

LIFE IP INTEMARES

Informe sobre la distribución espacial de las características geomorfológicas y sedimentarias del LIC-ESZZ12002-Volcanes de fango del Golfo de Cádiz (Demarcación Suratlántica)

SubAcción A.2.1: Mejora del conocimiento en zonas ya declaradas



ÍNDICE

Resumen ejecutivo	3
Executive summary.....	4
1. Introducción.....	5
2. Área de estudio.....	5
3. Metodología.....	10
4. Distribución espacial de tipos de morfológicos.....	16
5. Distribución espacial de sedimentos.....	20
6. Reflectividad y tipos de fondo.....	25
7. Conclusiones y recomendaciones	28
8. Bibliografía.....	29

ANEXOS

Información cartográfica

Autores del informe: Luis Miguel Fernández Salas, Desirée Palomino Cantero, Izaskun Villar Menéndez, Marga García García y Olga Sánchez Guillamón.

Colaboradores en Anexos: Dulce Mata Chacón y Olvido Tello.

Resumen ejecutivo

El Golfo de Cádiz se encuentra en la Región Suratlántica (IXa del ICES) y forma parte de la Provincia Lusitánica, subprovincia cálida (código 15, Warm Lusitanian subprovince) de la Región IV de OSPAR (Francia y Península Ibérica). Ocupa un área extensa (unos 40.500 Km²) y está enmarcada por los litorales de la península Ibérica y del continente africano. Limita al norte con las costas de Portugal (Margen del Algarve) y las de España (provincias de Huelva y Cádiz), mientras que por el sur está limitado por el litoral magrebí. Conecta al este con el mar de Alborán a través del Estrecho de Gibraltar, que es la puerta de entrada al mar Mediterráneo y un accidente fisiográfico que determina sus condiciones hidrodinámicas y oceanográficas. Al oeste, su límite es una línea imaginaria norte-sur partiendo desde el cabo de San Vicente (Portugal).

El Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) ESZZ12002-Volcanes de fango del golfo de Cádiz se sitúa en las aguas españolas, encuadrado entre las coordenadas de latitud 36°35,98'N y 35°50,54'N, y de longitud 006°51,65'W y 007°27,79'W, y se incorporó a la lista de lugares de importancia comunitaria (LIC) de la región biogeográfica mediterránea en 2016.

En este informe se presenta una nueva y más completa caracterización morfosedimentaria, obteniendo así una mejora del conocimiento en la zona ya declarada como LIC, que se contempla en la subacción A.2.1 del proyecto actual **LIFE IP INTEMARES** "Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español". Para ello, se han tomado como base los datos generados en el proyecto LIFE+ INDEMARES integrándose con otros provenientes de proyectos ejecutados por el Grupo de Geociencias Marinas del Instituto Español de Oceanografía como son: ISUNEPKA, INPULSE y EEMMs CIRCASUR.

Esta integración y posterior procesado y análisis ha mejorado sustancialmente la calidad de los datos antecedentes, ya que ha permitido obtener información completa de todo el LIC a igual resolución (15 m) de forma que la zona correspondiente al campo profundo del LIC (más de unos 800 m de profundidad) es la que ha mejorado sustancialmente. Los datos anteriores en estas zonas eran de una calidad muy baja y no tenían continuidad espacial. Esta mejora de los datos aportará un beneficio a la hora de un ulterior análisis para la caracterización de hábitats en el área.

Como actividades futuras de mejora del conocimiento morfosedimentario de la zona, se recomienda realizar una malla de muestreo de sedimento superficial espacialmente distribuida de forma más homogénea en todo el LIC. De esta forma se conseguirá una mayor homogeneización de la información existente en el área y por combinación con los resultados de la reflectividad, se obtendrán mapas de tipos de fondo más completos, que aporten información sobre los procesos sedimentarios presentes en el área.

Executive Summary

The Gulf of Cadiz is located in the South Atlantic Iberian Region (ICES IXa) and belongs to the Lusitanian Province, warm sub-province (Code 15) of the IV OSPAR Region (France and Iberian Peninsula). It occupies an extensive area of about 40.500 km², bounded by the Iberian Peninsula and the African continent to the East. It limits at the northern part with the Portuguese (Algarve) and Spanish (Huelva and Cadiz provinces) margins, and at the southern part with the Moroccan margin. To the East, the Strait of Gibraltar is an important physiographic feature that determines the complex hydrodynamics of the region, as it acts as the connecting gateway between the Gulf of Cadiz and the Alboran Sea (SW Mediterranean). To the West, the limit is an N-S imaginary line, from San Vicente Cape to the south.

The **ESZZ12002-Mud volcanoes of the gulf of Cadiz Site of Community Interest (SCI)** is located in the Spanish waters, between 36°35,98'N and 35°50,54'N in latitude and between 06°51,65'W and 07°27,79'W in longitude. It was included in the list of SCI of the Mediterranean bio-geographic region in 2016.

This report presents a new and more complete morpho-sedimentary characterization that contributes to increase the knowledge about this area, which was declared as SCI, and is included in the sub-action A.2.1. of the current project **LIFE IP INTEMARES “Integrated, Innovative and Participatory Management for N2000 network in the Marine Environment”**. The data generated by the previous LIFE+ INDEMARES project have been taken as the background information to which new datasets acquired by other projects led by the Marine Geosciences Research Group of the Spanish Institute of Oceanography (ISUNEPCA, INPULSE and EEMMs CIRCASUR) have been integrated.

The processing, analysis and integration of the datasets has greatly improved the data quality, and will help in the analysis for the habitats characterization, as it has allowed obtaining a complete coverage of the SCI with a homogeneous resolution of 15 m. In this way, the deepest area (>800 metres water depth), corresponding to the deep volcano field, is the one which has improved the most, as previous data from this sector had poor quality and spatial continuity. This data improvement will help in the analyses for the habitat characterization.

Future activities to increase the knowledge about the morpho-sedimentary character of the area are encouraged, such as to improve the surface sediment sampling grid to make it more homogeneous and intensively distributed along the SCI, increasing the resolution. A better spatial distribution of the information will be achieved, and as the data are combined with backscatter datasets, the resulting seafloor type maps will be more refined and will provide more accurate information about the sedimentary processes in the area. The surface sediment samples information is currently concentrated on the mud volcano areas, and not extensively and homogeneously distributed along the SCI, as it will be explained later in this document.

1. Introducción

En el año 2014 se publicó el informe sobre la zona de los Volcanes de fango del golfo de Cádiz enmarcado en el proyecto LIFE+ INDEMARES que se desarrolló durante los años 2009 y 2013 (Díaz del Río et al., 2014).

En concreto, el Boletín Oficial del Estado publicó el 21 de julio de 2014, la Orden AAA/1299/2014, de 9 de julio, por la que se aprueba la propuesta de inclusión de la zona de Volcanes de fango del golfo de Cádiz, LIC **ESZZ12002**, en la lista de lugares de importancia comunitaria (LIC) de la Red Natura 2000.

El objeto de esta Orden fue la aprobación de la propuesta a la Comisión Europea de este espacio marino bajo soberanía o jurisdicción española para su aprobación como lugar de importancia comunitaria mediante su inclusión en las respectivas listas biogeográficas de LICs de la Unión Europea; todo ello, de conformidad con lo establecido en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

En 2016 la Comisión Europea incorporó el LIC Volcanes de fango del golfo de Cádiz a la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea, según la Decisión de Ejecución (UE) 2016/2328 de la Comisión de 9 de diciembre de 2016 por la que se adopta la décima lista actualizada de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea [notificada con el número C(2016) 8142].

Partiendo de los datos generados en el proyecto LIFE+ INDEMARES, en este informe se presentan las mejoras del conocimiento en zonas ya declaradas que se contemplan en la subacción A.2.1 del proyecto actual **LIFE IP INTEMARES "Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español"**. Estas mejoras son necesarias para la elaboración del futuro plan de gestión y, por lo tanto, para su declaración como Zona Especial de Conservación (ZEC) durante la ejecución del proyecto. En concreto, se ha completado y reprocesado la batimetría y la reflectividad, y se han añadido datos sedimentológicos obtenidos en el ámbito de diferentes proyectos donde ha participado el Grupo de Geociencias Marinas del Instituto Español de Oceanografía. Por ello, la utilización de estos datos para posteriores publicaciones debe comunicarse a dicho grupo para su autorización. Con los datos de batimetría, reflectividad y muestras de sedimentos se han generado una serie de mapas derivados de ellos, lo que ha permitido realizar una nueva caracterización morfosedimentaria del LIC Volcanes de fango del golfo de Cádiz.

2. Área de estudio

Los valores ecológicos que posee el golfo de Cádiz son muy diversos, y de gran importancia todos ellos, destacando:

- (1) su elevado e interactivo hidrodinamismo producto de la confluencia de las masas de agua, vinculadas al intercambio a través del Estrecho de Gibraltar;
- (2) la singular diversidad y productividad biológica, fruto del ambiente propicio y heterogéneo que facilita la confluencia de aguas atlánticas y mediterráneas;

- (3) la existencia de importantes escapes de fluidos hidrocarburoados (principalmente metano) producto de la tectónica salina relacionada con la convergencia de las placas litosféricas africana y euroasiática;
- (4) la presencia de complejos procesos microbianos que aprovechan energéticamente los flujos de fluidos para transformar los fondos no consolidados en estructuras carbonatadas duras.

En la zona se han identificado dos tipos de hábitats incluidos en la Directiva Hábitats: (1º) 1170 "Arrecifes" y, (2º) 1180 "Estructuras submarinas producidas por la expulsión de gases". Además se han identificado 4 hábitats contemplados en el Convenio OSPAR (ej.: Comunidades de pennatuláceos, montículos carbonatados, agregación de esponjas, y arrecifes de *Lophelia pertusa*). El hábitat 1170 presenta una superficie de ocupación de unos 15,78 Km², e incluye un total de 7 hábitats contemplados en la Lista Patrón de Referencia de hábitats marinos españoles, entre los cuales destaca: (1) Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata* en forma de bancos extendidos por la ladera del volcán de fango Gazúl, (2) hábitats de sustratos duros dominados por cnidarios no escleractínicos (gorgonias, antipatarios) y (3) hábitats de sustratos duros dominados por esponjas, éstos dos últimos hábitats presentes en diferentes volcanes de fango. La superficie que ocupa el hábitat 1180 es difícil de estimar, ya que la expulsión de gases es un fenómeno extensivo y expansivo en el golfo de Cádiz y que está en permanente evolución. La estimación se ha hecho calculando la superficie que ocupan los principales focos de emisión puntuales en la zona más somera (Campo somero de expulsión de fluidos), junto a la que se produce de forma difusa en las aguas más profundas (Campo profundo de expulsión de fluidos). En consecuencia, el hábitat genérico "Estructuras submarinas producidas por expulsión de gases" se puede estimar en una superficie de ocupación de unos 154,90 Km², e incluye los siguientes tipos de hábitats principales: (1) Volcanes de Fango, (2) Depresiones de colapso producidas por escapes de gases y (3) Pockmarks. Formando parte de cada uno de ellos se encuentran, en determinadas ocasiones, los siguientes hábitats: (a) Estructuras producidas por escapes de gases con especies quimiosintéticas, y (b) Estructuras producidas por escapes de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético.

Geográficamente, el LIC ESZZ12002-Volcanes de fango del golfo de Cádiz se sitúa en las aguas españolas, encuadrado entre las coordenadas de latitud 36º35,98'N y 35º50,54'N, y de longitud 006º51,65'W y 007º27,79'W. En su extensión se pueden diferenciar 3 tipos de edificios ligados a la emisión de fluidos, de acuerdo a sus características morfológicas y a la naturaleza del material expulsado: volcanes de fango, complejos diapiro/volcán de fango y diapiros, que se forman sobre extensas dorsales (Fig. 1).

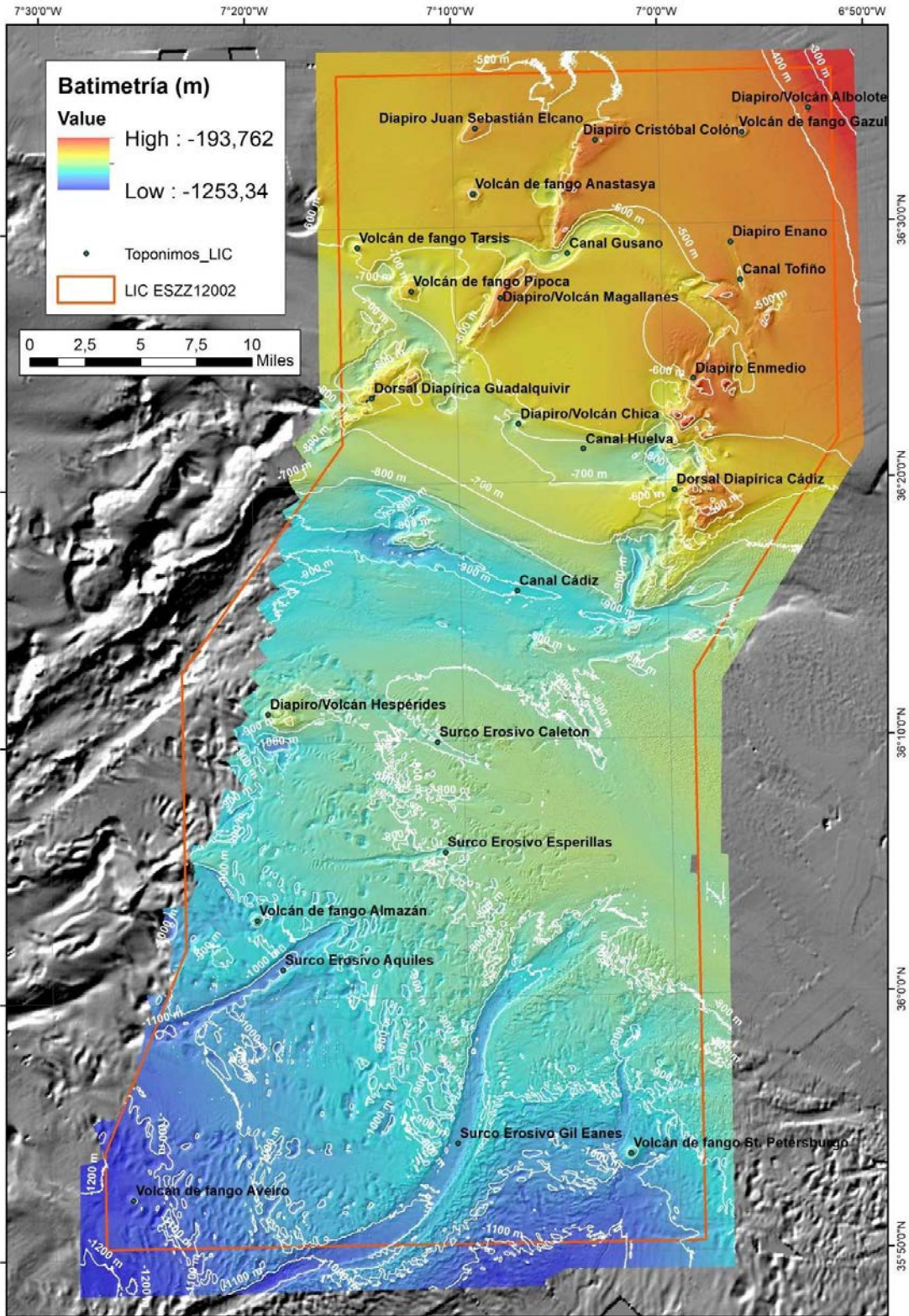


Figura 1. Batimetría del LIC ESZZ12002-Volcanes de fango del golfo de Cádiz y toponimia de los relieves más significativos.

Dentro del LIC se sitúan **7 volcanes de fango** (Fig. 1), Gazul, Anastasya, Pipoca, y Tarsis se localizan en el campo somero de expulsión de fluidos, mientras que Almazán, St. Petersburg y Aveiro se encuentran en el campo profundo. Todos ellos muestran evidencias de extrusión de material y su naturaleza de volcán de fango ha sido confirmada por medio de testigos de gravedad (Palomino et al., 2016a; 2016b). Los volcanes de fango del LIC presentan un cono simple y una morfología circular en planta. Presentan alturas entre 100 y 200 m y una anchura que no supera los 3 km. En estos edificios se desarrollan diferentes hábitats que están condicionados por el tipo de sustrato, las masas de agua profunda y los procesos geológicos que tienen lugar tanto a nivel regional como local. Los organismos quimiosimbióticos se localizan principalmente en la cima de los edificios volcánicos, indicando que la actividad de expulsión de fluidos podría ser elevada en algunos casos (Ej. Anastasya, St. Petersburg). La presencia de extensas coladas de fango y cuerpos lobulados sobre los flancos (Ej. Pipoca, Almazán) son indicativos de un proceso de extrusión que tuvo lugar en diferentes fases, por lo que su formación no se dio en un único evento. Los sustratos carbonatados (principalmente enlosados y chimeneas) se han localizado en los flancos y en la base de algunos de estos volcanes y están relacionados con una actividad de expulsión de fluidos moderada (Ej. Gazul). Posteriormente, estas estructuras carbonatadas pueden ser desenterradas por la actividad de las corrientes de fondo y colonizadas por especies bentónicas. En ocasiones, los volcanes se encuentran rodeados en su base por depresiones que pueden estar formadas por procesos de colapso, debido a escapes de fluido activos y bajo la influencia de las corrientes profundas (Ej. Tasis, Aveiro).

Otras de las estructuras geológicas de mayor relieve positivo presentes en el LIC son los **afloramientos diapíricos**, que se elevan produciendo complejos diapiro/volcán de fango y diapiros aislados.

Los **complejos diapiro/volcán de fango** (Fig. 1) son los edificios de origen diapírico que albergan volcanes de fango en la superficie, generados como consecuencia de la migración de fluidos a lo largo del cuerpo diapírico. En el LIC del golfo de Cádiz se han identificado 4 de estos edificios: Albolote, Magallanes, Chica, y Hespérides. Todos ellos son elevaciones de la superficie del fondo que muestran evidencias de depósitos de brecha fangosa, lo que confirma el carácter de volcán de fango de estas estructuras. Albolote es el edificio más somero de los descritos. Se sitúa en la zona de *gullies* del talud superior y se han encontrado chimeneas carbonatadas que se relacionan con una cierta actividad de expulsión de fluidos. Magallanes se localiza en el tramo central de la dorsal diapírica del Guadalquivir y se caracteriza por pequeños montículos carbonatados en su cima. Chica se localiza en el canal contornítico de Huelva, y está fuertemente influenciado por la alta velocidad que alcanzan en él las corrientes de fondo. En Chica no se han encontrado especies bentónicas ligadas a la expulsión de fluidos pero las características del sedimento y la presencia de carbonatos autigénicos de grandes dimensiones, son indicativos de una importante actividad de expulsión de fluidos. Finalmente, el complejo Hespérides se localiza en el campo profundo de expulsión de fluidos y aparece como un afloramiento diapírico en el que destacan 2 conos volcánicos de 100 m de altura situados al oeste del complejo (Palomino et al., 2016c).

Las **dorsales diapíricas** (Fig. 1) se han descrito detalladamente en los últimos años en función de sus características morfológicas y morfosedimentarias en Palomino *et al.*,

(2016a) y Lozano *et al.*, (2020), diferenciándose tres dorsales, conocidas como Dorsal Diapírica de Cádiz, Dorsal Diapírica del Guadalquivir y Dorsal Diapírica del Guadiana, que en planta se muestran alineadas presentando morfologías escarpadas e irregulares y extendiéndose unos 30 km en longitud principalmente en dirección NE-SO.

La Dorsal de Cádiz es la más oriental, a profundidades entre los 450 y 800 m y contiene a los diapiros Enano y Enmedio. El diapiro Enano se localiza en el extremo más septentrional de la dorsal, sobre el flanco oeste del canal contornítico Tofiño. Su morfología es irregular, compuesta por pequeñas dorsales alargadas en una dirección NNO-SSE y tiene una forma alargada con flancos irregulares, alcanzando una longitud de 400 m. El sustrato observado en las imágenes submarinas en la superficie de estas dorsales es muy homogéneo y está formado por sustratos carbonatados como costras en forma de enlosados y de chimeneas, que ocupan la mayor parte del fondo marino. Por su parte, el diapiro Enmedio se localiza en la parte central de la dorsal de Cádiz, entre los canales contorníticos Gusano y de Huelva.

La dorsal de Guadalquivir se encuentra a unos 12 km al oeste de la dorsal de Cádiz, se extiende entre los 460 y 880 m de profundidad y está compuesta por el diapiro Cristóbal Colón y el complejo diapiro-volcán de fango Magallanes. El diapiro Cristóbal Colón se localiza en la parte más septentrional de la dorsal diapírica. La superficie de la cima está caracterizada por montículos carbonatados que tienen una altura media de 10 m y presentan altos valores de reflectividad. El complejo Magallanes se localiza en el extremo sur de la dorsal, y está limitado por los canales contorníticos Gusano y de Huelva. Además, se han observado varias elevaciones en la cima, relativamente agrupadas en el límite noreste y noroeste de la dorsal, que se caracterizan por tener con valores de reflectividad más elevados que las zonas circundantes y que son similares a los montículos carbonatados prospectados en el diapiro Cristóbal Colón. El flanco noroeste tiene una elevada pendiente (más de 20°) y termina en una depresión subparalela al complejo que alcanza 100 m de profundidad en la zona más profunda situada en su sector suroeste. Por su parte, la Dorsal de Guadiana se encuentra unos 5 km al oeste de la dorsal de Guadalquivir, y se extiende hacia el SO, en su mayor parte enterrada, fuera del área de estudio del LIC aunque en su extremo más septentrional se encuentra el diapiro Juan Sebastián Elcano, a unos 556 m de profundidad. La cima se caracteriza por la presencia de pequeños montículos carbonatados similares a los descritos anteriormente.

Dentro de la gran variabilidad morfológica del LIC, se incluyen numerosos relieves negativos, incluyendo valles submarinos originados por la interacción entre procesos gravitacionales y contorníticos y depresiones relacionadas con el escape de fluidos y modeladas por las corrientes profundas.

En la zona más somera, al este de la Dorsal de Cádiz, se localiza la parte más distal de una serie de **cárcavas** (*gullies*) que afectan al talud superior y zona proximal del talud medio. Son pequeños valles (5.5-20 km de longitud, 0.2-1 km de anchura y 1-25 m de profundidad), excavados por flujos gravitacionales bajo la acción del flujo de las corrientes de fondo, bajo el control de la actividad tectónica y de las oscilaciones del nivel del mar (García *et al.*, 2020).

Los **canales contorníticos** afectan a la parte más septentrional del LIC (Fig. 1). Se originan por la erosión ejercida por las distintas ramas de la corriente mediterránea al acelerarse por efecto de los obstáculos en la topografía del fondo (Hernández-Molina et al., 2003 y 2006; García et al., 2009). En la zona más somera y en relación con los relieves de las dorsales diapíricas, se excavan los canales contorníticos de Gusano y Tofiño (450-500 m), que se encuentran íntegramente en el LIC. La zona proximal de dos de los grandes canales contorníticos del Golfo de Cádiz (canales de Huelva y Cádiz) se localizan a profundidades entre 500 y 750 m. La parte distal del canal Sur, que se encaja cerca del Estrecho de Gibraltar, desemboca en el canal de Cádiz en la parte media del LIC, a profundidades en torno a 800 m. En los flancos occidentales de las dorsales diapíricas se encajan valles marginales de tamaño variable, que alcanzan longitudes de 13,5 km, anchuras de 1,1 km y profundidades de hasta 250 m y se atribuyen a la erosión producida por la corriente profunda, en la que se generan inestabilidades por efecto de las dorsales diapíricas (García et al., 2009; Lozano et al., 2020). Hacia el sur del LIC, en el campo profundo se encuentran los surcos erosivos, que muestran una dirección general NE-SO y E-O. Estos surcos, que incluyen los denominados Caletón, Esperillas, Aquiles y Gil Eanes, tienen longitudes de hasta 16 km, anchuras de hasta 2 km y profundidades de incisión de hasta 90 m. Canalizan filamentos de la corriente Mediterránea escindidos del flujo principal en la zona cercana al Estrecho de Gibraltar (Habgood et al., 2003; Hanquiez et al., 2007; García et al., 2009).

El resto del LIC está formado por fondos planos de diferente inclinación, con zonas irregulares caracterizadas por pequeñas depresiones circulares y elongadas y campos de dunas submarinas de variado porte, dándose las de mayor tamaño en la zona profunda del LIC.

3. Metodología

La metodología seguida para mejorar el conocimiento geológico del LIC Volcanes de fango del golfo de Cádiz ha consistido fundamentalmente en:

- A. La adquisición y procesado de nuevos datos batimétricos y de reflectividad multihaz durante las campañas detalladas en la Tabla I.
- B. El reprocesado de la batimetría y de la reflectividad obtenidas en las campañas INDEMARES CHICA1011 y 0412 con nuevo software y nuevas técnicas y algoritmos, con el objetivo de conseguir mejor resolución espacial y calidad de datos, de forma que obtengamos un mapa geomorfológico y de reflectividad mucho más detallado y definido.
- C. La integración de datos acústicos y muestras de sedimentos de posteriores campañas en la zona, como por ejemplo, ISUNEPCA, INPULSE y CIRCASUR.

Tabla I. Relación de campañas en las que se han adquirido datos de batimetría y reflectividad y resoluciones espaciales de las superficies obtenidas.

CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA	RESOLUCIÓN ESPACIAL (M)
INDEMARES CHICA ₁₀₁₁	10
INDEMARES CHICA ₀₄₁₂	15
ISUNEPCA ₀₆₁₆	15
ISUNEPCA ₀₆₁₈	15
ISUNEPCA ₀₆₁₉	15
INPULSE ₀₇₁₉	15
CIRCASUR ₂₀₂₀	15

a. Procesado de batimetría y reflectividad

El procesado de los datos batimétricos y de reflectividad se ha realizado mediante el software de procesado CARIS HIPS & SIPS. Para la batimetría se ha optado por el método de grillado de swath angle y se ha realizado una limpieza de los errores con los editores de batimetría (swath editor y subset editor). Los datos de reflectividad se han obtenido usando el algoritmo de GeoCoder.

Para cada una de las campañas indicadas en la Tabla I, se han eliminado las líneas de multihaz que hubieran podido producir errores insalvables o cruzaban y falseaban los datos del relieve. Posteriormente, se ha realizado una limpieza manual de los datos y se han generado las superficies base de batimetría y reflectividad correspondientes, cuya resolución aparece en la Tabla I.

Una vez obtenidas las capas de batimetría, se han unido en un mosaico único y continuo para todo el LIC, de 15 m de resolución a partir del cual se ha generado sus variables derivadas (pendiente, orientación del fondo, curvatura, rugosidad, y demás variables especificadas en la Tabla II). El mosaico de la reflectividad se ha obtenido igualmente a una resolución de 15 m.

Tabla II. Relación de capas derivadas de la batimetría generadas en la zona de estudio.

TIPO DE CAPA	RESOLUCION ESPACIAL O EQUIDISTANCIA (m)
Isóbatas	100
Mapa de sombra	15
Mapa de sombra multidireccional	15
Pendientes	15
Rugosidad	15
Orientación del fondo	15
Curvatura total, planar y perfil	15
BPI (escala fina y gruesa)	15
	15

Las capas de Índice de Posición Batimétrica (BPI, Bathymetric Position Index) se han generado mediante un proceso de criterio experto que ha elegido entre capas con diferentes radios internos y externos la que mejor representa los tipos morfológicos a gran y a pequeña escala. De esta forma, se ha optado por radios internos de 10 y externos de 20 celdas para el BPI escala fina, y por radios internos de 70 y externos de 100 celdas para la capa de BPI escala gruesa (Ver anexos).

Finalmente, para la capa de reflectividad se ha usado el algoritmo GeoCoder (Bottom characterization) de la herramienta "Mosaic Engine" del software de CARIS HIPS & SIPS. Como la reflectividad adolece de errores de adquisición y se ha integrado de diferentes campañas realizadas en diferentes contextos oceanográficos ha sido difícil eliminar el bandeo, que aunque se ha disminuido no se ha eliminado al completo. Entonces, la solución para obtener una capa continua de la mejor calidad posible ha pasado por estandarizar los datos ecualizando los diferentes rásteres parciales modificando su histograma con criterio experto. Se ordenó su orden de visualización situando los rásteres

de peor calidad abajo y los mejores arriba, y se exportó en un fichero geotiff continuo a una resolución de 1000 dpi.

b. Nuevas muestras de sedimentos

Las muestras de sedimento superficial analizadas para la mejora del conocimiento del LIC parten tanto de la reinterpretación de datos existentes como del análisis de datos obtenidos en nuevas campañas oceanográficas. El conjunto de muestras utilizadas para el análisis sedimentológico ha sido el siguiente (Fig. 2):

- a) 77 muestras de las campañas INDEMARES_CHICA0610, INDEMARES_CHICA0211 e INDEMARES_CHICA0412 obtenidas con una draga box corer.
- b) 8 muestras de la campaña ISUNEPCA_o618 obtenidas con una draga shipek.
- c) 22 muestras de la campaña INPULSE_o719 obtenidas con una draga box corer.

A las muestras de los proyectos ISUNEPCA e INPULSE se les realizó un análisis granulométrico y textural y a las muestras de las campañas INDEMARES_CHICA se les realizó, además, un análisis geoquímico para calcular el contenido en peso de materia orgánica y carbonatos. Para ello, se empleó la siguiente metodología:

1) Análisis granulométrico y textural

Las muestras fueron pre-tratadas y analizadas siguiendo diferentes protocolos de análisis granulométrico o de determinación de tamaño de grano del sedimento.

En el caso de las 3 campañas **INDEMARES_CHICA**, las muestras se analizaron en el laboratorio de Sedimentología y Geoquímica del Centro Oceanográfico de Málaga. Para ello, cada una de las muestras fue homogeneizada y secada en una estufa a 60°C durante 48h o hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, se introdujeron unos 100 g de sedimento en un vaso de precipitados donde se añadió peróxido de hidrógeno (10-20 ml de H₂O₂ al 33%), para oxidar la materia orgánica, polifosfato de sodio (2-5 g de (NaPO₃)_n), para favorecer la disgregación y dispersión de las partículas finas, y se completó con agua hasta alcanzar 200 ml de volumen, mezclando con una varilla y dejando a actuar durante 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo de reacción y antes de empezar el tamizado de la muestra, se agitó durante 30 minutos a 40°C en un agitador magnético. La muestra así tratada, se dividió en dos fracciones mediante tamizado en húmedo a través de un tamiz de 63 µm de luz de malla.

- La fracción gruesa (mayor a 63 µm, correspondiente a arena y grava) se recogió y separó por tamaños mediante tamizado en seco en una columna de tamices vibratoria durante 15 minutos. Las luces de malla utilizadas para separar las diferentes fracciones fueron de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.063 mm bajo la que se situó una base que evita la pérdida de material. Posteriormente se pesaron las distintas fracciones retenidas en cada tamiz y se calcularon los % en peso de sedimento respecto a la muestra total.

- La fracción fina (menor de $63 \mu\text{m}$, correspondiente a limo y arcilla), se recogió de la base del tamiz y se centrifugó a 5000 rpm durante 15 minutos para eliminar el agua sobrante y obtener un concentrado de sedimentos finos para su determinación en un analizador de tamaño de partículas por rayos-X SediGraph III 5120 (Micromeritics®) con el que se obtuvo el porcentaje individual y acumulado de la fracción comprendida entre $63 \mu\text{m}$ y $0.24 \mu\text{m}$. Antes de introducir la muestra en el equipo se sometió a un baño de ultrasonidos durante 5 minutos para evitar la formación de agregados.

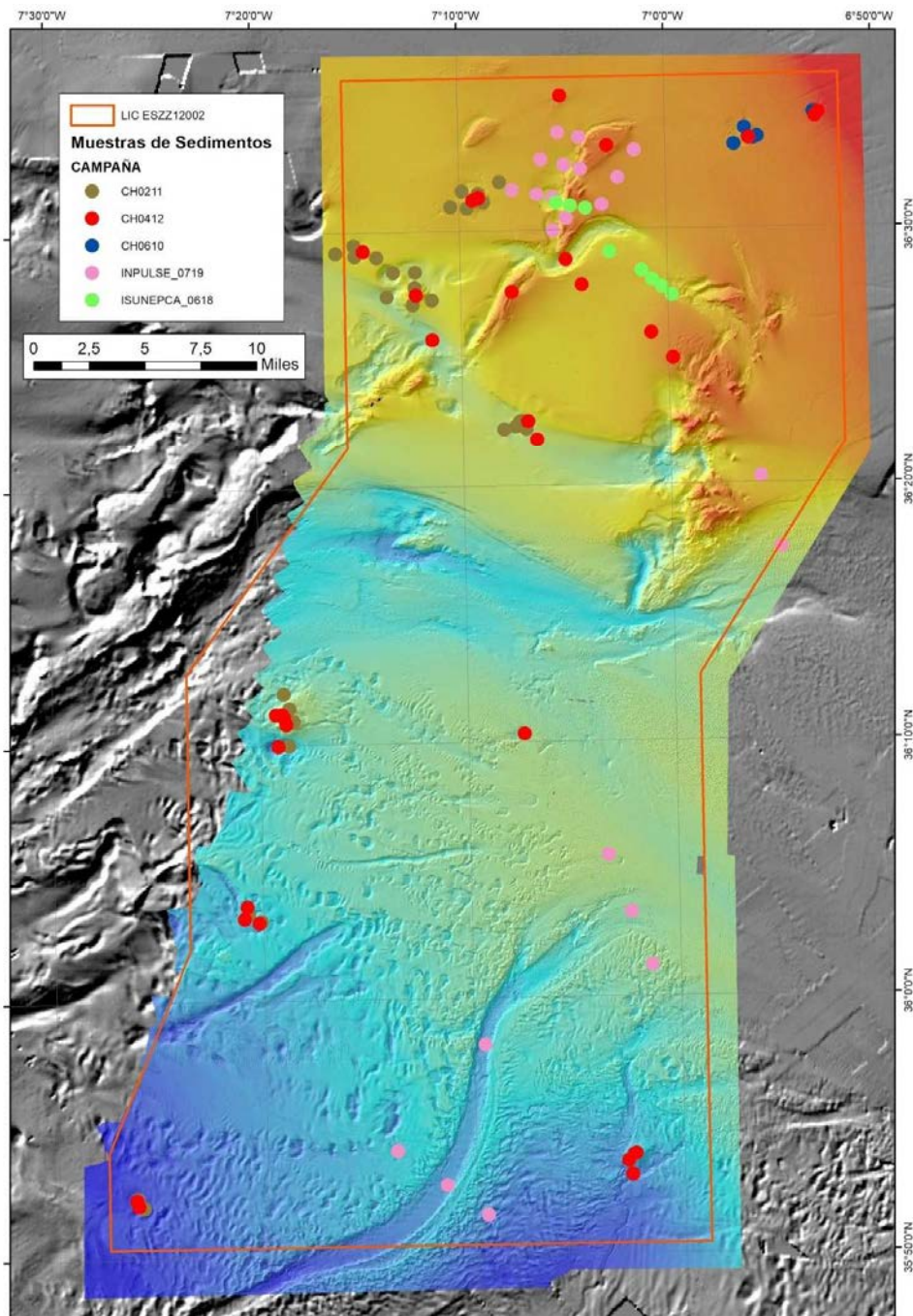


Figura 2. Localización de las muestras de sedimentos obtenidas en diferentes campañas oceanográficas para la mejora del conocimiento del LIC.

Para el análisis de las muestras de la campaña **ISUNEPCA0618** se contó con la adquisición de un nuevo equipo de medida en el laboratorio de Sedimentología y Geoquímica del Centro Oceanográfico de Málaga, por lo que el protocolo de análisis se modificó de la siguiente forma: Se tomaron unos 20 g de muestra previamente homogeneizada y secada en estufa a 60 °C durante unas 48 h, hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, se realizaron dos ataques con peróxido de hidrógeno (H₂O₂ 33%) diluido al 10% y al 20% respectivamente, durante 24 h, para oxidar la materia orgánica. Para favorecer la disgregación y dispersión de los sedimentos finos se añadió polifosfato de sodio al 2% y se mantuvieron en agitación durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se dividieron en dos fracciones mediante tamizado en húmedo a través de un tamiz de 2 mm de luz de malla. En este caso la fracción mayor a 2 mm fue casi nula. La fracción fina (menor de 2 mm, correspondiente a arena, limo y arcilla), se mantuvo con dispersante en un agitador magnético y a las 24 horas se analizó en un analizador de tamaño de partículas por difracción láser (Mastersizer 3000, Malvern®).

El análisis de las muestras de la campaña **INPULSE0719** se realizó en los laboratorios del Centro de Apoyo Científico y Tecnológico a la Investigación (CACTI) de la Universidad de Vigo. En este caso, para el pretratamiento de la muestra se tomaron unos 4 g que se homogeneizaron y secaron en estufa a 60 °C durante unas 48 h, hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, se realizaron ataques con peróxido de hidrógeno (H₂O₂ al 33%) diluido durante 24 h, para oxidar la materia orgánica. Para favorecer la disgregación y dispersión de los sedimentos finos se añadió hexametáfosfato al 5%. Las muestras se analizaron con el analizador de partículas láser Beckman Coulter®.

Combinando todos estos protocolos, se obtuvo la distribución granulométrica de cada muestra según los diámetros basados en las clases propuestas por Wentworth (1922) y que se pueden agrupar, a grandes rasgos, en grava (>2 mm), arena (2 mm–63 µm), limo (63–4 µm) y arcilla (<4 µm). La clasificación textural del sedimento se realizó utilizando los diagramas ternarios propuestos por Folk (1954) en función del contenido en grava, arena y fango y su variante para sedimentos finos representando el contenido en arena, limo y arcilla y el diagrama de Long (2006) propuesto para el estudio de los hábitats.

2) Análisis del contenido en materia orgánica y carbonatos: Método del LOI (Loss On Ignition)

La determinación de la pérdida de peso por ignición es un método empleado para determinar el contenido en materia orgánica y en carbonatos de los sedimentos (Dean, 1974; Bengtsson & Enell, 1986; Heiri et al., 2001), basado en el calentamiento secuencial de la muestra en un horno-mufla. El procedimiento consiste en tomar en un crisol de porcelana 20 g de muestra previamente homogeneizada y secada en estufa a 60 °C durante unas 48-72 h, hasta alcanzar peso constante. En una primera reacción, la materia orgánica es oxidada a 550 °C durante 4 h, emitiendo CO₂ y ceniza. El LOI se calcula entonces mediante la siguiente ecuación:

$$LOI_{550} = ((DW_{60} - DW_{550}) / DW_{60}) \times 100$$

donde LOI₅₅₀ representa el LOI a 550°C (como porcentaje), DW₆₀ representa el peso seco de la muestra antes de la combustión, y el DW₅₅₀ el peso seco de la muestra después de la combustión a 550°C, ambos en gramos. En una segunda reacción, se produce la destrucción de los carbonatos a 900-1000 °C durante 2 h, con la emisión de CO₂ y la formación de óxidos. En este caso, el LOI se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{LOI}_{950} = ((\text{DW}_{550} - \text{DW}_{950}) / \text{DW}_{60}) \times 100$$

donde LOI₉₅₀ es el LOI a 950°C (como porcentaje), DW₅₅₀ es el peso seco de la muestra después de la combustión de la materia orgánica a 550°C, DW₉₅₀ representa el peso seco de la muestra después de la ignición a 950°C, y DW₆₀ es de nuevo el peso seco inicial de la muestra antes de la combustión de la materia orgánica, todos expresados en gramos. En este caso es necesario aplicar un factor de corrección de 1.36 que corresponde al peso del carbonato en la muestra original (Bengtsson & Enell, 1986). La pérdida de peso experimentada por la muestra durante estas reacciones se determina por diferencia de peso del sedimento antes y después de cada combustión.

4. Distribución espacial de tipos morfológicos

Respecto a la distribución espacial de tipos morfológicos se ha determinado mediante el criterio experto y realizando análisis semiautomáticos a partir de la herramienta Benthic Terrain Modeler (BTM).

Para ello, se han incluido en esta herramienta los rásteres del índice de posición batimétrica (BPI-Bathymetric Position Index) grueso y fino normalizados entre ellos, así como los mosaicos generados para la batimetría y la pendiente.

De esta manera, la herramienta discrimina entre zonas elevadas, llanas y deprimidas en relación a un pixel y según el anillo definido por los radios externo e interno. Una vez creado el diccionario específico para esta zona y modificado según el criterio experto se han determinado 4 grandes tipos morfológicos (Fig. 3): a) Depresiones y canales; b) Fondo plano; c) Dorsales, volcanes de fango, crestas y ondulaciones grandes; d) Ondulaciones del fondo marino y bordes de canales y depresiones. A su vez, usando igualmente el BTM y el criterio experto estos tipos se han subdividido en los tipos geomorfológicos de mayor de detalle relacionados en la Tabla III.

Partiendo de esta capa con los tipos morfológicos especificados en la Tabla III se transformó el raster a un archivo shapefile de polígonos. Este shapefile se editó y se reclasificó únicamente con criterio experto para conseguir los tipos morfológicos finales que se muestran en la Figura 4. A esta capa poligonal se le suma otra capa lineal, que únicamente muestra la diferenciación entre canales contorníticos del talud medio y los canales turbidíticos (*gullies*) del talud superior. No fue necesario incluir más tipos lineales debido a la buena definición de la capa poligonal.

El nuevo mapa morfológico que se presenta en ese informe, comparado con el entregado en el informe de Díaz del Río et al. (2014) presenta mejoras sustanciales en la definición de todos los tipos morfológicos de la zona, aunque destacamos principalmente la mejora de la descripción de todas las morfologías en el campo profundo de expulsión de fluidos y en la definición de los campos de ondulaciones sobre el canal de Cádiz no descritas anteriormente.

Tabla III. Relación de tipos y subtipos geomorfológicos identificados en la zona de estudio.

TIPO MORFOLÓGICO GENERAL	SUBTIPO GEOMORFOLÓGICO
Depresiones y canales	Depresiones profundas, incisiones o valles marginales
	Fondos abruptos en depresiones o canales
	Fondos planos en depresiones o canales
Fondo plano	Fondo plano de alta pendiente
	Fondo plano de media pendiente
	Fondo plano de muy baja pendiente
Dorsales, volcanes de fango y crestas grandes	Dorsales diapíricas o volcanes de fango, bordes cóncavos de canales o depresiones, crestas de grandes ondulaciones
Ondulaciones del fondo marino y bordes de canales y depresiones	Ondulaciones o fondos convexos sobre fondos de pendiente alta
	Ondulaciones o fondos convexos sobre fondos de pendiente media
	Ondulaciones o fondos convexos sobre fondos de pendiente baja

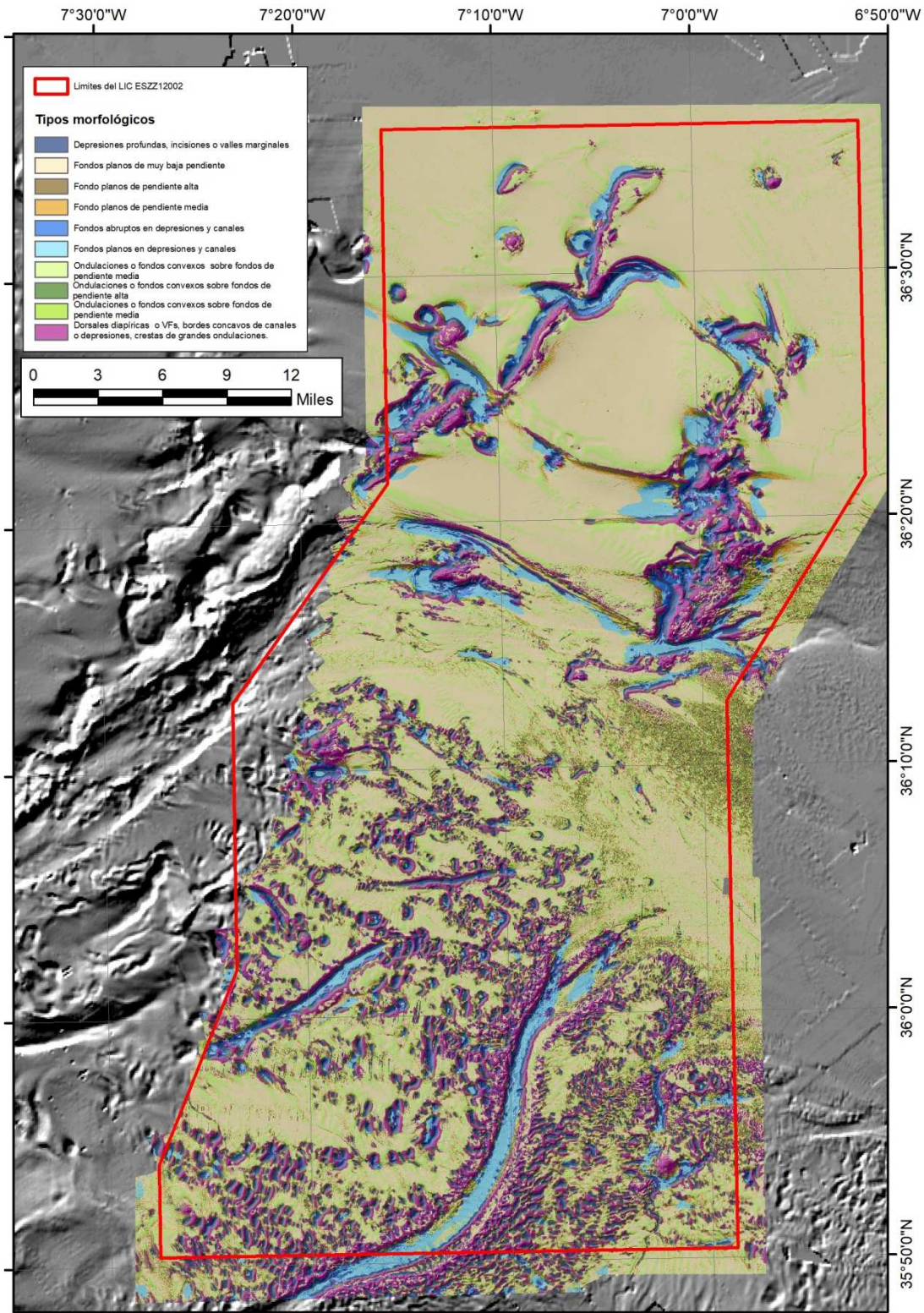


Figura 3. Tipos morfológicos generados a partir de la herramienta Benthic Terrain Modeler (BTM) y criterio experto.

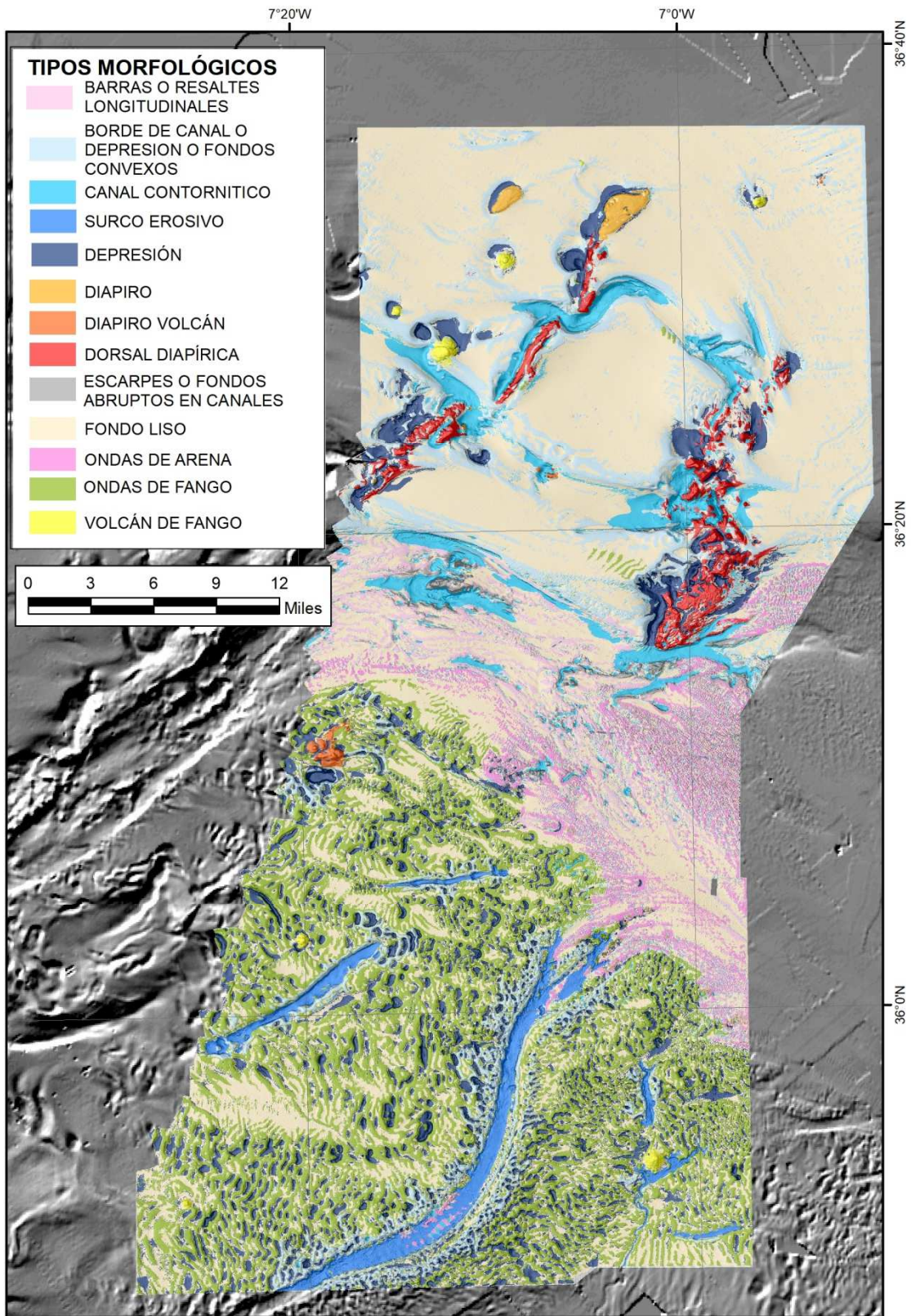


Figura 4. Tipos morfológicos identificados en LIC Volcanes de fango.

En esta nueva capa morfológica el detalle es mucho mayor y la diferenciación de morfologías es más exhaustiva y completa. De esta forma, por ejemplo, dentro de las estructuras relacionadas con los escapes de fluidos, se diferencia entre diapiro, diapiro volcán, volcán de fango y dorsal diapírica. En cuanto a las morfologías de relieve negativo, se han diferenciado depresiones, canales contorníticos, borde de canales y depresiones, y escarpes o fondos abruptos en canales.

Aquí es necesario indicar que para los canales se ha optado por marcar con tipo morfológico canal, aquellas zonas del canal que presentan una concavidad alta. De esta forma, si predominan otros tipos morfológicos como fondos lisos o campos de ondulaciones, se ha optado por destacar estos últimos aunque se sitúen dentro del canal.

Con respecto a las ondulaciones del fondo marino, se ha considerado el mapa de clasificación de tipos de fondo (Fig. 10), que tiene en cuenta la relación reflectividad-tamaño medio de grano, para así diferenciar entre las ondas de arena y las de fango.

5. Distribución espacial de sedimentos

En relación a los sedimentos, se han analizado los resultados obtenidos a lo largo de las campañas del proyecto INDEMARES_CHICA, en la campaña del proyecto ISUNEPCA en 2018 y las muestras obtenidas en la campaña del proyecto INPULSE en 2019.

Se han realizado diferentes diagramas ternarios propuestos por Folk (1954) y Long (2006) para representar el porcentaje de las fracciones granulométricas analizadas (Fig. 5).

Se ha realizado un diagrama ternario representando el contenido en grava, arena y fango para los sedimentos del proyecto INDEMARES_CHICA (Fig. 5A). En él, vemos que la mayor parte de los sedimentos analizados se corresponden con fango, fango arenoso y arena fangosa. En menor medida encontramos fango gravoso, arena fango-gravosa y grava areno-fangosa. Solo encontramos una muestra de arena gravosa y una de grava fangosa.

En el caso de las muestras de las campañas de los proyectos ISUNEPCA e INPULSE, las muestras presentaron un % de gravas nulo por lo que los resultados del análisis granulométrico se han representado en un diagrama ternario específico para sedimentos finos en los que se representa el contenido en arena, limo y arcilla. En el caso de las muestras del proyecto ISUNEPCA (Fig. 5B) se observa un predominio de sedimentos de tamaño arena, seguido de arena limosa y arena fangosa. En el caso de los sedimentos analizados en el proyecto INPULSE (Fig. 5C), también predomina el tamaño arena, seguido de arena limosa, limo arenoso y encontramos una única muestra de limo.

Atendiendo al diagrama de Long (2006) (Fig. 5D), se observa que predominan los sedimentos de fango y fango arenoso y los de arena y arena fangosa. En menor medida se dan sedimentos mixtos y no se ha encontrado ningún sedimento grueso.

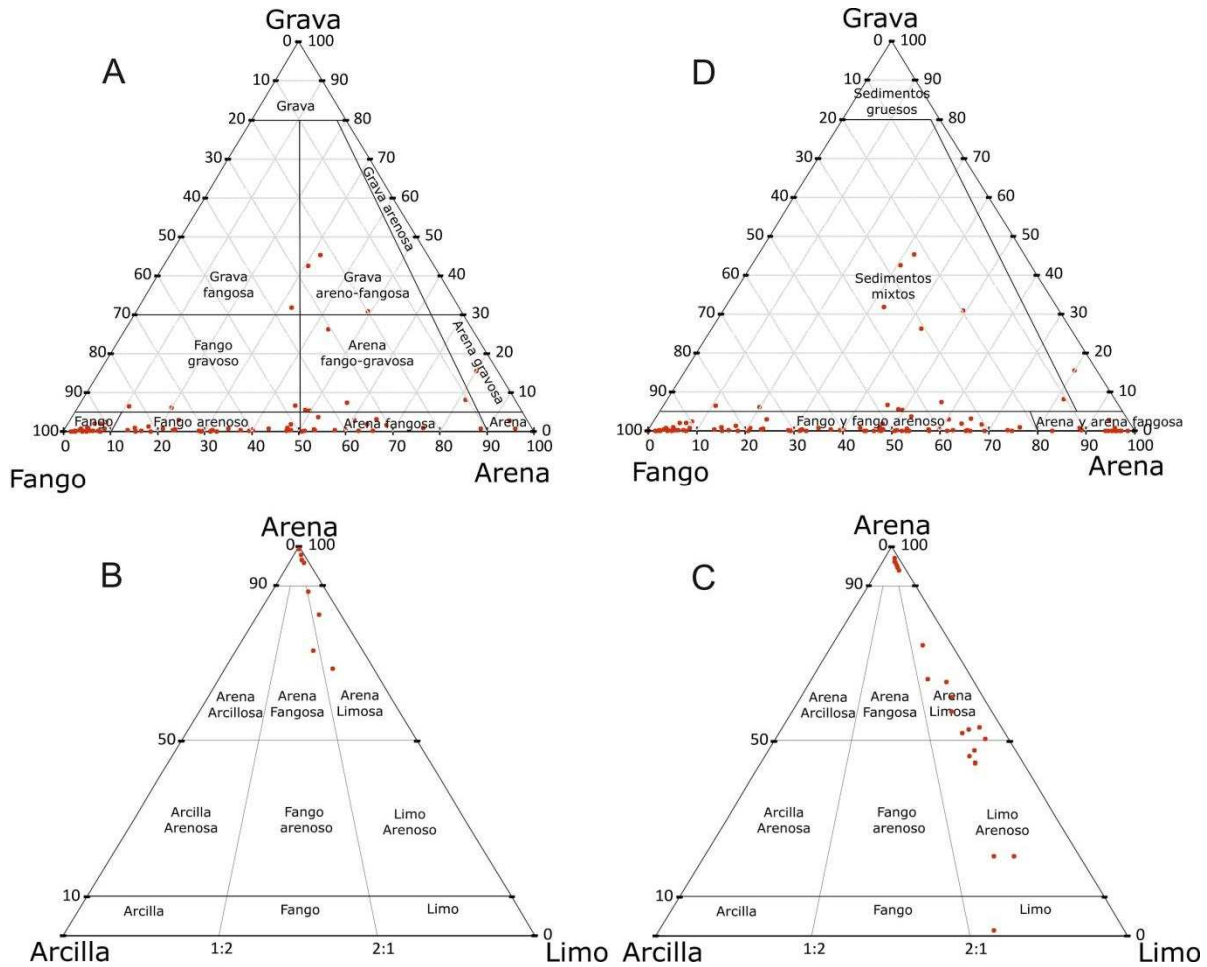


Figura 5. Diagramas ternarios de clasificación textural de Folk (1954) (A-C) y Long (2006) (D) para las muestras obtenidas en las campañas de los proyectos INDEMARES_CHICA (A), ISUNEPCA (B) e IMPULSE (C).

El muestreo se ha concentrado en los volcanes de fango y en los afloramientos diapíricos, aunque se encuentran algunas muestras en los fondos adyacentes. El número de muestreos es mayor en la zona norte que en la zona sur (Fig. 6). En general los volcanes de fango y los afloramientos diapíricos presentan un porcentaje mayor en el contenido en fango, seguido de cantidades variables de arena. En los fondos adyacentes a estas elevaciones, el contenido en arena es mayor, llegando a alcanzar porcentajes mayores al 90% en las zonas de canal y cerca de las dorsales diapíricas. Los sedimentos más gruesos (gravas) están limitados a las zonas más someras.

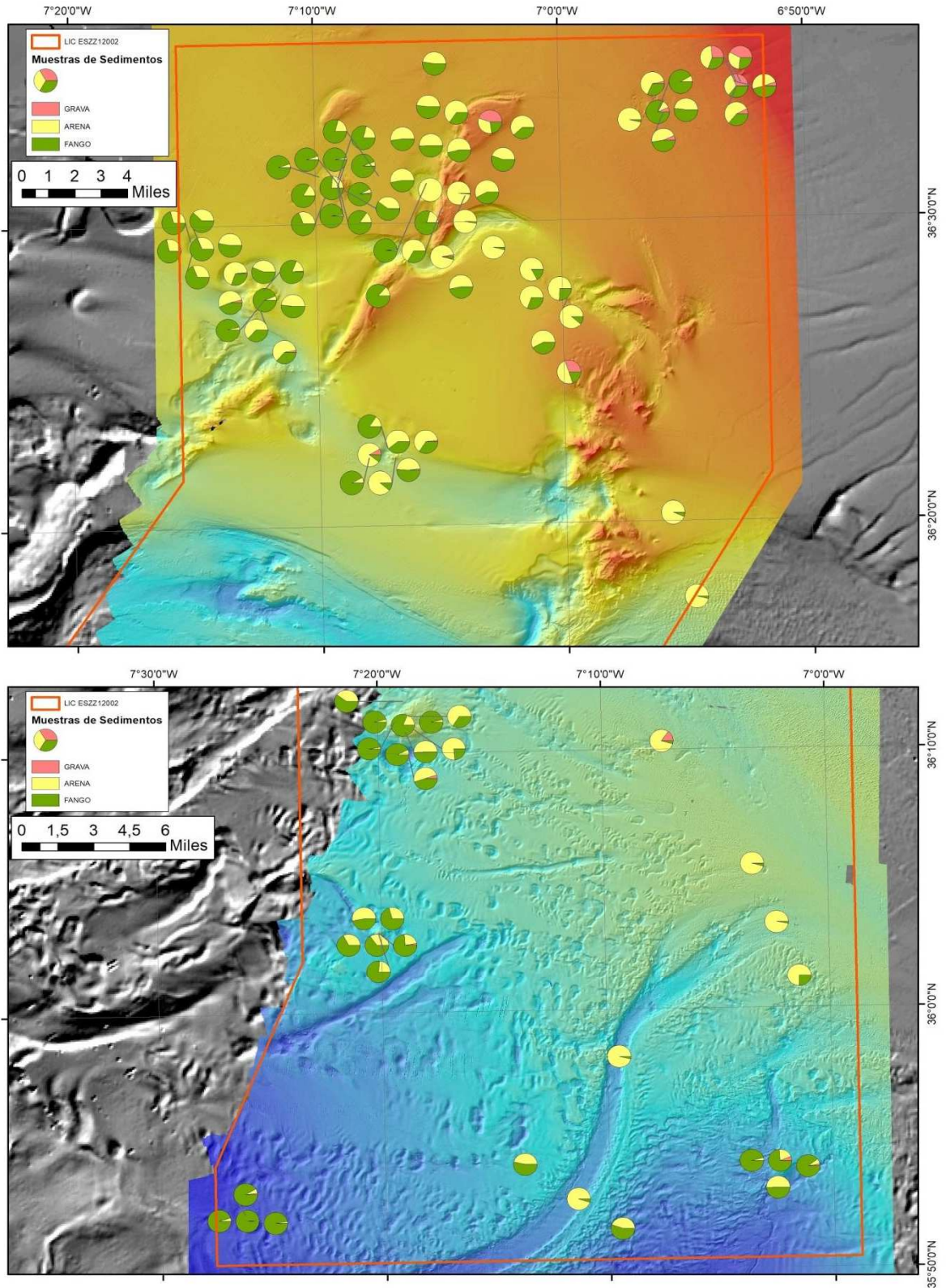


Figura 6. Distribución espacial de todas las muestras de sedimento superficial analizadas donde se muestran los porcentajes de grava, arena y fango.

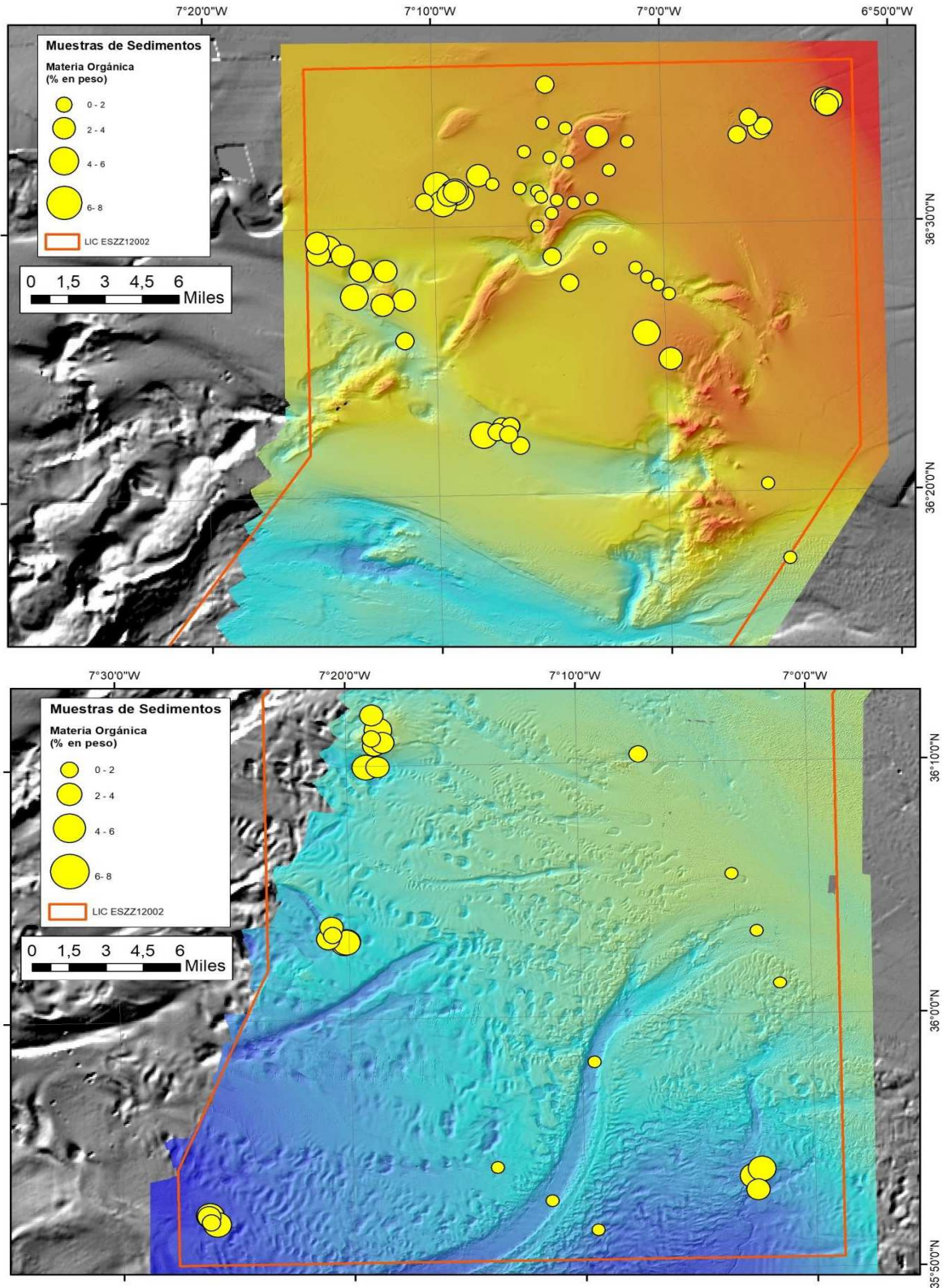


Figura 7. Distribución espacial del contenido en materia orgánica de las muestras de sedimentos superficiales de las campañas del proyecto INDEMARES_CHICA. A) Zona norte; B) Zona sur.

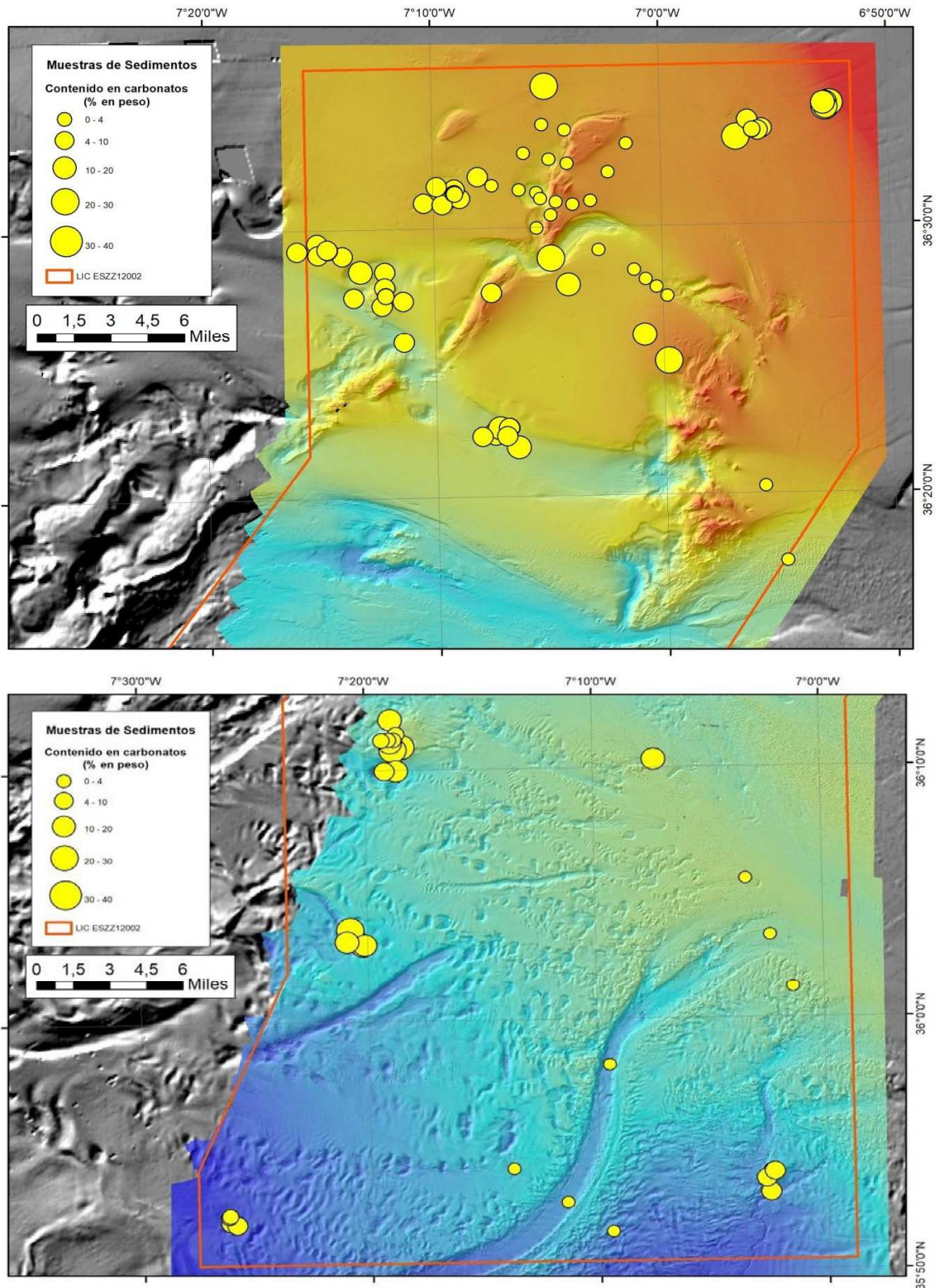


Figura 8. Distribución espacial del contenido en carbonatos de las muestras de sedimentos superficiales de las campañas del proyecto INDEMARES_CHICA. A) Zona norte; B) Zona sur.

La distribución espacial del contenido en materia orgánica de las muestras superficiales obtenidas en el proyecto INDEMARES_CHICA (Fig. 7) está altamente influenciada por la presencia de los volcanes de fango y los afloramientos diapíricos. Las muestras obtenidas en los volcanes de fango presentan los valores más elevados (>8%), mientras que las muestras obtenidas en la base de dichas elevaciones y en los canales presentan los valores más bajos.

En cuanto al contenido en carbonatos de las muestras superficiales obtenidas en el proyecto INDEMARES_CHICA (Fig. 8), se observa que los valores más altos (>30% en peso) se encuentran principalmente en las zonas más someras (zona norte de las dorsales, volcán de fango Gazul y el complejo Albolote), aunque también se dan en el volcán de fango Almazán y en el complejo Hespérides por lo que podrían estar relacionados con la presencia de carbonatos autigénicos. Los valores más bajos (<10% en peso) se dan en las zonas más profundas (volcán de fango Aveiro y St. Petersburg) y al oeste del campo somero en los volcanes de fango Pipoca, Anastasya y Tarsis.

6. Reflectividad y tipos de fondo

En cuanto a la reflectividad, se ha conseguido una mejora sustancial respecto a los datos procesados en el año 2014, ya que es la primera ocasión en la que se ha generado una capa continua de reflectividad de todo el LIC. En 2014 no se contaba con datos de reflectividad en la zona profunda excepto pequeñas áreas alrededor de los volcanes de fango profundos.

La nueva capa de información sobre la reflectividad permite determinar que las zonas de reflectividad alta se localizan sobre las dorsales diapíricas y los canales donde hay una mayor actividad de la corriente. La reflectividad media se encuentra localizada en zonas donde el flujo de la corriente es moderado y la más baja en localizaciones que están tras el flanco oeste de las dorsales o en zonas donde la corriente tiene una baja velocidad.

Para la obtención de los tipos de fondos se realizó una clasificación usando la herramienta *Image Classification* de ArcGis donde se clasifica semiautomáticamente la reflectividad en función de la clase asignada según el tamaño medio de las muestras de sedimento superficial. Para ello se generó un archivo de firmas con las clases granulométricas y se utilizó el algoritmo "*Maximum Likelihood Classification*" para obtener la capa de tipos de fondo general (Fig. 9) con tres tipos de fondos: a) Arena, b) Fango y c) Roca.

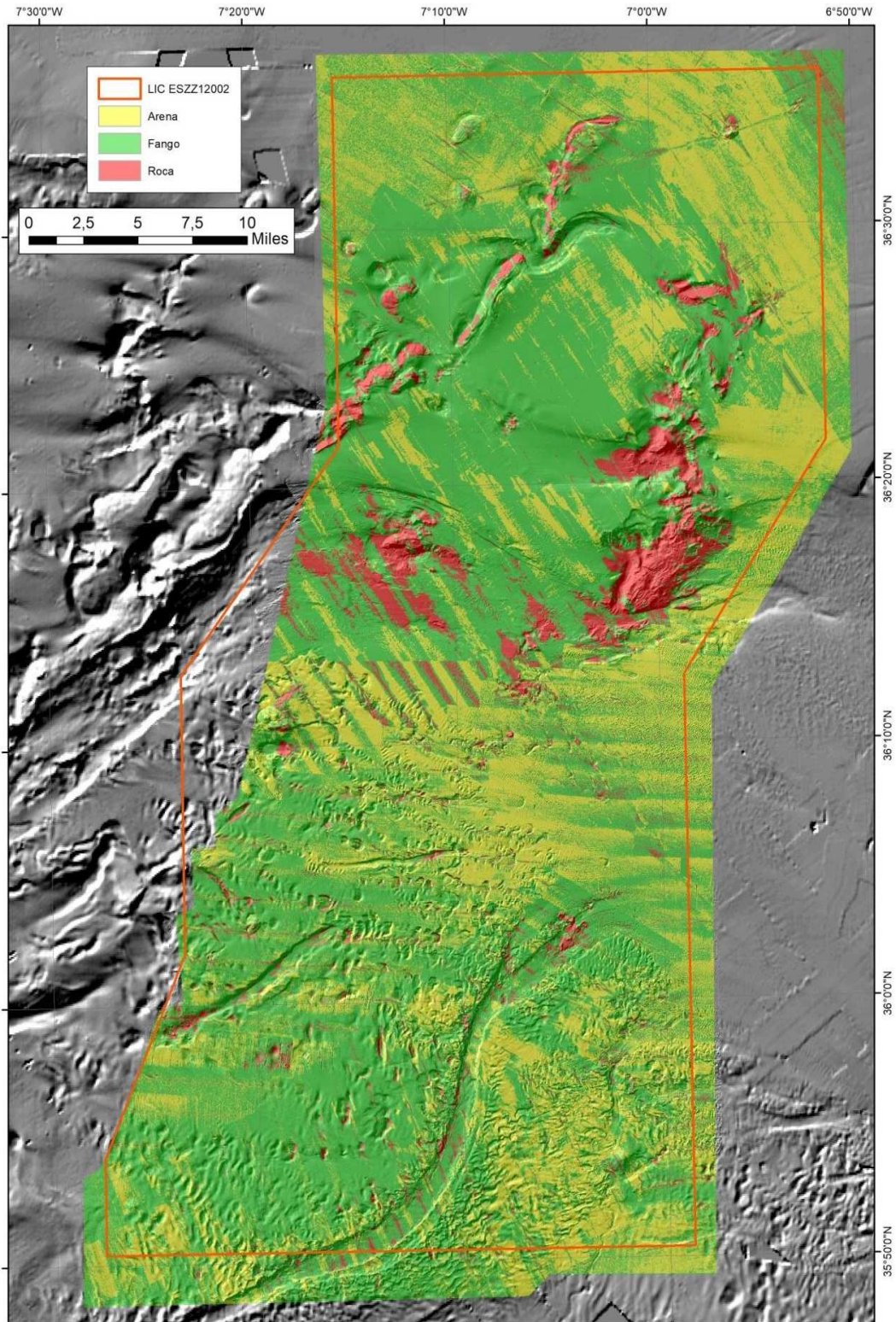


Figura 9. Tipos de fondo general del LIC Volcanes de fango.

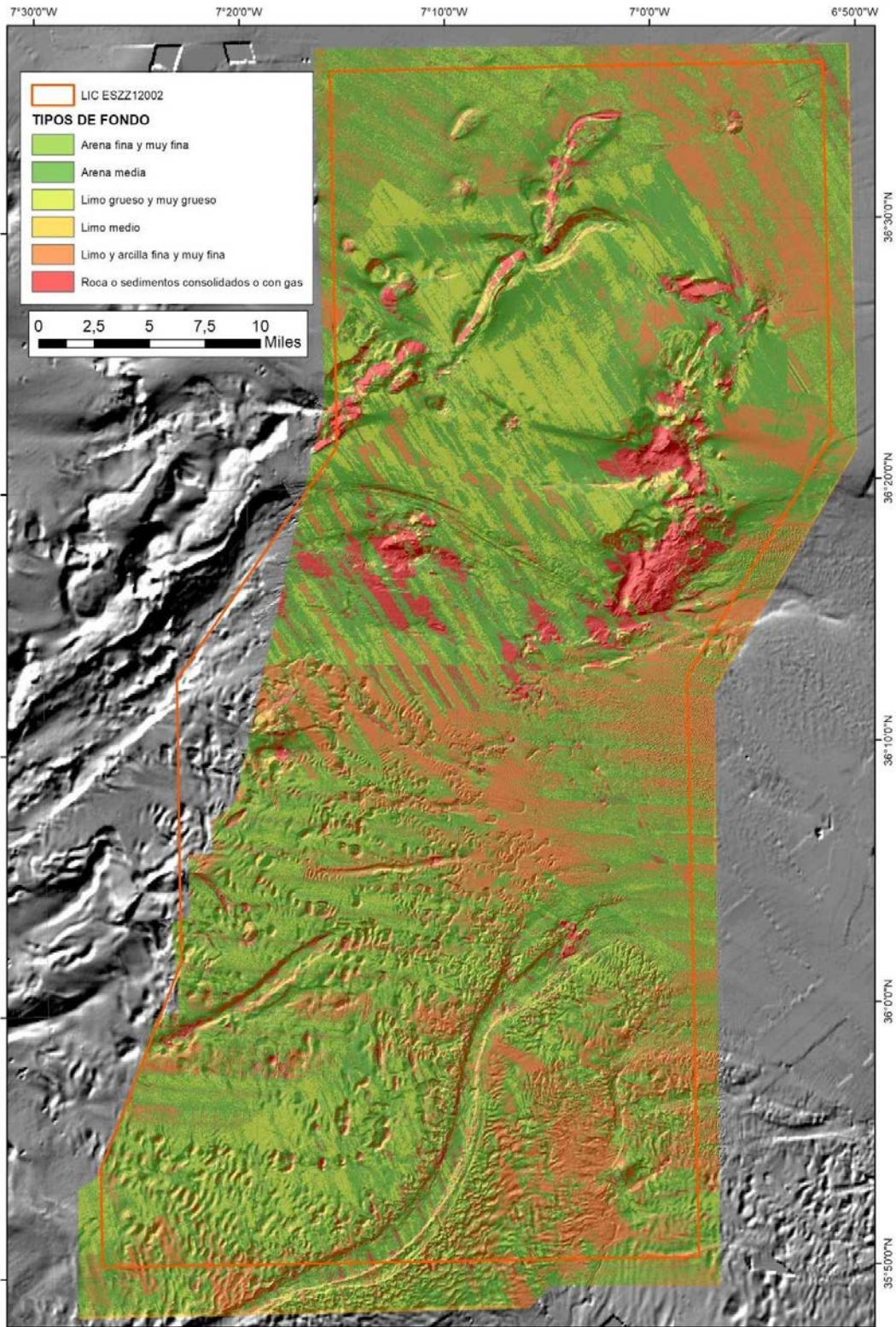


Figura 10. Tipos de fondo de detalle del LIC Volcanes de fango.

Usando el mismo procedimiento descrito anteriormente pero con un mayor detalle en las clases granulométricas se han diferenciado los tipos de fondo descritos en la Tabla IV, cuya distribución se representa en la capa de tipos de fondo de detalle (Fig. 10).

Tabla IV. Descripción de tipos de fondo identificados en la zona de estudio.

TIPO DE FONDO GENERAL	TIPO DE FONDO DETALLADO
Arena	Arena media
	Arena fina y muy fina
Fango	Limo grueso y muy grueso
	Limo medio
	Limo fino y muy fino o arcilla
Roca	Roca o sedimento consolidado o con gas

A esta capa de tipos de fondo (Fig. 10) se le ha aplicado un procedimiento de limpieza del ráster con la intención de eliminar ruido para el que se han usado las siguientes herramientas: *Majority filter*, *bounding cleaning* y *region group*.

7. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones de este informe son las siguientes:

- a) A pesar de que la adquisición de los datos acústicos no se ha realizado a veces en condiciones óptimas de estado del mar, el procesado realizado y la adquisición de información de diferentes proyectos realizados en la zona por el Instituto Español de Oceanografía ha permitido mejorar la información morfológica y sedimentológica del LIC. No obstante, la compilación de información acústica de diferentes campañas complica la integración, sobre todo para la reflectividad, ya que los datos son adquiridos en diferentes contextos oceanográficos y con diferentes ecosondas, dando valores máximos y mínimos diferentes de una campaña a otra. Para realizar una mejora sustancial de la reflectividad sería preciso

realizar campañas oceanográficas diseñadas en exclusiva para la adquisición de esta información.

- b) El muestreo de sedimentos está preferentemente concentrado en la cima de los volcanes de fango y alrededores, por lo que se recomienda un muestreo más extenso que cubra de manera homogénea el área de estudio y permita en el futuro una mejor calibración de la reflectividad con el tamaño medio de grano.

8. Bibliografía

Bengtsson, L., Enell, M. 1986. **Chemical analysis**. In Berglund, B. E. (ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 423-451.

Dean, W.E., Jr. 1974. **Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods**. Journal of Sedimentary Petrology 44, 242-248.

Díaz-del-Río, V., Bruque, G., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., González, E., López, N., Palomino, D., López, F.J., Farías, C., Sánchez, R., Vázquez, J.T., Rittierott, C., Fernández, A., Marina, P., Luque, V., Oporto, T., Sánchez, O., García, M., Urra, J., Bárcenas, P., Jiménez, M.P., Sagarminaga, R., Arcos, J.M. 2014. **Volcanes de fango del golfo de Cádiz, Proyecto LIFE + INDEMARES**. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 132 pp.

Folk, R.L. 1954. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature**. Journal of Geology 62 (4), 344-359.

García, M., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Stow, D.A.V., León, R., Fernández-Puga, M.C., Díaz del Río, V., Somoza, L. 2009. **Contourite erosive features caused by the Mediterranean Outflow Water in the Gulf of Cadiz: tectonic and oceanographic Quaternary implications**. Marine Geology 257, 24-40.

García, M., Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Lobo, F.J., Ercilla, G., Alonso, B., Casas, D., Mena, A., Fernández-Salas, L.M. 2020. **The role of late Quaternary tectonic activity and sea-level changes on sedimentary processes interaction in the Gulf of Cadiz upper and middle continental slope (SW Iberia)**. Marine and Petroleum Geology 121, 104595.

Habgood, E.L., Kenyon, N.H., Masson, D.G., Akhmetzhanov, A., Weaver, P.P.E., Gardner, J., Mulder, T. 2003. **Deep-water sediment wave fields, bottom current sand channels and gravity flow channel-lobe systems: Gulf of Cadiz, NE Atlantic**. Sedimentology 50, 483-510.

Hanquiez, V., Mulder, T., Lecroart, P., Gonthier, E., Marchès, E., Voisset, M. 2007. **High resolution seafloor images in the Gulf of Cadiz, Iberian margin**. Mar. Geol. 246, 42-59.

Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G. 2001. **Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results.** *Journal of Paleolimnology* 25, 101-110.

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Somoza, L., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., León, R., Medialdea, T., Barnolas, A., García, M., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., Lobo, F., Alveirinho Dias, J.M., Rodero, J., Gardner, J. 2003. **Looking for clues to paleoceanographic imprints: a diagnosis of the Gulf of Cadiz contourite depositional systems.** *Geology* 31, 19-22. doi:10.1016/j.margeo.2008.10.009

Hernández-Molina, F. J., Llave, E., Stow, D.A.V., García, M., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F., Maestro, A., Díaz del Río, V., León, R., Medialdea, T., Gardner, J. 2006. **The Contourite Depositional System of the Gulf of Cadiz: a sedimentary model related to the bottom current activity of the Mediterranean Outflow Water and the continental margin characteristics.** *Deep-Sea Research II* 53, 1420-1463. DOI:10.1016/j.dsr2.2006.04.016.

Long, D. 2006. **BGS detailed explanation of seabed sediment modified Folk classification.**

Lozano, P., Fernández-Salas, L.M., Hernández-Molina, F.J., Sánchez-Leal, R., Sánchez-Guillamón, O., Palomino, D., Farias, C., Mateo-Ramírez, A., López-González, N., García, M., Vázquez, J.T., Vila, Y., Rueda, J.L. 2020. **Multiprocess interaction shaping geomorphs and controlling substrate types and benthic community distribution in the Gulf of Cádiz.** *Marine Geology* 423, 106139.

Palomino, D., López-González, N., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., Sánchez-Leal, R., Díaz-del-Río, V. 2016a. **Multidisciplinary study of mud volcanoes and diapirs and their relationship to seepages and bottom currents in the Gulf of Cádiz continental slope (northeastern sector).** *Mar. Geol.*, 378, 196-212.

Palomino, D., Vázquez, J.T., López-González, N., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., González-García, E., Díaz-del-Río, V. 2016b. **Caracterización geomorfológica y hábitats en estructuras volcánicas en el Campo Profundo de Expulsión de Fluidos (NE del Golfo de Cádiz).** *Actas de la XIV Reunión Nacional de Geomorfología.* Pp: 555-562.

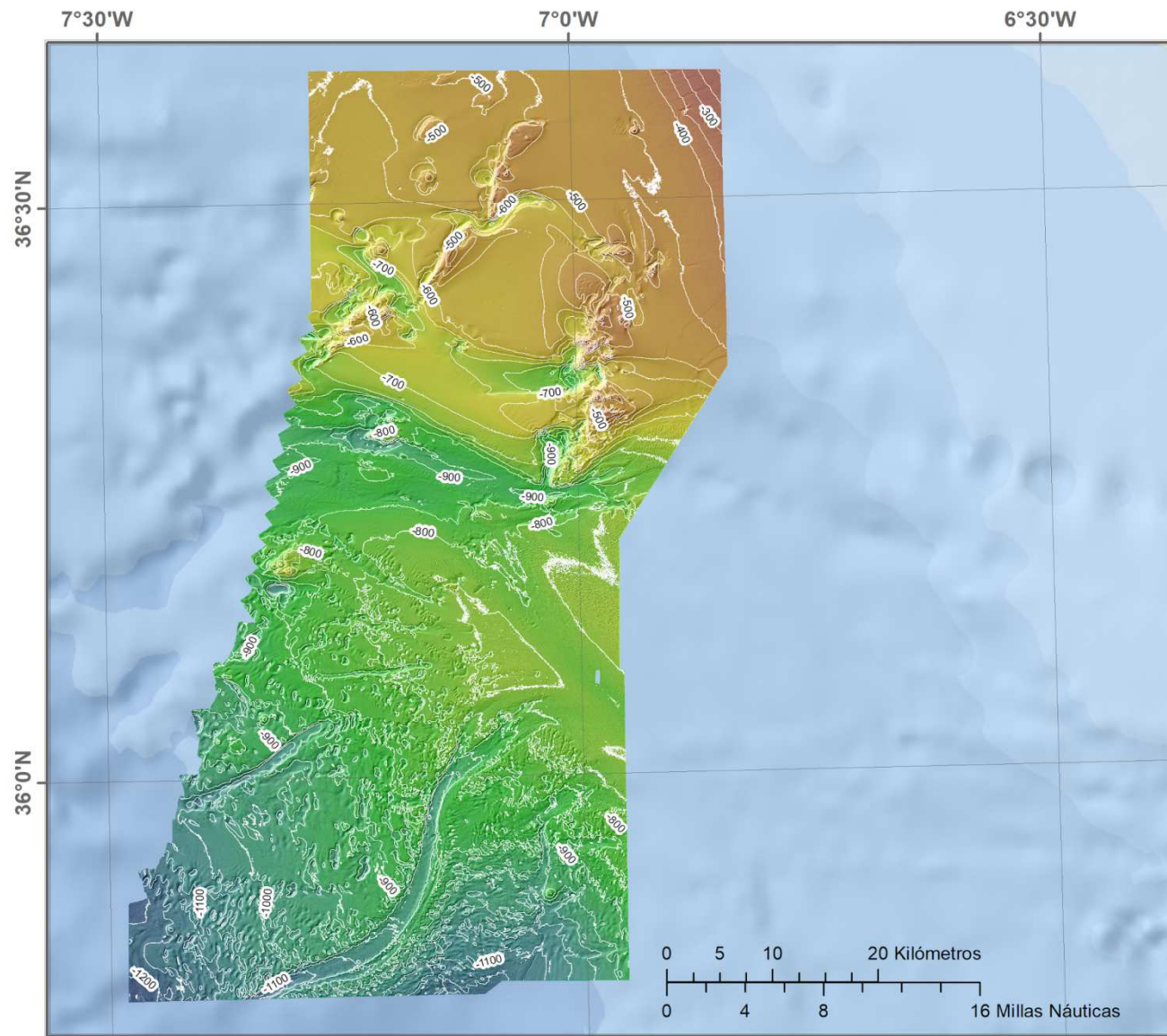
Palomino, D., Vázquez, J.T. López-González, N. Fernández-Salas, L.M. Rueda, J.L. González-García, E., Díaz-del-Río, V. 2016c. **Evidencias de expulsión de fluidos en el complejo Hespérides en el talud medio del Golfo de Cádiz.** *Geo-Temas* 16(1) 327-330. ISSN 1576-5172

Wentworth, C.K. 1922. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** *Journal of Geology* 30, 377-392.

ANEXOS

Información cartográfica:

1. Batimetría 15 m de resolución espacial e isóbatas a equidistancia de 50 m
2. Sombreado 15 m de resolución espacial
3. Reflectividad 15 m de resolución espacial
4. Pendientes 15 m de resolución espacial
5. Orientación del fondo 15 m de resolución
6. Índice de posición batimétrica escala grosera
7. Índice de posición batimétrica escala de detalle
8. Curvatura total 15 m de resolución
9. Curvatura planar 15 m de resolución
10. Curvatura perfil 15 m de resolución
11. Rugosidad 15 m de resolución
12. Geomorfología lineal
13. Geomorfología poligonal
14. Tipos de fondo a 15 m de resolución



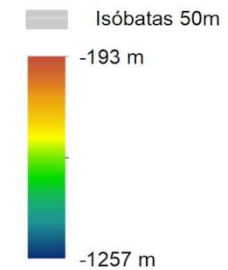
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

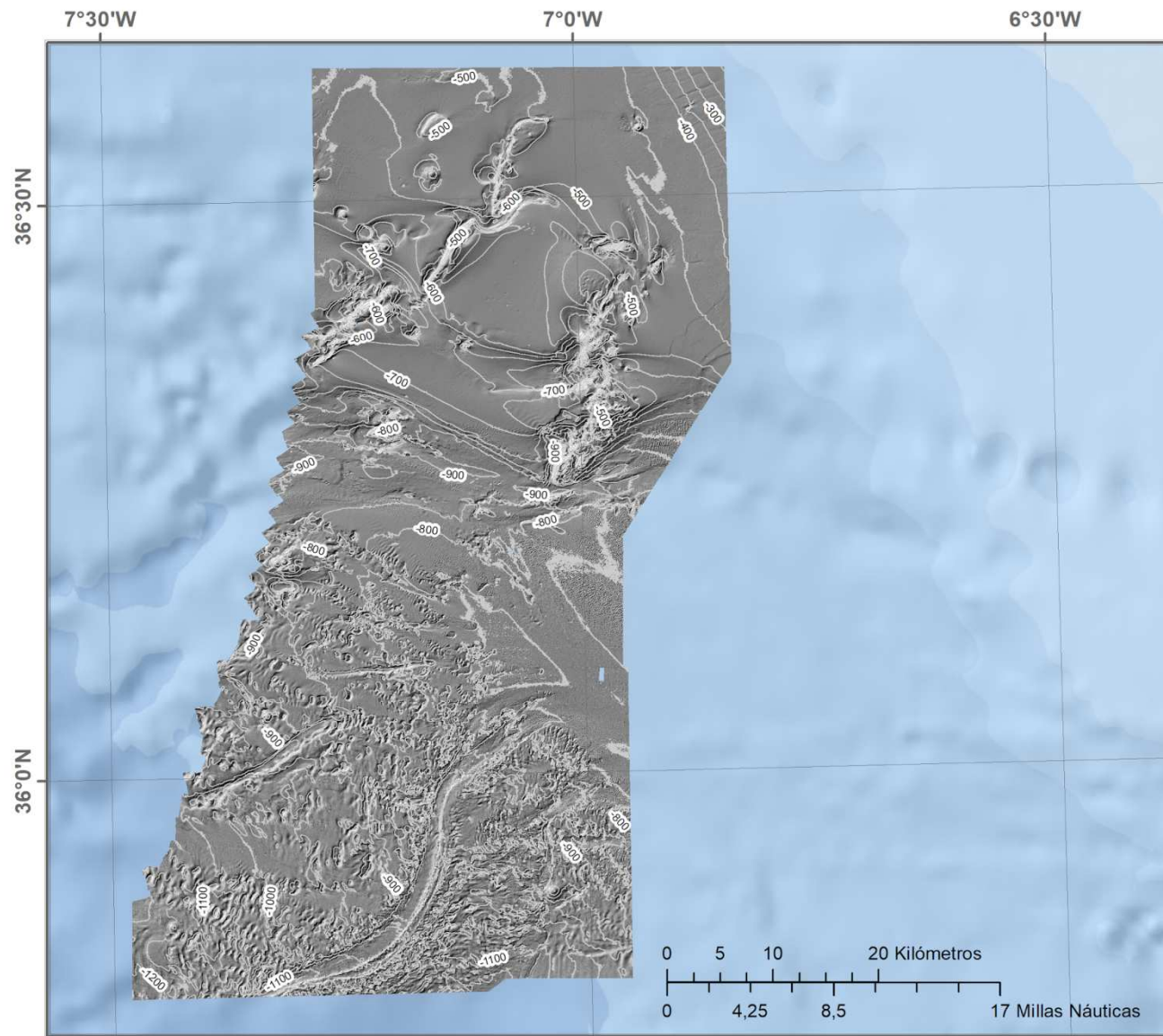
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
BATIMETRÍA
15 METROS DE RESOLUCIÓN

Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA



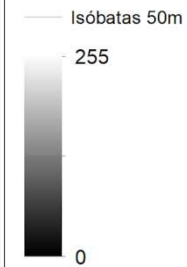


**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
SOMBREADO
15 METROS DE RESOLUCIÓN

LEYENDA





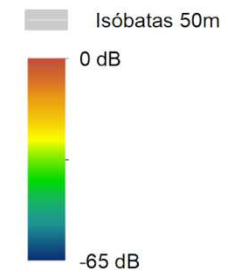
**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
REFLECTIVIDAD
15 METROS DE RESOLUCIÓN

Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA














INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

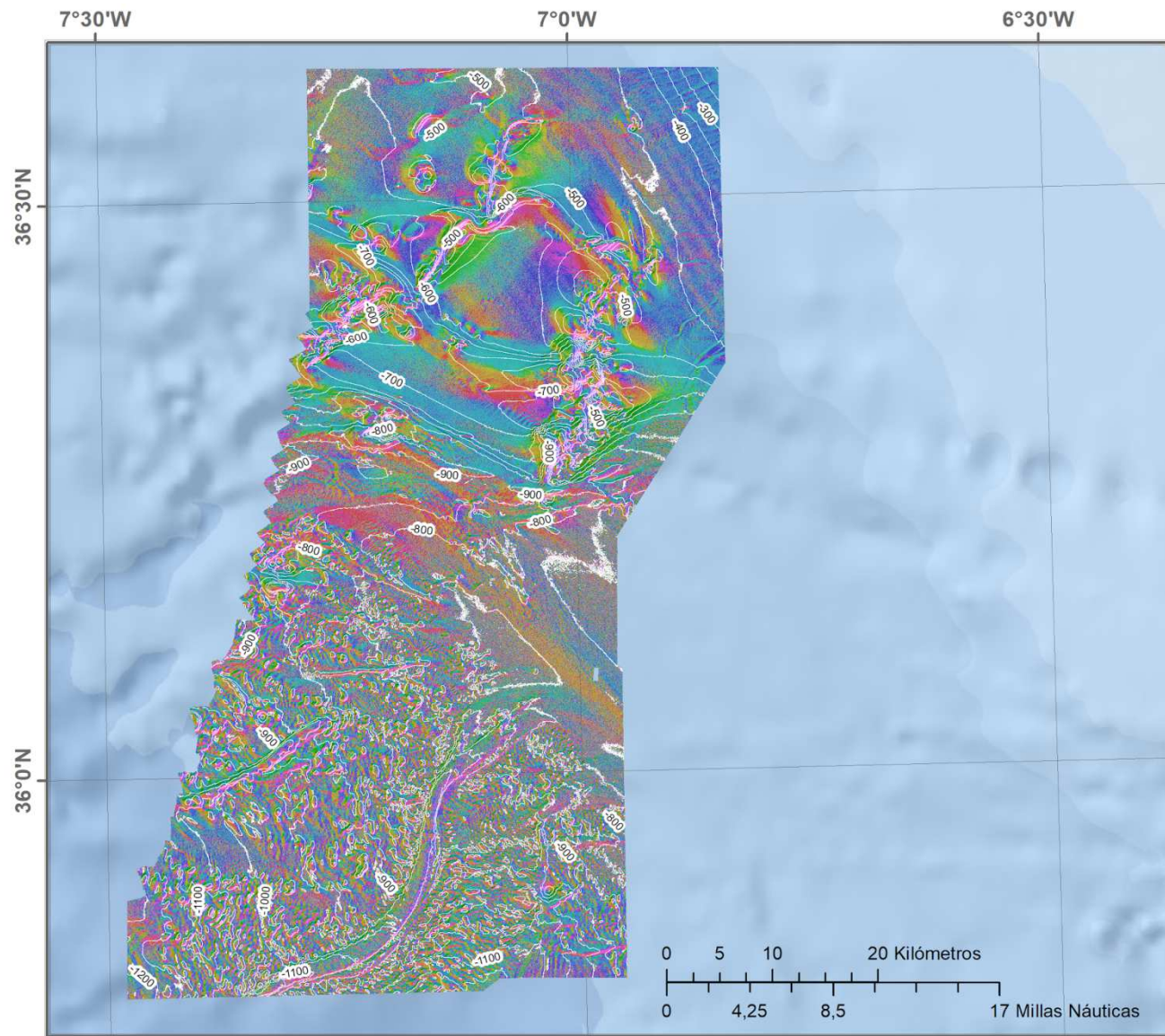
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
PENDIENTE

15 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA

-  Isóbatas 50m
-  0° - 1°
-  1° - 3°
-  3° - 6°
-  6° - 10°
-  10° - 15°
-  15° - 20°
-  20° - 25°
-  25° - 30°



**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

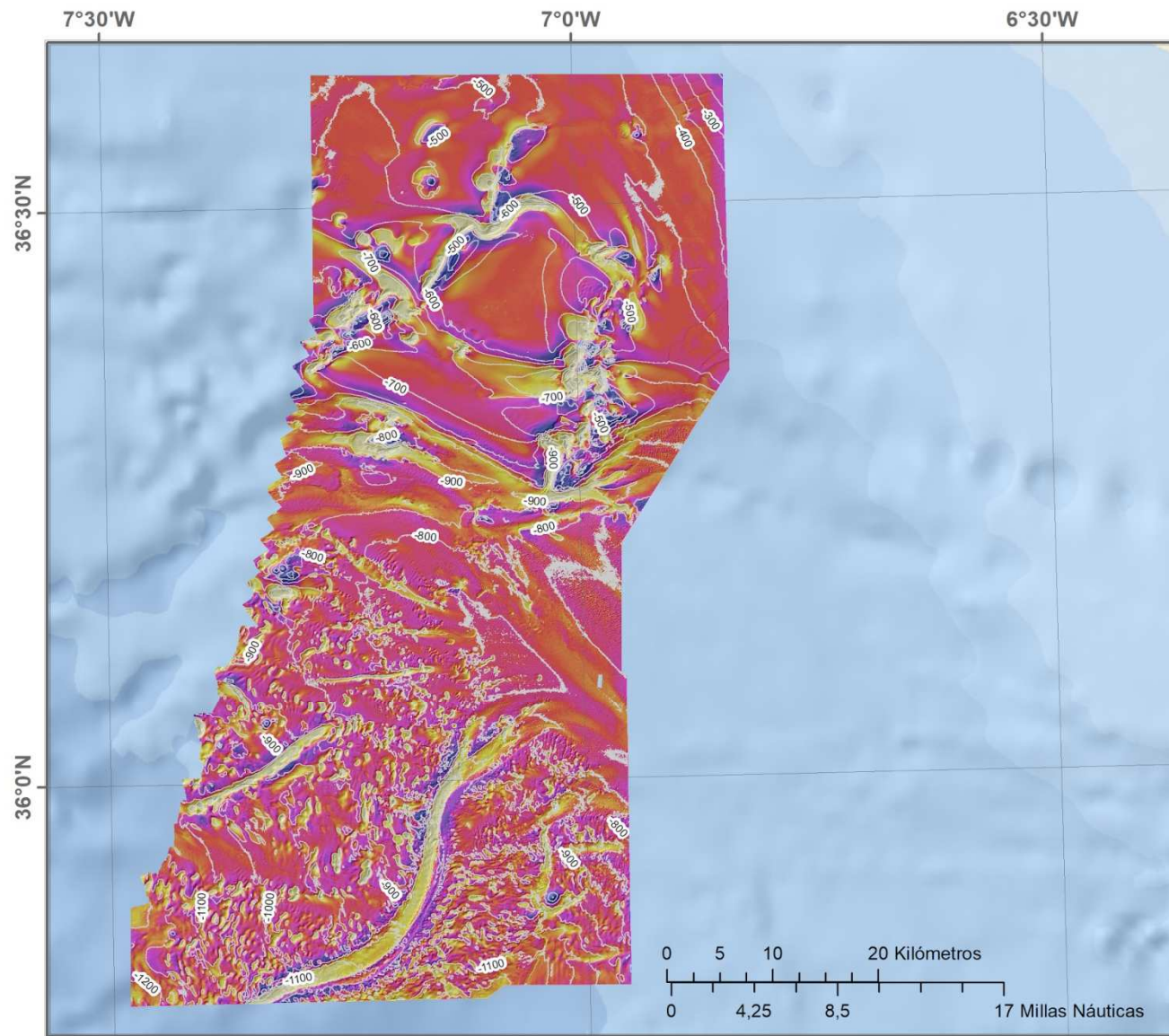
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
ORIENTACIÓN DEL FONDO
15 METROS DE RESOLUCIÓN

Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA

- Isóbatas 50m
- Norte (0° - 22,5°)
- Noreste (22,5° - 67,5°)
- Este (67,5° - 112,5°)
- Sureste (112,5° - 157,5°)
- Sur (157,5° - 202,5°)
- Suroeste (202,5° - 247,5°)
- Oeste (247,5° - 292,5°)
- Noroeste (292,5° - 337,5°)
- Norte (337,5° - 360°)



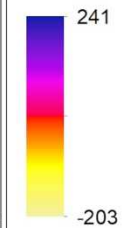
**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

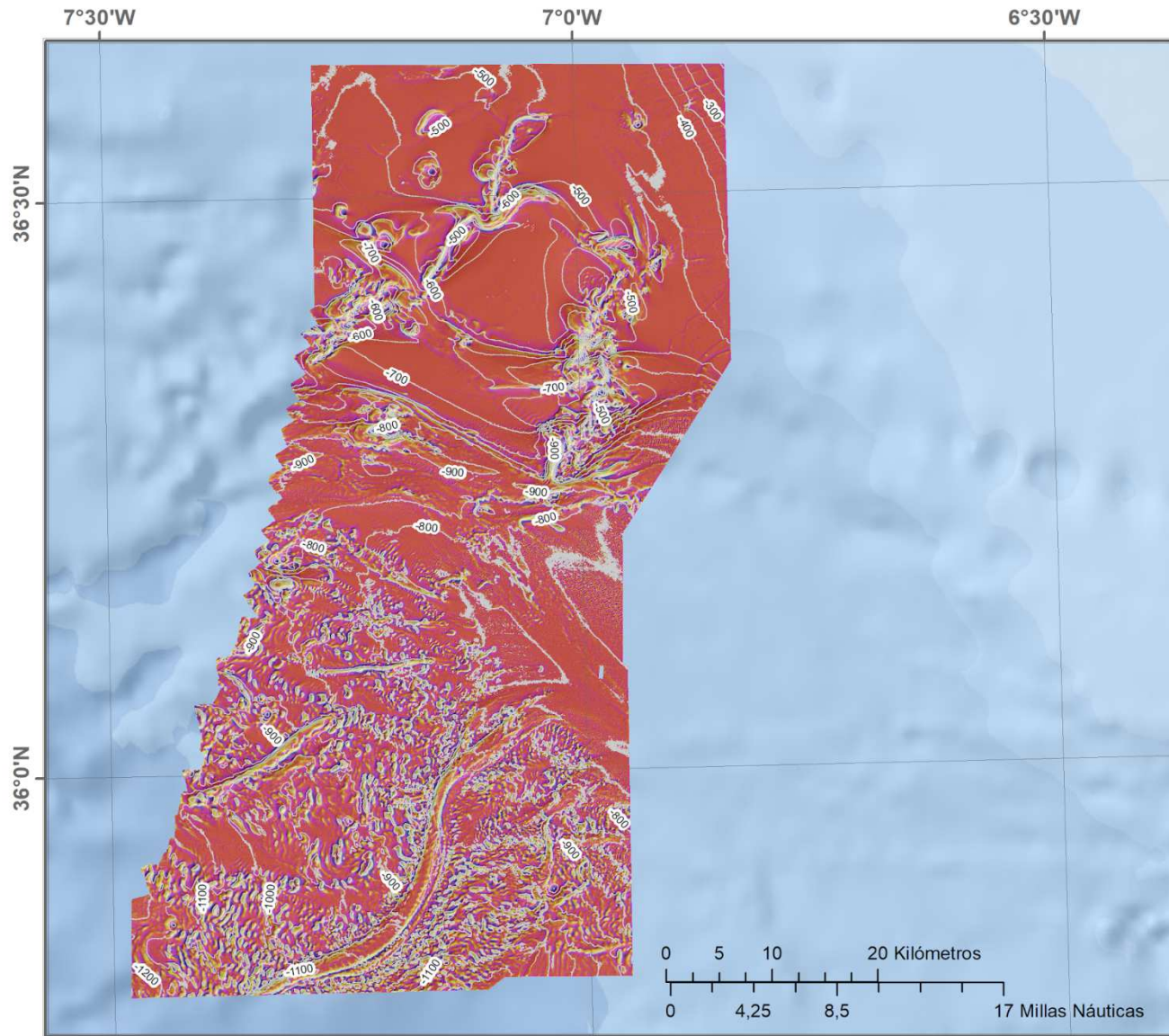
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
 ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
 ESCALA GROSERA
 Radio interno: 70 celdas
 Radio externo: 100 celdas

LEYENDA

— Isóbatas 50m





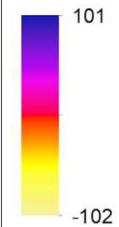
**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

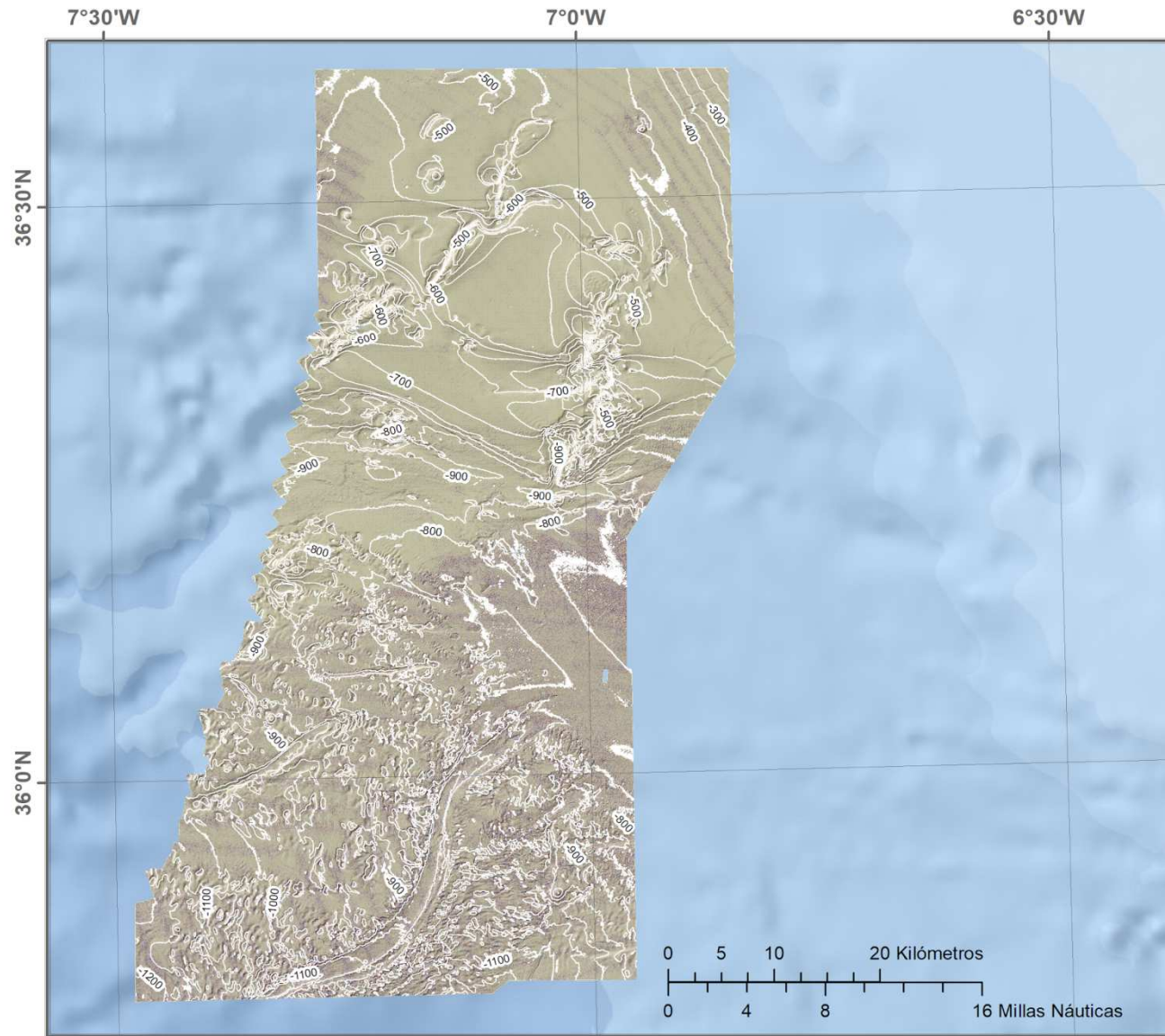
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
ESCALA DE DETALLE
Radio interno: 10 celdas
Radio externo: 20 celdas

LEYENDA

— Isóbatas 50m






INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

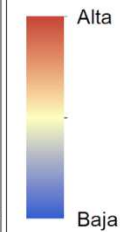
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

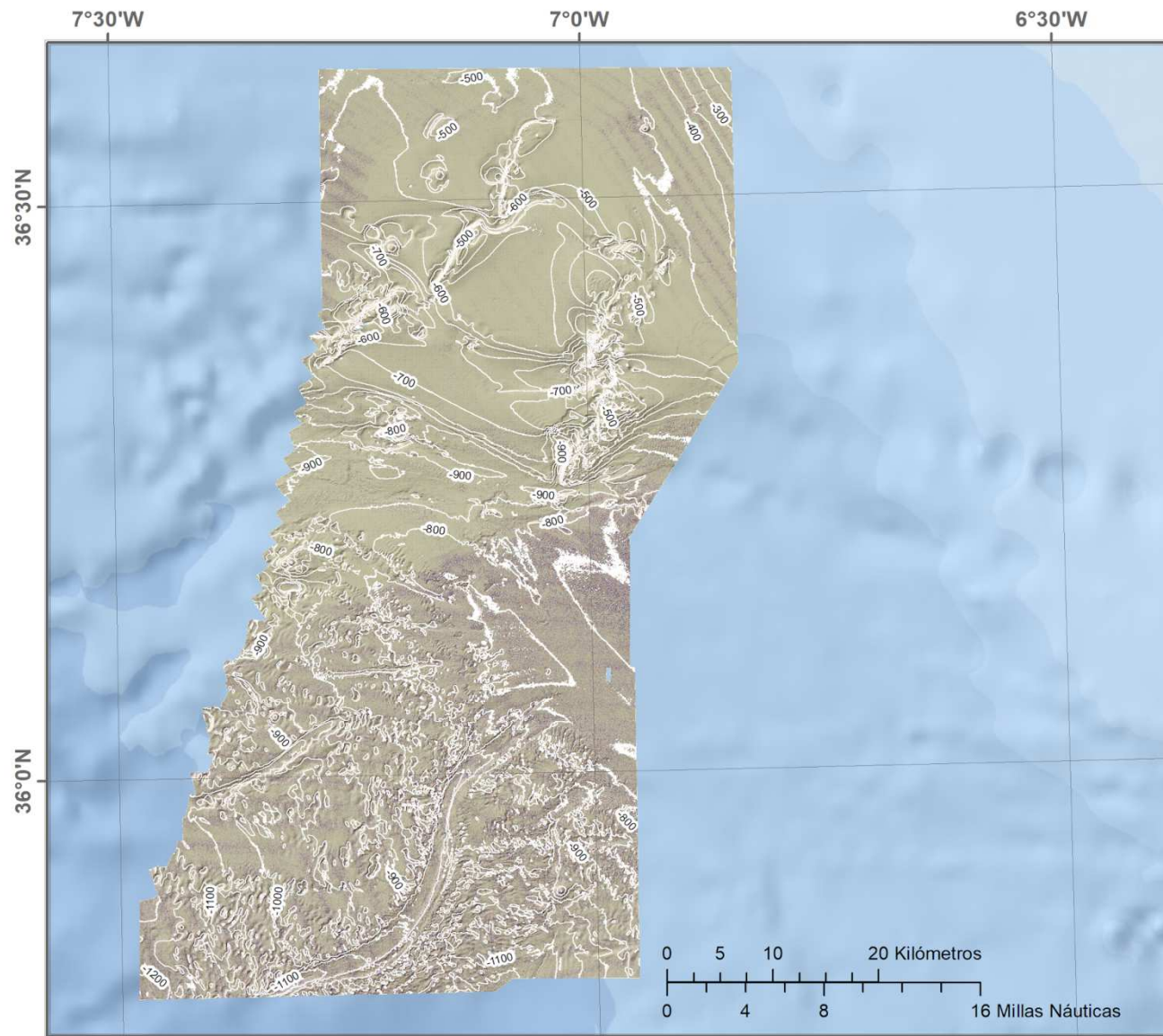
VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
CURVATURA TOTAL
15 METROS DE RESOLUCIÓN

Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA

 Isóbatas 50m



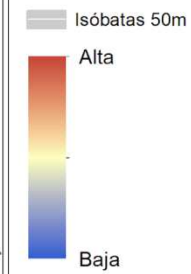


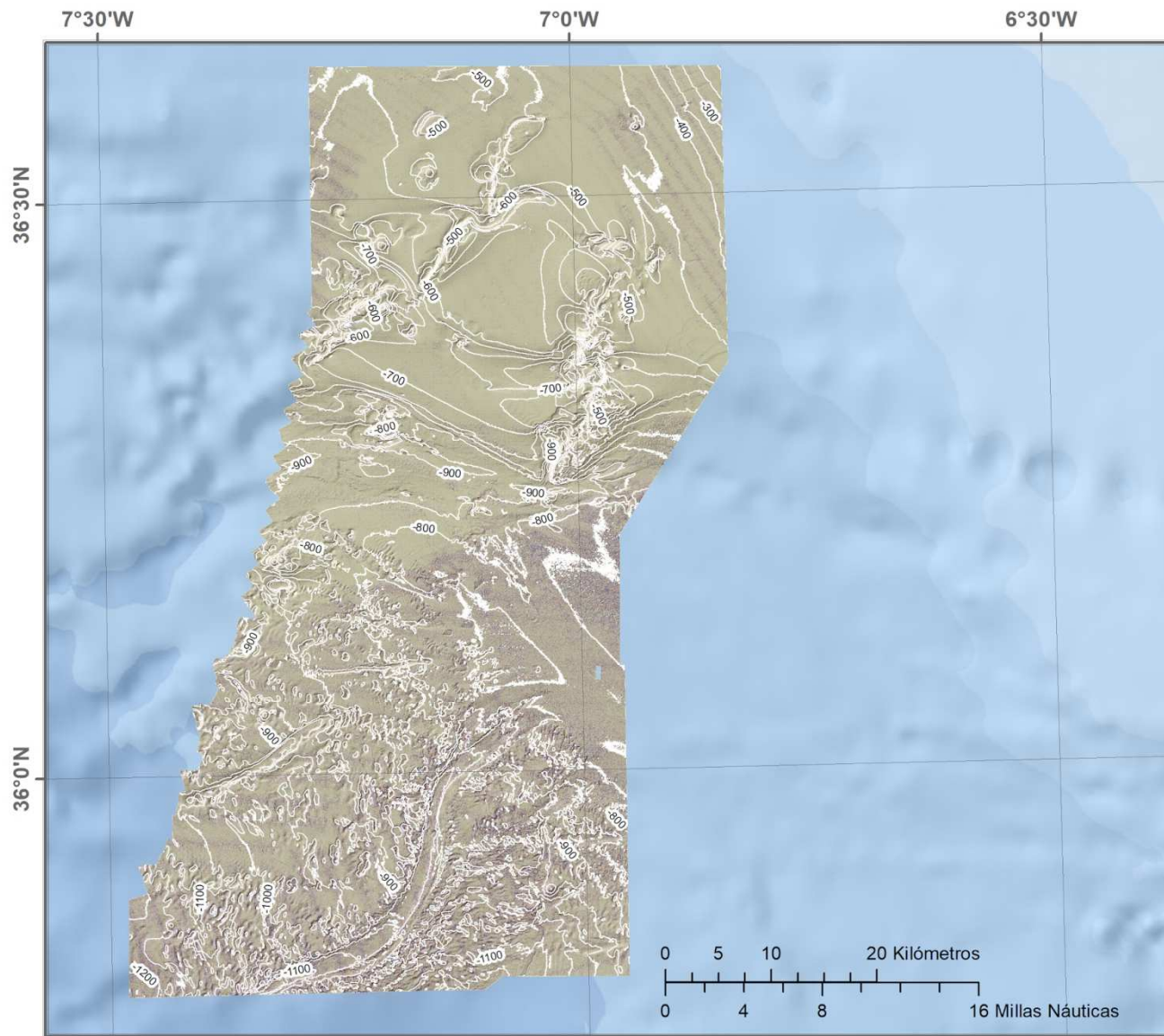
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
CURVATURA PLANAR
15 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA



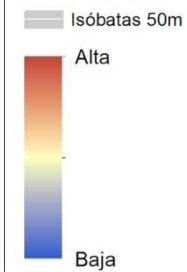


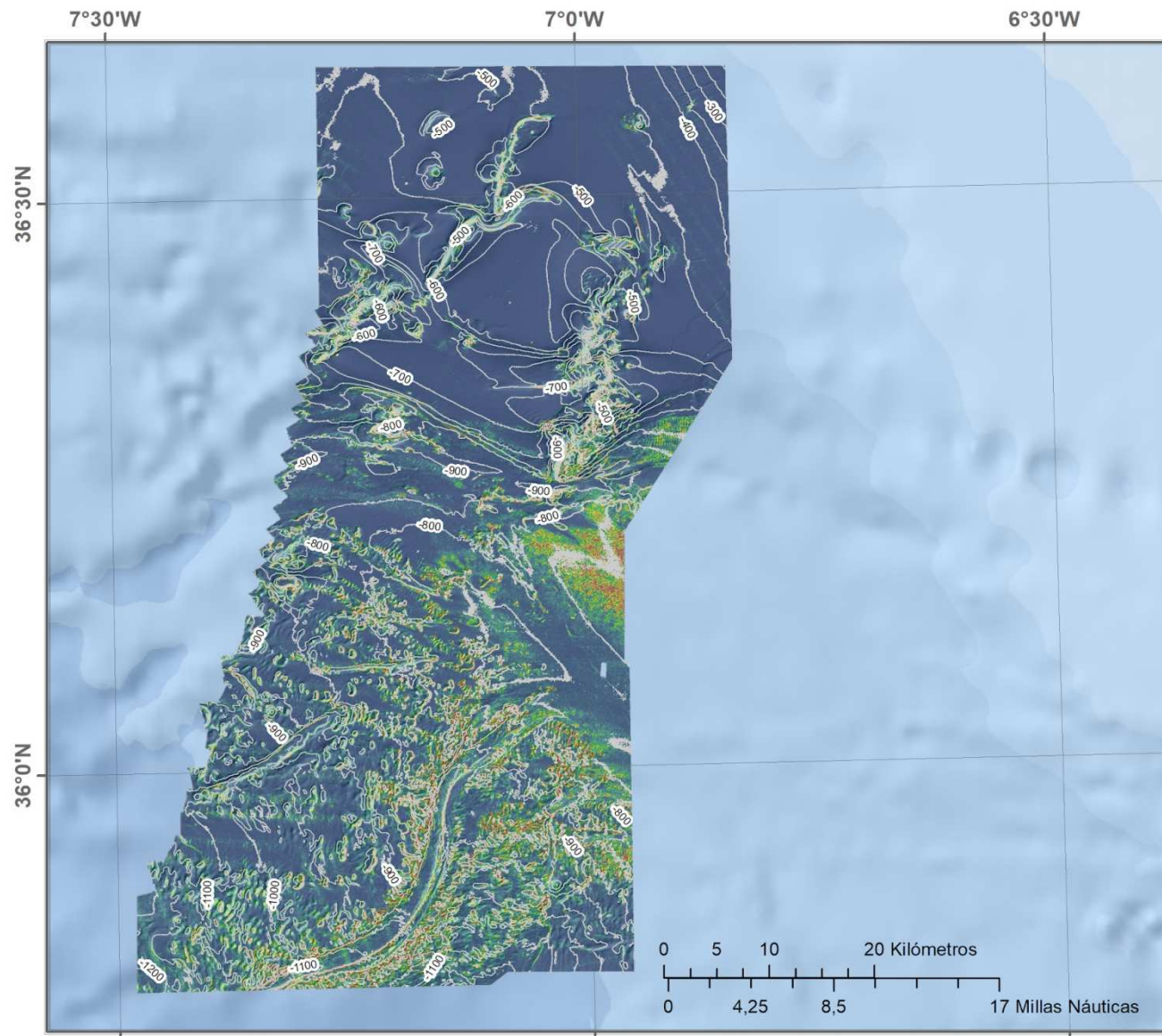
**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
CURVATURA PERFIL
15 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA



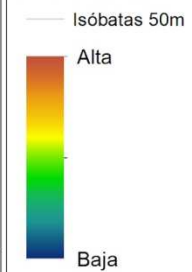


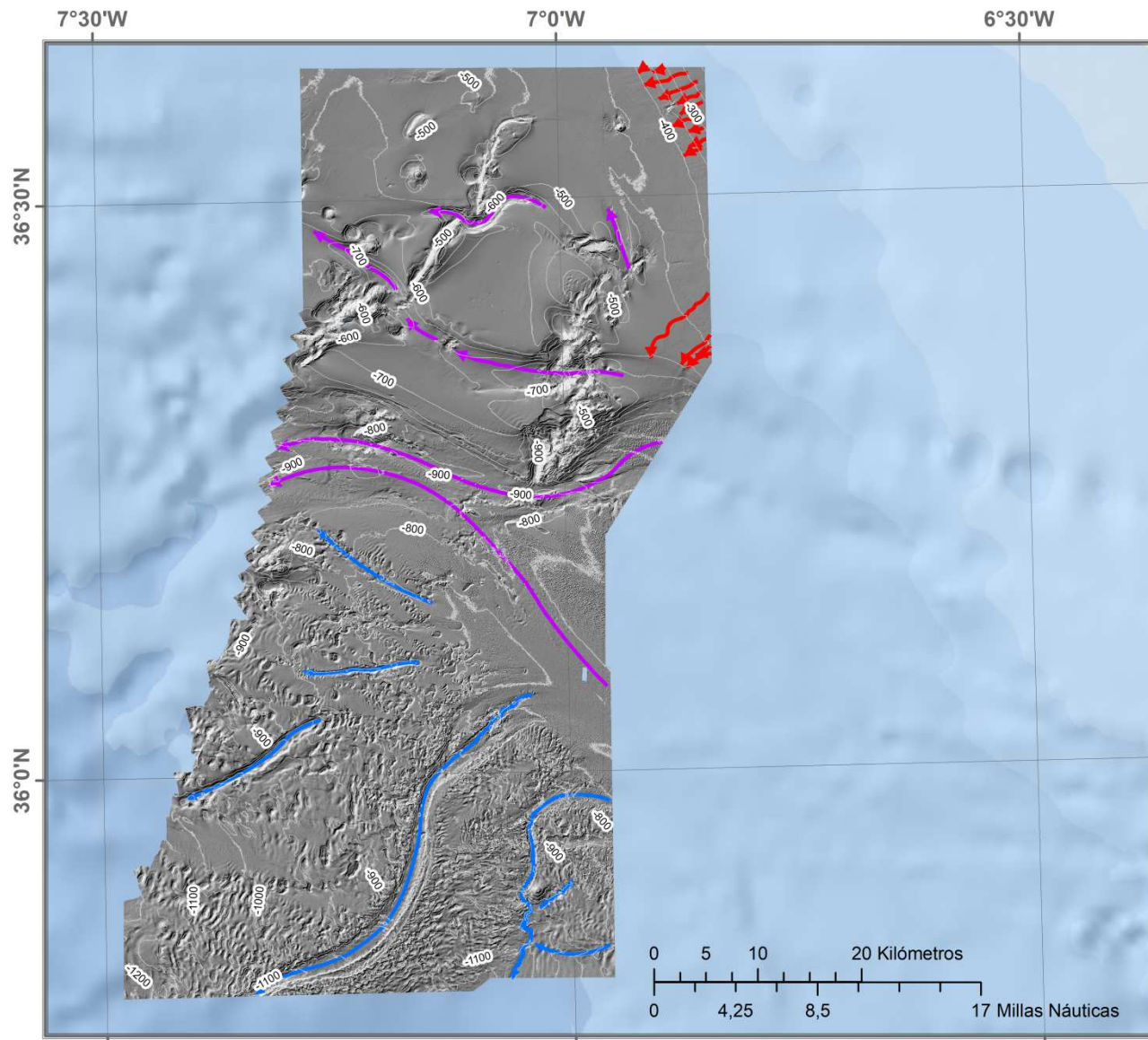
**INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012**

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

**VOLCANES DE FANGO
DEL GOLFO DE CÁDIZ**
RUGOSIDAD
15 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA









INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

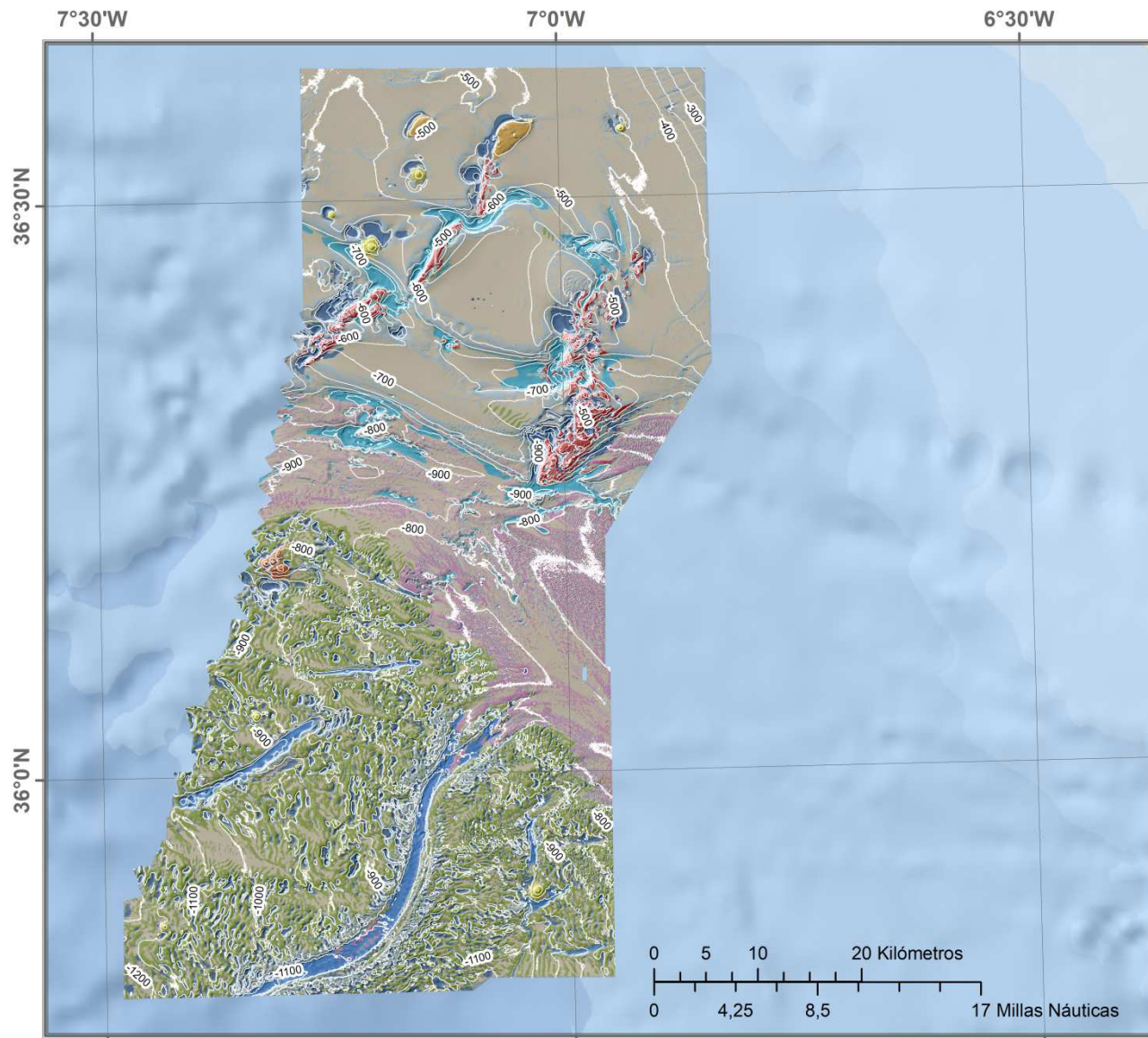
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
GEOMORFOLOGÍA LINEAL

Mostrado sobre sombreado de 15 metros de resolución

LEYENDA

-  Isóbatas 50m
-  Canal contornítico
-  Canal talud superior
-  Surco erosivo



INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

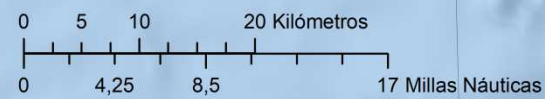
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

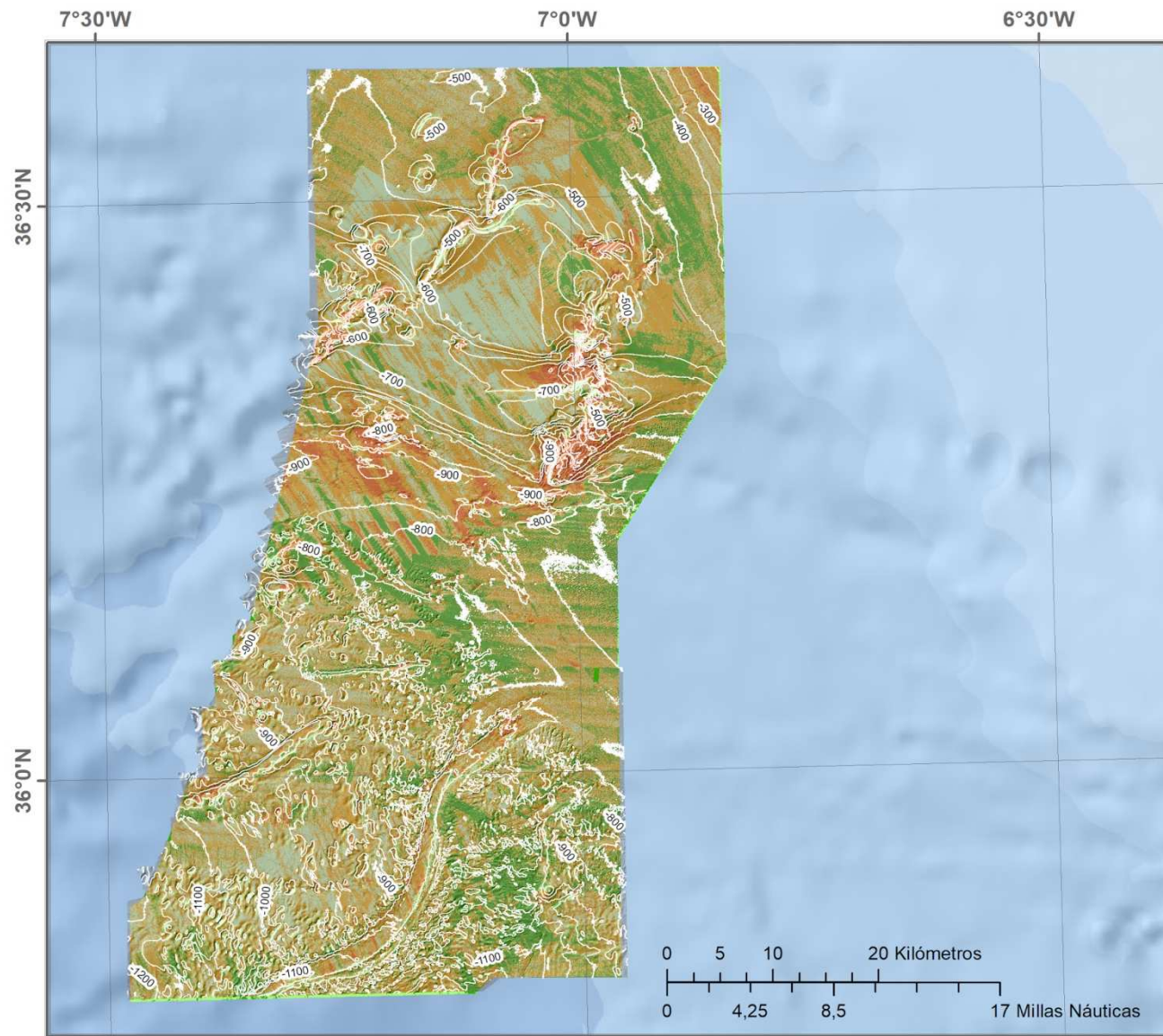
VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
GEOMORFOLOGÍA POLIGONAL

Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 40%

LEYENDA

-  Isobatas 50m
-  Barras o resaltes longitudinales
-  Borde convexo de canal o depresión
-  Canal contornítico
-  Surco erosivo
-  Depresión
-  Diapiro
-  Diapiro volcán
-  Dorsal diapírica
-  Escarpes o fondos abruptos en canales
-  Fondo liso
-  Ondas de arena
-  Ondas de fango
-  Pockmark
-  Volcán de fango





INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012

Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 29N

VOLCANES DE FANGO DEL GOLFO DE CÁDIZ
TIPO DE FONDO
15 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%

LEYENDA

-  Isóbatas 50m
-  Arena media
-  Arena fina y muy fina
-  Limo grueso y muy grueso
-  Limo medio
-  Limo y arcilla fina y muy fina
-  Roca o sedimentos consolidados o con gas