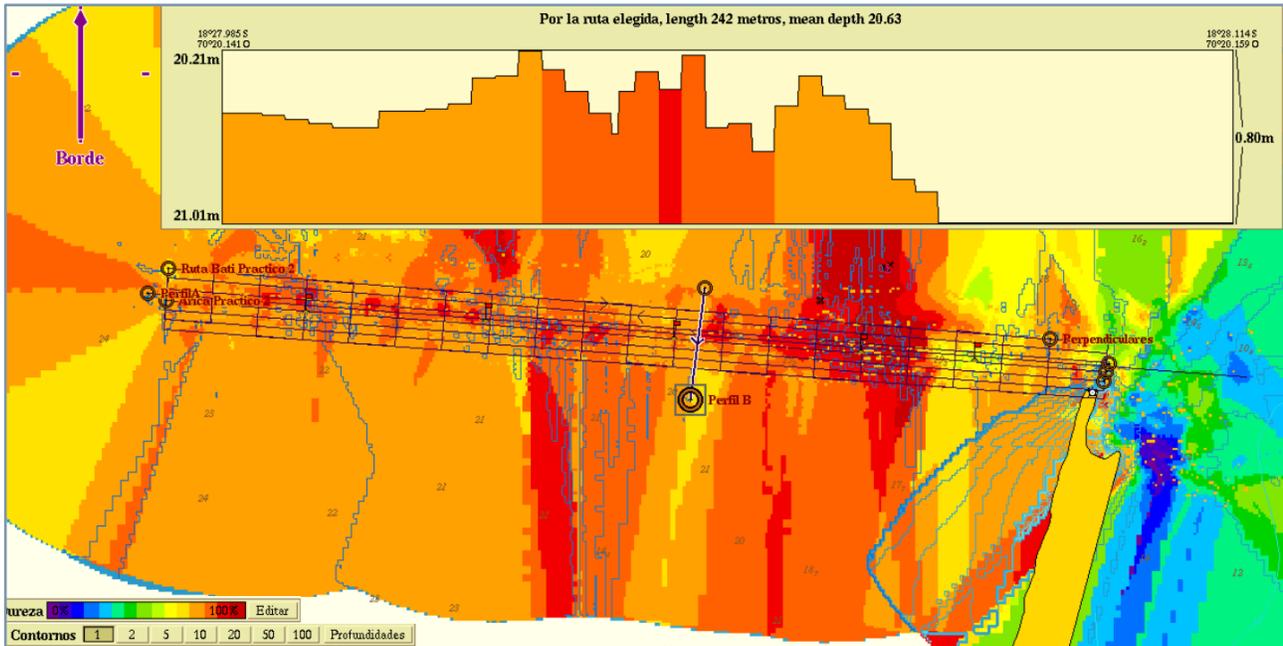


Figura 7. Perfil batimétrico transversal. Los colores representan el porcentaje de dureza.

1.2 CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS

Se ha realizado la toma de muestras de sedimento y el posterior análisis granulométrico en diez (10) estaciones situadas en el entorno del Puerto de Arica. En concreto, las muestras se han repartido a lo largo de la traza prevista de tendido del cable, hasta un lugar situado en el entorno de la zona de espera del práctico nº 2 (ZEP-2). Este lugar se corresponde con el punto donde actualmente la Empresa Portuaria de Arica está recibiendo el pronóstico de oleaje.

El análisis granulométrico de muestras de sedimento ha contribuido a:

- Determinar las características del fondo marino en el área de estudio.

La Figura 8, ya presentada anteriormente, muestra el área de estudio.

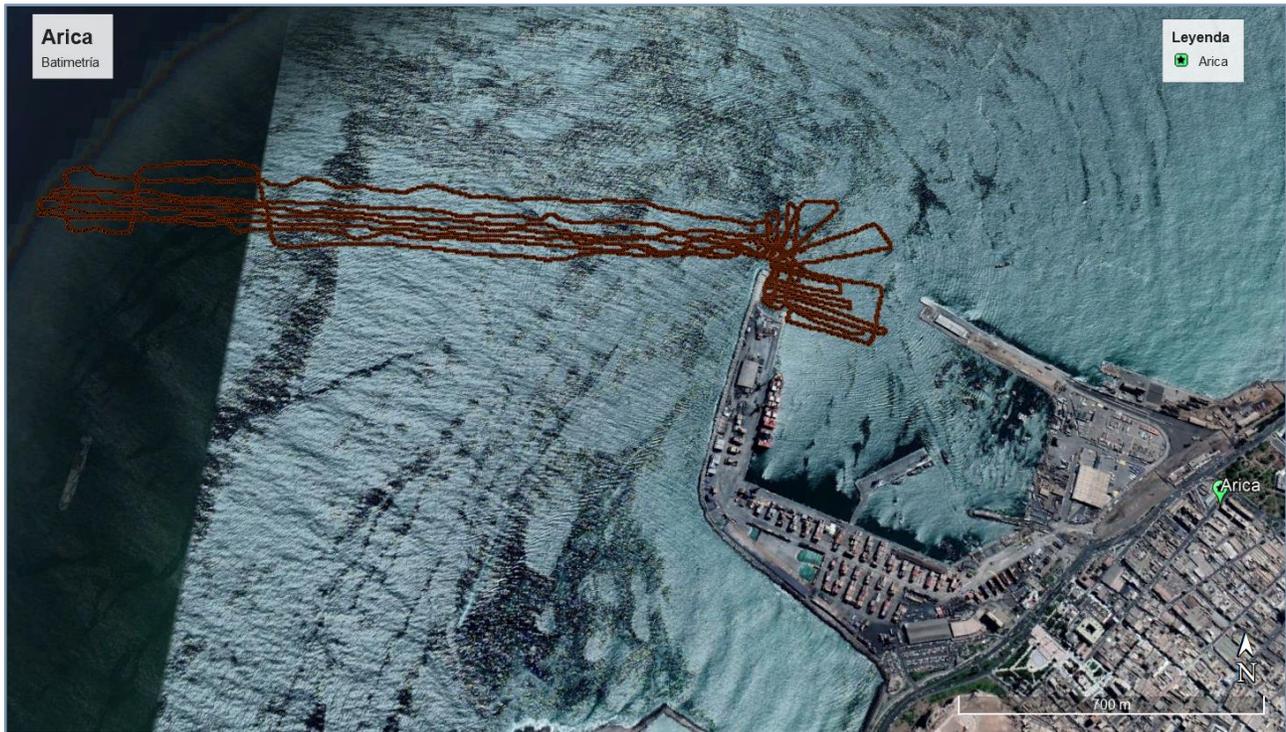


Figura 8. Representación de las trayectorias completadas (área de estudio).

1.2.1 Equipos utilizados

Se relacionan a continuación los equipos utilizados para la toma de muestras:

- Draga tipo Van Veen.
- Antena GPS: Hondex modelo 16H Serie K13096 con una caja de interconexión NMEA (GPS y sonda).
- PC notebook HP Pavilion con software y carta navionics.
- La campaña en terreno se realizó desde la embarcación LM Valentín (QUE. 691) de 11 metros de eslora.

1.2.2 Campaña de terreno

La toma de muestras se realizó entre el 17 y 18 de noviembre de 2019.

Durante la ejecución de los trabajos en terreno las condiciones del oleaje fueron de calma.

Se recuperaron diez (10) muestras viables de sedimentos, en los puntos señalados en la Figura 9. Cada muestra recuperada fue recuperada y etiquetada a bordo de la embarcación. Se tomaron imágenes de cada muestra y se realizó el análisis de visu (observación *in situ* de características reseñables de la muestra)

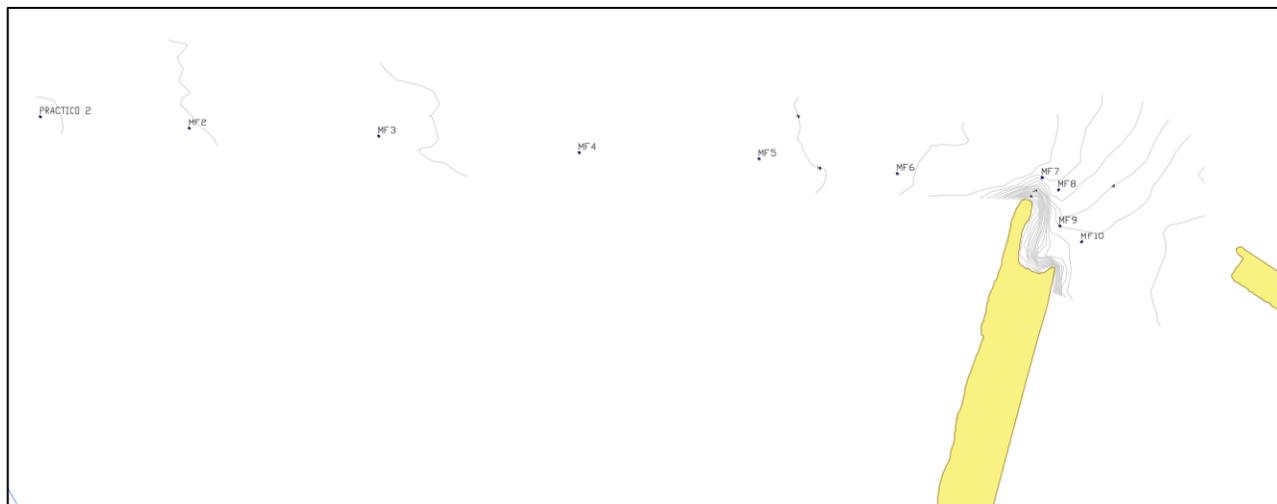


Figura 9. Ubicación de las estaciones de muestreo en el entorno del Puerto de Arica.

ANÁLISIS DE VISU

Se muestra a continuación (Tabla 1.) una descripción de las muestras recuperadas.

Tabla 1. Análisis de visu de las muestras recuperadas.

Muestra ID	Coordenadas		Visu
	X	Y	
M1 (práctico 2)	357803.98	7957653.58	Material muy fino. Color negro
M2	358106.94	7957630.05	Material muy fino. Color negro
M3	358494.22	7957614.44	Material muy fino. Color negro
M4	358902.86	7957580.61	Material muy fino. Color negro
M5	359269.73	7957568.16	Material muy fino. Color negro
M6	359550.87	7957537.47	Mezcla de arena fina (negar) y conchas (blanco)
M7	359854.18	7957523.76	Grava. Restos de conchas y algo de material fino.
M8	359879.66	7957505.13	Aspecto de fango. –Sedimento muy cohesionado. Color negro. Mal olor.
M9	359882.84	7957431.34	Aspecto de fango. –Sedimento muy cohesionado. Color negro. Mal olor.
M10	359926.81	7957398.35	Aspecto de fango. –Sedimento muy cohesionado. Ligeramente marrón. Mal olor.

Coordenadas UTM. WGS84-Huso 19S

1.2.3 análisis granulométrico

Tras la campaña de terreno se realizó análisis granulométrico de las muestras de sedimento recuperadas

El análisis fue realizado por el laboratorio ambiental Linnaeus. Acreditación Acreditación LE 758 a LE 759.

1.2.4 Resultados – plano morfológico

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el análisis granulométrico. El informe completo se adjunta en el Apéndice nº 1.2 de este Anexo.

II.- Parámetros Estadísticos de Granulometría

Código de Muestra	Media	Selección	Asimetría	Kurtosis	Clasificación
M1	4.14	0.92	0.76	4.31	Arena Fangosa Ligeramente Gravosa
M2	4.39	1.13	0.79	1.81	Arena Fangosa Ligeramente Gravosa
M3	4.30	1.05	0.79	3.19	Arena Fangosa
M4	4.46	1.18	0.80	1.36	Arena Fangosa
M5	5.05	1.56	0.32	0.78	Fango Arenoso Ligeramente Gravoso
M6	1.62	1.00	-0.13	1.14	Arena Ligeramente Gravosa
M7	-0.89	1.13	0.79	7.21	Grava Arenosa Fangosa
M8	5.94	1.26	0.01	0.73	Fango
M9	5.98	1.22	0.01	0.72	Fango
M10	5.98	1.22	0.01	0.72	Fango

A partir de estos resultados se ha generado el plano morfológico consecuente. Ver Figura Figura 10. Los resultados del muestreo son acordes con las imágenes de dureza de fondo y confirman que las condiciones para el tendido del cable y la ubicación del equipo sobre el fondo son adecuadas.

- En el interior de la dársena el material sedimentario encontrado es fundamentalmente fango.
- Predomina la arena muy fina/fangosa en las muestras extraídas en el exterior del Puerto.
- Las muestras M7 y M6 presentan características particulares:
 - M7.- muestra extraída en la bocana (M7), en posición cercana al extremo del molo, presenta cierta cantidad de grava. Atribuible a la cercanía del molo.
 - M6.- coincidente con una franja de color amarillo en la imagen de dureza de fondo, con predominio de arena mediana y de aspecto blanquecino. Atribuible a la presencia de restos de conchas en el lugar.

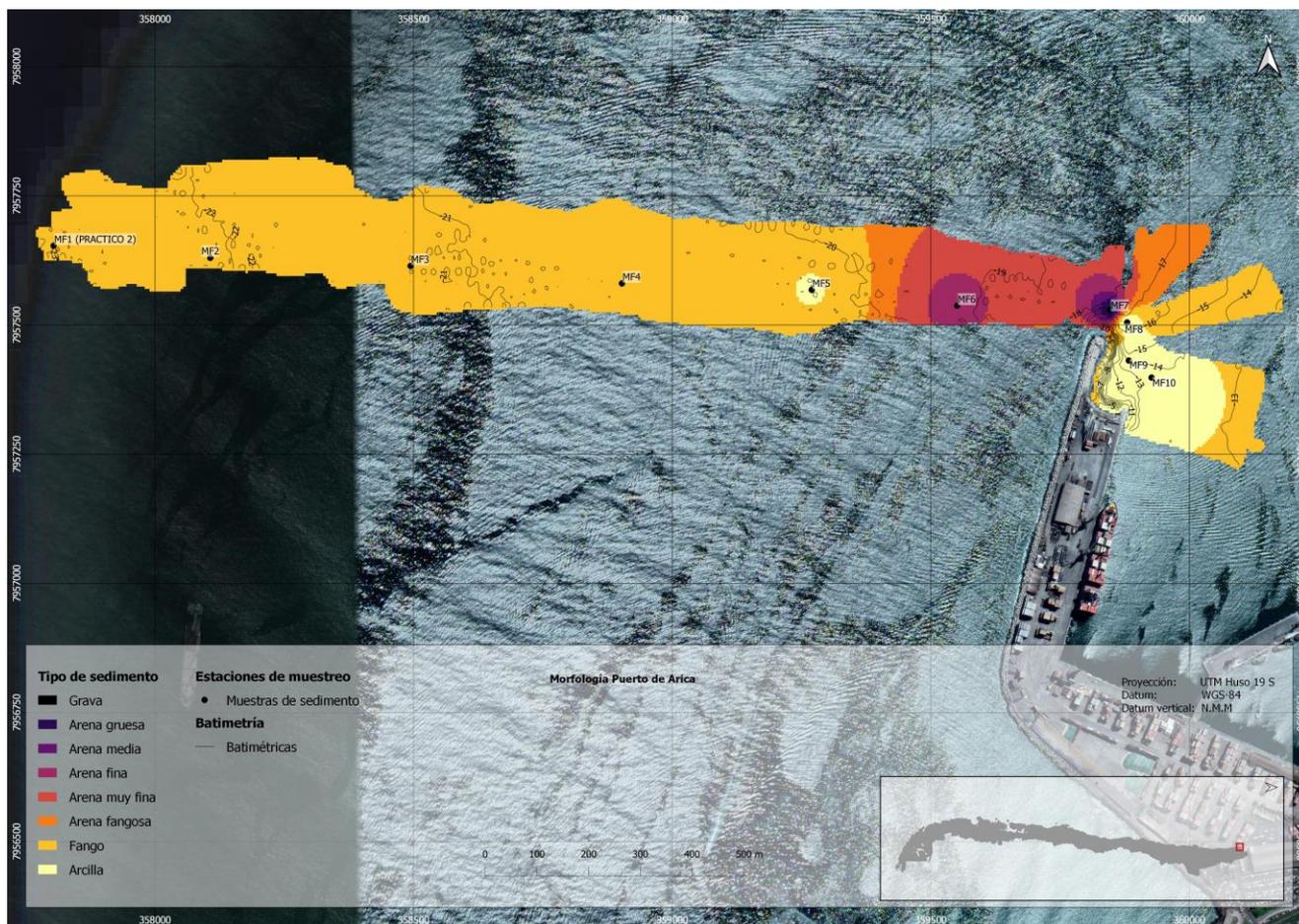


Figura 10. Plano morfológico del entorno del Puerto de Arica.

1.3 INSPECCIÓN ROV

Se ha realizado la inspección con vídeo submarino de lugares específicos del área de trabajo, mediante ROV. En concreto se ha visualizado:

- Zona prevista de bajada del cable entre la escollera. (ROV2)
- Zona alternativa de bajada del cable. (ROV1)
- Selección de puntos dentro de la dársena (especialmente en el entorno del molo). (ROV3)
- Selección de puntos en el exterior del Puerto. (ROV4 y ROV5)

La inspección con ROV ha contribuido a:

- Determinar las características del fondo marino en el área de estudio.
- Identificar riesgos a evitar en la bajada del cable a través del enrocado (entorno del molo).

1.3.1 Equipos utilizados

Se relacionan a continuación los equipos utilizados para la toma de muestras:

- ROV DTG3 Spec Highlights
- Antena GPS: Hondex modelo 16H Serie K13096 con una caja de interconexión NMEA (GPS y sonda).
- La campaña en terreno se realizó desde la embarcación LM Valentín (QUE. 691) de 11 metros de eslora.

1.3.2 Campaña de terreno

La inspección mediante ROV se realizó entre el 17 y 18 de noviembre de 2019. Durante la ejecución de los trabajos en terreno las condiciones del oleaje fueron de calma. Se inspeccionaron cinco (5) zonas en el entorno de los puntos señalados en la Figura 11.

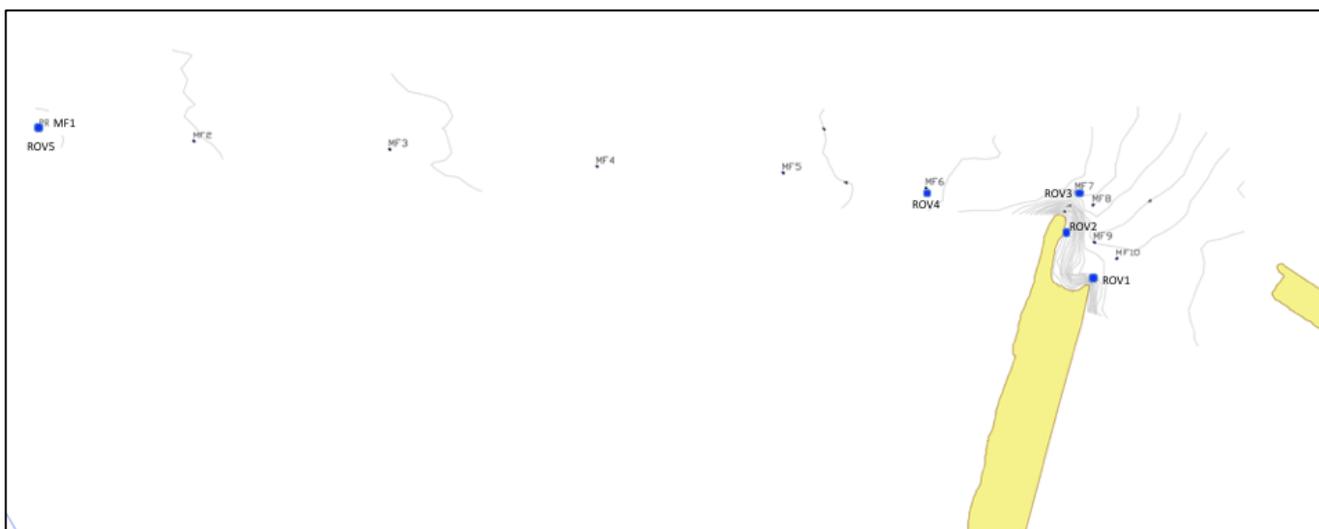


Figura 11. Ubicación de las zonas inspeccionadas con ROV.

La inspección se ha realizado en condiciones de escasa visibilidad debido a la presencia de gran cantidad de material en suspensión. Por esta razón, fue necesario desplazar el ROV a pocos centímetros de la superficie que se filma. Como consecuencia el ROV impacta frecuentemente con dicha superficie, especialmente si ésta es irregular.

Esta circunstancia obligó a realizar inspecciones en áreas concretas definidas, en lugar de hacer recorridos a lo largo de transectos predeterminados.

1.3.3 Resultados

ROV2.- Enrocado por la parte interior del molo. El cable pasa entre las rocas de la escollera. Cable se protege con HDPE y se dirige buscando evitar aristas y bordes afilados. Cuando es necesario se utilizan

lastres y fijaciones que eviten el rozamiento del cable sobre la roca. La Figura 12 (arriba) muestra el paso del cable de uno de los equipos que TPA tiene instalados actualmente.

ROV2.- A unos 12 m de profundidad, superado el enrocado, se encuentra el fondo arenoso. Ver Figura 12 (abajo).



Figura 12. ROV2. Arriba. Imagen del enrocado. Abajo. A 12 m de profundidad se alcanza el fondo arenoso.

ROV3.- Enrocado del extremo del molo. El enrocado se prolonga hasta los 16 m de profundidad aproximadamente. En el entorno de ROV3 se observan numerosos fragmentos de roca sueltos.

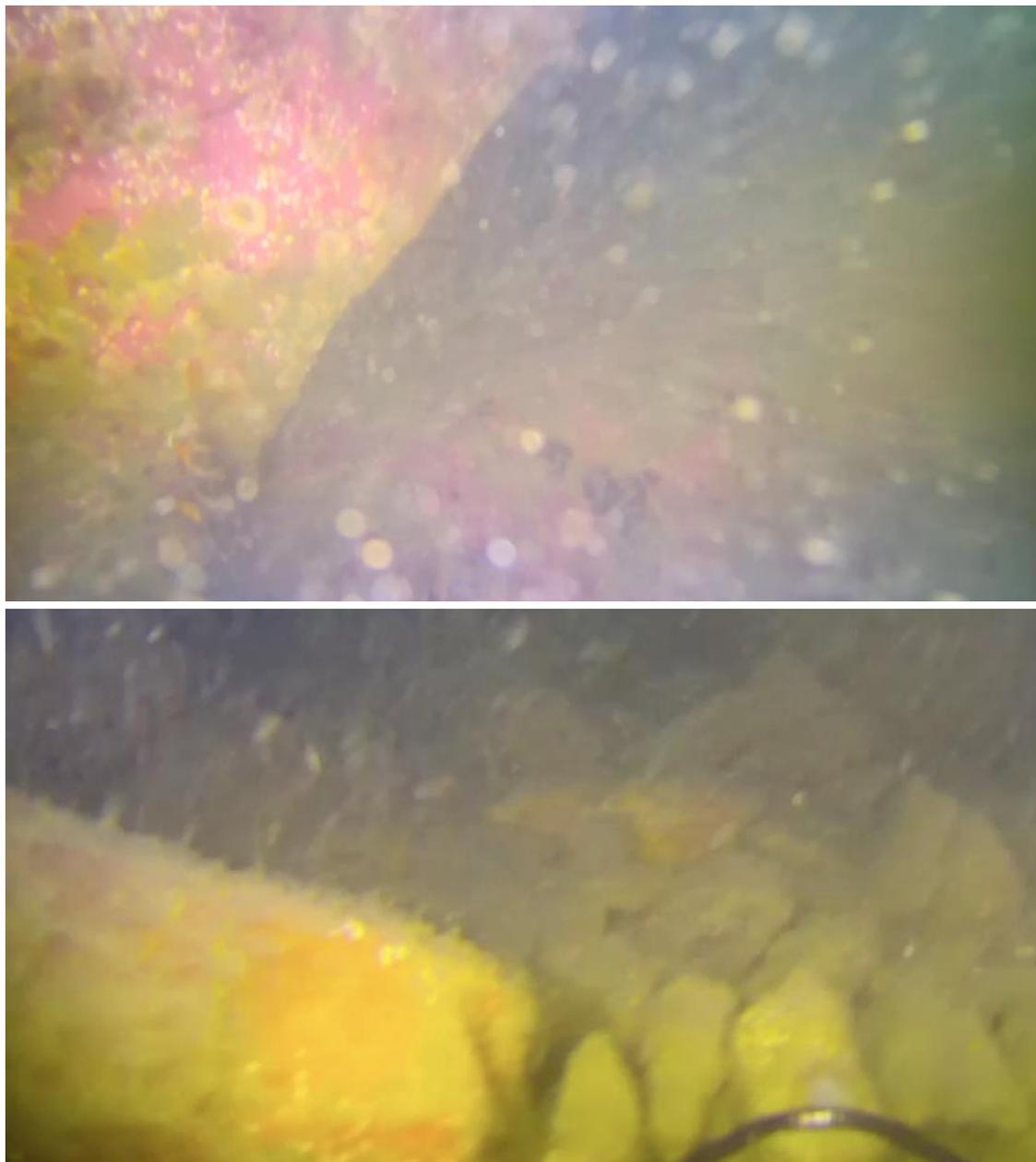


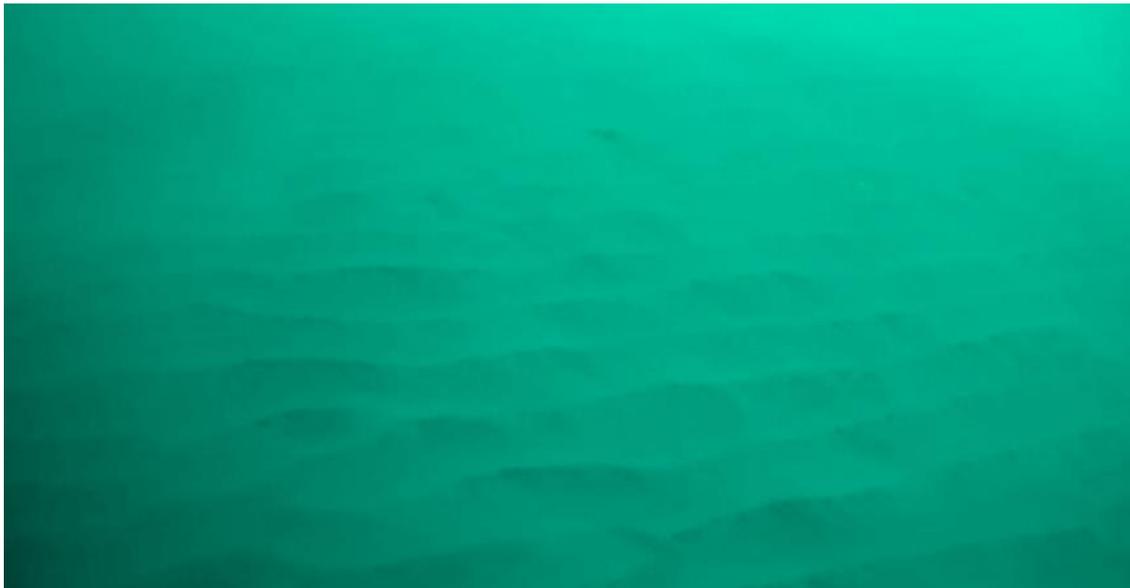
Figura 13. El extremo del molo, hasta la estación de muestreo MF7/ROV3 presenta fragmentos de rocas de diverso tamaño.

ROV4.- El fondo en el entorno de MF6/ROV4 es ciertamente particular. Presenta una acumulación de restos calcáreos, lo cual le da una apariencia diferente. No se observa presencia de rocas u obstáculos que puedan suponer un riesgo para el paso del cable. Ver Figura 14



Figura 14. Presencia de restos blancos de origen calcáreo mezclados con la arena de color oscuro.

ROV5.- Situado a 23 m de profundidad. El fondo es homogéneo y compuesto de arena fangosa. En la Figura 15 se pueden apreciar los ripples que la influencia del oleaje genera en el fondo arenoso.



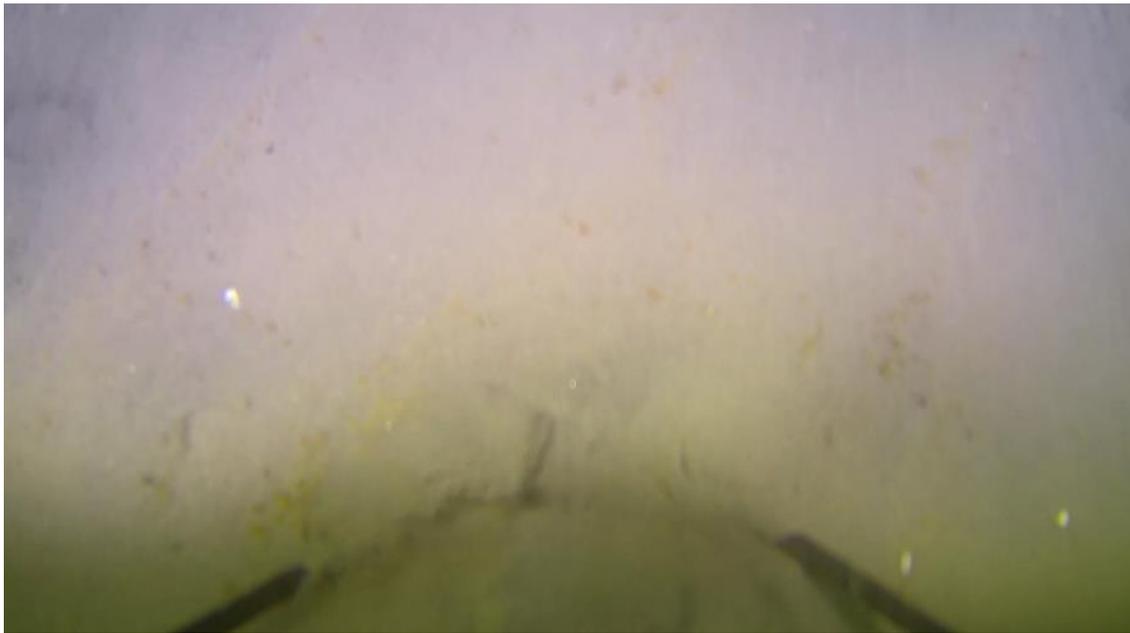


Figura 15. ROV5. Arriba. Ripples sobre el fondo arenoso. En la parte de abajo detalle de la protección del ROV enterrada en la arena.