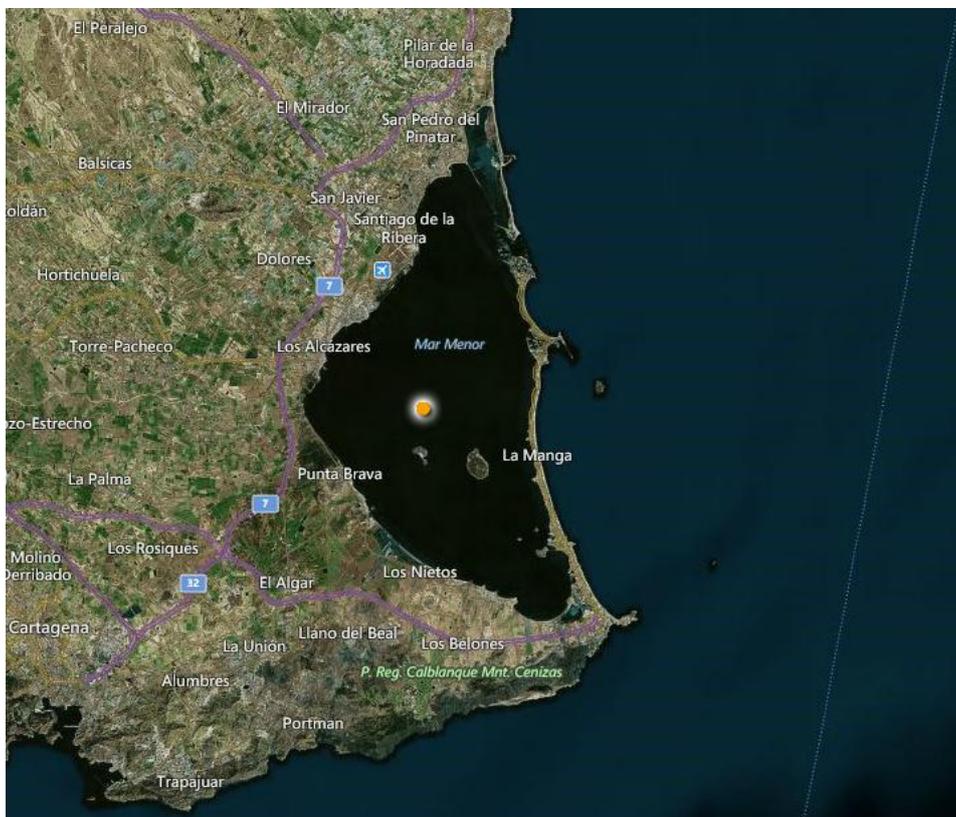


# ESTUDIO DEL FONDO MARINO DE LA LAGUNA COSTERA DEL MAR MENOR, MURCIA

## Informe Final (Abril-Junio 2017)



Gómez-Ballesteros, M.<sup>1</sup>, Bruque Carmona, G.<sup>1</sup>, Rioja, L.M.<sup>2</sup>, Fraile-Nuez, E.<sup>3</sup>, Ramos-Segura, A.<sup>4</sup>, Bermejo, J.I.<sup>1</sup>, García-Muñoz, R.<sup>4</sup>, Bernardeau-Esteller, J.<sup>4</sup>, Belando Torrente, M.<sup>4</sup>, González, A.<sup>2</sup>, Bardisa, E.<sup>5</sup>, Arrese, B.<sup>1</sup> y Ruíz-Fernández, J. M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Madrid. <sup>2</sup> Instituto Hidrográfico de la Marina. <sup>3</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Canarias. <sup>4</sup> Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Murcia. <sup>5</sup> Prosermar Ingeniería S.L.



|                                                                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ANTECEDENTES.....</b>                                                                                                                                                 | <b>4</b>   |
| <b>ZONA DE ESTUDIO.....</b>                                                                                                                                              | <b>6</b>   |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO .....</b>                                                                                                                          | <b>8</b>   |
| <b>METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO .....</b>                                                                                                                               | <b>9</b>   |
| TAREA 1.1.- ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA DEL MAR MENOR A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS CON SONDA INTERFEROMÉTRICA GEOSWATH.....                                                  | 9          |
| TAREA 1.2.- ESTUDIO DE LA REFLECTIVIDAD DEL FONDO DEL MAR MENOR A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS CON SONDA INTERFEROMÉTRICA GEOSWATH.....                                 | 12         |
| TAREA 1.3.- ESTUDIO DE LA CAPA DE SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS (FANGO) DEL FONDO DEL MAR MENOR A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS CON PERFILADOR DE SEDIMENTOS GEOPULSE. .... | 12         |
| TAREA 2.1.- ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA BATIMETRÍA DEL MAR MENOR: PROCESOS DE COLMATACIÓN/PROFUNDIZACIÓN. BATIMETRÍAS CON ADCP. ....                                   | 13         |
| <b>TRABAJOS REALIZADOS.....</b>                                                                                                                                          | <b>14</b>  |
| 1.    CAMPAÑA MM-0517 BATIMETRÍA CON GEOSWATH.....                                                                                                                       | 14         |
| 2.    CAMPAÑA MM-0517 REFLECTIVIDAD CON GEOSWATH.....                                                                                                                    | 27         |
| 3.    CAMPAÑA MM-0517 PERFILES SÍSMICOS CON GEOPULSE .....                                                                                                               | 28         |
| 4.    BATIMETRÍA CON ADCP .....                                                                                                                                          | 31         |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                                                                                                                      | <b>32</b>  |
| 1.    BATIMETRÍA DEL MAR MENOR CON GEOSWATH.....                                                                                                                         | 32         |
| 2.    REFLECTIVIDAD DEL MAR MENOR.....                                                                                                                                   | 51         |
| 2.1.  PROCESADO DE DATOS Y ANÁLISIS PRELIMINAR CUALITATIVO .....                                                                                                         | 51         |
| 3.    ESTUDIO DE LA CAPA DE SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS MEDIANTE GEOPULSE.....                                                                                            | 79         |
| 3.1.  PROCESADO DE DATOS DEL PERFILADOR DE FONDOS GEOPULSE.....                                                                                                          | 79         |
| 3.2.  CÁLCULO DE SUPERFICIES DE HORIZONTES .....                                                                                                                         | 91         |
| 3.3.  CÁLCULO DE ISOPACAS Y POTENCIAS.....                                                                                                                               | 92         |
| 3.4.  PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA .....                                                                                                                                      | 94         |
| 4.    ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA BATIMETRÍA DEL MAR MENOR: PROCESOS DE COLMATACIÓN/PROFUNDIZACIÓN. BATIMETRÍAS CON ADCP. ....                                         | 103        |
| <b>CONCLUSIONES:.....</b>                                                                                                                                                | <b>110</b> |
| <i>GENERALES.....</i>                                                                                                                                                    | <i>110</i> |
| <i>ESPECÍFICAS .....</i>                                                                                                                                                 | <i>110</i> |
| <b>RECOMENDACIONES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS PRESIONES Y RECUPERACIÓN DEL SISTEMA .....</b>                                                                 | <b>113</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                                                                                                                             | <b>113</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                                                                                                                                | <b>114</b> |
| <b>ANEXO A: LISTADO DE PUNTOS DE COMPROBACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE REFLECTIVIDAD.....</b>                                                                                 | <b>117</b> |
| <b>ANEXO B: ESTADÍSTICA REFLECTIVIDAD .....</b>                                                                                                                          | <b>136</b> |
| <b>ANEXO C: DIFERENTES TIPOS DE SEÑAL EN RELACIÓN AL TIPO DE FONDO MARINO.....</b>                                                                                       | <b>142</b> |

## ANTECEDENTES

El Mar Menor es una de las lagunas costeras hipersalinas mayores de Europa con una extensión de 135 km<sup>2</sup> y una profundidad media de 3,6 m (máximo 7 m). Al tratarse de un cuerpo de agua semicerrado, el ecosistema lagunar es muy vulnerable a los impactos de la actividad humana, particularmente concentrados en su entorno debido al intensivo desarrollo turístico y agrícola experimentado por la zona, razón por la cual en la laguna se solapan varias figuras de protección (LIC Mar Menor, ZEPA, ZEPIM y RAMSAR).

Antes de las grandes transformaciones producidas por la acción directa del hombre, la laguna se caracterizaba por tener aguas oligotróficas e hipersalinas (70-53 UPS) dominadas por fondos sedimentarios con praderas de las angiospermas *Cymodocea nodosa*, o "entinas", y *Ruppia cirrhosa*, o "entina fina" (Terrados 1991, Mas 1994).

Desde la década de los 70 este ecosistema singular experimentó una gran transformación oceanográfica y, de forma paralela, se produjo un cambio en las prácticas agrícolas desarrolladas en la extensa superficie del campo de Cartagena que ocupa gran parte de la cuenca de drenaje de la laguna, donde los cultivos tradicionales de secano fueron sustituidos por cultivos intensivos de regadío. Este cambio conllevó un marcado incremento en el aporte a la laguna de aguas excedentarias agrícolas con elevada carga de nutrientes (Martínez Fernández *et al.* 2014).

Durante estas últimas 3 décadas el ecosistema lagunar ha mostrado una elevada resiliencia a estos cambios gracias a elementos del mismo que han sido capaces de manejar los excesos de nutrientes a través del control por parte de determinados compartimentos del ecosistema (p.e. macroalgas bentónicas, especies filtradoras), pero desde verano de 2015 la proliferación masiva de plancton indica que estos controles han dejado de actuar y el proceso de eutrofización adquirió especial visibilidad al dispararse los niveles de clorofila *a* hasta valores no registrados en décadas previas.

El mantenimiento de esta situación en el tiempo puede tener consecuencias ecológicas y socio-económicas particularmente nefastas, ya que pondría en riesgo no solo la integridad del ecosistema lagunar sino las actividades humanas que dependen de ello, como el turismo y, a largo plazo, la propia pesca.

La situación actual de cambios drásticos en las características biológicas y fisicoquímicas de la laguna del Mar Menor requiere conocimientos específicos sobre diversos aspectos clave que permitan entender el funcionamiento de este ecosistema emblemático de la Región de Murcia y de Europa, así como su resiliencia frente a las presiones antrópicas y cambios a escala global (cambio climático).

En julio de 2016, la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través del OISMA de la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente, solicita al Instituto Español de

Oceanografía (IEO), a través del Centro Oceanográfico de Murcia (COMU), asesoramiento sobre aspectos generales y específicos relacionados con el proceso de eutrofización que experimenta el Mar Menor. El IEO, entre cuyas funciones está el asesoramiento científico a las administraciones en temas relacionados con el estado y explotación de nuestros océanos y mares costeros, se encuentra estrechamente comprometido con el estudio y conservación del Mar Menor a través de su COMU. De acuerdo con el estatus legítimo del IEO y la solicitud realizada por la Consejería, el IEO propone la realización, conjuntamente con investigadores del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y técnicos de la empresa Prosermar S.L, un Estudio Integral del Fondo Marino de alta resolución de la laguna costera del Mar Menor que permita obtener información precisa que contribuya de forma significativa al conocimiento científico básico y transversal sobre el funcionamiento de la laguna, así como la naturaleza geológica y biológica de sus fondos. Si bien existe algún estudio previo relacionado con esta materia, estos son escasos y dispersos, o no se han realizado con la precisión necesaria en estos momentos en el Mar Menor. La ciencia básica realizada será una herramienta transversal aplicable a multitud de cuestiones y problemas específicos relacionados con la gestión del Mar Menor que puedan acontecer en un futuro cercano.

Los trabajos que se refieren en la presente Memoria, pertenecen a la propuesta realizada por el IEO de septiembre de 2016 al OISMA, dentro del Estudio Oceanográfico Integral de Alta Resolución de la Laguna Costera del Mar Menor (Murcia), que cuenta entre sus objetivos con el estudio de la batimetría de la laguna, así como de la naturaleza de sus fondos.

El efecto de la batimetría es el responsable de la aparición de diferentes giros de corrientes en ambas cubetas de la laguna del Mar Menor, y por tanto de la distribución de los sedimentos, efluentes y material orgánica. Por tanto, resulta de especial importancia una caracterización batimétrica actualizada y en alta resolución con vistas a conocer su evolución y su dinámica a diferentes escalas espacio-temporales. Además, la batimetría es determinante para conocer el volumen total de agua de la laguna y para los cálculos hidrodinámicos, relevantes para conocer en el intercambio hídrico que se produce entre el Mar Menor y el Mediterráneo, por las golas naturales y artificiales presentes en La Manga. El Mar Menor es una laguna costera con un elevado grado de confinamiento hidrodinámico que es la receptora final de todos los procesos de transporte que tienen lugar en una amplia cuenca vertiente de 1.200 km<sup>2</sup> que es el Campo de Cartagena. Esta inmensa área ha experimentado importantes transformaciones de su suelo que probablemente han contribuido a acelerar dichos procesos de transporte y, en consecuencia se espera que el fondo de la laguna experimente una colmatación cada vez mayor de sedimentos. No obstante, la cuantificación de estos procesos de colmatación depende de la disponibilidad de batimetrías muy precisas y realizadas con criterios similares que permitan su comparabilidad en el tiempo.

Como consecuencia de los procesos anteriores, uno de los aspectos de mayor interés radica en la naturaleza geológica y sedimentaria de la laguna y su relación con el proceso de eutrofización. En este contexto la laguna se ha caracterizado por un estrecho margen

periférico dominado por arenas con altos contenidos en carbonatos y una gran área central dominada por fangos con contenidos en materia orgánica (Simonneau, 1973; Pérez Ruzafa 1989; Más, 1994). Las grandes transformaciones antrópicas experimentadas por la laguna, incluyendo el más reciente episodio de eutrofización, podrían haber alterado estas características en ciertos aspectos tales como la cantidad y distribución de los fangos o el contenido en materia orgánica, aspectos que pueden tener especial relevancia no solo desde el punto de vista ecosistémico, sino también socioeconómico. Por tanto, la caracterización precisa geológica y sedimentaria del fondo de la laguna es un aspecto básico para determinar la importancia de los procesos anteriores y las posibilidades de actuación para la recuperación del Mar Menor.

## ZONA DE ESTUDIO

El Mar Menor es una laguna protegida hipersalina situada en el sudeste de España (Figura 1). Es una de las mayores lagunas costeras en la región del Mediterráneo, así como en Europa. Según la bibliografía existente, la laguna tiene una profundidad máxima de 7 m y una profundidad media de 4.5 m. Tiene una extensión de 135.5 km<sup>2</sup>, el perímetro es de 74 km y el volumen total de agua de la laguna es de 610 hm<sup>3</sup>. “La Manga”, un banco de arena de alrededor de 23 kilómetros de longitud, con una anchura máxima de 900 m, actúa como una barrera entre la laguna y el mar Mediterráneo. Tres canales principales de poca profundidad en el banco de arena conectan la laguna con el Mar Mediterráneo (Encañizadas, El Estacio y Marchamalo). La costa es de baja altitud, siendo las playas arenosas o rocosas. El clima en la zona es semiárido mediterráneo, con temperaturas medias anuales que van desde los 15°C a los 17°C (Martínez-Álvarez et al., 2011<sup>a</sup>)

La salinidad del Mar Menor oscila entre 42 y 47, debido fundamentalmente a la baja precipitación (<300 mm y<sup>-1</sup>) y las altas tasas de evaporación. La precipitación media anual tiene oscilaciones positivas debido a episodios tormentosos de corta duración en otoño e invierno. La evaporación media de referencia es de aproximadamente 1350 m y<sup>-1</sup>. Por lo tanto, el equilibrio hidrológico neto de la laguna alcanza déficits anuales cercanos a 1000 mm y<sup>-1</sup>, que son compensados por las entradas de agua dulce y agua salada del Mediterráneo (Martínez-Álvarez et al., 2011<sup>a</sup>). La temperatura del agua de la laguna varía entre valores extremos de 9°C en invierno y de 33°C en verano. Varios autores describen la existencia de una estratificación en toda la columna de agua, aunque este punto requiere ser estudiado con más detalle (p.e. Fraile et al. 2018).

La costa mediterránea española tiene mareas semi-diurnas de pequeña amplitud. La marea lunar en el área de estudio es de aproximadamente 0.1 m (Legos). Sin embargo, las fluctuaciones de presión diarias y el estrés del viento producen unas mareas barotrópicas con amplitudes medias diarias que oscilan entre 0.2 y 0.4 m. No obstante, la amplitud de las mareas en el interior del Mar Menor es prácticamente nula.

La alimentación de agua se realiza por dos vías. Por una parte el drenaje continental canalizado por medio de 6 ramblas (Los Alcázares, Albuñón, Miranda, Beal, Ponce y Carrasquilla) y la escorrentía superficial y subterránea. Por otra parte, el aporte de aguas marinas que se realiza a través de las discontinuidades existentes en la barrea de cierre (La Manga) y que son: Marchamalo, encañizadas de La Torre y El Ventorrillo y el canal de El Estacio.

Los intercambios de agua están regulados por las diferencias en el nivel del mar entre la laguna, que no tiene variaciones del nivel del mar apreciables, y el Mar Mediterráneo, sometido a la dinámica de las mareas. De acuerdo con la información disponible, el tiempo medio de permanencia del agua de la laguna es de aproximadamente 1,2 años y su circulación, fundamentalmente por su poca profundidad, es debida principalmente al viento (Alvarez et al., 2007).

La calidad de sus aguas se está viendo mermada en los últimos años debido fundamentalmente al aumento de los aportes de nutrientes procedentes de la agricultura (Más 1994; García-Pintado et al., 2007; Pérez-Ruzafa et al., 2005).

La cuenca del Mar Menor constituye una gran llanura sedimentaria (1.200 km<sup>2</sup>) con sedimentos del Neógeno y Cuaternario que están ligeramente inclinados al Mar Menor. Los principales materiales constituyentes de esta cuenca son conglomerados, margas, areniscas, limos y arcillas, lo que resulta en una alta diversidad de suelos debido a la heterogeneidad de las condiciones geológicas. La laguna está influenciada por la cuenca a través de los flujos de aguas superficiales y subterráneas. El viento es uno de los factores climáticos más importantes de la región, y es precisamente el agente que, junto con la acción de las corrientes marinas (deriva litoral) y el impulso del oleaje, el principal responsable de la activa dinámica sedimentaria del fondo de la laguna.

El aislamiento relativo del Mar Menor respecto del Mar Mediterráneo implica que las fluctuaciones estacionales de los factores ambientales son mucho más marcados en la laguna que en la costa marina. Por ello se hace hincapié en la necesidad de estudiar durante las cuatro estaciones del año y ver así la evolución estacional y anual.

El Mar Menor, ha sido extensamente estudiado, siendo el foco principal de la investigación biológico, ecológico o geológico (Simonneau 1973; Díaz del Río, 1990; Terrados 1991, Franco et al., 2012; Martínez-Fernández et al., 2014; Pérez-Ruzafa et al., 2005; 2002; 2012; Salas et al., 2008). También existen algunos trabajos oceanográficos en la zona, aunque la mayoría se remontan a la década de los 80-90 (De Pascalis et al., 2012; Del Río, 1990). Para hacerse una idea sobre el estado del conocimiento científico del Mar Menor se pueden consultar las monografías de Fundación del Instituto Euromediterráneo del Agua (2009) y de León y Bellido (Eds. 2012). Aunque el trabajo realizado es extenso y de calidad, resulta evidente que existen importantes vacíos de conocimiento en aspectos muy básicos de la ecología, oceanografía, sedimentología, oceanografía física y química, la geología o la biogeoquímica. Se espera que

éste y otros trabajos (p.e. Belando *et al.* 2014, 2017, 2018; Fraile *et al.* 2018) promovidos por el IEO contribuyan a mejorar el conocimiento científico sobre el funcionamiento del Mar Menor de forma cuantitativa y cualitativa.

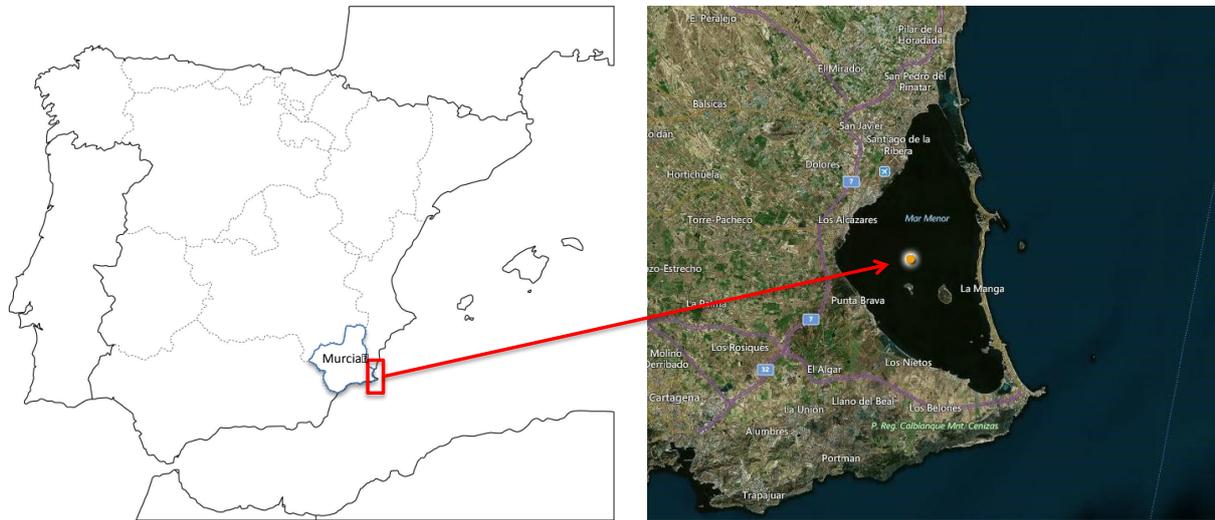


Figura 1.- Mapa de la región de estudio

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

### 1.- Estudio del fondo marino del Mar Menor: batimetría, biología y geología.

- 1.1. Estudio de la batimetría del Mar Menor a partir de datos obtenidos con sonda interferométrica Geoswath.
- 1.2. Estudio de la reflectividad del fondo del Mar Menor a partir de los datos obtenidos con sonda interferométrica Geoswath.
- 1.3. Estudio de la capa de sedimentos no consolidados (fango) del fondo del Mar Menor a partir de los datos obtenidos con perfilador de sedimentos GeoPulse.

### 2.- Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los procesos de colmatación/profundización de la laguna del Mar Menor: integración y comparación de batimetrías existentes.

## METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

### Tarea 1.1.- Estudio de la batimetría del Mar Menor a partir de datos obtenidos con sonda interferométrica Geoswath.

El Mar Menor tiene una profundidad variable conocida de entre 0 y 7 metros de profundidad, pero es necesario y urgente disponer de una batimetría actualizada de alta resolución de la zona de estudio. La batimetría es una variable fundamental para la cuantificación del volumen total de agua de la laguna.

No existen datos batimétricos de alta calidad y resolución así como verificados por el Instituto Hidrográfico de la Marina. El único precedente es la carta marina del Mar Menor de 1967 realizada por dicho instituto, pero con una resolución espacial muy baja (carta 471<sup>a</sup>; IHM 2015; Fig. 2). Los últimos datos de la zona fueron tomados durante el proyecto de Ecocartografías (ver Fig. 2) durante los años 2008-2009. Sin embargo, aunque es probablemente la más precisa disponible hasta la fecha, tanto los datos como el procesado no son lo bueno que esperaríamos de una batimetría multihaz de estas características.

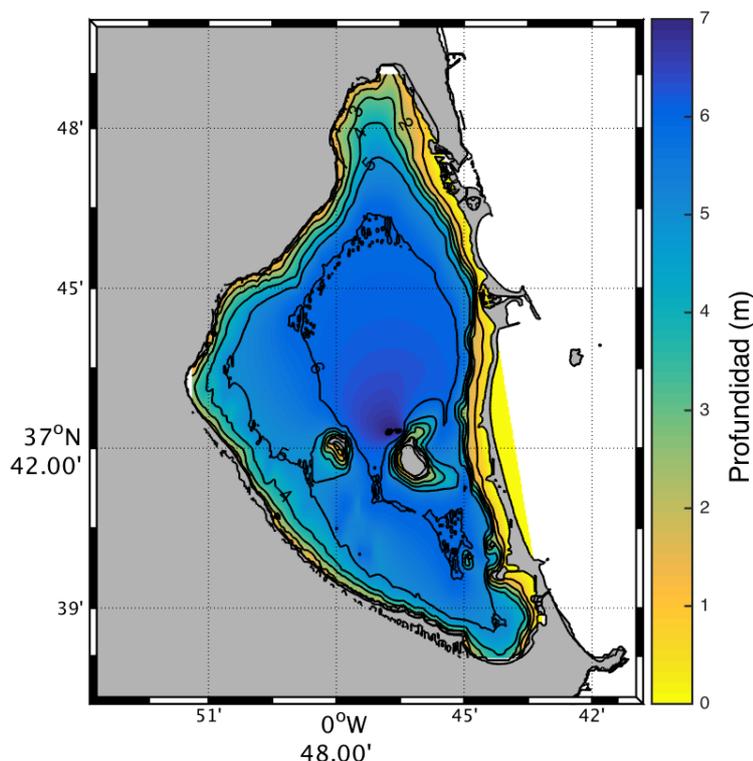
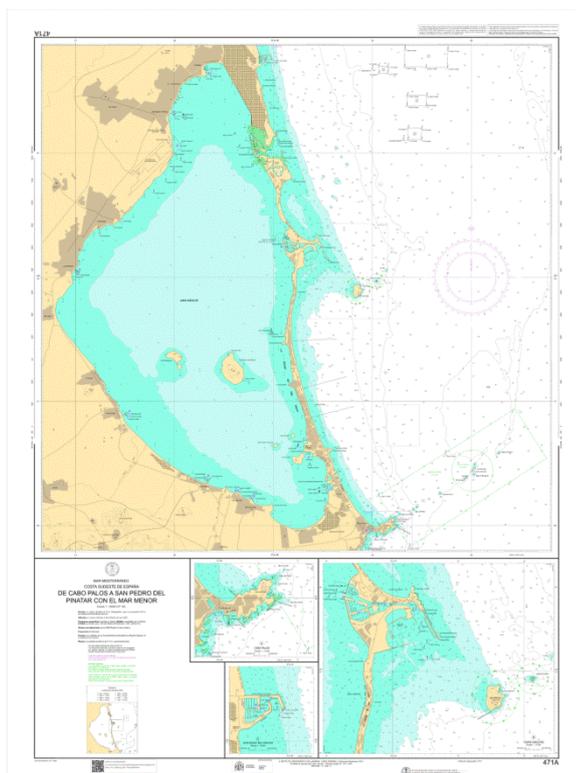


Figura 2.- Mapa batimétrico del Mar Menor: Izda.: IHM, 2015; Dcha.: Ecocartografía de la Región de Murcia, 2008

**Metodología:** Se propone realizar un reconocimiento sistemático de la laguna mediante levantamiento batimétrico con equipo GeoSwath. Este equipo proporciona tanto datos

batimétricos de muy alta resolución como valores de reflectividad acústica del fondo marino, por lo que permitirá obtener información adicional de los diferentes tipos de sustrato (sedimentos, roca y, probablemente, vegetación). La cobertura que ofrece este sistema es proporcional a la profundidad del fondo, permitiendo obtener una cobertura de hasta 12 veces la profundidad. Por ello, al planificar los trabajos a realizar, hay que tener en cuenta los diferentes rangos de profundidad a los que se va a trabajar y se diseña un proyecto de líneas paralelas, con una separación interlineal y orientación condicionada a la batimetría previa existente, que estará sujeta a modificaciones según factores como la cobertura real del equipo, estado de la mar y tiempo de barco. La planificación idónea para obtener un recubrimiento 100% del fondeo de la laguna sería la representada en la figura 3. Debido a los medios disponibles, resulta imposible realizar esta planificación en el tiempo disponible de 1 mes, por ello, y como se explica más adelante, se optó por una planificación acorde a los objetivos del proyecto y a los medios disponibles.

Por razones similares se descartó desde el inicio la inclusión de zonas someras, a profundidades inferiores a 3 m, por diversas razones. La escasa profundidad limita enormemente la cobertura del sistema, lo que se traduce en tiempos de ejecución inabarcables en una campaña de 2-3 semanas de duración. A esto hay que añadir la limitación de calado del barco empleado y los innumerables obstáculos que multiplicarían el tiempo de levantamiento batimétrico. Por todo ello se consideró que la cartografía de estas zonas someras debería ser objeto de un contrato diferente, y realizado con tecnología diferente que pueda adaptarse a estas zonas someras y obtener resultados en tiempo y forma más viables.

Debido a las dimensiones de la laguna y objetivos concretos de este estudio, realizar un levantamiento batimétrico de alta resolución con cobertura del fondo 100% no era viable en el periodo de tiempo indicado en el contrato. La realización de este tipo de levantamiento sería una labor tediosa y muy dilatada en el tiempo que impediría la ejecución completa del estudio en el tiempo establecido. Por ello, se propuso realizar una primera campaña de 21 días de duración en la que se realizará la adquisición de la batimetría del perímetro de la laguna siguiendo el veril de los 3 metros, y una serie de líneas paralelas a los veriles que permitirán realizar una interpolación espacial aceptable de los datos obtenidos. En base a esto, se decidió sondear al detalle los veriles de 3,4, 5, 6 y 7 metros, realizando solapes redundantes de tres líneas por veril. De este modo, se mejorará la batimetría existente, y tras el análisis de los datos adquiridos, se concretarán posibles zonas para su estudio en detalle durante las siguientes campañas previstas.

Los datos adquiridos serán procesados con el software CARIS Hips & Sips, y se generaran modelos digitales del terreno, mapa batimétrico, mapa de tipos de sustrato, mosaicos de reflectividad. Todos los resultados obtenidos serán incorporados a un Sistema de Información Geográfica (GIS), para su integración, análisis e interpretación conjunta.

Centro ejecutor: CO-Madrid

Investigadores responsables: Dña. María Gómez Ballesteros (IEO-Madrid, responsable de tarea, coordinación, recopilación de datos batimetría y geología, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), D. Luis Rioja (Instituto Hidrográfico de la Marina, adquisición y procesado de datos), D. Enrique Bardisa (Prosermar S.L., adquisición de datos), D. Gerardo Bruque (procesado de datos).

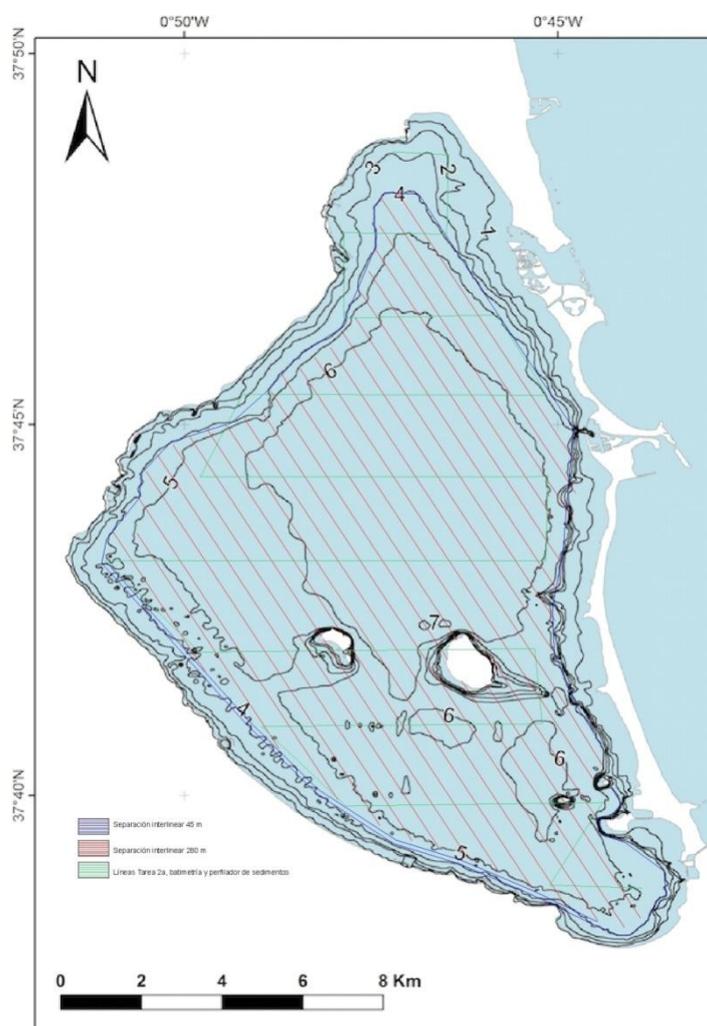


Figura 3.- Mapa batimétrico del Mar Menor (Ecocartografía de Murcia, 2008-2009) con planificación aproximada de líneas a realizar para levantamiento batimétrico a partir de 3 metros de profundidad para obtener una cobertura del 100% del fondo de la laguna. El número final de líneas dependerá de la cobertura real del sistema en base a las condiciones de trabajo.

## **Tarea 1.2.- Estudio de la reflectividad del fondo del Mar Menor a partir de los datos obtenidos con sonda interferométrica GeoSwath.**

Los datos de reflectividad serán analizados para identificar y delimitar los principales tipos de fondo (diferentes tipos de sedimentos y sustratos duros). Se aprovechará para determinar el potencial de esta técnica en la identificación y mapeo de praderas marinas, representadas por la angiosperma *Cymodocea nodosa* y el clorófito *Caulerpa prolifera*. Para ello se ha contado con la experiencia y medios del Grupo de Ecología de Angiospermas Marinas del CO Murcia, que en 2014 y 2017 realizó una cartografía detallada y precisa de las comunidades de los macrófitos bentónicos de la laguna (Belando et al. 2014, 2017, 2018).

Metodología: El equipo GeoSwath proporciona tanto datos batimétricos de muy alta resolución como valores de reflectividad acústica del fondo marino. Por ello, en paralelo al levantamiento batimétrico, se adquirirán datos de reflectividad del fondo marino. Los datos obtenidos serán procesado con Caris Hips and Sips, aplicando algoritmos Geocodder específicos para este tipo de análisis.

Para contrastar y calibrar la información adquirida con muestreos directos, se dispondrá de datos de granulometría y materia orgánica de los sedimentos obtenidos por el CO Murcia para los estudios de vegetación bentónica (Belando et al. 2018) y se realizarán inmersiones puntuales con escafandra autónoma para comprobar la identidad del hábitat en zonas concretas identificadas *a posteriori* en el registro de reflectividad.

Centro ejecutor: CO-Madrid

Investigadores responsables: Dña. María Gómez Ballesteros (IEO-Madrid, responsable de tarea, coordinación, recopilación de datos batimetría y geología, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), D. Luis Rioja (Instituto Hidrográfico de la Marina, adquisición y procesado), D. Enrique Bardisa (Prosermar S.L., adquisición de datos).

## **Tarea 1.3.- Estudio de la capa de sedimentos no consolidados (fango) del fondo del Mar Menor a partir de los datos obtenidos con perfilador de sedimentos GeoPulse.**

De forma simultánea a la obtención de datos con GeoSwath, se propone adquirir perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución, por medio del sistema Geopulse que permite obtener registros del subsuelo marino de forma continua y con muy alta resolución. La capacidad de penetración de este sistema en los niveles sedimentarios superficiales proporcionará una cartografía de los diferentes facies del subsuelo marino, permitiendo diferenciar entre capas de fango, arena y/o grava.

Metodología: Se realizarán perfiles sísmicos de alta resolución con equipo Geopulse, para obtener información de las primeras capas del subsuelo marino. La penetración del equipo dependerá en gran medida de la turbidez de la columna de agua y presencia de pradeas que puedan enmascarar la señal. Los datos obtenidos serán procesados con el software Kingdom Suite y se realizarán mapas de ecofacies del fondo marino.

Centro ejecutor: CO-Madrid

Investigadores responsables: Dña. María Gómez Ballesteros (IEO-Madrid, responsable de tarea, coordinación, recopilación de datos batimetría y geología, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), D. Gerardo Bruque (procesado), D. Enrique Bardisa (Prosermar S.L., adquisición de datos).

### **Tarea 2.1.- Estudio de la evolución de la batimetría del Mar Menor: procesos de colmatación/profundización. Batimetrías con ADCP.**

Teniendo en cuenta la poca información actualizada y disponible sobre la batimetría del Mar Menor, y que la cobertura del fondo abarcada en este trabajo no llega al 100%, cualquier tipo de dato batimétrico adicional que pueda ser obtenido, aportará información en la integración final de resultados. Por ello, en las campañas realizadas para el estudio oceanográfico integral de alta resolución de la laguna costera del mar menor, en concreto las campañas para el estudio y evolución de la oceanografía (Fraile et al. 2018), se adquirirán datos con ADCP, que incluyen datos de batimetría. La principal diferencia entre la batimetría adquirida con este equipo y la adquirida con el equipo GeoSwath, reside en que el ADCP obtiene un punto batimétrico según la derrota del barco, mientras que el equipo GeoSwath obtiene un amplio abanico con 4000 puntos, por lo que la densidad de datos será muy superior 4000 veces superior.

Metodología: Por ello, en paralelo a la adquisición de parámetros oceanográficos, se propone adquirir datos de batimetría de la laguna mediante producto derivado del ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) con función bottomtrack.

Centro ejecutor: IEO-Canarias

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (IEO-Canarias, adquisición e interpretación de resultados), Dra. María Gómez Ballesteros (IEO-Madrid, recopilación de datos batimetría y geología, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), Dr. Francisco Machín Jiménez (investigadorh, procesado e interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición de datos).

## TRABAJOS REALIZADOS

### 1. Campaña MM-0517 Batimetría con GeoSwath

Con el fin de obtener un conocimiento exhaustivo del fondo marino de la laguna costera del Mar Menor (Murcia), se llevó a cabo la campaña MM-0517 del 26 de abril al 13 de junio de 2017. El objetivo de esta campaña era realizar una aproximación batimétrica de la laguna interior del Mar Menor y caracterización del fondo marino con la sonda interferométrica GeoSwath (Fig. 4) con registros de de Sonar de Barrido Lateral (reflectividad).

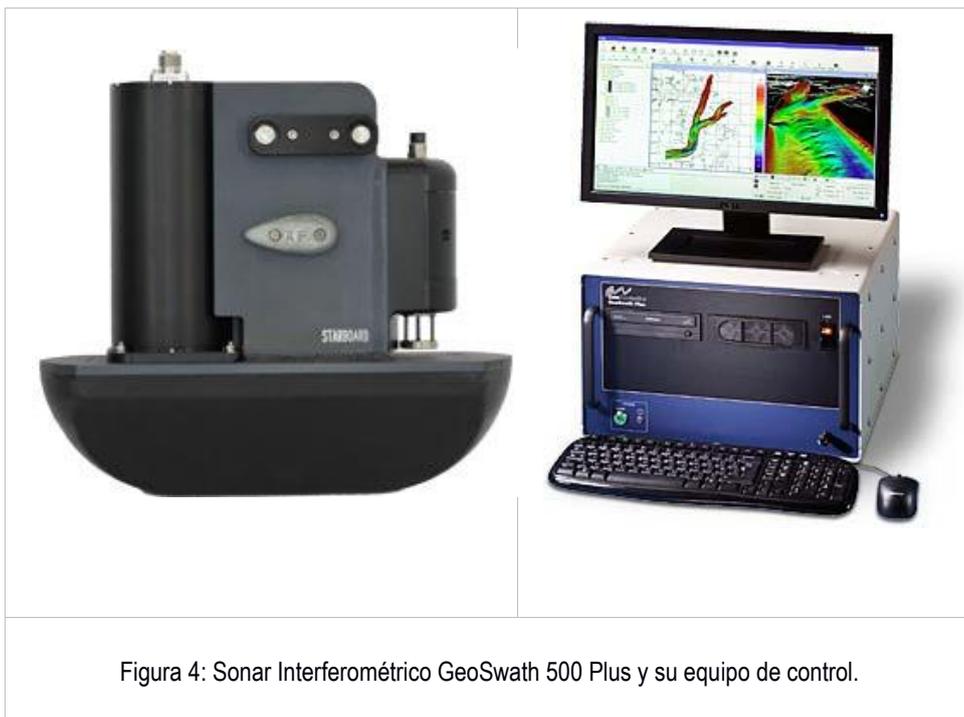


Figura 4: Sonar Interferométrico GeoSwath 500 Plus y su equipo de control.

La zona de trabajo de la campaña prevista en el interior de la laguna costera del Mar Menor (Murcia), se acotó a un área de trabajo desde profundidades de 3 a 7 metros, que quedando determinado en algunas zonas en función del calado de la embarcación y los posibles impedimentos como redes, almadrabas, o fondeaderos. Debido al calado de la embarcación y equipo GeoSwath, realizar operaciones en profundidades inferior a los 3 metros no era viable. Por este motivo, el OISMA acordó que la batimetría desde línea de costa (cota cero) hasta el veril de los 3 metros, sería realizada mediante dron subacuático por el IMIDIA, y los resultados finales se integrarían con los obtenidos en la campaña del IEO, aspecto no incluido en esta memoria que se limita a los datos a partir de los 2-3 m de profundidad.

La embarcación utilizada durante la campaña fue “Prosermar Sexto” (Fig. 5), trasladada al Club Náutico de Lo Pagan, en San Pedro del Pinatar el día 5 de abril, siendo asistido para su botadura y amarre por el personal del IEO. Este embarcadero fue la base de operaciones durante el mes y medio que duró la campaña, y en paralelo las instalaciones del centro del IEO para realizar el procesado y control de calidad de datos diario.

El equipo material y humano de Prosermar ingeniería llegó a Lo Pagán el lunes 24 de abril, dejándose instalado ese día el soporte para instalación de equipos y la propia sonda GeoSwath. El martes 25 de mayo se realizaron las pruebas de mar para comprobación y calibración de equipos. Se probaron haciendo una primera calibración, pruebas de cobertura, altura de transductor, velocidad de registro, cotas de marea en cantil, enlaces RTK con IGN y CARM.

Durante los primeros días se ajustaron los parámetros de trabajo en el equipo, definiéndose la velocidad adecuada de registro (6 nudos máximo), la profundidad del transductor para evitar interferencias (95cm), el solape entre pasadas (50%), los filtros de trabajo, y lo más importante, la planificación definitiva de la cobertura en función de los resultados de dichas pruebas.

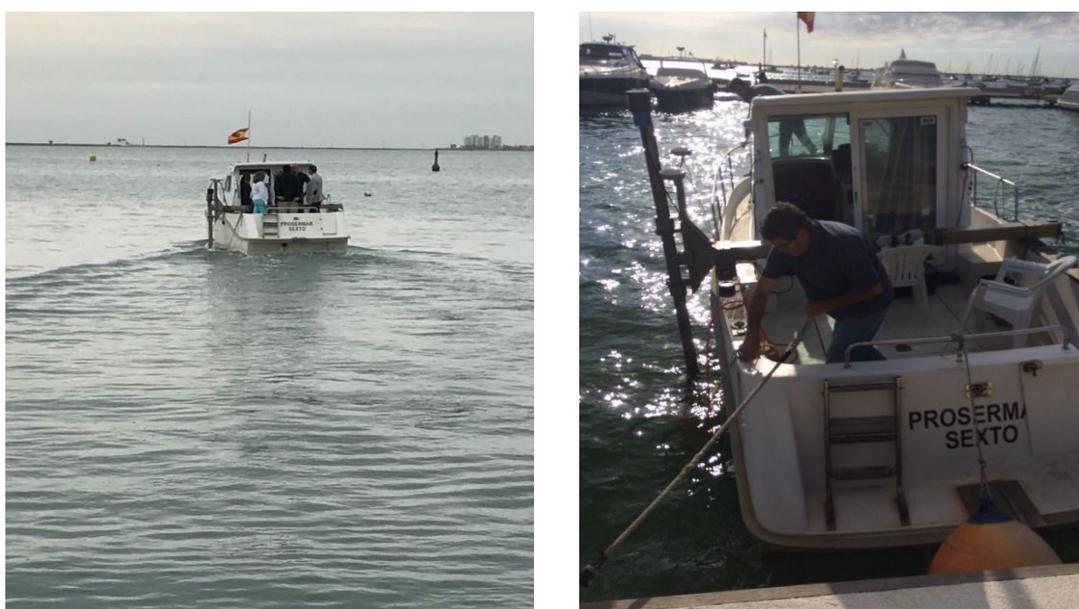


Figura 5.- Embarcación hidrográfica Prosermar Sexto con pértiga instalación GeoSwath.

Los objetivos planteados fueron diseñados en función del tiempo de campaña disponible y las pruebas de cobertura del equipo, decidiéndose trabajar sobre los veriles de 3m, 4m y 5m, realizando tres pasadas por cada veril con cobertura del 50% entre ellas. Posteriormente a estas líneas, se realizaron una parrilla de líneas planificadas paralelas a los veriles y otras transversales a la laguna, que permitirán interpolar con la información preexistente de las ecocartografías y las obtenidas con ADCP. La cobertura que ofrece el sistema GeoSwath es proporcional a la profundidad del fondo, permitiendo obtener una cobertura de hasta 12 veces la profundidad. Por ello, al planificar los trabajos a realizar, hay que tener en cuenta los diferentes rangos de profundidad a los que se va a trabajar y se diseña un proyecto de líneas paralelas, con una separación interlineal y orientación condicionada a la batimetría previa existente, que estará sujeta a modificaciones según factores como la cobertura real del equipo, estado de la mar y tiempo de barco.

Se trabajó un total de 22 días, sin contar el primer día de instalación de la sonda, ni los de cambios de equipos (2 días), ni las averías y mantenimientos. Se dio por finalizada la campaña una vez cubiertos los objetivos planificados por la coordinadora del proyecto.

## 1.1. Metodología

La sonda GeoSwath Plus (Geoacoustics-Kongsberg) es un sistema de sonar batimétrico con medición de fase, también llamado Multihaz interferométrica (Fig.6). Simultáneamente obtiene datos de sonar de barrido lateral y una batimetría con cobertura total. Con su configuración de doble cabeza obtiene un ángulo de visión de más de 240°. La información de profundidad utilizable está limitada solo por la fuerza de la señal reflejada por el fondo marino y su absorción alcanzándose una cobertura lateral efectiva de 12 veces la profundidad bajo el transductor.

Cada cabeza tiene cinco elementos cerámicos, uno transmite y cuatro reciben. Cuando el elemento activo transmite la señal. Uno de los elementos receptores registra la amplitud de la señal reflejada por el lecho marino, adquiriendo datos de sonar de barrido lateral y los cuatro elementos simultáneos determinan, por diferencia de fase de la señal recibida, la dirección del punto donde se refleja. En combinación con la distancia calculada por el tiempo transcurrido desde la emisión y la recepción resulta la medida de la profundidad.

El algoritmo de la medición por fase determina la dirección de retorno del sonido con una resolución de ángulo de 0.03°. La distancia obtenida mediante diferencias de tiempo alcanza los milímetros de precisión. Los datos obtenidos lateralmente son más de 40 por metro lineal. Con estos valores se pueden asegurar los últimos requerimientos del estándar IHO para trabajos de batimetría.

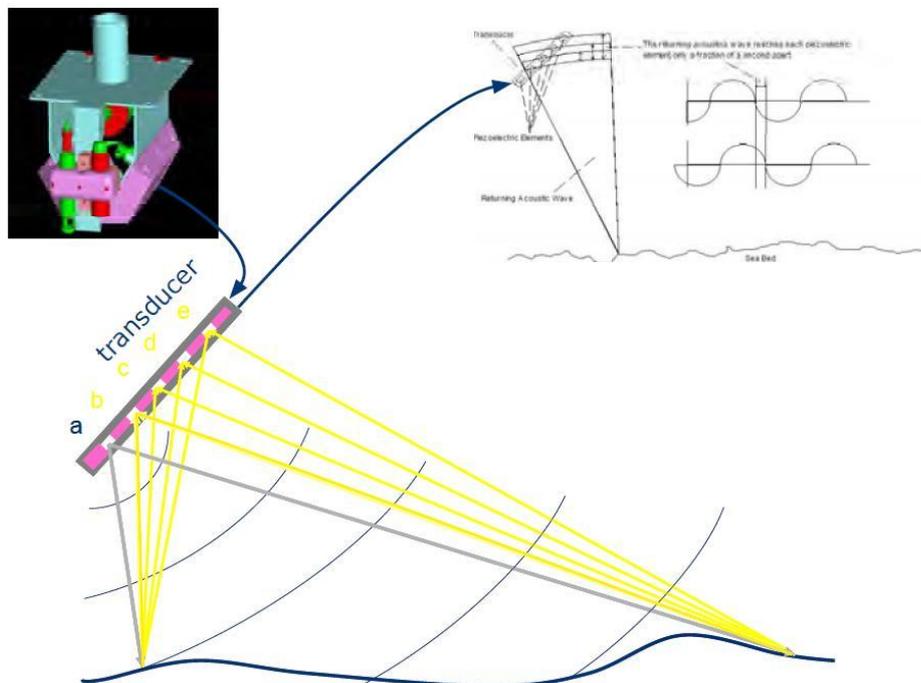


Figura 6.- Funcionamiento sonda interferométrica GeoSwath

### 1.1.1.- Calibración

Para el correcto funcionamiento del equipo se hace un perfil de velocidad diario dentro de la zona planificada a la máxima profundidad. Para el ajuste del perfil de velocidad del sonido se utiliza un perfilador debidamente calibrado y se obtienen varios perfiles en descenso y ascenso, en una zona intermedia de profundidad suficiente (hasta 6 metros de profundidad). Se comprueba con la calibración de GeoSwath Plus que no se observan variaciones en los haces externos, indicador de un buen ajuste de velocidad del sonido.

De una adecuada instalación de los equipos y de una medición topográfica de la posición de los mismos dependen los resultados que se obtengan en la calibración que realiza en software realizando pasadas en sentidos opuestos sobre la misma zona plana a una misma velocidad podemos calibrar el roll y en una zona con inclinación realizando pasadas en diferentes sentidos podemos calibrar el pitch (Fig. 7).

Todo esto tiene lugar tras la topografía del sistema multihaz, para lo que se ha ideado un sistema de anclaje a la embarcación lo suficientemente sólido para que no se mueva en navegación y a la vez fácilmente medible de cara a una correcta calibración. El resultado que

ofrece es plenamente satisfactorio, ya que se obtienen parámetros de corrección mínimos (inferiores al grado).

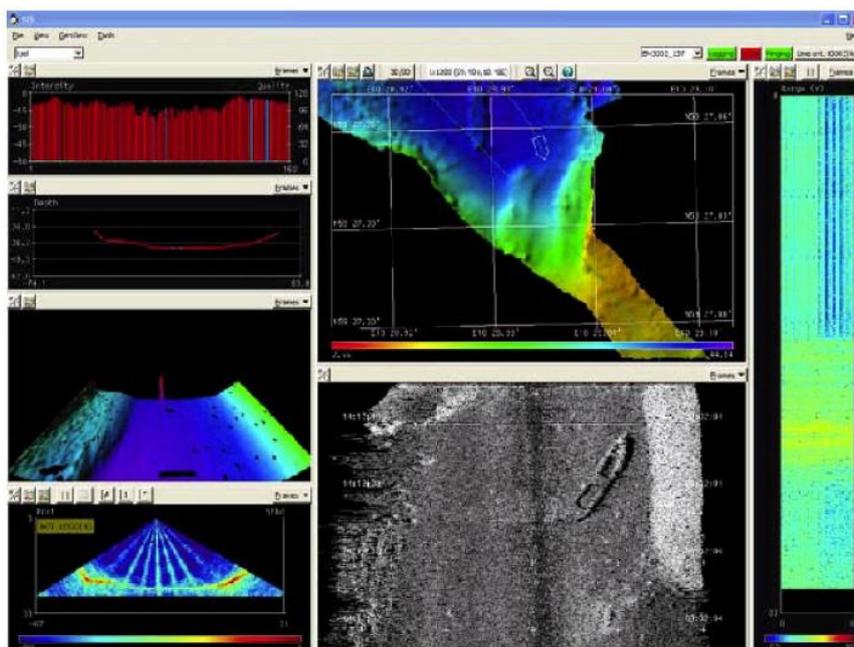


Figura. 7.- Metodología de calibración aplicada

Se lleva a cabo la calibración del equipo mediante el software GeoSwath +, realizándose una serie de pasadas sobre una misma zona, en sentidos opuestos, y a diferentes velocidades para levantar en cada pasada una superficie y superponerlas, viendo así las diferencias. Mediante un sistema estadístico, el software calcula el roll y pitch ideal para “casar” las distintas superficies que se obtienen en las diferentes pasadas. Si estos valores son altos, no sería una medida fiable, por ello se ajustan los equipos para obtener finalmente unos valores más que aceptables de  $0,32^\circ$  de roll y  $0,44^\circ$  de pitch. Para todo esto es necesario contar con equipos de altas prestaciones, como es un sensor de rumbo y compensador de oleaje de precisión  $0,1^\circ$ , así como equipos en medida centimétrica y correcciones diferenciales desde una base local (lo más cerca posible de la zona de obra). Este equipo roll y pitch en tiempo real.

Para realizar la nivelación de la superficie de referencia, en el caso de este estudio se utiliza un sistema redundante de medición de la superficie del mar, uno es el registro de la Z del GPS RTK promediado, y otro es el registro de la marea manualmente en un punto de cota definida. Sobre ese punto el IHM instaló un mareógrafo radar temporalmente y a ese punto se le traslado cota GPS Rtk (Fig.8 y 9).



Fig. 8.- Mareógrafo radar instalado en las proximidades del C.O. del IEO en San Pedro del Pinatar

La observación del clavo se realiza enlazando el equipo a una base de la red murciana de posicionamiento REGAM (a través de sus bases permanentes NTRIP), en concreto a la base de los Alcázares situada a 11,5 Km, consiguiéndose una precisión de 0,024 m horizontal, y 0,030 m vertical.

La posición observada es:

037° 48' 52,07182" N  
000° 47' 02,82793" W  
50,668 m Altura Elipsoidal  
0,975 m sobre el nivel medio del mar en Alicante

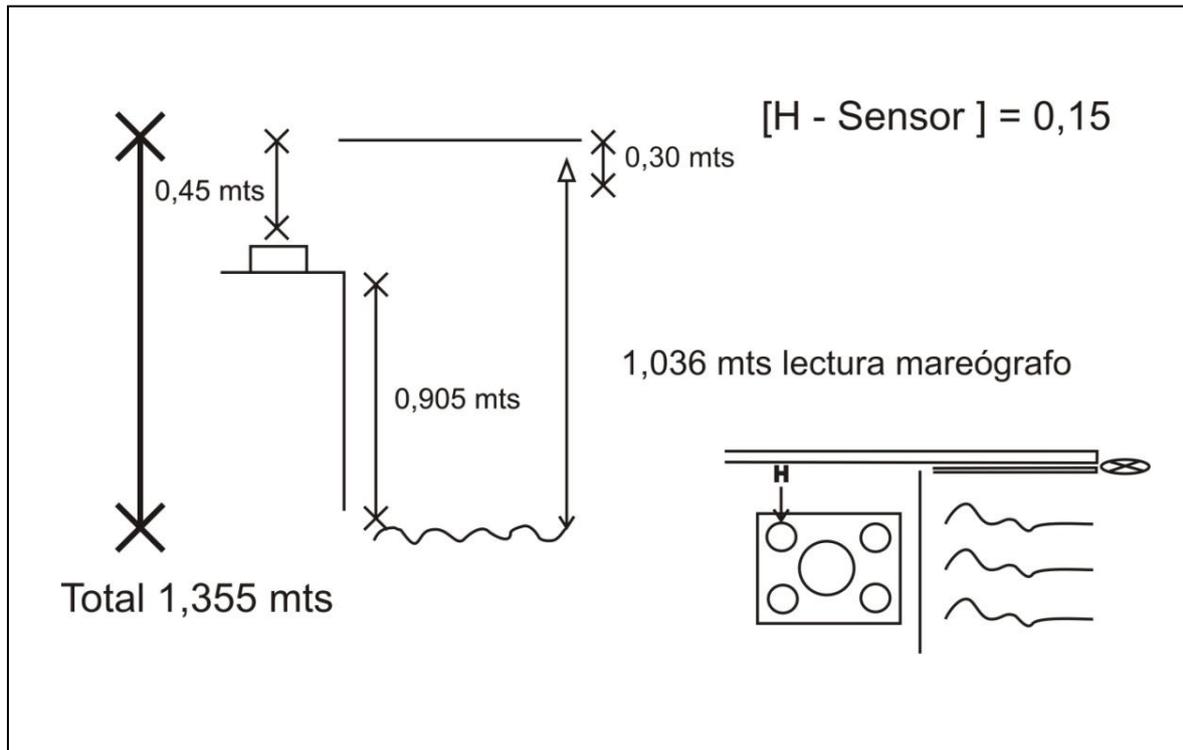


Figura 9. Parámetros de instalación del Mareógrafo radar instalado en las proximidades del C.O. del IEO en San Pedro del Pinatar.

Se traslada la altura Elipsoidal a NMMA a través de la reseña del IGN del vértice 95618 de la Cruz de Levante y Los Pinos en San Javier (Fig. 10 a y 10 b).

Para la calibración RTK, se observa un punto de referencia acordado para hacer el futuro enlace planimétrico y altimétrico del trabajo. Las correcciones diferenciales se obtienen de las redes NTRIP de la comunidad murciana y del IGN.

Reseña Vértice Geodésico

13-may-2017

Número.....: 95618  
Nombre.....: Cruz de Levante  
Municipios: San Javier  
Provincias: Murcia  
Fecha de Construcción.....: 25 de mayo de 1982  
Pilar sin centrado forzado...: 0,00 m de alto, de diámetro.  
Último cuerpo.....: 0,25 m de alto, 0,40 m de ancho.  
Total cuerpos.....: 1 de 0,25 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

| Sistema de Ref.:    | ED 50                 | ETRS89                                                          |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Longitud.....:      | - 0° 47' 50,2977"     | - 0° 47' 54,61443" ±0.07 m                                      |
| Latitud.....:       | 37° 48' 34,3921"      | 37° 48' 29,97388" ±0.063 m                                      |
| Alt. Elipsoidal...: |                       | 104,953 m ±0.08 (BP)                                            |
| Compensación...:    | 01 de octubre de 1991 | 01 de noviembre de 2009<br>Elipse de error al 95% de confianza. |

Coordenadas UTM. Huso 30 :

| Sistema de Ref.:    | ED 50        | ETRS89        |
|---------------------|--------------|---------------|
| X.....:             | 693910,44 m  | 693799,421 m  |
| Y.....:             | 4187039,75 m | 4186831,794 m |
| Factor escala.....: | 1,000063115  | 1,000062618   |
| Convergencia...:    | 1° 21' 03"   | 1° 20' 60"    |

Altitud sobre el nivel medio del mar: 55,260 m. (BP)

Situación:

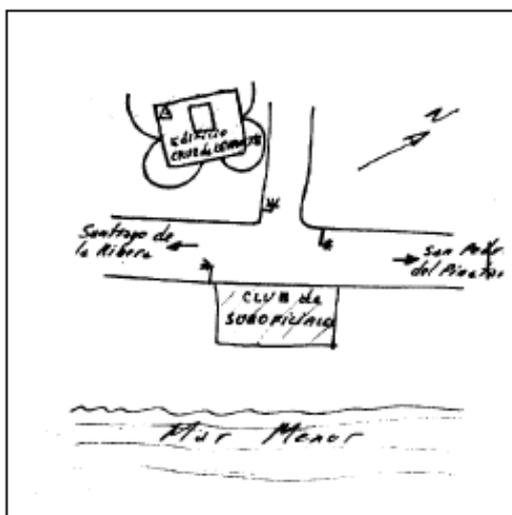
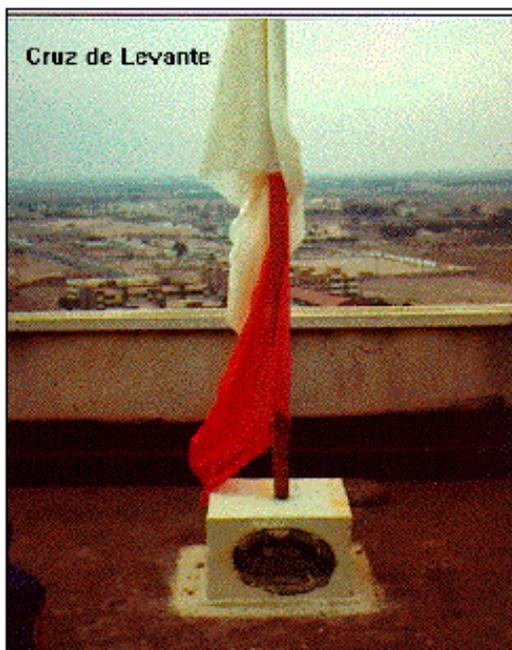
Situado en la terraza del edificio llamado "La Cruz de Levante", que consta de 17 plantas.

Acceso:

Desde Santiago de la Ribera, por la carretera local a San Pedro del Pinatar, por la costa y a unos 2 Km. de la primera población y, dentro de la "Ciudad del Aire", en un cruce con semáforos, queda a la derecha el Club de Suboficiales y a la izquierda el edificio de 17 plantas "La Cruz de Levante", en cuya terraza se encuentra el vértice.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

**Cartografía de situación**

13-may-2017

Escala 1:25.000

095618 Cruz de Levante

Coordenadas ETRS89. Huso 30

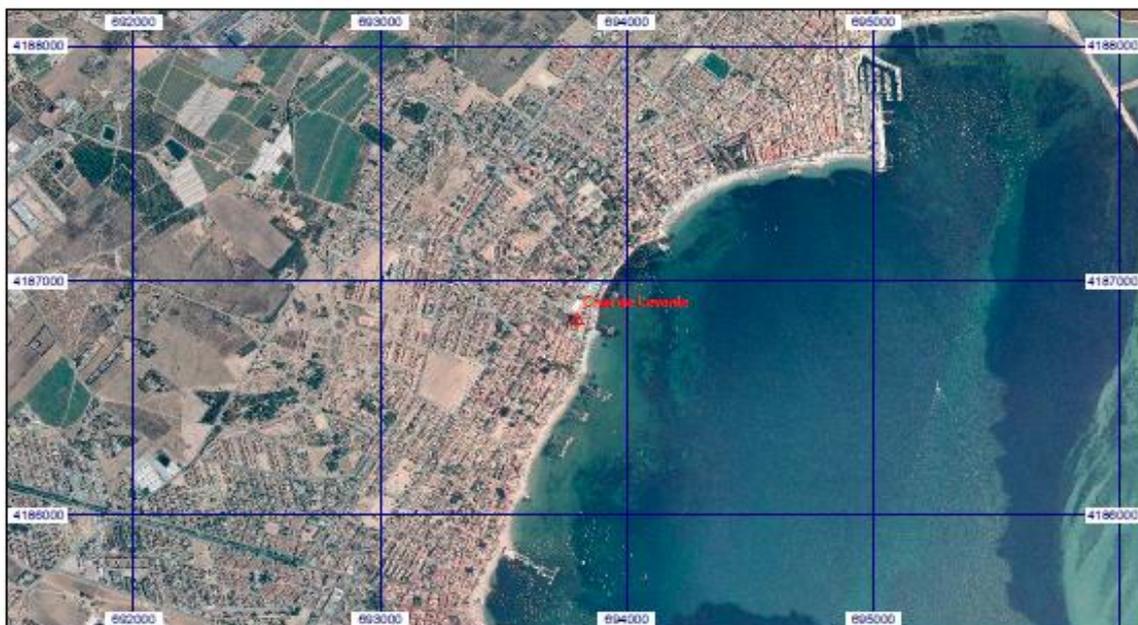
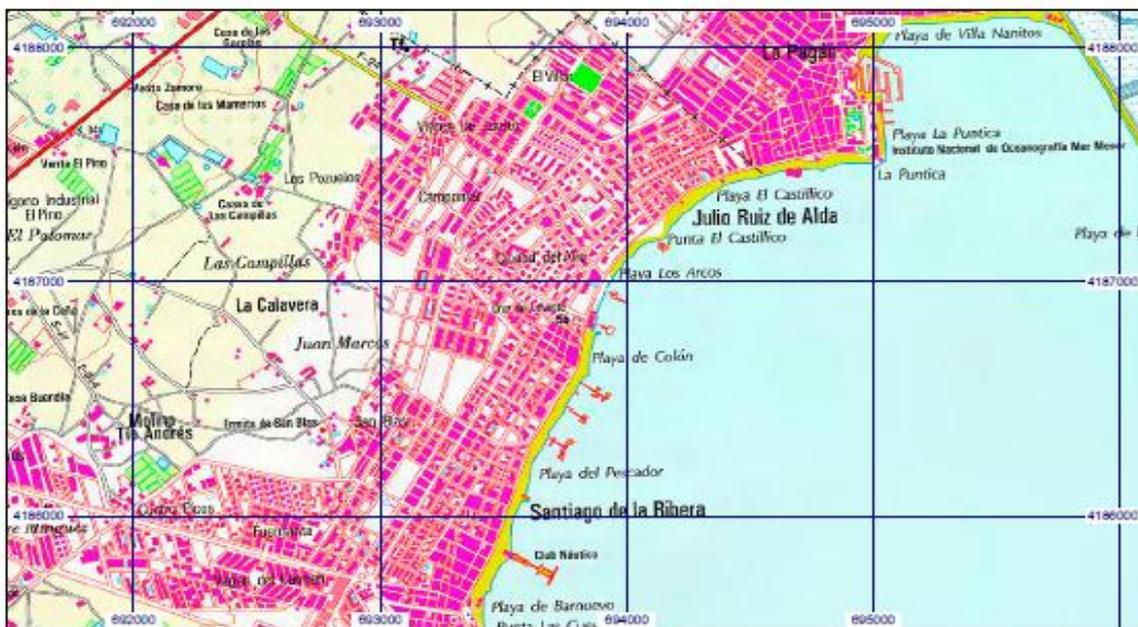


Figura 10 a.- Reseña Vértice Geodésico Cruz de Levante

## Reseña Vértice Geodésico

13-may-2017

Número.....: **95604**  
 Nombre.....: **Los Pinos**  
 Municipios: **San Javier**  
 Provincias: **Murcia**  
 Fecha de Construcción.....: **26 de mayo de 1982**  
 Pilar sin centrado forzado...: de alto, de diámetro.  
 Último cuerpo.....: **0,25 m de alto, 0,40 m de ancho.**  
 Total cuerpos.....: **1 de 0,25 m de alto.**

### Coordenadas Geográficas:

| Sistema de Ref.:    | ED 50                 | ETRS89                      |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Longitud.....:      | - 0° 50' 53,3300"     | - 0° 50' 57,64999" ±0.061 m |
| Latitud.....:       | 37° 44' 45,6030"      | 37° 44' 41,18205" ±0.08 m   |
| Ait. Elipsoidal...: |                       | 91,461 m ±0.072 (BP)        |
| Compensación...:    | 01 de octubre de 1991 | 01 de noviembre de 2009     |

Elipse de error al 95% de confianza.

### Coordenadas UTM. Huso 30 :

| Sistema de Ref.:  | ED 50        | ETRS89        |
|-------------------|--------------|---------------|
| X.....:           | 689596,43 m  | 689485,358 m  |
| Y.....:           | 4179882,96 m | 4179675,173 m |
| Factor escala...: | 1,000042743  | 1,000042256   |
| Convergencia...:  | 1° 19' 04"   | 1° 19' 01"    |

Altitud sobre el nivel medio del mar: **41,743 m. (BP)**

### Situación:

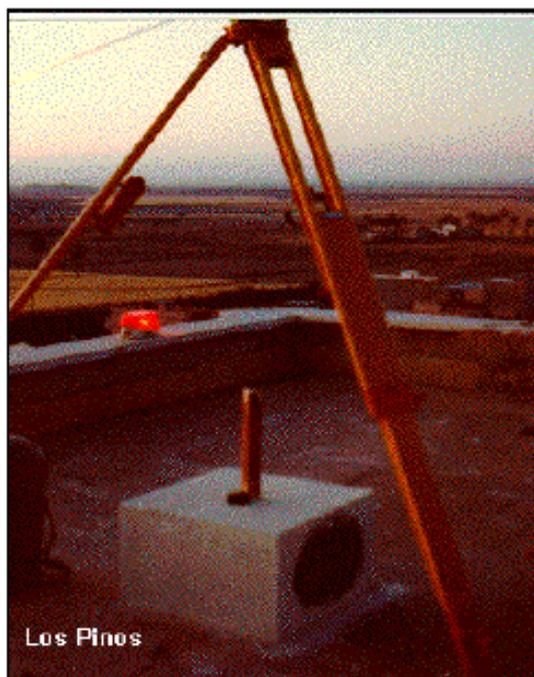
Situado en la azotea más alta del edificio "Los Pinos", encima del cuarto de máquinas de los ascensores. El edificio es el más alto de Los Alcázares y tiene 11 plantas.

### Acceso:

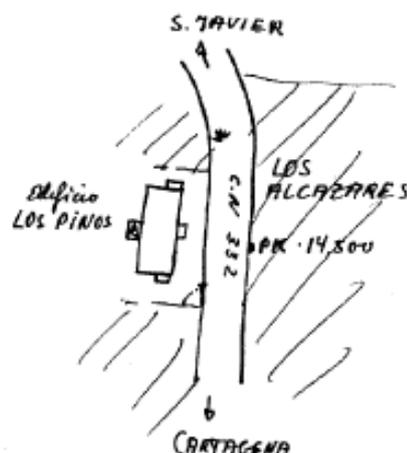
Desde San Javier por la carretera nacional N-332 de San Javier a Cartagena, a la entrada del pueblo de Los Alcázares, pasado 100 m. el primer semáforo, en el P.K. 14,5 se encuentra el edificio "Los Pinos", a la derecha.

### Horizonte GPS:

Despejado



Los Pinos



### Observaciones:

Cartografía de situación

13-may-2017

Escala 1:25.000

095604 Los Pinos

Coordenadas ETRS89. Huso 30



Figura 10b- Reseña Vértice Geodésico Los Pinos (San Javier)

### 1.1.2.- Posicionamiento

La toma de datos de posición para la realización del levantamiento se hace con un GPS centimétrico Rtk, Trimble SPS 751 (Fig.11), de este mismo equipo se obtiene el PPS (pulso por segundo de sincronización); este receptor GPS recibe correcciones desde la base posicionada sobre los en el puntos de referencia previamente observados.

Al mismo tiempo se combina para el cálculo del rumbo con un SPS 550. Se adjuntan especificaciones de ambos equipos.



Figura 11.- GPS centimétrico Rtk (Trimble SPS 751)

### 1.1.3.- Enlace planimétrico

El sistema de proyección empleado es el Universal Transversa Mercator (U.T.M), huso 30 norte. En datum ETRS89. En todo momento se utiliza la red ENTRIP GNSS existente en la zona tanto de la Comunidad Autónoma de Murcia Como del IGN. La base de referencia de Cartagena del IGN resultó más estable y fue la más utilizada durante la batimetría. Para casos puntuales de referenciación precisa, se utiliza la de Los Alcazares (Fig. 12) que es la más próxima pero que sufría interrupciones o pérdidas de enlace.

## REGAM - Estación referencia GNSS de Los Alcázares

La Estación GNSS de Referencia sita en Los Alcázares (Mar Menor) se encuentra sobre el tejado del Parque de Bomberos del Consorcio del Servicio de Emergencias de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Las coordenadas están referidas al ARP (Antenna Reference Point) de la antena AT504GG



### ESTACIÓN REFERENCIA GNSS DE LOS ALCÁZARES

| coordenadas Sist. Geodésico Ref. ETRS89 |                   |
|-----------------------------------------|-------------------|
| geodésicas                              | cartesianas       |
| lat = 37° 43' 50.753551" N              | X = 5050255.286 m |
| long = 0° 51' 38.889316" W              | Y = -75879.931 m  |
|                                         | Z = 3881893.569 m |

Figura 12.- Estación de Referencia GNSS de los Alcázares

## 2. Campaña MM-0517 Reflectividad con GeoSwath

Simultáneamente a la adquisición de datos batimétricos con la sonda interferométrica GeoSwath, se fueron adquiriendo datos de reflectividad del fondo marino (Fig. 13), con el objeto obtener datos para la identificación de aquellas zonas donde haya cambios sustanciales del lecho marino que puedan ser producidos por la presencia de praderas. La metodología de trabajo empleada, por lo tanto, fue la misma que la explicada en el apartado anterior.



Figura 13.- Mosaico general de la reflectividad obtenida con GeoSwath durante la campaña MM-0517

### 3. Campaña MM-0517 perfiles sísmicos con Geopulse

En el marco de la Campaña MM-0517 se programó una campaña adicional de geofísica para el levantamiento de perfiles sísmicos de alta resolución con equipos acústicos, a objeto de realizar un estudio de las características del subsuelo marino. El perfilador de fondo y/o del subsuelo marino es una herramienta utilizada para trazar una imagen de los sedimentos enterrados bajo el fondo marino. Se utiliza emitiendo pulsos acústicos de corto alcance directamente hacia el fondo marino. Los ecos devueltos se procesan electrónicamente para formar una imagen a la que se llama perfil del fondo marino. Así, la imagen del perfil obtenida nos mostraría las diferentes capas de sedimentos y basamento acústico y, en el caso de haberlas, las anomalías existentes.

Se propuso para este trabajo la utilización del Perfilador de Fondos (Sub-Bottom Profiler) Geopulse de la casa Kongsberg Geoacoustics. GeoPulse es un sistema perfilador de fondo robusto, de uso sencillo y completamente digital. Además es versátil pues permite ser instalado en el casco del buque, por la borda o remolcado. El sistema consta de una unidad de cubierta (formada por transmisor y receptor) y un grupo de transductores. Los estratos del fondo se dibujan codificando las reflexiones acústicas de una señal transmitida (monofrecuencia, de alta potencia, multicíclica y seleccionable).



Figura 14.- Embarcación Prosermar Sexto con Geopulse instalado

La logística para llevar a cabo este estudio, requiere de una embarcación de Lista 5 específica para trabajos hidrográficos. Por ello, se realizó la instalación del equipo en la misma embarcación “Prosermar Sexto” empleada para la campaña de GeoSwath, procediendo a la desinstalación de los equipos de adquisición batimétrica, para proceder a la instalación del Geopulse (Figura 14).

Para la instalación y puesta en marcha del equipo se contó con el apoyo de un técnico de la propia fábrica que suministra el equipo e instalado por la empresa Topomar. Durante los primeros dos días de campaña, se realizaron labores de pruebas y ajustes con resultados satisfactorios para la dirección del proyecto ejecutada por el IEO. Una vez calibrado el equipo, se llevó a cabo la campaña, registrando un total de 88 perfiles sísmicos a lo largo y ancho del Mar Menor conforme a la planificación propuesta por el IEO (Figura 15 izda), durante los días 16 a 19 y 22 a 23 de mayo completando dicha planificación. Las condiciones climatológicas y el tiempo de trabajo, permitió realizar una campaña (Figura 15 dcha) lo más fiel posible a la planificación inicial propuesta.

El recorrido de los transectos suma más de 200 Km, en líneas planificadas Norte-Sur y Este-Oeste.

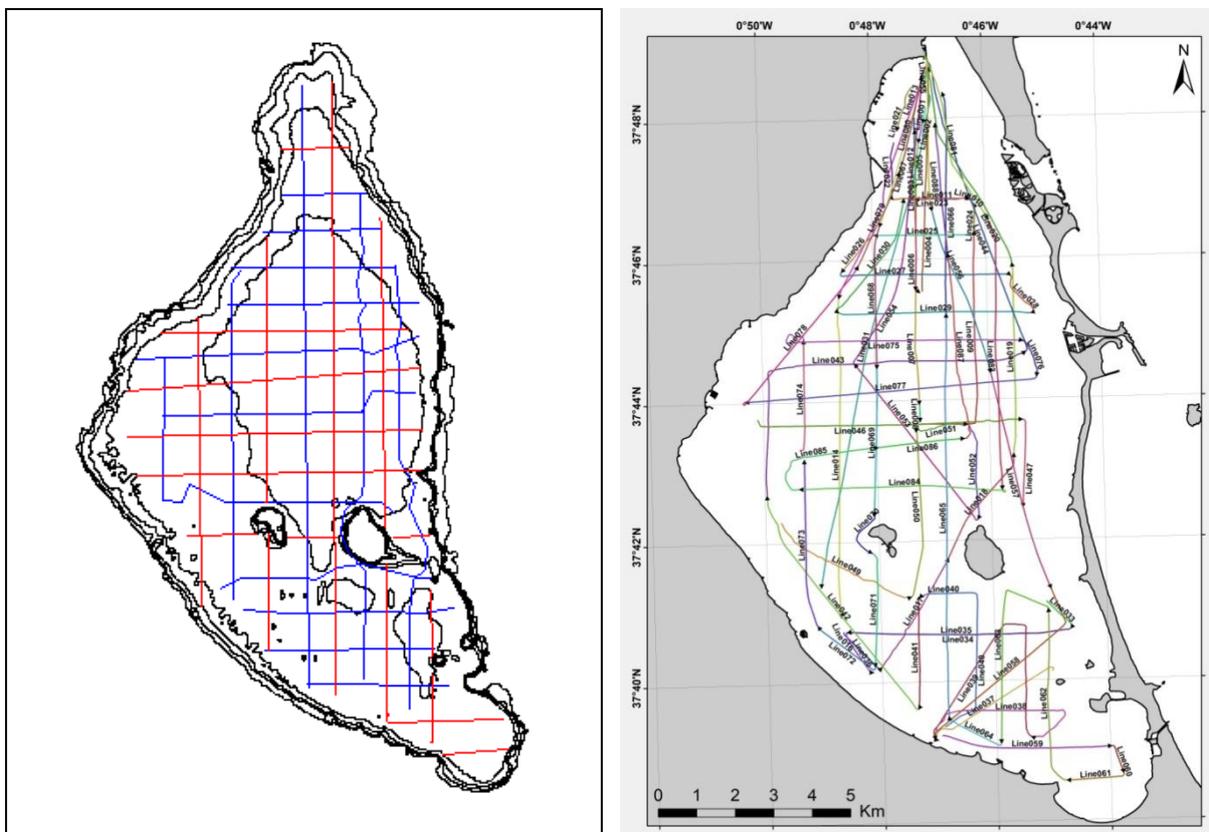


Figura 15.- Planificación de líneas a realizar diseñada por el IEO (izda). Itinerarios finales de las líneas realizadas, un total de 88 perfiles sísmicos (dcha).

La penetración del equipo en los estratos sedimentarios alcanzó los 15 metros bajo el lecho marino, observándose en tiempo real la disposición de los diferentes reflectores del subsuelo (Figura 16). Para la adquisición y posicionamiento, se ha utilizado el Software de registro y navegación Sonar Wiz (Figura 17). Los datos serán procesados posteriormente por con el software Kingdom Suite.

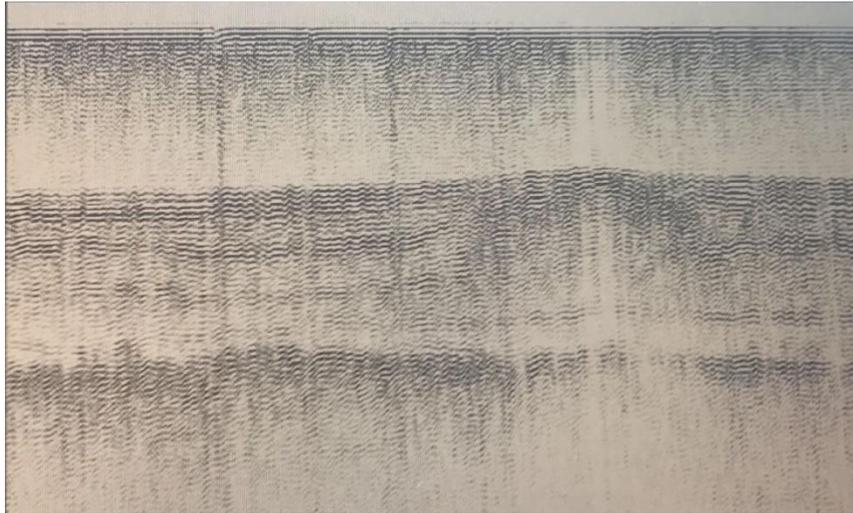


Figura 16.- Perfil sísmico de alta resolución obtenido con Geopulse, con penetración máxima de 15 m

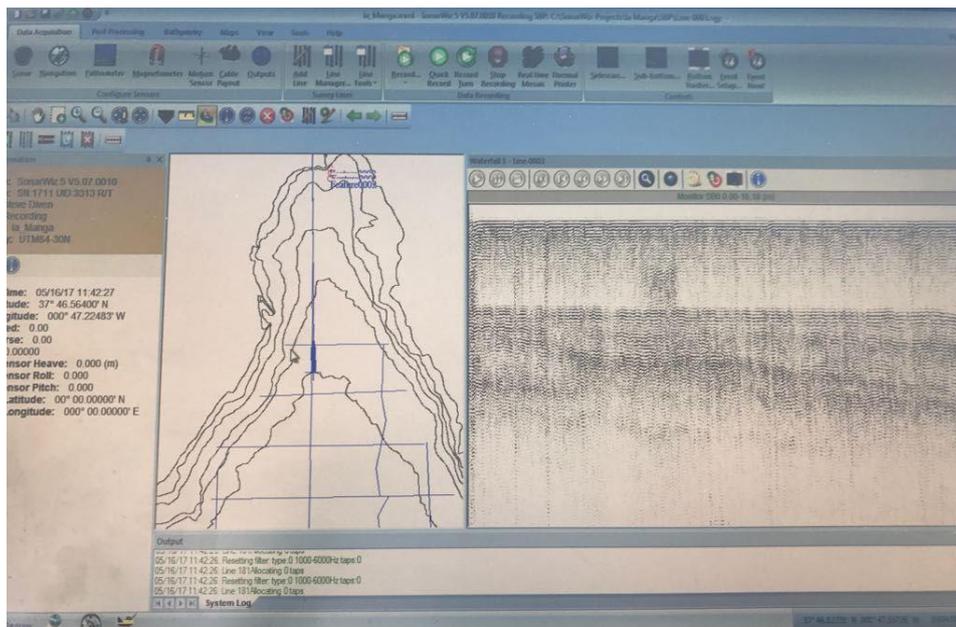
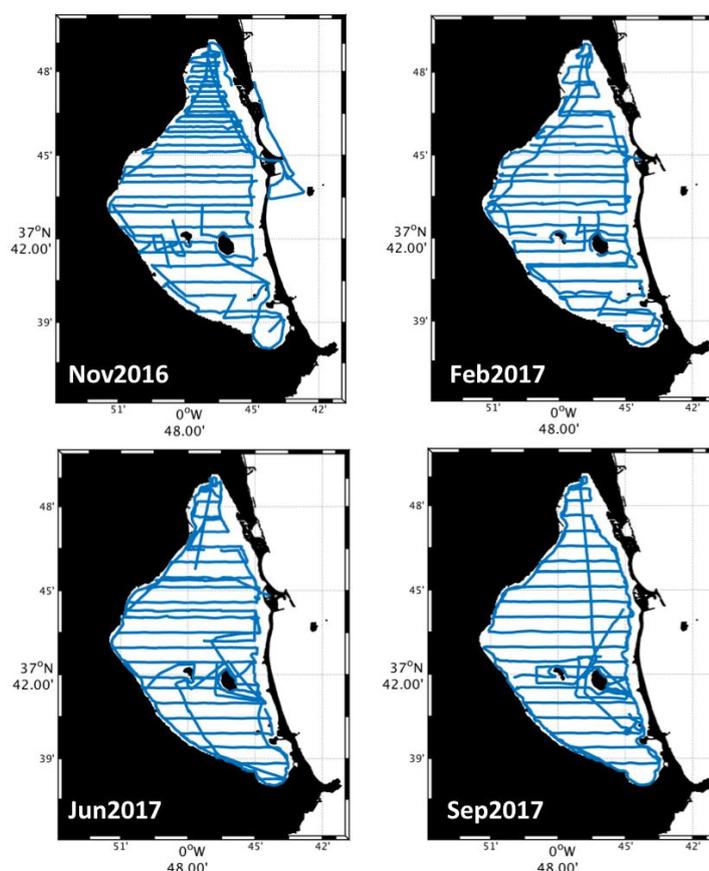


Figura 17.- Software de registro y navegación Sonar Wiz

#### 4. Batimetría con ADCP

Durante los mismos transectos realizados para las medidas del campo de corriente mediante ADCP (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 18; Fraile et al. 2018) en las campañas realizadas por el equipo de oceanografía del IEO (nov-2016, Feb-2017, Jun-2017 y Sep-2017), se tomaron datos de profundidad en continuo de toda la laguna a excepción de zonas muy someras (<0.5-1.0 m) o con alta concentración de redes de pesca que



imposibilitaban la navegación y seguridad del buque.

Figura 18. - Mapa de los transectos realizados con ADCP para el estudio de corrientes en 3D para las 4 campañas oceanográficas en el Mar Menor

Estas medidas de profundidad se tomaron con el sistema ADCP 1200 kHz mediante la opción "bottomtrack". Las medidas fueron recogidas en continuo a intervalos de 1 segundo. Los valores de profundidad del ADCP fueron contrastados y validados con los datos suministrados por el sensor de presión del CTD para 40 puntos de muestreo en toda la superficie de la laguna. Se ha realizado una intercalibración entre los datos de profundidad obtenidos mediante ADCP con aquellos obtenidos con GeoSwath en la misma época, con el fin de

determinar hasta qué punto se pueden integrar ambas fuentes de datos para obtener una batimetría de la mayor resolución espacial posible.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los principales resultados de los datos obtenidos durante la campaña MM-0517 llevada a cabo en la laguna del Mar Menor a finales de abril hasta principio de junio de 2017, así como su posterior procesado y análisis de los datos obtenidos.

### 1. Batimetría del Mar Menor con GeoSwath

#### 1.1. Procesado de Datos

Una vez concluida la campaña, se obtuvieron un total de 1932 archivos de batimetría y reflectividad obtenidos con el equipo GeoSwath, que fueron organizados para su posterior control de calidad de los datos, documentación asociada, datos procesados, datos intermedios y/o temporales, “pre-productos”, mapas, cartografía, etc.

El procesado de los datos se ha realizado con el programa *CARIS HIPS & SIPS*, (software de procesamiento para Hidrografía) para las labores de procesado de estos archivos (\*.rff), HIPS (Sistema de Procesado de Información Hidrográfica) y SIPS (Sistema de Procesado de Sonar de Barrido Lateral) están diseñados para recibir y procesar datos batimétricos y de sonar de barrido lateral. El trabajo se ha realizado utilizando la licencia propia del IEO. El procesado de datos obtenidos con ecosondas interferométricas es muy tedioso y dilatado en el tiempo, debido a la gran densidad de datos recogidos, y es necesario seguir un riguroso orden establecido en las fases de procesado de los mismos:

#### A) Creación del Proyecto CARIS

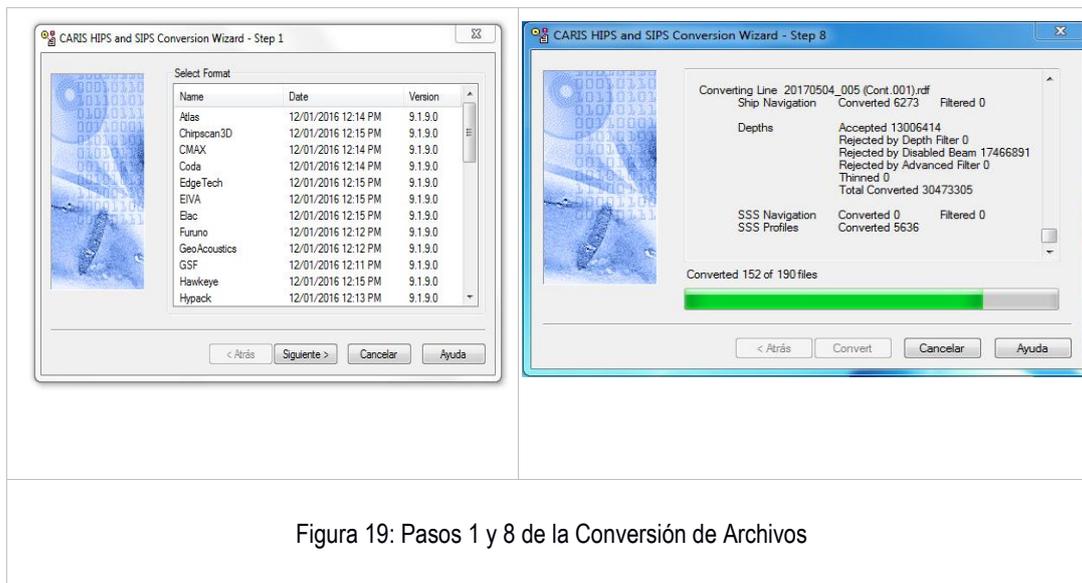
Para su creación fue necesario configurar numerosos parámetros:

- Nombre del Proyecto
- Nombre y Fichero de Barco
- Fechas de Campaña
- Sistema de Proyección Global (ETRS89)
- Zona de Coordenadas geográficas (UTM zone 30N)
- Extensión del Proyecto (marco geográfico)
- Estructura de carpetas y ficheros

- Configuración de personalizaciones y herramientas opcionales

## B) Conversión de Archivos

Una vez creado el proyecto se debió realizar una importación de todos los archivos de datos brutos, que a su vez conlleva una conversión (Fig. 19) pues la estructura interna de cada empresa comercial y tipo de equipo acústico difieren entre sí y se debe conseguir un producto estandarizado.



## C) Preparación de los ficheros de Perfiles de Velocidad del Sonido

Es obligatorio dar formato adecuado a los archivos de texto plano (txt) obtenidos de los perfiles de velocidad del sonido que se realizaron durante la campaña de forma diaria, y eliminar datos superfluos en un pre-procesado (Fig. 20).

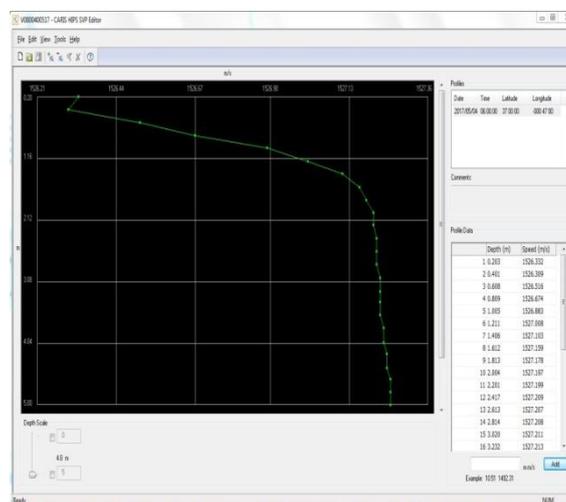


Figura 20: Visualización de un Perfil de Velocidad del Sonido

Debido a los continuos cambios en las variables ambientales del medio marino que interfieren en una toma de datos acústicos en oceanografía, es necesario realizar varias correcciones a cada archivo de los incluidos en el proyecto:

- Corrección de la Velocidad del Sonido (variabilidad provocada por las condiciones atmosféricas y de las corrientes marinas)
- Corrección por Mareas
- Corrección de los Sensores (limpieza de los datos de los sensores, ya sean de navegación, cabeceo balanceo u ola) (Fig. 21).
- Combinación (Combinar la información de los distintos sensores para producir datos georeferenciados) (Fig. 22).



Figura 21: Corrección de los Sensores (navegación, ola, cabeceo o balanceo)

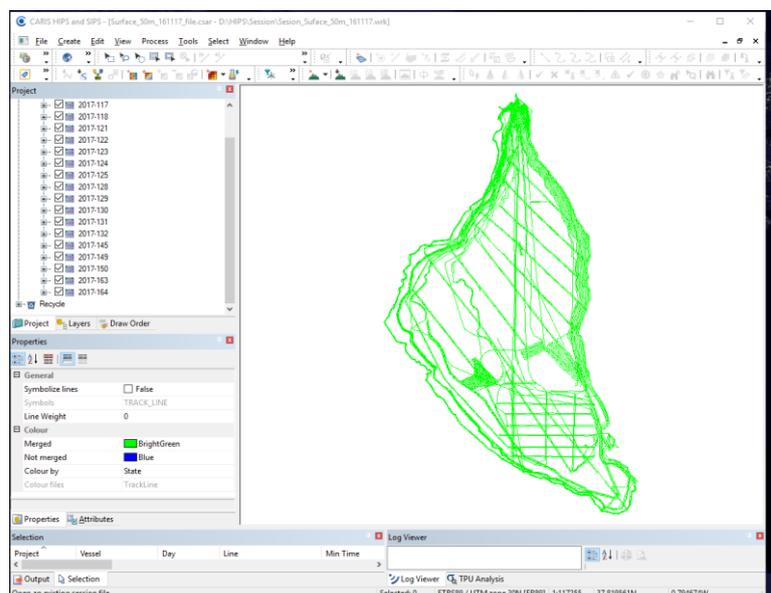


Figura 22: Control en CARIS para visualización de los transectos del barco realizados durante la campaña MM-0517

## D) Edición de los datos

Esta fase consiste en la visualización y limpieza directa de los datos de las sondas georreferenciadas, es decir seleccionar las sondas correctas para los posteriores cálculos de la superficie del fondo marino. Inicialmente se generó, a través de algoritmos estadísticos, una superficie del fondo marino para trabajar a partir de ella (Fig. 23).

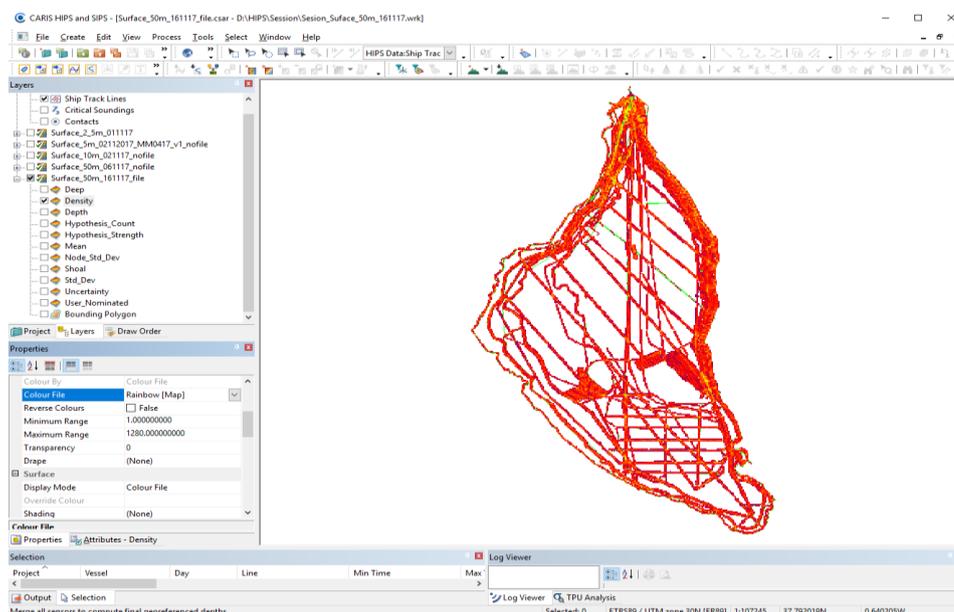


Figura 23: Superficie “modo borrador” del fondo marino sin depurar aún los datos

Sobre esta superficie se realiza una selección de sondas correctas y se eliminan los datos erróneos o poco probables. Este proceso se realiza área a área recorriendo todo los datos. Este minucioso y metódico procesado queda sintetizado a partir de la siguiente serie de figuras correspondientes a las capturas de pantalla de la edición de datos (Fig. 24, 25a, 25b, 26 y 27).

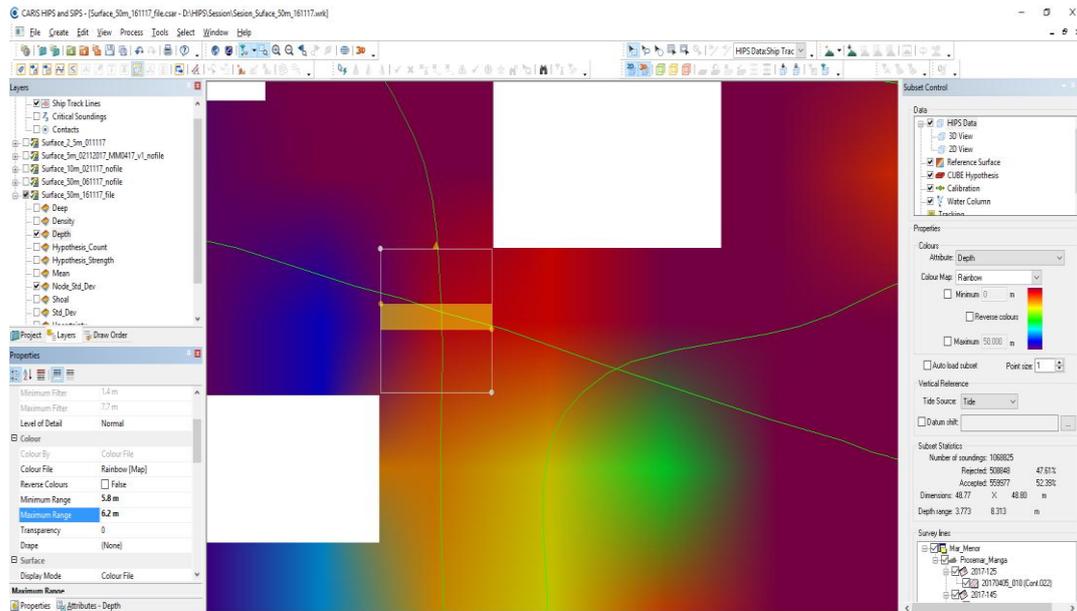


Figura 24: Ventana de control para la edición de sondas (modo Subset)



Figura 25a: Ventanas de visualización de las sondas (2D a la izquierda y 3D a la derecha) para su selección o rechazo en el modo Subset previo a la edición de datos.

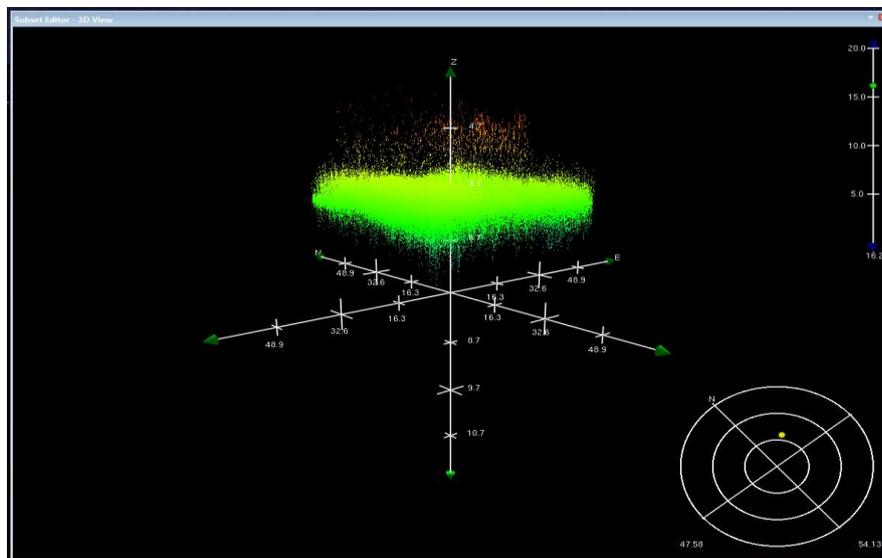


Figura 25b: Ejemplo de ventana 3D de visualización de Sondas: sin terminar la selección

Periódicamente durante este proceso se recalcula el conjunto de datos para actualizar la superficie (o para crear nuevas con mayor o menor resolución) para ver la evolución de nuestro trabajo de estudio del relieve marino, a fin de poder obtener un procesado de datos que garanticen la resolución de los mismos.

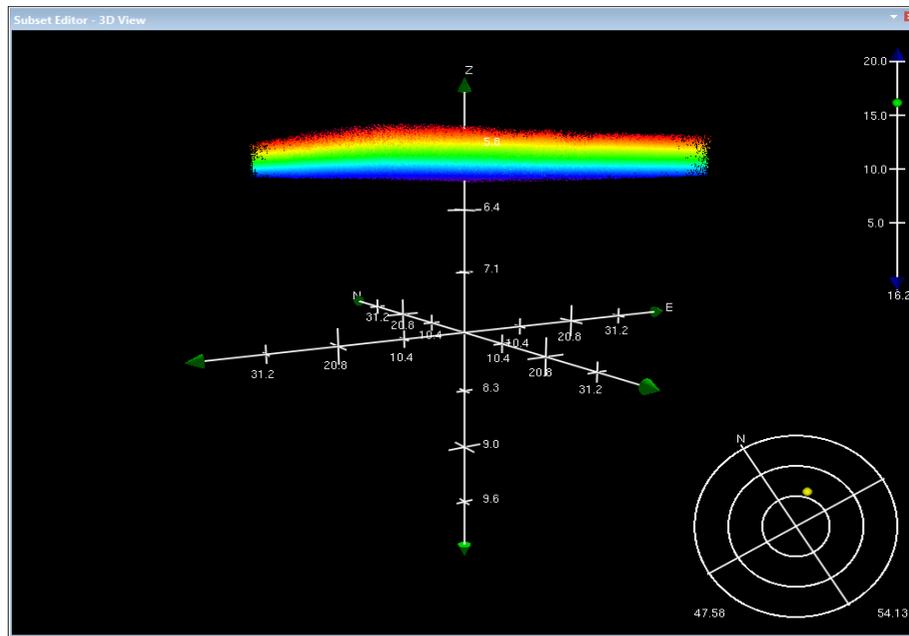


Figura 26: Ejemplo de ventana 3D de visualización de Sondas: terminada la selección

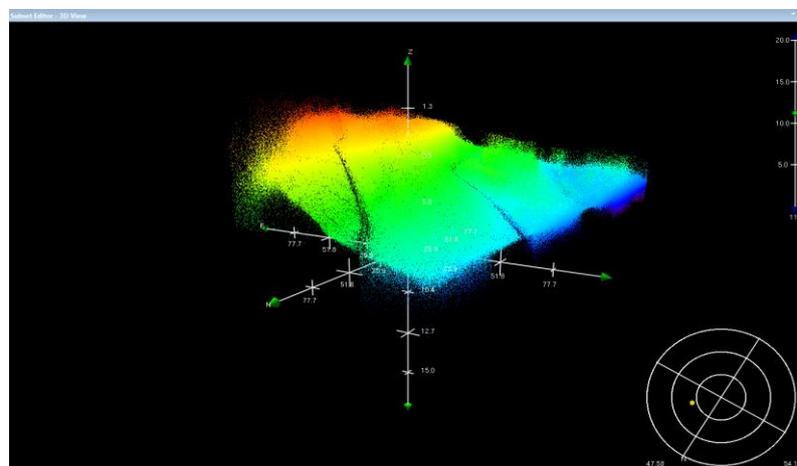


Figura 27: Ventana 3D de visualización de Sondas

Tras supervisar todas las áreas sondeadas se obtiene una superficie del fondo que probabilísticamente es la más similar a la real (Fig. 28).

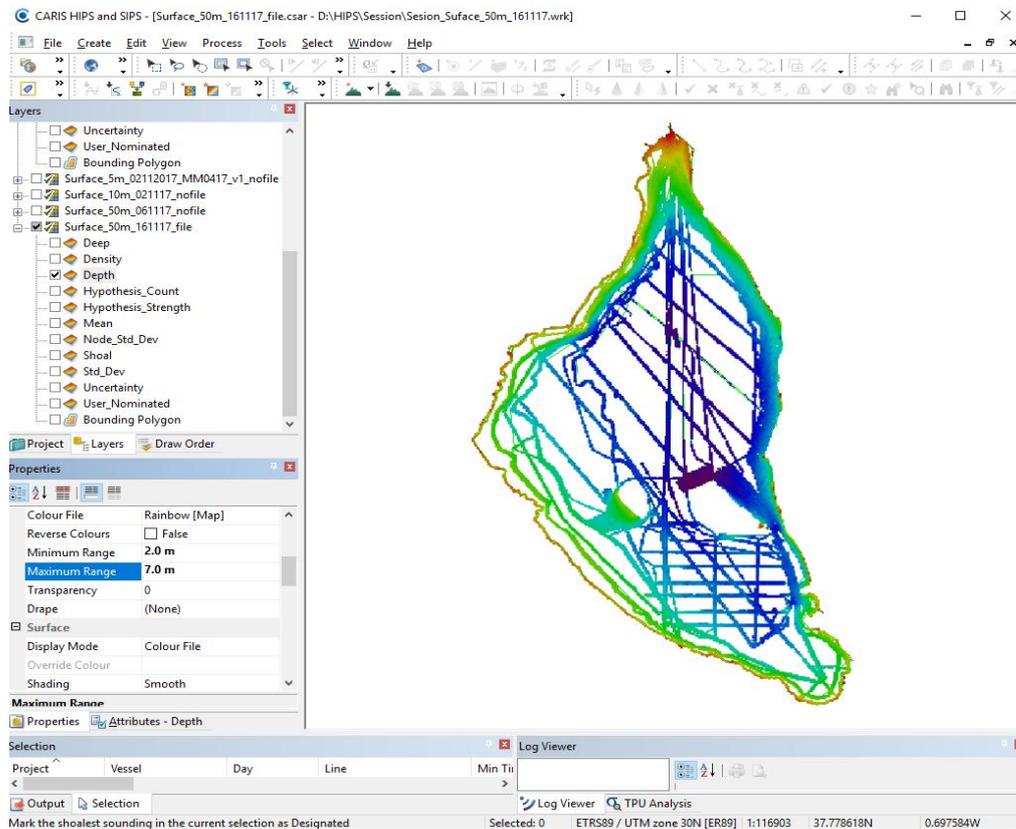
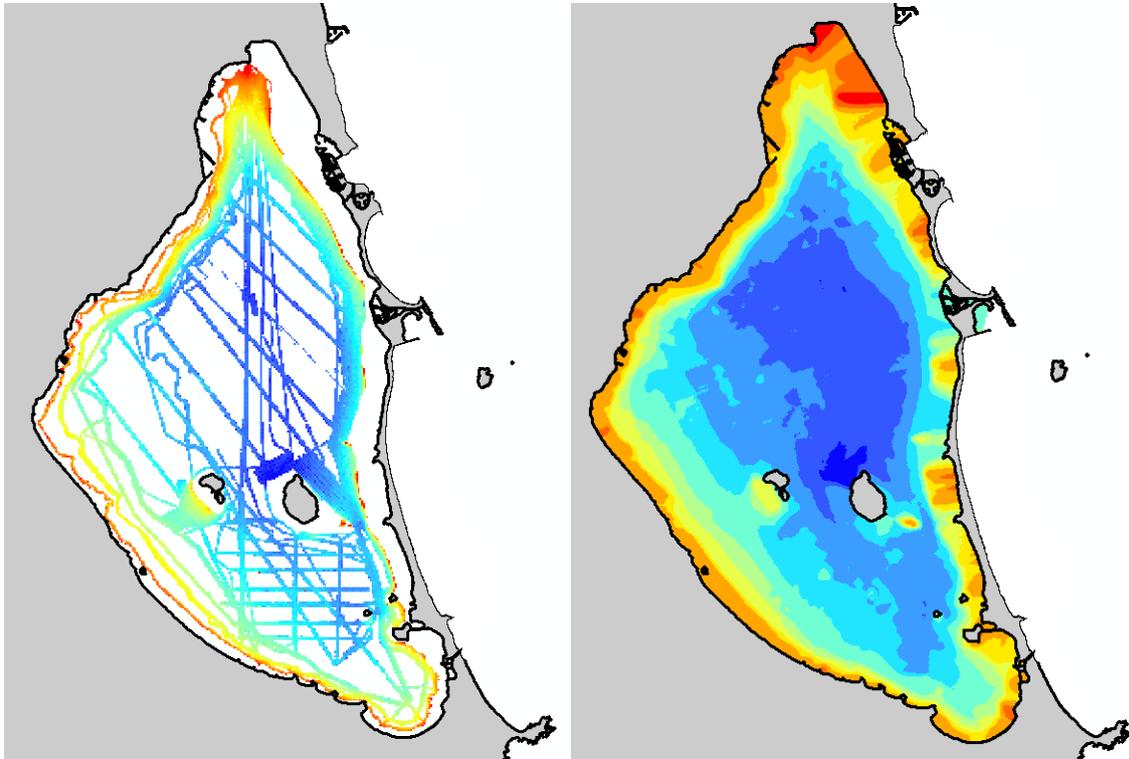


Figura 28: Resultado final del trabajo con CARIS

## 1.2. Producción Cartográfica

Una vez finalizado el procesado anterior se llevó a cabo la exportación de la superficie resultante, usando el formato ESRI ASCII, para facilitar la lectura por un sistema de información geográfica (SIG o GIS) (Fig. 29 y 30).

Desde esta herramienta (o software) se realizaron diferentes pruebas de interpolación, con diferentes metodologías y algoritmos estadísticos combinando, a su vez, diversos parámetros. Los resultados más óptimos y adecuados para este estudio se obtuvieron con una interpolación mediante método Kriging para obtener una superficie continua de la superficie del Mar Menor (Fig. 30).



Figuras 29 y 30: Modelos de la superficie del lecho marino antes (figura 17, izquierda) y después (figura 18, derecha) de la Interpolación. La escala de color es en función de la profundidad: rojo más somero (aprox. 0 metros) y azul intenso más profundo (aprox. 7 m).

Los resultados finales obtenidos a partir de la batimetría del GeoSwath son los representados en las figuras 31, 32, 33, 34 a y 34 b, correspondientes a malla de datos interpolados, veriles o isóbatas, mapa de batimetría codificado en escala de colores por profundidades y MDT del fondo de la laguna.

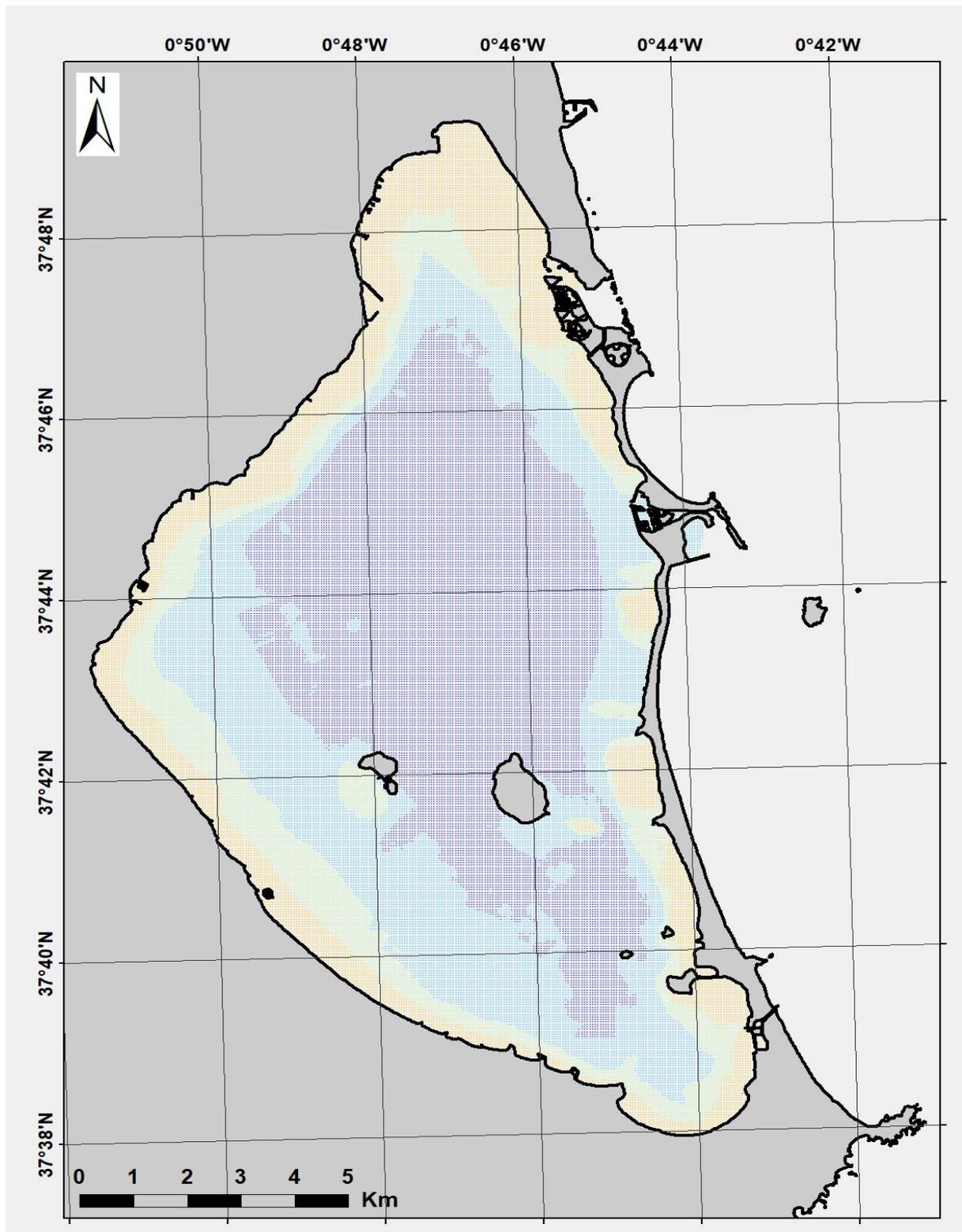


Figura 31: Mapa del archivo de las sondas batimétricas en formato plano (ascii) a partir de datos de GeoSwath

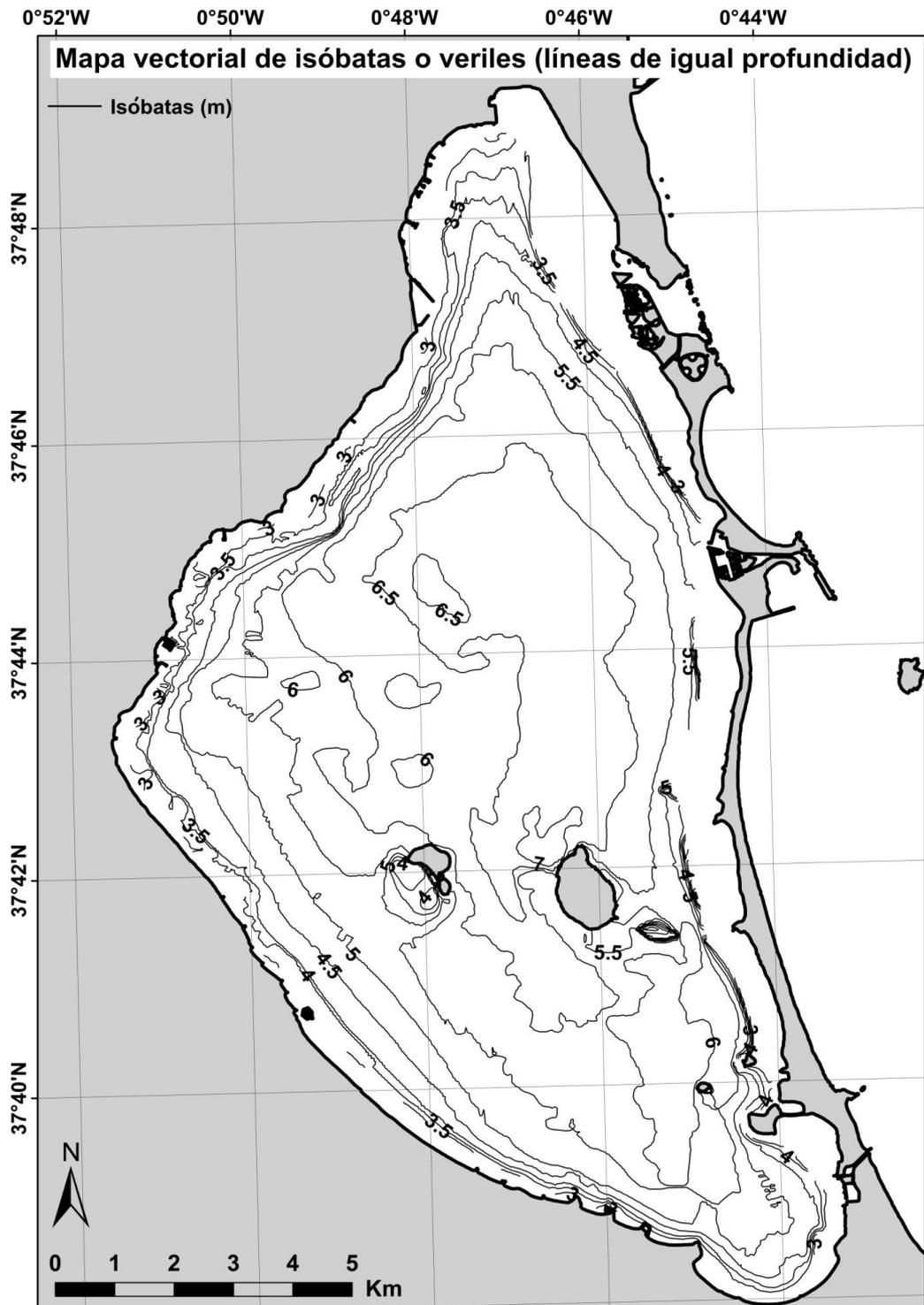


Figura 32: Mapa vectorial de isobatas o veriles (líneas de igual profundidad) a partir de datos de GeoSwath

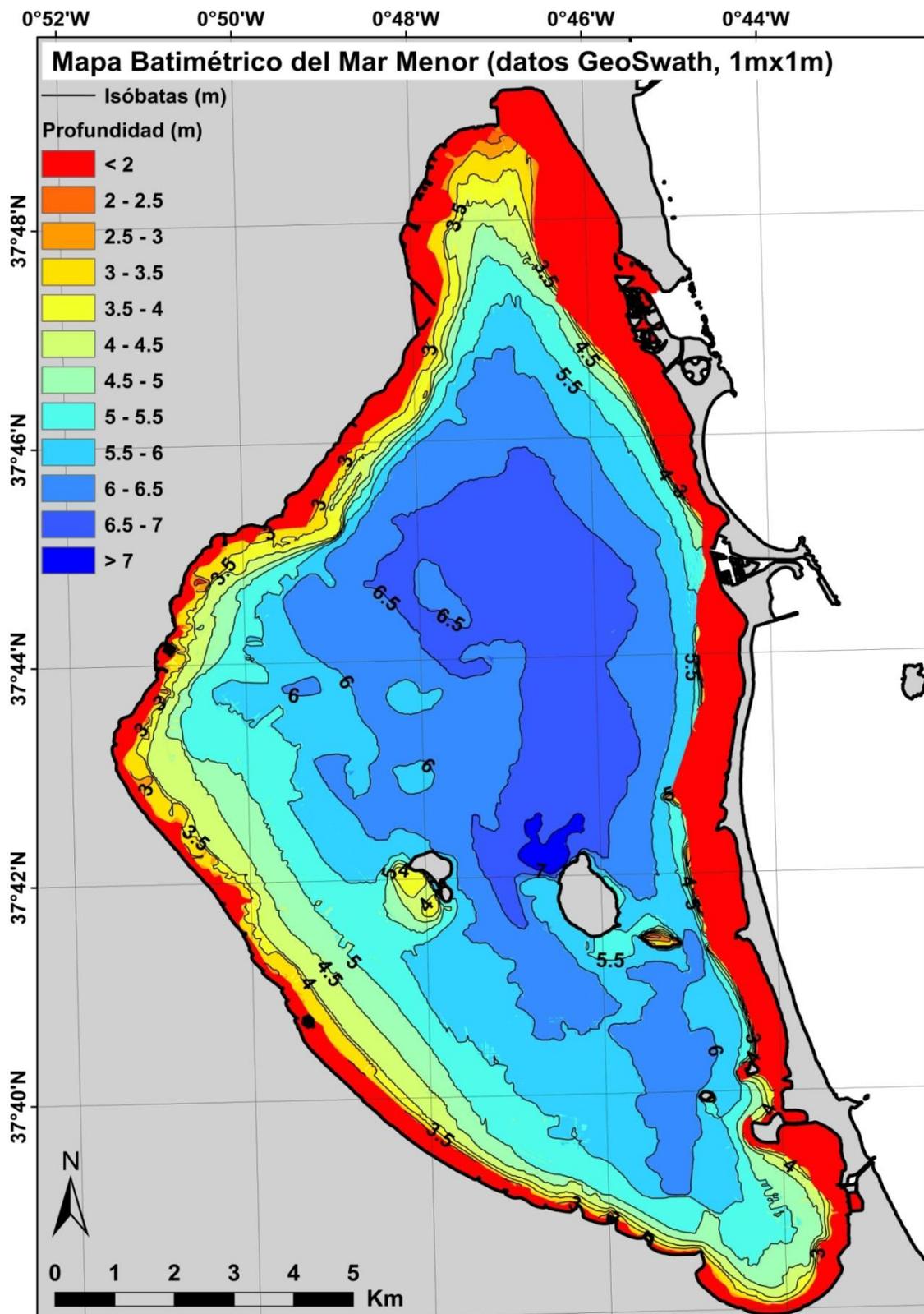


Figura 33: Mapa batimétrico del Mar Menor a partir de datos de GeoSwath

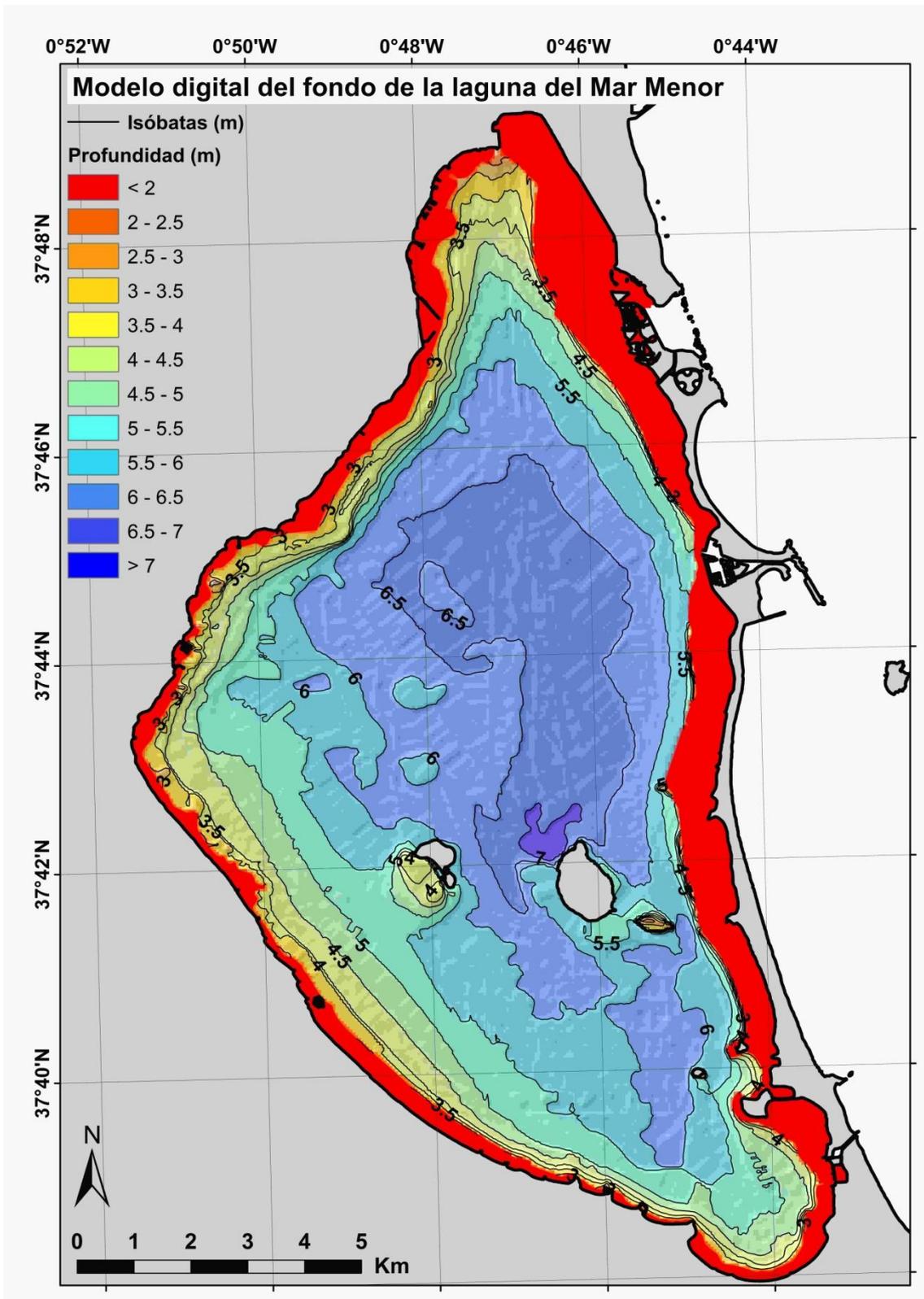


Figura 34a.- MDT del fondo de la laguna del Mar Menor a partir de datos de GeoSwath

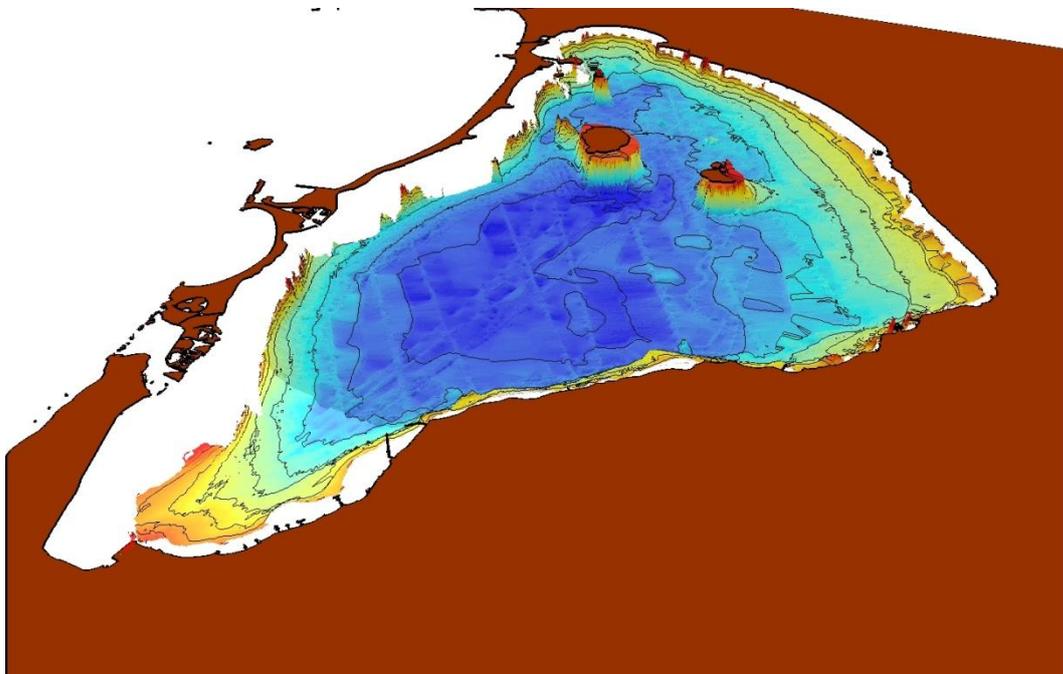
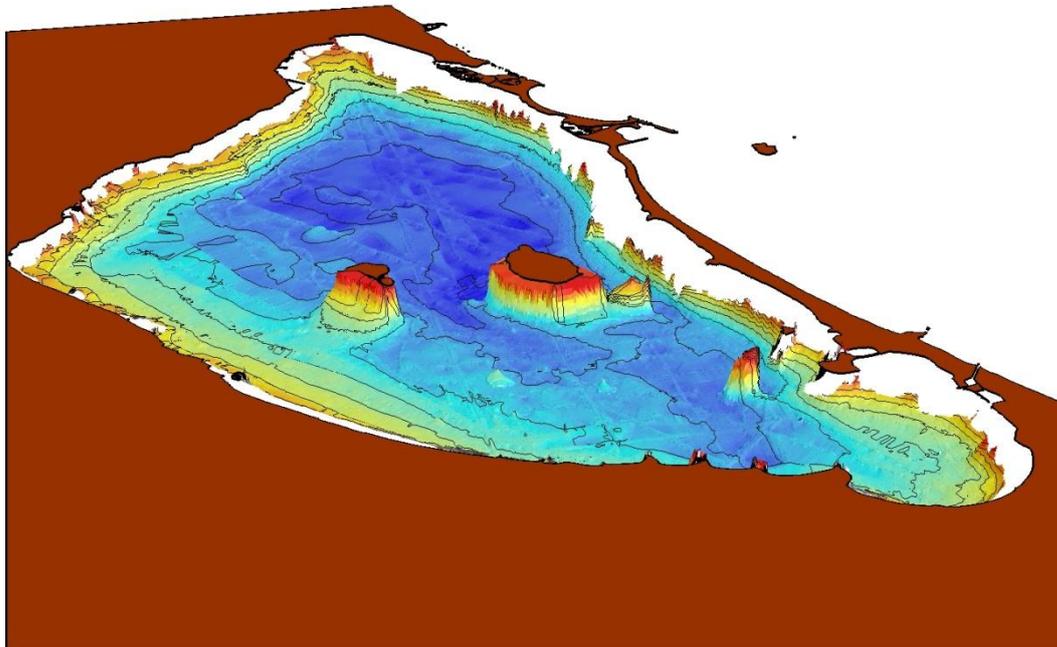


Figura 34b.- Modelos 3D del fondo de la laguna del Mar Menor a partir de datos de GeoSwath

En algunas zonas en las que se consideró a priori y en base a los resultados obtenidos con ADCP, que podía haber mayores modificaciones en la batimetría del fondo de la laguna, se aumentó el número de líneas de adquisición a fin de obtener una mayor cobertura y resolución en zonas de detalle al aumentar la densidad de sondas. Estas zonas fueron los entornos de las islas Mayor y Perdiguera, y la zona norte (salida del puerto de Lo Pagán) como se muestra en las figuras 35, 36, 37 y 38.

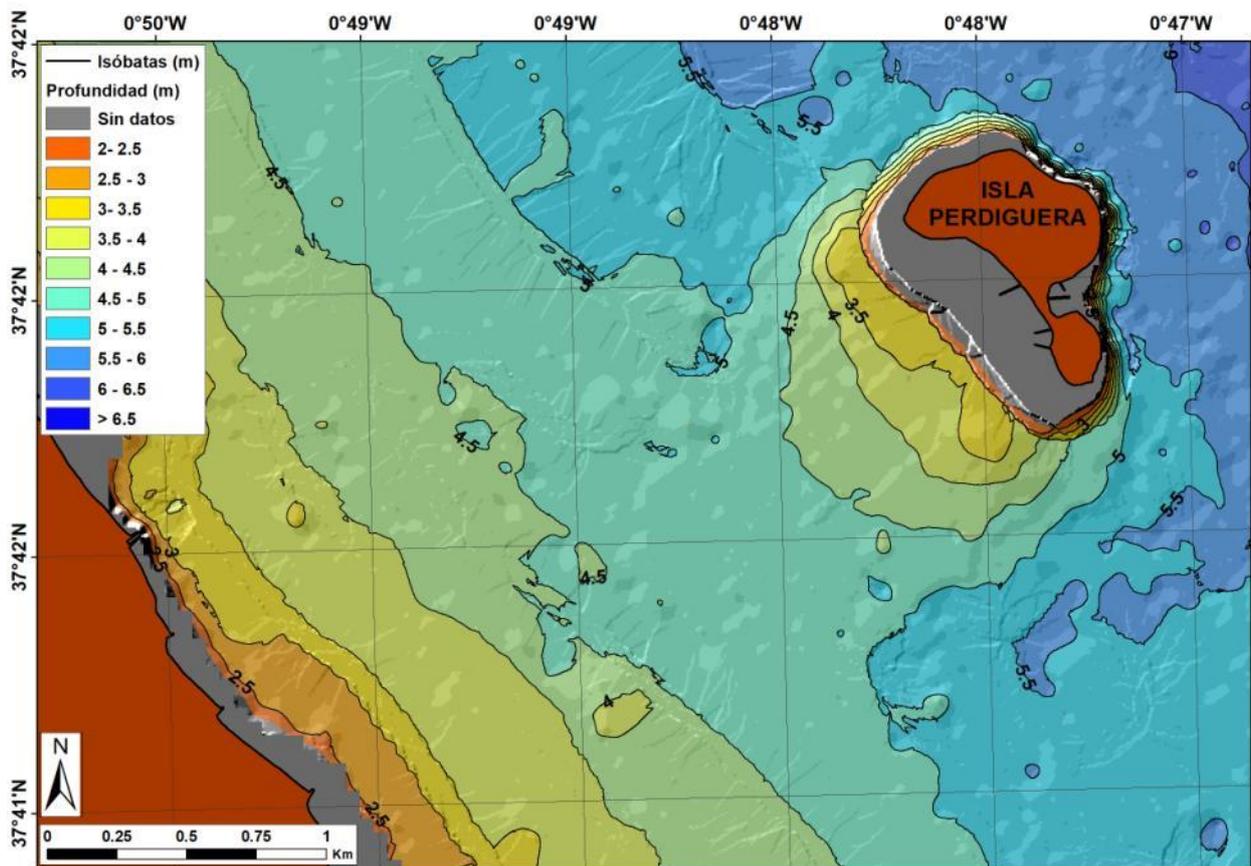


Figura 35.- MDT del fondo en el entorno de la Isla Perdiguera a 1m de resolución

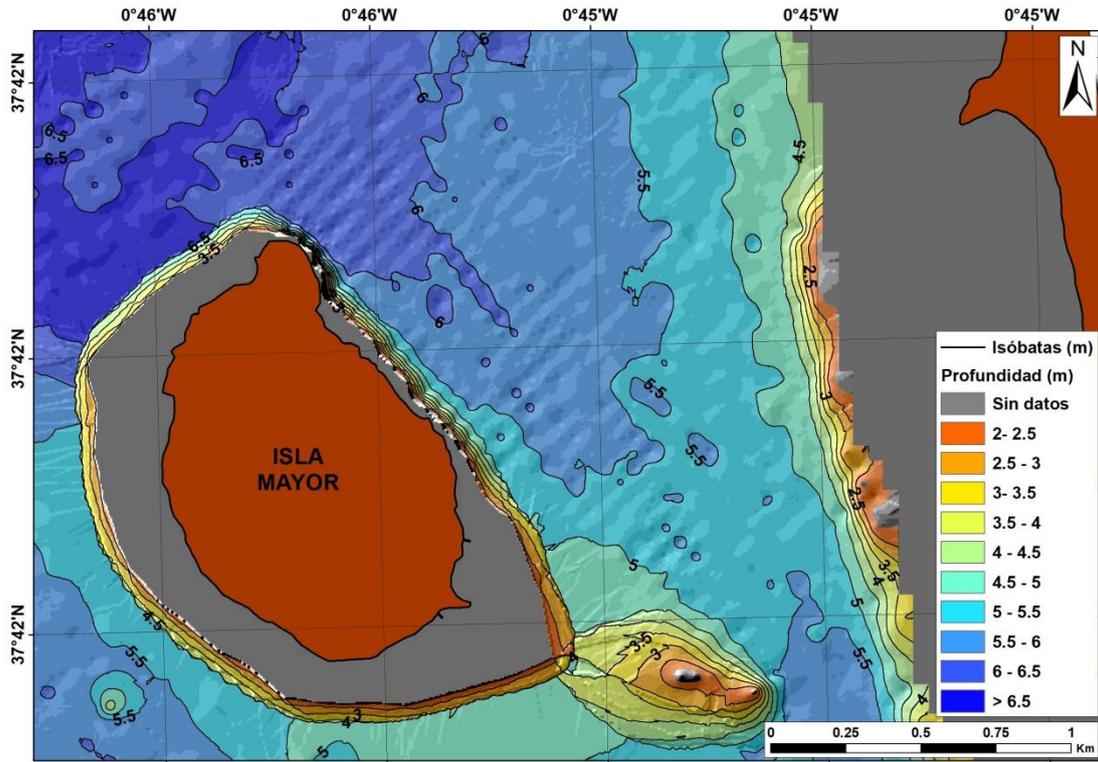


Figura 36.- MDT del fondo en el entorno NE de la Isla Mayor a 1 m de resolución

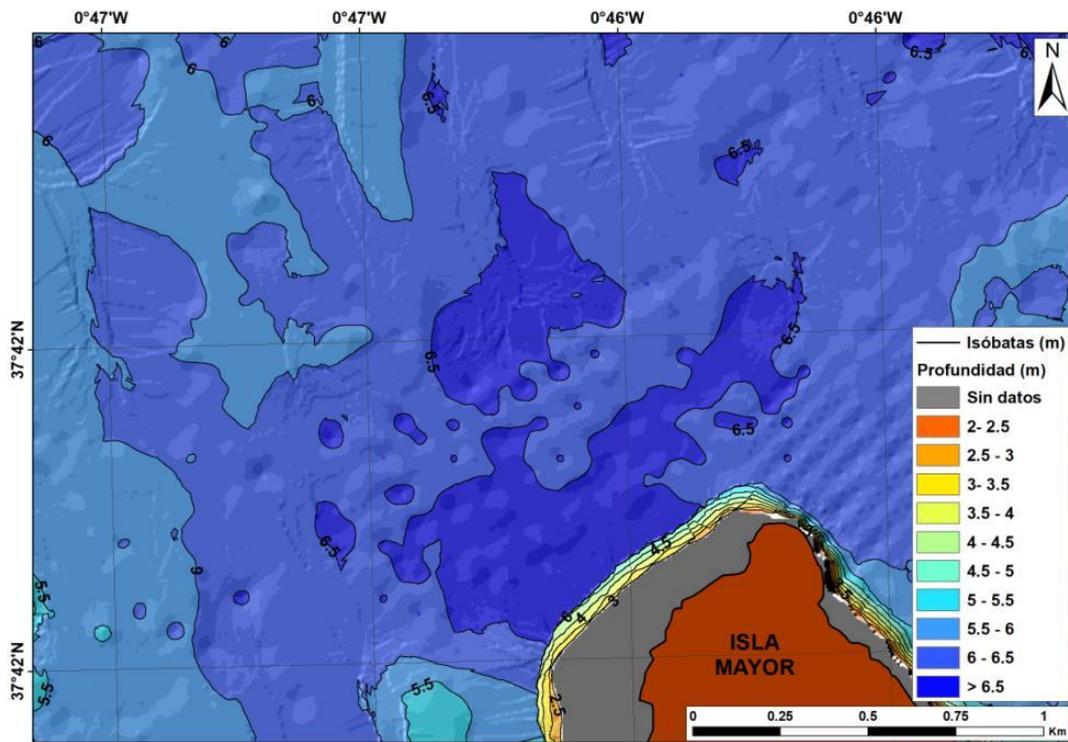


Figura 37.- MDT del fondo en el entorno NW de la Isla Mayor

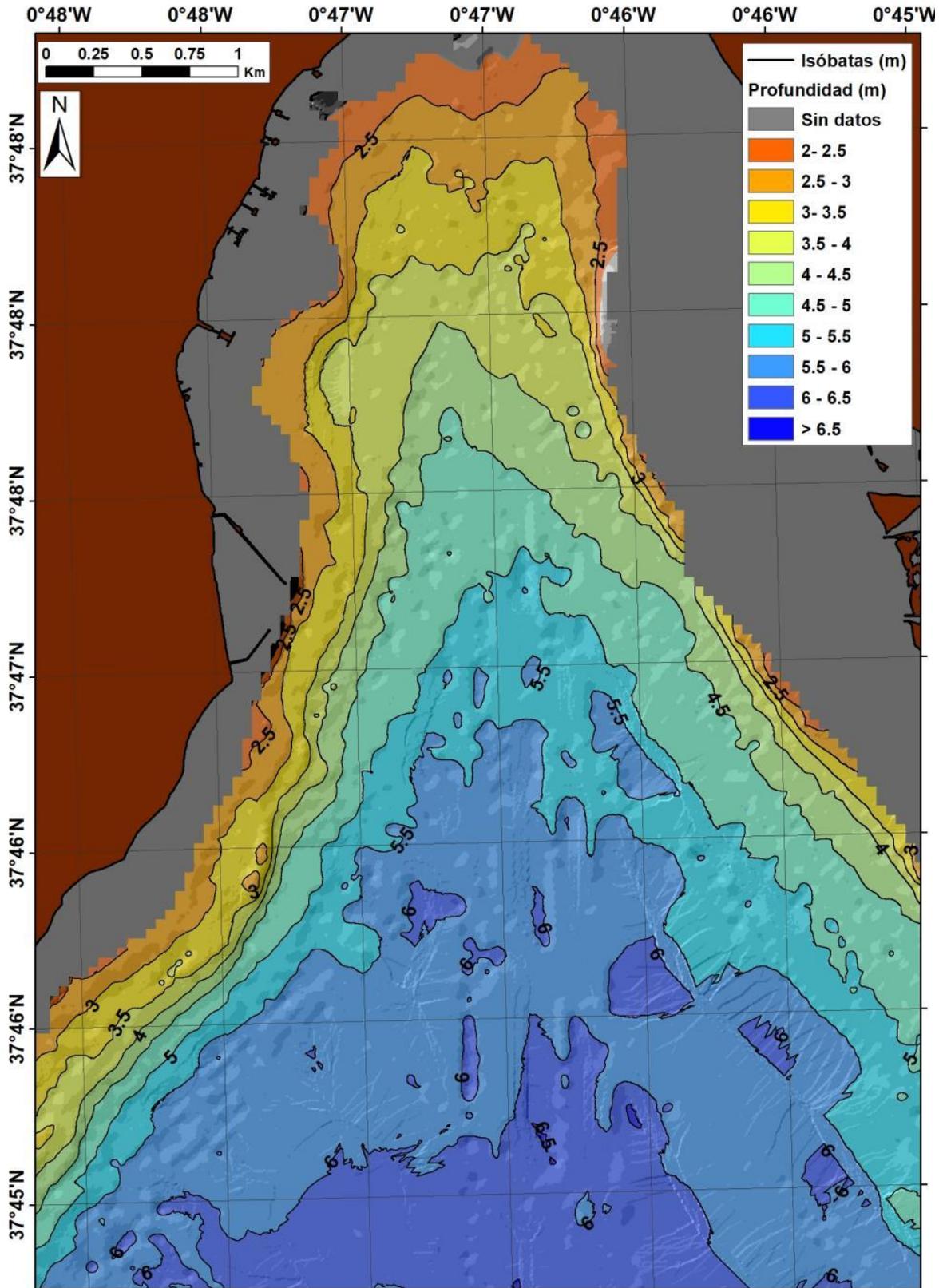


Figura 38a.- MDT del fondo en la zona norte del Mar Menor

Hasta la actualidad, en el Mar Menor solo se contaba con una batimetría realizada por el IHM en el año 1967 y publicada en la carta náutica N° 471A (Fig. 2). Esta batimetría fue obtenida con sonda monohaz, que obtiene un dato por pulso acústico emitido, a diferencia de los 4000 obtenidos por la sonda GeoSwath en cada pulso. Posteriormente, en el año 2008 el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, realizó las ecocartografías del litoral de la Región de Murcia (incluyendo Mar Menor; <https://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-murcia.aspx>), pero no se ha podido obtener mucha información sobre el proceso de adquisición y procesado de los datos de este proyecto. Sin embargo, se cuenta con esta cartografía, y ha sido comparada con la obtenida en la campaña MM-0517, observando diferencias sustanciales en algunas áreas (Fig.39).

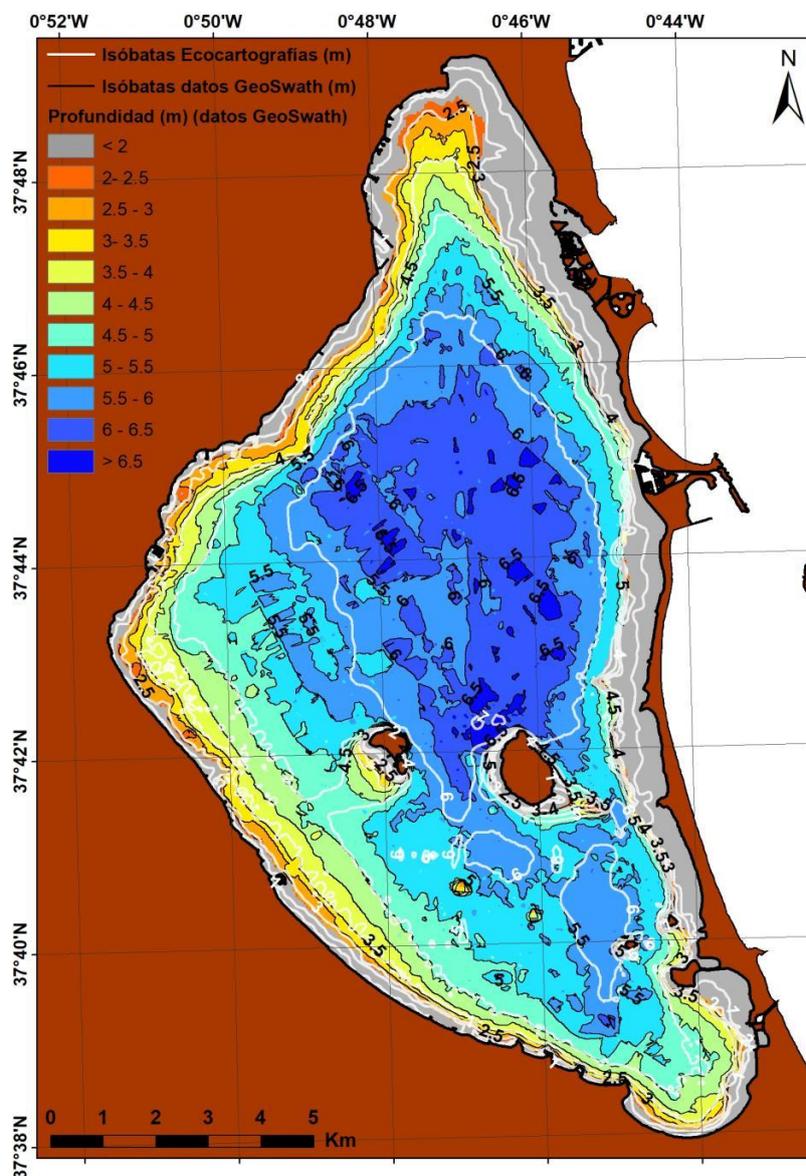


Figura 39.- Mapa Ecocartografías 2008 vs Batimetría GeoSwath

Con el fin de incrementar la resolución espacial de la batimetría obtenida, y en base a la existencia de una correlación muy alta entre éstos datos y los obtenidos mediante ADCP por Fraile et al. (2018), como producto final se ha obtenido una batimetría integrando ambos tipos de datos (Fig. 40). De esta forma, la batimetría obtenida es la de mayor resolución disponible hasta la fecha para el fondo de la laguna del Mar Menor.

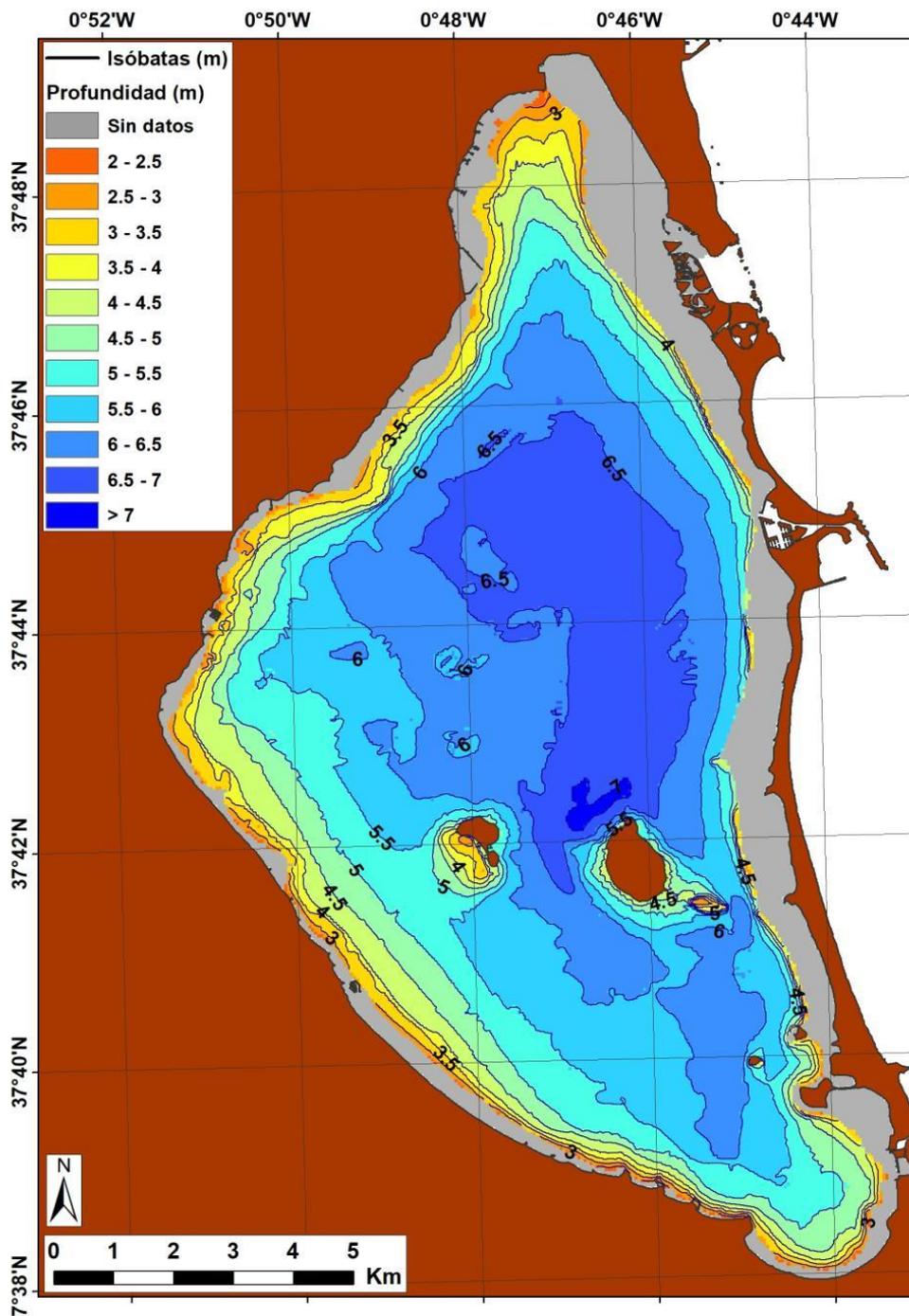


Figura 40.- Mapa batimétrico integrando datos GeoSwath (campana MM-0517) y ADCP (campanas noviembre-2016, febrero-2017, junio-2017 y septiembre-2017, Fraile et al. 2018)

No obstante, es necesario recordar que la cobertura alcanzada no llega al 100% (se estima que es del 29% teniendo en cuenta solo los datos de Geoswath a partir de 3 metros de profundidad). En efecto, los resultados finales obtenidos muestran una gran resolución en la cartografía de estos veriles, pero sin embargo, ponen de manifiesto la necesidad de realizar trabajos que completen la cobertura del fondo entre veriles. Por ejemplo, en la zona central existe una amplia superficie entre los veriles de 5 a 6 metros, así como en el interior del veril de 6 metros, donde se aprecian modificaciones de la morfología del fondo (morfobatimétricas) considerables. Asimismo, es en estas zonas donde se ha observado profundización parcial de la laguna (ver apartado 4 procesos de colmatación/profundización), por lo que una batimetría de detalle aportará información para ayudar a entender los procesos dinámicos que tienen lugar en el fondo de la laguna, condicionados en parte por los frentes de tormenta y por el intercambio de flujos de las ramblas y conexión al Mar Mediterráneo.

## **2. Reflectividad del Mar Menor**

### **2.1. Procesado de Datos y análisis preliminar cualitativo**

Una vez concluida la campaña, se obtuvieron un total de 1.932 archivos de batimetría y reflectividad obtenidos con el equipo GeoSwath, que fueron organizados para su posterior control de calidad de los datos, documentación asociada, datos procesados, datos intermedios y/o temporales, “pre-productos”, mapas, cartografía, etc.

El procesado de los datos se ha realizado con el programa *CARIS HIPS & SIPS*, (software de procesamiento para Hidrografía) y para las labores de procesado de reflectividad se ha empleado el módulo SIPS (Sistema de Procesado de Sonar de Barrido Lateral). El trabajo se ha realizado utilizando la licencia propia del IEO. El procesado de datos obtenidos con ecosondas interferométricas es muy tedioso y dilatado en el tiempo, debido a la gran densidad de datos recogidos, y al igual que ocurre con el procesado de batimetría con el módulo HIPS, es necesario seguir un riguroso orden establecido en las fases de procesado de los mismos:

#### A) Creación del Proyecto CARIS

Se crea un proyecto en Caris 8.1 al que se denomina MM0417 usando como sistema de proyección el Universal Transversa Mercator (U.T.M.) en el huso 30N y como Datum el ETRS89 y se procede a cargar el total de las líneas adquiridas.

#### B) Visualización con Side Scan Sonar Editor

Se visualizan el total de los datos para identificar inicialmente aquellas zonas con cambios en el lecho marino y para digitalizar manualmente el altímetro de aquellas líneas que, o bien por el estado de la mar o por fallo del propio equipo, tenían errores sustanciales y no se correspondían con el “rebote” del fondo, falseando de esta manera la columna de agua.

### C) Creación de las Geobars

Se crea una Geobar con los datos de impedancia acústica para cada una de las líneas adquiridas, a partir de las cuales se crearán los mosaicos de reflectividad.

### D) Creación de Mosaicos de reflectividad

A partir de las Geobars obtenidas por línea, se genera un mosaico por día para visualización en conjunto y estudio estadístico de la reflectividad, utilizando el algoritmo SIPS Side Scan, con una resolución de 0.1 metros, y como método de “costura” el algoritmo Overwrite, la denominación de cada .csar es el día en que se adquirió. También se crea un mosaico con todas las líneas para vista general a 0.1 metros de resolución llamado MM0417\_10\_cmt con el algoritmo “Full Blend”.

## 2.2. Análisis e Interpretación

### 2.2.1.- Análisis Visual

Para el análisis visual de los datos de impedancia acústica del fondo marino, se han utilizado cuatro (4) patrones visuales de reflectividad:

- P1: reflectividad muy alta asociada a fallos y nadir del equipo.
- P2: en este patrón vamos a englobar todo aquel material de elevada dureza como formaciones rocosas y metales. Corresponde a una reflectividad alta.
- P3: reflectividad media-baja, engloba arenas, fangos y materiales con cierta capacidad para absorber energía. (más predominante en el proyecto)
- P4: reflectividad muy baja, en el que englobaríamos aquella reflectividad que el algoritmo de SIPS Side Scan asigna a las sombras y aquellos materiales que son capaces de absorber gran cantidad de energía.

Para el uso de estos patrones hay que tener en cuenta que las imágenes de sonar de barrido lateral se pueden alterar con contraste y brillo para resaltar ciertos objetos por lo que no siempre la misma intensidad corresponderá al mismo patrón, dependerá de si la imagen ha sido editada o no.

En cuanto a un Sonar de Barrido Lateral, hay que tener en cuenta que no tiene compensador de movimiento (M.R.U.) y aunque en este caso el GeoSwath si lo posea, no la aplica al dato de la imagen, por lo que un balanceo o cabezada nos falsea el dato de reflectividad (de ahí que haya veces que una banda se vea menos reflectiva que la otra, o aparezcan una serie de líneas que se alternan en reflectividad en el sentido de avance, y todo por la variación del ángulo de incidencia).

Antes de comenzar con el estudio visual de los registros, se comprobó si la superficie explorada coincidía con información de la naturaleza del fondo y tipo de vegetación aportada previamente por el Grupo de Ecología de Angiospermas Marinas del CO de Murcia (IEO), de forma que pudieran ser empleados como patrón visual, siendo la presencia de CAULERPA la única de la que se podía sacar información visual en esta etapa (Fig. 41). Por ello, se procedió a estudiar visualmente las zonas implicadas dando unos resultados poco satisfactorios, ya que no se aprecia diferencia con el entorno.

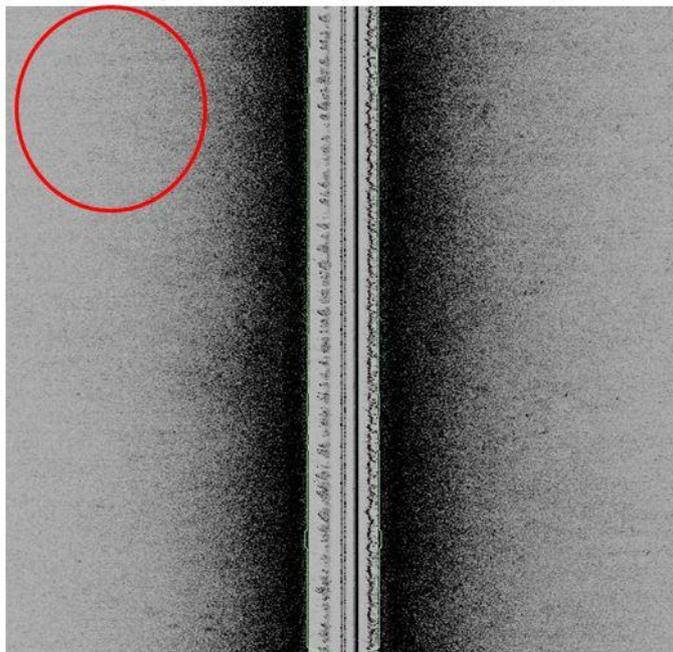


Figura 41.- Zona de CAULERPA en fondos de Fango

Al no disponer de referencia visual se procede a estudiar todos los cambios significativos para identificarlos y proponer localizaciones concretas para su inspección visual directa mediante inmersión con escafandra autónoma.

Durante el estudio visual de todas las líneas se han podido identificar numerosas formaciones, tanto naturales como artificiales, y otras de etiología desconocida, que simplemente por este hecho se proponen para comprobación.

#### A) Imágenes identificadas y descartadas como praderas marinas

En la figura 42 podemos observar una formación rocosa en la que se pueden observar perfectamente los patrones antes definidos: P1, causado por el ángulo de incidencia en el nadir del equipo, P2, la formación rocosa, y P3 y P4, la sombra de la formación rocosa. Las líneas que se pueden observar en la parte superior del registro que parecen cambios de reflectividad es un registro falso que puede llevar a error, y que se debe a la variación del ángulo de incidencia en cabezada por el mal estado de la mar. Todas las formaciones rocosas han sido perfectamente identificadas.

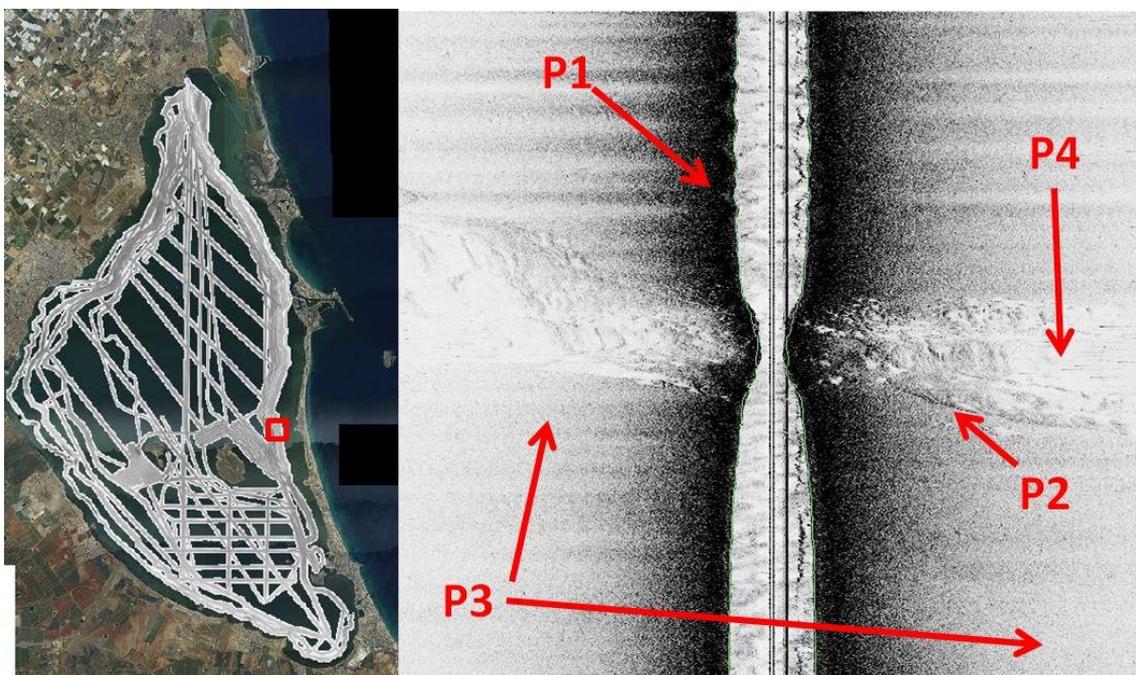


Figura 42.- Ejemplos de los patrones definidos P1 (nadir), P2 (formación rocosa), P3 y P4 (sombra).

En las figuras 43a y 43b, se puede observar, respectivamente, una lengua de arena/fango, y la canal que se forma a la salida/entrada de la laguna. Todo estaría englobado dentro de la

clase P3. Este tipo de formaciones también han sido debidamente identificadas en todo el levantamiento.

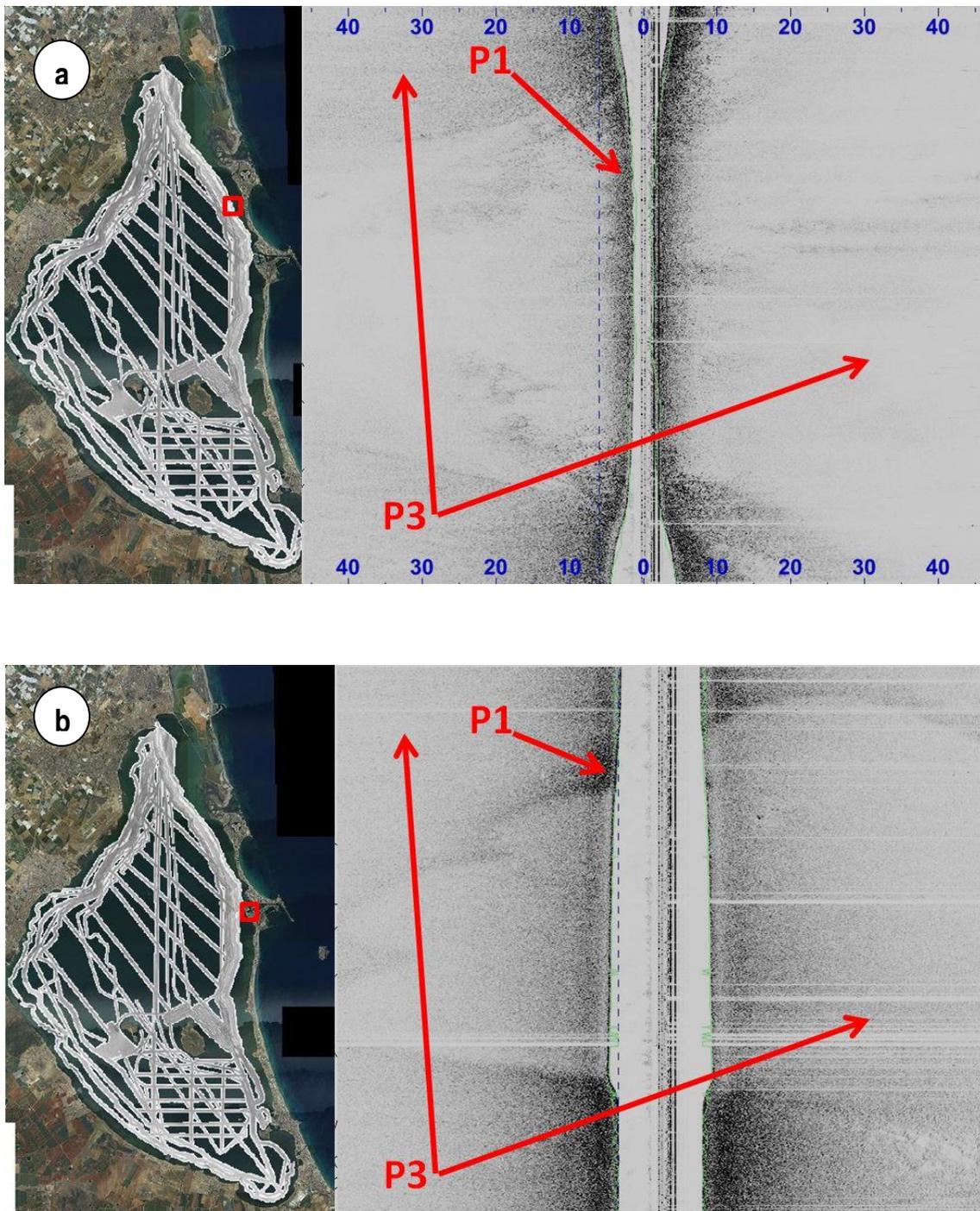


Figura 43 a y 43 b.- Detalle de lengua de arena/fango englobado en P3.

Como ya comentamos anteriormente durante el análisis visual también se han podido detectar numerosos objetos exógenos, como un naufragio (Fig. 44), barra metálica (Fig. 45) y objetos de origen artificial (Fig. 46)

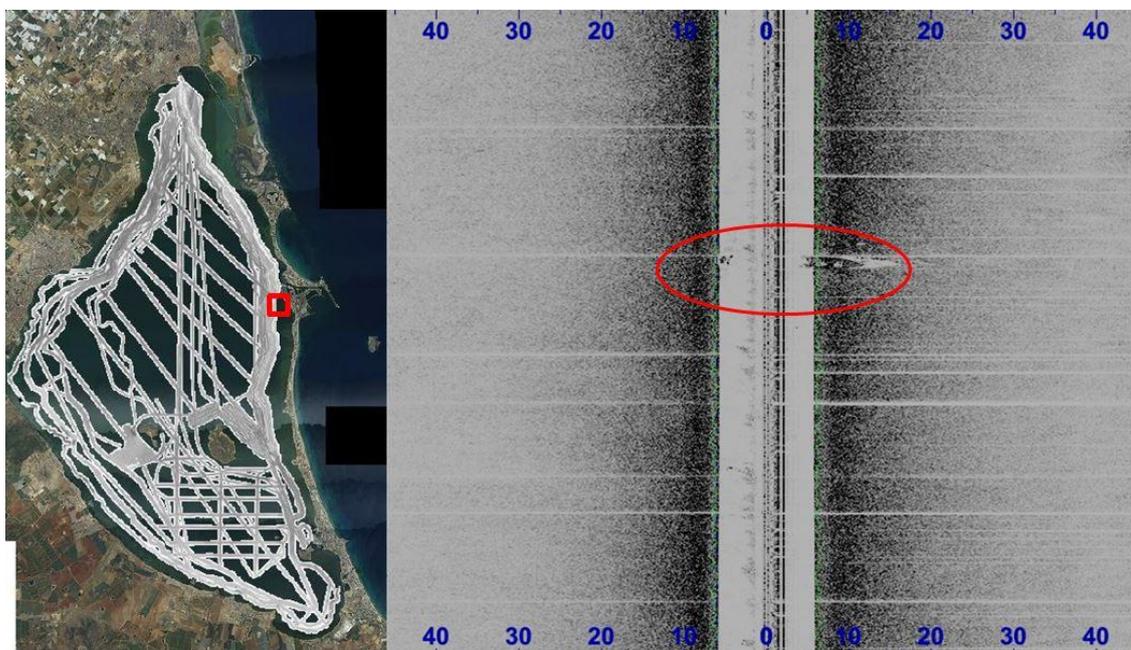


Figura 44.- Detalle de lengua de naufragio

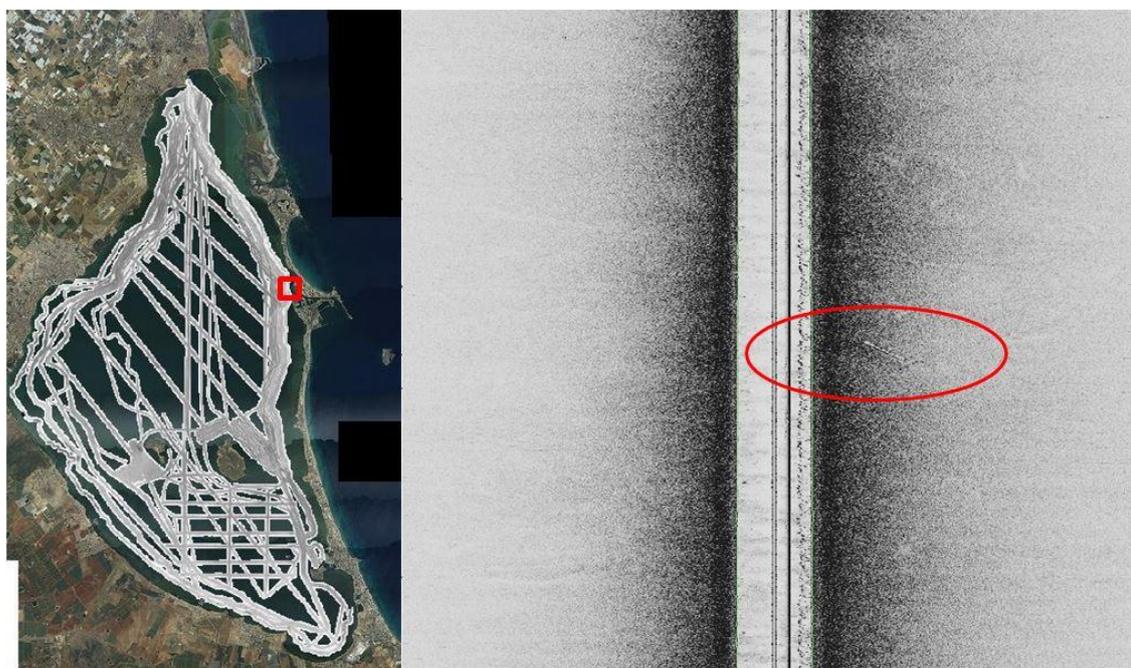


Figura 45.- Detalle de barra metálica

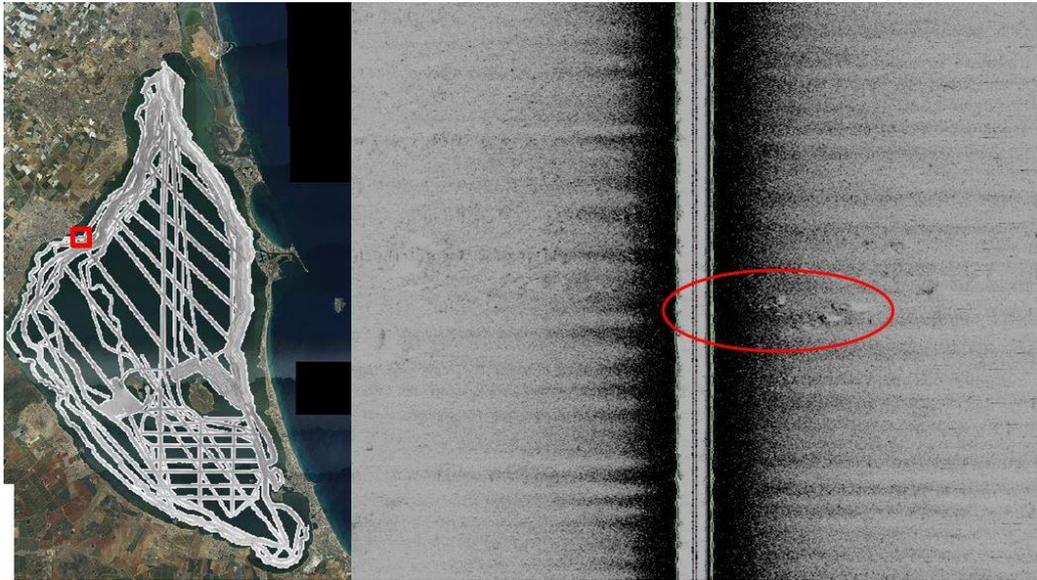


Figura 46.- Detalle de objetos de origen artificial

## B) Imágenes no identificadas y propuestas para comprobación

Durante el análisis visual se han encontrado 3 zonas o campos de “manchas” (Fig. 47) que son aparentemente menos reflectivas que su entorno y sin forma definida, en la que se puede observar como resalta a primera vista el P4 sobre el P3 (Fig. 48).



Figura 47.- Campos de manchas identificados

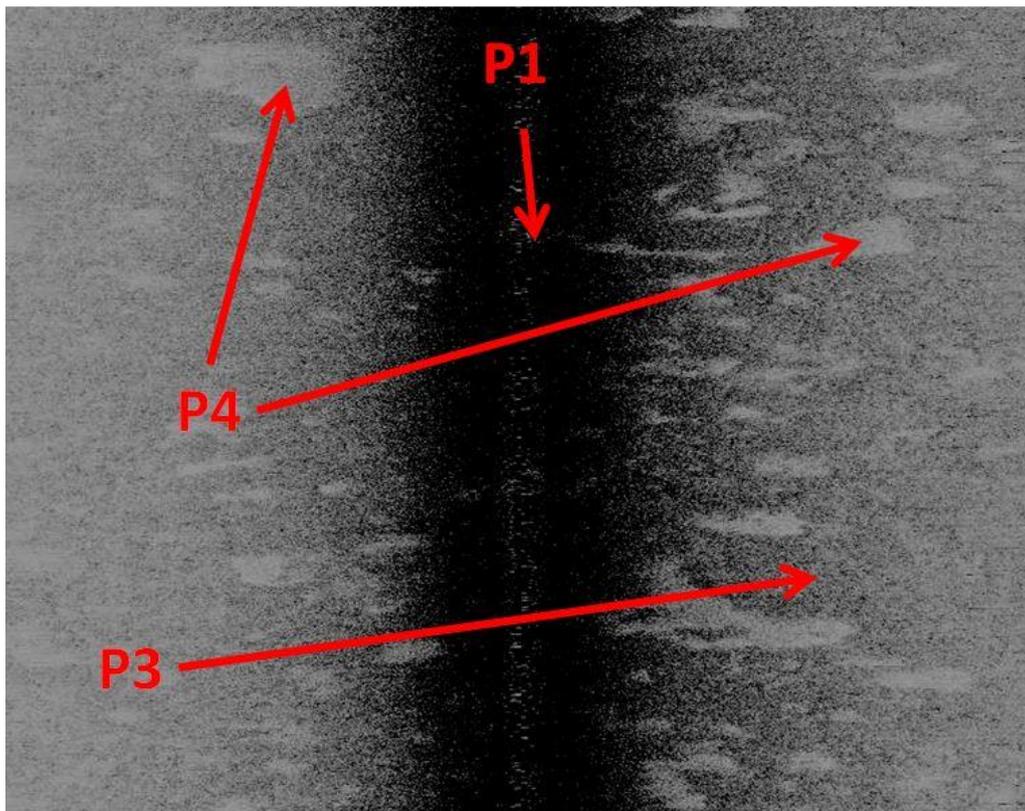


Figura 48.- Detalle de campos de manchas identificado

Estas formaciones recuerdan a los campos de “*pockmarks*”, (escape de gases, Fig. 49) con la diferencia que estos últimos tienen forma circular y ovalada y las “manchas” no tienen forma definida.

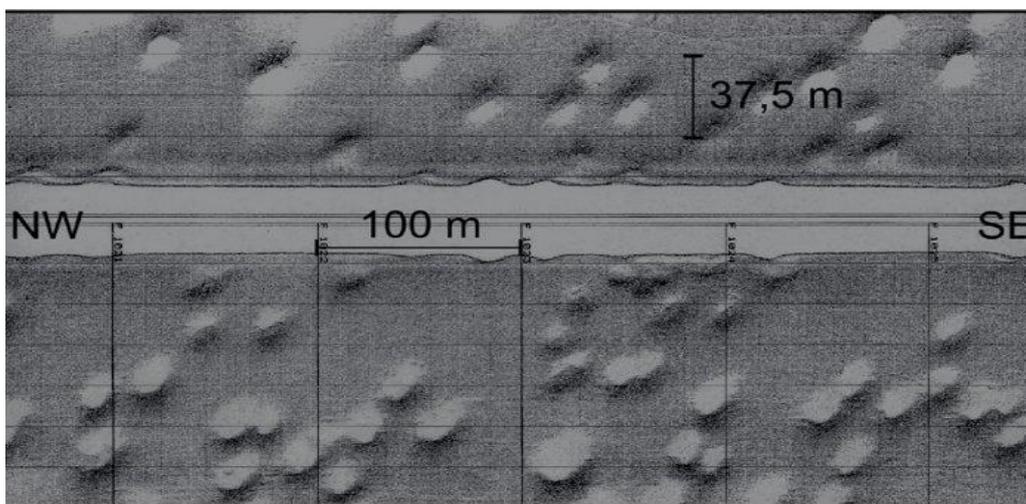


Figura 49.- Ejemplo de Campo de pockmarks

Las posibles explicaciones para interpretar estos patrones de manchas son:

- Se trata de paisajes característicos de praderas marinas, de hecho los patrones observados son muy similares a los registradas mediante SBL en otras zonas dominadas por praderas de *C. nodosa*. Esta especie se caracteriza por acumular gran cantidad de gases en sus tejidos. Cuando el sonido atraviesa un gas, su velocidad disminuye y por ende la energía que llevaba se disipa y hace que “regrese” menos energía al equipo.
- Diferentes tipos de sedimentos: podría tratarse de limos muy finos (P4) que absorben más energía que los fangos y arenas.
- Combinación de vegetación y fangos
- Cambios de profundidad debido a pequeños desniveles, o surcos, o campos de *ripples*: los cambios de profundidad continuos en estas zonas, hacen que varíe rápidamente el ángulo de incidencia generando cambios reflectivos.

Para decidir entre las tres primeras opciones se requiere un análisis reflectivo (ver más adelante), pero se puede comprobar la cuarta opción observando simplemente si hay cambios de profundidad o no. Si tomamos una imagen del Campo 1 y la comparamos con una en la que aparecen desniveles (surcos) obtenida en este mismo trabajo (Fig. 50) podemos ver cierta similitud entre ellas, siendo la variación de profundidad (que se observa en la columna de agua) el factor determinante.

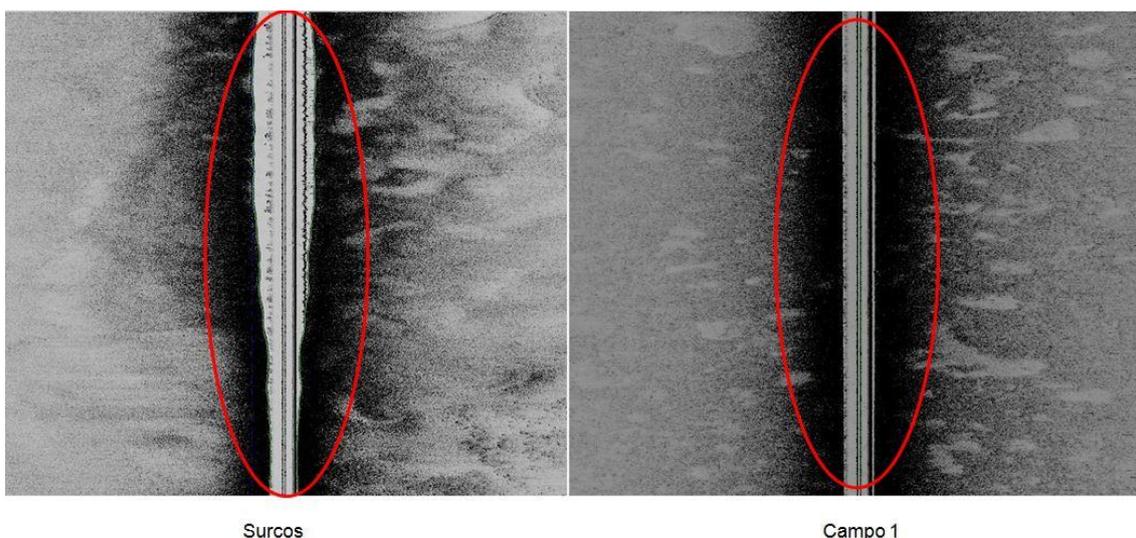


Fig. 50.- Comparación de un campo de surcos con las manchas del Campo 1

Como se observa en la zona del *Campo 1* no existe variación de profundidad mientras que en la del campo de surcos sí (variaciones de 10-20 cm), como se puede apreciar también en el *Campo 2* (Fig. 51).

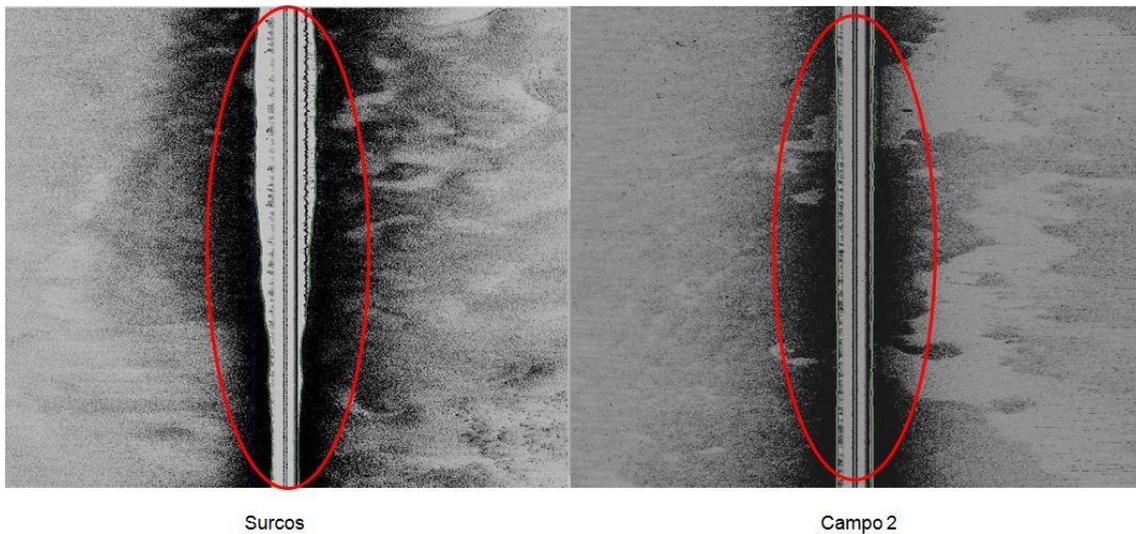


Figura 51.- Comparación Campo 2 vs campo de surcos

En el *Campo 3* parece que si existe una variación en la profundidad, pero de forma más suave que en el caso de los “surcos” (Fig. 52) no tan continúa.

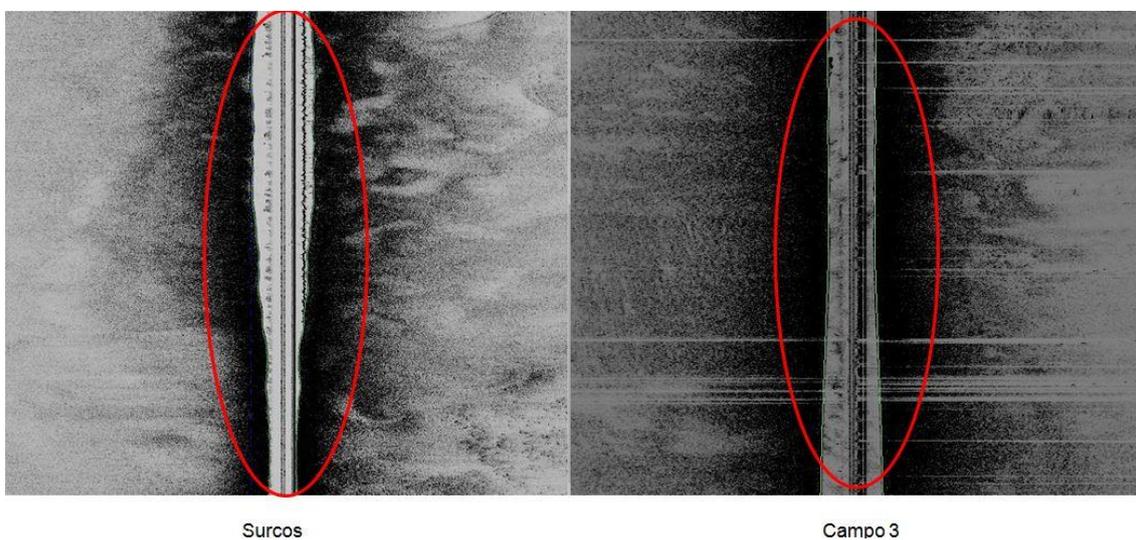


Figura 52.- Comparación Campo 3 vs campo de surcos

Los bordes de las manchas de las praderas marinas podrían causar este efecto similar a un desnivel debido al cambio en altura del dosel foliar. Lo más probable es que se trate de

manchas de vegetación o vegetación en combinación con fangos. Para ello se realizaron una serie de comprobaciones *in situ* en todas las zonas en las que aparecían estos patrones de manchas (ver más adelante)

Además de estos campos de “manchas”, también se han encontrado ciertas anomalías en otras zonas de la laguna. En la figura 53 a la que llamaremos *Zona A*, para poder referirnos a él en el análisis reflectivo, se aprecian una serie de puntos muy reflectivos que se descartan por asociarse a residuos de la columna de agua, pero también se observan unas zonas de *P1*, quizás *P2*, que resaltan sobre el *P3*, siendo un cambio en el tipo de sedimento la posible explicación a este hecho.

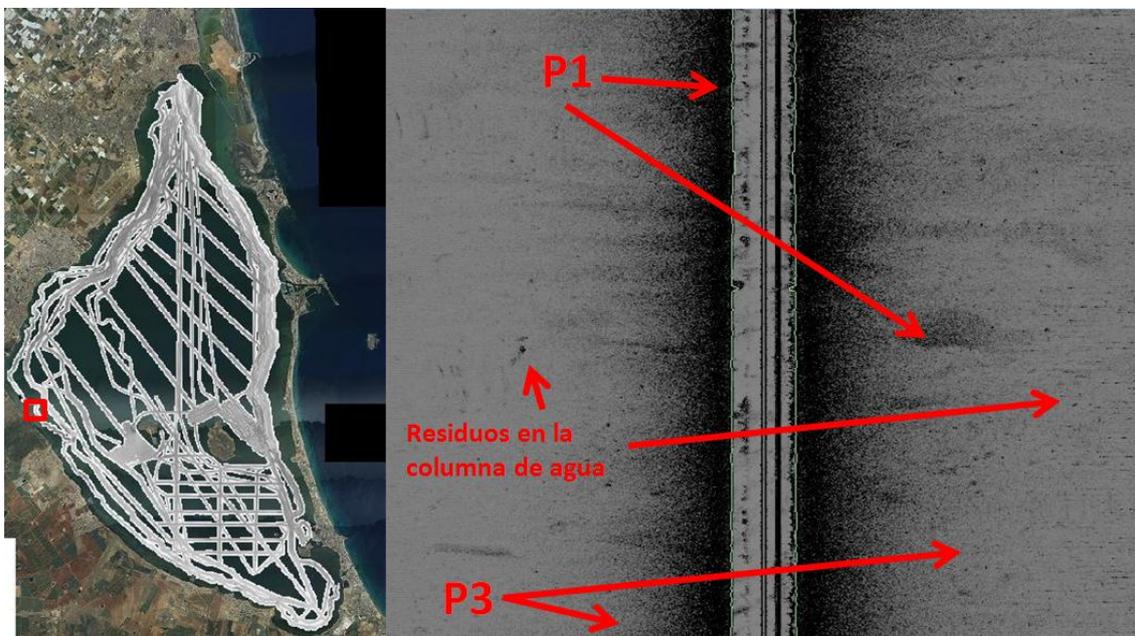


Figura 53.- Zona A

Al igual que en la figura 53, en la figura 54 (*Zona B*), figura 55 (*Zona C*), figura 56 (*Zona D*) y figura 57 (*Zona E*), se pueden observar los mismos cambios reflectivos con las mismas conclusiones.

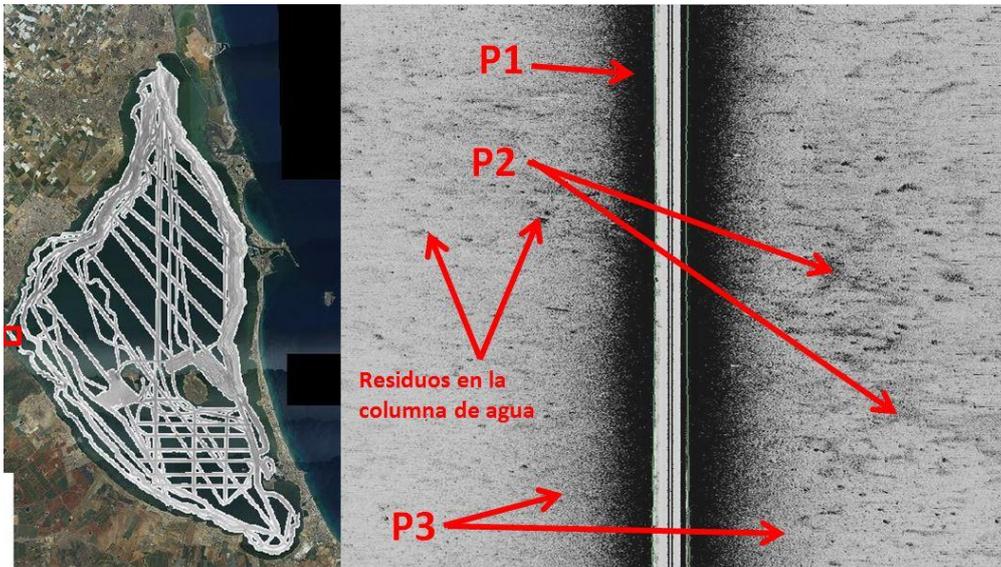


Figura 54.- Zona B

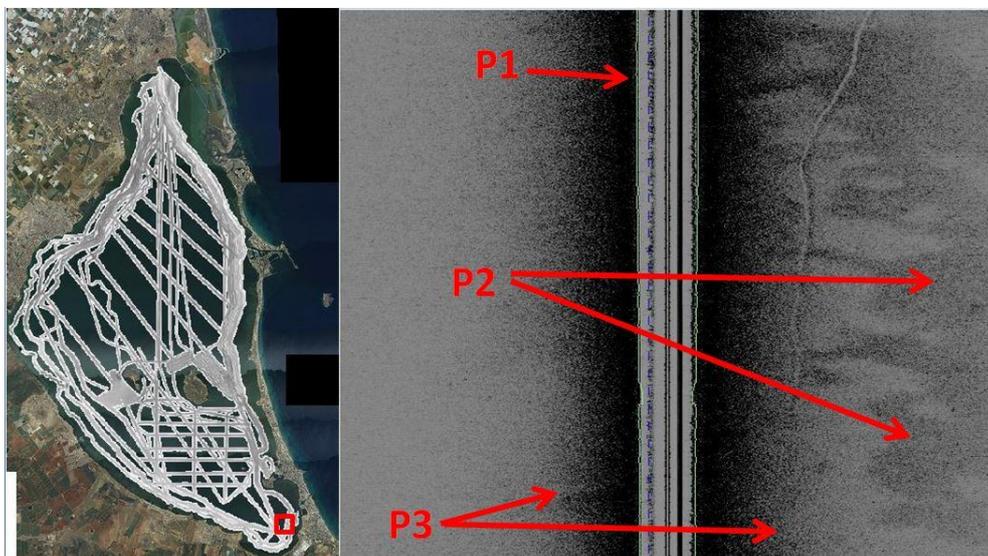


Figura 55.- Zona C

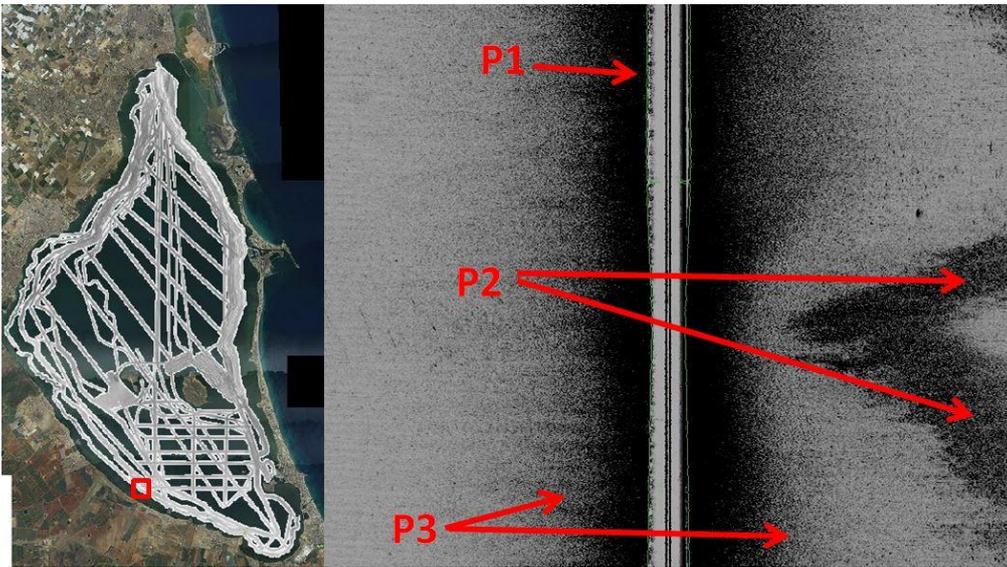


Figura 56.- Zona D

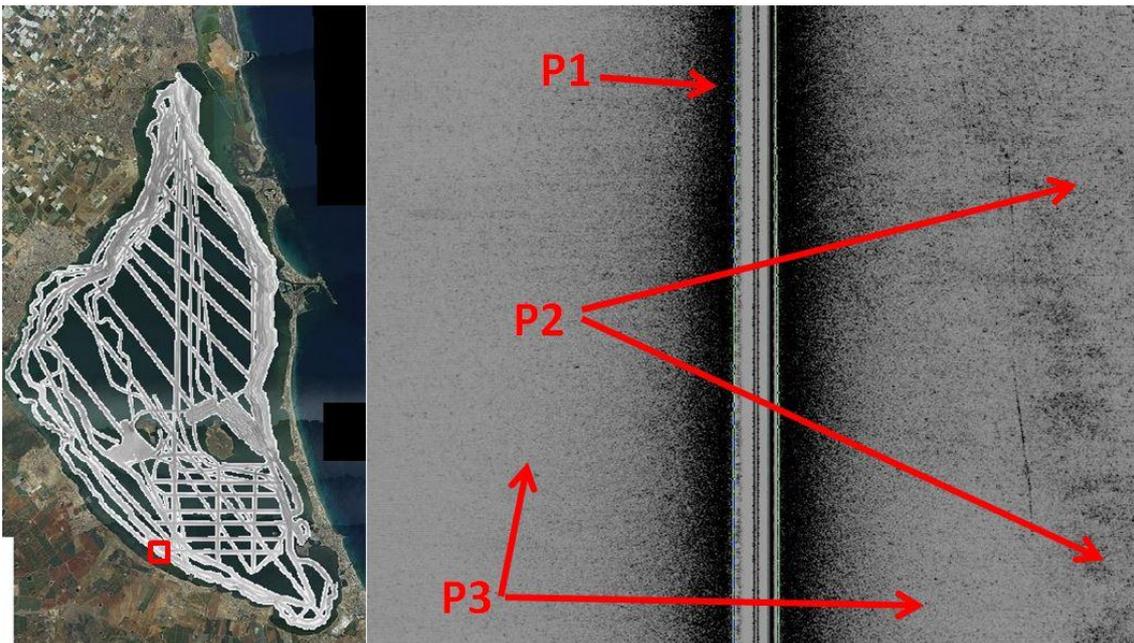


Figura 57.- Zona E

### 2.3. Análisis Reflectivo Cuantitativo

Antes de comenzar con el estudio conviene resaltar que la reflectividad varía con muchos factores y no se puede generalizar. La energía que devuelve un punto es única y exclusiva para ese instante, es decir, a esa hora, con ese estado de la mar, con esas condiciones meteorológicas, con ese ángulo de incidencia, con ese equipo, con esa frecuencia de transmisión, a esa profundidad (de ahí que se trabaje con rangos y no con datos exactos).

Se ha trabajado con el mosaico de reflectividad, para poder obtener un mapa reflectivo que tenga en cuenta la profundidad y morfología y por ende la energía que se disipa y así usarla para hacer una buena clasificación de sedimentos (GeoTexture, Caris 9, Caris 10), pero hay que destacar que la batimetría debe ser lo más fiable posible para no inducir a errores.

Teniendo en cuenta lo anterior, cuando se aplica un mapa de rangos a la reflectividad del S.B.L nos encontramos con un patrón genérico (fondo aplacerado y sin obstrucciones) (Fig. 58):

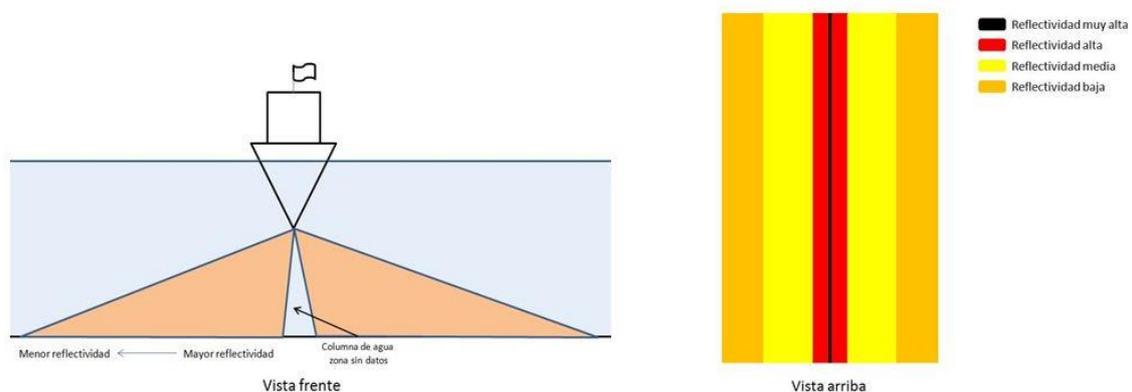


Figura 58.- Patrón de rangos establecidos

Esto indica claramente que no tiene en cuenta la energía disipada, lo que no significa que si hay alguna anomalía no salga reflejada, pero hace que no sea fiable crear un mapa de rangos de sedimentos. No obstante sí que se puede sacar información.

Para asignar un rango a cada patrón primeramente se localiza una obstrucción para intentar aislar el rango que asigna el SIPS Side Scan a las sombras (*P4 reflectivo*) (Fig. 59).



Figura 59.- Localización de artefactos para aislar y calibrar patrones correspondientes a P4

Posteriormente, se localiza una zona de piedra perfectamente definida para aislar el patrón correspondiente a una reflectividad alta, *P2 reflectivo* (Fig. 60).



Figura 60.- Localización de artefactos para asilar y calibrar patrones correspondientes a P2

Para aislar la reflectividad muy alta (*P1 reflectivo*) se utiliza cualquier línea (Fig. 61).

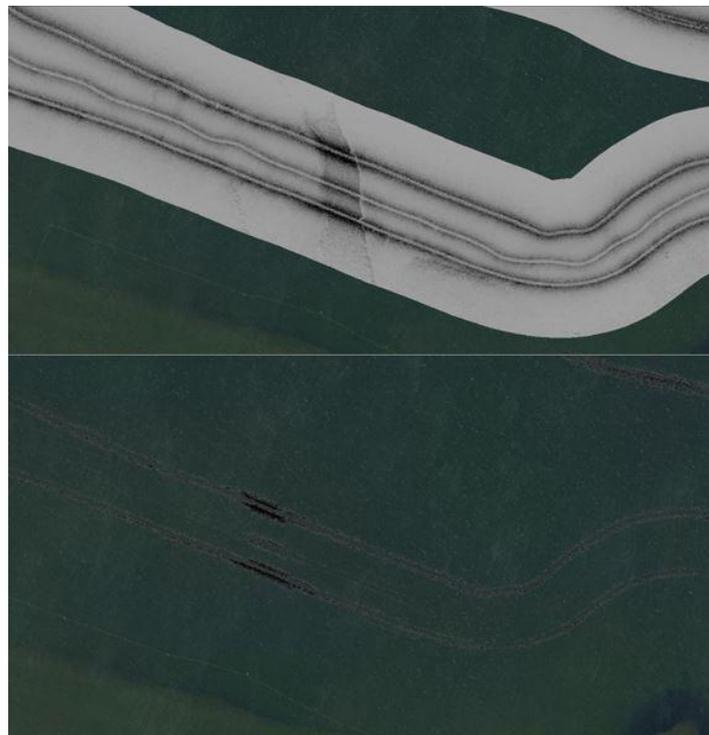


Figura 61.- Localización de artefactos para asilar y calibrar patrones correspondientes a P1

Estos tres rangos serían los más fiables que se pueden encontrar en un S.B.L. En cuanto a la reflectividad restante se observa en el gráfico estadístico de la reflectividad de ese día (Fig. 62), que la gran mayoría se encuentra dentro del rango restante (5-20 db), por lo que para que resulte más fácil a la hora de poder estudiar la reflectividad, se divide en dos (esto no significa que sea fango o arena).

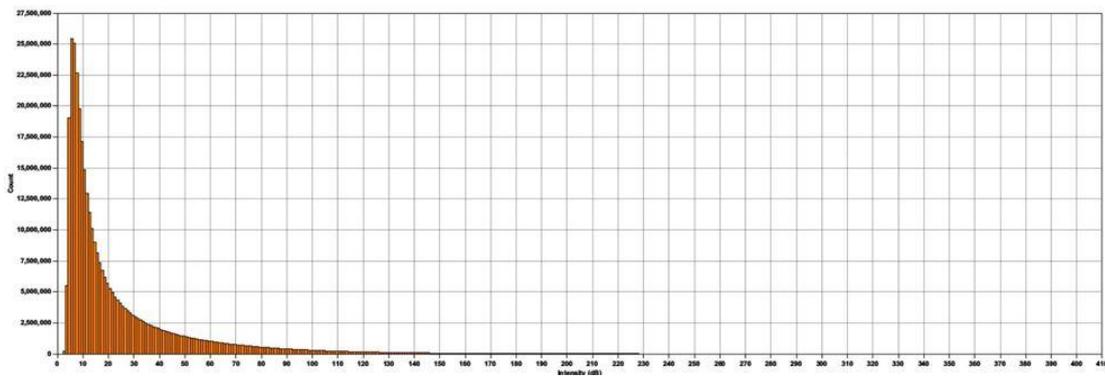


Figura 62.- Gráfico estadístico de la reflectividad

Una vez aisladas las energías se crea una escala de rangos correspondiente a los siguientes patrones reflectivos (Fig. 63).



Figura 63.- Escala de rangos correspondiente a los patrones reflectivos

Se realiza lo mismo para cada día y prácticamente concuerdan los rangos, tan solo el  $P4$  varía en uno o dos decibelios. (En el **Anexo B** se indica que archivo .crf se ha de aplicar a cada .csar para ver los rangos en Caris, así como el estudio estadístico de la reflectividad de cada día).

De esta manera se obtiene el patrón de referencia en fondos aplacerados y sin obstrucciones (Fig 64), que se usará en adelante para poder comparar y buscar anomalías.

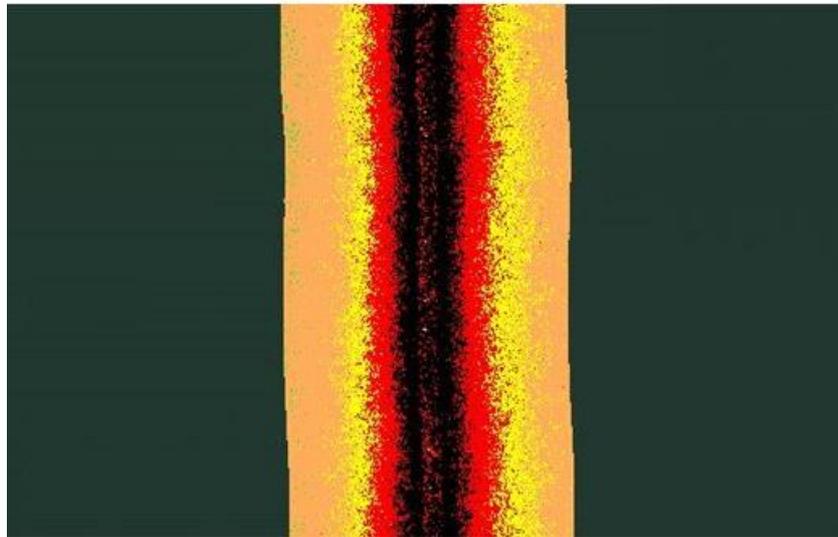


Figura 64.- Patrón de referencia en fondos aplacerados y sin obstrucciones

En este caso este patrón general es en fondo de fangos, según la información de sedimentos proporcionada por el I.E.O de Murcia. Si pasáramos con el S.B.L en las mismas condiciones o muy similares por un sedimento más duro, aumentarían los  $P2$  y  $P3-1$  y disminuiría el  $P3-2$ , pero debe de haber una diferencia notable de dureza para que sea perceptible por el usuario.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se procede primeramente a analizar las zonas correspondientes que no han sido identificadas.

Tomando una línea que pase por el *Campo 1* de “manchas” (Fig. 47) y comparándola con el patrón de referencia, se pueden observar las anomalías que presenta en las figuras 65 y 66.

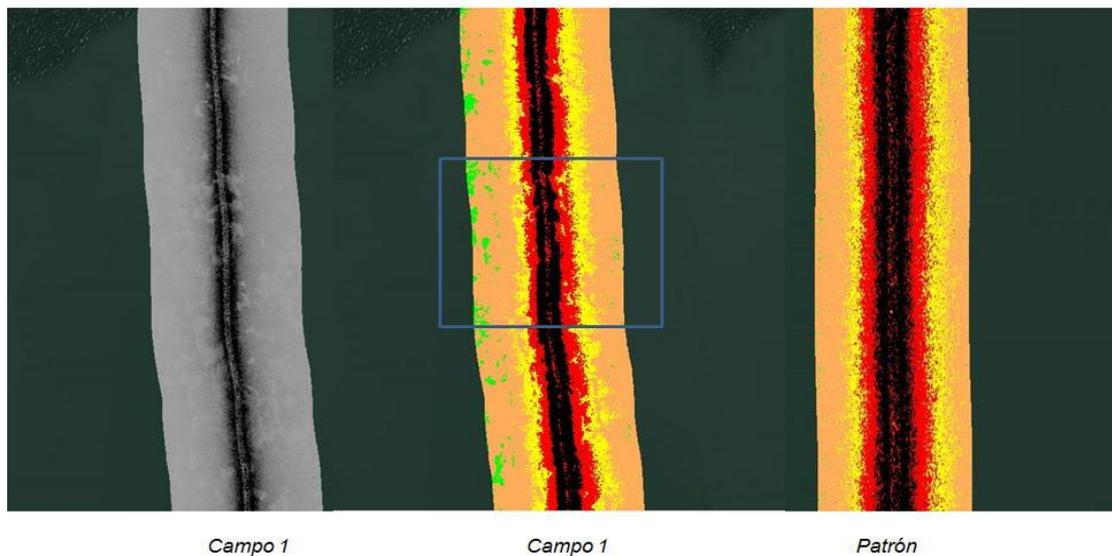


Figura 65.- Anomalías identificadas en el Campo 1 respecto del patrón de referencia

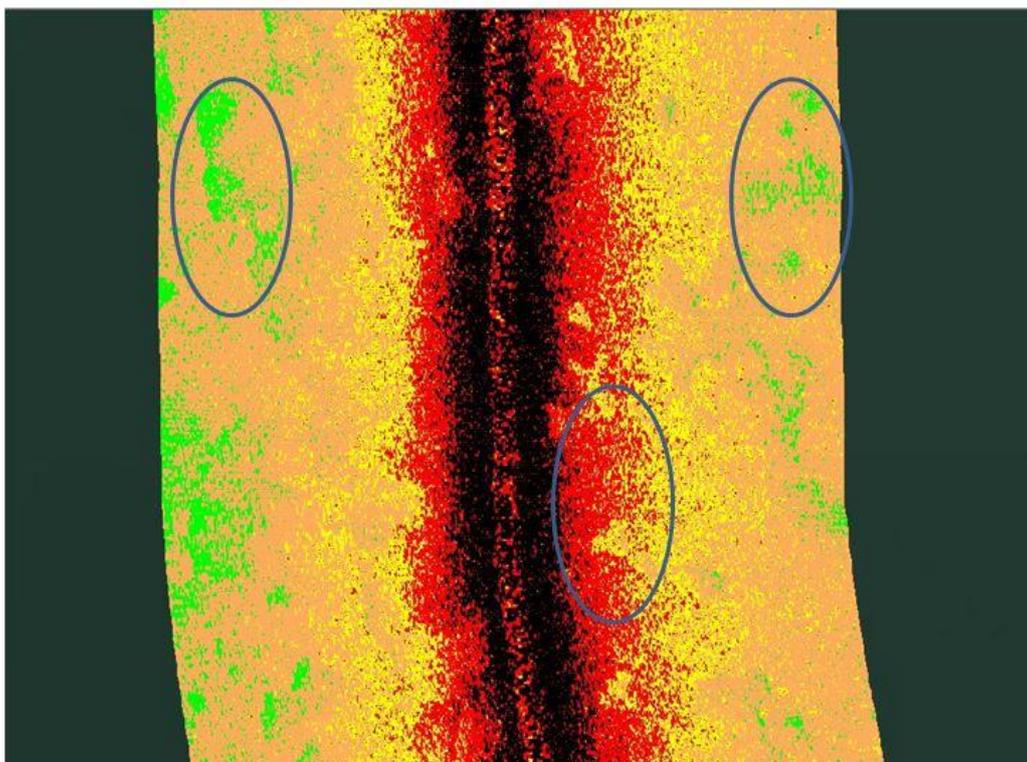


Figura 66.- Anomalías identificadas en el Campo 1 respecto del patrón de referencia

Lo primero que se puede confirmar es que se trata de un material muy blando o de un material que absorbe mucha energía ( $P4$ ) y que se diferencia claramente del entorno, que es de tipo  $P3$ . El hecho de encontrar el  $P3-1$  y  $P3-2$  dentro de la zona donde en condiciones normales

solo debería haber  $P2$ , reafirma que absorbe una gran cantidad de energía. Hay que tener en cuenta que se están considerando rangos de reflectividad muy bajos presentes muy cerca del nadir.

Lo mismo ocurre con zonas del *Campo 2* (Fig. 47), por lo que se podría afirmar que hay muchas posibilidades de que se trate del mismo material (Figs. 67 y 68).

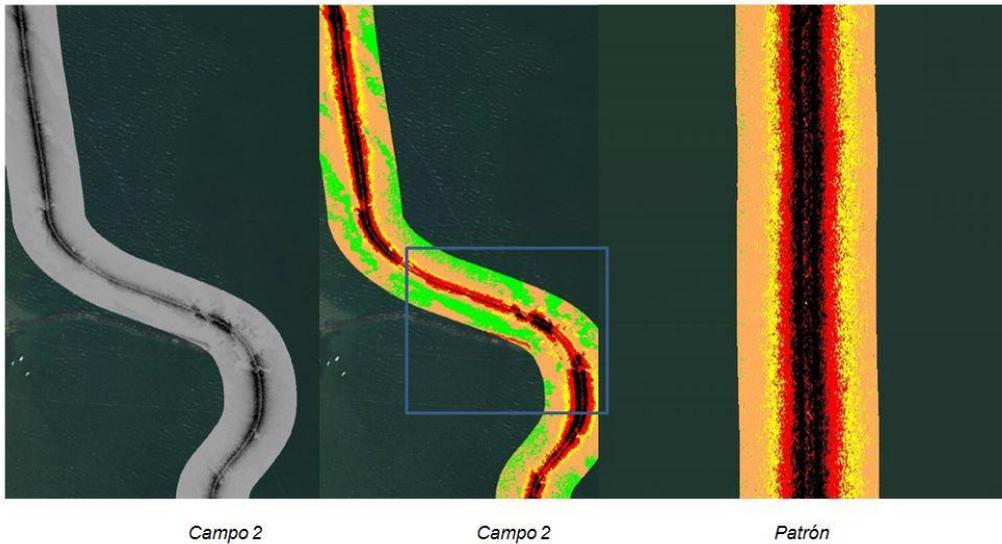


Figura 66.- Anomalías identificadas en el Campo 2 respecto del patrón de referencia

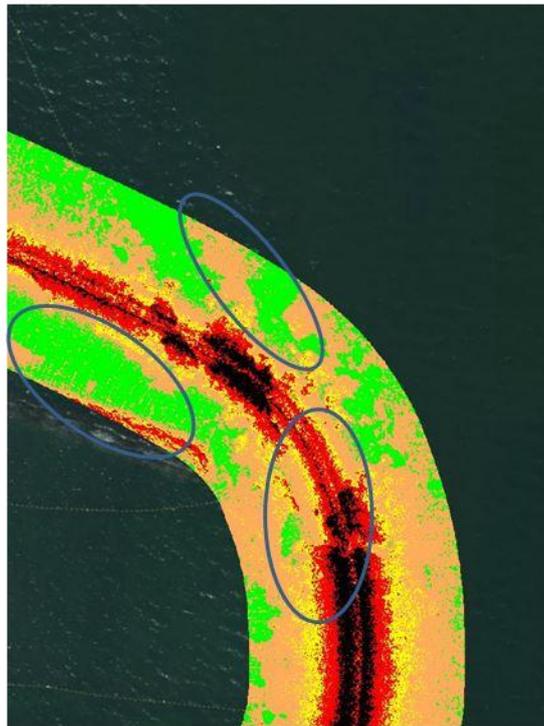


Figura 67.- Anomalías identificadas en el Campo 2 respecto del patrón de referencia

Sin embargo en el *Campo 3* (Fig. 47), es más difícil poder identificarlo con la misma claridad que los anteriores, debido a la poca calidad de los datos de esa zona, seguramente por el estado de la mar, pero se obtienen las mismas conclusiones (Fig. 69 y 70).



Figura 69.- Anomalías identificadas en el Campo 3 respecto del patrón de referencia

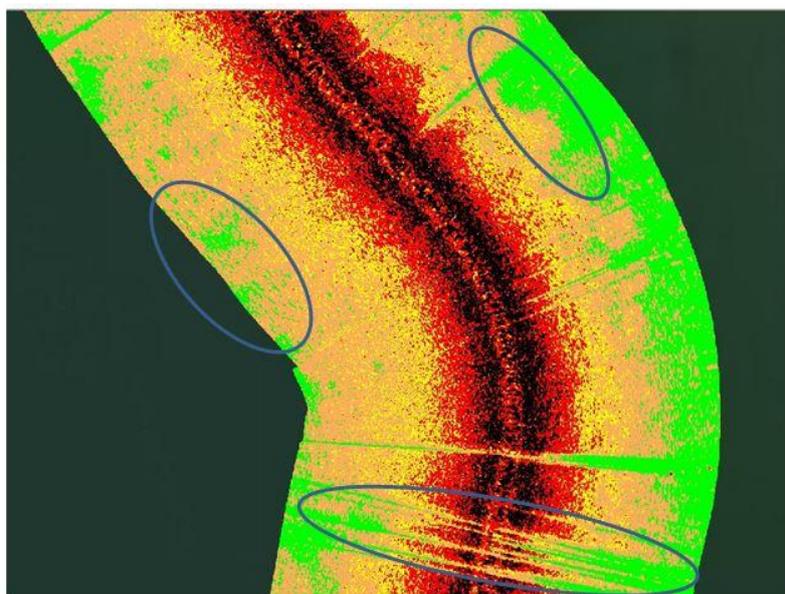


Figura 70.- Anomalías identificadas en el Campo 3 respecto del patrón de referencia

El análisis del resto de las zonas que se propusieron por análisis visual para comprobación (ver apartado anterior), determina:

Analizando la *Zona A* (Fig. 53), se observa una parte más reflectiva (rodeada por elipse azul en figura 53), el hecho de ser *P3-1* sobre *P3-2*, indica que no es tan reflectivo como una laja de piedra o grandes zonas de piedra, pero sí que pudiese ser una zona de grava/cascajo, lo único que hace dudar es la poca extensión que tiene, aunque esto no significa que no sea mayor realmente (Fig. 71).

Por otro lado la zona de reflectividad *P4* en la parte izquierda (rodeada de elipse roja en figura 53), que corresponde a la banda de babor, no es otra cosa que una escora (el barco está escorado hacia estribor toda la exploración), si fuese por el propio patrón aparecería en las dos bandas.

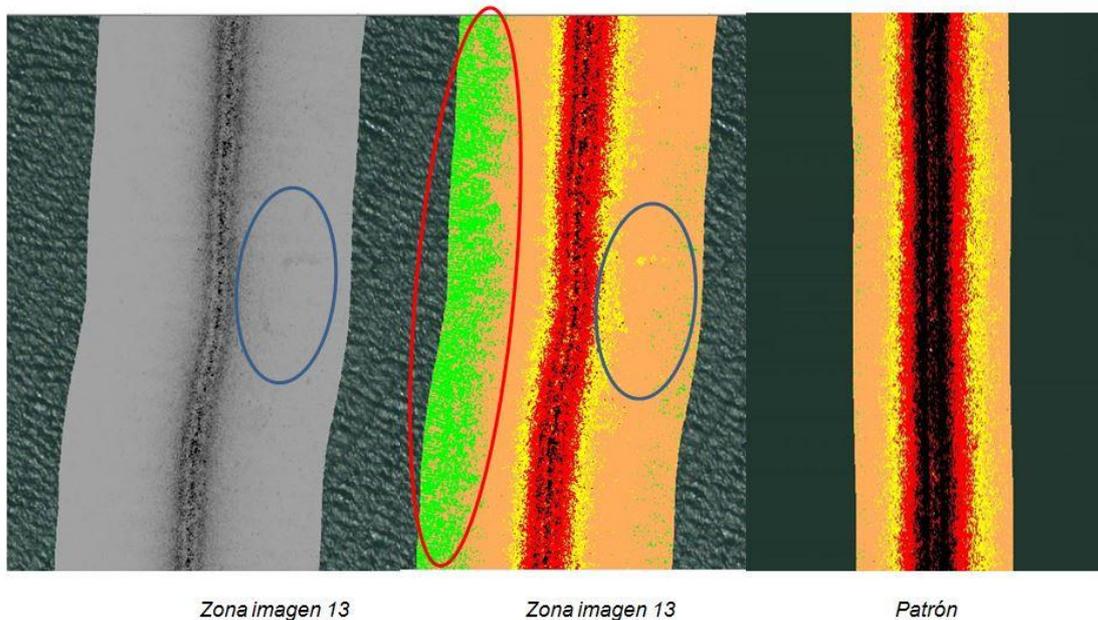


Figura 71.- Análisis de la Zona A

En la *Zona B* (Fig. 54) sí que se llega a la conclusión de ser una zona de gravas y guijarros; se descarta que corresponda a residuos de la columna de agua por aparecer en diferentes líneas. No obstante y viendo que a 300 metros se encuentra una estación de muestreo del I.E.O. de Murcia en el que el fondo es de gravas y guijarros y en el que hay vegetación presente, se considera necesario realizar comprobaciones específicas en la zona (Fig. 72 y 73).

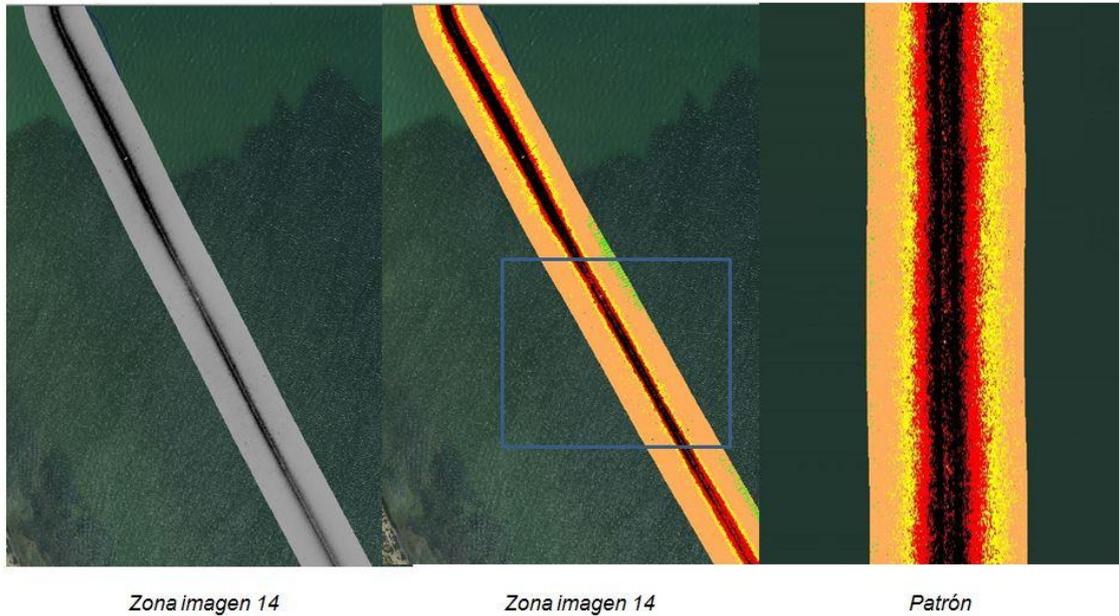


Figura 72.- Análisis de la Zona B

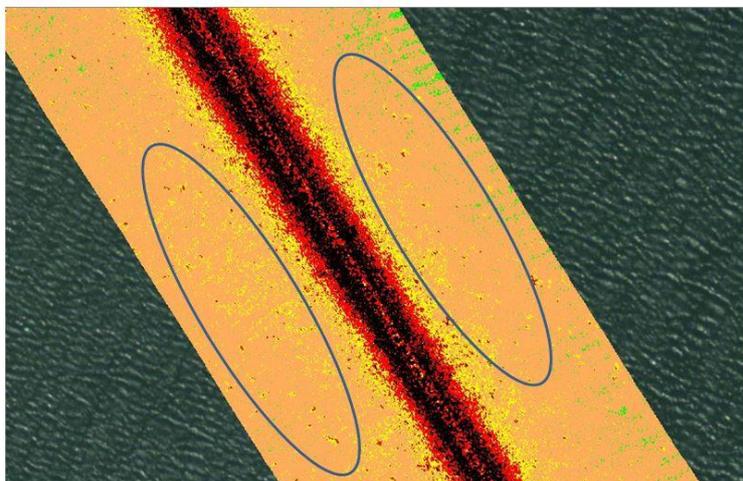


Figura 73.- Detalle del análisis de la Zona B

La Zona C (Fig. 55) es bastante interesante, a primera vista se ve que se trata de una zona con forma no definida y más reflectiva que el entorno, que cuenta con una extensión

aproximada de 100 X 200 metros y que podría tratarse de zona de gravas. Sin embargo la forma indefinida que posee, que recuerda a los campos de “manchas” analizados anteriormente, hace que sea una zona con probabilidades de que se corresponda con praderas (Fig. 74 y 75).

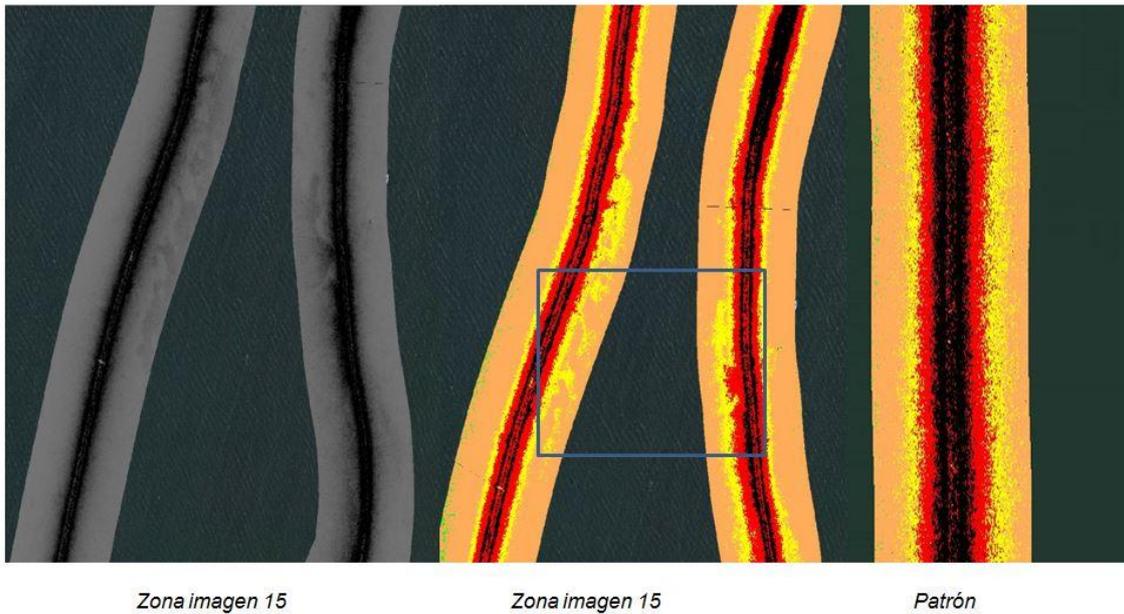


Figura 74.- Análisis de la Zona C

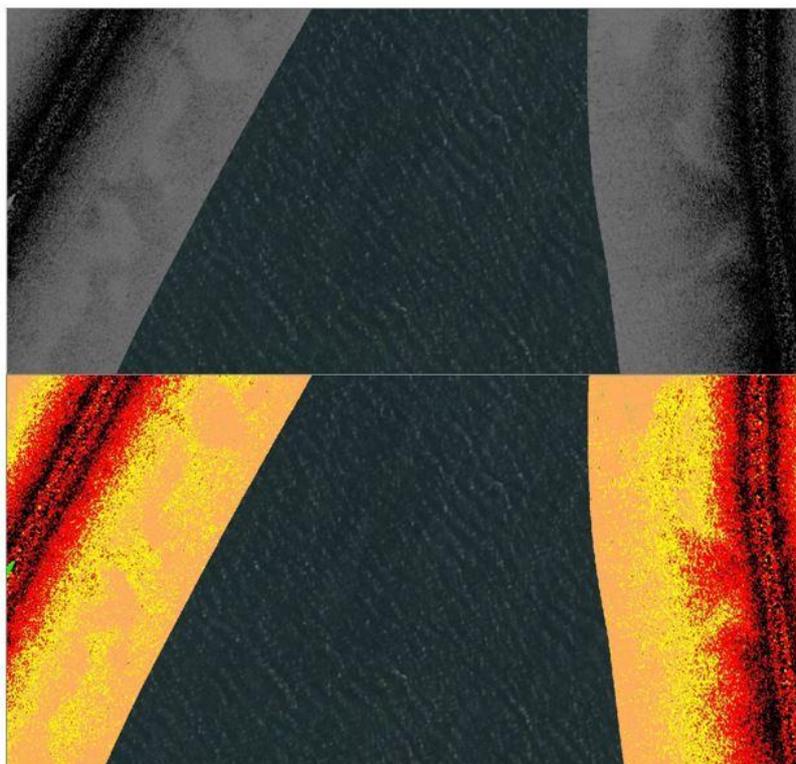


Figura 75.- Detalle del análisis de la Zona C

Las siguientes dos *Zonas D* y *E* (Figs. 56 y 57), se van a estudiar juntas, por la cercanía la una de la otra y su similitud. Como se puede observar hay zonas muy reflectivas, que por la derrota del barco y la cercanía a costa se sospecha de que se trata de un cambio brusco de profundidad. Posiblemente debido al ángulo de incidencia, el inicio de estos cambios bruscos suelen ser muy reflectivos. Si se aumenta la imagen, el hecho de no tener sombra (P4) detrás del P2, hace que quede descartada como zona rocosa. Por lo que las dos opciones que quedarían son cambio de profundidad o zona de gravas (Fig. 76 y 77).

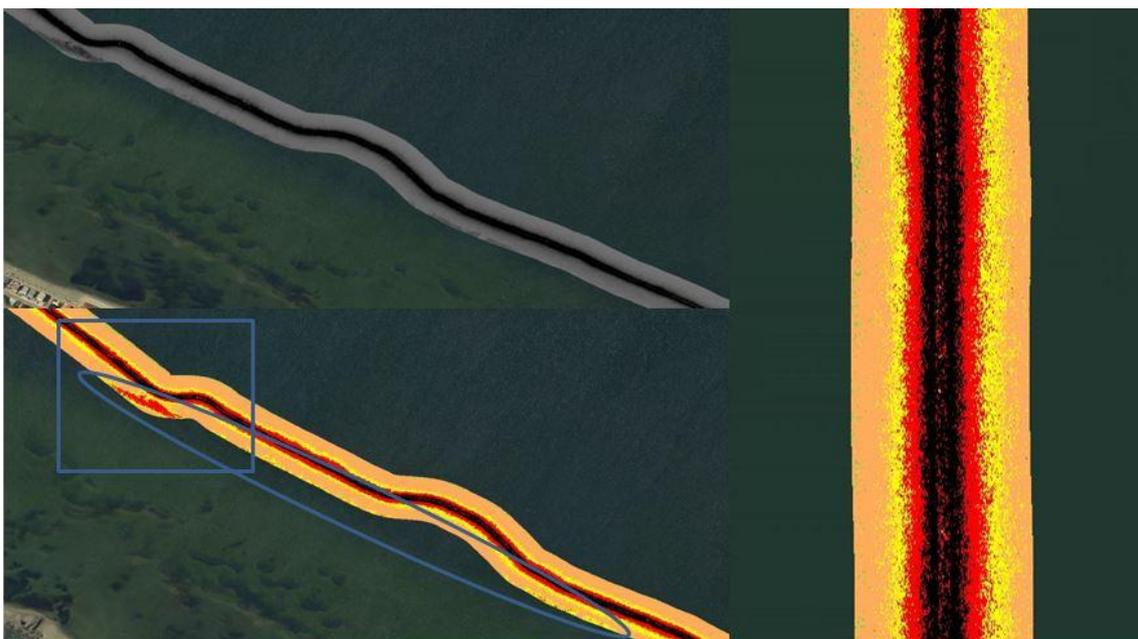


Figura 76.- Análisis en áreas de grava

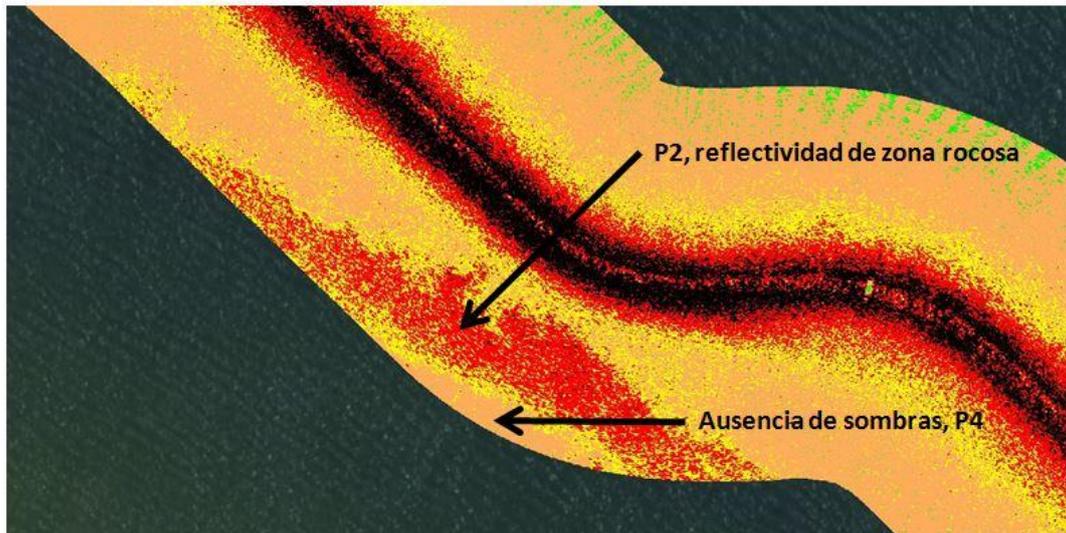


Figura 77.- Detalle de análisis en áreas de grava.

Una vez analizadas todas las zonas donde visualmente se encontraron anomalías, se vuelven a estudiar todas las líneas usando la reflectividad, para identificar zonas similares que visualmente no fue posible o simplemente se interpretó de forma diferente. Sobre el total de zonas identificadas se han seleccionado 98 puntos para la realización de comprobaciones *in situ* por parte del equipo de Ecología de Angiospermas Marinas del IEO, para la comprobación directa del tipo de fondo (tipo de sustrato y abundancia de pradera (**Anexo A**)).

Como resultado del análisis reflectivo, se obtiene un mapa muy general de sedimentos utilizando el patrón de referencia, en fango en este caso, y comparándolo con los patrones reflectivos del resto de la exploración (Fig.78a).

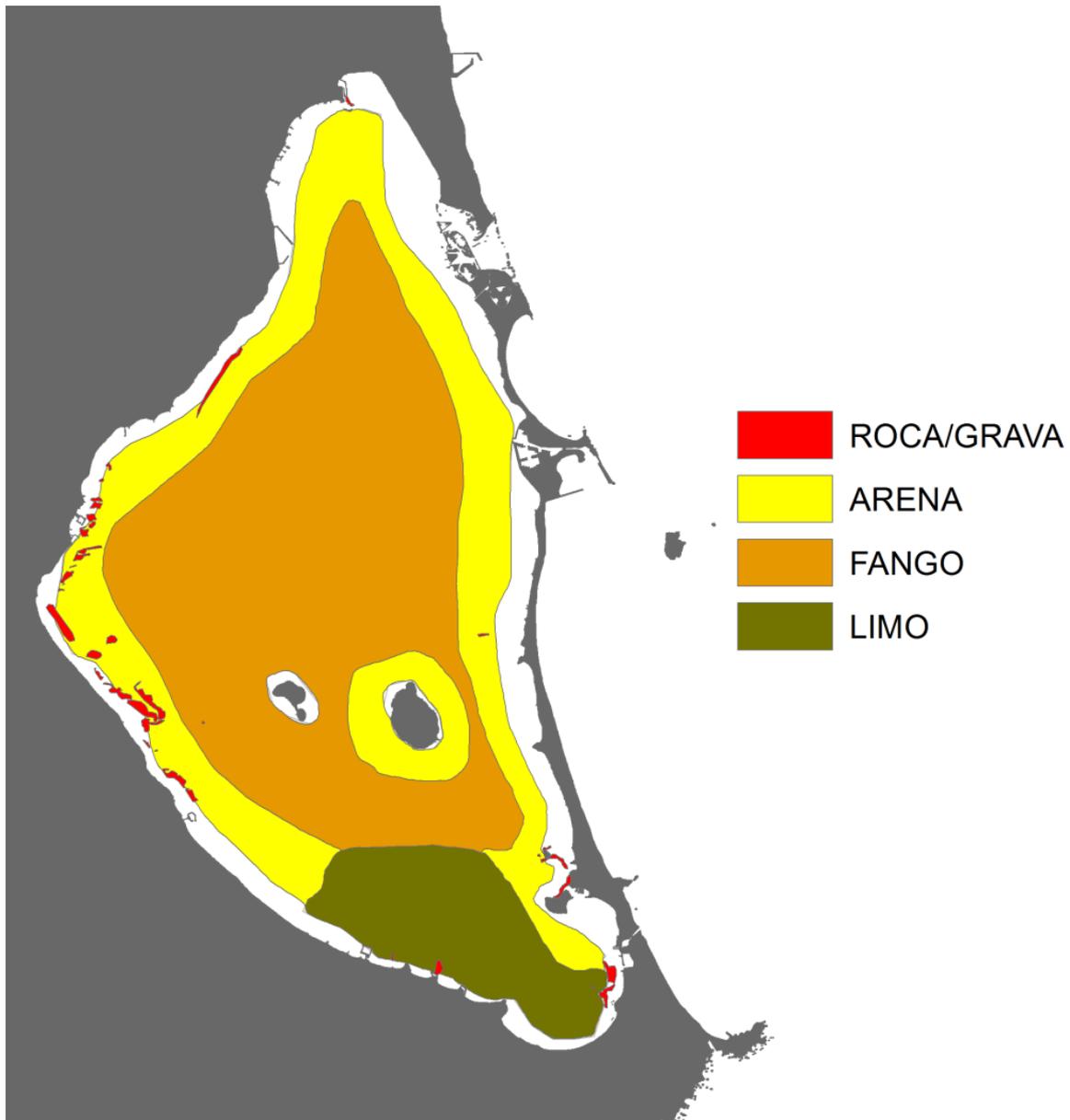


Figura 78a.- Mapa muy general de sedimentos utilizando el patrón de referencia, en fango para la laguna costera del Mar Menor.

El mapa anterior no incluye las zonas de campos de manchas de alta reflectividad (Fig. 47). Tras realizar las comprobaciones in situ se pudo constatar que las manchas identificadas en estas zonas, tanto de forma visual como tras el análisis de reflectividad, correspondían a praderas de *C. prolifera* y de *C. nodosa*. Las manchas fueron digitalizadas y los resultados se muestran en las figuras 78b, 78c y 78d.



Figura 78b. Manchas de *C. prolifera* (verde) y *C. nodosa* (azul) identificadas en la zona denominada Campo 1.

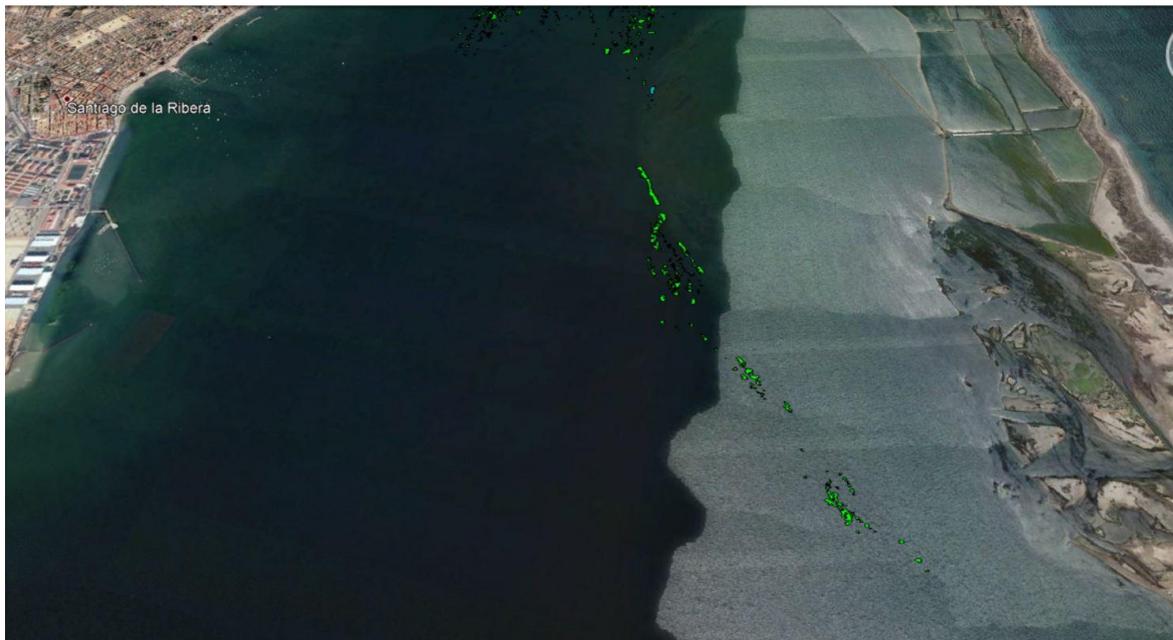


Figura 78c. Manchas de *C. prolifera* (verde) identificadas en la zona denominada Campo 3.



Figura 78d. Manchas de *C. prolifera* (verde) identificadas en la zona denominada Campo 1.

Los campos de manchas identificados por el análisis de reflectividad corresponden en su mayoría al alga *C. prolifera* y se corresponde con áreas de praderas de esta especie cartografiadas en 2017 por Belando *et al.* (2018). Estos resultados ponen en evidencia que, a gran escala *C. prolifera* forma un paisaje a manchas más que praderas continuas, lo cual es consistente con los valores de macrocobertura obtenidos en algunos puntos por el equipo del GEAM-IEO. Esta fragmentación podría ser consecuencia del proceso de recolonización iniciado por *C. prolifera* en primavera de 2017 tras su desaparición el año anterior a partir de profundidades superiores a 2,5-3 m.

Por otro lado, el análisis de reflectividad no es capaz de detectar manchas de vegetación fuera de los Campos 1, 2 y 3, lo cual no se corresponde con la distribución de la vegetación en el momento del estudio (Belando *et al.* 2018). Esta incapacidad de reflejar la distribución de las praderas es probablemente debido a que las condiciones para obtener una señal SBL óptima en esas zonas no fueron las adecuadas bien por oleaje, velocidad no adecuada, etc. No obstante, los buenos resultados obtenidos en los campos 1-3 demuestran que, acotando mejor las condiciones de trabajo, el SBL es una técnica muy útil para el seguimiento de la vegetación en zonas concretas a modo de estaciones de seguimiento.

### **3. Estudio de la capa de sedimentos no consolidados mediante GeoPulse**

#### **3.1. Procesado de datos del perfilador de fondos GeoPulse**

Los perfiles sísmicos obtenidos (Fig. 79 y 80) mediante perfilador de fondos GeoPulse, proporcionan información del subsuelo mediante prospección acústica por reflexión del fondo,

pero es necesario un detallado procesado de los datos que consume una gran cantidad de tiempo.

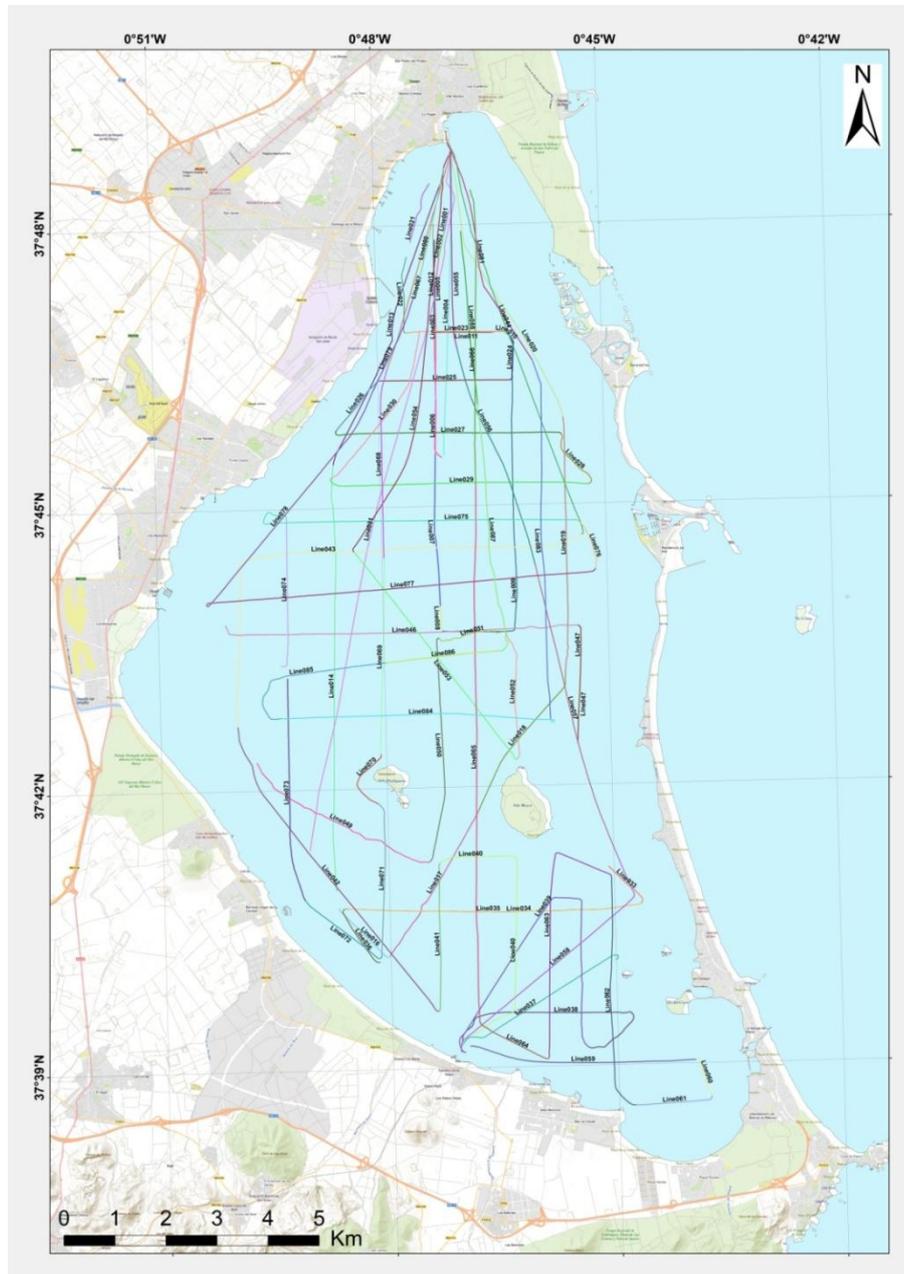


Figura 79.- Mapa de perfiles sísmicos realizados durante la campaña MM-0517 con perfilador de fondos GeoPulse.

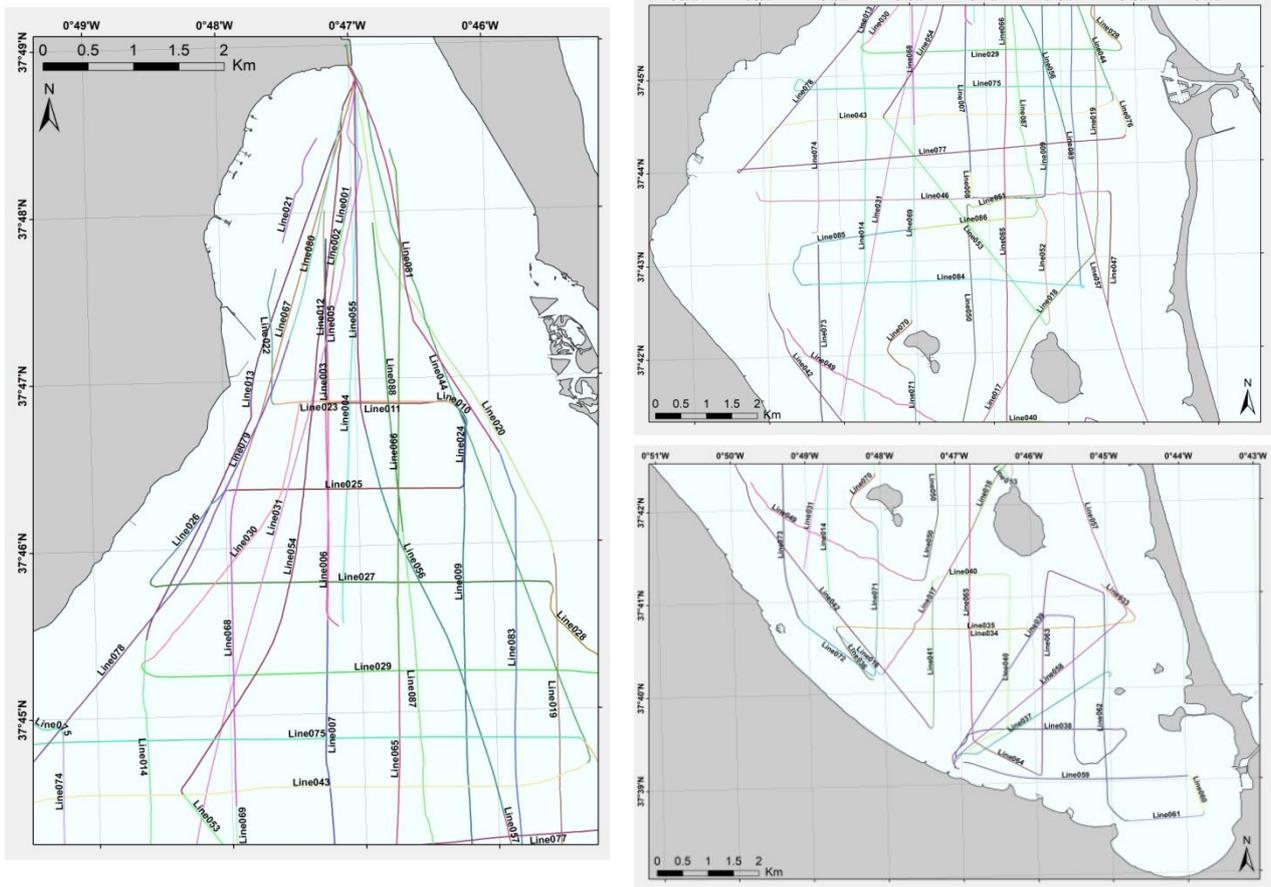


Figura 80.- Zonas de detalle de itinerarios realizados en la zona norte central y sur de la laguna.

Una vez concluida la campaña, se obtuvieron un total de 88 perfiles sísmicos que han sido procesados con diferentes software específico para el tratamiento de este tipo de datos sísmicos. El procesado de datos obtenidos con el perfilador de fondo GeoPulse, se ha realizado siguiendo un riguroso orden en las fases de procesado de los mismos:

#### A) Conversión de Archivos

Se utilizó una rutina del software MatLab (“Seg4King\_S5m”, diseñada y creada *ex profeso*) para procesar los datos de cada línea (88 ficheros o líneas) y así obtener los archivos computados en la estructura correcta, tipo de formato de archivo óptimo (\*.sgy) y en el sistema geográfico de referencia adecuado (ETRS89 UTM Zona 30N).

#### B) Correcciones a los datos brutos

A continuación se eliminó uno de los dos canales con los que se recogieron las señales sonoras, pues sólo es necesario uno ya que la mezcla de los dos canales que recibe genera

un mayor “ruido” en el perfil. Esta operación se realiza con el software libre SeiSee (Fig. 81, 82) y se realiza igualmente para cada una de las líneas o archivos de manera independiente.

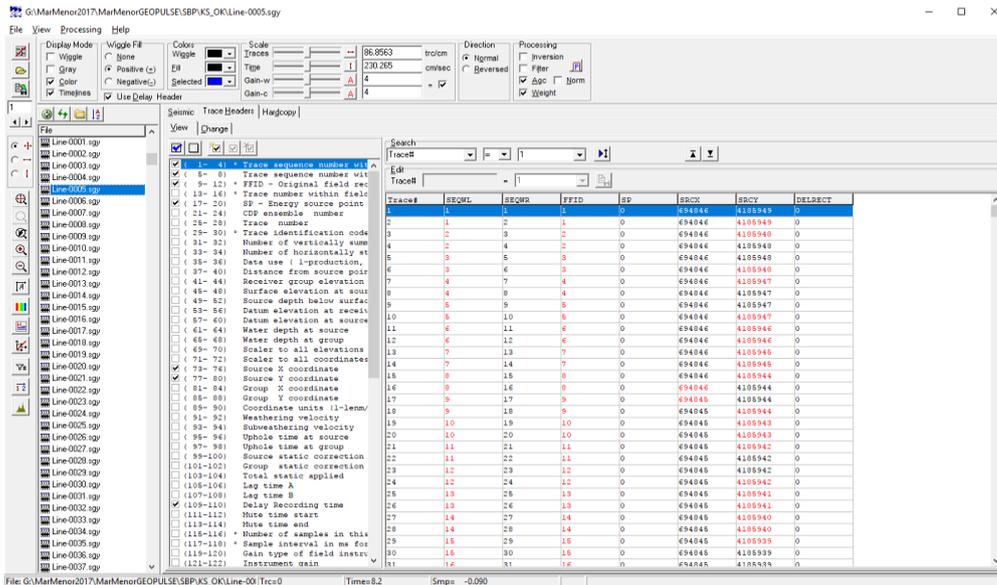


Figura 81.- Visualización del trabajo con el software SeiSee

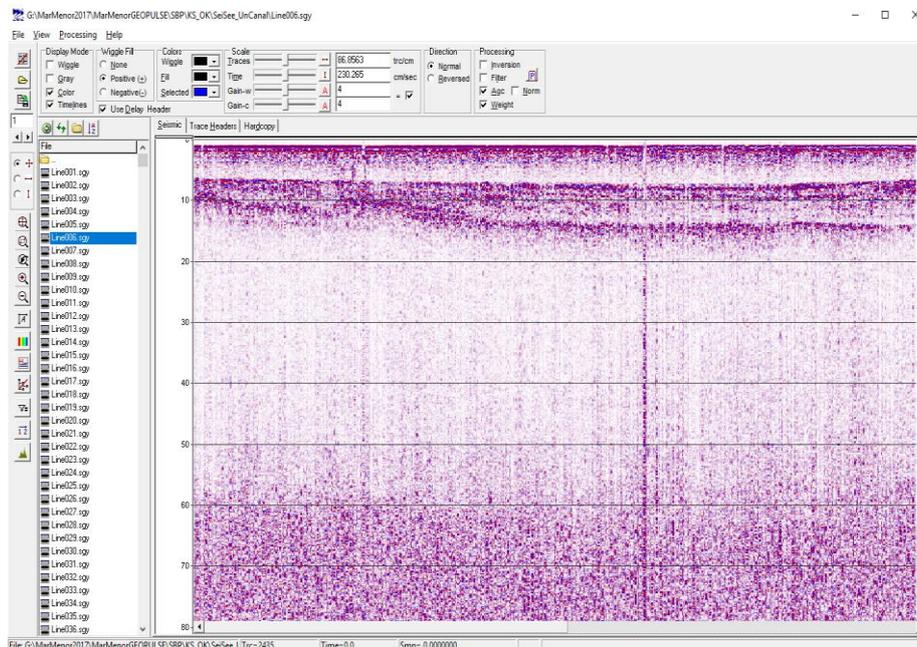


Figura 82.- Proceso de comprobación de los datos (software SeiSee)

### C) Cartografiado de los principales Horizontes Sísmicos

La fase principal del procesado de los datos del perfilador de fondos se realizó con el software *Kingdom Suite*, un software de interpretación Geofísica y Geológica (Fig. 83). Es utilizado además para interpretación y visualización 3D, análisis e interpretación, generación de sismogramas sintéticos y la generación de modelos.

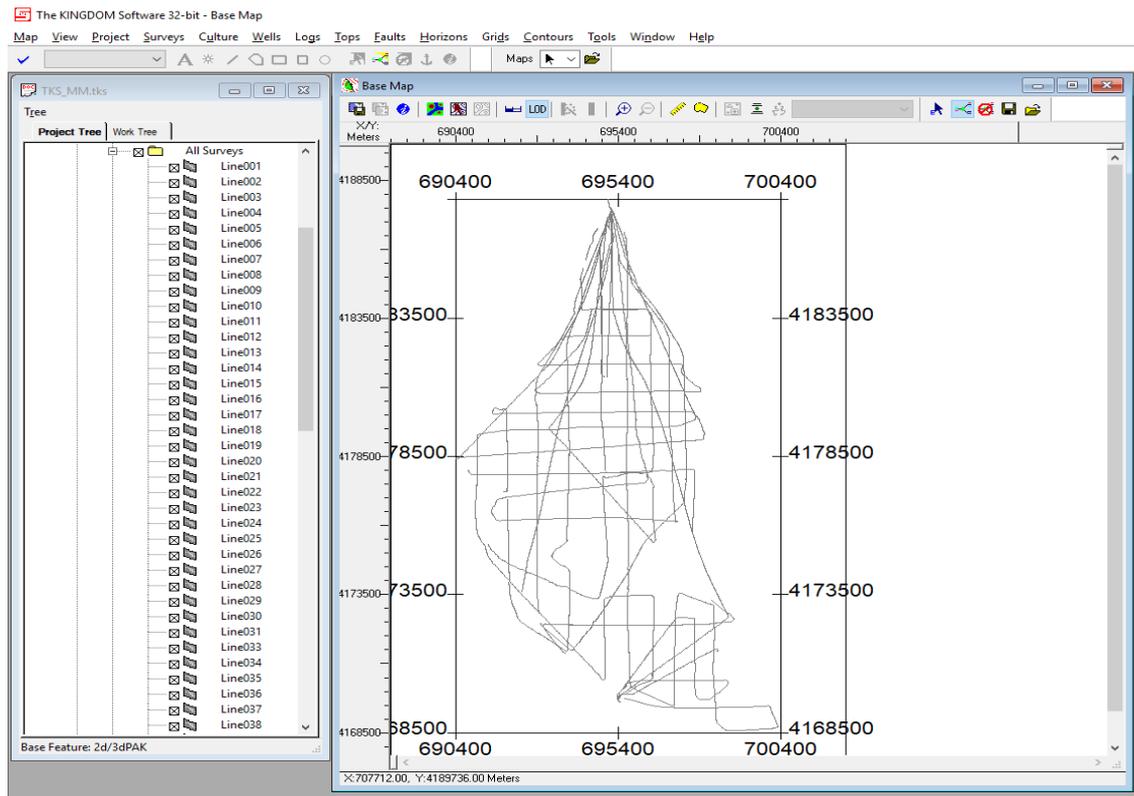


Figura 83.- Pantalla de control de archivos y gestión del proyecto de Kingdom Suite. En el mapa se aprecian todas las líneas recorridas por el barco para este estudio

Debido a la variabilidad de parámetros y variables que intervienen en la visualización de los perfiles es conveniente realizar unas pruebas preliminares para ensayar qué conjunto de características es la óptima para nuestros datos. En este test inicial se comparan varios perfiles para contrastar diferencias (Fig. 84), hacer una primera toma de contacto con los datos e ir configurando los parámetros más óptimos para su visualización e interpretación.

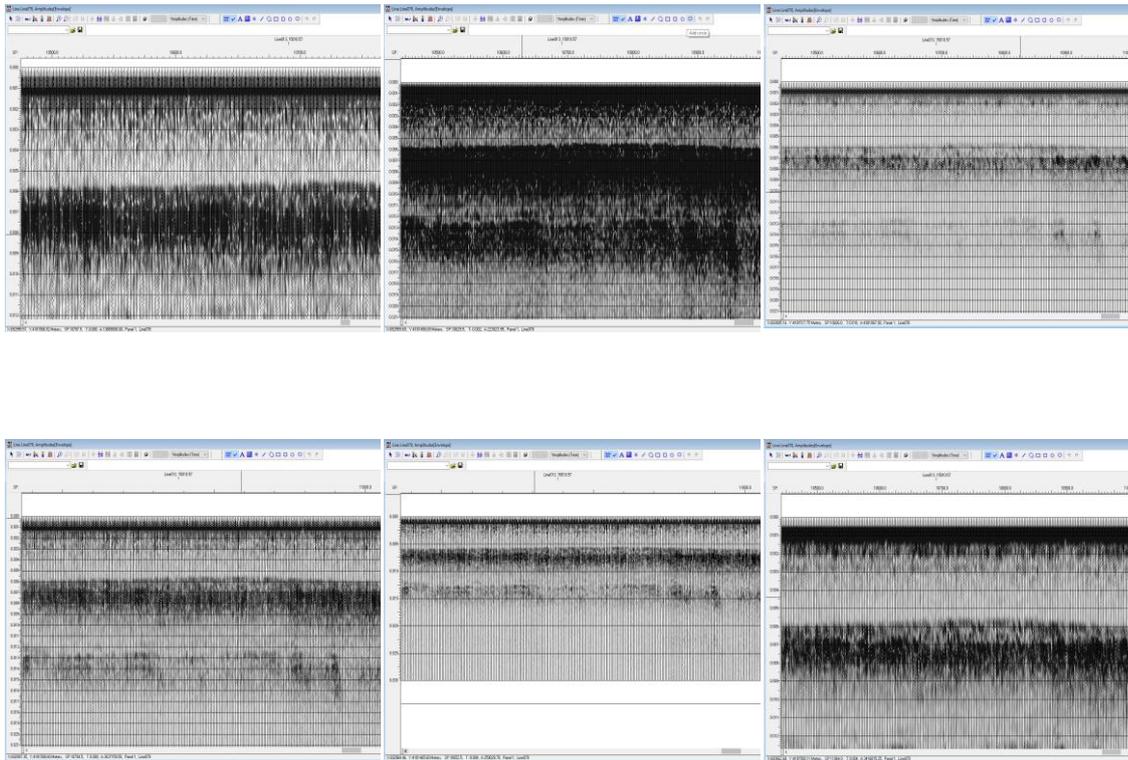


Figura 84.- Diferentes ejemplos de visualizaciones de igual tramo del mismo perfil sedimentológico: variaciones en la intensidad de la señal, en la escala horizontal y/o en la escala vertical.

La labor llevada a cabo consistió en identificar y cartografiar las principales superficies u horizontes sísmicos identificados sobre el fondo marino: la superficie del fondo marino y el techo de la capa del material consolidado, para acotar la capa de material no consolidado. Además, se cartografió, igualmente la señal de la superficie del mar (0 m de profundidad) para usarla en posibles cálculos futuros. A partir de ahí se procesa perfil a perfil de forma cruzada para poder llevar un mejor control de los estratos. Sobre cada perfil se identifica y cartografía cada horizonte de los creados.

Para garantizar la calidad del trabajo se realizaron comprobaciones de cruce o corte, donde es obligatorio que los horizontes coincidan con igual tiempo (o profundidad) cuando se cruzan entre sí. El software permite realizar un seguimiento de estos cruces entre trazados (ver progreso del trabajo en las figuras 85, 86, 87 y 88).

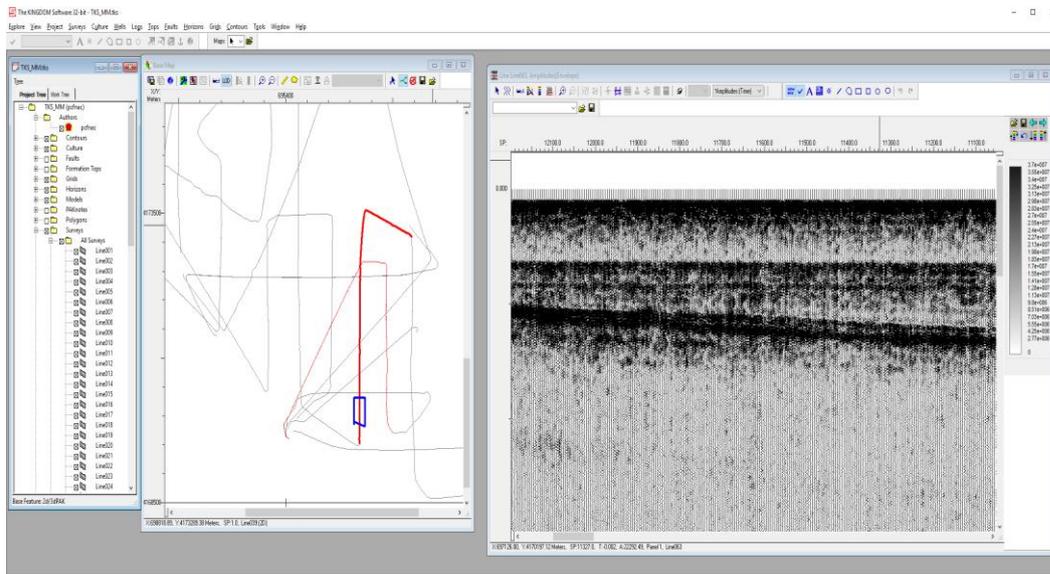


Figura 85.- Selección de una línea (derecha) para la apertura del perfil correspondiente (izqda).

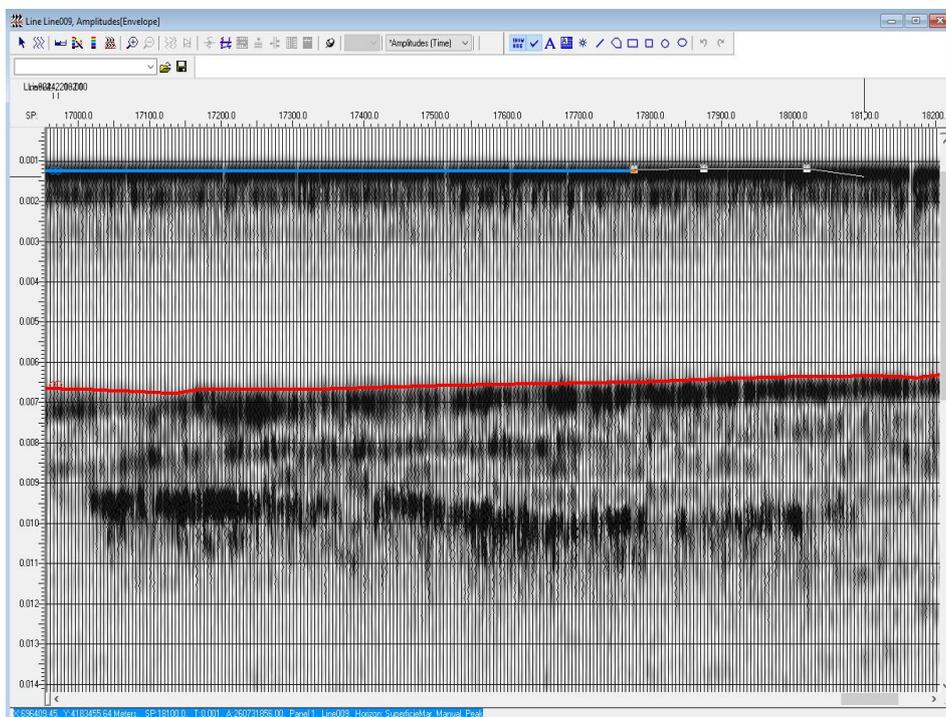
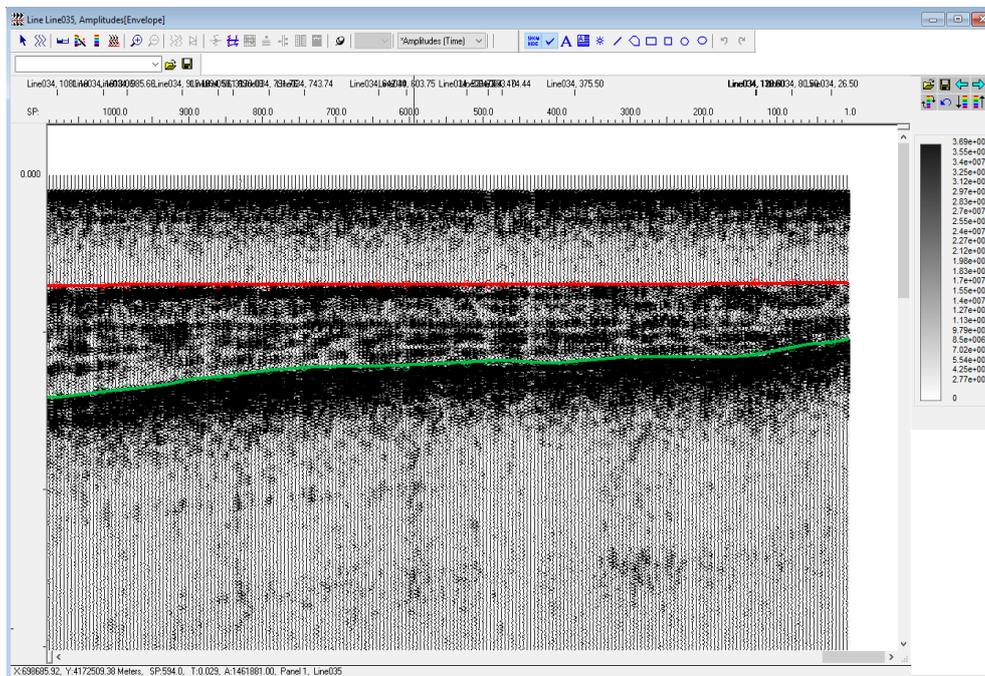
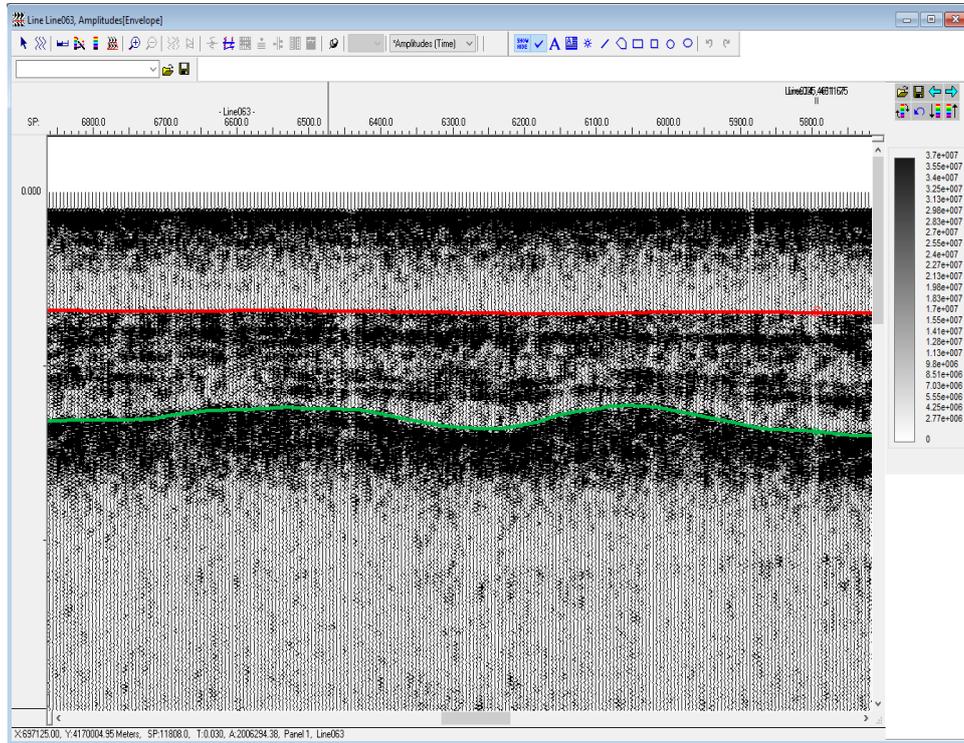


Figura 86.- Imagen de un perfil mientras se cartografía la superficie del mar (Horizonte azul).



Figuras 87 y 88: Ejemplo de cartografiado de los Horizontes sobre cada perfil. El horizonte rojo es el correspondiente a la superficie del fondo marino y el verde al techo de la capa de material consolidado.

Se puede dar el caso de que existan ligeras diferencias de tiempo en la recepción de la señal entre unos perfiles y otros. Estas diferencias pueden ser debidas a distintos valores de marea, de calado del buque, de calibración del equipamiento, etc. Al digitalizar las superficies más importantes y más destacadas pueden apreciarse estas posibles divergencias. De ahí la importancia de comprobar, en todos los cruces de derrotas, dichas variaciones entre nuestros perfiles.

El software Kingdom refleja, en el progreso del cartografiado, dichos cruces mediante una línea gruesa vertical (roja) y unos pequeños círculos del color del horizonte en cuestión (ver Figura 89). También es apreciable dicho cruce en el mapa base.

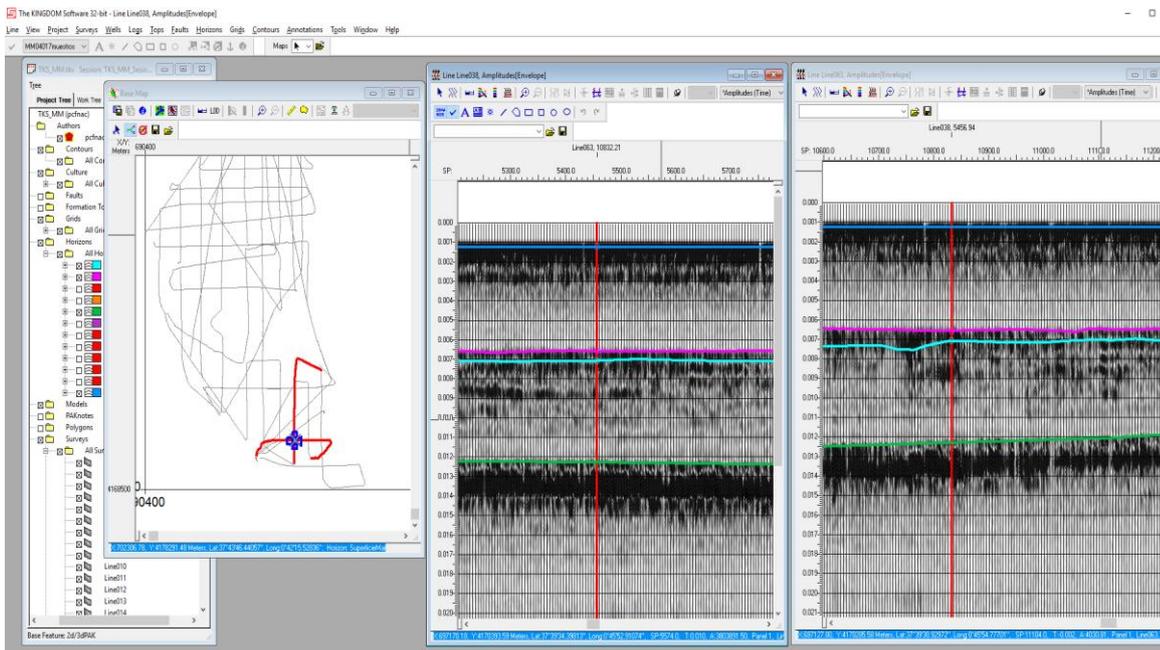


Figura 89.- Interfaz de trabajo con Kingdom Suite donde, de izquierda a derecha, podemos controlar el árbol de la estructura de datos, el mapa base (con las dos líneas cuyos perfiles se encuentran abiertos señaladas en rojo y el cruce en azul) y las ventanas de visualización de los perfiles correspondientes a dos líneas.

#### D) Cartografiado de diferentes tipos de señal (Fango)

En el procesado y análisis de los datos, es importante realizar el estudio de las características de las distintas señales recogidas y, en base a ellas, reconocer y trazar digitalmente los diferentes tipos de fondos dentro del área de investigación. No siempre es posible cartografiar con total garantía estas diferencias, pero si contamos con datos previos, bibliografía y/o cartografía existente, muestreos directos en la zona, etc. esta labor si es ejecutable de forma fiable. En las figura 90 se exponen tres sencillos ejemplos de diversos registros de fondos:

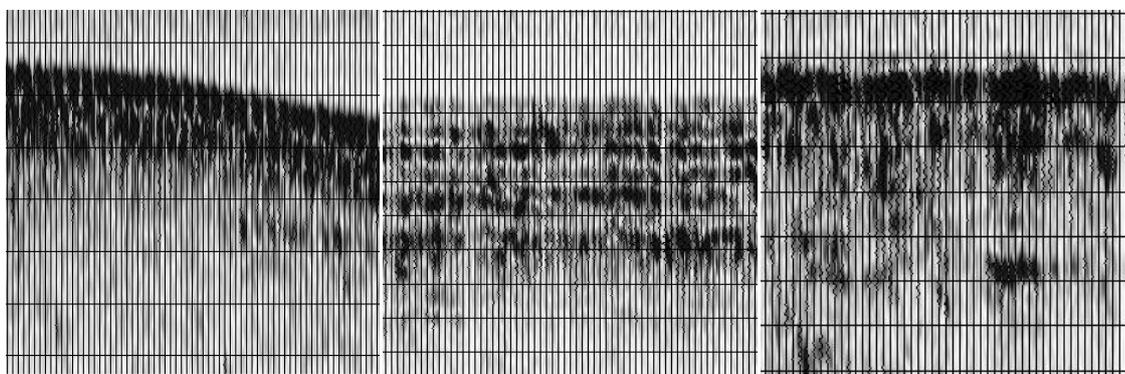


Figura 90: Imágenes de diferentes tipos de señales recogidas que corresponden con diferentes tipos de fondos:  
Izquierda: Roca (grava); Centro: Arenas; Derecha: Fangos (arcillas/limos).

Basándose en estas diferencias en las señales registradas se pueden crear nuevos “horizontes” que caractericen los diferentes tipos de fondo que se identifiquen en el área de estudio. En este caso, se creó y cartografió una superficie (denominada “Horizonte Fango Techo” en Fig. 91) para marcar en nuestros registros la superficie del fondo del Mar Menor que hemos estimado que es mayoritariamente de carácter fangoso. Posteriormente, se calculó el espesor (potencia) de esta capa sedimentaria superficial y se creó un segundo horizonte (“Horizonte Fango Base”) en la base del estrato sedimentario. De esta manera el registro sedimentario que nos interesa quedaba comprendido entre ambos horizontes.

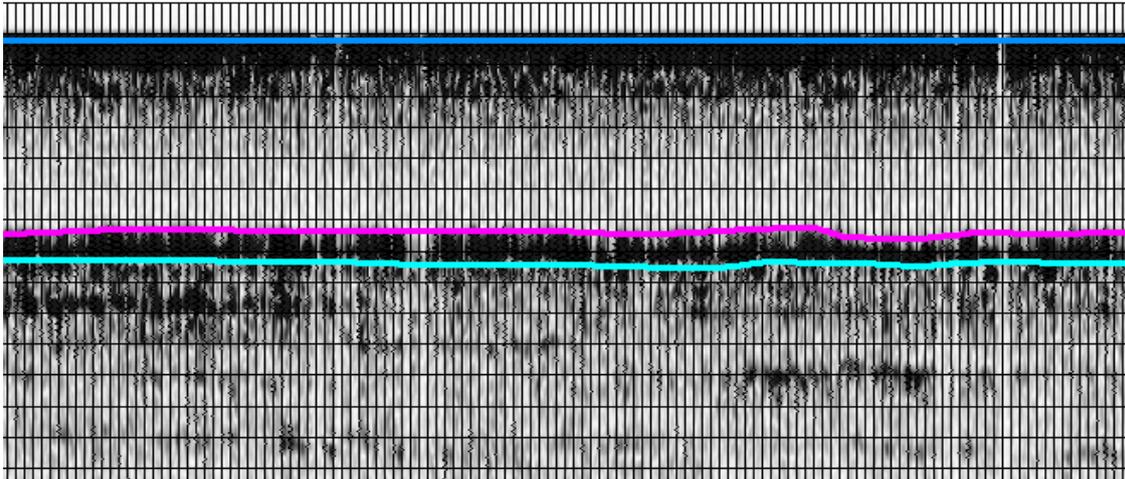


Figura 91: Cartografiado de fondos fangosos: digitalización de las superficies superior (“Horizonte Fango Techo”, color magenta) e inferior (“Horizonte Fango Base”, color azul claro) del estrato sedimentario fangoso.

De este modo, se ha obtenido un mapa donde se representa la presencia de fango en los perfiles sísmicos realizados, para llevar un seguimiento de la capa de fango (Fig. 92).

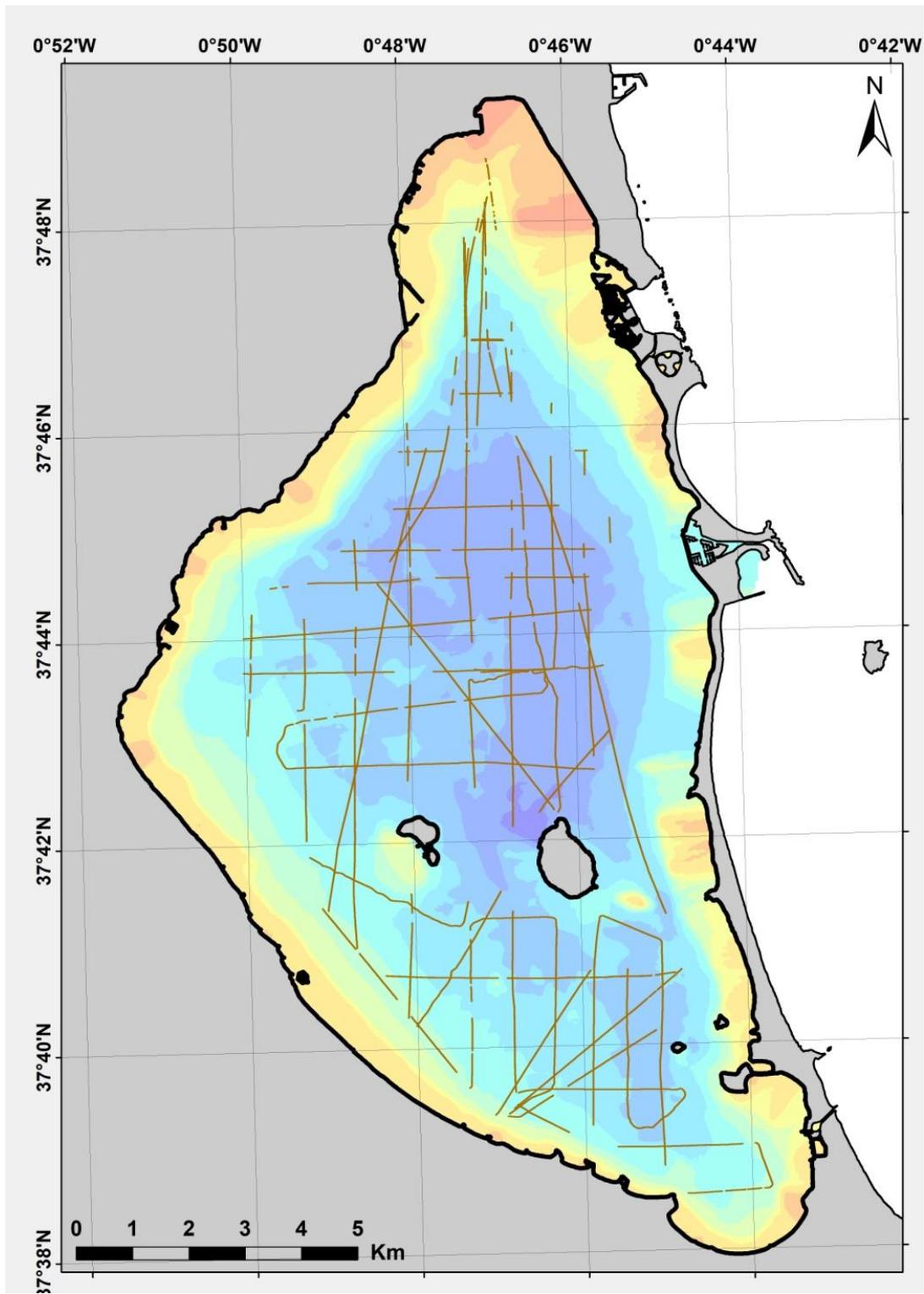


Figura 92.- Presencia de fango en los perfiles sísmicos realizados (segmentos de color marrón). El fondo de colores corresponde a la batimetría mostrada en apartados anteriores.

### 3.2. Cálculo de Superficies de Horizontes

Una vez cartografiados todos los horizontes de superficie del fondo y base del sedimento no consolidado para cada una de las líneas, se calculó el resultado utilizando las herramientas destinadas a ello desde Kingdom Suite. Posteriormente se visualizó el resultado para estudiar posibles incoherencias.

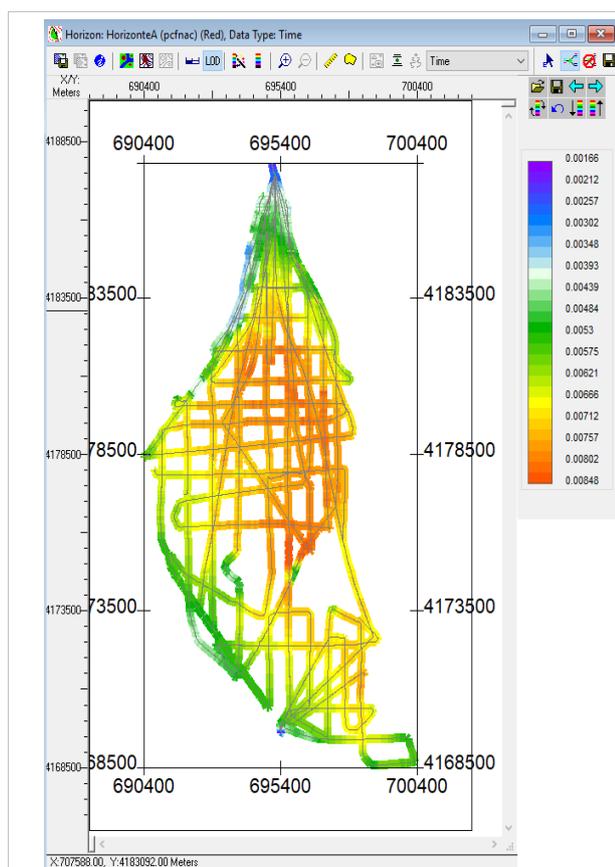


Figura 93.- Mapa del Horizonte rojo – Superficie del fondo

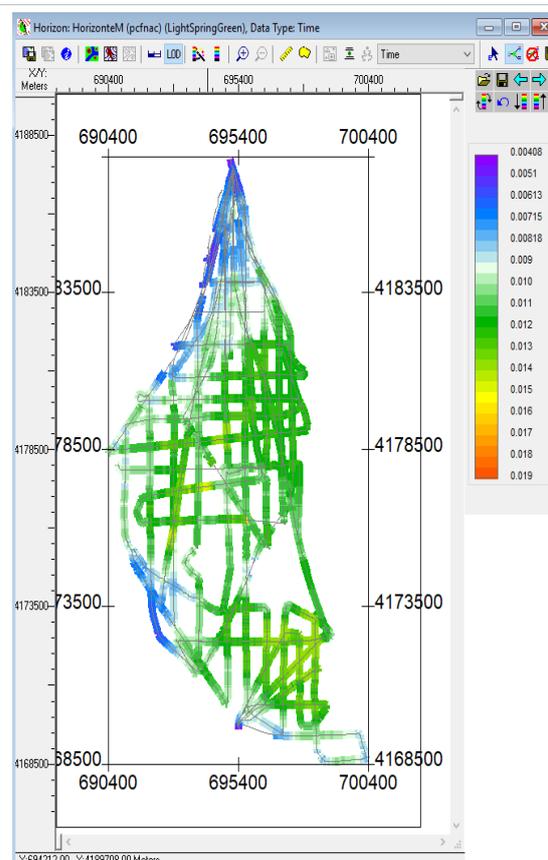


Figura 94.- Mapa de Horizonte verde – Base del sedimento no consolidado

Todos estos horizontes trazados (fig. 93 y 94) han sido exportados en formato plano (\*.txt), conteniendo los valores de la coordenada “x” (UTM X), la coordenada “y” (UTM Y) y el tiempo, para ser incorporados a una geodatabase en un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS).

### 3.3. Cálculo de isopacas y potencias

A partir de la cartografía de los horizontes se compararon las superficies para calcular el espesor entre ambas (potencia). Para ello Kingdom nos ofrece la herramienta “Compute Isopach Map” en la que debemos introducir numerosas variables y parámetros (figura 95) y se “restan” calculando el espesor entre ambas para poder así estimar el volumen y área de material no consolidado.

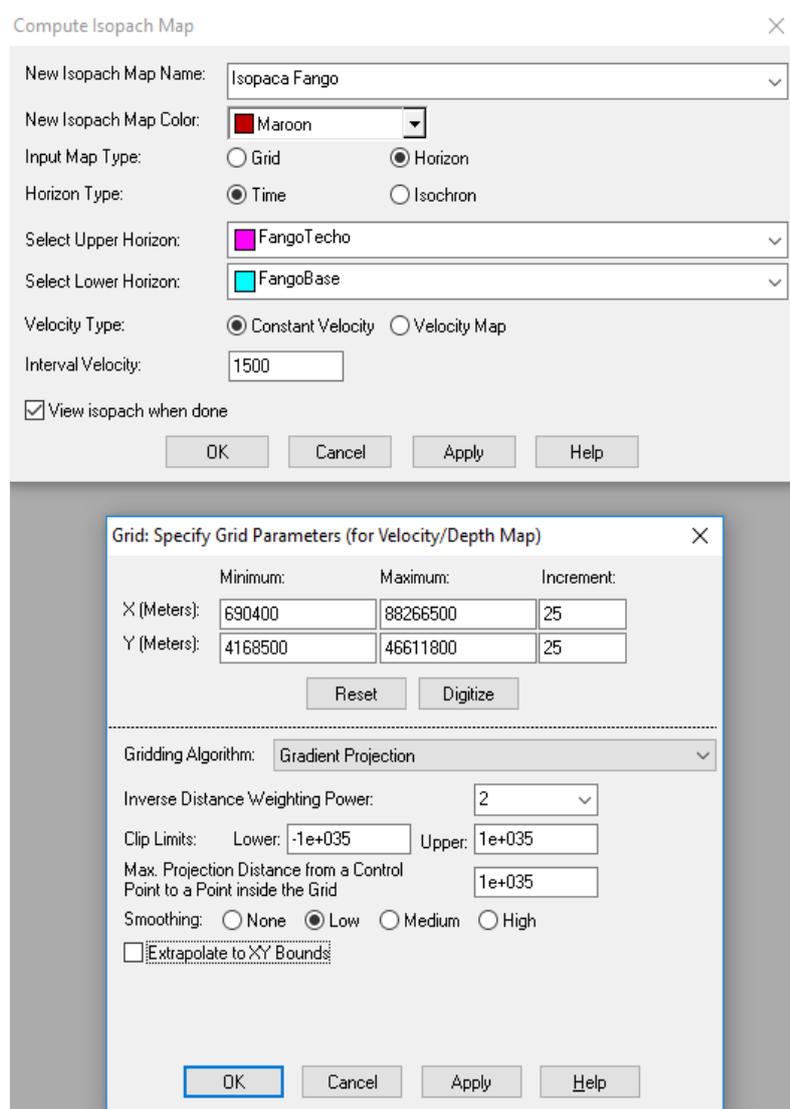


Figura 95.- Selección de parámetros para el cálculo de la potencia y la obtención de la isopaca entra dos horizontes

Obtenemos así el espesor entre ambas superficies u horizontes para un grid de 25 metros (figura 96). Se halla así una superficie que muestra el espesor entre ambas superficies o mapa de isopacas (líneas de igual espesor).

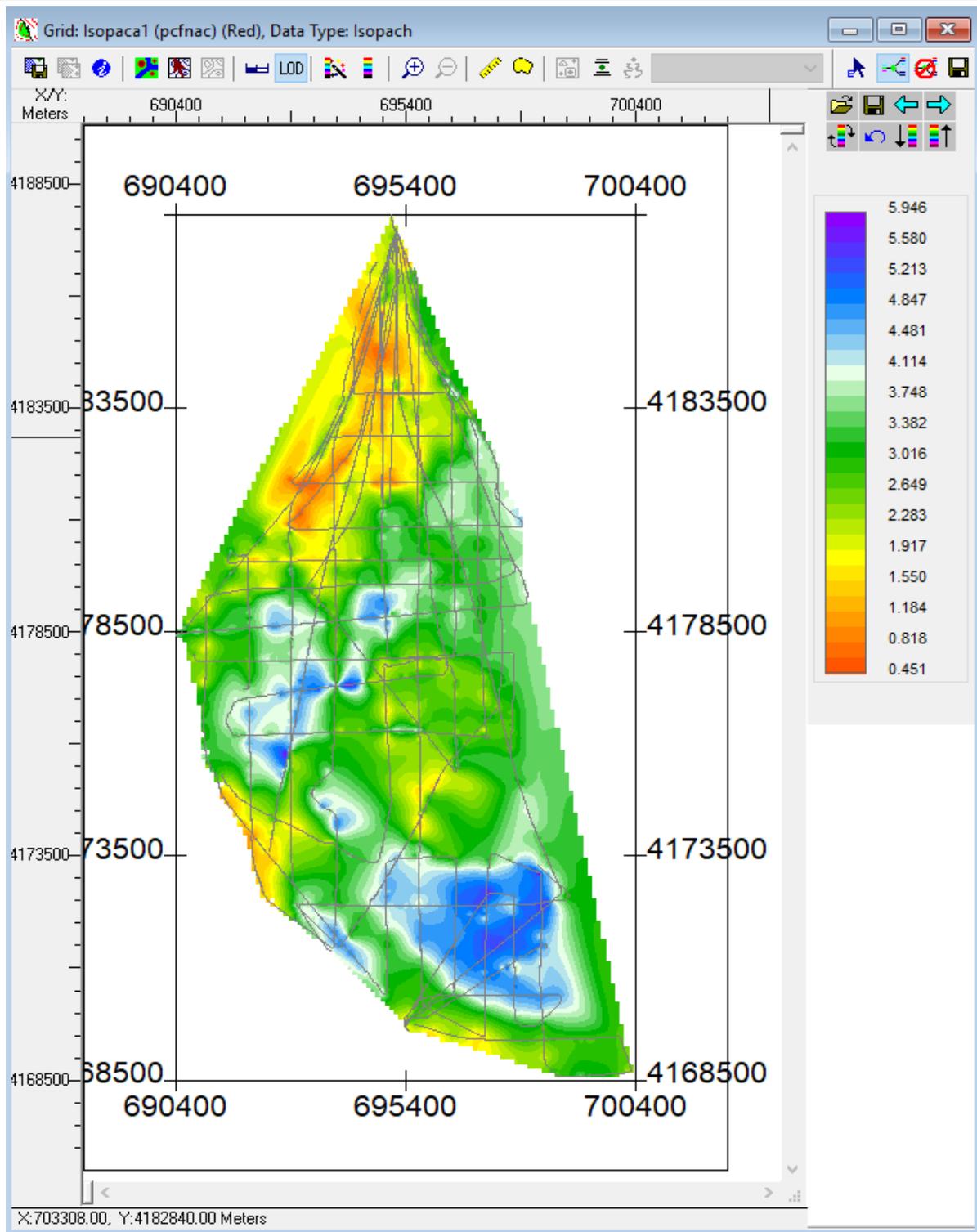


Figura 96.- Mapa del espesor de material no consolidado entre los dos horizontes.

### 3.4. Producción Cartográfica

Una vez realizadas las tareas de análisis de perfiles, digitalización de horizontes y la computerización de resultados en isopacas, se utilizó un software especializado en análisis geográfico y en producción cartográfica: sistema de información geográfica (SIG). Este programa permite de manera ágil la lectura de los resultados obtenidos con Kingdom. Como software SIG se ha utilizado QGIS, es un software libre (y de código libre) que opera bajo la licencia GNU GPL. Desde el SIG se importaron los ficheros desde el formato plano, pudiéndose representar como puntos, pero para facilitar su edición y representación se convierte y exporta a capa de puntos dentro de una geodatabase. Además, este formato permite usar herramientas de análisis espacial y geoestadística, como la interpolación (IDW, Spline, Kriging, etc.).

El análisis de los perfiles sísmicos de alta resolución ha permitido definir dos horizontes que acotan la capa de sedimentos no consolidados y fango que constituyen la unidad litosísmica superior identificada en el subsuelo de la laguna. A partir del estudio de esta unidad litosísmica y su correspondiente conversión de milisegundos a metros, se ha realizado una cartografía del espesor de esta unidad reflejado en curvas de isopacas o igual espesor. De los resultados obtenidos (Fig. 96, 97, 98, 99 y 100), se puede apreciar que el espesor de la capa de sedimentos no consolidados varía entre 0 y casi 6 metros. Sin embargo, la cartografía de la capa de fango y mapa de isopacas, revela que el espesor de éste nunca es superior a 1 metro. En la cubeta sur, se observa el máximo espesor de sedimentos no consolidados, llegando casi a los 6 metros de potencia. Según Díaz del Río (1990) estos máximos espesores se correspondían con antiguos cauces que drenaban la zona en un momento de bajo nivel relativo del mar. Todo parece indicar que los sectores identificados como subcuencas interiores al Mar Menor han tenido una evolución paleogeográfica diferentes, que se relaciona con las pautas de subsidencia activa y con las variaciones glacioeustáticas. Sin embargo, la capa reconocida estrictamente como fango, no presentaría una potencia superior al 1 metro (Fig. 90).

En la cubeta norte de la laguna, el espesor de la capa de sedimentos no consolidados es mínimo, aproximadamente de 1.5 metros, y la parte correspondiente al fango tendría una potencia variable entre 0,5 y 1 metro. El centro de la laguna presenta un espesor medio de sedimentos no consolidados de 3 metros y 0,5 metros de fango. Se ha observado un máximo de espesor de sedimentos no consolidados en el SW de la laguna, a la altura de Los Alcázares. La distribución y espesor de la capa de fango identificada en este estudio se asemeja bastante a la mostrada por Simonneau en 1973 como “fangos negros”, aunque sería necesario un estudio específico para realizar una comparación rigurosa entre ambos estudios.

Los tipos de fondo identificados en los perfiles sísmicos se han contrastado con los datos de granulometría de muestras obtenidas en 2017 por el Grupo de Ecología de Angiospermas Marinas del CO Murcia del IEO (Fig. 100; Belando et al., 2018). Los mayores espesores de

sedimentos no consolidados y fangos se encuentran localizados en la zona sur de la laguna que alberga a su vez una de las extensiones más profunda de la cuenca. Sin embargo, en la parte central de la cuenca, donde también se alcanzan profundidades elevadas (> 6m) el espesor de sedimentos no consolidados y fango es menor respecto del resto de la cuenca.

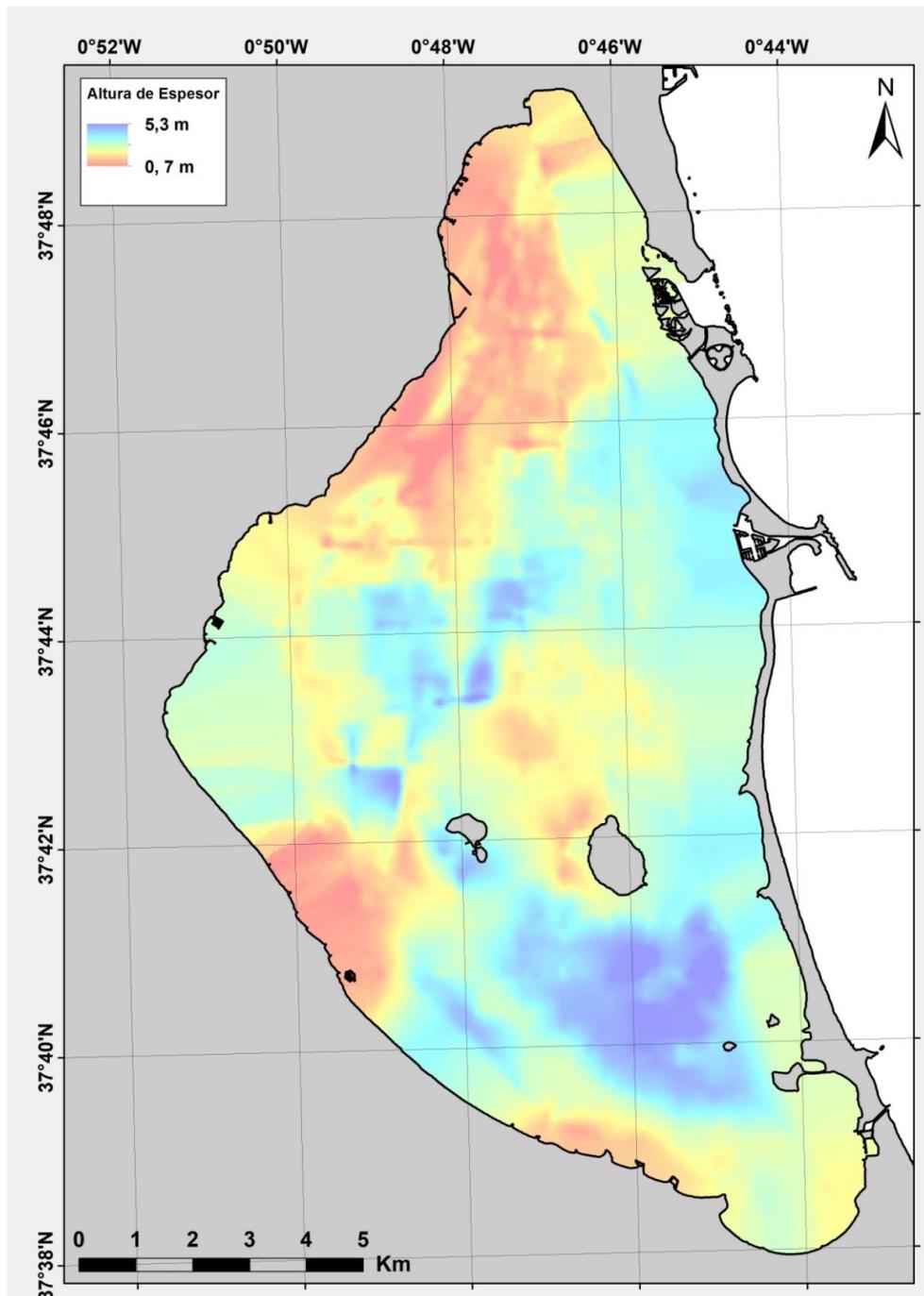


Figura 97.- Mapa de espesor de material no consolidado

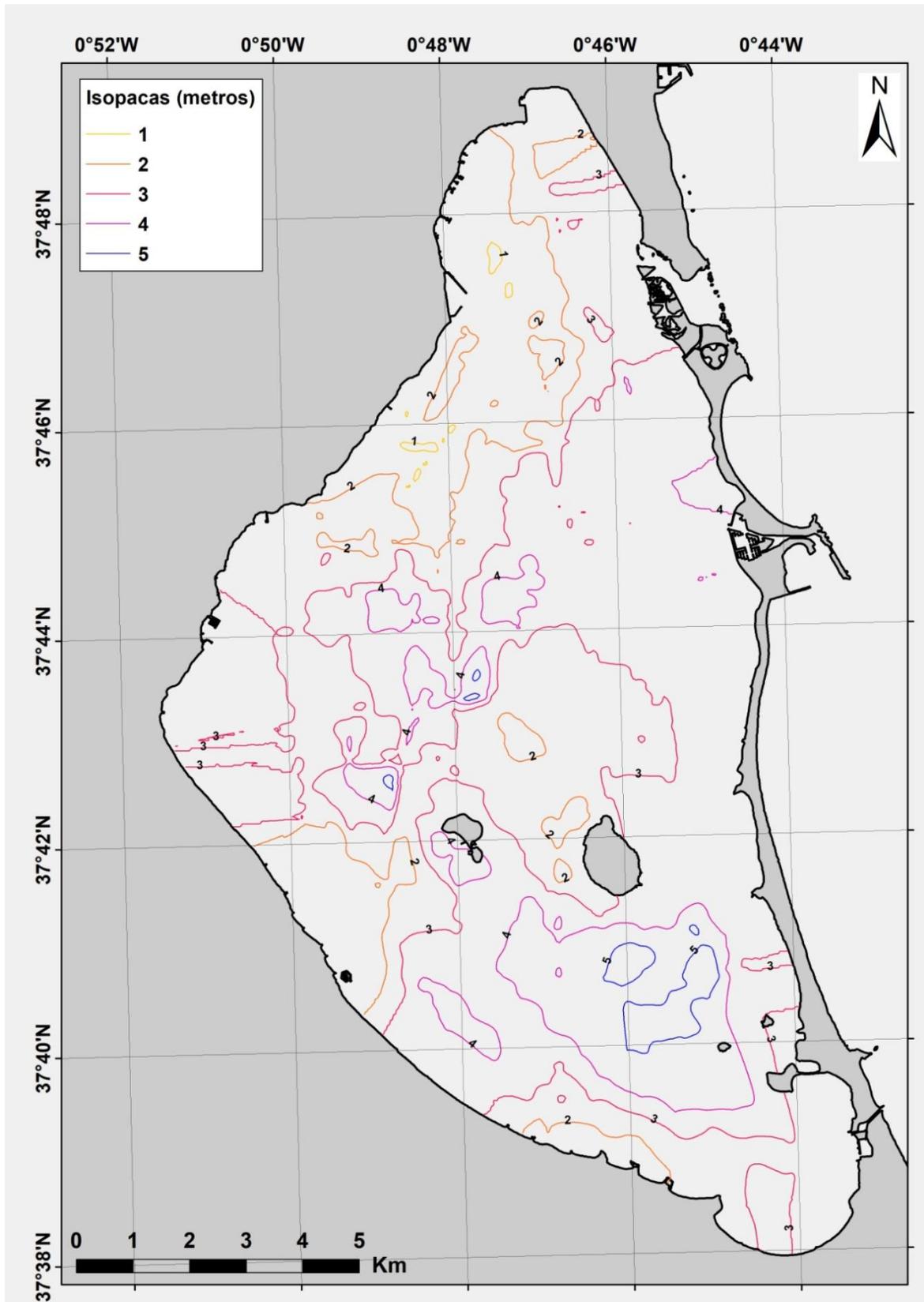


Figura 98.- Mapa de Isopacas del espesor de material no consolidado

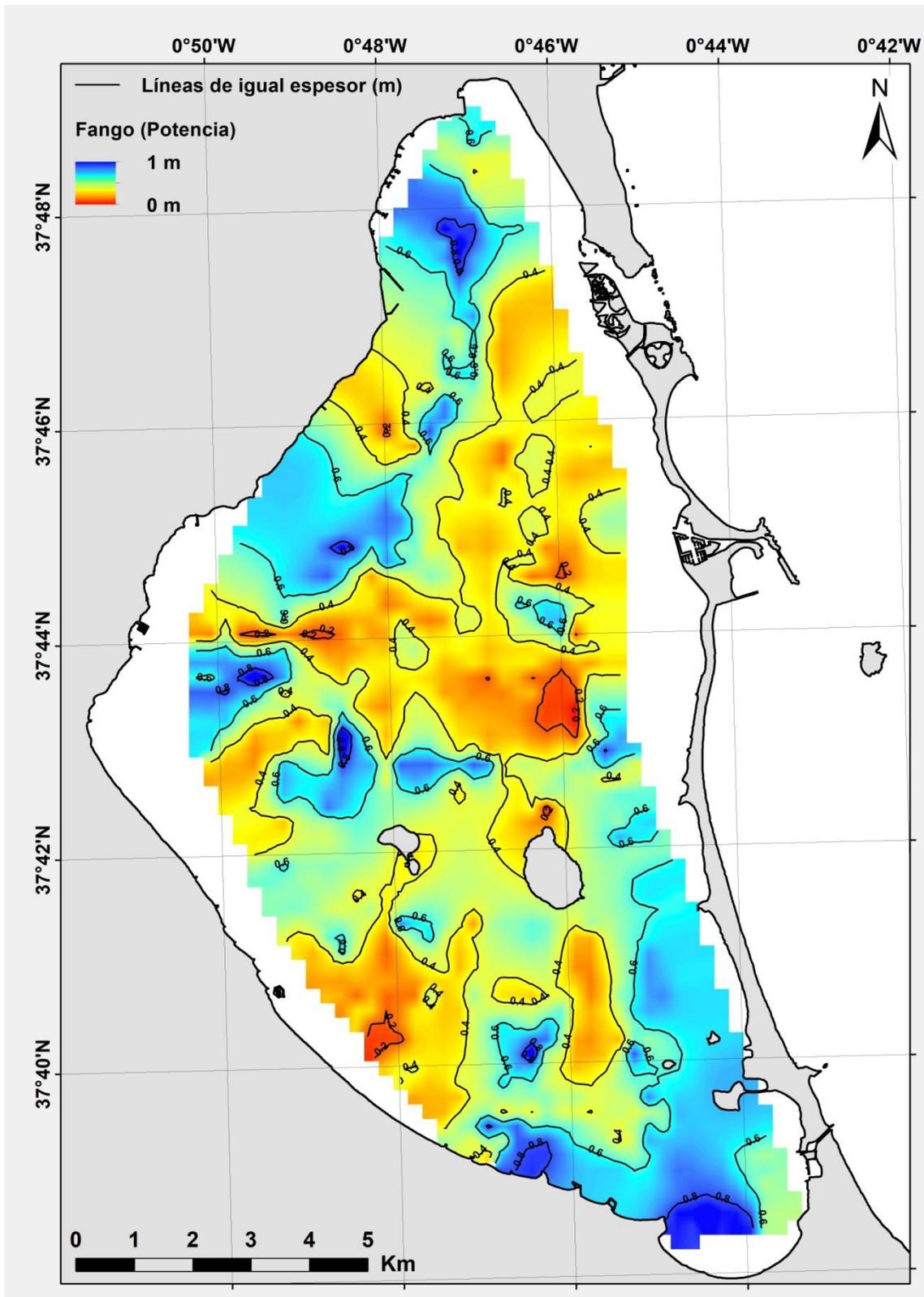


Figura 99.- Mapa del espesor de capa de fango (limos/arcillas).

Los estudios realizados por Víctor Díaz del Río en el año 1990 (Fig. 101) revelaron que las zonas de máxima potencia de este tipo de sedimentos no consolidados, se correspondían con la zona sur y central de la laguna coincidiendo con las zonas más profundas. Esto es en parte similar a lo observado en este estudio, aunque esta situación ha variado en la zona central, donde el espesor de estos sedimentos no es máximo, pero sí superior al espesor de los materiales no consolidados de la zona norte. Las zonas con materiales más arenosos son aquellas ubicadas en el infralitoral proximal.

En general, en la situación actual el espesor medio de la capa de sedimentos no consolidados es de 1 a 2 metros, siguiendo un patrón de incremento de espesor de esta capa a medida que avanzamos hacia el sur de la laguna. A grandes rasgos, se aprecia una pérdida de la potencia de la capa de sedimentos no consolidados si comparamos nuestros resultados con respecto de los trabajos realizados en el año 1990 por Díaz del Río. Estas diferencias no pueden considerarse como valores absolutos, ya que la metodología empleada en los años 90 era menos precisa que la utilizada actualmente, pero de forma cualitativa, si se puede afirmar que existe una profundización de la laguna observada en la pérdida de sedimentos no consolidados.

En la figura 102a se muestra el mapa de tipos de fondo obtenido a partir de la interpretación de los datos de perfiles sísmicos obtenidos con Geopulse. Estos resultados han sido integrados con los obtenidos en el estudio granulométrico y los análisis de reflectividad, con lo que se ha elaborado un único mapa textural de los tipos de fondo de la laguna del Mar Menor (Figura 102b). En la distribución de tipos de fondo en el interior de la laguna (Fig. 102b), se observa un dominio generalizado de los materiales arenosos en todo el infralitoral de la laguna entre profundidades de 0 a 3 metros. En las áreas más profundas e interiores de la laguna se observa un predominio de fangos y limos cuya extensión se corresponde con la de la capa de materiales no consolidados, cuya superficie es precisamente una capa de fangos nunca superior a 1 m de espesor. La zona donde se acumulan los materiales más finos (limos) se encuentra localizada en el extremo sur de la laguna. Respecto a los fondos de roca y grava se observa una barrera entre la Isla Perdiguera con Isla Mayor, y una superficie localizada entre Lo Pagán y Santiago de La Rivera. Existen más fondos de naturaleza rocosa, pero entremezclados con sedimentos (identificados como fondos mixtos) en diversas zonas distribuidas por toda la laguna.

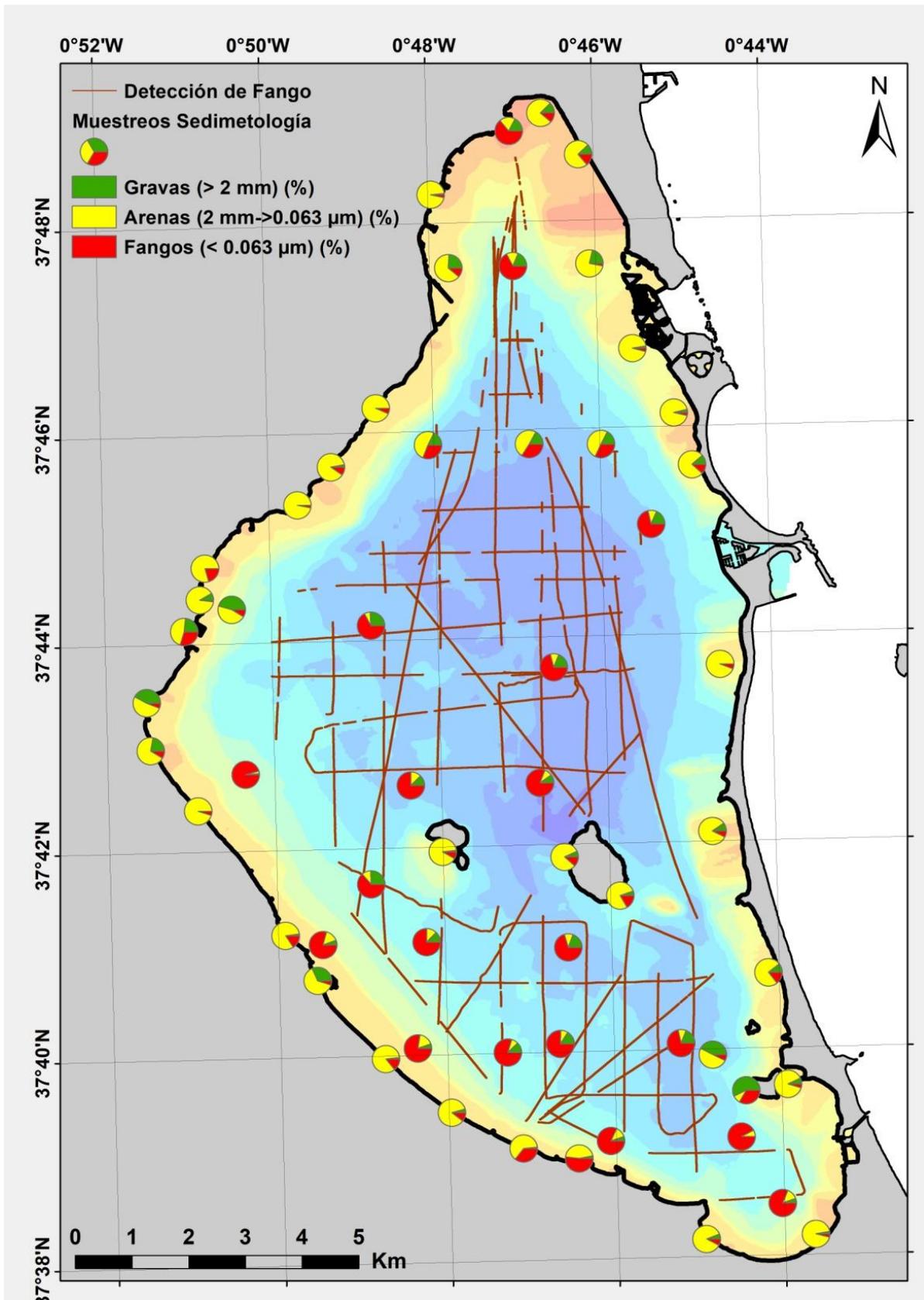


Figura 100.- Presencia de fango en perfiles sísmicos y distribución granulométrica de muestras.

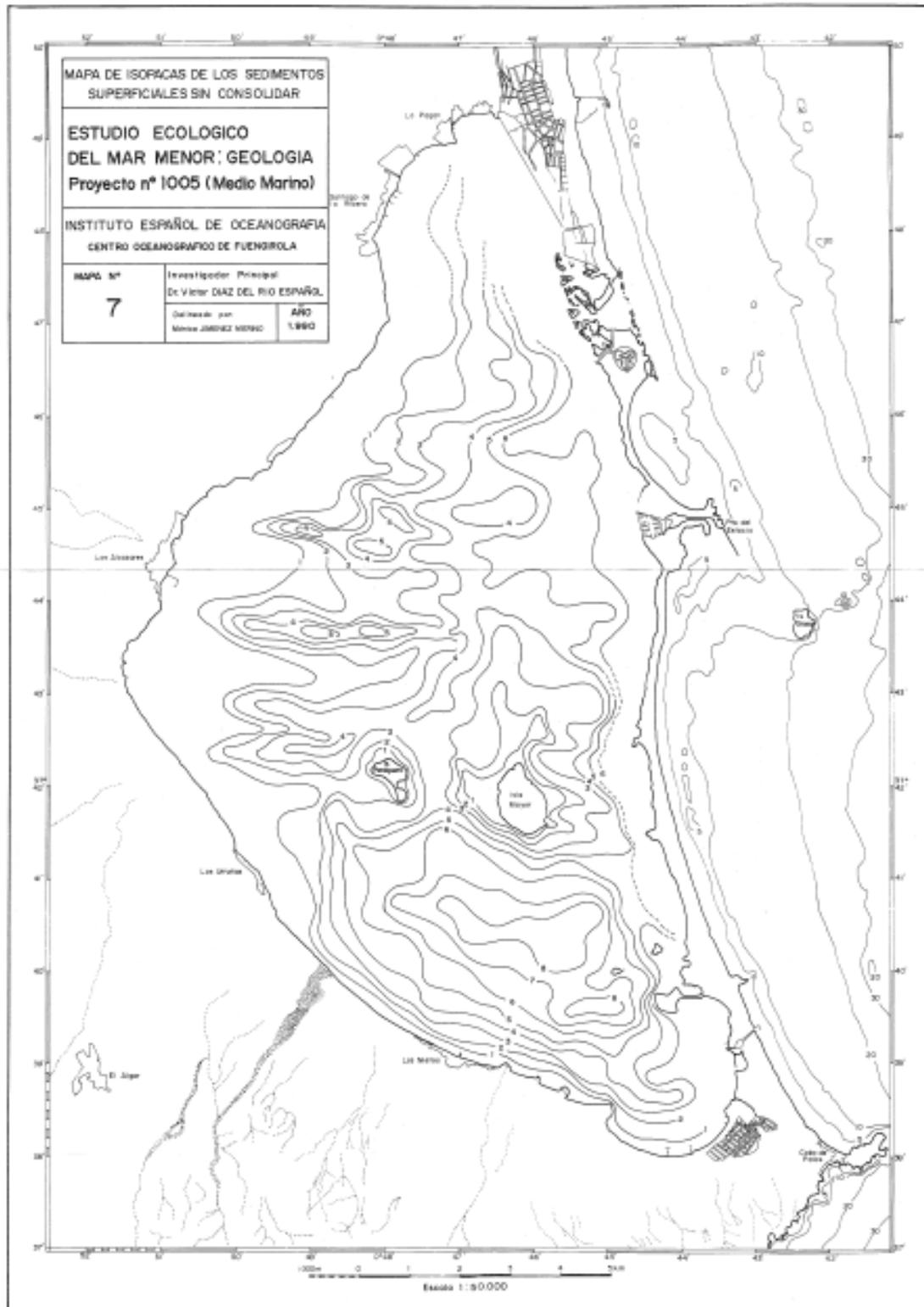


Figura 101.- Mapa de isopacas de los sedimentos superficiales sin consolidar (Díaz del Río, 1990).

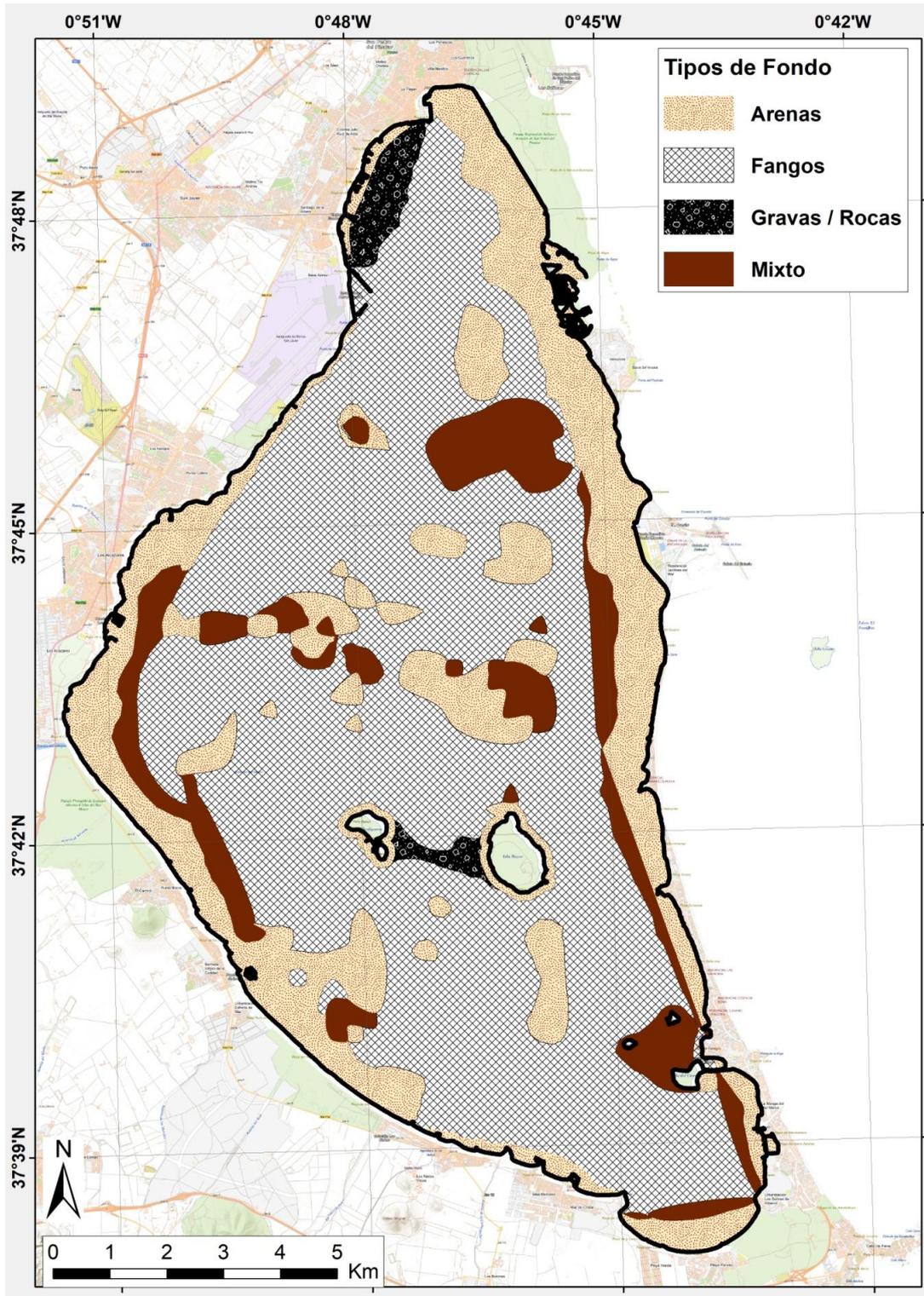


Figura 102a.- Mapa de clasificación de tipos de fondo del interior de la laguna del Mar Menor, clasificados en arenas, fangos, mixto, gravas y roca.

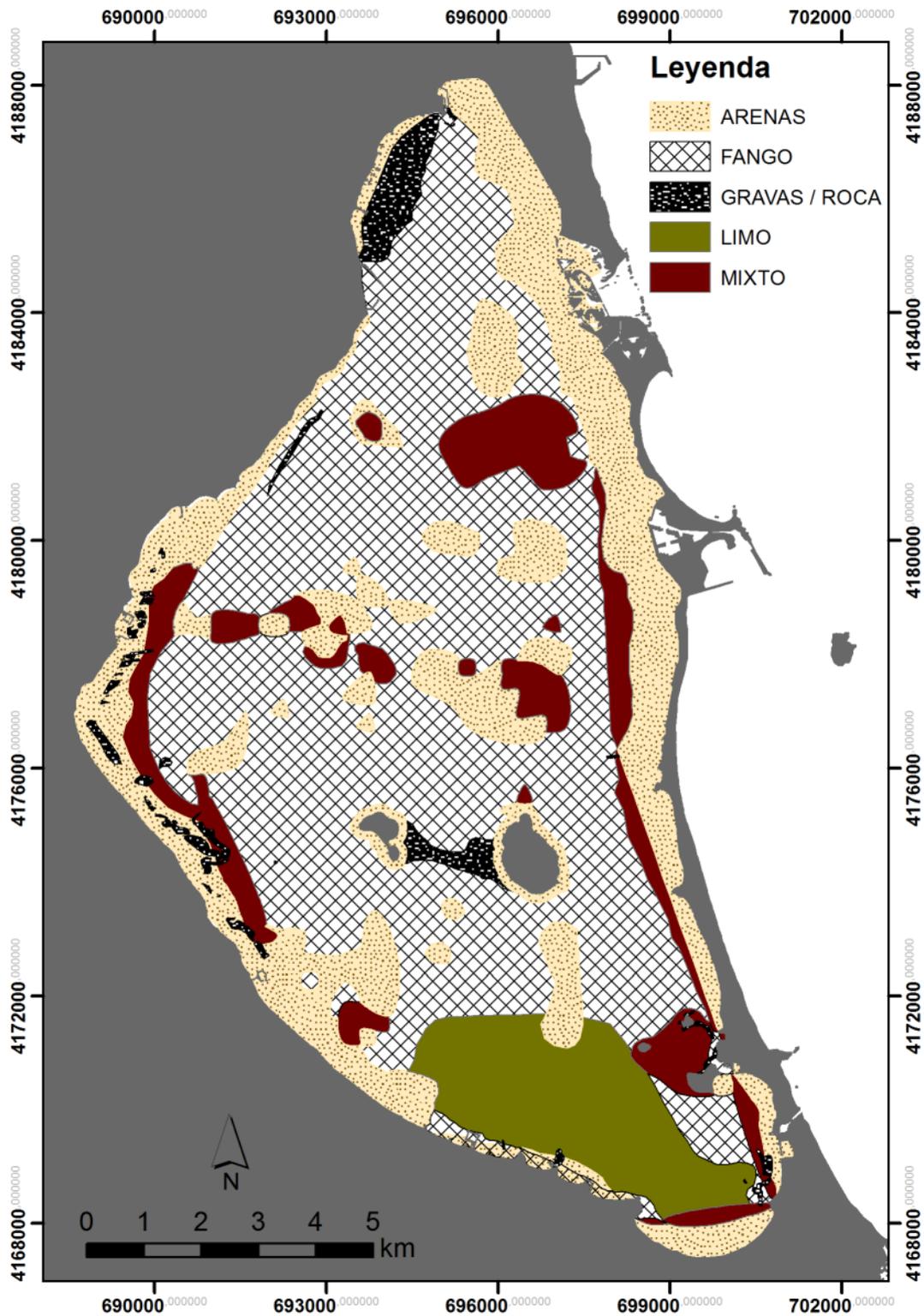


Figura 102b.- Mapa textural de los tipos de fondo del la laguna del Mar Menor integrando los resultados obtenidos en el estudio granulométrico y los análisis de reflectividad.

Varios factores podrían ser responsables de la supuesta pérdida de espesor de la capa de material no consolidado (respecto a los resultados de Díaz del Río 1990). Por un lado el fondo de la laguna del Mar Menor ha estado tapizado por praderas de fanerógamas y macroalgas que fijan y acumulan sedimentos, principalmente de *Cymodocea nodosa* y *Caulerpa prolifera*. El 85% de estas praderas se perdió repentinamente en el periodo 2015-2016 (Belando et al. 2018), lo que podría haber desestabilizado los sedimentos y alterar la dinámica sedimentaria a gran escala. Por otro lado, fenómenos climáticos extremos (temporales, riadas) podrían haber contribuido a esta supuesta alteración de la dinámica sedimentaria. En cualquier caso, a falta de realizar comparaciones cuantitativas más precisas, este estudio evidencia la pérdida de sedimentos no consolidados que es en buena medida consistente con el proceso de profundización de la laguna constatado a partir del análisis comparativo de las diferentes batimetrías realizadas en el periodo de estudio (ver más adelante, apartado 4).

#### **4. Estudio de la evolución de la batimetría del Mar Menor: procesos de colmatación/profundización. Batimetrías con ADCP.**

La evolución de la batimetría a lo largo de los años puede tomarse como un indicador del balance de los procesos de colmatación-erosión que tienen lugar en la laguna, los cuales pueden verse alterados estar acelerados por las acciones antrópicas desarrolladas en las últimas años décadas tales como actividades mineras, agrícolas y ganaderas y las consiguientes deforestaciones, así como la utilización de las lagunas marginales como salinas, aporte de arenas a las playas en épocas veraniegas y a la ganancia de terrenos al mar para la construcción de puertos deportivos, paseos marítimos, playas artificiales, etc.

Pero para ello es necesario disponer de levantamientos batimétricos lo más precisos posible y que sigan determinados estándares metodológicos para que sean comparables entre sí. Por ello, los trabajos llevados a cabo por el IEO han prestado especial atención a este aspecto, no solo en la campaña dedicada a aspectos geológicos (resultados con Geoswath, este informe) sino también aprovechando otras campañas oceanográficas realizadas en el mismo periodo (Fraile et al. 2018).

Como se explica en Fraile et al. (2018) durante las cuatro campañas oceanográficas realizadas en el Mar Menor en el mismo periodo de este estudio, se realizó una batimetría detallada haciendo uso de un producto derivado del ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, o perfilador de corrientes por efecto doppler). Este equipo, obtiene un dato de profundidad por cada segundo, y a pesar de ser un producto derivado, permite generar una batimetría de baja resolución para la laguna. El equipo GeoSwath obtiene 4000 datos de profundidad por segundo, el resultado ofrece una resolución infinitamente mayor. No obstante, la correlación obtenida entre los datos obtenidos a partir de ambos métodos es muy alta y más que aceptable con vistas a integrar y comparar todos los datos obtenidos. De esta forma ha sido

posible, por un lado, integrar todos los datos para obtener una batimetría de mayor resolución espacial (Fig. 103a) y, por otro lado, realizar un análisis de la variación de la profundidad entre las diferentes épocas del año con el fin de inferir información sobre los procesos sedimentológicos dominantes y su variación estacional.

Para ello, durante cada una de las 4 campañas oceanográficas realizadas en el Mar menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017), se recopilaban datos de profundidad a intervalos de 1 segundo a partir de las medidas del ADCP 1200 kHz en toda la superficie del Mar Menor y durante 15 días por campaña (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Los registros de profundidad en continuo (1 sg) se interpolaban a una malla regular óptima que aseguraba la mejor ratio ruido/señal de los datos (11x9 m) para toda la laguna (Fig. 103b). A su vez, todos los datos fueron calibrados mediante medidas de profundidad in situ con CTD utilizando las profundidades máximas registradas en 42 puntos de muestreo en la superficie del Mar Menor.

La figura 103b muestra las cuatro batimetrías interpoladas del Mar Menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017) obtenidas a partir de medidas de profundidad del ADCP 1200 kHz y corregidas con medidas de profundidad del CTD en toda la superficie del Mar Menor.

Debido a imposibilidad de navegación a cotas inferiores a los 1.4 m de profundidad, las batimetrías realizadas contienen datos interpolables válidos desde 1.4 – 7.5 m de profundidad, perdiendo parte del área y por tanto del volumen total real del Mar Menor. Por tanto, el área total del Mar Menor obtenido con los datos de estas 4 campañas desde la isobata de 1.4 metros se ha estimado de media en 122 km<sup>2</sup>, con un volumen promedio de 642 hm<sup>3</sup> y una variabilidad estacional de (652, 642, 654 y 649 hm<sup>3</sup> para nov16, feb17, jun17 y sep17), respectivamente.

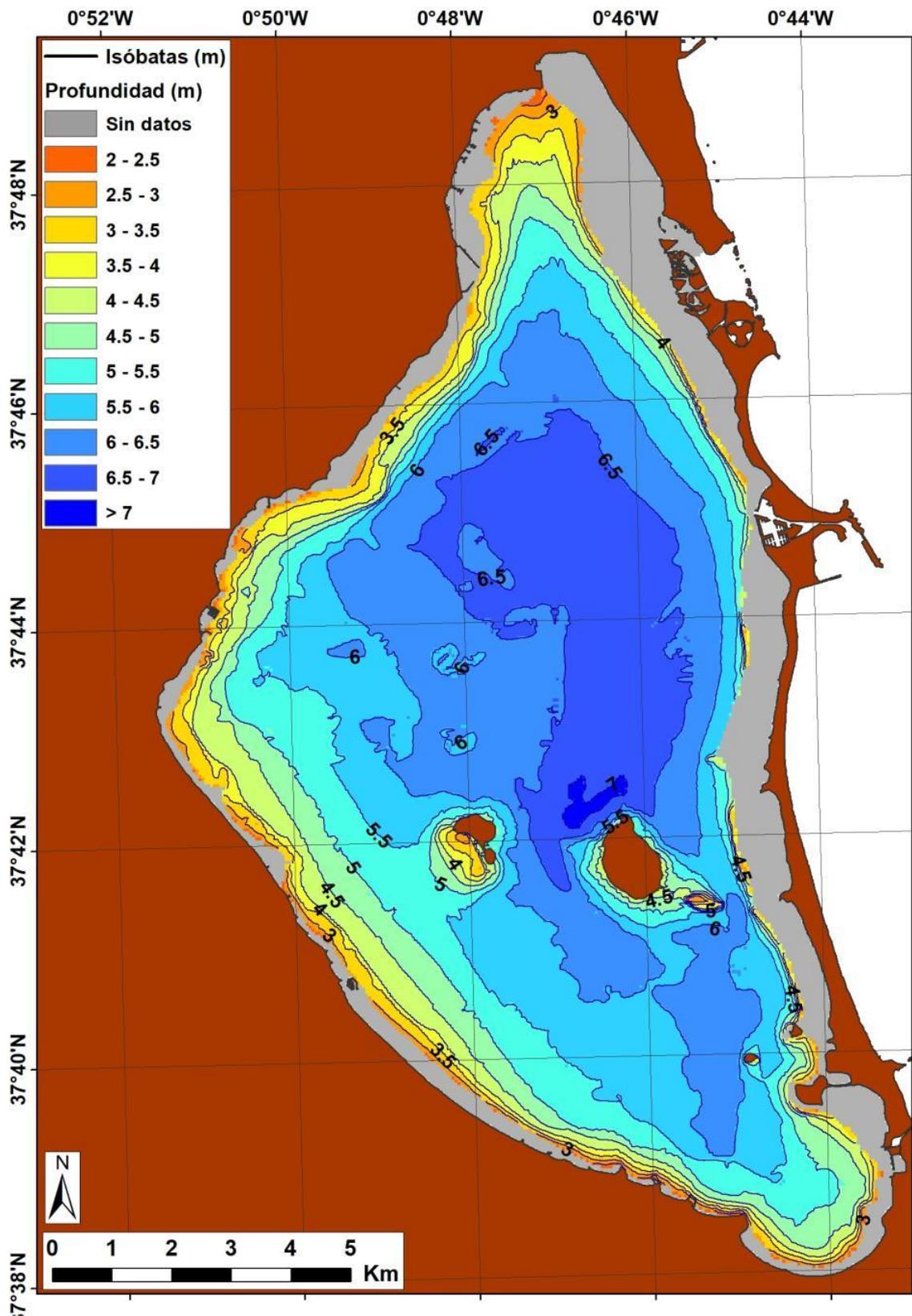


Figura 103 a.- Muestra la batimetría integrada de GeoSwath y ADCP.

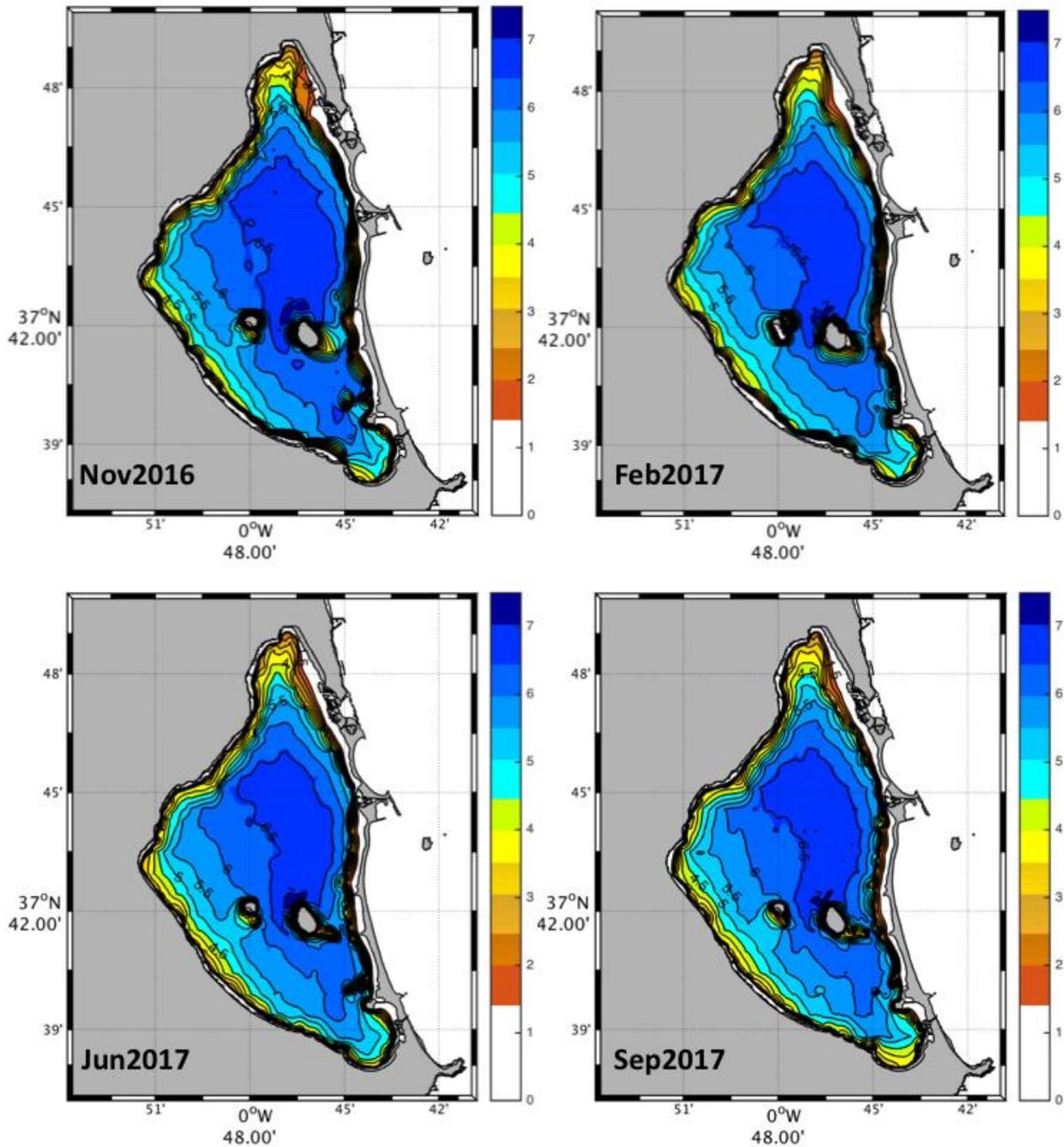


Figura 103 b.- Muestra las cuatro batimetrías interpoladas del Mar Menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017) obtenidas a partir de medidas de profundidad del ADCP.

Los datos obtenidos en estas cuatro campañas, han sido comparados con la batimetría de resolución obtenida con GeoSwath. La figura 104 muestra en el panel de la izquierda, la batimetría obtenida por el equipo GeoSwath y en el panel de la derecha, la comparativa entre estos datos de altísima precisión y resolución, con los datos batimétricos derivados de los datos del ADCP. La superposición de ambas batimetrías muestra un alto grado de correlación (ver también Fraile et al., 2018), lo que nos permite validar las batimetrías obtenidas mediante ADCP y emplearlas para un análisis comparativo de su evolución temporal en el periodo de estudio.

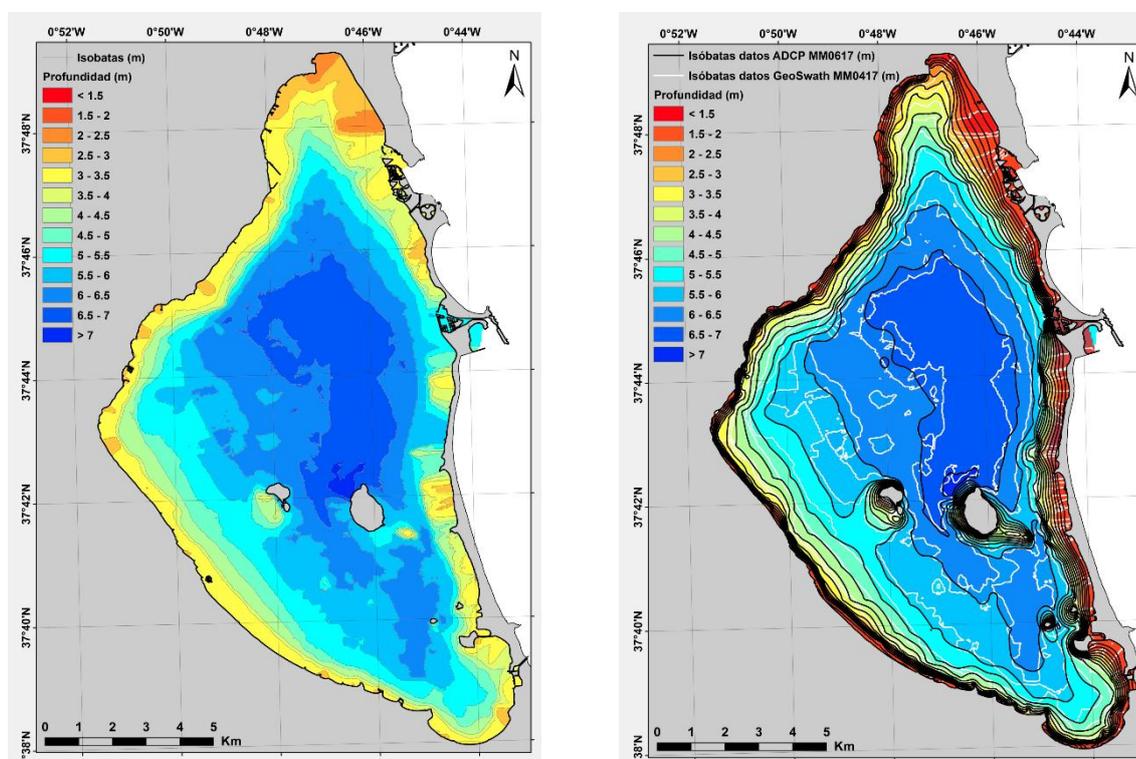


Figura 104.- Batimetría sonar interferométrico Geoswath en abril de 2017 por el IEO y el IHM, para isobatas superiores a 3 metros (panel izquierda). Comparativa batimetría GeoSwath abril17 y batimetría ADCP junio17 (panel derecha). No se deben tener en cuenta los datos menores a 3 metros.

En primer lugar se ha realizado una comparación entre la batimetría de la campaña de noviembre de 2017 (durante la crisis eutrófica) con la realizada en 2008 para las Ecocartografías de la Región de Murcia (MAGRAMA, 2008), antes de la crisis eutrófica de la laguna (Fig. 105). Los datos de dicha batimetría han sido interpolados al mismo tamaño de malla que las batimetrías obtenidas durante las cuatro campañas oceanográficas con datos de ADCP con el fin de que puedan ser comparadas. El panel de la derecha de la Figura 105

muestra la diferencia en profundidad entre ambas batimetrías en la que se observa una profundización generalizada.

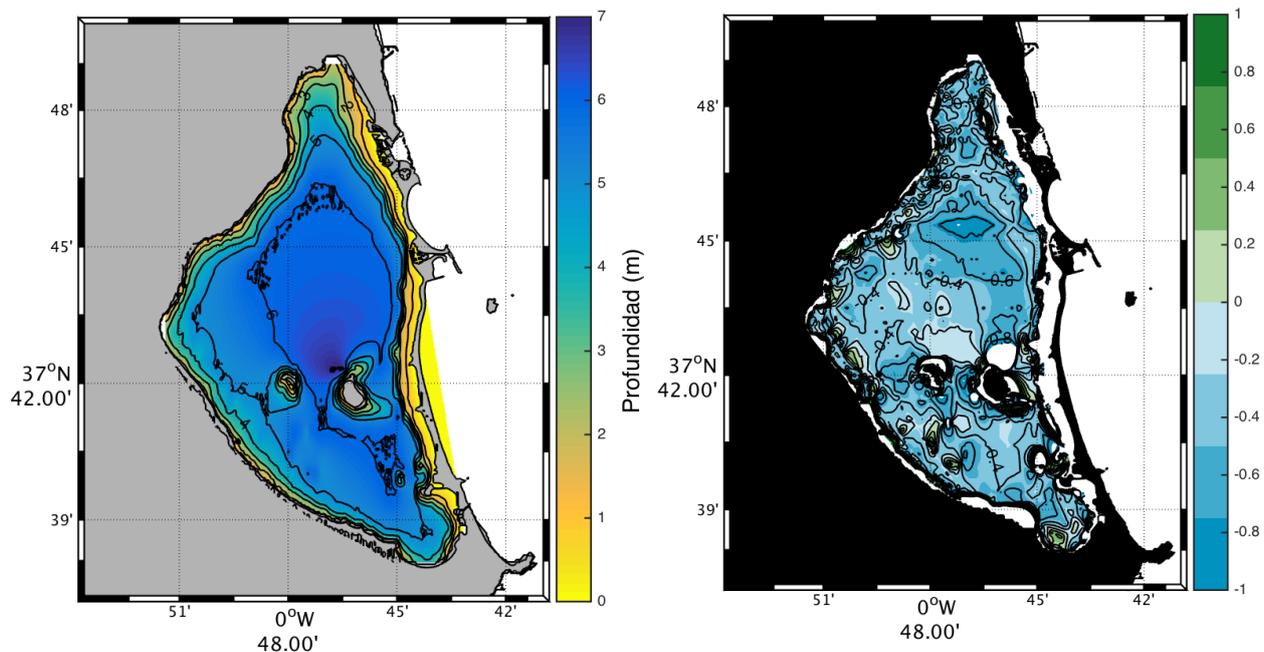


Figura 105.- Ecocartografía del 2008 para el Mar Menor (izquierda). Anomalía de profundidad para la ecocartografía de 2008 y la batimetría del IEO realizada en nov16 (derecha). Valores positivos, colmatación por procesos de sedimentación (verde) y valores negativos, profundización por procesos de erosión (azul).

La Tabla 1 muestra la profundidad media de la laguna del El Mar Menor obtenida en cada campaña oceanográfica (con ADCP) respecto a la batimetría de 2008. La serie batimétrica obtenida desde nov16 a sep17 muestra una profundidad media total de la laguna, de 4.87 m, lo que supone un aumento de 0.28 m en la profundidad media total respecto a 2008, o lo que es lo mismo, una profundización general de la laguna de 28 cm. Observando los datos por cuencas, podemos ver cómo la cuenca norte presenta una profundidad media de 5.46 m con respecto a los 5.11 m obtenidos en 2008, lo que supone una profundización media de 35 cm. La cuenca sur presenta un menor grado de profundización, pasando de una profundidad media de 4.85 m obtenidos en 2008 a 5.01 m, lo que supone 16 cm de profundización media.

Tabla 1. Profundidad media total y por cuencas para la ecocartografía de 2008 y las 4 campañas oceanográficas realizadas por el IEO (nov16, feb17, jun17 y sep17).

| Profundidad media (m) |             |        |        |        |        |
|-----------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 2008        | MM1116 | MM0217 | MM0617 | MM0917 |
| <b>Total</b>          | <b>4.58</b> | 4.90   | 4.86   | 4.86   | 4.85   |
| <b>C.Norte</b>        | <b>5.11</b> | 5.49   | 5.48   | 5.45   | 5.44   |
| <b>C.Sur</b>          | <b>4.85</b> | 5.08   | 4.95   | 5.03   | 4.98   |

Si bien, en términos absolutos, estas variaciones ponen de manifiesto una profundización neta de la laguna en el periodo 2008-septiembre 2017, en el periodo noviembre 2016-septiembre 2017, la tendencia es inversa, es decir, de colmatación (Fig. 106). Aunque la laguna en términos generales presenta una colmatación generalizada con media (+18 cm), es en la cubeta sur donde se obtiene la mayor tasa de acumulación de material con unos +21-24 cm de media. Como se ha comentado en apartados anteriores este patrón de variación bien podría reflejar el balance neto de los efectos de eventos extremos (perdida praderas marinas, riadas) sobre la dinámica sedimentaria a escala lagunar.

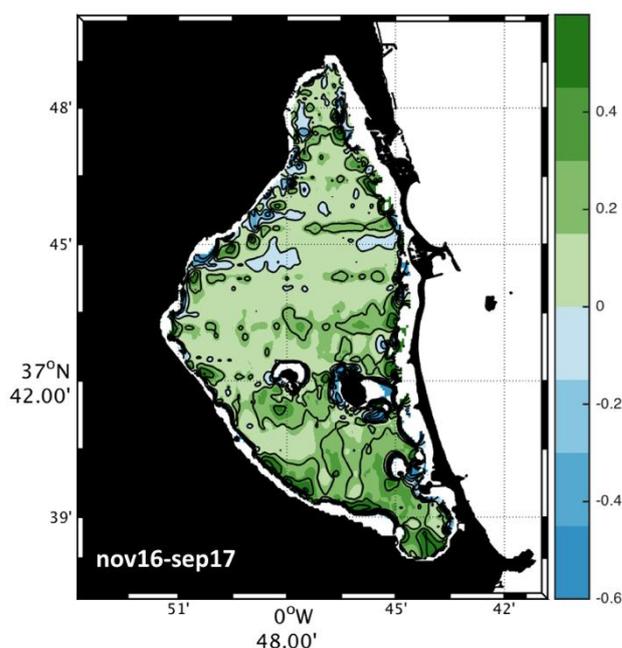


Figura 106.- Mapa de anomalía de la profundidad anual en la laguna de El Mar Menor entre nov16-sep17.

## CONCLUSIONES:

### GENERALES

Pese a su reducida dimensión y profundidad, el Mar Menor es un sistema muy complejo que actúa como una laguna costera, pero con una dinámica sedimentaria muy activa debido a diferentes factores y singularidad. Su distribución textural (tipos de fondo) corresponde a la clásica clasificación como *lagoon* de baja energía según Wanless (1976), pero puntualmente está afectado por fuertes frentes de temporales que provocan una dinámica intensamente activa en momentos muy puntuales (riadas), que podrían influir en la naturaleza observada del fondo marino y su geomorfología. Estos y otros factores, hacen que el Mar Menor sea un sistema complejo y activo que debe ser monitorizado de manera continua para dar respuesta a cuestiones específicas relativas a su estado actual, factores de riesgo, evolución y posibles escenarios futuros.

### ESPECÍFICAS

Desde el punto de vista hidrográfico, oceanográfico y geológico, y a partir de los resultados obtenidos en la campaña MM-0517, se pueden extraer las siguientes conclusiones específicas:

#### Conclusiones específicas: batimetría

- Se ha obtenido una cartografía de alta resolución de los veriles de 3, 4, 5, 6 y 7 metros, de la laguna a partir de datos de GeoSawth, que ofrecen una gran precisión gracias a la elevadísima densidad de sondas que obtiene (4000 datos/segundo). Es la primera vez que se sondea el Mar Menor con esta resolución.
- La cobertura de fondo marino sondada en este estudio equivale al 28,8% (32,63 km<sup>2</sup>) de la superficie total del fondo de la laguna a partir de 3 m (113,28 km<sup>2</sup>). Si bien esta cobertura es relativamente baja, la integración de todos los datos batimétricos disponibles (Geoswath y ADCP) ha permitido una interpolación adecuada de los datos.
- La máxima profundidad que se alcanza en la laguna se localiza en las proximidades de la isla de El Barón, con una cota batimétrica de 7,27 m. Excepto en estas zonas, en el resto de la laguna, la profundidad media oscila en un margen comprendido entre los 5 y 6 m y con fondos aplacerados entre ambos veriles.
- Estos datos, a su vez, han servido de referencia para validar la batimetría obtenida con ADCP (1 dato/segundo) lo cual ha permitido su empleo para analizar las variaciones batimétricas durante el periodo de estudio. De este análisis se obtiene que en el periodo de estudio la profundidad media total de la laguna es de 4.87 m, lo que supone un aumento de

0.28 m en la profundidad media total respecto a 2008 (Ecocartografía), o lo que es lo mismo, una profundización general de la laguna de 28 cm.

- Observando los datos por cuencas, podemos ver cómo la cuenca norte presenta una profundidad media de 5.46 m con respecto a los 5.11 m obtenidos en 2008, lo que supone una profundización media de 35 cm. La cuenca sur presenta un menor grado de profundización, pasando de una profundidad media de 4.85 m obtenidos en 2008 a 5.01 m, lo que supone 16 cm de profundización media.

- Esta profundización generalizada de la laguna bien podría reflejar el balance neto de los efectos de eventos extremos (perdida praderas marinas, riadas) sobre la dinámica sedimentaria a escala lagunar.

### **Conclusiones Específicas: Reflectividad**

- El análisis de reflectividad obtenido con GeoSwath ha permitido una caracterización general de los tipos de fondo de la laguna, diferenciando claramente entre roca, arena, fango y limo, de acuerdo con su reflectividad (de mayor a menor).

- Es particularmente interesante los fondos identificados como “limos” (los que mayor energía absorben) se localizan solo en una extensa mancha situada al sur de la laguna, coincidiendo con las áreas de mayor concentración de metales pesados identificadas en estudios anteriores por Simmoneau (1973) o De León (1983), lo que sugiere que el origen de estos sedimentos tiene relación con los aportes de residuos mineros iniciados a principios del siglo XX.

- El análisis de reflectividad permitió la identificación de una serie de “campos de manchas” que tras ser sometidos un análisis cuantitativo de la reflectividad y a comprobaciones directas *in situ* se pudo constatar su correspondencia con praderas de vegetación bentónica, mayoritariamente correspondientes al clorófito *Caulerpa prolifera*, poniendo de manifiesto su elevado potencial para su aplicación en el seguimiento de la evolución de la vegetación bentónica y su recuperación.

### **Conclusiones Específicas: Sísmica de Alta Resolución**

- La variación en la capa de sedimentos no consolidados observada en los perfiles sísmicos realizados, pone de manifiesto que en el Mar Menor existe un importante sistema dinámico activo que refleja los procesos de colmatación-erosión y que puede estar condicionado por varios factores (climáticos, perturbaciones antrópicas, etc.). Por ejemplo, la degradación de las praderas de fanerógamas y macroalgas (principalmente *Cymodocea nodosa* y *Caulerpa prolifera*), podría haber contribuido a las pérdidas de espesor de sedimento no consolidado constatado en este estudio.

- El análisis de los perfiles sísmicos de alta resolución ha permitido definir dos horizontes que acotan la capa de sedimentos no consolidados que constituyen la unidad litosísmica superior identificada en el subsuelo de la laguna, con un espesor que oscila de los 0 a los 6 metros.
- Los sedimentos no consolidados de carácter fangoso se encuentran localizados en las zonas más profundas de la cuenca, mientras que las zonas con materiales más arenosos son aquellas ubicadas en el infralitoral proximal.
- La distribución espacial de sedimentos no consolidados en el fondo de la laguna presenta un modelo de máxima potencia en la zona sur de la laguna, a su vez la parte más profunda de la cuenca. El mínimo espesor se encuentra en la parte norte y central de la cuenca, donde se alcanzan profundidades superiores a los 6 metros. El mínimo espesor de sedimentos no consolidados se localiza en la cubeta norte de la laguna, siendo aproximadamente de 1.5 metros.
- La capa considerada estrictamente como fango no presenta una potencia superior al 1 metro a lo largo de la laguna, variando entre 0,5 y 1 metro.
- El centro de la laguna presenta un espesor medio de sedimentos no consolidados de 3 metros y 0,5 metros de fango. Se ha observado un máximo de espesor de sedimentos no consolidados en el W de la laguna, a la altura de Los Alcázares.
- Existe una pérdida de la potencia de la capa de sedimentos con consolidados respecto de los trabajos realizados en el año 1990 (Díaz del Río, V., 1990), habiendo una media de 1 a 2 metros menos de espesor hoy en día.

## RECOMENDACIONES PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS PRESIONES Y RECUPERACIÓN DEL SISTEMA

Basándonos en el análisis preliminar de los resultados obtenidos durante la campaña MM-0517, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Continuar apoyando la investigación multidisciplinar de la laguna del Mar Menor con el fin de realizar estudios en tiempo presente que permitan conocer cómo funciona, desde el punto de vista físico, químico, biológico y geológico, el sistema y cómo éste evoluciona con el tiempo.
2. La densidad de datos obtenidos con GeoSwath es infinitamente superior al ADCP, y ha servido para obtener una cartografía de alta resolución de los veriles de 3 a 7 metros del fondo de la laguna, pero sería necesario la realización de nuevas campañas que permitieran un recubrimiento 100% del fondo marino, no solo para poder generar una cartografía completa de referencia, sino además, para poder estudiar la evolución y dinámica sedimentaria de la cuenca. En este mismo sentido es necesario realizar la batimetría precisa de las zonas entre 0 y 3 m para, tras integrarlo con los datos de este estudio, obtener una batimetría completa de la laguna.
3. En ese sentido, se recomienda la instalación de un mareógrafo permanente en San Pedro del pinatar, para poder obtener una medida continua y monitorizar el balance del nivel del mar, necesario además para el cálculo del nivel de referencia de las batimetrías.
4. Incorporar metodologías acústicas (SBL) en el seguimiento a largo plazo de la recuperación de las praderas marinas del Mar Menor.
5. Continuar profundizando en el conocimiento de la naturaleza geológica del fondo de la laguna para determinar la composición y origen de los fangos acumulados en el Mar Menor.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad de Murcia (OISMA) así como por el Instituto Español de Oceanografía y en colaboración con el Instituto Hidrográfico de la Marina. Se agradece igualmente la colaboración del Club Nautico de Lo Pagán, que ha permitido altruistamente el refugio de los barcos empleados en las campañas. Este trabajo, ha sido posible gracias al empeño, colaboración y buen hacer de muchas personas ya sean investigadores/as, hidrógrafos/as, técnicos/as, becarios/as, etc., y por todo ello, muchísimas gracias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, V.M., González-Real, M.M., Baille, A., Martínez, J.M.M., 2007. A novel approach for estimating the pan coefficient of irrigation water reservoirs. *Agricultural Water Management* 92, 29–40. doi:10.1016/j.agwat.2007.04.011
- Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Santos-Echeandia, J., García-Moreno, P. y Ruiz, J.M. (2017). Evaluación del estado de conservación de las praderas de *Cymodocea nodosa* en la laguna costera del Mar Menor. 2014-2016. Informe del Instituto Español de Oceanografía y la Asociación de Naturalistas del Sureste. Murcia. 235 pp.
- Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., García-Moreno, P. y Ruiz, J.M. (2017). Cartografía de los macrófitos bentónicos de la laguna costera del Mar Menor 2017. Informe del Instituto Español de Oceanografía y la Asociación de Naturalistas del Sureste. Murcia. 61 pp.
- Benedicto Albaladejo J, L Marín Guirao, J Guerrero Pérez. 2009. Contaminación por metales y compuestos órgano-estánicos en el Mar Menor. En: Instituto Euromediterráneo del Agua (Ed.) *El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico*. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Murcia, España, 359-398.
- Dassenakis, M., Garcia, G., Diamantopoulou, E., Girona, J.D., Garcia-Marin, E.M., Filippi, G., Fioraki, V., 2012. The impact of mining activities on the hypersaline Mar Menor lagoon. *Desalination and Water Treatment* 13, 282–289. doi:10.5004/dwt.2010.1036
- De León AR, Guerrero J, Faraco F. 1982. Evolution of the pollution of the coastal lagoon of Mar Menor. VI Journées Étud. Pollutions , CIESM Abstract book, Cannes, Fr, 355-358.
- De Pascalis, F., Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Marcos, C., Umgiesser, G., 2012. Climate change response of the Mar Menor coastal lagoon (Spain) using a hydrodynamic finite element model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 114, 118–129. doi:10.1016/j.ecss.2011.12.002
- Del Río, V.D., 1990. Estudio ecológico del Mar Menor. *Geologia*.
- Franco, A., Pérez-Ruzafa, A., Drouineau, H., Franzoi, P., Koutrakis, E.T., Lepage, M., Verdiell-Cubedo, D., Bouchoucha, M., López-Capel, A., Riccato, F., Sapounidis, A., Marcos, C., Oliva-Paterna, F.J., Torralva-Forero, M., Torricelli, P., 2012. Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: Effect of sampling method. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 112, 115–125. doi:10.1016/j.ecss.2011.08.015
- García, G., Muñoz-Vera, A., 2015. Characterization and evolution of the sediments of a Mediterranean coastal lagoon located next to a former mining area. *MARINE POLLUTION BULLETIN* 100, 249–263. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.08.042
- García-Pintado, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G.G., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 2007. Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *Science of The Total Environment* 373, 220–239. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.10.046.

- Leon, V.M y J.M. Bellido. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado. Madrid, Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad, 2016. 414 p. Temas de Oceanografía, 9. ISBN 978-84-95877-55-0.  
IHM, 2015. Cata Náutica IHM 471\_A: Mar Menor, 1967, actualización 2015.
- León, V.M., Martínez-Gómez, C., García, I., Campillo, J.A., Benedicto, J. (2013): Spatial distribution and temporal trends of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus galloprovincialis* from the Iberian Mediterranean coast. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2): 1055-1070.
- León, V.M., García, I., Martínez-Gómez, C., Campillo, J.A., Benedicto, J. (2014): Heterogeneous distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments and red mullet along the Spanish Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 87: 352-363.
- León, V.M., Moreno-González, R., García, V., Campillo, J.A. (2017): Impact of flash flood events on the distribution of organic pollutants in surface sediments from a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, SE Spain). *Environmental Science and Pollution Research* 24(5): 4284–4300.
- Lloret, A Marín, L. Marín-Guirao, J. Velasco. 2005. Changes in macrophyte distribution in a hypersaline coastal lagoon associated with the development of intensively irrigated agricultura. *Ocean & Coastal Management* 48: 828-842.
- MAGRAMA, 2008. Ecocartografías, 2008. I Plan de Ecocartografías del litoral español. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar (MAPAMA).
- Marín-Guirao, L., Lloret, J., Marín, A., García, G., García-Fernández, A.J. (2007): Pulse-discharges of mining wastes into a coastal lagoon: Water chemistry and toxicity. *Chemistry and Ecology*, 23: 217-231.
- Martínez-Álvarez, V., Gallego-Elvira, B., Maestre-Valero, J.F., Tanguy, M., 2011a. Simultaneous solution for water, heat and salt balances in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91, 250–261. doi:10.1016/j.ecss.2010.10.030
- Martínez-Álvarez, V., Gallego-Elvira, B., Maestre-Valero, J.F., Tanguy, M., 2011b. Simultaneous solution for water, heat and salt balances in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91, 250–261. doi:10.1016/j.ecss.2010.10.030
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M.-A., Martínez-Paz, J.-M., Carreño, M.-F., Martínez-López, J., Robledano, F., Farinós, P., 2014. Trade-Offs Between Biodiversity Conservation and Nutrients Removal in Wetlands of Arid Intensive Agricultural Basins, in: *Ecological Modelling and Engineering of Lakes and Wetlands, Developments in Environmental Modelling*. Elsevier, pp. 275–310. doi:10.1016/B978-0-444-63249-4.00012-9
- Martínez Fernández, J., Esteve Selma, M.A., Martínez Paz, J.M., Carreño, M.F., López Martínez, J., Robledano, F., Farinós, P. , 2014: Trade-offs between biodiversity conservation and nutrientes removal in wetlands of arid intensive agricultural basins: the Mar Menor case, Spain. En: *Developments in Environmental Modelling*, 26: 275-310.
- Más Hernández, J., 1994: *El Mar Menor. Relaciones, diferencias y afinidades entre la laguna costera y el Mediterráneo adyacente*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 121 pp.

- Moreno-González, R., Campillo, J.A., García, V., León, V.M. (2013): Seasonal input of regulated and emerging organic pollutants through surface watercourses to a Mediterranean coastal lagoon. *Chemosphere*, 92: 247-257.
- Moreno-González, R., Rodríguez-Mozaz, S., Gros, M., Pérez-Cánovas, E., Barceló, D., León, V.M. (2014): Input of pharmaceuticals through coastal surface watercourses into a Mediterranean lagoon (Mar Menor, SE Spain): sources and seasonal variations. *The Science of the Total Environment*, 490: 59-72.
- Pérez-Ruzafa, A., Fernández, A.I., Marcos, C., Gilabert, J., Quispe, J.I., García-Charton, J.A., 2005. Spatial and temporal variations of hydrological conditions, nutrients and chlorophyll a in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain), in: Presented at the Hydrobiologia, pp. 11–27. doi:10.1007/s10750-005-4356-2
- Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Gutiérrez, J.M., Fernández, A.I., Marcos, C., Sabah, S., 2002. Evidence of a Planktonic Food Web Response to Changes in Nutrient Input Dynamics in the Mar Menor Coastal Lagoon, Spain. *Hydrobiologia* 475/476, 359–369. doi:10.1023/A:1020343510060
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Bernal, C.M., Quintino, V., Freitas, R., Rodrigues, A.M., García-Sánchez, M., Pérez-Ruzafa, I.M., 2012. *Cymodocea nodosa* vs. *Caulerpa prolifera*: Causes and consequences of a long term history of interaction in macrophyte meadows in the Mar Menor coastal lagoon (Spain, southwestern Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 110, 101–115. doi:10.1016/j.ecss.2012.04.004
- Ruiz, J Bernardeau-Esteller, JA García Charton, V León León. 2017. Amenazas ambientales en el medio marino costero de la Región de Murcia: Mar Menor y Mar Mediterráneo. En: C Conesa García y P Pérez Cutillas (Eds.) Los riesgos ambientales en la Región de Murcia. Editum, Universidad de Murcia, Murcia, España, pp: 213-248.
- Salas, F., Teixeira, H., Marcos, C., Marques, J.C., Pérez-Ruzafa, A., 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES Journal of Marine Science* 65, 1442–1448. doi:10.1093/icesjms/fsn123.
- Simonneau J. 1973. Mar Menor (Province de Murcia-Espagne). Evolution sedimentologique et geochimique recenté du remplissage. Université Paul Sabatier de Toulouse (Sciences). 352
- Terrados, J.,1991: Crecimiento y producción de las praderas de macrófitos del Mar menor, Murcia. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 229 pp.
- Wanless, J.T., 1976. Intracoastal setimentation. *Marine Sediment Transport and Enviromental Mangement*. Ed. Stanley and Swift. Pp: 221-254.

# ANEXO A

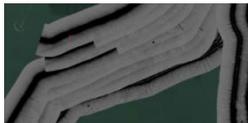
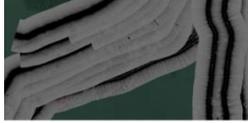
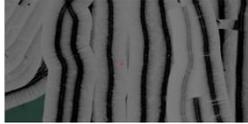
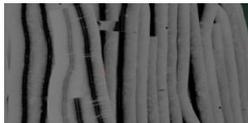
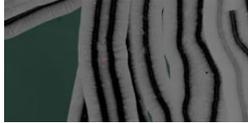
## LISTADO DE PUNTOS DE COMPROBACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE REFLECTIVIDAD

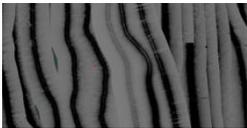
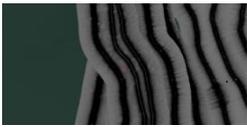
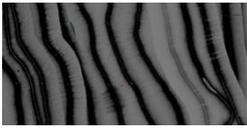
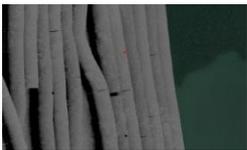
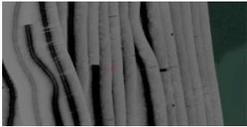
**DATUM:** ETRS89

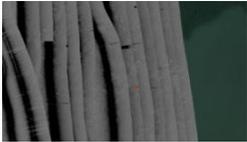
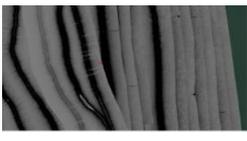
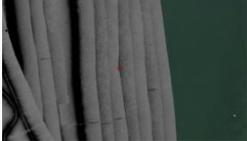
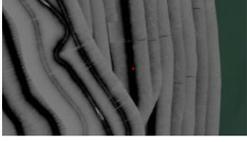
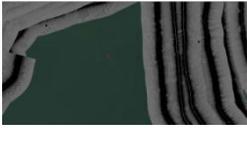
**OBSERVACIONES:**

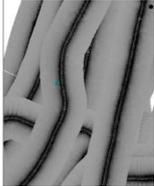
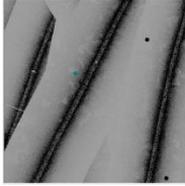
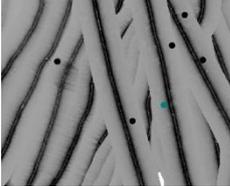
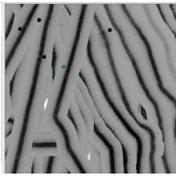
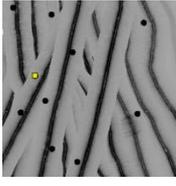
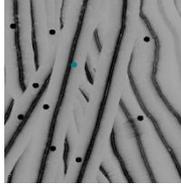
- Posiciones con correcciones RTK, si se usa un DGPS debe de asumirse un error de entre 1 y 3 metros, si se usa un GPS comercial el error será mayor.
- Nº ID va correlacionado con el OBJNAME del fichero shape que se adjunta en formato digital.

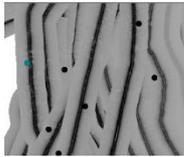
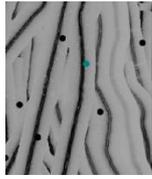
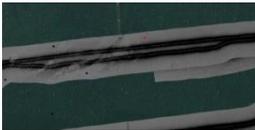
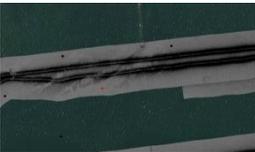
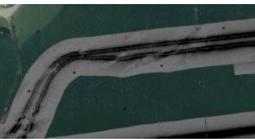
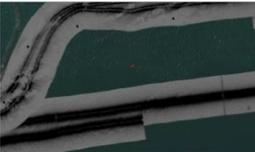
| Nº ID                | GPS                           | ZONA                                                                                | IMAGEN                                                                               | OBSERVACIONES |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| CAMPO1 (PRIORIDAD 1) |                               |                                                                                     |                                                                                      |               |
| 1                    | 37-48-40.28N<br>000-46-54.23W |  |  |               |
| 2                    | 37-48-41.07N<br>000-47-01.85W |  |  |               |
| 3                    | 37-48-38.65N<br>000-47-12.02W |  |  |               |

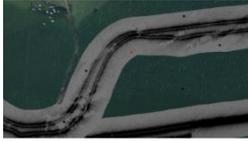
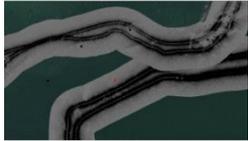
|   |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|---|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 4 | 37-48-33.54N<br>000-47-17.20W |    |    |  |
| 5 | 37-48-34.15N<br>000-47-25.50W |    |    |  |
| 6 | 37-48-28.61N<br>000-47-23.78W |   |   |  |
| 7 | 37-48-33.77N<br>000-47-02.94W |  |  |  |
| 8 | 37-48-33.11N<br>000-46-52.76W |  |  |  |
| 9 | 37-48-27.04N<br>000-47-08.62W |  |  |  |

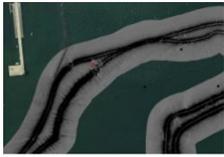
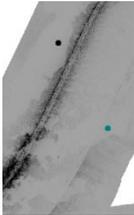
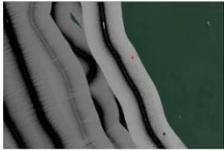
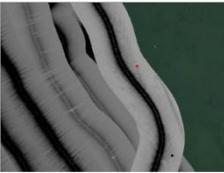
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 10 | 37-48-26.11N<br>000-46-58.34W |    |    |  |
| 11 | 37-48-19.39N<br>000-47-09.55W |    |    |  |
| 12 | 37-48-18.04N<br>000-46-59.29W |   |   |  |
| 13 | 37-48-36.43N<br>000-46-46.53W |  |  |  |
| 14 | 37-48-29.97N<br>000-46-41.41W |  |  |  |
| 15 | 37-48-27.37N<br>000-46-47.45W |  |  |  |

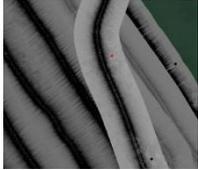
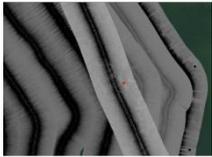
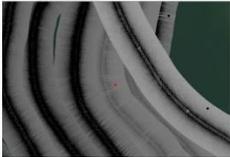
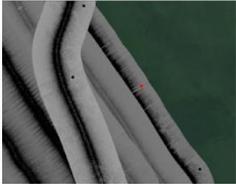
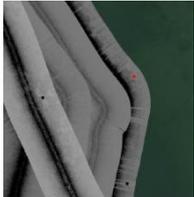
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 16 | 37-48-24.41N<br>000-46-41.46W |    |    |  |
| 17 | 37-48-20.94N<br>000-46-49.17W |    |    |  |
| 18 | 37-48-18.29N<br>000-46-40.11W |   |   |  |
| 19 | 37-48-12.83N<br>000-46-42.93W |  |  |  |
| 20 | 37-48-26.06N<br>000-47-17.69W |  |  |  |
| 21 | 37-48-06.94N<br>000-46-38.41W |  |  |  |

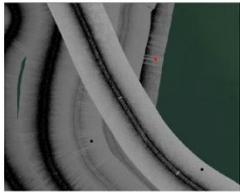
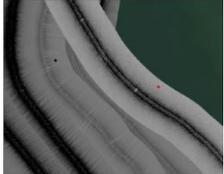
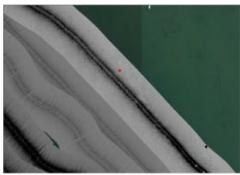
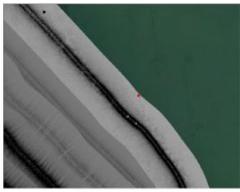
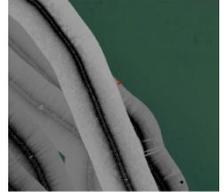
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 22 | 37-48-10.67N<br>000-47-16.07W |    |    |  |
| 23 | 37-48-18.39N<br>000-47-12.34W |    |    |  |
| 24 | 37-48-15.09N<br>000-47-08.93W |   |   |  |
| 25 | 37-48-13.88N<br>000-47-06.15W |  |  |  |
| 26 | 37-48-21.60N<br>000-47-10.61W |  |  |  |
| 27 | 37-48-23.64N<br>000-47-06.39W |  |  |  |

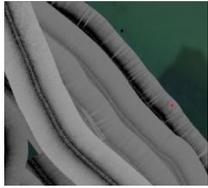
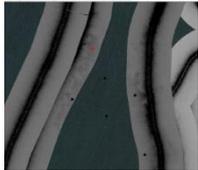
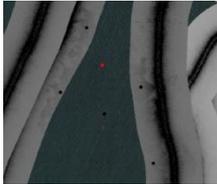
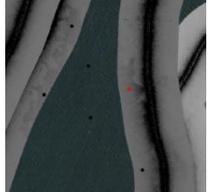
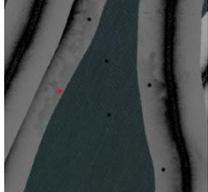
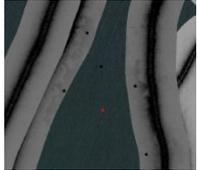
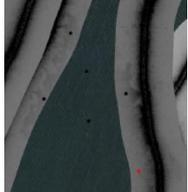
|                       |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 28                    | 37-48-27.73N<br>000-47-12.90W |    |    |  |
| 29                    | 37-48-31.09N<br>000-46-59.98W |    |    |  |
| CAMPO 2 (PRIORIDAD 1) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 30                    | 37-45-13.65N<br>000-49-32.84W |   |   |  |
| 31                    | 37-45-11.06N<br>000-49-38.44W |  |  |  |
| 32                    | 37-45-13.16N<br>000-49-41.55W |  |  |  |
| 33                    | 37-45-08.06N<br>000-49-41.82W |  |  |  |

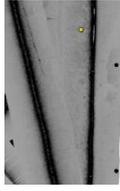
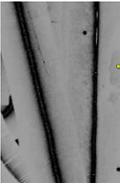
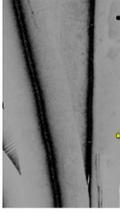
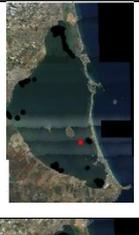
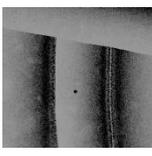
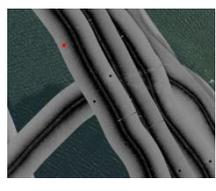
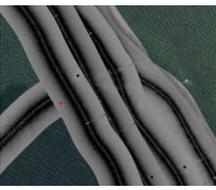
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 34 | 37-45-10.70N<br>000-49-46.23W |    |    |  |
| 35 | 37-45-09.46N<br>000-49-50.28W |    |    |  |
| 36 | 37-45-05.91N<br>000-49-52.33W |   |    |  |
| 37 | 37-45-06.73N<br>000-49-59.18W |  |  |  |
| 38 | 37-45-03.22N<br>000-50-00.60W |  |  |  |
| 39 | 37-45-05.64N<br>000-50-03.51W |  |  |  |
| 40 | 37-45-03.28N<br>000-50-06.52W |  |  |  |

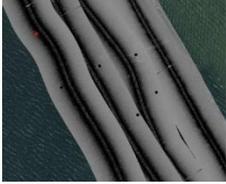
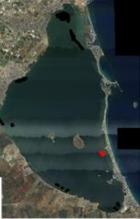
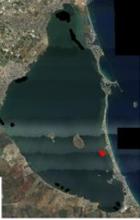
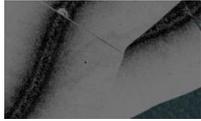
|                       |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 41                    | 37-45-04.85N<br>000-50-10.68W |    |    |  |
| 42                    | 37-44-54.20N<br>000-50-03.79W |    |    |  |
| 43                    | 37-45-00.05N<br>000-50-05.15W |   |    |  |
| 44                    | 37-45-07.69N<br>000-49-49.06W |  |  |  |
| CAMPO 3 (PRIORIDAD 2) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 45                    | 37-47-42.98N<br>000-46-33.76W |  |  |  |
| 46                    | 37-47-37.85N<br>000-46-31.28W |  |  |  |

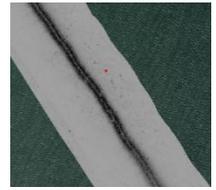
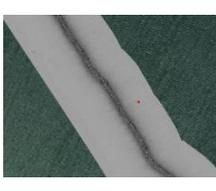
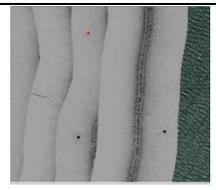
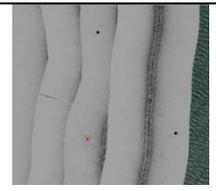
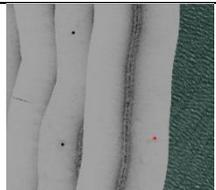
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 47 | 37-47-32.64N<br>000-46-28.90W |    |    |  |
| 48 | 37-47-28.86N<br>000-46-29.74W |    |    |  |
| 49 | 37-47-22.86N<br>000-46-27.06W |   |   |  |
| 50 | 37-47-14.33N<br>000-46-26.26W |  |  |  |
| 51 | 37-47-28.31N<br>000-46-25.18W |  |  |  |
| 52 | 37-47-23.80N<br>000-46-21.41W |  |  |  |

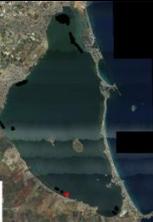
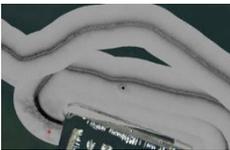
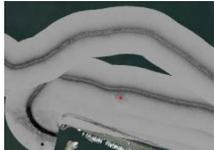
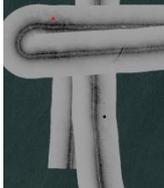
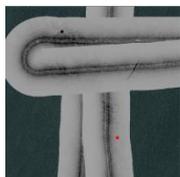
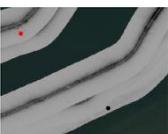
|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 53 | 37-47-18.51N<br>000-46-21.99W |    |    |  |
| 54 | 37-47-12.72N<br>000-46-19.13W |    |    |  |
| 55 | 37-47-07.60N<br>000-46-12.76W |   |   |  |
| 56 | 37-47-03.04N<br>000-46-06.60W |  |  |  |
| 57 | 37-46-57.21N<br>000-46-01.41W |  |  |  |
| 58 | 37-46-52.14N<br>000-45-57.60W |  |  |  |
| 59 | 37-46-48.15N<br>000-45-52.35W |  |  |  |

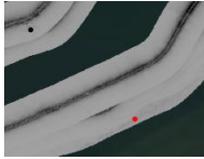
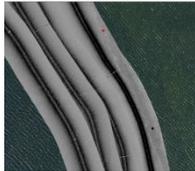
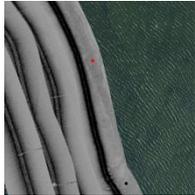
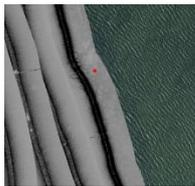
|                                    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 60                                 | 37-46-44.20N<br>000-45-49.21W |    |    |  |
| ZONA C (PRIORIDAD 3)               |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 61                                 | 37-38-25.67N<br>000-43-47.04W |    |    |  |
| 62                                 | 37-38-23.94N<br>000-43-46.20W |   |   |  |
| 63                                 | 37-38-22.90N<br>000-43-44.03W |  |  |  |
| 64                                 | 37-38-22.75N<br>000-43-48.62W |  |  |  |
| 65                                 | 37-38-21.72N<br>000-43-46.15W |  |  |  |
| 66                                 | 37-38-19.41N<br>000-43-43.43W |  |  |  |
| OTROS PUNTOS INTERÉS (PRIORIDAD 4) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |

|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 67 | 37-48-03.38N<br>000-46-35.98W |    |    |  |
| 68 | 37-48-01.75N<br>000-46-34.03W |    |    |  |
| 69 | 37-47-56.93N<br>000-46-34.18W |   |   |  |
| 70 | 37-41-01.49N<br>000-45-22.52W |  |  |  |
| 71 | 37-41-13.39N<br>000-44-49.77W |  |  |  |
| 72 | 37-41-11.25N<br>000-44-45.95W |  |  |  |
| 73 | 37-41-09.56N<br>000-44-47.36W |  |  |  |

|                      |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 74                   | 37-41-06.64N<br>000-44-44.75W |    |    |  |
| 75                   | 37-41-03.58N<br>000-44-43.07W |    |    |  |
| 76                   | 37-41-04.74N<br>000-44-40.32W |    |    |  |
| 77                   | 37-41-05.33N<br>000-44-37.73W |  |  |  |
| 78                   | 37-41-03.18N<br>000-44-36.35W |  |  |  |
| 79                   | 37-41-01.93N<br>000-44-37.71W |  |  |  |
| 80                   | 37-38-29.34N<br>000-44-03.94W |  |  |  |
| ZONA B (PRIORIDAD 5) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |

|                      |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 81                   | 37-43-04.71N<br>000-51-20.98W |    |    |  |
| 82                   | 37-42-55.84N<br>000-51-14.46W |    |    |  |
| 83                   | 37-42-48.58N<br>000-51-08.62W |   |   |  |
| ZONA A (PRIORIDAD 6) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 84                   | 37-42-46.65N<br>000-50-32.03W |  |  |  |
| 85                   | 37-42-43.28N<br>000-50-32.53W |  |  |  |
| 86                   | 37-42-43.41N<br>000-50-29.05W |  |  |  |
| ZONA D (PRIORIDAD 7) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 87                   | 37-39-30.84N<br>000-47-44.33W |  |  |  |

|                                       |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 88                                    | 37-39-27.79N<br>000-47-38.11W |    |    |  |
| 89                                    | 37-39-19.63N<br>000-47-22.33W |    |    |  |
| OTROS PUNTOS DE INTERÉS (PRIORIDAD 8) |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
| 90                                    | 37-39-09.58N<br>000-47-04.81W |   |   |  |
| 91                                    | 37-39-11.99N<br>000-46-59.41W |  |  |  |
| 92                                    | 37-39-37.73N<br>000-47-26.48W |  |  |  |
| 93                                    | 37-39-31.91N<br>000-47-22.89W |  |  |  |
| 94                                    | 37-38-11.66N<br>000-43-58.40W |  |  |  |

|    |                               |                                                                                     |                                                                                      |  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 95 | 37-38-06.26N<br>000-43-50.83W |    |    |  |
| 96 | 37-40-54.06N<br>000-44-27.26W |    |    |  |
| 97 | 37-40-46.87N<br>000-44-23.00W |    |    |  |
| 98 | 37-40-39.88N<br>000-44-20.83W |  |  |  |

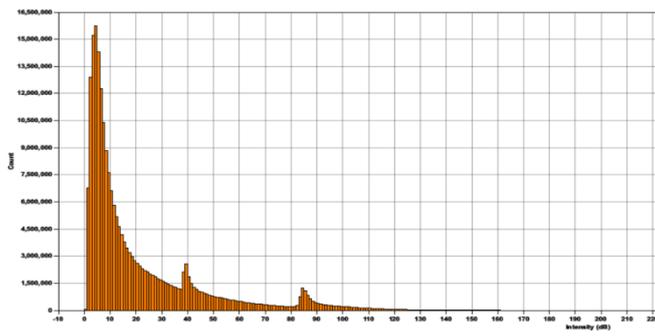
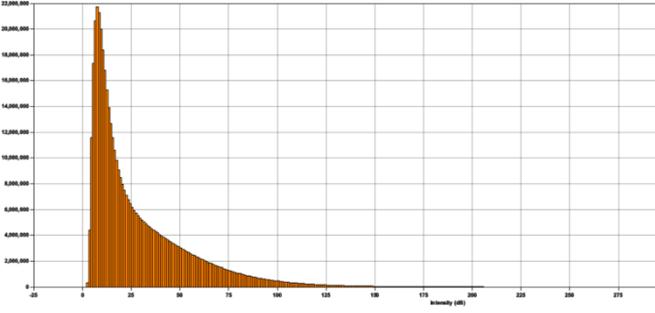
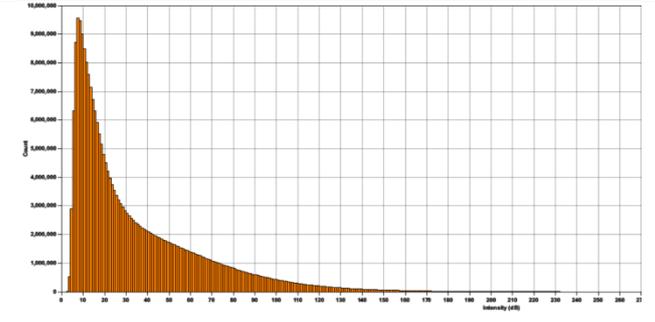
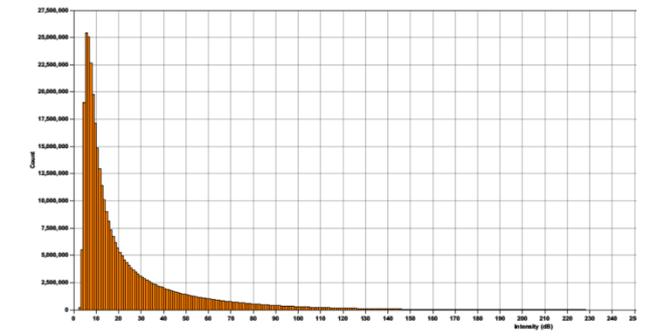
**Tabla 1.** Resultados de las comprobaciones in situ realizadas en la lista de puntos de comprobación para el análisis de reflectividad por el equipo de Ecología de Angiospermas Marinas del Centro Oceanográfico de Murcia.

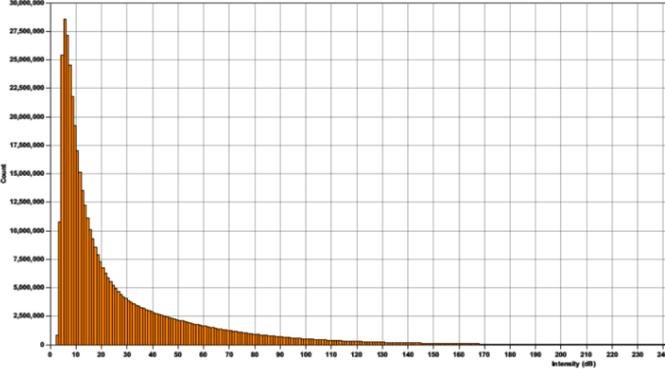
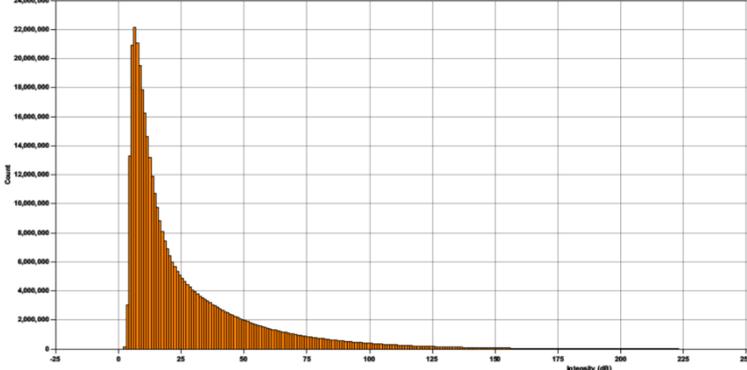
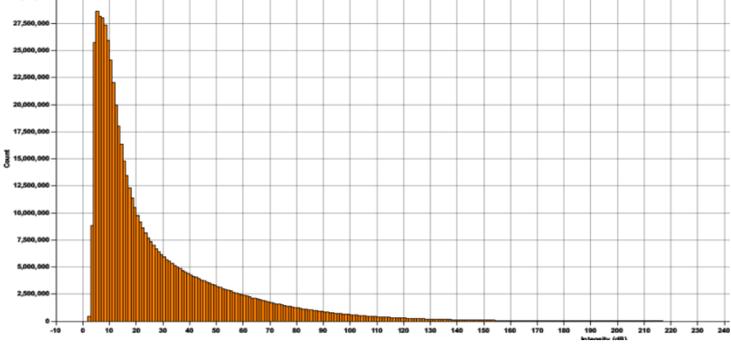
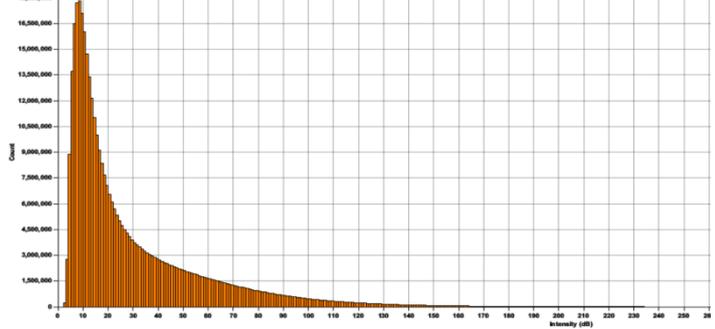
| ID | ZONA    | Cau % | Cym. % | Sustrato       |
|----|---------|-------|--------|----------------|
|    |         | 100   | 0      | FANGO          |
| 1  | CAMPO 1 | 85    | 0      | FANGO          |
| 2  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 3  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 4  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 5  | CAMPO 1 | 80    | 0      | FANGO/ cascajo |
| 6  | CAMPO 1 | 60    | 0      | FANGO          |
| 8  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 7  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 9  | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 10 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 11 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 12 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 13 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 14 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 15 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 16 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO/ cascajo |
| 17 | CAMPO 1 | 90    | 0      | FANGO          |
| 18 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO/ cascajo |
| 19 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO/ cascajo |
| 20 | CAMPO 1 | 5     | 0      | FANGO          |
| 21 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 22 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO/ cascajo |
| 23 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 24 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 25 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 26 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 27 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 28 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 29 | CAMPO 1 | 100   | 0      | FANGO          |
| 30 | CAMPO 2 | 60    | 0      | FANGO/ cascajo |
| 31 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 32 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 33 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 34 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 35 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 36 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 37 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 38 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 39 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 40 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 41 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 42 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 43 | CAMPO 2 | 100   | 0      | FANGO          |
| 44 | CAMPO 2 | 75    | 0      | FANGO          |
| 45 | CAMPO 3 | 100   | 0      | FANGO          |
| 46 | CAMPO 3 | 75    | 0      | FANGO/ cascajo |
| 47 | CAMPO 3 | 80    | 0      | FANGO/ cascajo |
| 48 | CAMPO 3 | 100   | 0      | FANGO          |
| 49 | CAMPO 3 | 100   | 0      | FANGO          |
| 50 | CAMPO 3 | 100   | 0      | FANGO          |
| 51 | CAMPO 3 | 85    | 0      | FANGO/ cascajo |
| 52 | CAMPO 3 | 100   | 0      | ARENAS GRUESAS |

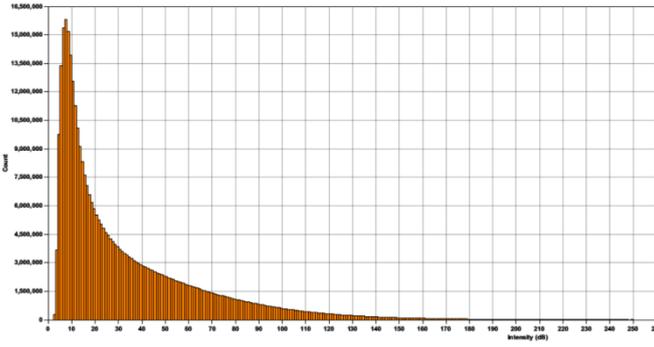
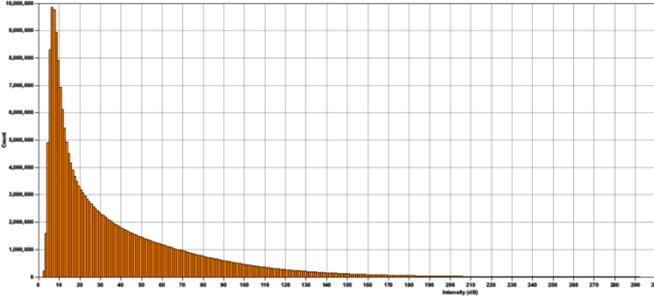
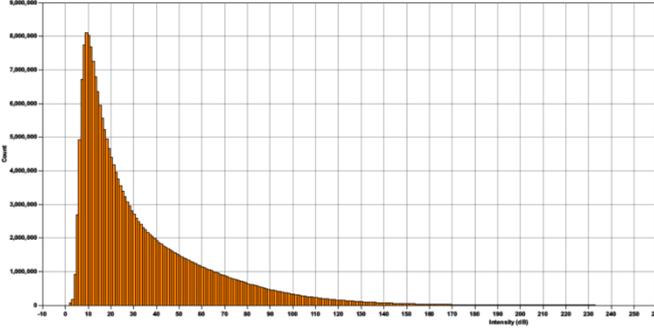
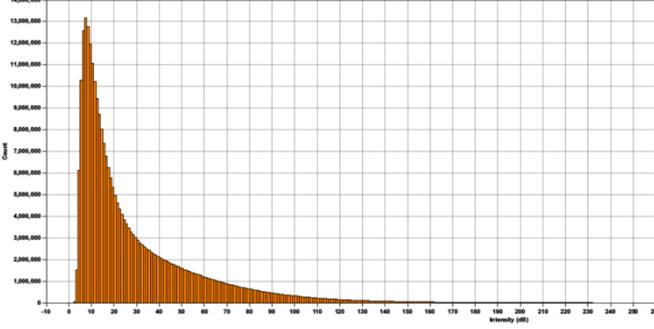
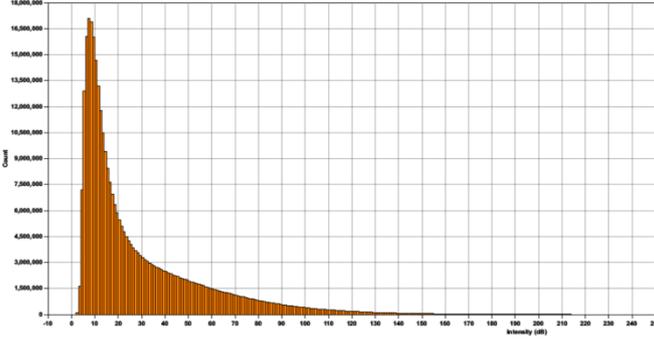
|    |                     |     |    |                      |
|----|---------------------|-----|----|----------------------|
| 53 | CAMPO 3             | 100 | 0  | FANGO                |
| 54 | CAMPO 3             | 100 | 0  | ARENA/POCO CASCAJO   |
| 55 | CAMPO 3             | 100 | 0  | ARENA/POCO CASCAJO   |
| 56 | CAMPO 3             | 60  | 0  | ARENA/CASCAJO        |
| 57 | CAMPO 3             | 10  | 0  | ARENA/CASCAJO        |
| 58 | CAMPO 3             | 100 | 0  | ARENA/CASCAJO        |
| 59 | CAMPO 3             | 100 | 0  | ARENA/CASCAJO        |
| 60 | CAMPO 3             | 100 | 0  | ARENA GRUESA         |
| 61 | ZONA C              | 5   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 62 | ZONA C              | 50  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 63 | ZONA C              | 0   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 64 | ZONA C              | 75  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 65 | ZONA C              | 0   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 66 | ZONA C              | 1   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 67 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 100 | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 68 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 10  | 90 | ARENA/CASCAJO        |
| 69 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 10  | 90 | ARENA/POCO CASCAJO   |
| 70 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | nd  |    | FANGO/ cascajo       |
| 71 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 1   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 72 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 75  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 73 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 0   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 74 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 1   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 75 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 5   | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 76 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 90  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 77 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 90  | 0  | FANGO                |
| 78 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 30  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 79 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 15  | 0  | FANGO/ cascajo       |
| 88 | OTRAS ZONAS PRIOR 4 | 15  | 0  | FANGO                |
| 81 | ZONA B              | 30  | 0  | ROCA                 |
| 82 | ZONA B              | 100 | 0  | FANGO                |
| 83 | ZONA B              | 5   | 0  | FANGO                |
| 84 | ZONA A              | 5   | 0  | FANGO                |
| 85 | ZONA A              | 5   | 0  | FANGO                |
| 86 | ZONA A              | 5   | 0  | FANGO                |
| 87 | ZONA D              | 80  | 80 | ARENA/CASCAJO        |
| 88 | ZONA D              | 80  | 80 | ARENA/CASCAJO        |
| 89 | ZONA D              | 95  | 0  | ARENA/CASCAJO        |
| 90 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 40  | 40 | ARENA GRUESA/CASCAJO |
| 91 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 100 | 0  | FANGO                |
| 92 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 100 | 0  | FANGO                |
| 93 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 100 | 0  | FANGO                |
| 94 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 100 | 0  | FANGO                |
| 95 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 100 | 0  | FANGO                |
| 96 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 0   | 0  | FANGO                |
| 98 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 0   | 40 | ARENA/POCO CASCAJO   |
| 97 | OTRAS ZONAS PRIOR 8 | 0   | 40 | ARENA/POCO CASCAJO   |

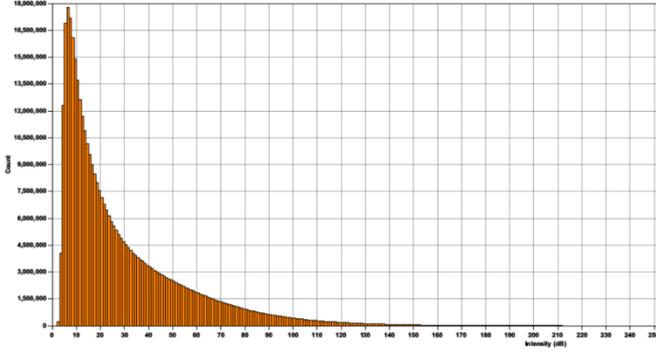
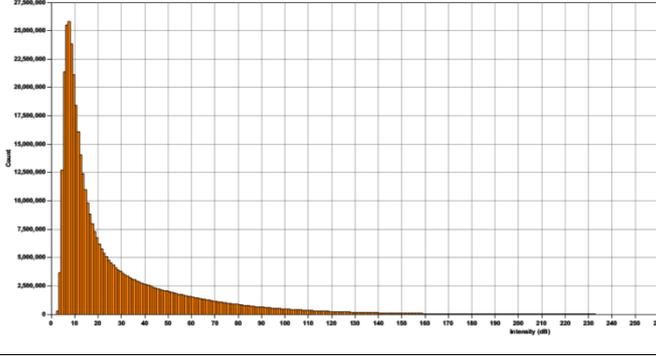
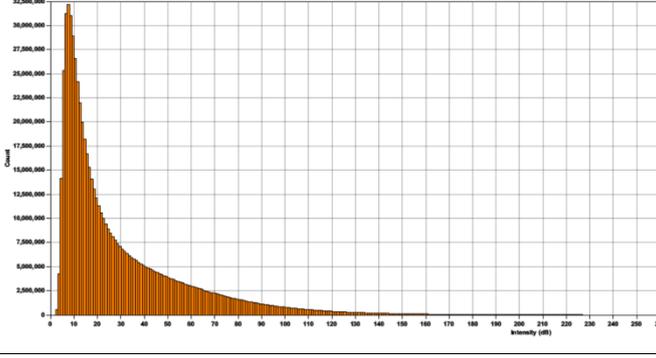
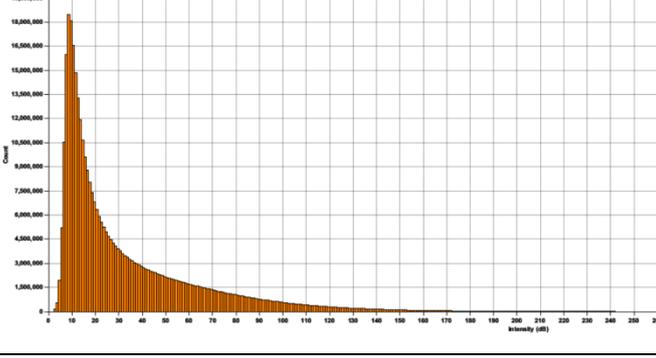
# **ANEXO B**

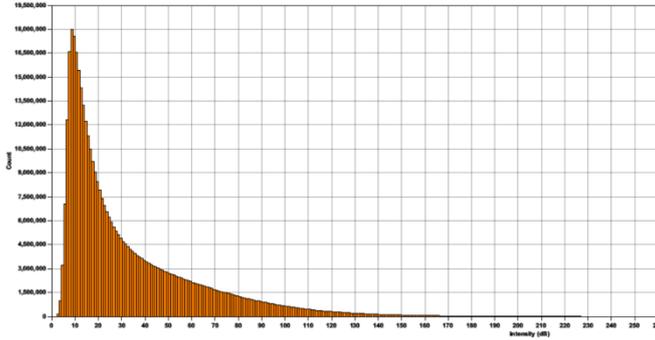
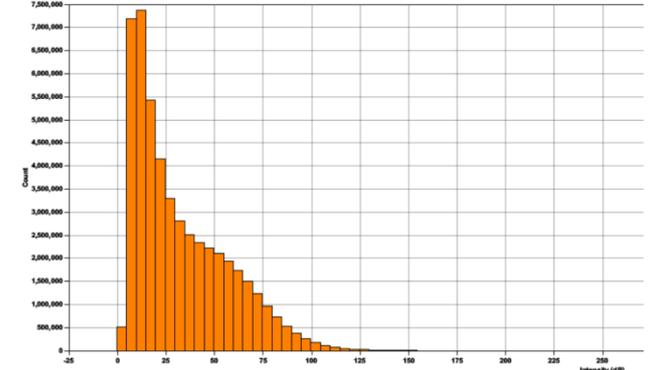
## **ESTADÍSTICA REFLECTIVIDAD**

| .CSAR    | GRÁFICO                                                                              | .CRF     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 26_04_17 |    | MM0417_4 |
| 27_04_17 |   | MM0417_4 |
| 28_04_17 |  | MM0417_4 |
| 01_05_17 |  | MM0417_5 |

|          |                                                                                      |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 02_05_17 |    | MM0417_4 |
| 03_05_17 |   | MM0417_5 |
| 04_05_17 |  | MM0417_5 |
| 05_05_17 |  | MM0417_5 |

|          |                                                                                      |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 08_05_17 |    | MM0417_5 |
| 09_05_17 |    | MM0417_4 |
| 10_05_17 |  | MM0417_5 |
| 11_05_17 |  | MM0417_5 |
| 12_05_17 |  | MM0417_4 |

|          |                                                                                      |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 25_05_17 |    | MM0417_5 |
| 29_05_17 |   | MM0417_5 |
| 30_05_17 |  | MM0417_6 |
| 12_06_17 |  | MM0417_5 |

|                    |                                                                                     |                 |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p>13_06_17</p>    |   | <p>MM0417_6</p> |
| <p>Total a 5db</p> |  | <p>-</p>        |

# **ANEXO C**

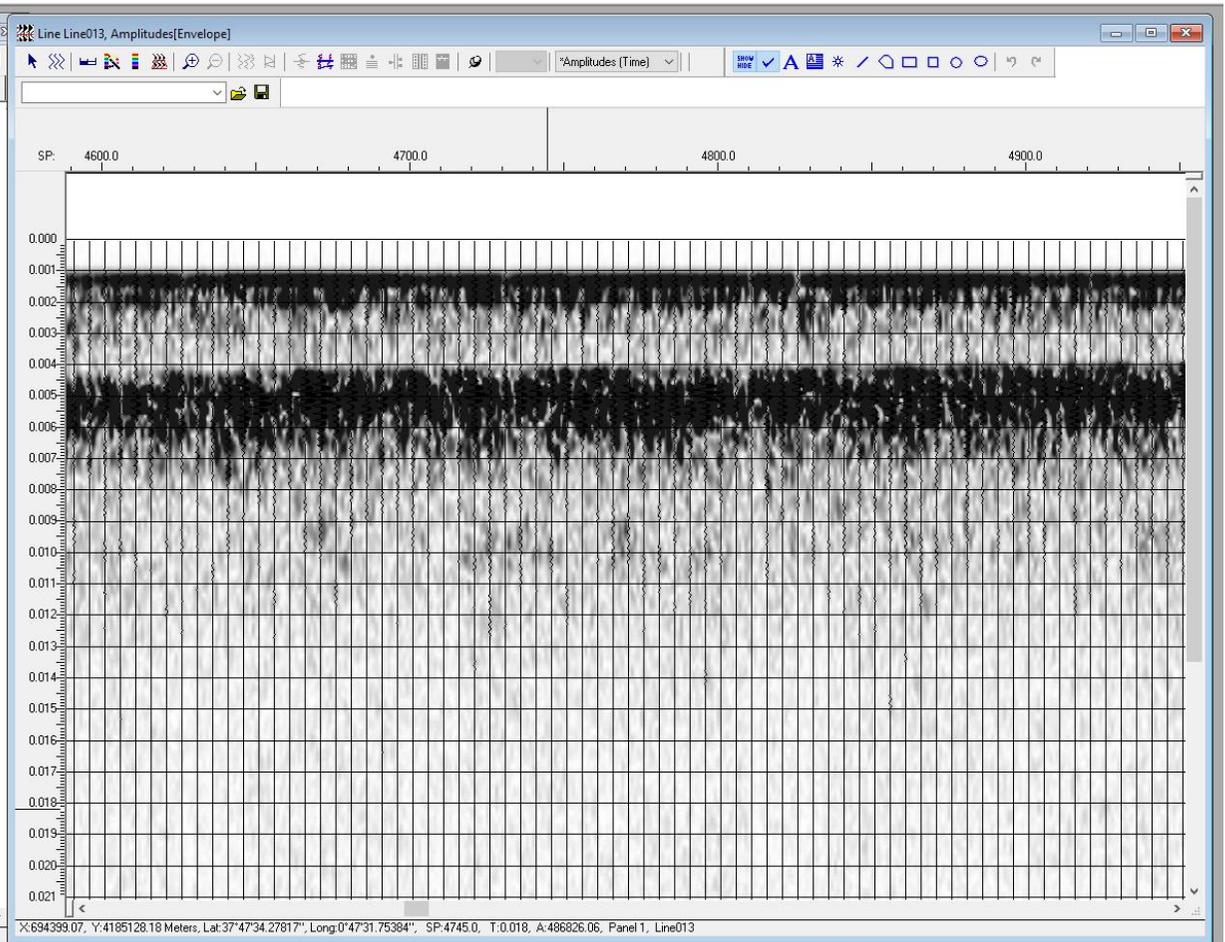
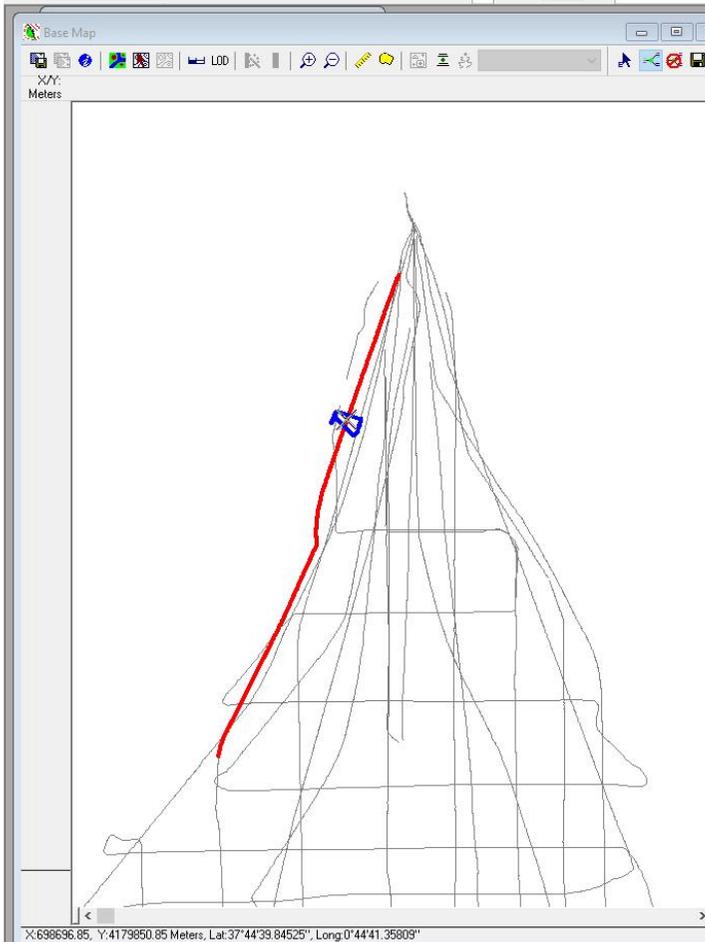
## **DIFERENTES TIPOS DE SEÑAL EN RELACIÓN AL TIPO DE FONDO MARINO**

**Ejemplo 1 → Línea 13:** En la imagen de la izquierda podemos ver situada la Línea 13 (línea roja) situada en paralelo y junto a la costa, en el noroeste del Mar Menor; la marca azul nos indica el fragmento de perfil que observamos a la derecha).

The KINGDOM Software 32-bit - Line Line013, Amplitudes[Envelope]

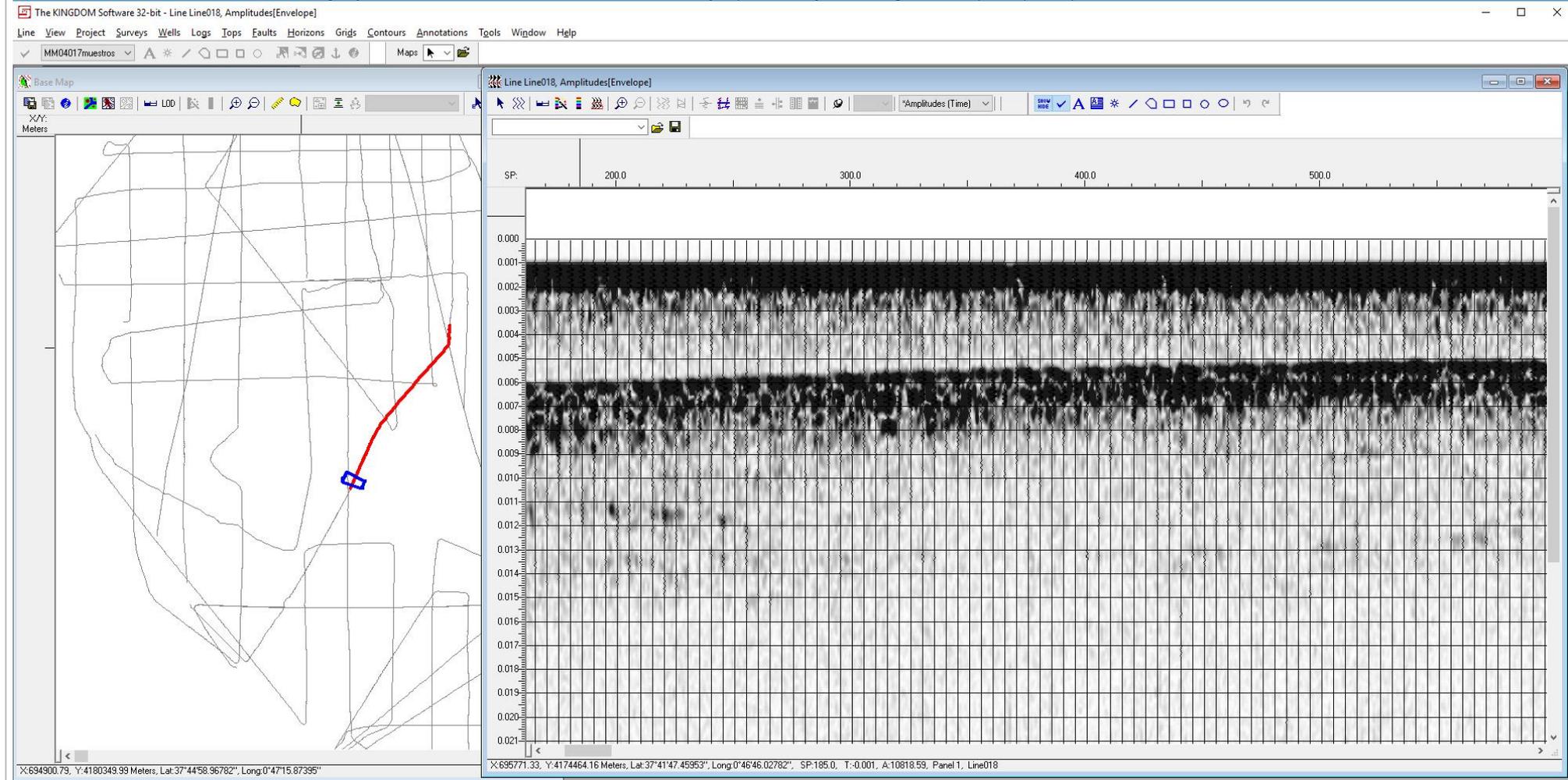
Line View Project Surveys Wells Logs Tops Faults Horizons Grids Contours Annotations Tools Window Help

MM04017muestrros



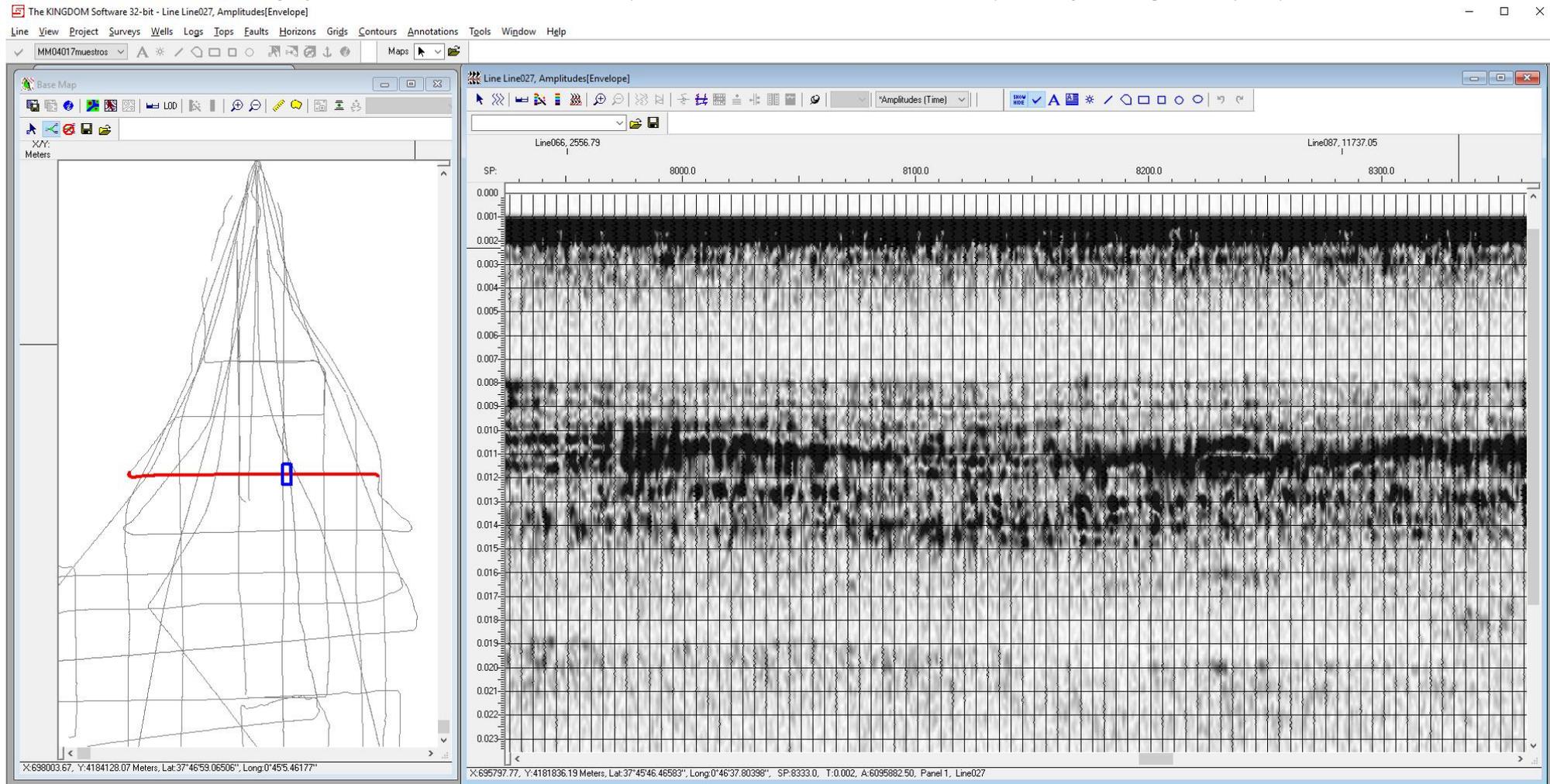
En la en la imagen de la derecha: **Señal fuerte, opaca y difusa → Roca**

**Ejemplo 2 → Línea 18:** ubicada al noroeste de la Isla Mayor (ver línea roja en la imagen de la izquierda) en la parte central del Mar Menor.

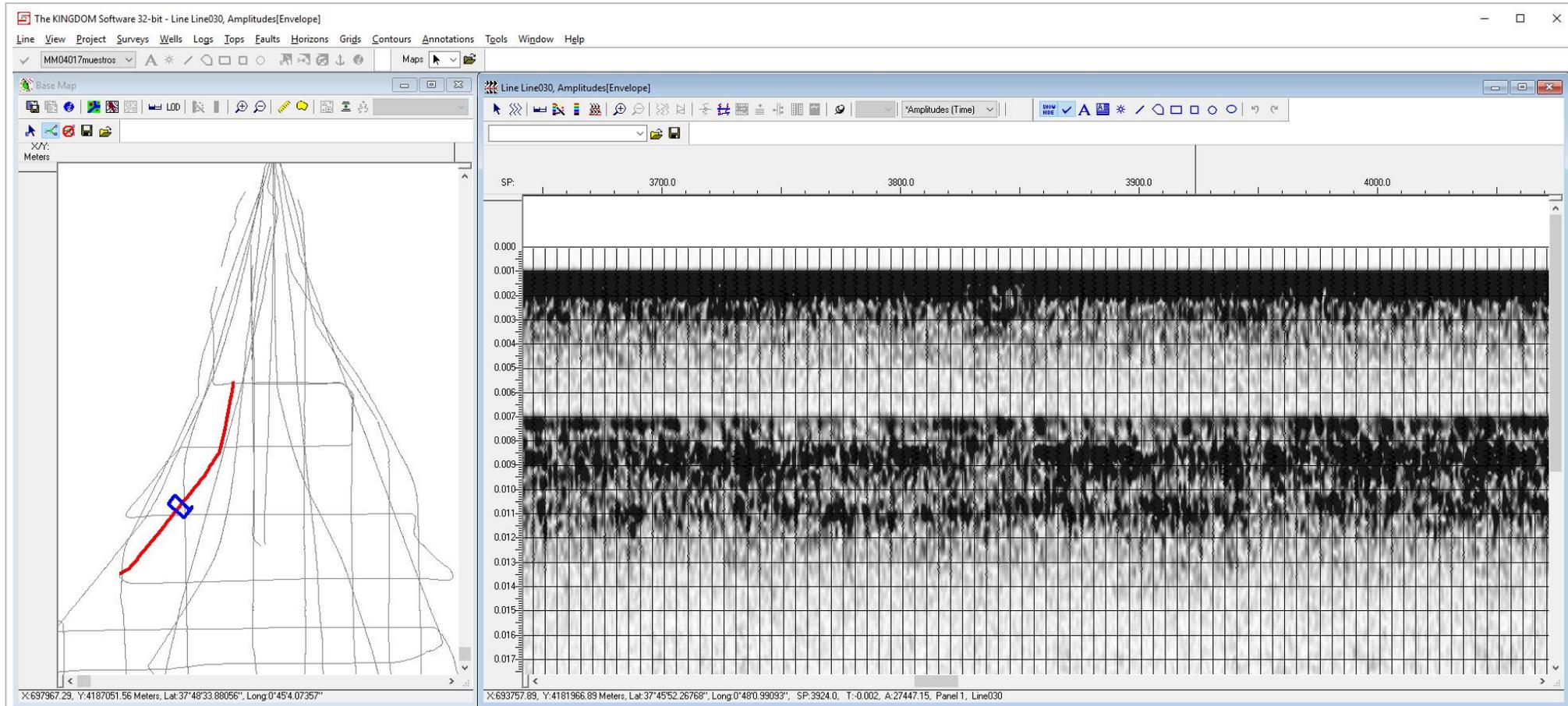


**Señal fuerte, opaca y algo granulada → material principalmente compuesto de gravas y rocas**

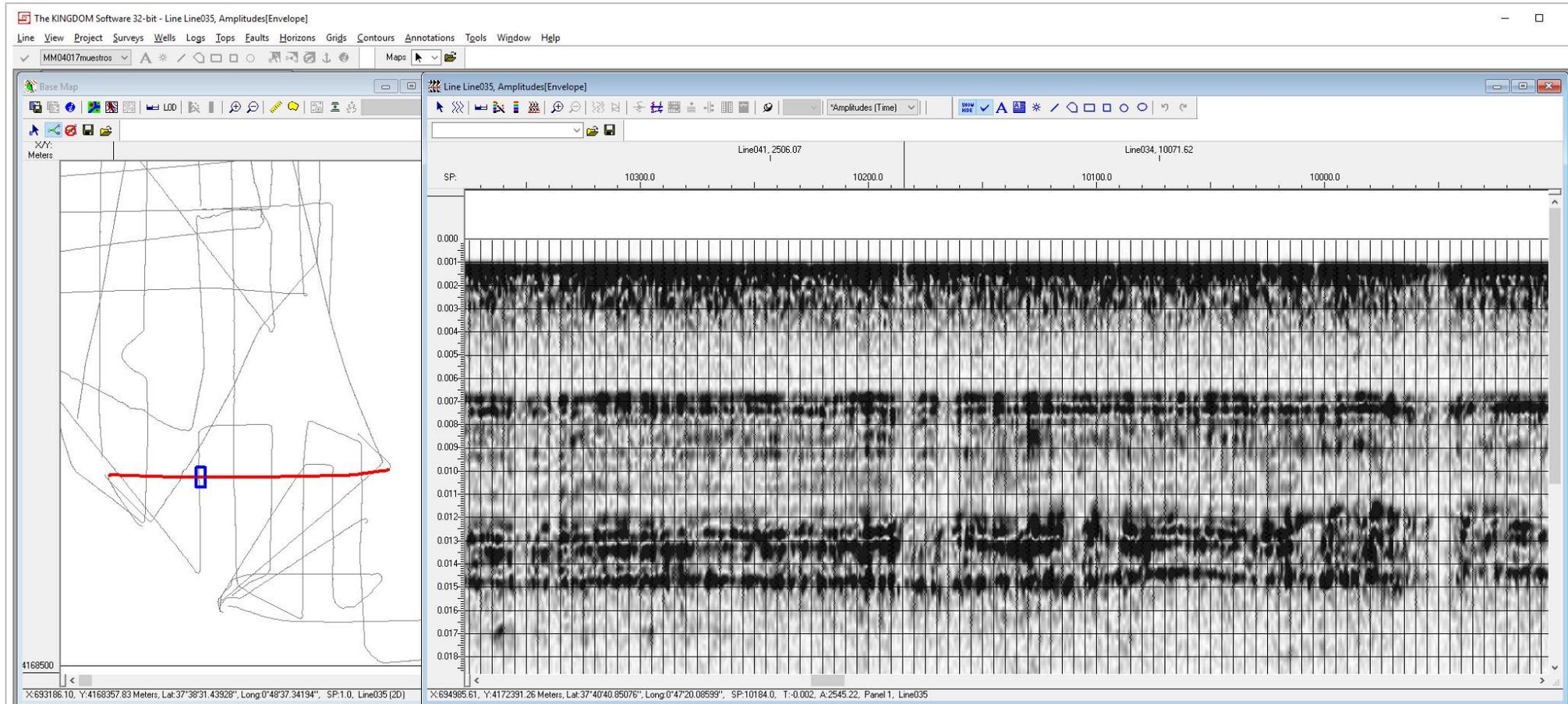
**Ejemplo 3** → Línea 27: localizada en el centro de la parte norte del Mar Menor, con dirección oeste - este (ver línea roja en la imagen de la izquierda).



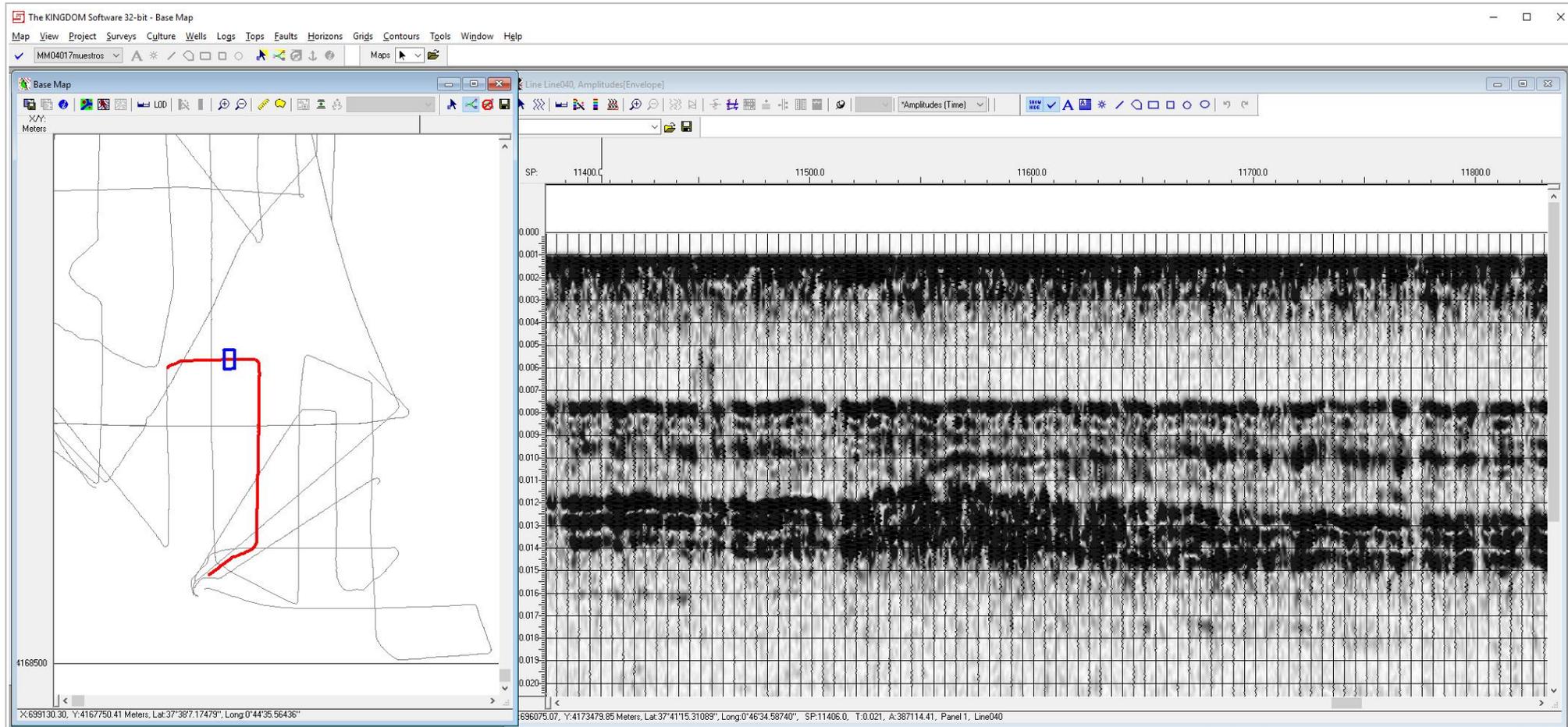
Señal débil, difusa y muy estratificada → arenas



**Ejemplo 4** → **Línea 30**: situada en el oeste de la zona central y septentrional del Mar Menor, con dirección suroeste - noreste (ver línea roja en la imagen de la izquierda). Señal con alternancias en la intensidad → materiales mezclados, con predominio en la parte central de las arenas frente a los fangos (predominantes en los flancos)

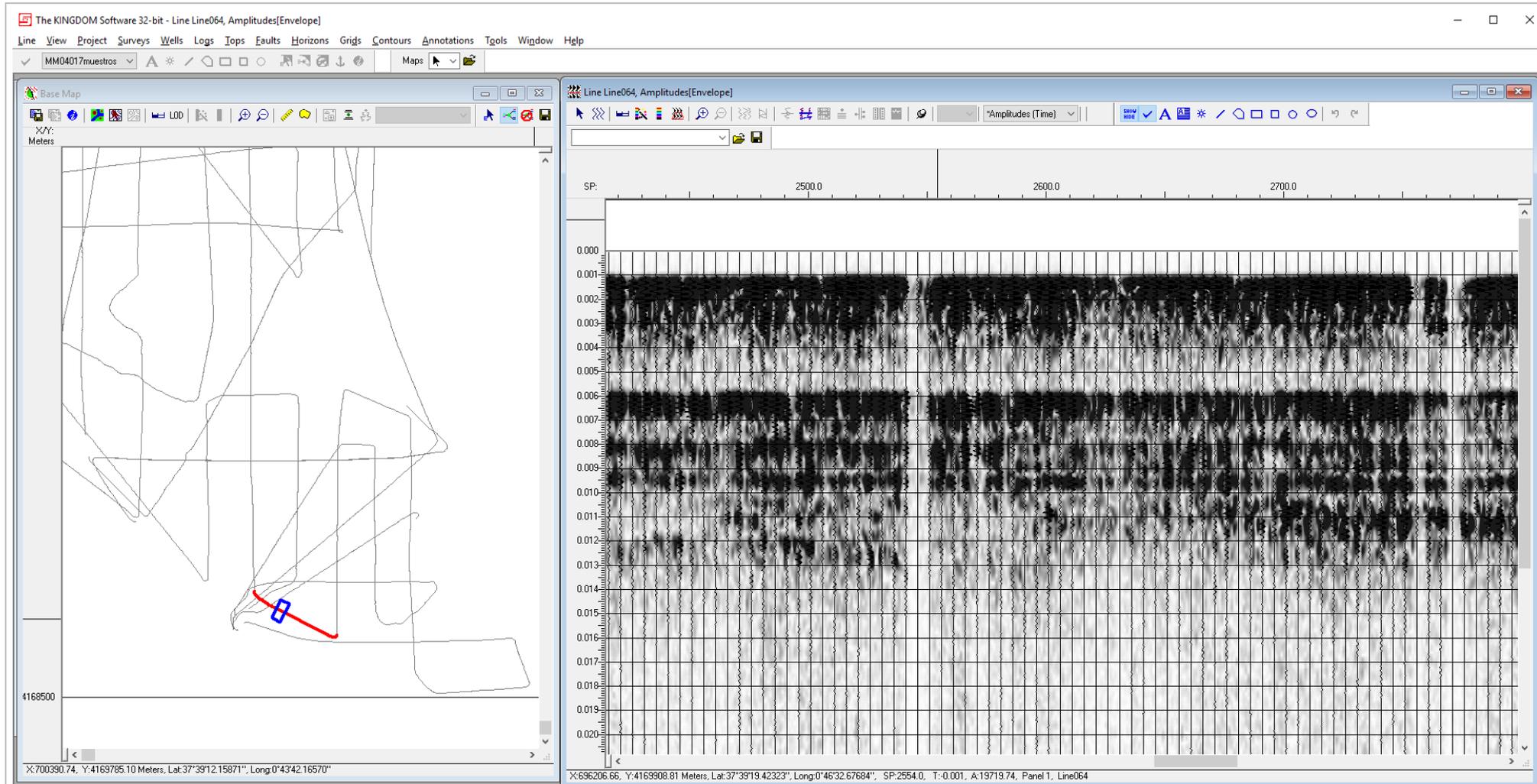


**Ejemplo 5** → **Línea 35**: ubicada al sur de las islas principales, con dirección este - oeste (ver línea roja en la imagen de la izquierda).  
**Señal superficial intensa, pero no opaca y continua** → fango (espesor bajo); en profundidad señales estratificadas (alternancia) → fango y arenas.



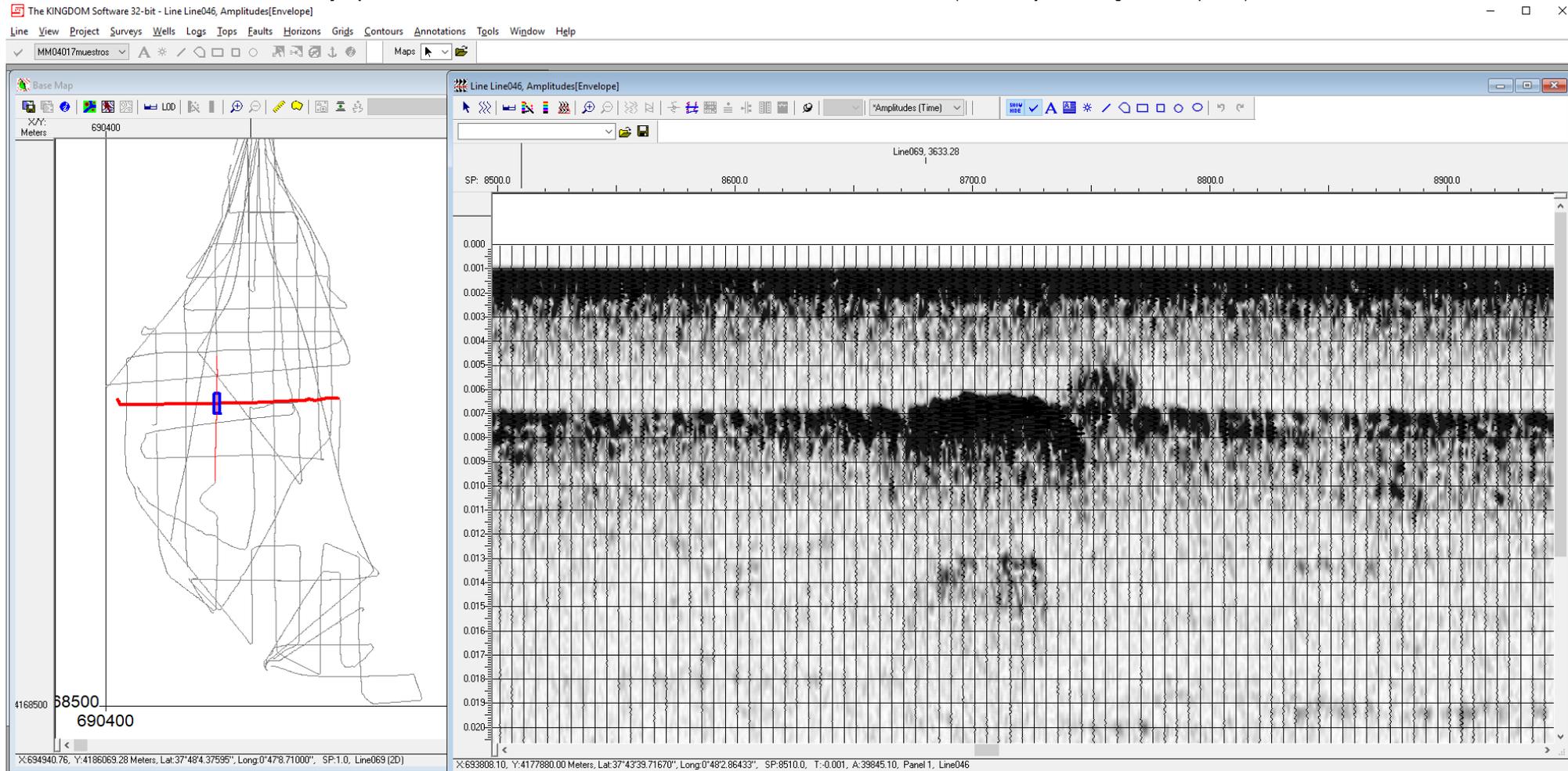
**Ejemplo 6** → **Línea 40**: localizada al sur de Isla Mayor, con dirección variable (inicio noroeste, más tarde sur-norte y al final este oeste; ver línea roja en la imagen de la izquierda); la marca azul nos indica el fragmento de perfil que observamos a la derecha.

**Señal superficial intensa, pero no opaca y continua** → fango (espesor medio); en profundidad señales estratificadas (alternancia) → fango y arenas.



**Ejemplo 7** → **Línea 64**: situada al extremo sur del Mar Menor, casi en paralelo y junto a la costa, con dirección sureste – noroeste (ver línea roja en la imagen de la izquierda). **Señal superficial intensa y no opaca** → fango (espesor alto); en profundidad estratificación de fango y arenas.

**Ejemplo 8 → Línea 46:** ubicada en el centro del Mar Menor con clara dirección oeste – este (ver línea roja en la imagen de la izquierda).



**Señal intensa en los flancos que evoluciona hacia el centro con arenas y gravas, e ininterrumpida por un promontorio rocoso.**

