



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio geofísico para la
caracterización del lecho marino
en el campo M1 localizado en el
Golfo de México**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniera Geofísica

P R E S E N T A

Ana Cristina Millán Jacobo

ASESORA DE INFORME

Dra. Iza Canales García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. GENERALIDADES.....	2
2.1. Localización.....	2
2.2. Descripción geológica general del campo M1	3
3. METODOLOGÍA.....	5
3.1. Movilización del barco	5
3.2. Adquisición de datos.....	7
3.3. Geofísica marina.....	8
3.3.1 Reflexión Sísmica	8
3.3.2 Batimetría Multihaz	11
3.4. Procesamiento de datos	14
3.4.1 Procesamiento de datos batimétricos	14
3.4.2 Procesado de información SBP	15
4. RESULTADOS.....	16
5. CONCLUSIONES.....	29
Bibliografía	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la Provincia del Sureste, imagen modificada de (Escalera, 2010).	2
Figura 2. Las cuatro cuencas geológicas de la Provincia del Sureste, tomada de (CNH, 2019).	3
Figura 3. Marco estructural general de la provincia del Sureste, tomada y modificada de (CNH, 2014)	4
Figura 4. Metodología utilizada para llevar a cabo este trabajo. Las fotografías son propiedad de HPS Offshore Services, la imagen de Procesamiento e interpretación de datos fue toma de (QPS, 2021).....	5
Figura 5. Movilización de la embarcación en el puerto de la Ciudad del Carmen, se pueden observar los dos contendedores de trabajo y el poste de lado de estribor donde	

se instalaron los equipos de adquisición. Fotografía propiedad de HPS Offshore Services.	6
Figura 6. Adquisición de datos en la zona de estudio. Fotografía propiedad de HPS Offshore Services.....	7
Figura 7. Cuadrícula del recorrido sobre el campo M1	8
Figura 8. Ley de Snell, cuando incide un rayo en una superficie homogénea en el punto B, se refleja con el mismo ángulo i a la superficie y se refracta en otro medio con un ángulo r distinto.....	9
Figura 9. Se muestra como la señal que entra al medio, se refleja desde el fondo del mar y se refracta hacia los sedimentos. El haz refractado también puede reflejarse y refractarse a otra capa sedimentaria de diferente impedancia acústica. Los perfiles de la derecha muestran la diferencia de la velocidad del sonido y la densidad en cada medio. Tomada de (Jakobsson, y otros, 2016).....	10
Figura 10. Funcionamiento de la ecosonda SB-424, en la zona A se pueden apreciar diferentes estratos que actúan como reflectores y la onda acústica reflejada al receptor relacionada a cada uno de ellos. Tomada de (Sánchez, 2019)	11
Figura 11. Funcionamiento de una ecosonda multihaz sobre el lecho marino. Tomada de (Geomar, 2021).....	12
Figura 12. Ejemplo de una gráfica de la velocidad del sonido en el agua con respecto a la profundidad (Barrio & Pérez , 2021).....	13
Figura 13. El patch test se basa en la idea que el lecho marino debería ser el mismo sin importar del azimut, velocidad o movimiento del barco. Dicha prueba consiste en una serie de líneas geométricas pares sobre un área u objetivo en el lecho marino para corregir el error del ángulo entre dos líneas y puede ser corregido por los tres tipos de errores Pitch, Roll y Heading. Tomada y modificada de (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, 2016).....	13
Figura 14. Resultados del campo M1, imagen batimetría y perfil sísmico consecutivamente.	16
Figura 15. Perfil de la pendiente del campo M1	17
Figura 16. Eventos detectados en el área I.....	18
Figura 17. Eventos detectados en el área II.....	19
Figura 18. Eventos detectados en el área III.....	20
Figura 19. Eventos detectados en el área IV	22
Figura 20. Eventos detectados en el área V	24
Figura 21. Eventos detectados en el área VI	25

Figura 22. Ubicación del perfil A-A'	26
Figura 23. Perfil sísmico somero A-A'	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos utilizados	6
Tabla 2. Características de los eventos del área I	18
Tabla 3. Características de los eventos del área II	19
Tabla 4. Características de los eventos del área III	21
Tabla 5. Características de los eventos del área IV	23
Tabla 6. Características de los eventos del área V	24
Tabla 7. Características de los eventos del área VI	25

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad conocer los rasgos geológicos y antropogénicos que existen en la superficie y el subsuelo del lecho marino del campo M1 que representen un riesgo para el posicionamiento de una plataforma autoelevable (PAE) en el Golfo de México. Para la caracterización del lecho marino se utilizaron los métodos geofísicos de sísmica de reflexión y batimetría multihaz.

El trabajo se divide en cinco capítulos, en el primero se menciona la justificación y objetivo del trabajo. En el capítulo dos se indican los datos generales de estudio, como ubicación y una breve descripción de la geología de la zona de estudio. En el capítulo tres se describe la metodología que abarca desde la movilización, adquisición de la información y algunas descripciones breves sobre los principios físicos de los métodos geofísicos utilizados, posteriormente se menciona el procesamiento de datos que para este caso es la batimetría y la sísmica somera con softwares como Quimera y SonarWiz respectivamente. En el capítulo cuatro se muestran imágenes de áreas (en el caso de la batimetría) donde se encuentran rasgos geológicos y/o antropogénicos destacables, también se presenta un perfil sísmico del subsuelo somero del área de estudio. Finalmente, en el último capítulo se tiene las conclusiones de este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es uno de los escenarios más importantes para las actividades que realiza el sector petrolero, por esta razón se requiere del servicio de plataformas autoelevable (PAE). El posicionamiento de una plataforma autoelevable es una de las actividades que se solicita para ejecutar los procesos que este sector demanda (Campos & Cabrera, 2017).

Para poder llevar a cabo esta actividad y garantizar el posicionamiento de una PAE de manera segura cumpliendo con la normativa requerida de PEMEX, es necesario realizar un estudio geofísico, por ello el objetivo principal de este trabajo es determinar rasgos geológicos y/o antropogénicos en el lecho marino y en el subsuelo somero que sean considerados como obstrucciones y/o riesgos en el posicionamiento de una PAE

Este trabajo presenta el estudio geofísico realizado en el campo M1 ubicado en el Golfo de México cerca de la costa de Ciudad del Carmen, Campeche.

Para esto se utilizaron los métodos geofísicos de reflexión sísmica somera y batimetría multihaz para la caracterización del lecho marino en un área de 1 km x 1 km acorde a la coordenada central del campo M1.

Los datos presentados en este trabajo son proporcionados por la empresa HPS Offshore Services por lo que se omite información como nombre y ubicación exacta del área de estudio, así como coordenadas de los eventos.

2. GENERALIDADES

2.1. Localización

El campo M1 se localiza en aguas territoriales del Golfo de México aproximadamente a 103 km al norte de la costa de Ciudad del Carmen Campeche, en la provincia petrolera del Sureste ubicada en la planicie costera del Golfo de México y en parte de la plataforma continental del sureste de México. Está constituida por una parte marina somera y una parte terrestre, al norte está limitada por la isobata de 500 m en el Golfo de México, al sur por el Cinturón plegado de Chiapas, al oeste con la provincia de Veracruz y al este por la plataforma de Yucatán (CNH, 2019) (Figura 1).

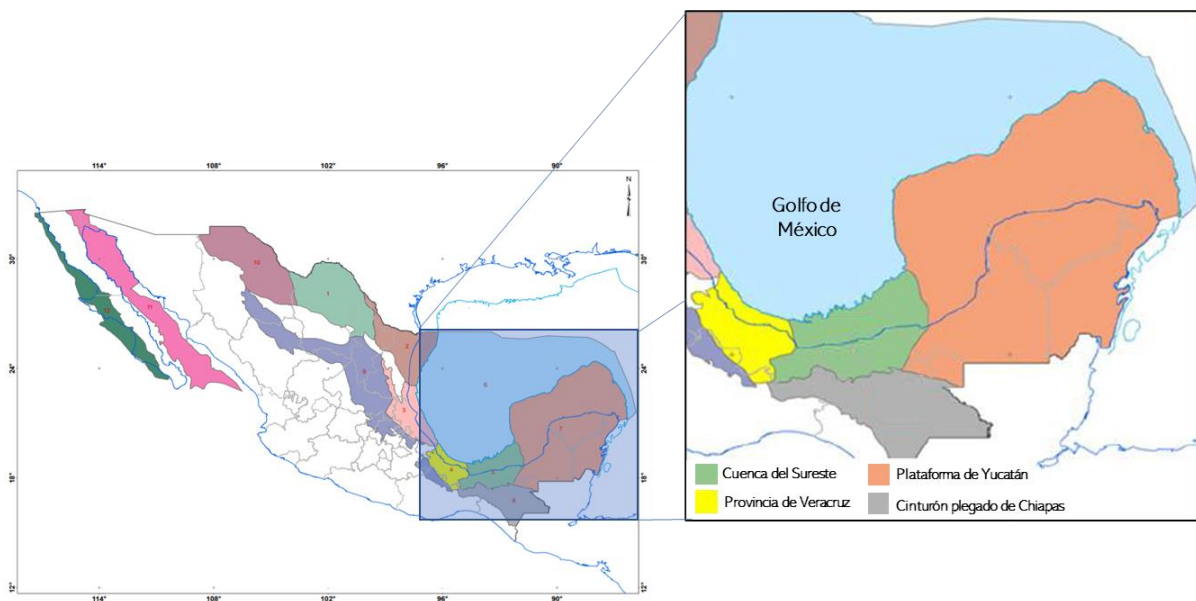


Figura 1. Mapa de ubicación de la Provincia del Sureste, imagen modificada de (Escalera, 2010).

La provincia petrolera del Sureste comprende cuatro cuencas geológicas: Salinas del Istmo, Comalcalco, Pilar Reforma Akal y Macuspana (Figura 2). El campo M1 se localiza en la cuenca de Pilar Reforma-Akal, limitada al norte con la Plataforma de Yucatán, al sur con el cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas, al oeste con la Cuenca de Comalcalco y al este con la Cuenca de Macuspana (CNH, 2019).

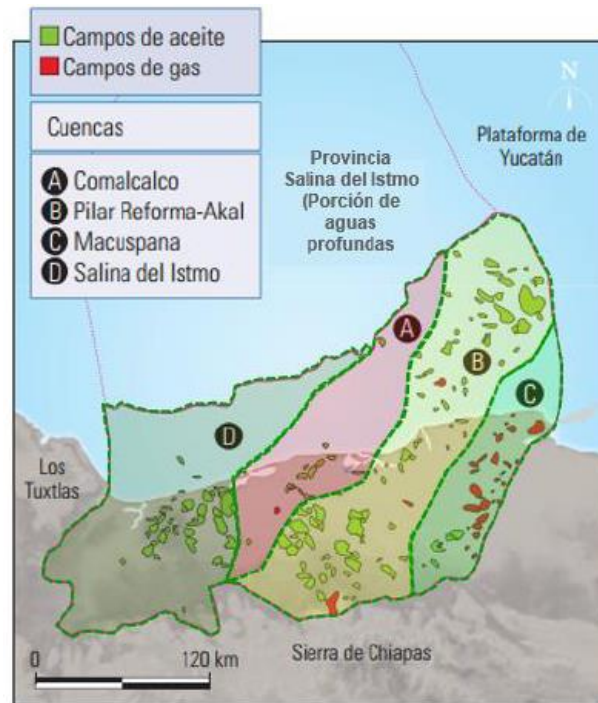


Figura 2. Las cuatro cuencas geológicas de la Provincia del Sureste, tomada de (CNH, 2019).

2.2. Descripción geológica general del campo M1

El campo M1 se ubica en una de las cuencas más prolíficas de aceite a nivel nacional. En los últimos 30 años se han perforado más de 300 pozos exploratorios que han hecho posible el descubrimiento, evaluación y la producción de yacimientos de hidrocarburos del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior y en calizas oolíticas del Jurásico Superior (CNH, 2014).

La apertura del Golfo de México fue mediante una etapa de *rifting* creando una serie de altos y bajos (*horsts* y *grabens*) finalizando en el Jurásico Medio, posteriormente pasó a una etapa de deriva (*drift*) hasta principios del Cretácico Temprano. Durante estas etapas, el bloque de Yucatán y el bloque de Campeche se desplazaron rotando en contra de las manecillas del reloj hasta alcanzar su posición actual en el Jurásico Tardío (Pindell, 2002). Durante el Calloviano una invasión de aguas marinas provenientes del Pacífico, cubrieron una extensa zona con poco tirante de agua y alta evaporación, favoreciendo al depósito de grandes volúmenes de sal en la zona central de la cuenca. Desde el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Tardío la sedimentación estuvo dominada por carbonatos, cambiando a clásticos a principios del Paleógeno a causa de la Orogenia Laramide (Padilla y Sánchez, 2007).

Para finales del Mioceno Medio se inició la formación de la Cuenca de Macuspana por el sistema distensional que se formó por el fallamiento transtensional producido en la plataforma de Yucatán. En el Plioceno, aumentó la tectónica gravitacional hacia el noroeste por la acumulación de sedimentos y la evacuación de sal, surgiendo la cuenca de Comalcalco y culminación de la cuenca de Macuspana (Robles Nolasco , 2006).

A partir del Plioceno, la provincia del Sureste tiene una actividad sísmica casi nula y anuncia de fallas activas, presentando una actividad tectónica baja (margen pasivo), lo que ha permitido el desarrollo de diversos yacimientos de hidrocarburos almacenados en distintas unidades geológicas.

La cuenca geológica Pilar Reforma Akal donde se ubica el campo M1, está limitada al oeste por el sistema de fallas Comalcalco y al este por el sistema de fallas Frontera y la falla Topén-Níspero. En esta zona se distinguen tres eventos tectónicos sobrepuestos que han conformado el marco estructural regional. Inicialmente un evento extensional en el Jurásico Medio, con una serie de fallas normales como resultado de esfuerzos distensivos con la consecuente formación de fosas y pilares en el basamento, seguido de un evento compresivo caracterizado por una serie de pliegues y cabalgaduras orientados de NW-SE. El último evento identificado durante el Neógeno corresponde a un estilo de fallas lístricas con caída al noroeste, están asociadas con intrusiones de arcilla y/o sal (CNH, 2014) (Figura 3).

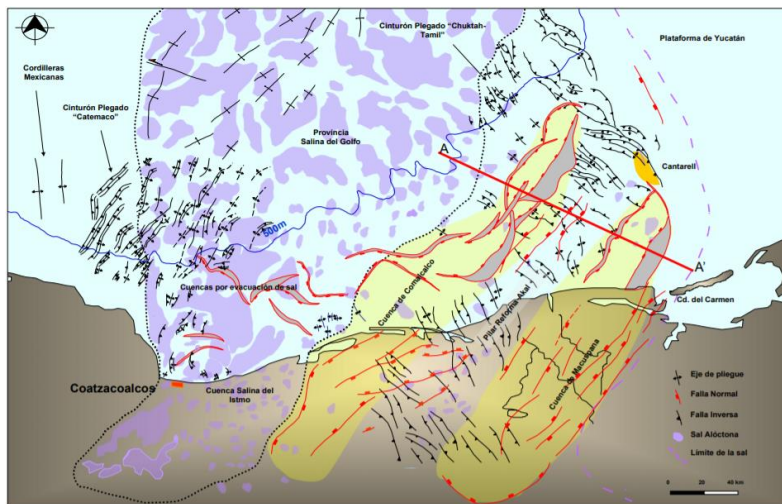


Figura 3. Marco estructural general de la provincia del Sureste, tomada y modificada de (CNH, 2014)

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo comprendió tres fases; la primera corresponde a la movilización del barco, donde se instalan todos los equipos y estructuras necesarias para realizar el mapeo en la zona de estudio, la segunda corresponde a la fase de mapeo del piso oceánico, en donde se realiza la adquisición de datos geofísicos y por último la tercera fase que es el procesamiento e interpretación de la información adquirida (Figura 4).

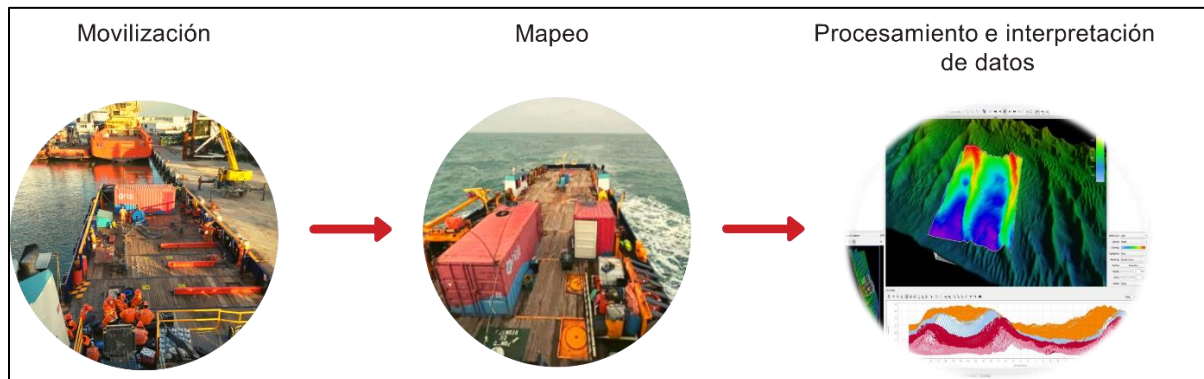


Figura 4. Metodología utilizada para llevar a cabo este trabajo. Las fotografías son propiedad de HPS Offshore Services, la imagen de Procesamiento e interpretación de datos fue toma de (QPS, 2021)

3.1. Movilización del barco

La embarcación B/A utilizada para este trabajo fue situada en el puerto de Ciudad del Carmen donde se instalaron los equipos, estructuras y accesorios necesarios para realizar el estudio.

Los equipos de adquisición fueron instalados en un poste que fue soldado de lado de estribor del barco; en la parte más alta y despejada de la embarcación se instaló el sistema de posicionamiento y en la cubierta se soldaron los contenedores de trabajo. En el contenedor de 20 pies se realizaron las operaciones de adquisición y el segundo de 6 pies para el almacenamiento de las herramientas de trabajo y cajas de los equipos (Figura 5). Dentro del contenedor de operaciones se instalaron los equipos de cómputo correspondientes para la adquisición y procesamiento de los datos adquiridos y el equipo de cómputo encargado de tener la base de datos de todos los equipos instalados y de la navegación del barco durante la adquisición, también se instaló un girocompás, instrumento utilizado para determinar la dirección de navegación del barco. Fuera de este contenedor se instalaron los sensores dinámicos de movimientos, utilizados para medir con precisión los movimientos del barco (Pitch, Roll y Heave) y proporcionar datos de compensación. En la [Tabla 1](#) se muestran los equipos utilizados para este trabajo.



Figura 5. Movilización de la embarcación en el puerto de la Ciudad del Carmen, se pueden observar los dos contenedores de trabajo y el poste de lado de estribor donde se instalaron los equipos de adquisición. Fotografía propiedad de HPS Offshore Services.

Sistemas utilizados	Equipo
Sistema de Navegación DGNS ➤ Antenas Atlas Link	
Ecosonda Multihaz R2 Sonic 2024	
Perfilador Somero SBP EdgeTech SB-424	
Girocompás Teledyne Meridian Surveyor	
Sonda de CTD Midas Valeport	
Sensor Dinámico de Movimiento Teledyne TSS DMS 05	

Tabla 1. Equipos utilizados

En el puente de mando del barco se instaló un monitor con la finalidad de que el capitán observara la navegación (indicada desde el contenedor de operaciones) que debe de seguir el barco durante la adquisición. Una vez finalizadas las labores de montaje de todos los equipos en la embarcación, se inició el trayecto hacia el campo M1.

3.2. Adquisición de datos

Llegando al campo M1 comenzó el mapeo geofísico ([Figura 6](#)), donde se realizó una adquisición continua de datos de batimetría y perfiles sísmicos. La velocidad de navegación de la embarcación fue aproximadamente de 3.5 a 4 nudos, esto con la finalidad de tener precisión en los datos.



Figura 6. Adquisición de datos en la zona de estudio. Fotografía propiedad de HPS Offshore Services

En la [Figura 7](#) se observa los recorridos realizados en el campo M1 cubriendo un área de 1 km x 1 km, con 11 líneas longitudinales con dirección W-E con un espaciamiento de 100 m entre ellas y 6 líneas transversales con dirección S-N con un espaciamiento de 200 m entre ellas, también se muestra el recorrido del perfil sísmico con dirección S-N.

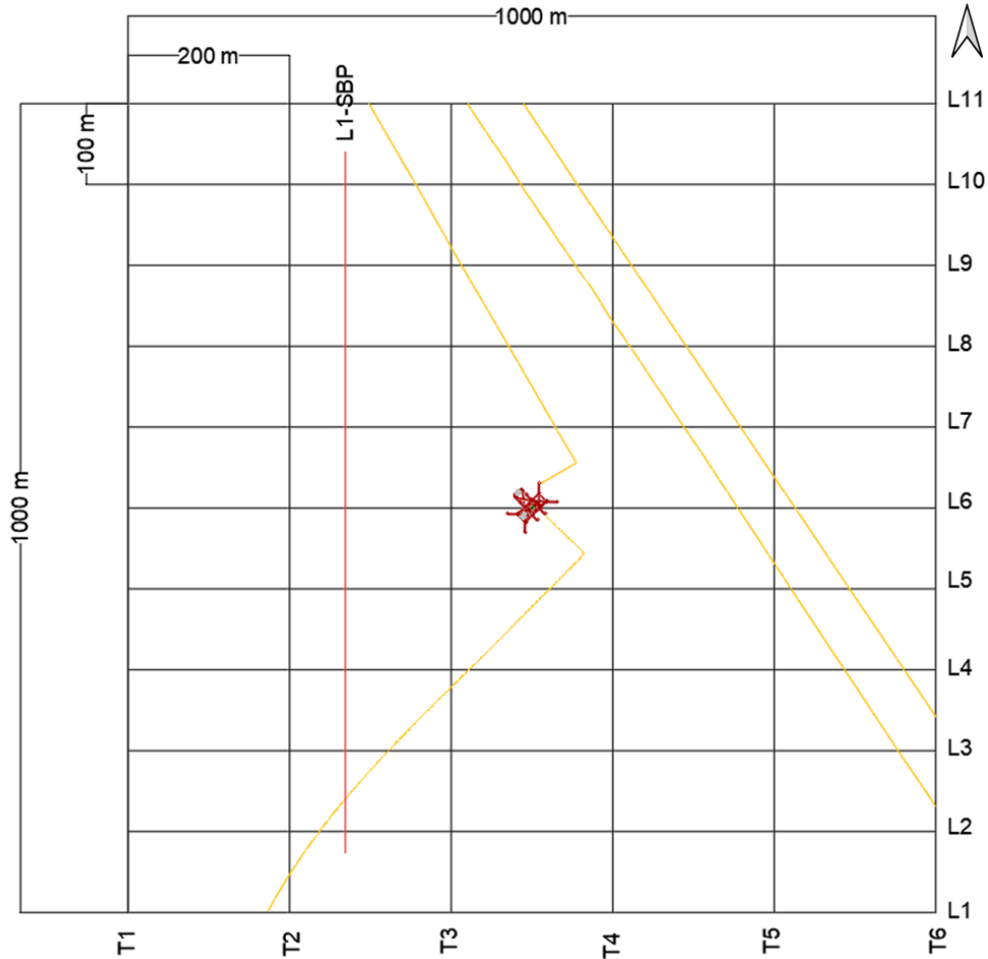


Figura 7. Cuadrícula del recorrido sobre el campo M1

3.3. Geofísica marina

Para la caracterización del lecho marino del campo M1 se empleó geofísica marina utilizando métodos acústicos para obtener información del fondo marino y del subsuelo somero, estos métodos se basan en el registro de ondas acústicas que son emitidas y recibidas por ecosondas (Michaud & Ratzov, 2009).

3.3.1 Reflexión Sísmica

Es un método que permite visualizar con precisión la secuencia sedimentaria en el subsuelo del fondo marino.

El método de reflexión sísmica está basado en la propagación de las ondas sísmicas en un medio, dichas ondas se pueden reflejar o refractar en los estratos del subsuelo. Este método registra los frentes de ondas sísmicas que provienen de

diferentes interfaces del subsuelo. Las interfaces son referidas como reflectores, que son respuestas de un contraste de impedancia por las distintas propiedades físicas del subsuelo.

El método de reflexión sísmica se rige por la ley de Snell (Figura 8) ésta establece que si se considera una onda que se propaga en un material de velocidad uniforme v_1 desde un punto A, se reflejará con un determinado ángulo de incidencia i con respecto a la normal en el punto B que se propagará hacia la superficie en el punto C a una distancia x del punto A y se refractará en un medio más profundo con una velocidad v_2 mayor que v_1 con un ángulo de refracción r distinto con respecto a la normal (Stein & Wysession, 2003). La velocidad del segundo medio v_2 por el seno del ángulo de incidencia ($\sin i$), es igual a la velocidad del primer medio v_1 en producto con el seno del ángulo refractado ($\sin r$) como se muestra en las ecuaciones 1 y 2:

$$\frac{\sin i}{v_1} = \frac{\sin r}{v_2} \dots (1)$$

$$V_2 * \sin i = V * \sin r \dots (2)$$

El tiempo total de trayectoria es el tiempo que se tardó la onda en recorrer la distancia AB y la distancia BC con la velocidad promedio de propagación entre la superficie y la profundidad (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990).

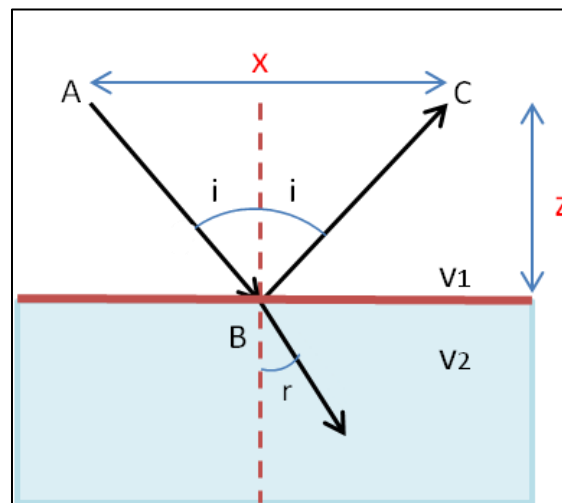


Figura 8. Ley de Snell, cuando incide un rayo en una superficie homogénea en el punto B, se refleja con el mismo ángulo i a la superficie y se refracta en otro medio con un ángulo r distinto

Las interfaces del subsuelo determinan una zona de contrastes de propiedades litológicas y geofísicas. En sísmica de reflexión cada medio presenta distinta velocidad de propagación debido a los distintos tipos de litología, grado de porosidad, etc.

El coeficiente de reflexión (μ_0) es una medida de la fuerza de la onda acústica reflejada y depende del contraste de impedancia acústica de las capas litológicas como se muestra en la ecuación 3.

$$\mu_0 = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} = \frac{v_2 * \rho_2 - v_1 * \rho_1}{v_2 * \rho_2 + v_1 * \rho_1} \dots (3)$$

donde I_1 es la impedancia acústica de la primera capa litológica, I_2 es la impedancia acústica de la segunda capa, v_1 la velocidad de la onda acústica en la primera capa, v_2 la velocidad acústica en la segunda capa, ρ_1 y ρ_2 es la densidad aparente en la primera y segunda capa que atraviesa el haz como se observa en la Figura 9.

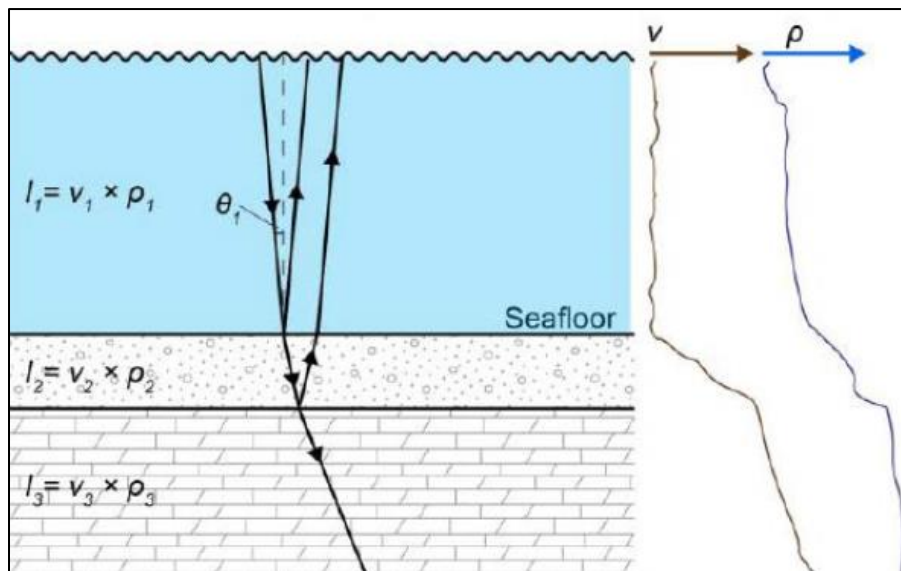


Figura 9. Se muestra como la señal que entra al medio, se refleja desde el fondo del mar y se refracta hacia los sedimentos. El haz refractado también puede reflejarse y refractarse a otra capa sedimentaria de diferente impedancia acústica. Los perfiles de la derecha muestran la diferencia de la velocidad del sonido y la densidad en cada medio. Tomada de (Jakobsson, y otros, 2016).

Los perfiles sísmicos de este trabajo fueron adquiridos con un perfilador sísmico de fondo marino (SBP, *Sub-Bottom Profiler*) SB-424 de la marca EdgeTech, éste consiste en un sistema mono canal ya que solo tiene un emisor y un receptor, cuando la fuente de energía emite un pulso, el receptor se activa y recibe la señal a una distancia mayor posterior a la transmisión (Figura 10). Para este proyecto se utilizó un rango de frecuencia de 4-20 kHz, con una longitud de pulso de 10 ms y un pulso tipo “Chirp”.

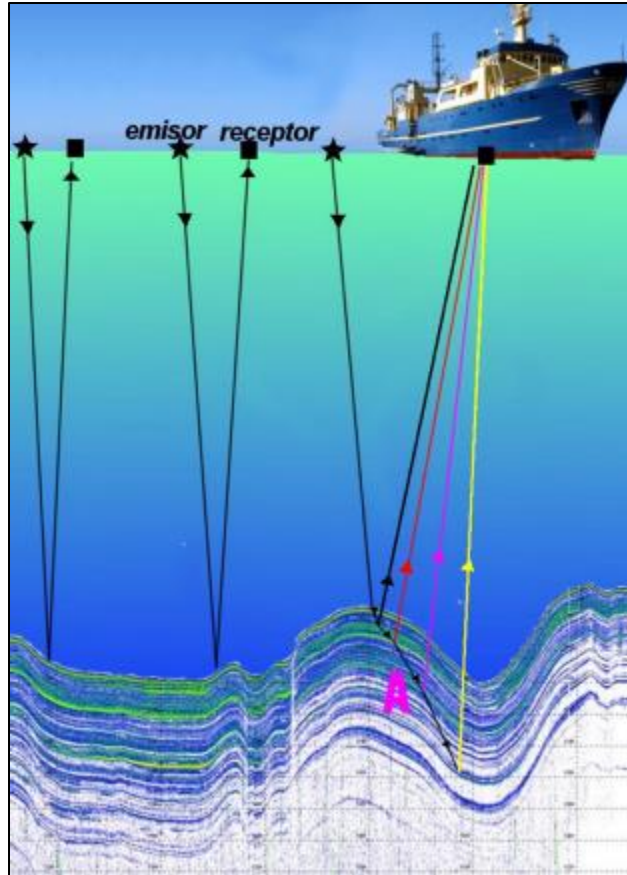


Figura 10. Funcionamiento de la ecosonda SB-424, en la zona A se pueden apreciar diferentes estratos que actúan como reflectores y la onda acústica reflejada al receptor relacionada a cada uno de ellos.
Tomada de (Sánchez, 2019)

3.3.2 Batimetría Multihaz

Es un método que se utiliza principalmente para determinar la morfología, texturas y las profundidades del fondo marino (Michaud & Ratzov, 2009).

El sistema de ecosonda multihaz consiste en un arreglo de transductores que transmiten un haz en forma de abanico para obtener información del lecho marino y un arreglo de transductores para la recepción de la información (Figura 11). Para la adquisición de datos batimétricos se utilizó la ecosonda multihaz (MBE, *Multibeam Echosounder*) Sonic 2024 de la marca R2 SONIC, se utilizó una frecuencia de 450 kHz, con una apertura angular de 120°, se obtuvo una cobertura aproximadamente de 190 m y un traslape de 95 m aproximadamente entre líneas.

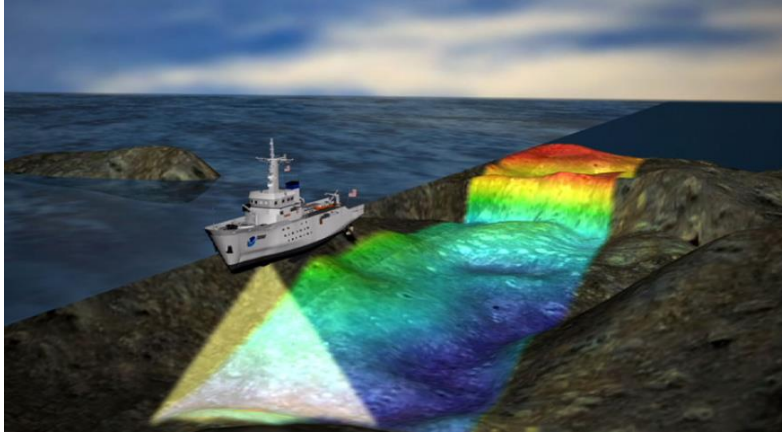


Figura 11. Funcionamiento de una ecosonda multihaz sobre el lecho marino. Tomada de (Geomar, 2021).

Para un estudio con ecosonda multihaz se debe de considerar la velocidad del sonido (SVP, *Sound Velocity Profile*) en la columna de agua para obtener una imagen precisa. Esto se puede determinar utilizando un CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) que es un instrumento que calcula la velocidad del sonido en la columna del agua en función de las mediciones de la conductividad, temperatura, densidad y presión del medio (Figura 12). Durante toda la adquisición y con intervalos de cada seis horas se realizaron mediciones del perfil de la velocidad del sonido en el agua.

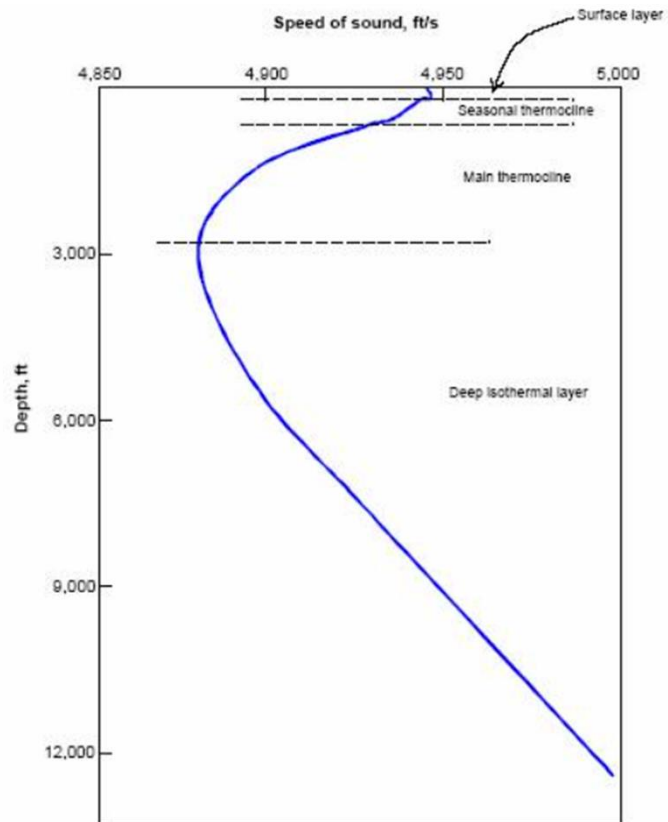


Figura 12. Ejemplo de una gráfica de la velocidad del sonido en el agua con respecto a la profundidad (Barrio & Pérez, 2021).

Para este método también se debe de considerar la calibración del sensor o también conocido como *Patch Test* (Figura 13), éste es un procedimiento para corregir los errores de montaje de la ecosonda multihaz. El estudio el *Patch Test* se realizó llegando al campo M1 previamente al levantamiento, los datos de Roll, Pitch y Heading calculados se integraron a la base de datos de la adquisición.

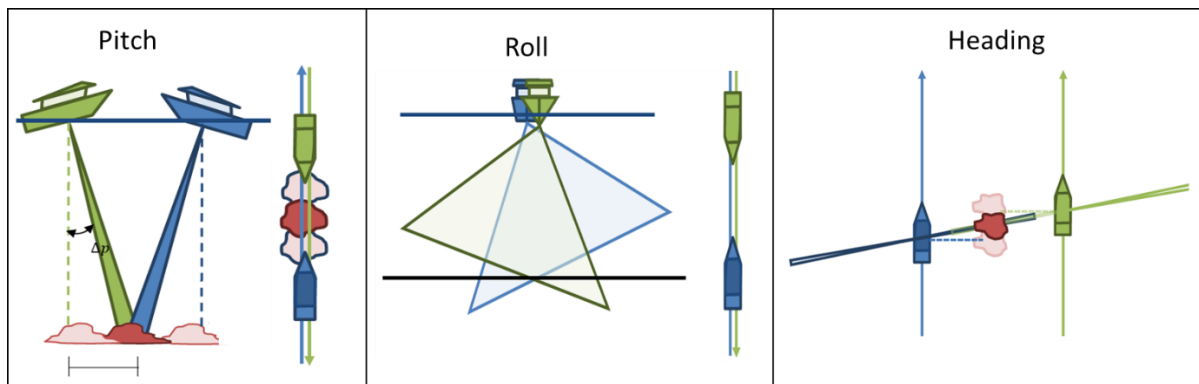


Figura 13. El patch test se basa en la idea que el lecho marino debería ser el mismo sin importar del azimut, velocidad o movimiento del barco. Dicha prueba consiste en una serie de líneas geométricas

pares sobre un área u objetivo en el lecho marino para corregir el error del ángulo entre dos líneas y puede ser corregido por los tres tipos de errores Pitch, Roll y Heading. Tomada y modificada de (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, 2016).

Estos sistemas de ecosondeo registran los tiempos de arribo de los ecos de los pulsos emitidos al lecho marino, teniendo conocimiento de la velocidad acústica de la columna de agua se pueden obtener los valores de profundidad del fondo marino (Michaud & Ratzov, 2009) con la relación física:

$$D = \frac{tv}{2} \dots (4)$$

Donde:

D es la distancia que hay entre el emisor/receptor al lecho marino (profundidad).

v es la velocidad acústica en la columna de agua, que es calculado con el CTD.

t es el tiempo de viaje de la onda reflejada de ida y vuelta.

3.4. Procesamiento de datos

3.4.1 Procesamiento de datos batimétricos

Los datos se adquirieron con la ecosonda multihaz (MBE, *Multibeam Echosounder*) Sonic 2024 de la marca R2 SONIC, la cual se operó con una frecuencia de 450 kHz.

Se utilizaron los siguientes recursos de la zona de estudio para complementar el procesamiento:

- Cuadrícula del área de estudio 1 km x 1 km
- Base de datos de Pemex 2021
- Mareas CISECE
- Perfiles de velocidad del sonido en el sitio de estudio

Existen dos etapas para el procesamiento de información de MBE, procesamiento Offshore y el procesamiento Onshore.

En el procesamiento Offshore se analizó la información adquirida al momento y se realizó una limpieza general de las líneas, esta limpieza consiste en la eliminación de valores atípicos y para tener una mejor imagen (superficie dinámica) del lecho marino, esto se realizó empleando el software Qimera de QPS. Posteriormente se almacenó la información y se envió a tierra para darle seguimiento al procesado Onshore.

Para el procesamiento Onshore, se realizó un análisis del lecho marino para verificar que todas las líneas tuvieran un empalme entre ellas, se realizó una limpieza final de los valores atípicos de la superficie dinámica, posteriormente se exportó una malla para generar una imagen final de la batimetría.

3.4.2 Procesado de información SBP

Los datos se adquirieron a partir del SBP-224 marca Edgetech el cual se operó con un rango de frecuencias de 4 kHz a 20 kHz.

Se utilizaron los siguientes recursos de la zona de estudio para complementar el procesamiento:

- Imagen de la batimetría
- Cuadrícula del área de estudio
- Base de datos de Pemex 2021

Existen dos etapas para el procesamiento de información de SBP, procesamiento Offshore y el procesamiento Onshore.

El procesamiento Offshore consistió en una visualización rápida de las líneas que se van adquiriendo, esto con la finalidad de analizar la información y anotar observaciones importantes, ocupando el software SonarWiz.

La segunda etapa es el procesamiento Onshore, éste consistió en el ajuste de colores de los perfiles de SBP permitiendo obtener una mejor visualización de estos, se realizó la detección del lecho marino y se aplicó un ajuste de ganancias para resaltar los eventos presentes en el lecho marino y el subsuelo.

4. RESULTADOS

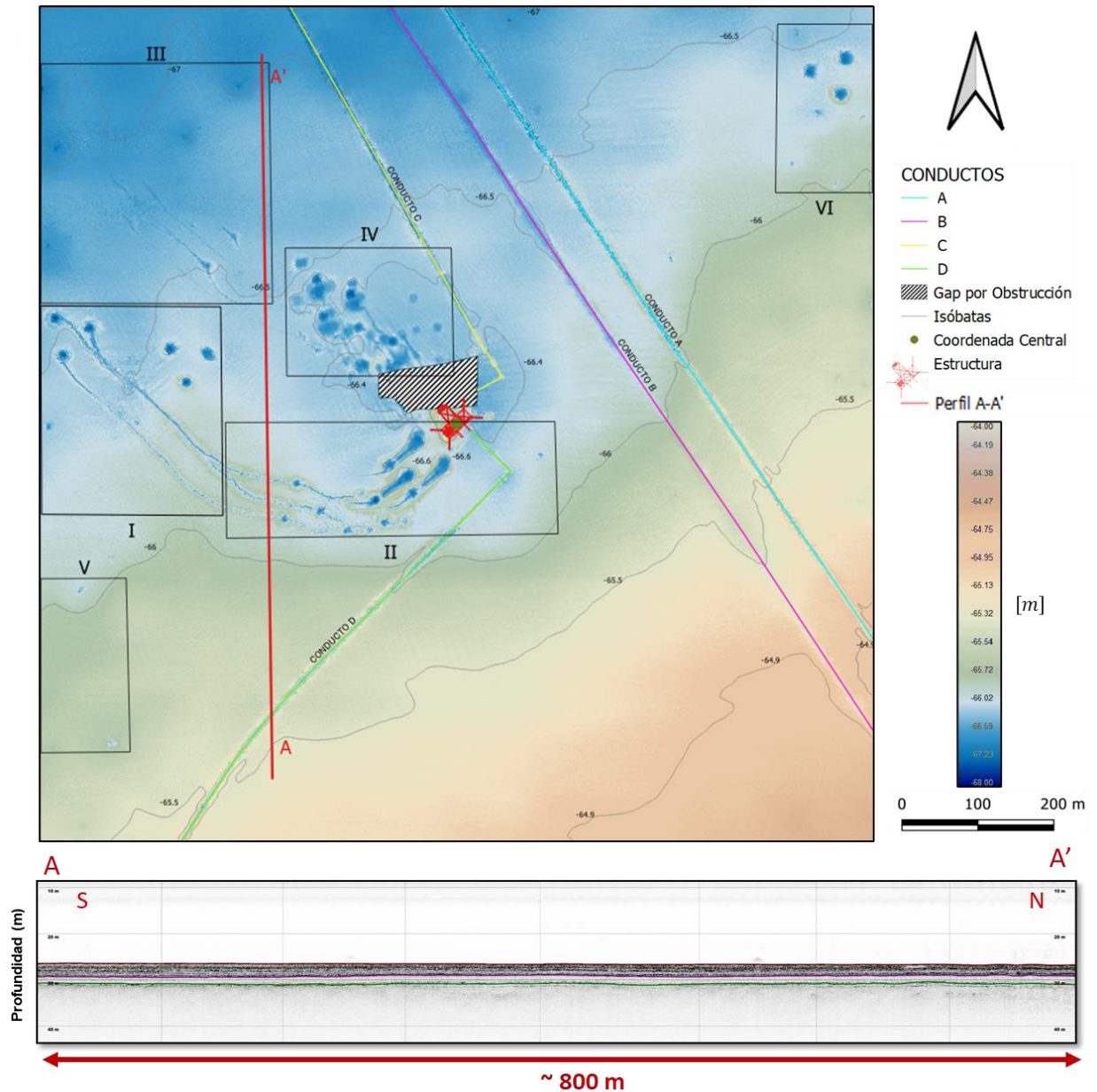


Figura 14. Resultados del campo M1, imagen batimetría y perfil sísmico consecutivamente.

Batimetría

Los datos batimétricos del área de estudio muestran un lecho marino regular con una pendiente descendente al NW (Figura 15) con una inclinación promedio de 0.249%. La profundidad varía de 64.35 m hasta 67.88 m aproximadamente, la parte más somera

se encuentra al SE y la más profunda al NW del campo como se observa en la Figura 14.

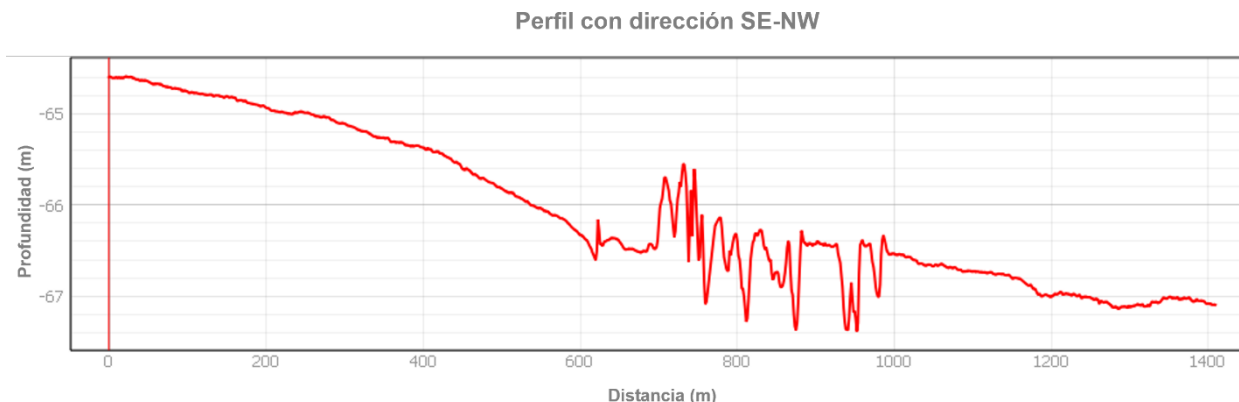


Figura 15. Perfil de la pendiente del campo M1

Dentro del área se identificaron factores antropogénicos (conductos) sobre el lecho marino que concuerda con la base de datos de Pemex, con una dirección NW-SE se encuentran los conductos A y B, en la parte Norte de la coordenada central el conducto C y al Sur el conducto D que conectan con la plataforma, también se han identificado seis áreas con rasgos relevantes de origen antropogénico y geológico sobre el lecho marino. Los rasgos generados por el hombre que se han identificado son huellas de hincado de las piernas de una plataforma autoelevable (PAE) y huellas de arrastre de PAE, y de los rasgos geológicos se han identificado depresiones. Asimismo, se puede observar una zona sin información debido a la obstrucción de una embarcación que se encontraba en el campo, impidiendo el paso del barco (Figura 14).

A continuación, se describen las seis áreas señaladas en el campo M1, para este trabajo se ha registrado cada rasgo con las siguientes claves: HP para las huellas de PAE, HAP para las huellas de arrastre de una PAE y D para las depresiones.

Área I

Esta área localizada al oeste de la coordenada central de la zona de estudio se puede observar seis huellas de PAE (HP-1 a la HP-6), dos huellas de arrastre de PAE (HAP-1 y HAP-2) y una depresión (D-1) como se muestra en la Figura 16.

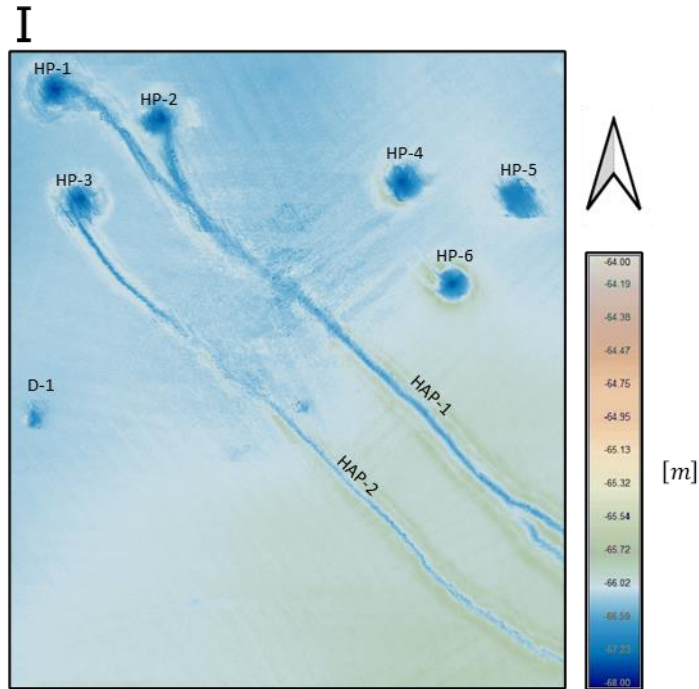


Figura 16. Eventos detectados en el área I

En la siguiente tabla se muestran las características de las dimensiones de los eventos observados en el área I.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
HP-1	CIRCULAR	15.13	-	-	67.95
HP-2	CIRCULAR	16.33	-	-	67.8
HP-3	CIRCULAR	16.76	-	-	67.81
HP-4	CIRCULAR	19	-	-	67.79
HP-5	CIRCULAR	16.59	-	-	67.38
HP-6	CIRCULAR	15.34	-	-	67.73
HAP-1	RAMIFICADA	-	241.59	4.93	66.86
HAP-2	-	-	262.78	3	66.72
D-1	IRREGULAR	-	9.05	6.77	67.18

Tabla 2. Características de los eventos del área I

Área II

El área II se localiza al suroeste de la coordenada central de la zona de estudio, se pueden apreciar catorce huellas de PAE (HP-7 a la HP-20), tres huellas de arrastre de PAE (HAP-3 a la HAP-5), una depresión (D-2), parte de la estructura de la plataforma y una red de concreto (colchacreto) sobre el conducto D (Figura 17).



Figura 17. Eventos detectados en el área II

En la siguiente tabla se muestran las características de las dimensiones de los eventos observados en el área II.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
HP-7	CIRCULAR	13.69	-	-	67.37
HP-8	CIRCULAR	12.59	-	-	67.18
HP-9	CIRCULAR	12.85	-	-	67.28
HP-10	CIRCULAR	10.56	-	-	66.91
HP-11	CIRCULAR	11.85	-	-	66.75
HP-12	CIRCULAR	11.75	-	-	67.26
HP-13	CIRCULAR	11.94	-	-	66.67
HP-14	CIRCULAR	12.22	-	-	66.59
HP-15	ELONGADA	-	51.25	11.05	67.85
HP-16	ELONGADA	-	52.02	11.95	67.53
HP-17	ELONGADA	-	48.52	13.74	67.57
HP-18	ELONGADA	-	45.06	13.44	67.36
HP-19	ELONGADA	-	48.56	17.92	67.28
HP-20	ELONGADA	-	50	21.26	67.47
HAP-3	-	-	182.38	3.5	66.61
HAP-4	-	-	196.58	4.44	66.56
HAP-5	-	-	176.44	4.2	66.32
D-2	CIRCULAR	6.43	-	-	66.74

Tabla 3. Características de los eventos del área II

Por la profundidad que presenta la HP-10, HP-11, HP-13 y HP-14, que es menor al resto de huellas de PAE del área II, se puede indicar que su presencia en el área de

estudio es de mayor tiempo que las otras huellas con mayor profundidad que indican que probablemente son más recientes. De las huellas de arrastre de PAE, la HAP-2 que se observan en el área I continua en el área II como HAP-5, la HAP-3 y HAP-4 provienen de la HAP-1 que se ramifica en el área 1.

Área III

El área III está ubicada al noroeste de la coordenada central de la zona de estudio, se pueden apreciar tres posibles huellas de PAE (HP-21 a la HP-23), tres huellas de arrastre de PAE (HAP-6 a la HAP-8) y cinco depresiones (D-3 a la D-7) (Figura 18).

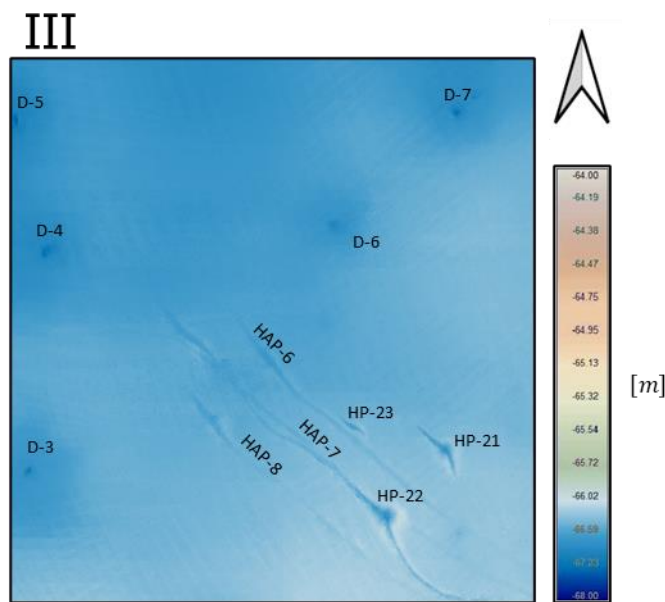


Figura 18. Eventos detectados en el área III

En la siguiente tabla se muestran las características de las dimensiones de los eventos observados en esta área.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
HP-21	CIRCULAR	6.76	-	-	67.09
HP-22	CIRCULAR	10.09	-	-	67.09
HP-23	ELONGADA	-	13.24	2.92	66.91
HAP-6	-	-	197.7	3.4	66.64
HAP-7	-	-	250.08	3.17	66.72
HAP-8	-	-	160.94	3.17	66.72
D-3	IRREGULAR	-	6.57	3.1	67.45
D-4	IRREGULAR	-	8.91	4.64	67.59
D-5	IRREGULAR	-	6.1	3.48	67.77
D-6	IRREGULAR	-	11.9	7.83	67.27
D-7	CIRCULAR	3.3	-	-	67.6

Tabla 4. Características de los eventos del área III

Debido a la poca profundidad que tiene las huellas de arrastre de PAE respecto a la profundidad de su entorno y su poca visibilidad podrían indicar que su existencia en la zona tiene mayor tiempo que el resto de las huellas de arrastre de esta área.

Área IV

El área IV se localiza al noroeste de la coordenada de interés de la zona de estudio, en esta área se puede observar un conjunto de huellas de PAE, se aprecian huellas recientes sobre huellas que ya se encontraban en el campo, para esta área se contabilizaron las huellas de PAE más evidentes teniendo un total de dieciocho (HP-24 a la HP-41), también se aprecian cinco huellas de arrastre de PAE (HAP-9 a la HAP-13) y el conducto C (Figura 19).

IV

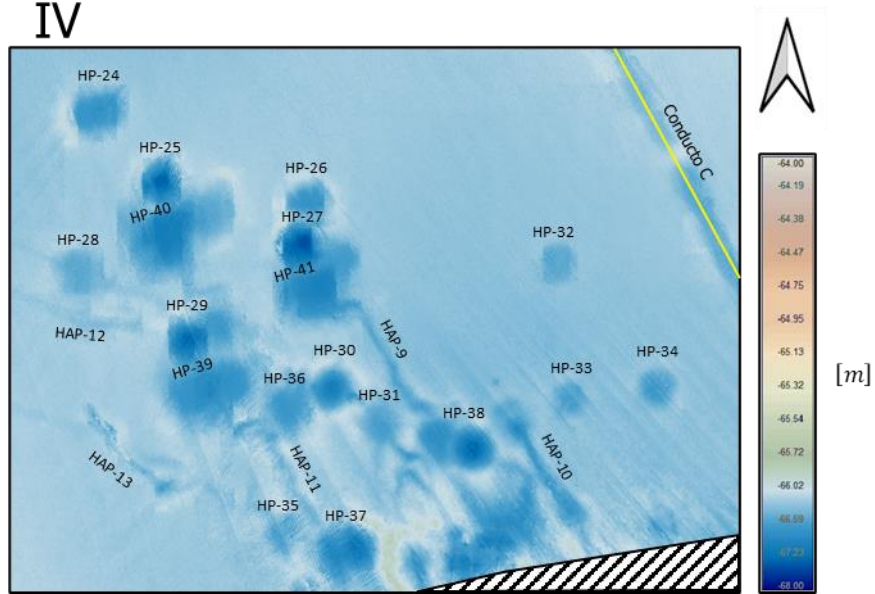


Figura 19. Eventos detectados en el área IV

En la siguiente tabla se muestran las características de los eventos hallados en el área IV.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
HP-24	CIRCULAR	14.83	-	-	67.10
HP-25	CIRCULAR	12.46	-	-	67.74
HP-26	CIRCULAR	14.45	-	-	67.05
HP-27	CIRCULAR	10.05	-	-	67.90
HP-28	CIRCULAR	13.50	-	-	66.80
HP-29	CIRCULAR	11.52	-	-	67.69
HP-30	CIRCULAR	12.54	-	-	67.39
HP-31	CIRCULAR	11.62	-	-	66.91
HP-32	CIRCULAR	10.78	-	-	66.78
HP-33	CIRCULAR	8.64	-	-	66.89
HP-34	CIRCULAR	10.89	-	-	66.96
HP-35	CIRCULAR	10.15	-	-	66.86
HP-36	CIRCULAR	13.83	-	-	66.98
HP-37	ELONGADA	-	17.49	12.62	67.49
HP-38	ELONGADA	-	21.77	13.03	67.68
HP-39	ELONGADA	-	24.02	13.15	67.24
HP-40	ELONGADA	-	31.30	10.62	67.43
HP-41	ELONGADA	-	17.76	13.69	67.38
HAP-9	-	-	45.25	2.66	66.76
HAP-10	-	-	31.15	3.29	66.92
HAP-11	-	-	28.14	2.83	66.61
HAP-12	-	-	53.12	3.60	66.60
HAP-13	-	-	91.40	3.73	66.50

Tabla 5. Características de los eventos del área IV

Área V

Esta área localizada al suroeste de la coordenada central de la zona de estudio se pueden observar dos depresiones (D-8 y D-9) como se muestra en la [Figura 20](#).

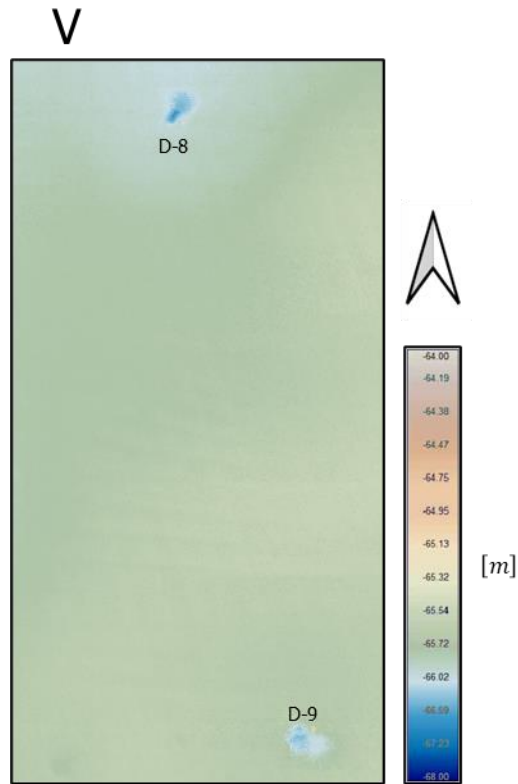


Figura 20. Eventos detectados en el área V

En la siguiente tabla se muestran las características de las dimensiones de los eventos observados en el área V.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
D-8	ELONGADA	-	10.47	4.11	66.84
D-9	IRREGULAR	-	10.97	7.14	66.57

Tabla 6. Características de los eventos del área V

Área VI

El área VI se localiza al noreste de la coordenada central de la zona de estudio, en ella se pueden apreciar tres huellas de PAE (HP-42 a la HP-44) y cinco depresiones (D-10 a la D-14) (Figura 21).

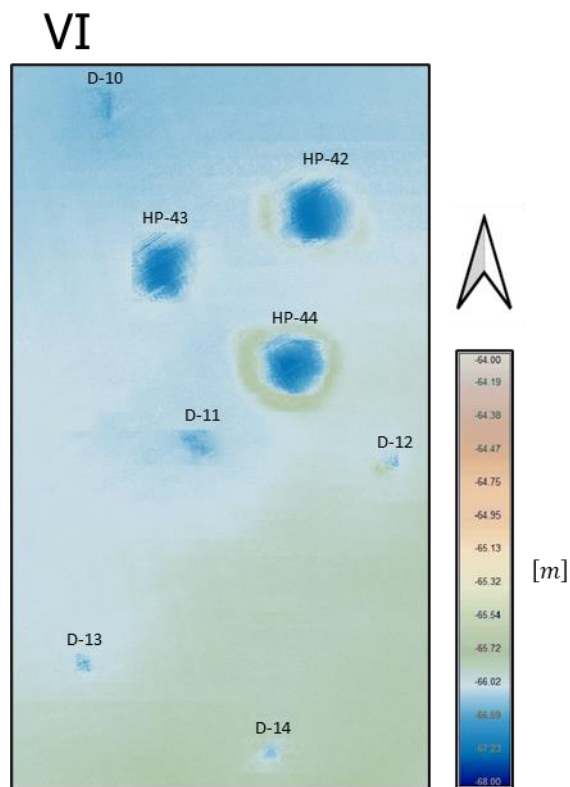


Figura 21. Eventos detectados en el área VI

En la siguiente tabla se muestran las características de las dimensiones de los eventos observados en el área VI.

Evento	Forma	Diámetro [m]	Longitud [m]	Ancho [m]	Profundidad [m]
HP-42	CIRCULAR	18.58	-	-	67.55
HP-43	CIRCULAR	15.66	-	-	67.5
HP-44	CIRCULAR	19.73	-	-	67.58
D-10	IRREGULAR	-	7.71	3.81	66.86
D-11	IRREGULAR	-	9.3	7.68	66.74
D-12	IRREGULAR	-	6.36	4.07	66.58
D-13	IRREGULAR	-	7.77	5.58	66.73
D-14	IRREGULAR	-	6.77	5.768	66.5

Tabla 7. Características de los eventos del área VI

Perfil sísmico somero

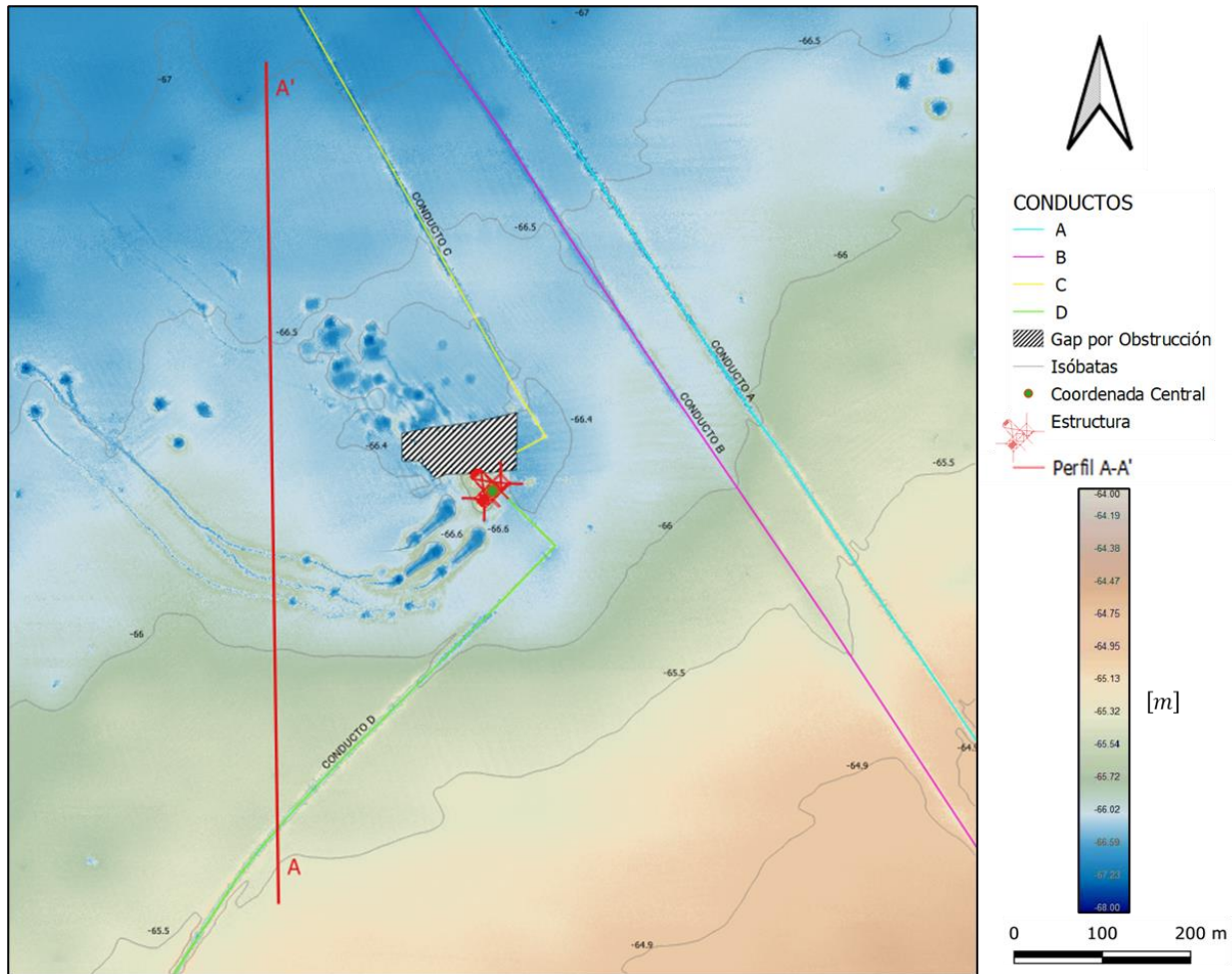


Figura 22. Ubicación del perfil A-A'

Perfil A-A'

Con una dirección S-N el perfil presenta una longitud aproximada de 800 m. La sección muestra que la reflexión de la energía de la onda sísmica alcanzó una penetración aproximada de 5 m de profundidad. Se identificaron dos horizontes sísmicos, el horizonte H0 (línea morada) a una profundidad de 63 m aproximadamente y el horizonte H1 (línea verde) a una profundidad aproximada de 64.8 m. Del lecho marino al horizonte H0 con un espesor aproximado de 2.8 m se aprecian reflectores sísmicos continuos y paralelos a lo largo del perfil. Entre el horizonte H0 y el H1 presenta un espesor aproximado de 1.7 m donde no se observan reflectores sísmicos, posterior al H1 la estratificación es difusa y la energía sísmica se dispersa (Figura 23).

En la [Figura 23](#), al inicio del perfil en el extremo sur se aprecia una anomalía de forma cóncava que corresponde a la respuesta acústica del conducto D (línea azul), en los cuadros 1, 2, 3, y 4 se observan como los horizontes sísmicos pierden su continuidad por una transparencia acústicas, indicando la posible presencia de gas.

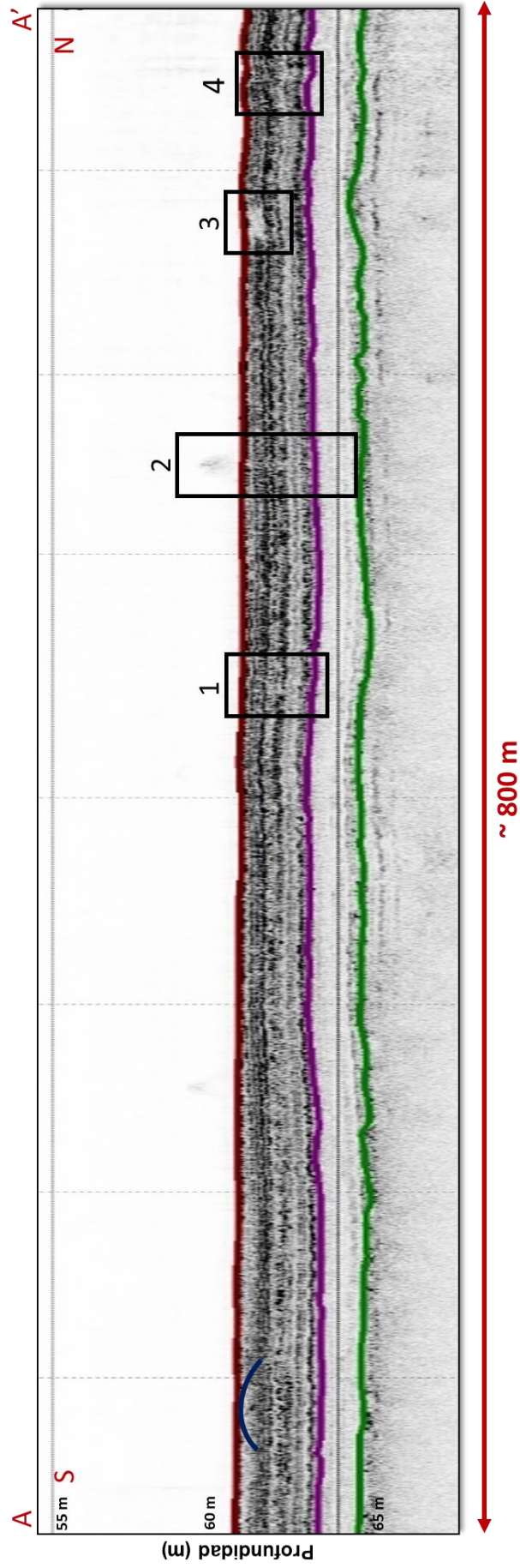


Figura 23. Perfil sísmico somero A-A'

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados y el análisis de los datos geofísicos adquiridos en el campo M1 se concluye lo siguiente:

- Se observaron 71 eventos sobre el lecho marino de origen antropogénico y geológico. De los cuales 44 fueron huellas de PAE, 13 huellas de arrastre de PAE y 14 depresiones.
- En el área noroeste del campo M1 se observan la mayoría de los eventos.
- El área de estudio no presenta rasgos geológicos relevantes superficiales o someros que represente peligro para el posicionamiento de una plataforma autoelevable, sin embargo, se debe de considerar la posible presencia de gas somero en el subsuelo somero.
- Los eventos antropogénicos (huellas de PAE y de arrastre) observados deben ser considerados para la buena programación de los próximos posicionamientos de plataformas autoelevables en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrio , E., & Pérez , M. (2021, 08 12). *Aplicaciones de la reflexión del sonido*. Retrieved from https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io9/public_html/sonar.html
- Campos, D., & Cabrera, J. (2017). Seguridad Estructural de Plataformas Autoelevables Petroleras en Operación. *SciELO*, 18(1).
- CHESAPEAKE TECHNOLOGY. (2016). *Bathymetry Post-Processing Guide*.
- CNH. (2014). *Cuencas del Sureste, Aguas Someras* .
- CNH. (2019). *Atlas Geológico Cuencas del Sureste-Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas* .
- Escalera, J. A. (2010). *Estrategia, logros y desafíos de la exploración petrolera en México*. Academia de Ingeniería, México.
- Geomar. (2021, 08 18). *Geomar Ingeniería*. Retrieved from <https://geomar.cl/service/batimetria-multi-haz/>
- Jakobsson, M., Gyllencreutz, R., Mayer, L., Dowdeswell, J., Canals, M., Todd, B., . . . Larter , R. (2016). Mapping submarine glacial landforms using acoustic methods. *The Geological Society.*, 17-40.
- Michaud , F., & Ratzov, G. (2009). Métodos e Instrumentación Acústica para la Exploración en Geofísica Marina. *METOD. DE INV. EN GEOL MARINA Y TERRESTRE*, 9-28.
- Padilla y Sánchez, R. J. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 59(1), 19-42.
- PEMEX. (2008). *Las reservas de hidrocarburos de México* .
- Pindell, J. (2002). *Análisis paleogeográfico Mesozoico-Cenozoico y dinámica de cuencas en el Golfo de México profundo y márgenes: La relación entre evolución*

tectonosedimentaria y sistemas petroleros. Informe interno, PEMEX Exploración y Producción .

QPS. (2021, 08 10). *QPS Qimera Automated Correction of Refraction Residuals*. Retrieved from <https://www.qps.nl/webinars/qps-qimera-automated-correction-of-refraction-residuals/>

Robles Nolasco , J. (2006). *Análisis y evaluación de cuencas y sistemas petroleros Región Marina*. PEMEX Exploración y Producción, Reporte Interno.

Sánchez, A. (2019). Estudio de una Falla Superficial en el Cinturón Extensional Quetzalcóatl, Golfo de México Usando Datos de Batimetría Multihaz, Magnetometría Marina y Perfiles Sísmicos de Alta Resolución. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Stein , S., & Wysession , M. (2003). *An Introduction to Seismology Earthquakes and Earth Structure*. USA: Blackwell Publishing.

TECHNOLOGY, C. (2016). *Bathymetry Post-Processing Guide*.

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.