

Resultados y conclusiones preliminares del periodo 2018/2019

Diciembre 2019



uhues
Universidad de Huelva

INTRODUCCIÓN

Los resultados y conclusiones de los trabajos realizados por este grupo desde el año 2015 sobre la geología de subsuelo, las características hidrodinámicas y sedimentarias del entorno perimetral de las balsas y apilamientos de fosfoyesos, se recogen en los informes I y II presentados por el Comité de Expertos. Los trabajos técnicos sobre estos aspectos han continuado durante este último año, sus resultados y conclusiones más relevantes se resumen a continuación.

1. TRABAJOS REALIZADOS (2018-2019).

- Procesado de datos obtenidos en periodo anterior con revisiones de expertos externos en geofísica marina.
- Testificación de estructura deltaicas mediante vibracores (Testigos de vibración).
- Dataciones de niveles de conchas en testigos mediante radiocarbono-14.
- Perfiles de sonda Multibeam en la zona perimetral de balsas y apilamientos, zona 1, 2 y 3.
- Perfiles de sísmica de alta y baja resolución, en zonas 1, 2 y 3.
- Seguimiento de piezómetros.
- Control de los niveles críticos de marea durante el segundo semestre de 2019.

2. RESULTADOS.

El análisis de los trabajos realizados durante 2018 y 2019, junto con lo ya expuesto en el II Informe del comité científico técnico de expertos de la Universidad de Huelva (Junio de 2018), se pueden resumir en los siguientes resultados:

2.1. Análisis del registro sedimentario en el entorno de las balsas de Fosfoyesos.

- El reflector sísmico identificado en los perfiles sísmicos realizados en las campañas de 2016, 2018 Y 2019, corresponde a una capa de restos de conchas de un espesor comprendido entre 0,2 y 0,5 m. Interpretado como un depósito originado por un evento de alta energía, probablemente de origen tsunamigénico, ya identificado en otros sectores de la Ría de Huelva.

- La característica más destacada del registro sedimentario estudiado, es la presencia de una capa de cochas de individuos de *ostreaedulis*, con espesores que pueden superar los 4 m. y que se encuentra de forma exclusiva en el sector apical de la zona 2 de los apilamientos de fosfoyesos. Este tipo de depósitos no ha sido observado en otros sectores de la Ría de Huelva. Se trata de conchas articuladas (con las dos valvas) de individuos juveniles en posición de vida. Estas características revelan condiciones ambientales muy diferentes a las actuales.

- Los registros sísmicos transversales realizados en la margen occidental de las balsas, revelan la presencia de estructuras de acreción sedimentaria de tipo deltaico; con desarrollo longitudinales superiores a los 30 m y espesores de comprendidos entre 5 y 10 m. Estas acumulaciones están constituidas por capas alternantes de fangos mareales y yeso.

- El análisis de las estructuras de deformación observadas en los registros sísmicos, permiten distinguir dos tipos bien diferenciados: escapes de fangos y domos. Los primeros representan deformaciones de menor escala y su presencia es más frecuente en el sector noreste del margen de la zona 2 de las balsas. Lo domos son estructuras de deformación de mayor escala, que pueden alcanzar hasta los 100 m en superficie y más de 4 de espesor. Muestran una evolución en su desarrollo, desde domos profundos hasta domos con expresión en superficie que forman grandes estructuras diapíricas y que pueden superan los 300 metros de extensión. Estas estructuras se identifican como grandes abultamientos en el fondo del canal, concentrándose en el sector apical de la zona 2 de los apilamientos y representa el mayor grado de evolución de deformación.

- El examen de los registros de sonar realizados en 2019, reflejan un importante incremento de *pocmarks* (estructuras de escape de fluidos); respecto a las campañas

anteriores. Este aumento de las estructuras de escape ya se observaba en los registros de sísmica de alta resolución realizados en 2018.

2.2. Análisis de deformaciones en el sustrato sedimentario producto de la sobrepresión ejercida por el apilamiento de fosfoyesos.

- Los cálculos teóricos que se han realizado a partir de datos de densidad media de los fosfoyesos (recogidos de Proyecto Constructivo de Fertiberia) y de sedimentos recogidos en el estuario, muestran como las presiones ejercidas sobre el sustrato sedimentario que soporta el apilamiento de la zona 2; en condiciones naturales sería de $6,6 \text{ Tm/m}^2$. Mientras que, tras un apilamiento de 25 metros de espesor; la presión estimada es de 41 Tm/m^2 .

- En condiciones naturales el periodo de acomodación a la presión que soporta el sustrato sedimentario es de 2800 años, mientras que la sobrepresión que ejerce el apilamiento se sucede en tan solo 43 años. Esto produce un elevado desequilibrio de la velocidad de acomodación del sustrato por presión litostática.

- El mapa de contorno de estructuras realizado sobre las diferentes superficies de contacto estratigráficas del sustrato (Neógeno/Cuaternario/Sedimentos Recientes), muestran un modelo en bloques delimitados por superficies de contacto en tres direcciones diferentes y que se corresponden con familias de fallas de acomodación del sustrato neógeno y que afectan también a los sedimentos Holocenos. La existencia de estas fallas se expuso en el “**Proyecto Constructivo**” presentado por Fertiberia en el año 2014.

- Los mapas de isopacas (espesores) de sedimentos holocenos (arenas y fangos mareales) muestran el mismo patrón que el modelo de bloques del sustrato que los soporta. Definen las áreas de mayor espesor de acumulación de sedimentos en el sector suroeste de la zona 2 del apilamiento, coincidiendo con el sector perimetral que muestra las mayores estructuras de deformación.

-Las áreas de mayor grado de subsidencia (hundimiento) de la marisma que soporta el apilamiento se localizan en la zona de confluencia entre el estero del Rincón con el canal principal del Estuario del Tinto, es decir; de nuevo coincidente con el sector apical de la zona 2 del apilamiento.

- La comparación de las superficies de marisma alta anterior y posterior al apilamiento ha permitido estimar en 3,29 Hm³ el volumen de sedimento compactado o desplazado.

- A partir de la comparación de los registros sísmicos obtenidos en las campañas realizadas en 2016 y 2018, se ha realizado un análisis de las estructuras de deformación. Así, en el sector norte de la zona 3 de las balsas, el ascenso vertical de las estructuras es poco significativo, mientras que en la zona 2 (apilamientos); más concretamente en su sector apical se observan crecimiento y ascenso vertical de las estructuras de hasta dos metros.

- Los registros sísmicos de baja resolución realizados en 2019, reflejan que las estructuras de deformación y los apantallamientos acústicos que estas originan afectan a una profundidad mínima de sustrato de hasta 15 metros.

- De la comparación de las batimetrías realizadas en los años 2016 y 2018 se observa una tendencia al hundimiento de la zona de marisma y borde de canal más cercano al apilamiento. Mientras que en el sector del canal submareal la tendencia es la contraria, observándose una pérdida de profundidad (ascenso), más acentuada en el sector apical; donde las deformaciones son más acusadas.

- En los perfiles sísmicos transversales al canal principal se pueden observar rasgos claramente erosivos. Esto es congruente con la elevación del fondo de canal debido a el ascenso de los domos de deformación, ya que este ascenso del fondo está en desequilibrio hidrodinámico con el patrón de corriente de flujo y reflujos mareales que tienden a equilibrar el perfil del fondo del canal originando la erosión de este.

- Otra evidencia clara de elevación del sustrato sedimentario es la presencia en superficie de un extenso banco de individuos de *ostrea edule* (ostra plana europea) en posición de vida, que se encuentra en el sector apical de la zona 2 de las balsas. La

presencia de esta comunidad de bivalvos (característica de aguas claras, rica en nutrientes y con un sustrato poco móvil) son un indicativo de condiciones ambientales que no se dan en el estuario del Tinto desde hace cientos de años. Este mismo banco de ostras lo encontramos en el registro sedimentario reciente, en capas a más de 2 metros de profundidad, esto indica una elevación del fondo del estuario de al menos dos metros.

- La presencia en superficie de estos bancos de especies en posición de vida que corresponden a condiciones ambientales de un estuario primigenio, indica que en dicho sector se ha producido un proceso en el que el depósito sedimentario correspondiente a la franja temporal desde que se originó hasta la actualidad ha desaparecido. Se realizó una campaña de campo específica de testificación por vibración obteniendo registros en torno a 6 metros longitud en la zona perimetral de la zona 2. Se tomaron muestras a diferentes profundidades y se han realizado dataciones por C^{14} con el objetivo de determinar el grado de elevación que se ha producido. En la zona apical donde aparecen dichos domos en superficie, las muestras más profundas (490 y 460 cm) corresponden con materiales depositados hace 2309 - 2158 años, mientras que, en el sector central, a esas profundidades los resultados de dichos análisis dan valores de 1585 años. La tasa de sedimentación en el borde de canal en el sector central de la zona 2, donde la deformación es escasa o nula, se ha estimado en valores que oscilan entre 0.5 en la parte superior y 0.97 cm/año en zonas más internas. A partir de estos datos, en la zona apical se ha producido un levantamiento o ascenso de material de 4 m aproximadamente.

- Una consecuencia directa de esta elevación en la zona intermareal es la modificación de los procesos dinámicos que actúan en este tipo de medios. En este caso la elevación del fondo en la zona apical de la zona 2 así como la disposición de los cuerpos sedimentarios dispuestos longitudinalmente oblicuos al borde de canal, acentúa los procesos de erosión. La comparación de mapas batimétricos realizados a partir de sondas Monohaz ha puesto de manifiesto la rápida redistribución de los materiales intermareales, así como un ascenso de la pendiente hacia el canal.

- La comparación de registros de sonar de barrido lateral de la zona 2 de las balsas realizados en el año 2012, con los registros de sonda multihaz del año 2017; revelan que los grandes abultamientos que se observa en el sector apical de la zona 2 no estaban

presentes hace 5 años. En el año 2012 solo se apreciaban relieves en forma de suaves domos, esto indica una rápida evolución temporal de las estructuras de deformación.

-La combinación de los registros de sonda multihaz y de sísmica verticales muestran una perfecta concordancia de las formas del relieve del fondo del canal y las estructuras de deformación observada en el registro sedimentario.

- El análisis comparativo de los estudios sísmicos realizados durante el periodo 2016/19 permite no sólo identificar y dimensionar las estructuras indicativas de sobrepresión en el margen perimetral de la zona 2, también ha identificado la rápida evolución de los procesos asociados a este fenómeno.

- Se han identificado estructuras en forma de volcanes de lodo y zonas de diapiros que representan la expresión superficial de la presencia de migración vertical de sedimentos fluidificados desde zonas más profundas. Estas estructuras se presentan en grupos y alineadas y de litología diferente a la que forma el borde de canal en una dirección paralela al margen del estuario. Estas estructuras son más abundantes con en la zona donde se dispone el desplazamiento de muro y se produce una mayor tasa de crecimiento en los últimos años de los volcanes que se encuentran al noreste. En la zona más apical del margen surgen volcanes de lodo incipientes indicativos de un ascenso rápido del fondo con misma que la de los volcanes de lodo que se formaron inicialmente.

- Los domos anastomosados de mayor tamaño alcanzan los 2,5 metros, mientras que los volcanes de lodo de nueva formación son menores, pero adquieren una velocidad de crecimiento de 0,5 metros cada año.

- El rápido desarrollo, unión y evolución de estos domos en la zona apical favorece una migración hacia el canal del estuario del talud de la marisma que sostiene los residuos. La comparación realizada con modelos 3D de los resultados de monohaz de los años 2016 y 2018, indica el avance es del orden de 2 a 3 metros por año.

- La presencia en superficie de estructuras en Pockmarks evidencian inyecciones de fluidos. En este caso la extrusión genera huecos en lugar de volcanes de lodo con

dirección paralela al margen de la balsa, y de mayor dimensión y número en la zona apical, y menor hacia el interior del estuario y hacia el centro del canal estuarino.

- La presencia en número y densidad de estas estructuras aumenta considerablemente en campaña de identificación de sonar realizada en este último periodo.

- El fenómeno de escape de fluidos del interior del sustrato con diferente densidad a la de la columna de agua también se ha observado en los registros de sismica en el sector apical de la balsa.

2.3. Identificación de deltas de fosfoyesos en el borde de canal de los apilamientos de fosfoyesos.

- El análisis de ortofotografías aéreas desde el año 1956-57 hasta la actualidad, ha permitido identificar la presencia de cuerpos sedimentarios deltaicos desarrollados en el borde de canal adyacente a las zonas de acumulación de fosfoyesos. Las dimensiones oscilan entre los 50 y 150 metros de longitud.

- La estructura sedimentaria de estos cuerpos deltaicos se observa en números perfiles sísmicos transversales.

- Los deltas se desarrolla a partir de esteros mareales y se extienden hasta las zonas de canal submareal, ocupando zonas inter y submareales. Están presentes en todas las zonas de acumulación de yesos: zona 1, 2, 3 y 4.

- Estos aparatos sedimentarios están formados por capas alternantes de sedimentos mareales y fosfoyesos de diferentes tipos. En la actualidad la mayoría de ellos están cubiertos por fagos mareales.

- En estos deltas se desarrollan estructuras de tipologías kársticas, como grietas y oquedades, que se forman por disolución del yeso. Por estas estructuras se observa en periodo de bajamar, surgencias de agua que procede de drenaje de las zonas internas de

las balsas, permitiendo un contacto permanente de la base de las balsas con los canales mareales principales.

2.4. Estudio de las afectaciones de las balsas de fosfoyesos por parte de las mareas y las olas. Cotas alcanzadas por las extremas durante el último cicló registrado (ciclón Emma).

- Atendiendo únicamente a las elevaciones mareales, los niveles de pleamares vivas extremas pueden alcanzar la base de las balsas en el caso de las zonas nº 3 y 4.

-La conjunción de pleamares vivas con otros factores atmosféricos pueden incrementar los niveles mareales en la zona frontal de las balsas. A este respecto, la coincidencia de mareas vivas, bajas presiones, vientos fuertes del suroeste y descargas fluviales altas; tales como las producidas durante el paso del ciclón Emma la primera semana de marzo de 2018, puede hacer que las cotas de agua en el estuario alcancen la base de las balsas en la zona 2. Especialmente si las condiciones atmosféricas y fluviales se mantienen durante más de 6 horas.

- Durante los momentos de subidas extremas de niveles, las aguas estuarinas entran en contacto con los fosfoyesos, produciendo un intercambio químico que se refleja en la presencia de costras de precipitación de yeso en la superficie de las marismas en las inmediaciones de las balsas.

-El análisis preliminar de los controles de marea realizados en el segundo semestre de 2019, reflejan niveles de inundación mareal superiores a los esperados según los datos recogidos en los mareógrafos del Puerto de Huelva. Esto nos hace pensar en una posible afectación de los niveles críticos de marea originado por los procesos de elevación de los domos en la zona apical del apilamiento de la zona 2.

3. CONCLUSIONES PRELIMINARES.

3.1. Se observa un aumento del número de estructuras de escape de fluidos en el sector perimetral de la zona de apilamientos. Duplicándose en número y densidad de estos, respecto a los registros del año 2012.

3.2. La migración de las estructuras de deformación es rápida y en algunos casos alcanzan los dos metros en el periodo comprendido entre 2016 y 2019. Calculándose una velocidad media de ascenso para los domos de 0,5 metros por año.

3.3. El análisis de los testigos de vibración de la zona de apilamiento (Zona 2) refleja una tasa de erosión alta, entre 2 y 4 metros que se refleja en la exposición en superficie de bancos de ostreidos. Estos bancos son reflejo de condiciones ambientales antiguas.

3.4. La comparación de las batimetrías realizadas entre 2016 y 2019, reflejan procesos de erosión activos en los bordes de la zona 2 de apilamientos. Esta erosión es originada por la elevación de los domos del sector apical del apilamiento, que provocan una disminución de la sección del canal y el consiguiente aumento de la velocidad de las corrientes de ascenso y descenso mareal.

3.5. Los resultados preliminares del control de los niveles críticos de marea reflejan una elevación de las alturas de inundación del sector perimetral de balsas y apilamiento, respecto a lo esperable según los datos teóricos obtenidos de los registros de los mareógrafos de la Autoridad portuaria de Huelva. Esta elevación puede estar provocada por una modificación de las condiciones hidrodinámicas que se dan en el canal principal debidas a los efectos de las estructuras de deformación.

Huelva, 17 de Diciembre de 2019

Fdo. Dr. José Borrego Flores

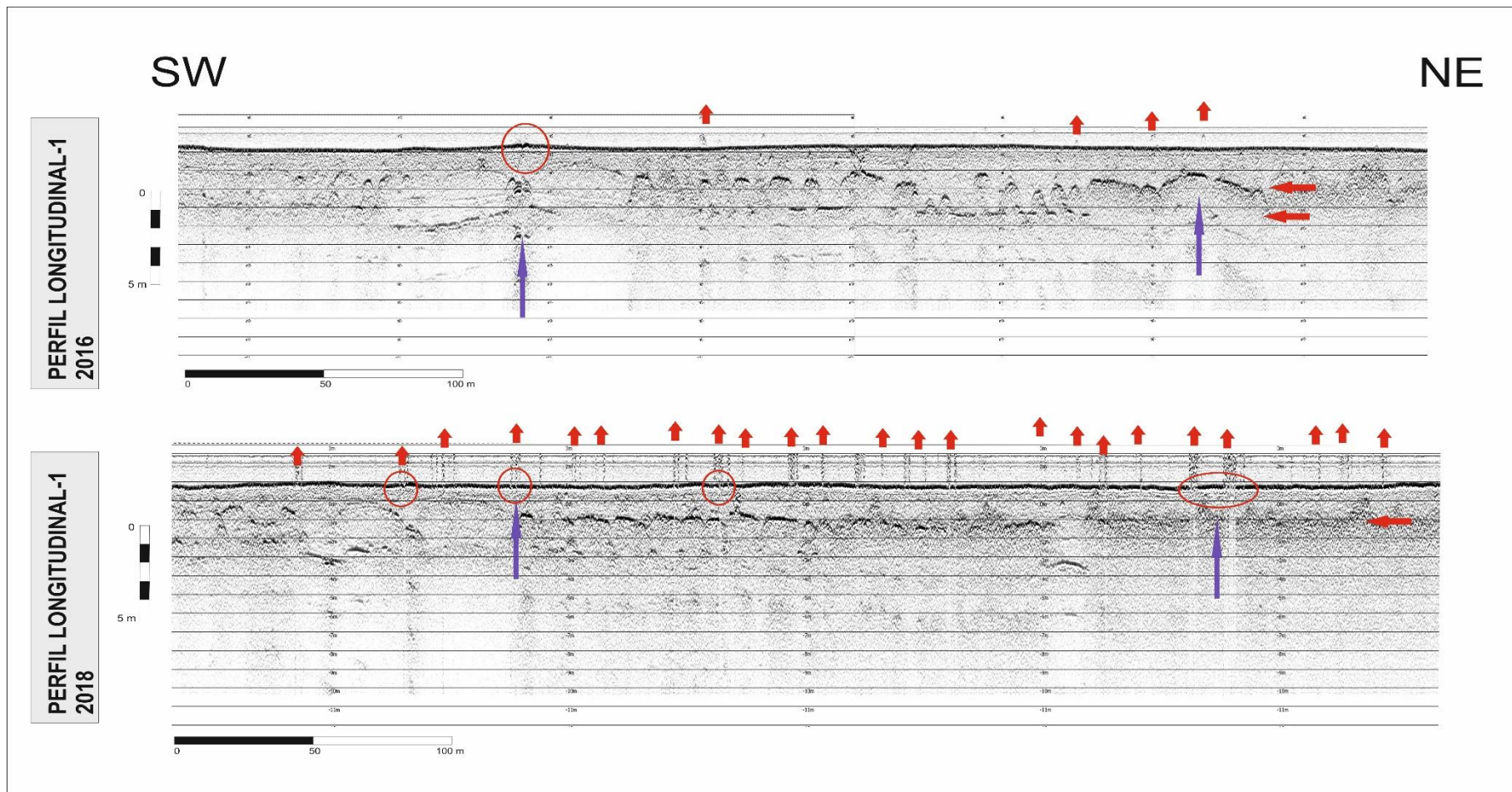
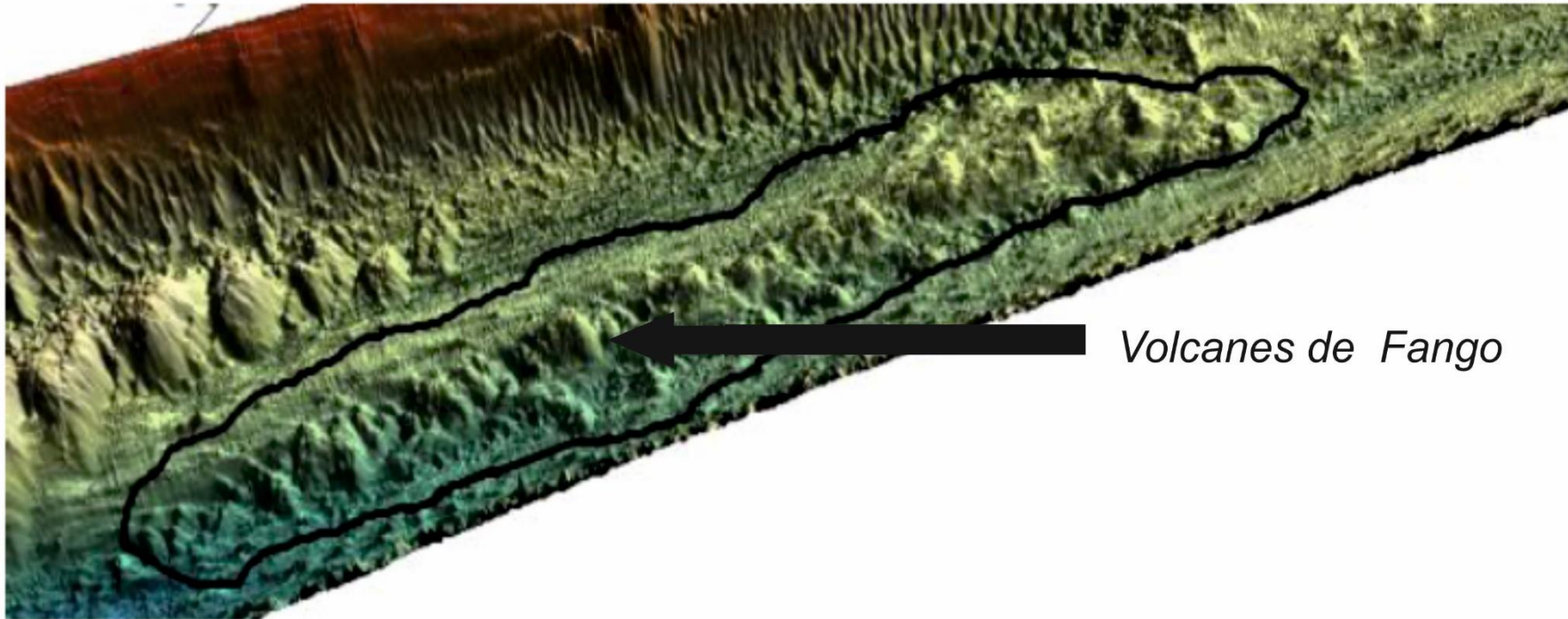


Figura 1.-Comparación de los registros sísmicos longitudinales de alta resolución del canal periférico de la zona 2 en las campañas de 2016 y 2018. donde se pueden observar el importante aumento de los escapes de fluidos desde el año 2016 al año 2018, a través de volcanes de fango (Fechas en azul) y Pockmarks (Flechas en rojo).



Volcanes de Fango

Figura 2.- Registro multihaz del canal en el sector periférico de la zona 2 de apilamiento, donde se observa numerosos volcanes de fango alineados.

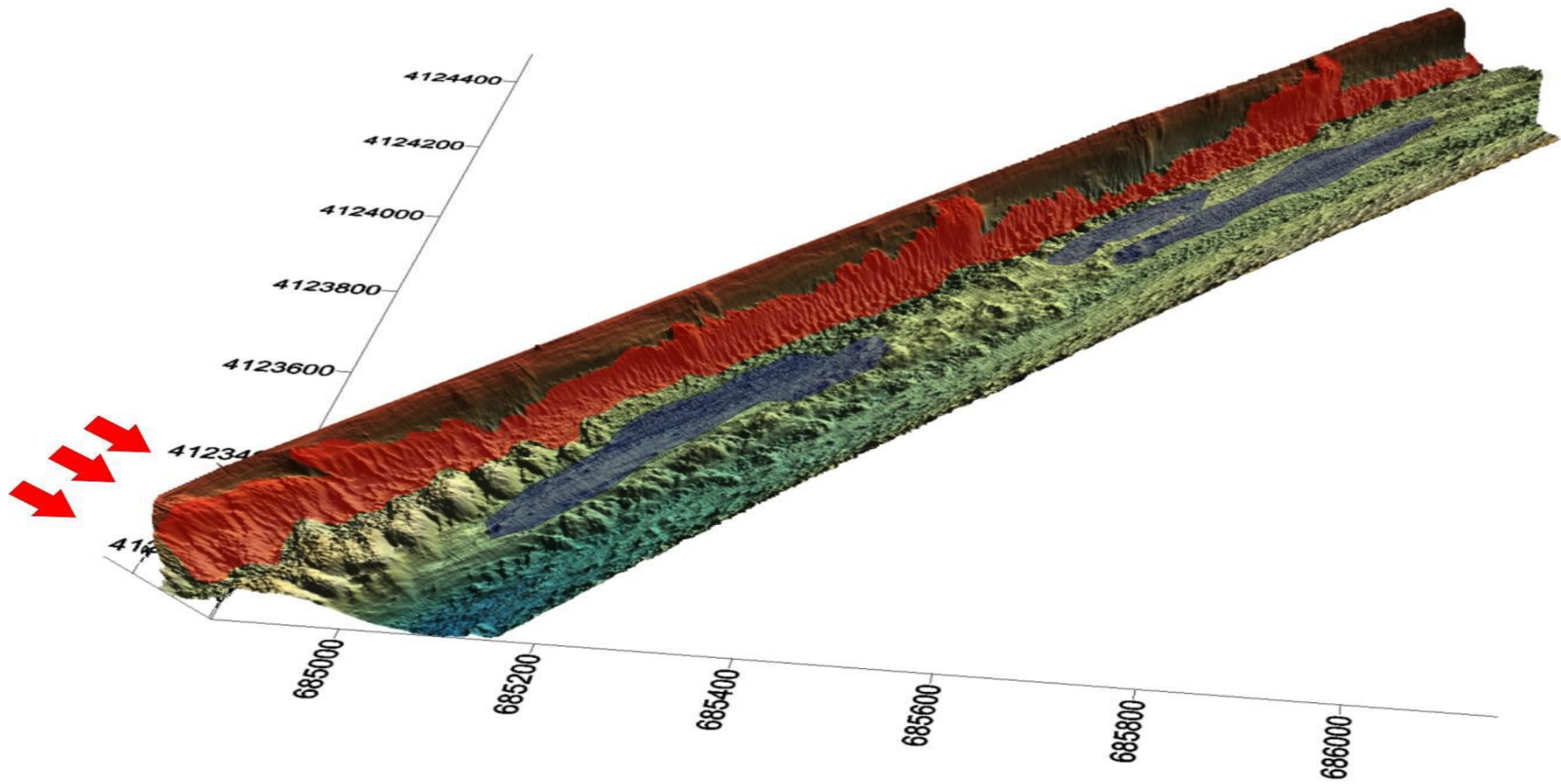


Figura 3.- Representación en tres dimensiones de los registros multihaz, donde se observa (en rojo) el borde erosivo del canal periférico a la zona 2.