

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO DE GEOFÍSICA INTEGRADO PARA EVALUACIÓN  
DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN INSTALACIONES MARINAS  
AL SUR DE LA PENÍNSULA DE PARIA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Ayán H., Robert Y.  
para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico

Caracas, diciembre de 2009

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO DE GEOFÍSICA INTEGRADO PARA EVALUACIÓN  
DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN INSTALACIONES MARINAS  
AL SUR DE LA PENÍNSULA DE PARIA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Antonio Ughi

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Keyla Quilen

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Ayán H., Robert Y.  
para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico

Caracas, diciembre de 2009

Caracas, diciembre de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Robert Ayán titulado:

**“Estudio de Geofísica Integrado para la Evaluación de Riesgos Geológicos en Instalaciones Marinas al Sur de la Península de Paria”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Adriana González  
Jurado

Prof. Jesús González  
Jurado

Prof. Antonio Ughi  
Tutor Académico

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo agradezco a mi Dios por la oportunidad que tuve para realizar este Trabajo Especial de Grado.

A la empresa de Ingeniería de Consultas INCOSTAS S.A. por permitirme desarrollar mi Trabajo Especial de Grado en sus instalaciones y por contar con el apoyo de las personas que allí laboran.

Agradezco a PDVSA GAS S.A. por aportar la información del proyecto “Servicios de Adquisición, Procesamiento e Interpretación de datos para los Estudios Geofísicos en el área de las instalaciones marinas de la Planta de Gas Natural Licuado (PGNL)”.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela.

A mis tutores, Ingeniero Antonio Ughi e Ingeniero Keyla Quilen.

A mis compañeros de trabajo en especial al Departamento de Geofísica, Keyla Quilen, Daniel Rossell, Daniel Arráiz, Efraín Dinis, Rosana Amaiz. Al Departamento de Oceanografía, Rafael Becemberg, Liseth Mendez y Gilberto González.

A mis compañeros de la universidad en especial a Rosangela Gascón por apoyarme en todo momento.

A mi familia por creer en mí.

**Ayán H., Robert Y.**

**ESTUDIO DE GEOFÍSICA INTEGRADO PARA EVALUACIÓN  
DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN INSTALACIONES MARINAS  
AL SUR DE LA PENÍNSULA DE PARIA**

**Tutor Académico: Prof. Antonio Ughi. Tutor Industrial: Ing. Keyla  
Quilen. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,  
Minas y Geofísica. Año 2009, 308 p.**

**Palabras Claves:** Riesgo geológico, geofísica marina somera.

**Resumen.** Se levantaron 108 líneas de batimetría con ecosonda monohaz, 55 registros sísmicos con perfilador de subfondo tipo Pinger y sonar de barrido lateral, y 9 muestras recuperadas con dardo gravitacional en un área de 2x3 km en la localidad de Güiría al sur de la Península de Paria, con la finalidad de evaluar riesgos geológicos asociados a la inestabilidad del suelo marino en la zona, para la instalación de estructuras marinas.

Se construyó un mosaico del fondo marino a partir de los datos de sonar de barrido lateral. Posteriormente basado en la batimetría y el isópaco generado con las secciones sísmicas del perfilador de subfondo tipo Pinger se calculó la superficie de erosión para obtener el modelo estratigráfico 3D del subsuelo marino y finalmente evaluar los posibles riesgos geológicos presentes en el área en estudio.

En el mosaico se obtuvo mayor reflectividad hacia el norte y el este del área. No se observaron irregularidades en el fondo marino. En la batimetría se obtuvieron variaciones de profundidad de 0 a 30 m respecto al NNM en forma descendente hacia el sur con una baja pendiente de 1H:100V. Con los estudios geotécnicos se determinó que los sedimentos recientes están compuestos, en su mayoría, por arcillas ubicadas hacia el sur. Se determinaron los espesores de sedimentos recientes a través del isópaco, obteniéndose que la variación es de 1 a 14 m, encontrándose los máximos espesores en el centro y oeste del mapa y los mínimos hacia el norte y este.

De acuerdo con las secciones sísmicas no se encontró presencia de gas o fallamiento en los primeros 50 m por debajo del fondo marino.

## TABLA DE CONTENIDO

Figura	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE APÉNDICES.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Localización del área en estudio.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivos Específicos.....	6
1.3. Justificación.....	7
1.4. Antecedentes.....	8
CAPÍTULO II.....	9
2. TECTÓNICA Y GEOLOGÍA REGIONAL.....	10
2.1. Evolución estructural del Golfo de Paria.....	11
2.2. Características sísmicas regionales.....	12
2.3. Características litológicas y morfológicas sobresalientes.....	14
2.4. Instrumentos utilizados en el estudio.....	15
2.4.1. Ecosonda monohaz.....	15
2.4.2. Sonar de Barrido Lateral.....	16
2.4.3. Perfilador de subfondo tipo Pinger (Sub-Bottom Profiler).....	17
2.4.4. Sistema de Posicionamiento.....	19
2.4.5. Muestreador de dardo gravitacional.....	19
CAPÍTULO III.....	21
3. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	22
3.1. Procesamiento de datos de Sonar de Barrido Lateral:.....	22
3.2. Procesamiento de datos de batimetría monohaz.....	28
3.2.1. Procesamiento e interpretación de datos de perfilador de subfondo tipo Pinger.....	37

3.3. Estudio geotécnico.....	53
CAPÍTULO IV .....	55
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	56
4.1. Batimetría de las fases A, B y C generada partir del procesamiento de los datos adquiridos con ecosonda monohaz .....	56
4.2. Secciones sísmicas del perfilador de subfondo tipo Pinger.....	57
4.3. Mapa isópaco de sedimentos recientes generado a partir del procesamiento de los datos adquiridos con perfilador de subfondo tipo Pinger .....	60
4.4. Mapa estructural de la superficie de erosión generado a partir de la integración de la batimetría con el mapa isópaco.....	62
4.5. Estudio geotécnico y correlación con las secciones sísmicas.....	63
4.6. Mosaico construido en las fases B y C a partir del procesamiento de los datos adquiridos con Sonar de Barrido Lateral .....	67
4.7. Modelo estratigráfico obtenido de la integración de los resultados de batimetría, mapas isópacos y estudio geotécnico .....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS .....	75
APÉNDICES.....	78
ANEXOS .....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1.1 Ubicación del área en estudio al sur del puerto de Güiria (Tomada del Proyecto “Servicios de Adquisición, Procesamiento e Interpretación de datos para los Estudios Geofísicos en el área de las instalaciones marinas de la Planta de Gas Natural Licuado (PGNL)” (INCOSTAS, 2009)) .....	5
Figura 2.1 Características estructurales en la región del Golfo de Paria (Tomado del Mapa de Fallas Cuaternarias en Venezuela, Audemard et al, 2000) .....	12
Figura 2.2 Sismicidad local, FUNVISIS 2009 .....	13
Figura 2.3 Ecosonda monohaz Marimatech E-Sea Sound MP35 .....	15
Figura 2.4 Sonar de Barrido Lateral ( <i>Side Scan Sonar</i> ) GeoAcoustics .....	17
Figura 2.5 Perfilador de subfondo tipo Pinger Geoacoustics Geopulse.....	17
Figura 2.6 Muestreador de fondo tipo dardo gravitacional.....	20
Figura 3.1 Diagrama de procesamiento de los datos de Sonar de Barrido Lateral .....	23
Figura 3.2 Pérdida de amplitud en un registro de Sonar de Barrido Lateral.....	24
Figura 3.3 Compensación de ganancia del registro de Sonar de Barrido Lateral. Obsérvese que en la figura reducida hay pérdida de amplitud a lo largo del recorrido, que posteriormente es corregida empleando la curva de corrección de ganancia, obteniendo una distribución de amplitud compensada en lo ancho del registro como se observa al final de la línea. ....	24
Figura 3.4 Selección del fondo marino para corrección por inclinación. ....	25
Figura 3.5 Construcción del mosaico.....	26
Figura 3.6 Mosaico del fondo marino con Sonar de Barrido Lateral.....	27
Figura 3.7 Diagrama de procesamiento de datos de batimetría con ecosonda monohaz .....	28
Figura 3.8 Parámetros de lectura de los perfiles batimétricos .....	29
Figura 3.9 Error de profundidad detectado en el perfil batimétrico de la Línea 015 ..	30
Figura 3.10 Registro batimétrico en papel de la Línea 015 .....	31
Figura 3.11 Corrección de profundidad en el perfil batimétrico de la Línea 015 .....	31
Figura 3.12 Diagrama de distribución de los equipos en la embarcación fases B y C34	

Figura 3.13 Diagrama de distribución de los equipos en la embarcación fase A .....	34
Figura 3.14 Interpolación de los datos batimétricos de las fases B y C con vecino natural.....	35
Figura 3.15 Mapa de interpolación de los datos batimétricos de las fases A B y C con el método de interpolación vecino natural .....	36
Figura 3.16 Diagrama de procesamiento de datos sísmicos del perfilador de subfondo tipo Pinger .....	37
Figura 3.17 Corrección por ganancia.....	39
Figura 3.18 Selección de la frecuencia dominante y aplicación del filtro digital .....	40
Figura 3.19 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 sin procesar .....	40
Figura 3.20 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con corrección por ganancia.....	41
Figura 3.21 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con aplicación de filtro de frecuencias.....	41
Figura 3.22 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con blanqueo de la columna de agua.....	42
Figura 3.23 Sección del recorrido de perfilador de subfondo tipo Pinger .....	43
Figura 3.24 Fragmento de la sección sísmica 040 interpretada .....	44
Figura 3.25 Fragmento de la sección sísmica 047 interpretada .....	44
Figura 3.26 Interpolación del fondo marino con Vecino Natural. Contornos en tiempo doble de viaje (ms).....	46
Figura 3.27 Interpolación en tiempo doble de viaje de la superficie de erosión con Vecino Natural .....	47
Figura 3.28 Mapa de intervalo de tiempo entre el fondo marino y la superficie de erosión.....	48
Figura 3.29 Mapa isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión generado a partir de la velocidad promedio de 1519 m/s .....	50
Figura 3.30 Mapa estructural de la superficie de erosión referido al nivel medio del mar.....	51
Figura 3.31 Modelo estratigráfico 3D de la superficie de erosión.....	52

Figura 3.32 Modelo estratigráfico 3D del fondo marino y el espesor de sedimentos recientes.....	52
Figura 3.33 Modelo estratigráfico 3D de la superficie del mar y la columna de agua.....	53
Figura 3.34 Resultados de los ensayos geotécnicos y la ubicación de las muestras.....	54
Figura 4.1 Batimetría con ecosonda monohaz en las fases A, B y C.....	57
Figura 4.2 Interpretación de la sección sísmica del perfilador de subfondo Pinger 042 .....	58
Figura 4.3 Interpretación de la sección sísmica del perfilador de subfondo Pinger 049 .....	59
Figura 4.4 Interpretaciones de las secciones sísmicas 044 y 047 .....	60
Figura 4.5 Mapa isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión en las fases B y C .....	61
Figura 4.6 Variación de la profundidad promedio con respecto a la velocidad.....	62
Figura 4.7 Mapa de la Superficie de erosión con perfilador de subfondo tipo Pinger en las fases B y C .....	63
Figura 4.8 Ubicación relativa de las muestras y el recorrido del perfilador de subfondo tipo Pinger .....	64
Figura 4.9 Ubicación de la muestra M5 en la línea 008.....	66
Figura 4.10 Ubicación de la muestra M7 en la línea 004.....	66
Figura 4.11 Ubicación de la muestra M3 en la línea 044.....	67
Figura 4.12 Ubicación de la muestra M4 en la línea 028.....	67
Figura 4.13 Mosaico del fondo marino y ubicación de las muestras con afloramiento de la superficie de erosión en las fases B y C .....	68
Figura 4.14 Modelo estratigráfico 3D. a) modelo de la superficie de erosión y los sedimentos por debajo de esta, b) modelo del fondo marino y los sedimentos recientes sobre los sedimentos más antiguos y, c) modelo de la superficie del mar y columna de agua sobre los sedimentos recientes.....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 2.1 Parámetros de adquisición del perfilador de subfondo tipo Pinger.....	18
Tabla 4.1 Resultado del estudio geotécnico de las muestras recuperadas con dardo gravitacional.....	65

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice	Pág.
Apéndice 4.1 Distribución de los datos de la batimetría monohaz de las fases B y C	79
Apéndice 4.2 Distribución de los datos de la batimetría monohaz de las fases A, B y C .....	80
Apéndice 4.3 Cálculo de batimetría.....	81
Apéndice 4.4 Distribución de los datos del perfilador de subfondo tipo Pinger del fondo marino en tiempo doble de viaje.....	82
Apéndice 4.5 Distribución de los datos del perfilador de subfondo tipo Pinger de la superficie de erosión en tiempo doble viaje .....	83
Apéndice 4.6 Métodos de interpolación para la superficie del fondo marino en tiempo doble de viaje .....	84
Apéndice 4.7 Métodos de interpolación para la superficie de erosión en tiempo doble de viaje .....	84
Apéndice 4.8 Cálculo de intervalo entre el fondo marino y la superficie de erosión .	85
Apéndice 4.9 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1319, 1400 y 1419 m/s).....	85
Apéndice 4.10 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1427, 1500 y 1519).....	86
Apéndice 4.11 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1600, 1619 y 1719).....	86
Apéndice 4.12 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1319, 1400 y 1419) .....	87
Apéndice 4.13 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1427, 1500 y 1600) .....	87
Apéndice 4.14 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1619 y 1719) .....	88
Apéndice 4.15 Tabla de variación de diferencias entre isópacos con la velocidad ....	89
Apéndice 4.16 Gráfico de variación de diferencias entre isópacos con la velocidad .	89

## LISTA DE ANEXOS

Anexo

Anexo 4.1 Batimetría fases A, B y C

Anexo 4.2 Batimetría fases B y C

Anexo 4.3 Mapa estructural de la superficie de erosión fases B y C

Anexo 4.4 Ubicación de las muestras sin recuperación efectiva

Anexo 4.5 Ubicación de las muestras con presencia de conchas

Anexo 4.6 Ubicación de las muestras con presencia de arcillas

Anexo 4.7 Ubicación de las muestras con presencia de arenas

Anexo 4.8 Ubicación de las muestras con baja y alta plasticidad

Anexo 4.9 Ubicación de las muestras con contenido orgánico

# CAPÍTULO I

## **1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente, en Venezuela se desarrolla El Plan Estratégico de Petr6leos de Venezuela, S.A. (PDVSA) 2006-2012, el cual promueve la implementaci6n de proyectos de exploraci6n y producci6n gas6fera en tierra firme y costa afuera. Dentro de este plan estrat6gico se espera el incremento de la producci6n a trav6s del proyecto de gas Interconexi6n Oriente-Occidente (ICO), aunado con los proyectos del Gasoducto Barbacoa-Margarita, ampliaci6n de los sistemas de la red de conexi6n de Anaco-Puerto La Cruz (Jose), Anaco-Puerto Ordaz, el sistema de transporte Norte-Llanero y sistema de gasoducto Costa Afuera–Tierra.

En cuanto a las actividades de refinaci6n, suministro y mercadeo en la industria petrolera, PDVSA invierte en la construcci6n de los Gasoductos Mariscal Sucre que se conectar6n con el Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho (CIGMA), que a su vez se unir6n con la Plataforma Deltana. El proyecto CIGMA desarrollado por PDVSA GAS, S.A. en el estado Sucre, propone ampliar el servicio de suministro de gas en gran cantidad de regiones y as6 masificar su disponibilidad y reducir su costo mediante el dise1o y construcci6n de instalaciones marinas para una planta de gas natural licuado. Para evaluar las condiciones f6sicas del terreno donde ser6n construidas estas instalaciones se desarroll6 el Proyecto “Servicios de Adquisici6n, Procesamiento e Interpretaci6n de datos para los Estudios Geof6sicos en el 6rea de las instalaciones marinas de la planta de gas natural licuado (GNL)” llevada a cabo por la empresa Ingenier6a de Consulta INCOSTAS S.A.

El prop6sito de este proyecto consiste en realizar un conjunto de estudios de geof6sica marina somera e integrarlo con el fin de caracterizar los riesgos geol6gicos asociados a posibles inestabilidades del terreno, presencia de fallas y/o escapes de gas en la zona donde se proponen construir las estructuras.

Las instalaciones costa afuera son propensas a sufrir daños estructurales originados por factores relacionados con la inestabilidad del fondo y subsuelo marino somero. Por otra parte, durante la etapa de construcción, específicamente en la fase de pilotaje, la presencia de acumulaciones de gas biogénico próximo a la superficie representa un riesgo tanto para el personal que labora en la construcción como para los equipos y la maquinaria, y para la estructura en sí.

La presencia de fallas en las zonas someras incrementa otros riesgos asociados como el gas metano, que puede acumularse a altas presiones cercano a la superficie del fondo marino, ya sea al producirse por la degradación de petróleo a profundidades superiores a 2 km y migrar hacia arriba o por procesos microbianos que descomponen la materia orgánica depositada en el fondo marino. Además, las intrusiones tanto de masas graníticas, como evaporitas, sometidas a grandes presiones, ascienden a la superficie a través de fallas, fenómeno conocido como diapirismo, y los esfuerzos generados por estas intrusiones pueden desestabilizar el subfondo marino.

Otros factores de riesgo involucrados en la zona en estudio guardan relación con la presencia de sistemas de fallas activas. El caso más resaltante es la falla dextral de El Pilar que está relacionada con la actividad sísmica reciente (FUNVISIS 2005). Este conjunto de factores coadyuvan a la acumulación de gas somero y al diapirismo y están relacionadas con posible inestabilidad del fondo marino en el área de la costa de Güiría.

Entre los factores morfológicos que sugieren la presencia de riesgos geológicos que afectarían la instalación y permanencia de las estructuras marinas en la zona en estudio se pueden citar los relacionados con movimientos de masa producidos por la inestabilidad del terreno conocidos como deslizamientos; también incluyen las avalanchas de rocas y tierra (corrientes de turbidez). Todas relacionadas con actividad sísmica y taludes de alta pendiente.

La discontinuidad que se produce debido a las fallas (escarpes de falla) puede tener una extensión relativamente larga, y los materiales que poseen variabilidad en la resistencia a la erosión provocan irregularidades en el terreno. Los deslizamientos, las corrientes de turbidez y los escarpes de falla producen irregularidades en el fondo marino que pueden comprometer la estabilidad de las bases de las instalaciones marinas.

Con el propósito de localizar y mitigar los riesgos descritos, es necesario el desarrollo de estudios de geofísica de alta resolución somera, que permitan caracterizar y sumarizar todos los posibles factores que indiquen posibles situaciones de alarma.

A través de la prospección geofísica de alta resolución somera es posible examinar los riesgos geológicos presentes en el subsuelo marino, así como también la inestabilidad que aportarían las irregularidades del fondo marino a las estructuras marítimas.

A través de la adquisición de perfiles sísmicos del subsuelo somero y su correlación con muestras geotécnicas es posible estimar la ubicación de las acumulaciones de gas cercano a la superficie y los espesores de sedimentos sueltos más recientes. A través de sondeos de sonar de barrido lateral es posible delimitar las variaciones laterales de reflectividad del fondo marino que pueden ser indicativas de cambios sedimentarios, variación del relieve y/o presencia de escombros . El análisis y correlación de todos estos datos permiten evaluar y mitigar los posibles riesgos geológicos existentes en el área predestinada a la construcción de las instalaciones marinas.

## 1.1. Localización del área en estudio

El área en estudio se encuentra ubicada al sur del Golfo de Paria, específicamente en la zona costera cercana al puerto de Güiria, en el estado Sucre. La figura 1.1 muestra las ubicaciones general y relativa del área de interés, esta última se divide en tres fases: A, B y C.

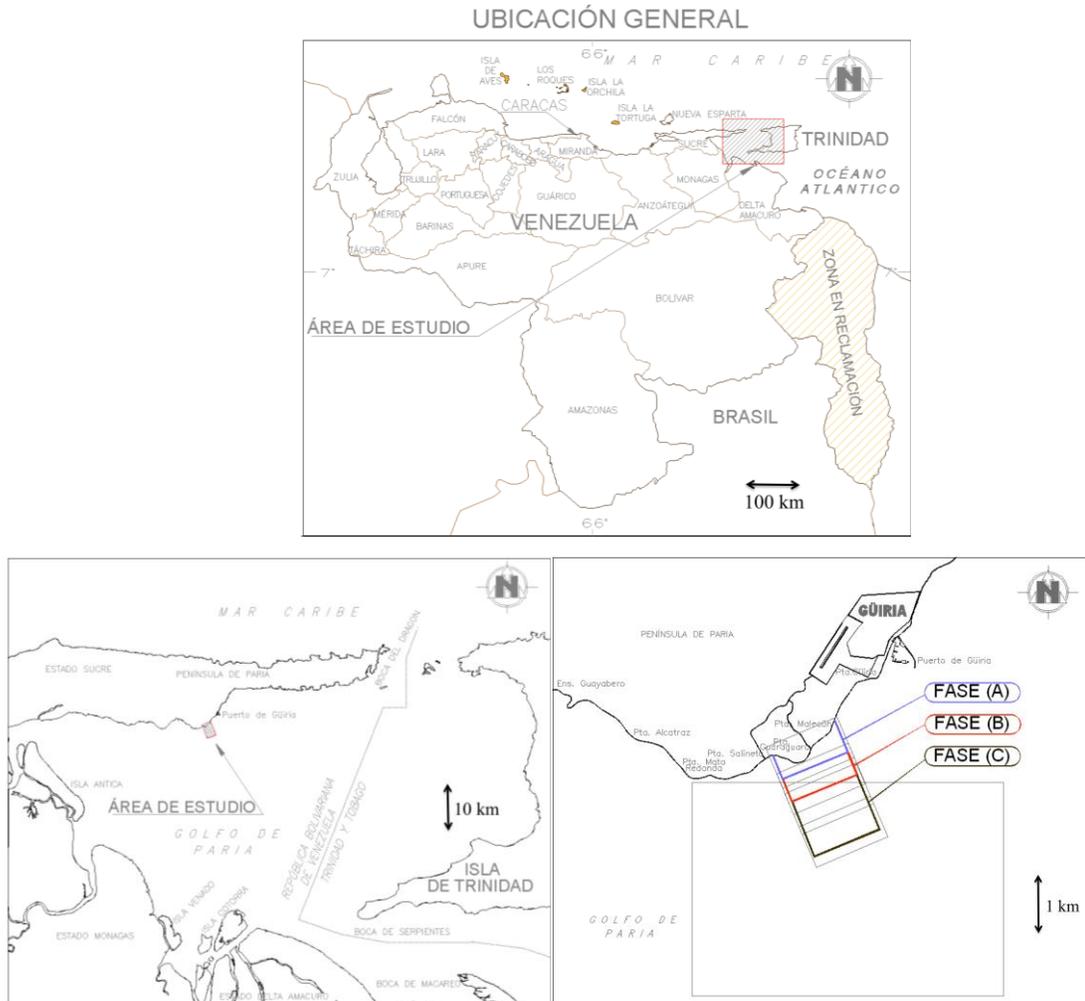


Figura 1.1 Ubicación del área en estudio al sur del puerto de Güiria (Tomada del Proyecto “Servicios de Adquisición, Procesamiento e Interpretación de datos para los Estudios Geofísicos en el área de las instalaciones marinas de la Planta de Gas Natural Licuado (PGNL)” (INCOSTAS, 2009))

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Evaluar riesgos geológicos asociados a la inestabilidad del suelo marino en una zona ubicada al sur de la Península de Paria, donde serán construidas las estructuras marinas.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar cambios de reflectividad del fondo marino que permitan identificar variaciones morfológicas y/o sedimentarias en el mismo.
- Determinar la batimetría del área en estudio a partir de los datos adquiridos con ecosonda monohaz.
- Identificar obstáculos sobre el fondo y subfondo marino que pudiesen representar riesgos para la instalación de estructuras o para la perforación.
- Determinar las propiedades físicas del fondo y subfondo marino somero, en función de su granulometría y consistencia.
- Estimar los espesores de sedimentos asociados a la actividad del pilotaje para la construcción de un muelle.
- Generar un modelo estratigráfico 3D del subsuelo marino a partir de perfiles sísmicos obtenidos empleando perfilador de subfondo somero.
- Evaluar los riesgos geológicos asociados con la presencia de gas somero, fallamiento, sedimentos blandos y/o diapirismo, entre otros.

### **1.3. Justificación**

La geofísica marina de alta resolución somera, empleada para la evaluación de riesgos geológicos asociados a la construcción e instalación de infraestructuras costa afuera, es una metodología relativamente reciente utilizada en el país y de relativo bajo costo, en comparación con los estudios de geofísica multicanal. Adicionalmente, el proceso de adquisición y procesamiento de datos de geofísica monocanal es más sencillo, y se traduce en la obtención de resultados a menor plazo y con una alta resolución vertical.

Desde el punto de vista científico y metodológico, la aplicación de la geofísica marina de alta resolución somera permite la visualización del fondo marino y la disposición de los estratos y estructuras subyacentes, con el propósito de evaluar los riesgos geológicos asociados a la construcción e implantación de estructuras costa afuera.

Este estudio tiene relevancia teórica ya que se han realizado pocos trabajos de investigación que utilicen la geofísica marina de alta resolución en un esquema de trabajo integrado entre geotecnia y geofísica, como herramienta para la caracterización del fondo y subfondo marino. Por otra parte, el enfoque académico de la geofísica en Venezuela se encuentra influenciado por el desarrollo de la industria petrolera, siendo así, la geofísica marina de alta resolución somera es una herramienta que introduce un aporte distinto al uso de los estudios geofísicos tradicionales.

La caracterización de los riesgos geológicos asociados a la instalación de infraestructura marina permite tomar medidas para disminuir accidentes que generen pérdidas humanas y de infraestructura, dando así importancia socioeconómica a este tipo de estudios.

#### **1.4. Antecedentes**

INCOSTAS (2008) realizó un estudio en los Bloques Urumaco I y II, ubicados en el Golfo de Venezuela. La finalidad del estudio fue detectar y ubicar obstáculos sobre el fondo marino, así como detectar riesgos de perforación en las capas someras del subsuelo, para lo cual se efectuaron mediciones geofísicas con sonar de barrido lateral, perfiladores de fondo tipo Pinger y tipo Sparker y magnetómetro. Los registros obtenidos permitieron caracterizar detalladamente el fondo y subfondo marino de la zona, incluyendo la identificación del tipo de sedimentos presentes en el área, la topografía del fondo marino, descripción de las capas someras del subsuelo. En este estudio no se observaron en los registros presencia de riesgos geológicos asociados a fallas ni presencia de gas hasta los 100 m por debajo del fondo marino.

INCOSTAS y PDVSA OCCIDENTE (2008) realizan levantamientos sublacustres con instrumentación geofísica en pozos y localizaciones en el Lago de Maracaibo, Edo. Zulia, según requerimiento de PDVSA Occidente, Gerencia de Servicios Industriales, Gerencia de Diques y Drenaje y la Unidad de Servicios Geodésicos. Debido a que las gabarras deben ser ancladas de este estudio tubo como finalidad la detección de tuberías y cables sublacustres para evitar accidentes y proliferación de contaminantes en el lago al momento de realizar mantenimiento a los pozos allí existentes. De los registros obtenidos con sonar de barrido lateral, perfilador de fondo tipo Pinger y magnetómetro se pudo generar un plano de caracterización de la zona donde se observa claramente la distribución de tuberías, cables y otras estructuras en el fondo del área, así como también se pudo determinar las profundidades del área de levantamiento y se verificó la posición horizontal de los pozos, localizaciones y otras estructuras presentes en el área.

# CAPÍTULO II

## **2. TECTÓNICA Y GEOLOGÍA REGIONAL**

El área en estudio está ubicada en el Golfo de Paria en una zona de triple interacción entre las placas tectónicas del Caribe al norte, del Atlántico al este y de Suramérica al sur.

Molnar y Sykes (1969) fueron los primeros en sugerir que la zona del Caribe se mueve como una placa rígida y es aceptado que esta placa se desplaza hacia el este con respecto a la placa de Suramérica (Audemard, 2000). De hecho, medidas georeferenciadas realizadas, utilizando tecnologías satelitales con GPS (Global Positioning System) indican que la placa del Caribe se mueve hacia el este en relación con el continente Suramericano con una velocidad del orden de 20 +/- 2 mm/año (Weber et al., 2001).

El límite entre las placas del Caribe y de Suramérica no está representada por una simple falla transcurrente dextral. Este límite es una compleja zona de deformación tectónica de unos 100 km de ancho, resultado de procesos de colisión oblicua entre las dos placas. Esta zona actualmente consiste en una franja de más de 1000 km de longitud, que conecta la zona de subducción de las Antillas Menores al este con la franja del Caribe meridional tectónicamente deformada e inclinada hacia el sureste ubicada al sur (Weber et al., 2001). De esta forma, el movimiento relativo de las dos placas tectónicas del Caribe y de América se refleja en el movimiento E-O a lo largo del rumbo de la falla El Pilar, sísmicamente activa como está demostrado por la distribución focal de los terremotos de mayor magnitud (Weber et al., 2001).

La interpretación tectónica hecha por Babb (1997) y Babb y Mann (1999) en el Golfo de Paria y en la Cuenca Septentrional de Trinidad y la de Duerto y McClay (2002) en la Cuenca Oriental Venezolana, indican que el margen meridional del Caribe presenta esfuerzos principalmente compresionales orientados hacia el sureste

que pueden ser seguidos a lo largo de las fallas de El Pilar en Venezuela, mientras que en el Golfo de Paria existe una cuenca transtensiva tipo “pull-apart” (Babb, 1997; Mann et al., 2001).

De hecho, la mayoría de las fallas en el Golfo de Paria de rumbo NO-SE y buzamiento NE, se identifican como fallas normales en líneas de reflexión sísmica (Babb y Mann, 1999), mostrando que el Golfo de Paria descansa sobre una importante cuenca de separación litosférica (“pull-apart”) activa actualmente y que los mecanismos focales de terremotos superficiales podrían estar relacionados con el movimiento de estas fallas (Russo et al., 1993).

## **2.1. Evolución estructural del Golfo de Paria**

Según Babb y Mann (1999), de acuerdo al análisis de reflexión sísmica integrado con datos de pozos en el Golfo de Paria en la Cuenca Septentrional de Trinidad, se pueden identificar cinco secuencias estratigráficas: las dos más antiguas son las del final de Jurásico y comienzos del Cretáceo, depositadas en un ambiente de margen continental pasivo. Las tres secuencias restantes van desde el final del Mioceno al Pleistoceno e incluyen rocas clásticas depositadas a lo largo de un contacto transcurrente activo entre la placa Caribe, la cual se desplaza hacia el este, y la Suramericana.

La migración de zonas de depositación de clásticos sugiere que la ubicación de la falla transcurrente dextral de límite de placas cambió desde la zona de la falla El Pilar hacia el sur de Trinidad hace aproximadamente de 8 a 12 millones de años. Este cambio en la actividad de la falla produjo en el Golfo de Paria una zona de extensión oblicua y una cuenca de separación litosférica (“pull-apart”) orientada en dirección ENE (Babb, 1997).

El desplazamiento hacia el sur del movimiento transcurrente dextral continuó durante el Cuaternario. La falla El Pilar se conecta y transfiere su movimiento a las fallas de Los Bajos y El Soldado de rumbo NO-SE (Figura 2.1). Estas tres fallas son consideradas como la porción oriental del sistema principal de fallas transcurrentes dextrales del contacto entre las placas Caribe y Sudamericana (Audemard, 2000).

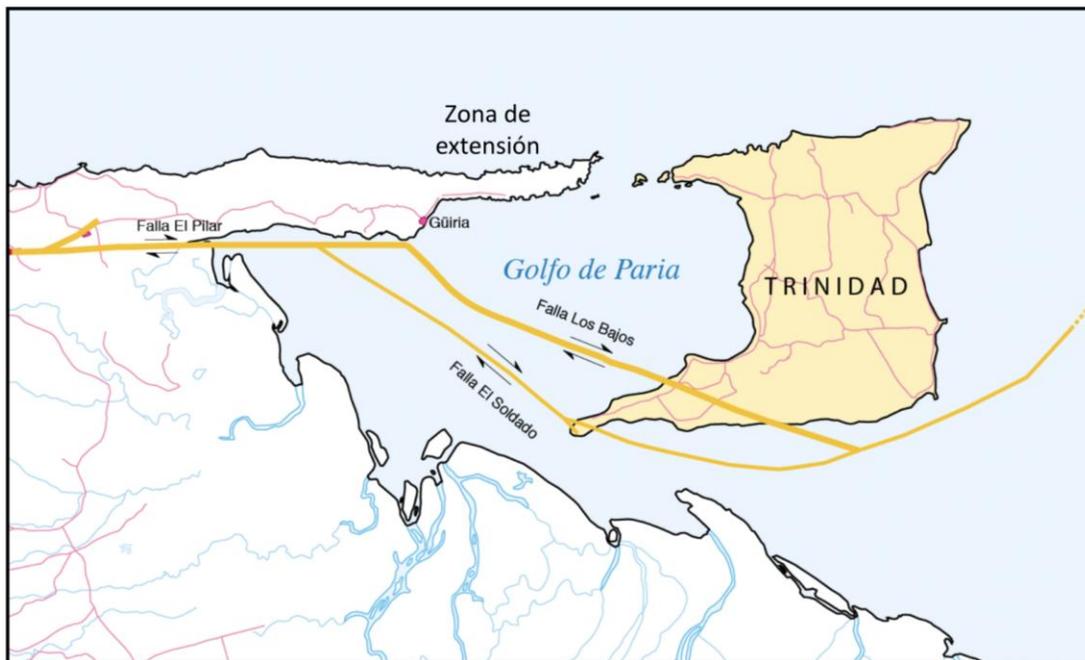


Figura 2.1 Características estructurales en la región del Golfo de Paria (Tomado del Mapa de Fallas Cuaternarias en Venezuela, Audemard et al, 2000)

## 2.2. Características sísmicas regionales

La ubicación de los reportes en la zona en estudio, basado en datos de FUNVISIS, revela la estrecha relación que existe entre los sismos y la posición de las fallas activas como se ilustra en un reporte sismológico con epicentro más cercano al área en estudio en el año 2009 (Figura 2.2). De hecho, se estima que para la falla El Pilar el período de retorno es de unos 400 años para sismos de 7,5 grados en la escala de Mercalli, con una tasa promedio de movimiento anual de 5mm (Audemard, 1999). Igualmente, se estima para la falla de Los Bajos una tasa anual de movimiento de 5 a 7 mm, con un intervalo de recurrencia de 290 años para sismos de 7,1 grados en la escala de Mercalli (Audemard, 1999).

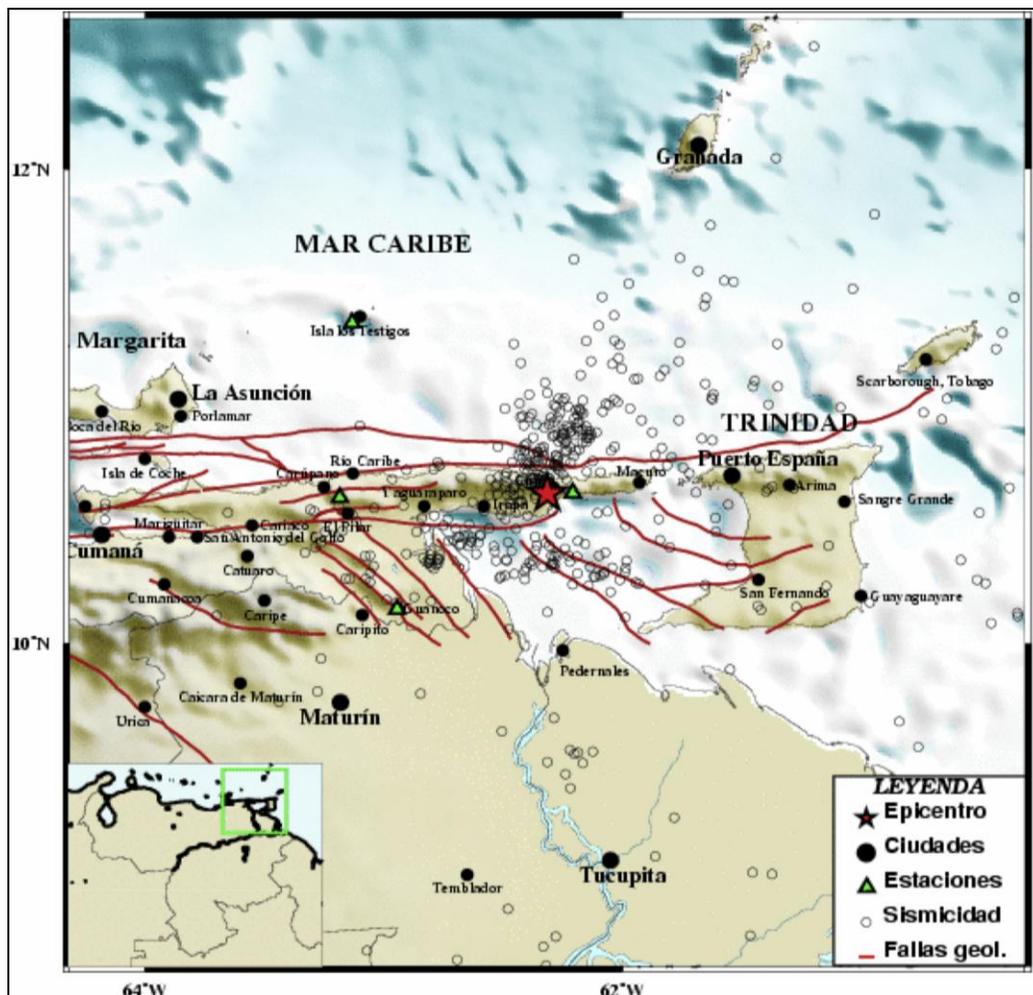


Figura 2.2 Sismicidad local, FUNVISIS 2009

Adicionalmente, FUNVISIS (2005) indica que los sismos con hipocentros intermedios y profundos que han ocurrido en la región entre 1910 y 2004 están generalmente relacionados a una zona Wadati-Benioff bien desarrollada en la porción SE de la placa Caribe, en donde los fenómenos de subducción de la placa Atlántica por debajo del Caribe se transforman hacia el oeste en el estilo tectónico transpresional expresado por las fallas transgresivas en el borde septentrional de la placa Suramericana. Estos datos indican que el área en estudio es sísmicamente activa y que los eventuales eventos sísmicos que ocurran pueden causar inestabilidad en el fondo marino.

### **2.3. Características litológicas y morfológicas sobresalientes**

Los sedimentos recientes en el Golfo de Paria están depositados sobre una superficie de erosión del Pleistoceno marcada por una baja pendiente, y tienden a depositarse de forma plana dejando el fondo marino sin irregularidades. La acumulación de sedimentos es mayor en las áreas del Golfo de Paria y en las depresiones del Golfo Oriental, mientras que en los altos del Pleistoceno son caracterizados por mínima sedimentación (INCOSTAS, 2003).

De hecho un estudio sísmico detallado (Van Andel y Sachs, 1964) muestra que para el final del Pleistoceno, el fondo del Golfo de Paria se encontraba por encima del nivel del mar. El aumento post-glaciar de este nivel inundó las llanuras y varias secuencias fueron depositadas, separadas por discordancias y superficies de erosión debidas a oscilaciones de los niveles marinos (Van Andel, 1967).

Desde hace aproximadamente 9.000 años, la sedimentación en el fondo del Golfo Paria es debida a la depositación de sedimentos de arcilla limosa provenientes del Delta del Orinoco y Río Amazonas a través de Boca de Serpiente, junto con sedimentos provenientes de los procesos estuarinos de los Caños Macareo y Mánamo (Van Andel, 1967).

Finalmente, en la parte meridional del Golfo de Paria hay presencia de estructuras diapíricas y volcanes de fango que representan una consecuencia de la evolución tectónica de la zona. Estos diapiros se desarrollaron de este a oeste, comenzando desde el final del Mioceno y con su máximo desarrollo en el Plio-Pleistoceno, siendo causado principalmente por el efecto de sedimentos fangosos (Duerto y McClay, 2002). Las estructuras de los volcanes de barro activos existentes, como por ejemplo en la zona de Pedernales, presentan chimeneas que alcanzan la superficie a través de fallas normales.

## 2.4. Instrumentos utilizados en el estudio

En la fase A se utilizó, simultáneamente, la ecosonda monohaz y el sistema de posicionamiento, mientras que en las fases B y C se emplearon, en conjunto la ecosonda monohaz, el perfilador de subfondo tipo Pinger, el sonar de barrido lateral y el sistema de posicionamiento. Por otra parte se usó un muestreador de dardo gravitacional para recuperar muestras del fondo marino en las fases B y C. Las especificaciones de estos instrumentos se mencionan a continuación.

### 2.4.1. Ecosonda monohaz

Para la medición de la profundidad del fondo marino se empleó una ecosonda monohaz Marimatech E-Sea Sound MP35 (Figura 2.3) de doble frecuencia (33 y 200 kHz), que genera simultáneamente registro analógico y digital. La precisión de este instrumento es de  $\pm 1 \text{ cm} \pm 0,1\%$  a 200 kHz y de  $\pm 5 \text{ cm} \pm 0,1\%$  a 33 kHz. El transductor de doble frecuencia empleado es de haz estrecho con ángulos de cobertura de  $\pm 4,5^\circ$  a 200 kHz y de  $9,5^\circ$  a 33 kHz.

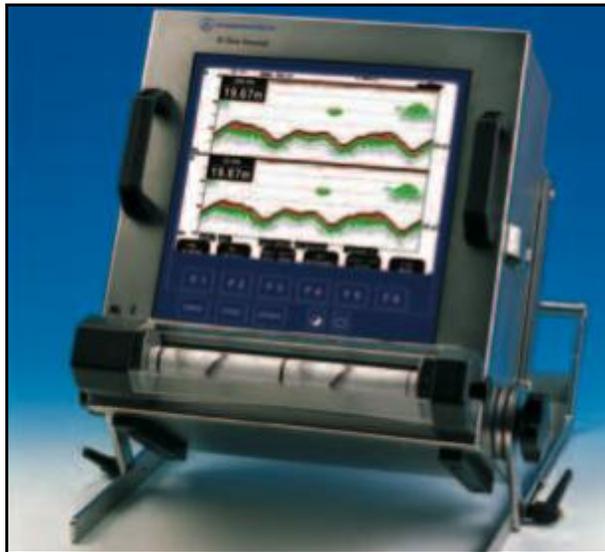


Figura 2.3 Ecosonda monohaz Marimatech E-Sea Sound MP35

Durante el levantamiento batimétrico se realizó la calibración del equipo usando el método de “*Bar Check*” (calibración con plancha) durante los días de la

adquisición. Este procedimiento consiste en determinar la velocidad promedio de la propagación de la onda en el agua (la cual depende de la salinidad y la temperatura del medio). Para esto se utilizó una plancha metálica para sumergirla a diferentes profundidades por debajo del transductor de la ecosonda, conociendo la distancia entre la plancha y el transductor se ajustó la velocidad del sonido que emplea el instrumento para transformar los datos de tiempo a profundidad. Este método se utilizó al inicio y al final de la jornada diaria de adquisición, determinando la velocidad promedio de propagación del sonido en el agua en 1519 m/s.

#### **2.4.2. Sonar de Barrido Lateral**

Se empleó un Sonar de Barrido Lateral (*Side Scan Sonar*) marca GeoAcoustics de frecuencia dual ajustable (100 kHz o 400 kHz) (Figura 2.4). Para este estudio se empleó la frecuencia de 100 kHz. El instrumento se configuró para obtener un 100% de cobertura y solapamiento en las áreas de levantamiento. El equipo está integrado por dos transductores en un torpedo que va sumergido y se lleva anclado en la popa de la embarcación, una unidad transreceptora (receptor y transmisor) y software para la adquisición y procesamiento en tiempo real de los registros (GeoPro4 OSX MOS V 3.35). El uso de este instrumento en el levantamiento de geofísica marina permite determinar las variaciones de reflectividad presentes en el fondo marino, y a través de su correlación con los datos geotécnicos es posible determinar la distribución de los diferentes materiales que constituyen el lecho marino.



Figura 2.4 Sonar de Barrido Lateral (*Side Scan Sonar*) GeoAcoustics

### **2.4.3. Perfilador de subfondo tipo Pinger (Sub-Bottom Profiler)**

Para las mediciones de geofísica somera se usó un perfilador de subfondo (*Sub-Bottom Profiler*) marca GeoAcoustics, modelo GeoPulse, tipo Pinger de frecuencia ajustable (Figura 2.5).



Figura 2.5 Perfilador de subfondo tipo Pinger Geoacoustics Geopulse

La aplicación de este sistema tiene como propósito la identificación del espesor de los sedimentos sueltos/blandos del fondo y las anomalías acústicas que en ellos se detecten. El equipo está integrado por un transductor sumergido que se instala a un lado de la embarcación, una unidad transreceptora (receptor y transmisor

interdependientes) y software para la adquisición y procesamiento en tiempo real de los registros (GeoPro4 OSX MOS V2 3.35®). El equipo genera un pulso a una frecuencia de 4,5 kHz, y el transductor recibe las señales reflejadas en el fondo y subfondo marino, que luego son transmitidas a la unidad transreceptora y registradas y procesadas por el programa GeoPro 4 OSX MOS V2 3.35® de forma digital.

Los parámetros de adquisición de datos sísmicos del perfilador de subfondo tipo Pinger para este estudio se muestran a continuación en la Tabla 2.1 con los parámetros y los valores correspondientes.

Tabla 2.1 Parámetros de adquisición del perfilador de subfondo tipo Pinger

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Frecuencia	4,5 kHz
Rango	63 m
Tasa de disparos	164 ms (6 disp/s)
Número de muestras	4024 por segundo
Ganancia	30 dB
Filtro paso alto	1,5 KHz
Filtro paso bajo	7 KHz
Sumersión del transductor	1,50 m

Utilizando la frecuencia teórica del instrumento y la velocidad promedio de propagación de onda en el agua, se calcula la resolución teórica del instrumento con la siguiente relación.

$$R = \lambda/4$$

$$\lambda = v/f$$

$$\lambda = 0,3375m$$

$$R = 0,0843m$$

$$v = 1519m/s$$

$$f = 4500Hz$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $v$  es la velocidad promedio de propagación de la onda en el agua,  $f$  es la frecuencia de adquisición los datos y  $R$  es la resolución teórica del instrumento.

#### **2.4.4. Sistema de Posicionamiento**

Los equipos de posicionamiento son del tipo GPS (Global Positioning System) de doble frecuencia con corrección diferencial en tiempo real. Una estación base fue instalada en tierra con el propósito de realizar corrección diferencial post-procesada. Los equipos de posicionamiento abordo estuvieron conectados con los equipos de adquisición de datos sísmicos y batimétricos.

Durante la navegación se utilizó el programa hidrográfico Hypack Max de Coastal Oceanographics, donde los registros de profundidad y posición horizontal son integrados en tiempo real y en forma continua.

#### **2.4.5. Muestreador de dardo gravitacional**

El muestreo geotécnico del fondo marino fue realizado empleando un dardo gravitacional de peso ajustable (300 a 500 kg) (Figura 2.6). Durante el proceso de recolección de muestras, en el interior del dardo se coloca un tubo plástico (PVC) de 3 pulgadas de diámetro y 3 m de longitud. En cada una de las operaciones de muestreo se deja caer el muestreador desde la embarcación mediante un cabestrante hidráulico (güinche). Cuando el contrapeso del dardo hace contacto con el fondo marino se libera el mecanismo de enganche permitiendo la caída libre del muestreador desde una altura aproximada igual a la columna de agua para penetrar los suelos superficiales, luego el dardo se recupera con el güinche. Para evitar la pérdida de material durante la extracción de la muestra se utiliza un retenedor de intrusión concéntrico.

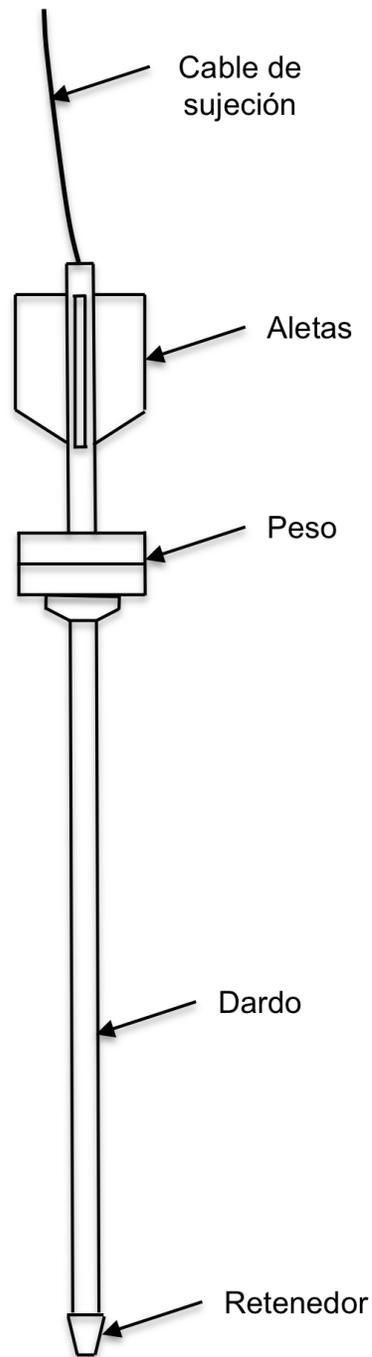


Figura 2.6 Muestreador de fondo tipo dardo gravitacional

# **CAPÍTULO III**

### **3. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Se levantaron 148 km en recorrido de 55 perfiles sísmicos, utilizando un perfilador de subfondo tipo Pinger y sonar de barrido lateral durante los días de adquisición del 4 al 11 de diciembre de 2008. Simultáneamente se adquirieron 164 km de registros de batimetría con ecosonda monohaz. Por otra parte, se recuperaron nueve muestras con dardo gravitacional para correlacionarlos con la información anterior.

Con el propósito de obtener productos terminados para la interpretación final, el procesamiento de los datos permite construir una imagen completa de las variaciones de reflectividad del fondo marino a partir de los registros individuales del Sonar de Barrido Lateral (Mosaico de Registros de Sonar de Barrido Lateral); generar la batimetría a partir de los datos adquiridos con ecosonda monohaz y los registros de marea; construir un modelo estratigráfico a partir de los mapas isópacos entre las superficies de interés, superficies que fueron obtenidas a partir de la interpretación de las secciones sísmicas procesadas del perfilador de subfondo tipo Pinger en combinación con la batimetría; y finalmente una correlación de los resultados con la descripción de las muestras recuperadas con dardo gravitacional.

#### **3.1. Procesamiento de datos de Sonar de Barrido Lateral:**

Los datos de Sonar de Barrido Lateral fueron procesados con el propósito final de generar un mosaico del fondo marino, que ayuda a tener una visualización general de las variaciones de reflectividad.

El procesamiento de las líneas de Sonar de Barrido Lateral y la construcción del mosaico se realizó en el programa de procesamiento GeoPro4 OSX MOS V2

3.35®, siguiendo la secuencia de procesamiento mostrada en el siguiente diagrama (Figura 3.1).

### PROCESAMIENTO DE DATOS DE SONAR DE BARRIDO LATERAL



Figura 3.1 Diagrama de procesamiento de los datos de Sonar de Barrido Lateral

El procesamiento de los datos de Sonar de Barrido Lateral se realizó adquiridos utilizando la velocidad de onda en el agua (1519 m/s) medida en campo. Las etapas del procesamiento mostradas en la figura anterior se describen en la siguiente metodología.

- a) Determinación de los parámetros de procesamiento de los registros: se procede a reproducir varios registros de datos de forma de comprobar si se requiere aplicar compensaciones por pérdidas de ganancia. En la Figura 3.2 se muestra un registro de sonar de barrido lateral en donde puede observarse que la mayor amplitud se presenta cercana a la línea del fondo marino y se pierde con la distancia a este. Una vez visualizados los registros, son desplegados los controles de ganancia variante en tiempo (*Time Varied Gain* o TVG) y se realiza la compensación de ganancia utilizando la curva de corrección con el fin de presentar una amplitud uniforme en el registro como se muestra en la Figura 3.3.

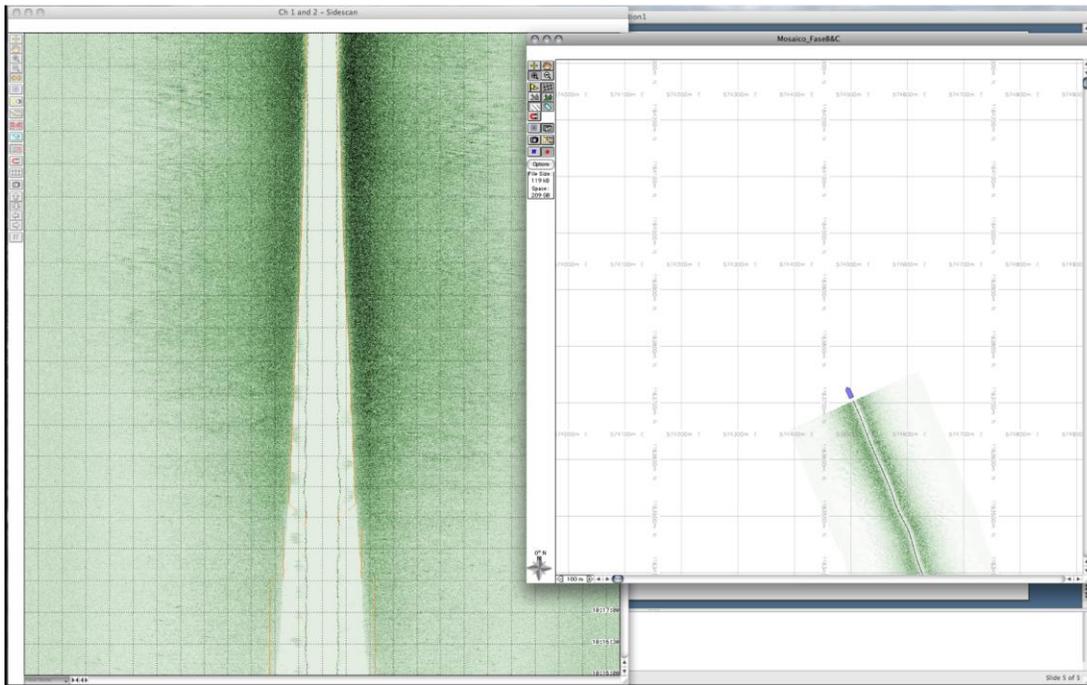


Figura 3.2 Pérdida de amplitud en un registro de Sonar de Barrido Lateral

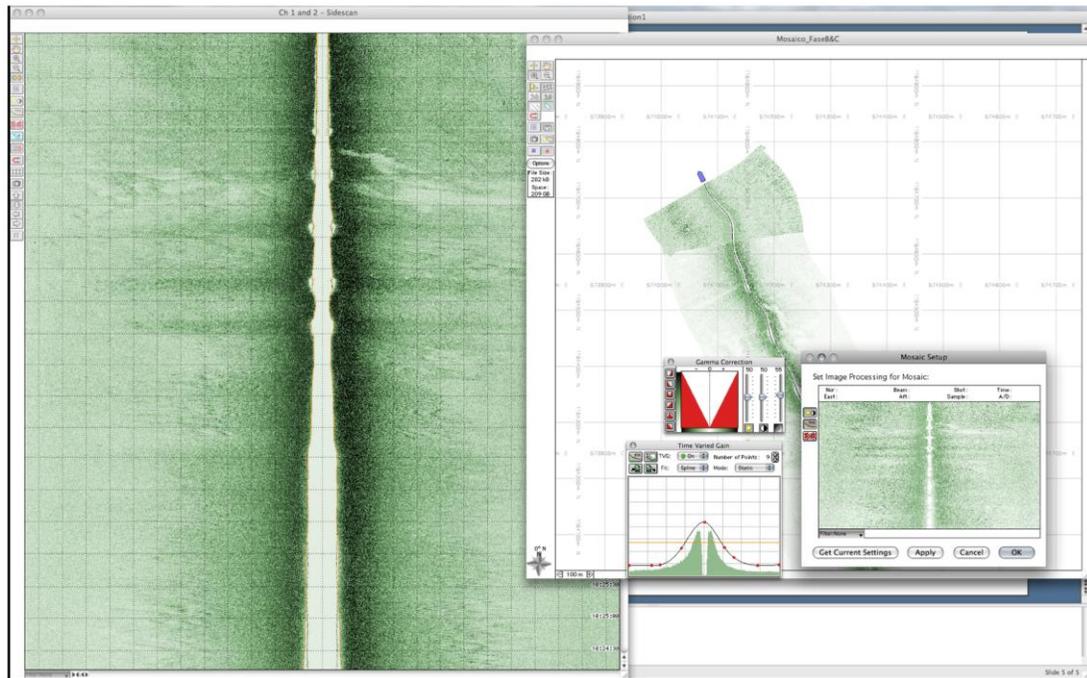


Figura 3.3 Compensación de ganancia del registro de Sonar de Barrido Lateral. Obsérvese que en la figura reducida hay pérdida de amplitud a lo largo del recorrido, que posteriormente es corregida empleando la curva de corrección de ganancia, obteniendo una distribución de amplitud compensada en lo ancho del registro como se observa al final de la línea.

- b) Corrección por inclinación: Una vez determinados los parámetros del procesamiento de los registros de Sonar de Barrido Lateral se reproducen en cada uno de los archivos asegurando de escoger bien la línea del fondo marino (ver línea naranja en la Figura 3.4), con lo cual se corrige la inclinación de los haces durante la adquisición.

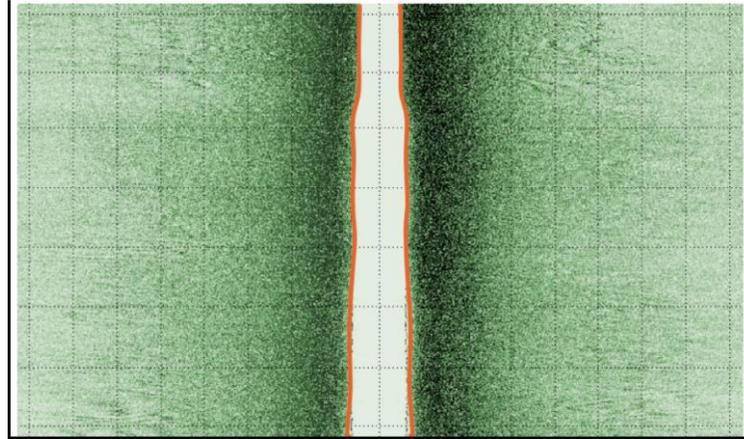


Figura 3.4 Selección del fondo marino para corrección por inclinación.

- c) Grabación del mosaico: Simultáneamente a la corrección por inclinación, se reproducen una por una las líneas y graba el mosaico del fondo marino como se observa en la Figura 3.5. Posteriormente se procede a exportar la imagen del mosaico del fondo marino generado (Figura 3.6) en la cual se muestra el resultado obtenido del procesamiento.

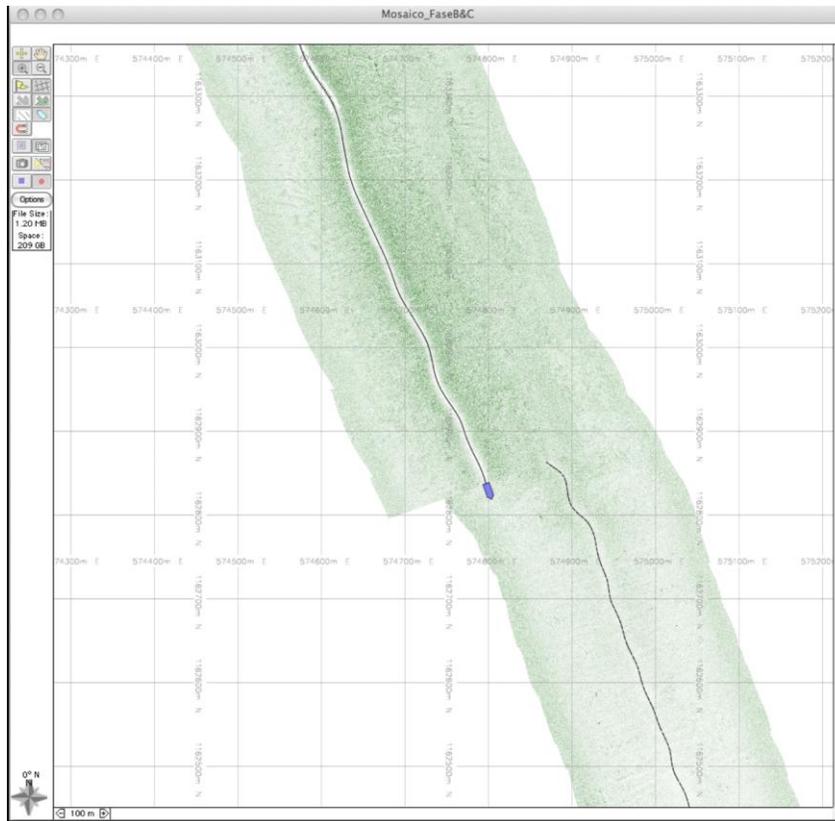


Figura 3.5 Construcción del mosaico.

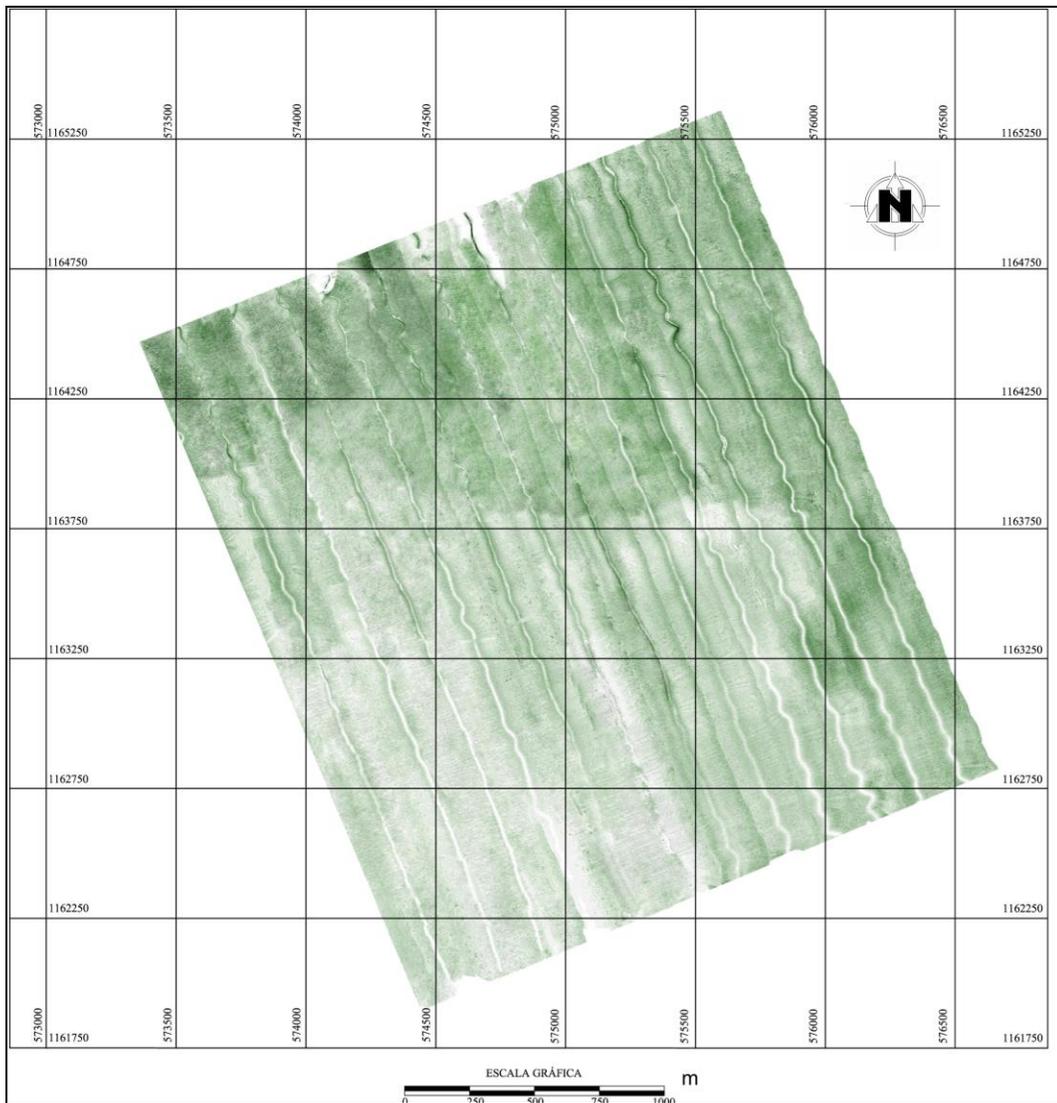


Figura 3.6 Mosaico del fondo marino con Sonar de Barrido Lateral

### 3.2. Procesamiento de datos de batimetría monohaz

Para dar inicio al procesamiento de los datos de la batimetría monohaz se procedió primeramente a ordenarlos en carpetas separadas por fecha de adquisición con formato *prn* (texto delimitado por espacios). El procesamiento de la batimetría monohaz se dividió en varias etapas consecutivas.

El procesamiento de la batimetría monohaz se dividió en varias etapas consecutivas, mostradas en el diagrama de flujo que describe el procesamiento de los datos adquiridos con ecosonda monohaz (Figura 3.7).

#### PROCESAMIENTO DE DATOS DE ECOSONDA MONOHAZ

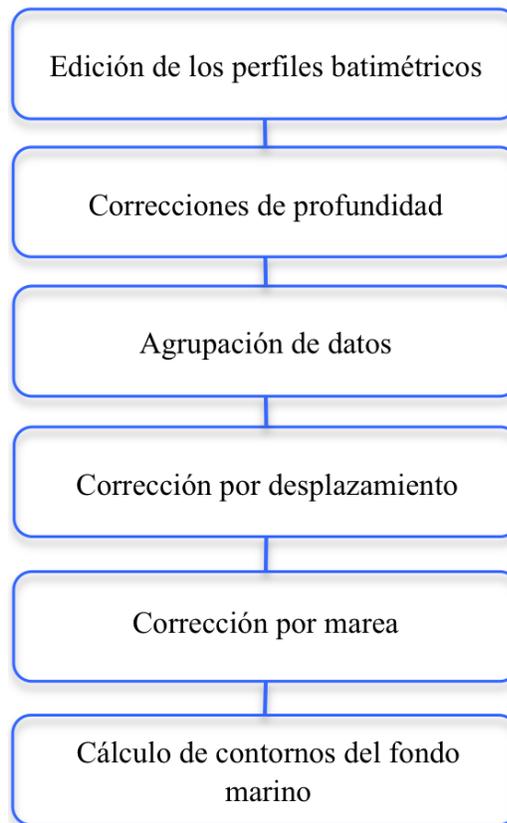


Figura 3.7 Diagrama de procesamiento de datos de batimetría con ecosonda monohaz

- a) Edición de perfiles batimétricos: Inicialmente debe ser creado un proyecto en el programa de adquisición y procesamiento y un archivo con formato *log* (formato común de registro) que contiene los nombres de los todos registros grabados por día. Para editar cada uno de los perfiles, en principio, se configuraron los parámetros de lectura y de presentación para visualizarlos.

En la Figura 3.8 se presenta un ejemplo de la configuración de los parámetros de lectura de un registro. La unidad de entrada original de los datos estaba originalmente en metros, así que, para la lectura se dejó “sin conversión” (cuadro verde), mientras que la lectura del perfil se presentó en distancia recorrida en el eje horizontal (cuadro azul arriba) y la profundidad medida en el eje vertical (cuadro azul abajo).

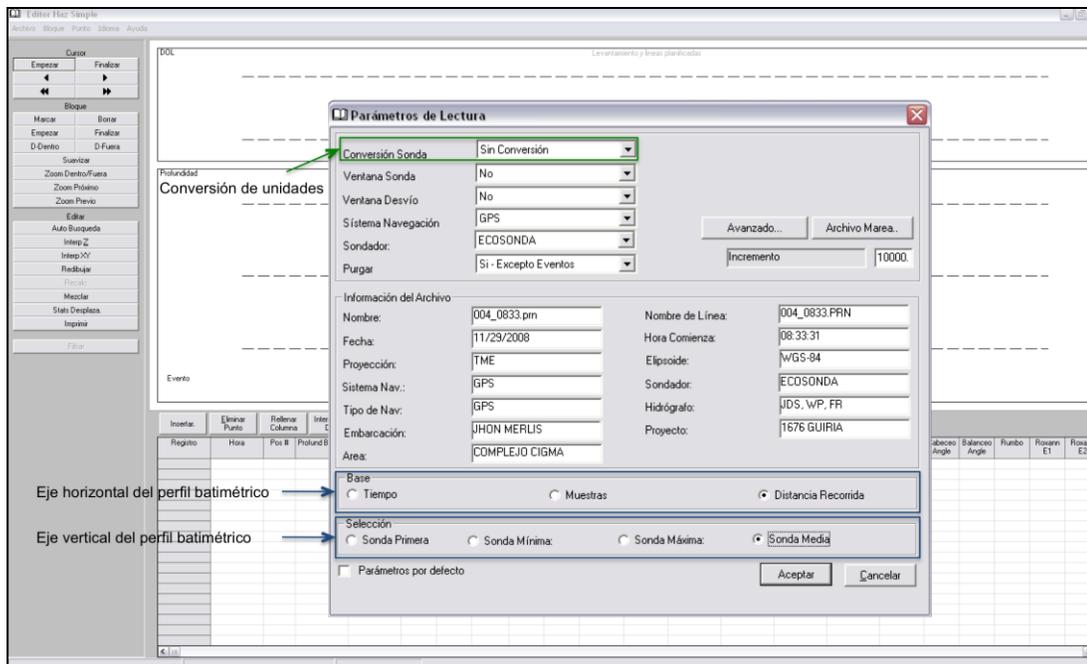


Figura 3.8 Parámetros de lectura de los perfiles batimétricos

- b) Corrección de profundidad: las correcciones de profundidades de los puntos de medición consisten en estimar los valores en cada punto de medición (fix) a partir de la interpretación del fondo marino en los registros impresos por la ecosonda. Además del oleaje existen objetos dispuestos en la columna de agua

(peces o partículas en suspensión) que generan anomalías en la lectura de profundidad adquirida. Estas anomalías se observan con facilidad en los perfiles dado que los registros reflejan variaciones abruptas de profundidad, que pueden ser corroboradas en la versión impresa de los mismos.

Se procedió a revisar cada uno los perfiles batimétricos digitales con el propósito de corregir los valores anómalos de profundidad. Una vez encontrado un valor “dudoso” de profundidad se revisan los registros impresos, para corregir las profundidades. La Figura 3.9 muestra un valor anómalo en el perfil batimétrico digital de la línea 015 (imagen superior, flecha azul). Comparando las horas del recorrido entre los datos digitales (imagen inferior, primera columna en los cuadros rojos) y del registro impreso (óvalos rojos en la Figura 3.10) se estimaron las profundidades en el registro impreso para corregir los datos digitales como se nota en la Figura 3.11 (primera columna en los cuadros rojos).

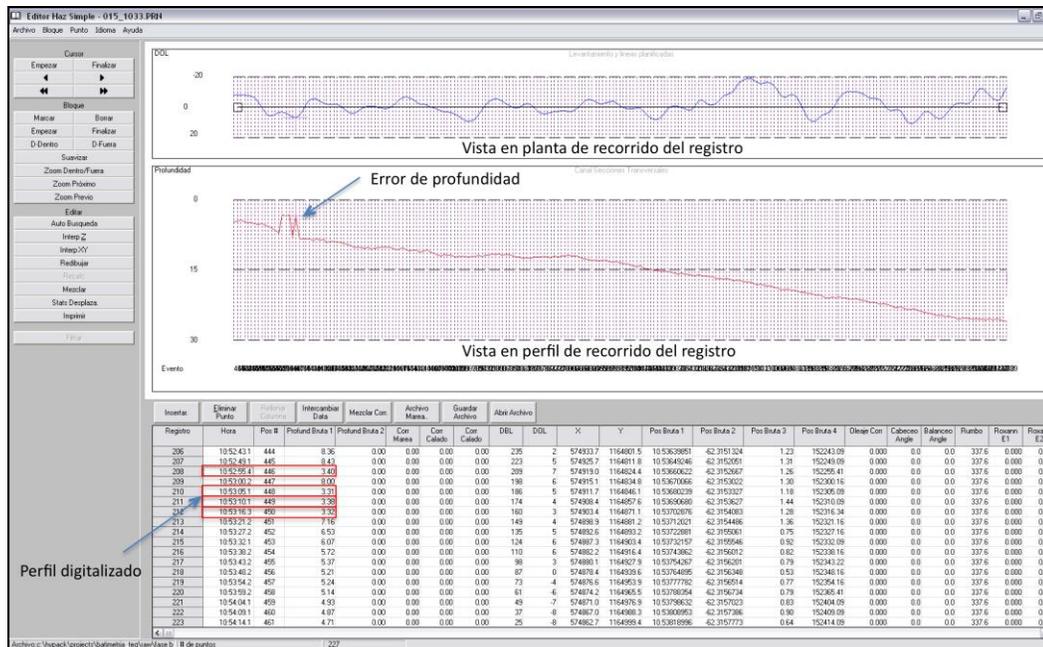


Figura 3.9 Error de profundidad detectado en el perfil batimétrico de la Línea 015

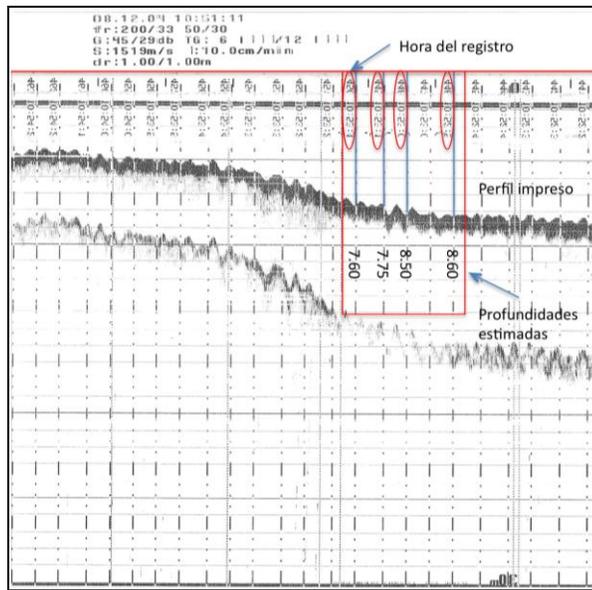


Figura 3.10 Registro batimétrico en papel de la Línea 015

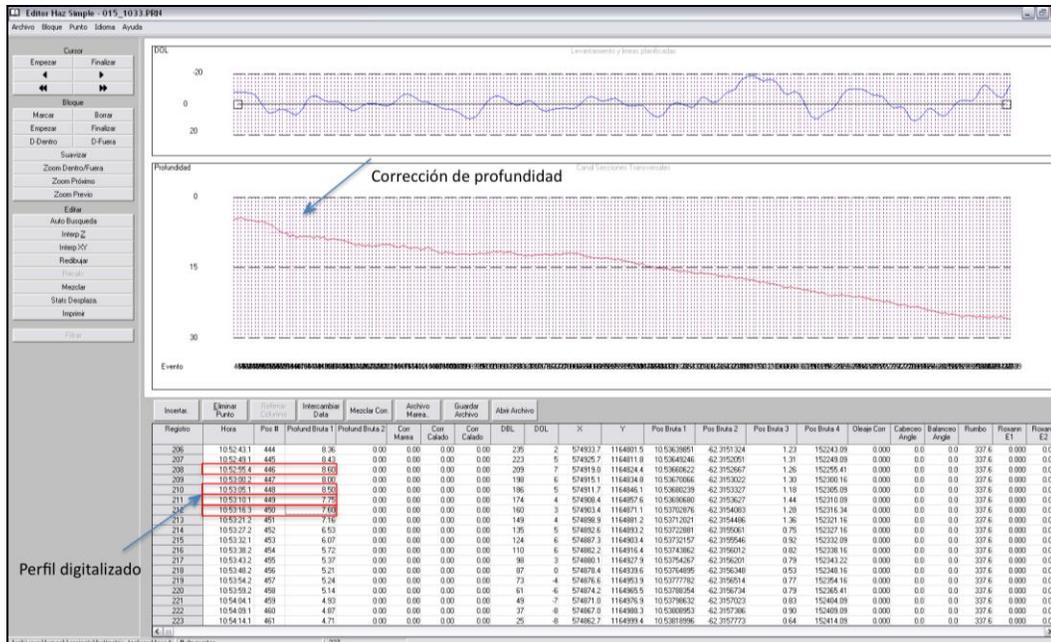


Figura 3.11 Corrección de profundidad en el perfil batimétrico de la Línea 015

Se recopilaron las líneas de adquisición de datos de batimetría monohaz adquiridas con ondas de frecuencia (33 kHz) para generar la el mapa del fondo marino, por otra parte se usaron los datos de más alta frecuencia (200 kHz) para corregir errores de profundidad en los perfiles. Para esto se utilizó la información de los perfiles batimétricos donde se adquirió con doble

frecuencia (200/33 kHz) y se equipararon los valores de la profundidad de los perfiles en donde se encontraron los errores.

- c) Agrupación de los datos: A medida que cada perfil batimétrico es corregido en el programa de adquisición, los archivos con formato *prn* (texto delimitado por espacios) son exportados. Estos archivos incluyen la información de posición (coordenadas este y norte), profundidad, fecha, hora y número de los puntos de medición (fixes) correspondientes a cada perfil. Posteriormente estos archivos fueron ordenados en hojas de cálculo para proceder a corregir el posicionamiento y el datum horizontal de cada punto, según el diagrama de instalación de equipos en la embarcación.
- d) Corrección por desplazamiento y por marea de los datos: durante la adquisición en las fases B y C la distribución de los equipos instalados en la embarcación fue de manera tal que la antena GPS está dispuesta a una distancia fija del transductor de la ecosonda (Figura 3.12), mientras que en la fase A la antena de GPS se instaló en la misma posición de la ecosonda (Figura 3.13), de manera que en las fases B y C la información de entrada de posicionamiento para la batimetría en el programa de adquisición presenta una diferencia constante de posición que debe corregirse durante la etapa de procesamiento. Por ende, durante la adquisición fue medida y registrada en la libreta de campo la distancia entre la posición de la antena de GPS y la posición del transductor de la ecosonda y esta corrección fue aplicada a cada punto de medición para corregir así las coordenadas.

Dado que la marea es un fenómeno en el que el volumen de las aguas aumenta y disminuye de forma cíclica, los datos adquiridos en distintas horas no conservan la misma referencia, por lo que las profundidades debieron ser corregidas empleando datos de registros de marea adquiridos empleando un mareógrafo acústico instalado en el Puerto de Güiria durante los días de

medición y, adicionalmente, estas mediciones fueron cotejadas con las predicciones de un programa comercial de estimaciones de mareas. El propósito de la aplicación de las correcciones por marea a cada punto de adquisición consiste en referenciar los datos a un datum horizontal común. Los valores de predicción de marea consistieron en una variación de altura por minuto con respecto al nivel medio del mar. Utilizando los valores del día, hora y minuto de cada dato de marea adquirido, se corrigieron las profundidades y refirieron al Nivel Medio del mar (NMM).

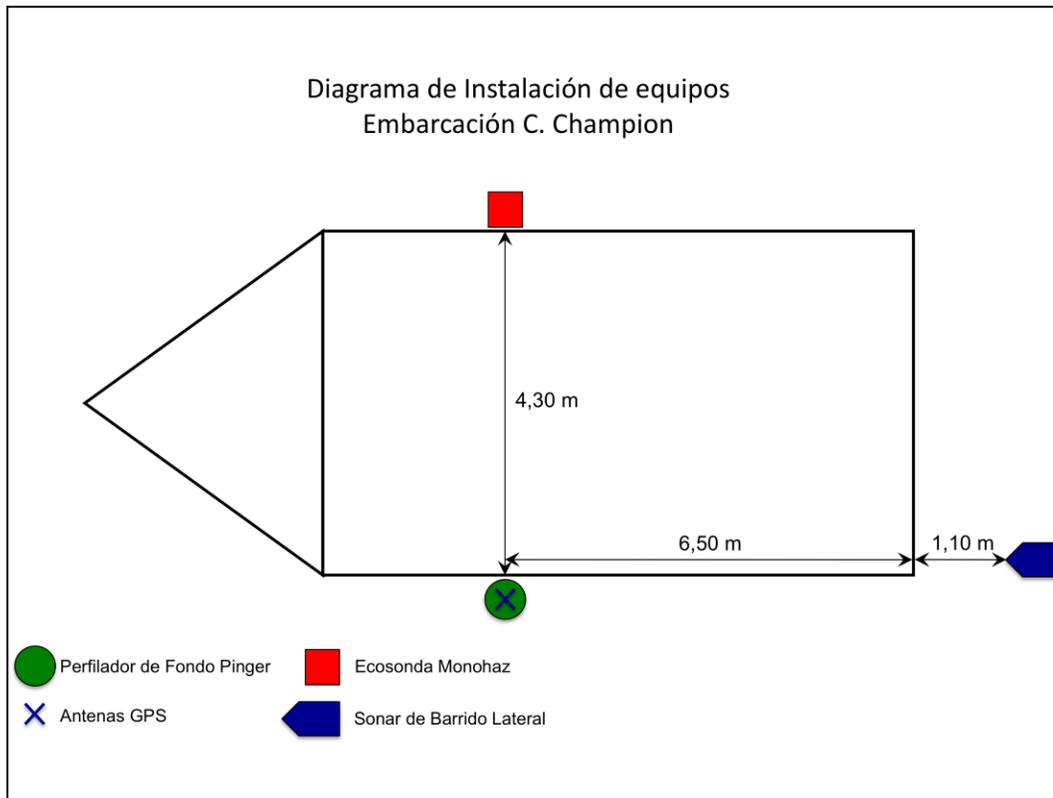


Figura 3.12 Diagrama de distribución de los equipos en la embarcación fases B y C

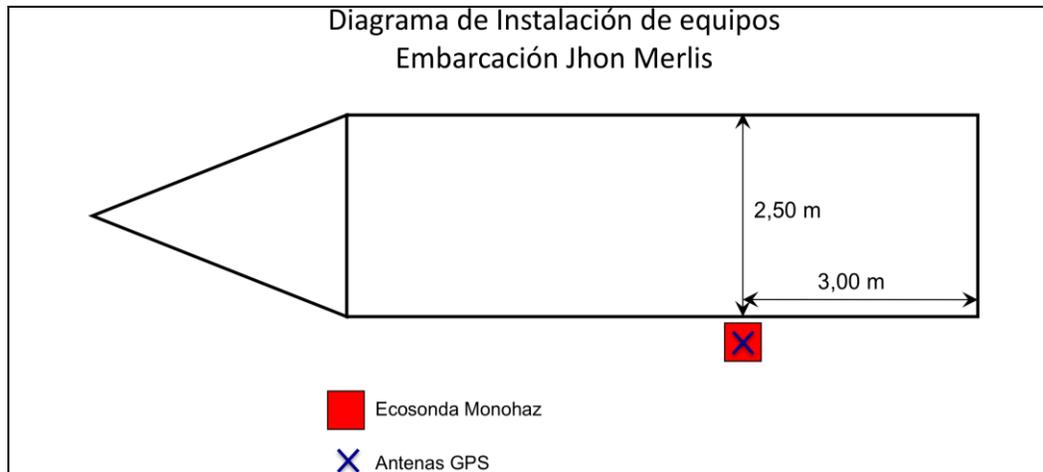


Figura 3.13 Diagrama de distribución de los equipos en la embarcación fase A

Los datos corregidos y referenciados son insertados en un software de visualización de datos y su distribución define las líneas de recorrido de la ecosonda en las fases A, B y C (Apéndice 4.2 y Apéndice 4.2) que fueron utilizadas para calcular la tendencia de la superficie del fondo marino.

e) Cálculo de contornos del fondo marino: Las superficies de batimetría se calcularon utilizando el método de interpolación de vecino natural. Con el fin de correlacionar el área de la batimetría con el área de las superficies del fondo marino, calculadas a partir de los datos sísmicos. Se seleccionaron dos áreas para interpolar los datos batimétricos: un área cubierta por las fases B y C (Figura 3.14) donde se localiza la información sísmica; y un área que cubre las fases A, B y C (Figura 3.15), que suman la totalidad del área de estudio.

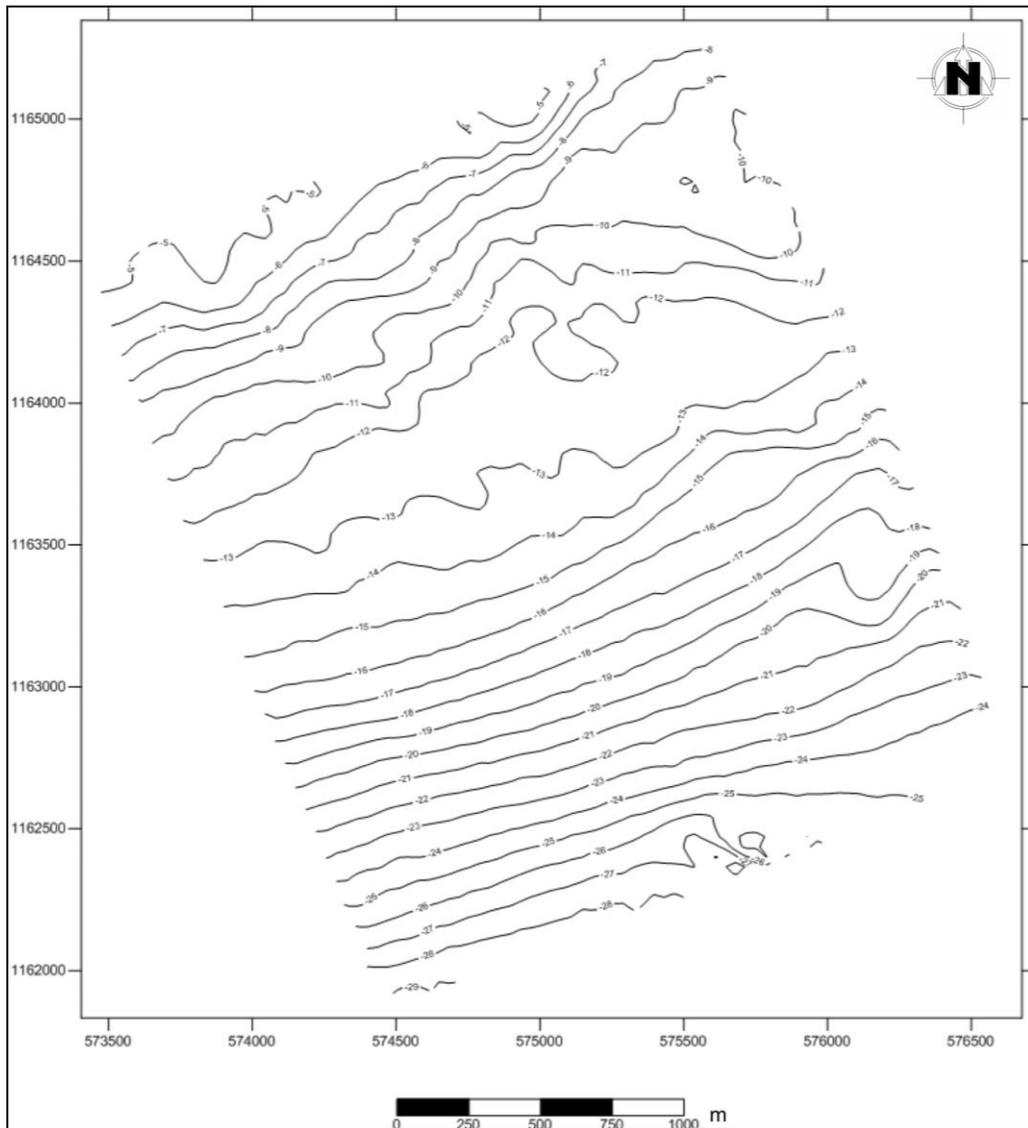


Figura 3.14 Interpolación de los datos batimétricos de las fases B y C con vecino natural

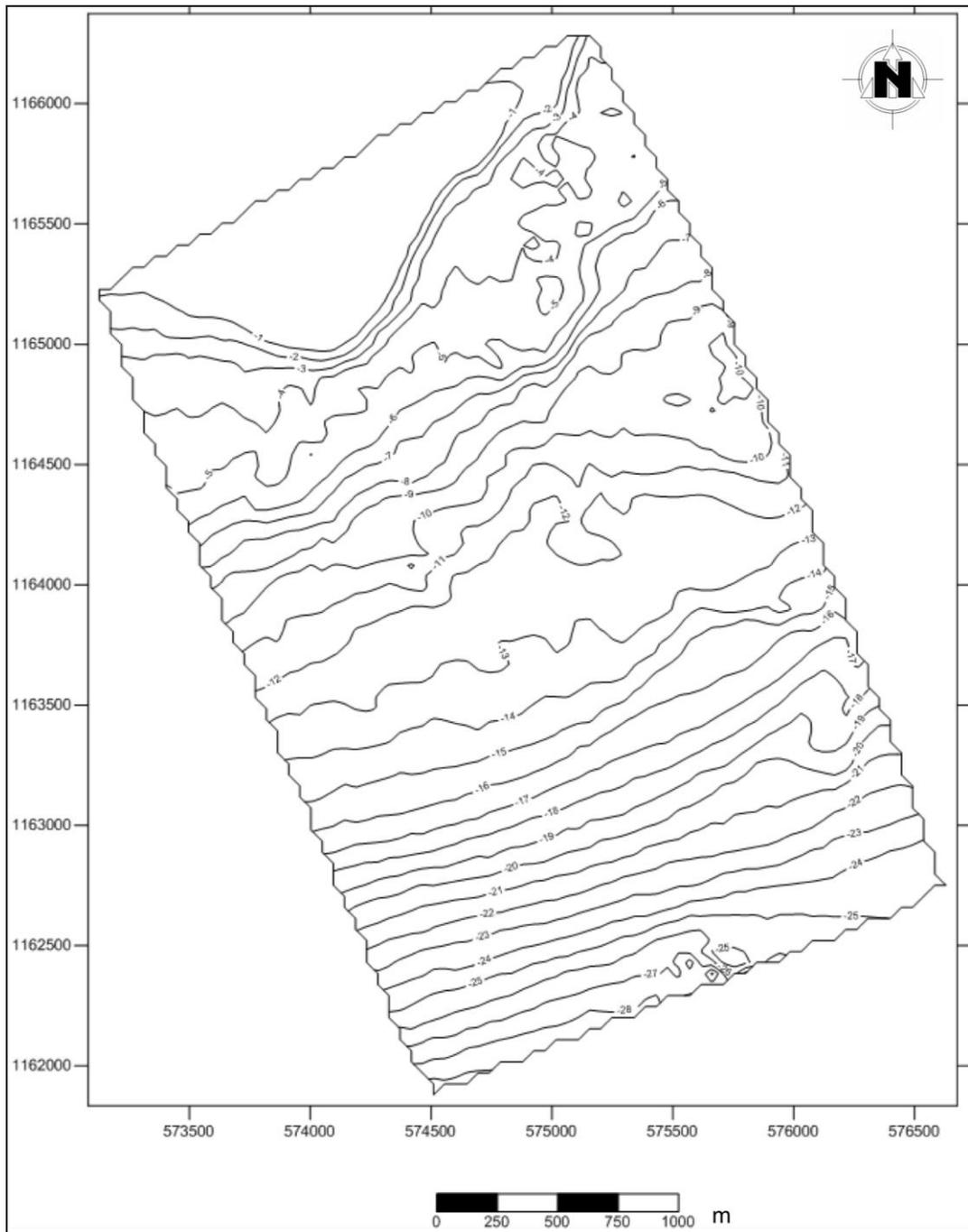


Figura 3.15 Mapa de interpolación de los datos batimétricos de las fases A B y C con el método de interpolación vecino natural

### 3.2.1. Procesamiento e interpretación de datos de perfilador de subfondo tipo Pinger

La adquisición de los datos geofísicos procesados en el marco de esta investigación fue realizada en un período de 4 días, en diciembre de 2008. A continuación se presenta un diagrama de procesamiento de los datos sísmicos del perfilador de subfondo Pinger (Figura 3.16).

#### PROCESAMIENTO DE DATOS DE PERFILADOR DE FONDO TIPO PINGER

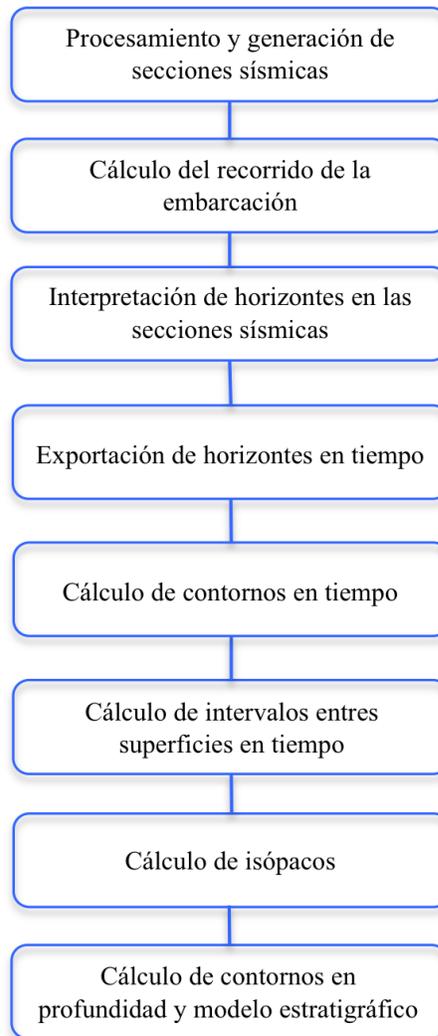


Figura 3.16 Diagrama de procesamiento de datos sísmicos del perfilador de subfondo tipo Pinger

Aunado al procesamiento, está la interpretación de los horizontes que son empleados en varias etapas del mismo. Inicialmente se realizó la selección de los horizontes y, en este caso, el objetivo es determinar un isópaco de sedimentos recientes que está definido por el fondo marino y un reflector que se encuentra varios metros por debajo de éste. Cada etapa del procesamiento se explica a continuación.

- a) Procesamiento y generación de secciones sísmicas: En la fase inicial fueron procesados varios perfiles sísmicos donde se observaron el fondo marino y un reflector que se encuentra por debajo de este; se seleccionaron registros distribuidos de forma uniforme en el área, con el propósito de definir los parámetros de procesamiento para todos los registros disponibles. Para desarrollar la secuencia de procesamiento se despliegan las ventanas de configuraciones y parámetros con cada registro sísmico previamente reproducido en el programa de procesamiento. Para el procesamiento de todos los registros sísmicos se utilizó una corrección de ganancia, un filtro paso bajo de frecuencias y un blanqueo de la columna de agua. Finalmente se exportaron las imágenes de las secciones sísmicas con cambio de tiempo a profundidad. La secuencia de procesamiento se describe a continuación:

Inicialmente se compensa la pérdida de amplitud con el paso del tiempo aplicando una corrección de ganancia en los registros sísmicos. Se ajusta la curva de corrección de ganancia y la barra de nivel en la ventana de Time Varied Gain (Ganancia Variante en Tiempo) para uniformar la amplitud en las trazas. En la Figura 3.17 se ilustra el ajuste de la curva sobre el histograma manipulando los puntos de control (puntos rojos) y el ajuste de la barra de nivel de ganancia lineal (línea anaranjada). La corrección por la curva permite disminuir la amplitud generada por el pulso de transmisión y compensar la ganancia del fondo marino y la superficie de erosión.

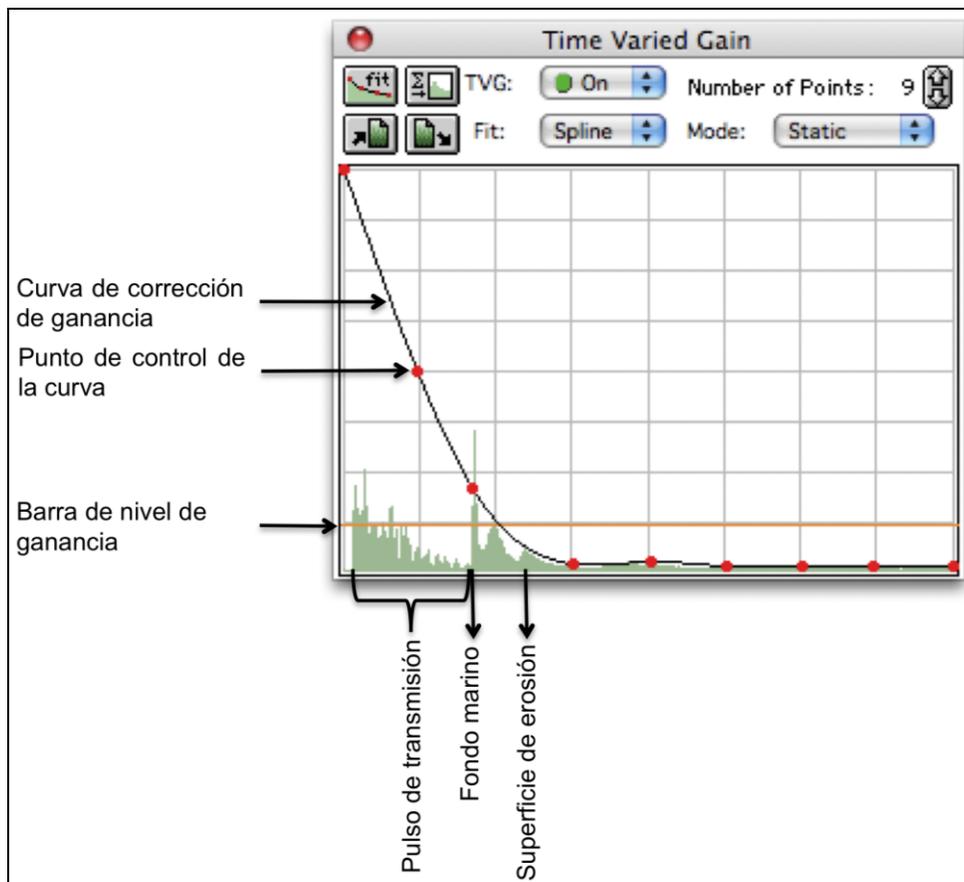


Figura 3.17 Corrección por ganancia

Con el fin de disminuir el efecto del pulso de transmisión y del ruido asociado a la adquisición de datos, se define un filtro de frecuencias para aplicarlo sobre cada uno de los registros. El filtro pasa bajo se determina utilizando la frecuencia dominante como valor máximo para definir el filtro. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 3.18, donde se observó la frecuencia dominante en aproximadamente 4443 Hz y se empleó el valor para filtrar el registro sísmico configurando el filtro digital.

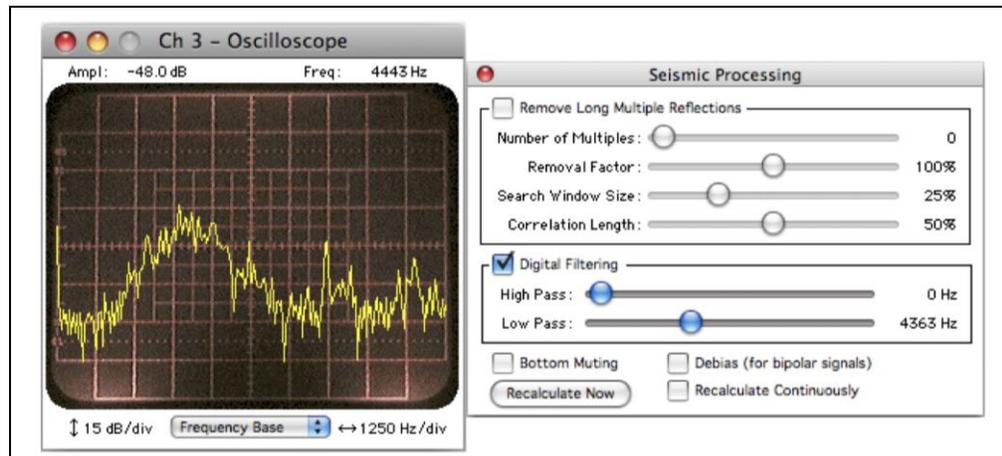


Figura 3.18 Selección de la frecuencia dominante y aplicación del filtro digital

Finalmente, durante el procesamiento de las secciones sísmicas se aplica un blanqueo de la columna de agua con el fin de no presentar el ruido generado por el pulso de transmisión, la presencia de bancos de peces y material en suspensión.

En un fragmento del registro sísmico de la línea 049 se muestra a continuación la secuencia de procesamiento definida anteriormente. En la Figura 3.19 los datos sin procesar contienen ruido del pulso de transmisión y una pérdida de amplitud en los reflectores de interés.

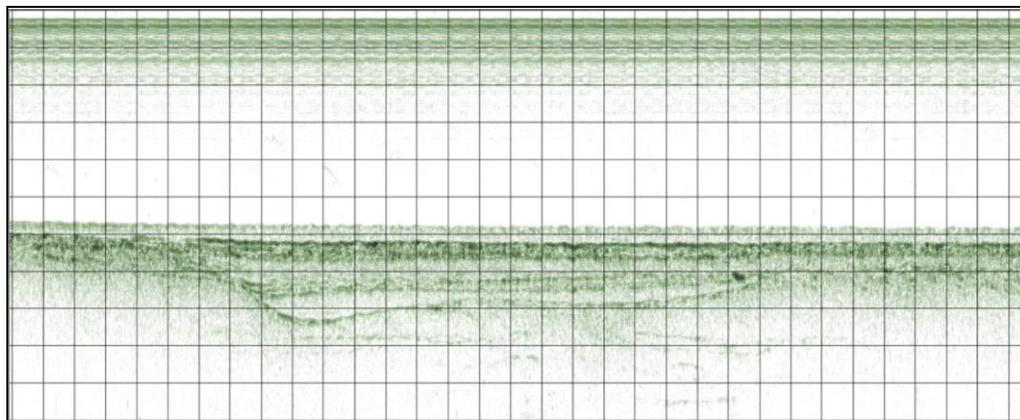


Figura 3.19 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 sin procesar

La definición de los reflectores fue acentuada aplicando la corrección por pérdida de ganancia o ajuste de TVG, permitiendo un mayor seguimiento de los horizontes en la sección sísmica (Figura 3.20).

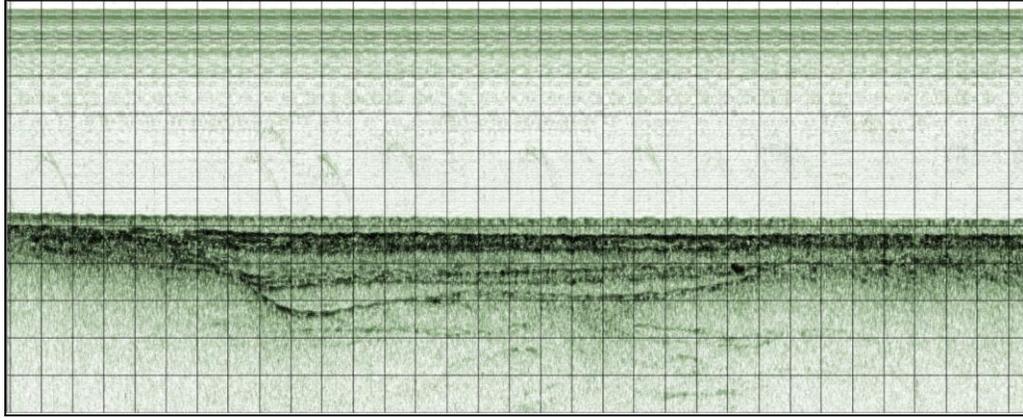


Figura 3.20 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con corrección por ganancia

Se eliminó el ruido generado por las altas frecuencias usando el filtro pasa bajo de 4443 kHz (Figura 3.21).

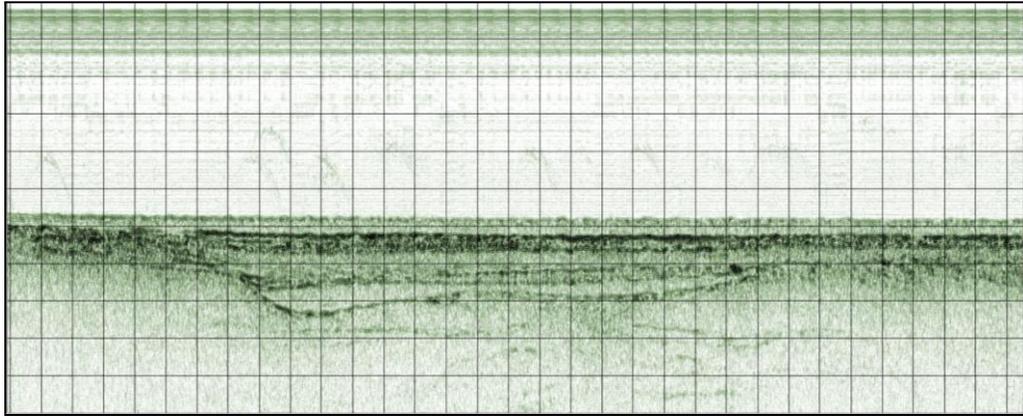


Figura 3.21 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con aplicación de filtro de frecuencias

Por último se blanqueó el área por encima del fondo marino eliminando la columna de agua (Figura 3.22).

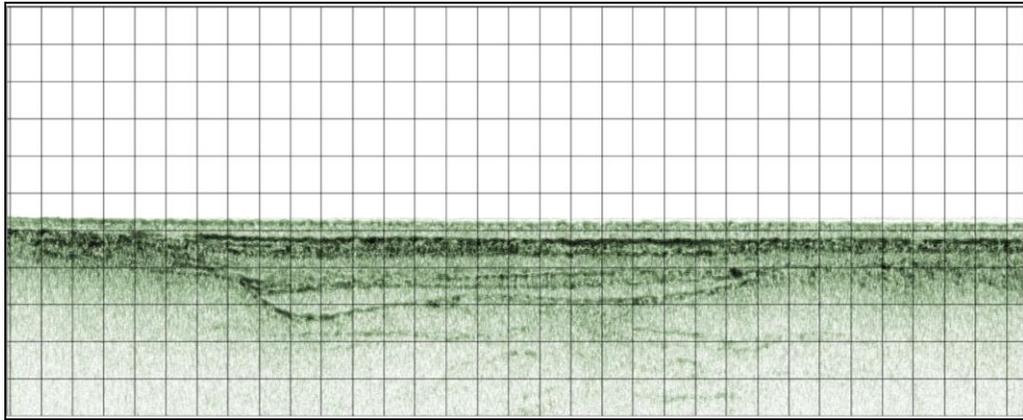


Figura 3.22 Fragmento del registro sísmico de la línea 049 con blanqueo de la columna de agua

Después de realizar la secuencia de procesamiento se exportan las imágenes de las secciones sísmicas, para luego proceder a interpretar los horizontes. En el programa de procesamiento se realiza el cambio de tiempo a profundidad utilizando la velocidad de propagación de la onda en el agua (1519 m/s) medida durante los días de adquisición.

- b) Cálculo de recorrido del perfilador de subfondo tipo Pinger: Se grafica la trayectoria del perfilador del subfondo tipo Pinger a partir de la información de posicionamiento proveniente de la antena GPS. Para esto fueron insertados, en un programa de diseño, los datos de posicionamiento y hora de adquisición de cada “*fix*” (punto de medición separado a una distancia o tiempo fijo, en este caso cada 10 m), de forma tal que los puntos en forma consecutiva construyen el recorrido del levantamiento de las líneas de adquisición sísmica. La Figura 3.23 muestra una sección del recorrido donde se observan los puntos fijos (fixes), identificados con la hora a la que fueron adquiridos, sobre cada línea de recorrido y las intersecciones entre estas. En la figura se observa la línea 048 interceptando las otras líneas de recorrido de forma aproximadamente perpendicular.

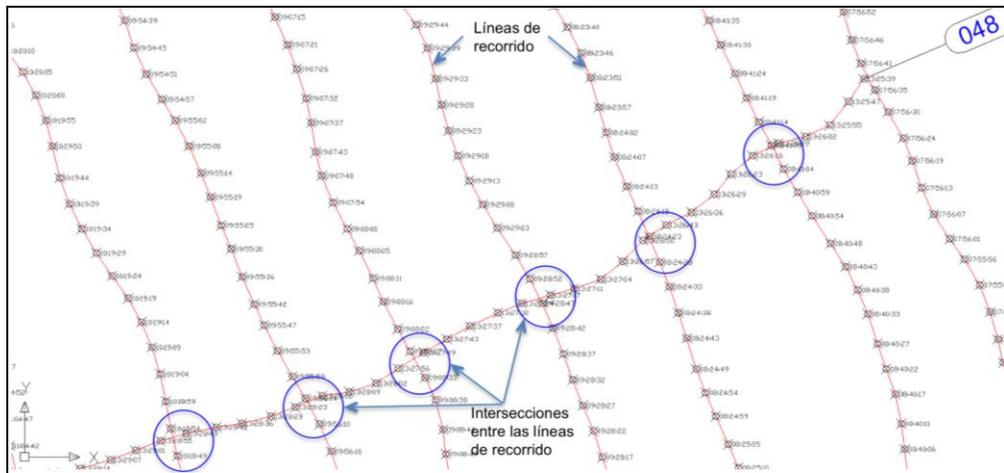


Figura 3.23 Sección del recorrido de perfilador de subfondo tipo Pinger

- c) Interpretación de horizontes en los perfiles sísmicos: observando con detenimiento la mayoría de los perfiles sísmicos, se observan dos horizontes de interés, los cuales fueron seleccionados para ser interpretados. Estos horizontes son el fondo marino y una superficie de erosión que define la base de los sedimentos recientemente depositados.

Las secciones sísmicas fueron interpretadas en un programa de diseño (AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009®) desplegando, en una sola ventana, varias secciones sísmicas para facilitar así la correlación entre ellas y el seguimiento de los horizontes.

Utilizando como referencia las profundidades a la que se encuentran los reflectores y las intersecciones de recorrido entre cada línea de adquisición se interpretaron los horizontes que definen al fondo marino y a la superficie de erosión para cada una de las secciones sísmicas.

En la sección sísmica 040 se observa la profundidad de la superficie de erosión a 7 m por debajo del fondo marino en la intersección con la sección sísmica 047 (Figura 3.24). Del mismo modo en la sección sísmica 047 en la

intersección con la 040 se observa la superficie de erosión por debajo del fondo marino a 7 m de profundidad (Figura 3.25).

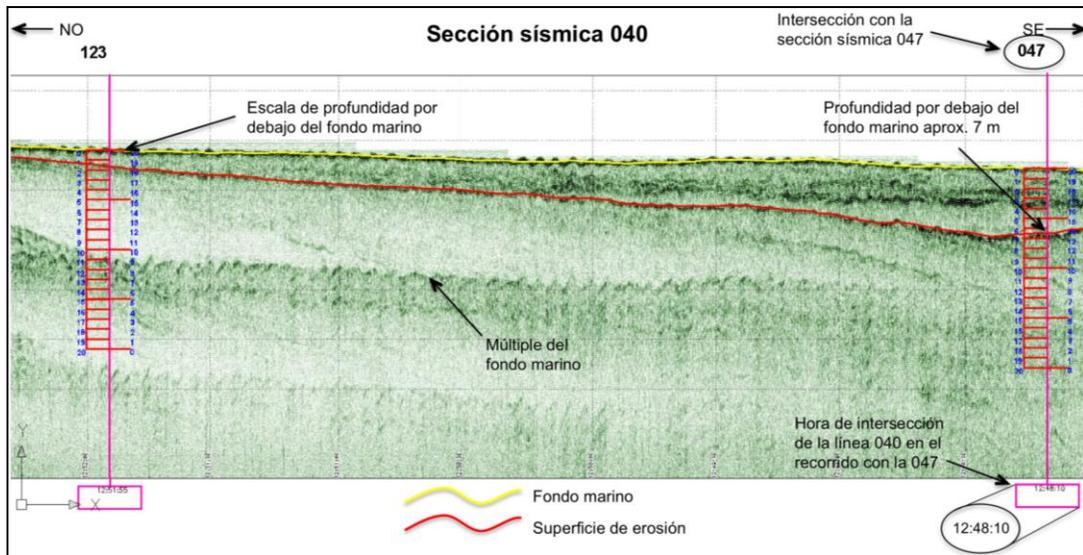


Figura 3.24 Fragmento de la sección sísmica 040 interpretada

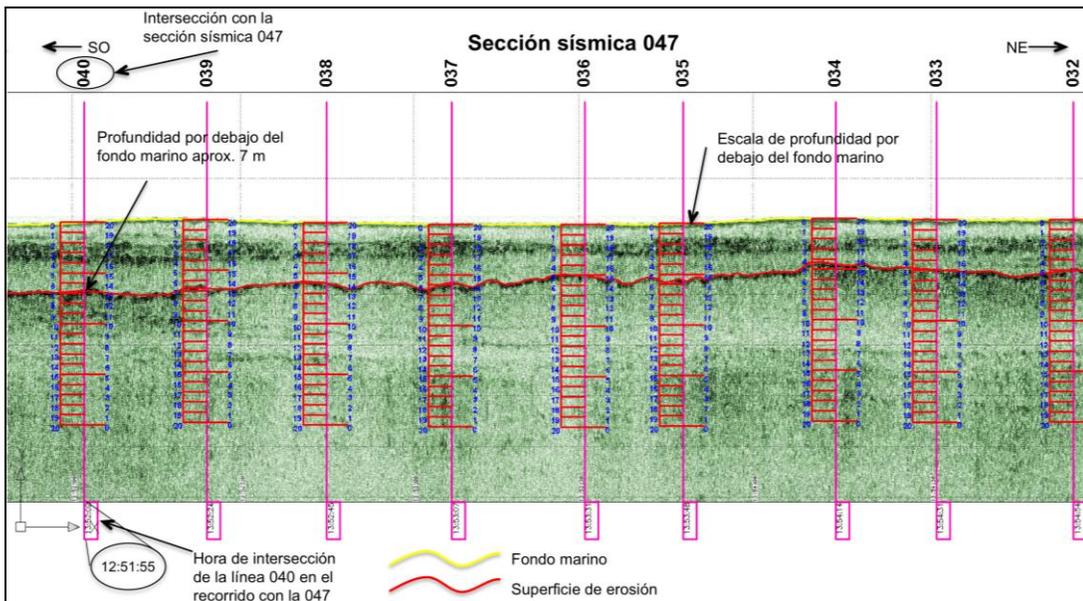


Figura 3.25 Fragmento de la sección sísmica 047 interpretada

El fondo marino y la superficie de erosión fueron interpretados en todas las secciones sísmicas correlacionando las profundidades y las intersecciones de las líneas de recorrido, como se ilustra en las figuras anteriores.

- d) Exportación de horizontes en tiempo: una vez interpretados los reflectores en las imágenes, es necesario volver al software de procesamiento para exportarlos en tiempo doble de viaje, expresado en milisegundos (ms).

Sobre cada reflector del fondo marino y la superficie de erosión se definieron puntos (fixes) a partir de las interpretaciones generadas con las imágenes de cada sección sísmica, definidas en la etapa de procesamiento. Luego se crearon archivos con formato *log* (formato común de registro) contentivos de la información de tiempo de viaje proveniente de los puntos de cada uno de los reflectores por cada sección sísmica. Cada archivo contiene la fecha, hora, coordenadas y tiempo doble de viaje de las ondas en ms.

Estos archivos son convertidos a formato *txt* (formato de texto) y ordenados de forma tal que la información de todos los reflectores exportados pertenecientes a cada uno de los dos horizontes (fondo marino y superficie de erosión) puedan ser agrupados en una hoja de cálculo.

- e) Cálculo de contornos en tiempo: empleando un programa de construcción de modelos se calculan las superficies correspondientes al fondo marino y la superficie de erosión a partir de los datos de posición (coordenadas este y norte) y tiempo doble de viaje. La distribución de los datos se muestra en el Apéndice 4.4 y Apéndice 4.5.

Diferentes modelos del fondo marino y la superficie de erosión fueron generados a partir de la distribución de los datos empleando diversos métodos de interpolación (Apéndice 4.6 y Apéndice 4.7).

Después de haber realizado varias pruebas y comparaciones entre los resultados obtenidos en cada método de interpolación se empleó finalmente el método de vecino natural, debido a que la distribución de los datos favorece al

método y éste no extrapola fuera del área de interés, de forma que se aplicó para generar los contornos finales en tiempo doble de viaje del fondo marino (Figura 3.26) y la superficie de erosión (Figura 3.27) a partir de los datos de tiempo doble de viaje.

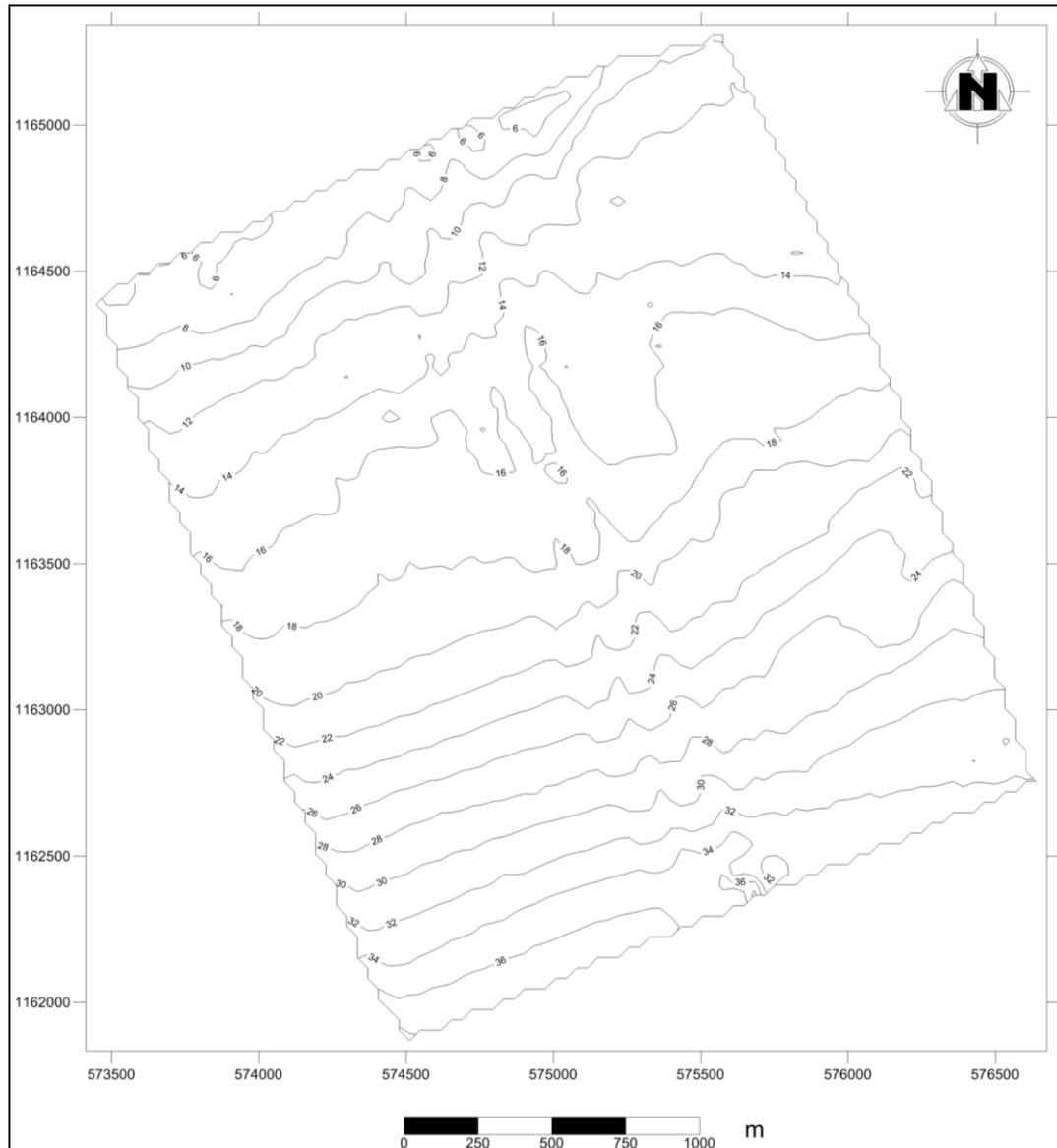


Figura 3.26 Interpolación del fondo marino con Vecino Natural. Contornos en tiempo doble de viaje (ms)

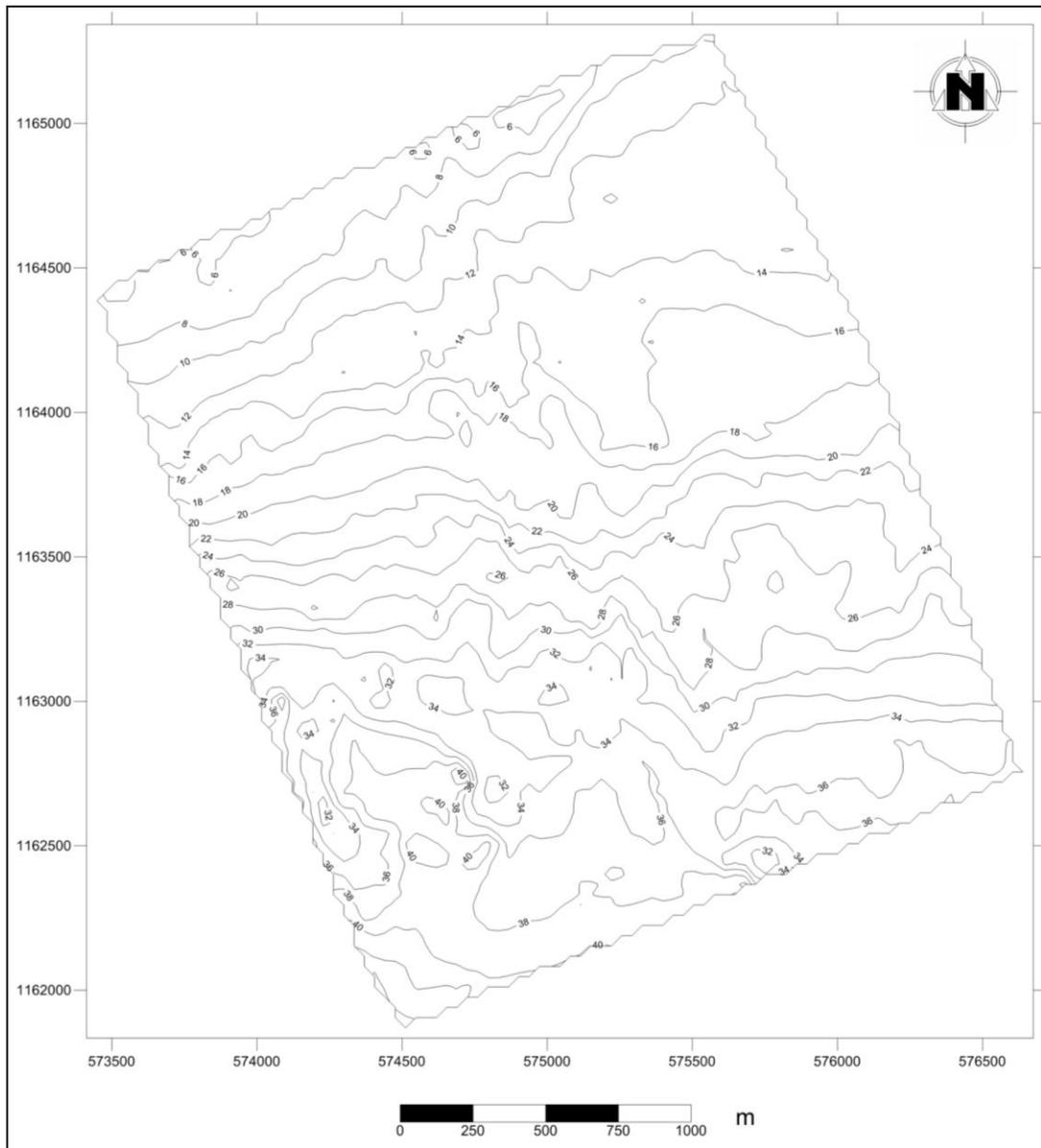


Figura 3.27 Interpolación en tiempo doble de viaje de la superficie de erosión con Vecino Natural

- f) Cálculo de intervalos entre superficies en tiempo: se calcularon las diferencias de tiempo doble de viaje entre el fondo marino y la superficie de erosión a partir de los modelos generados en la etapa anterior. La Figura 3.28 muestra el mapa de intervalo de tiempo resultante.

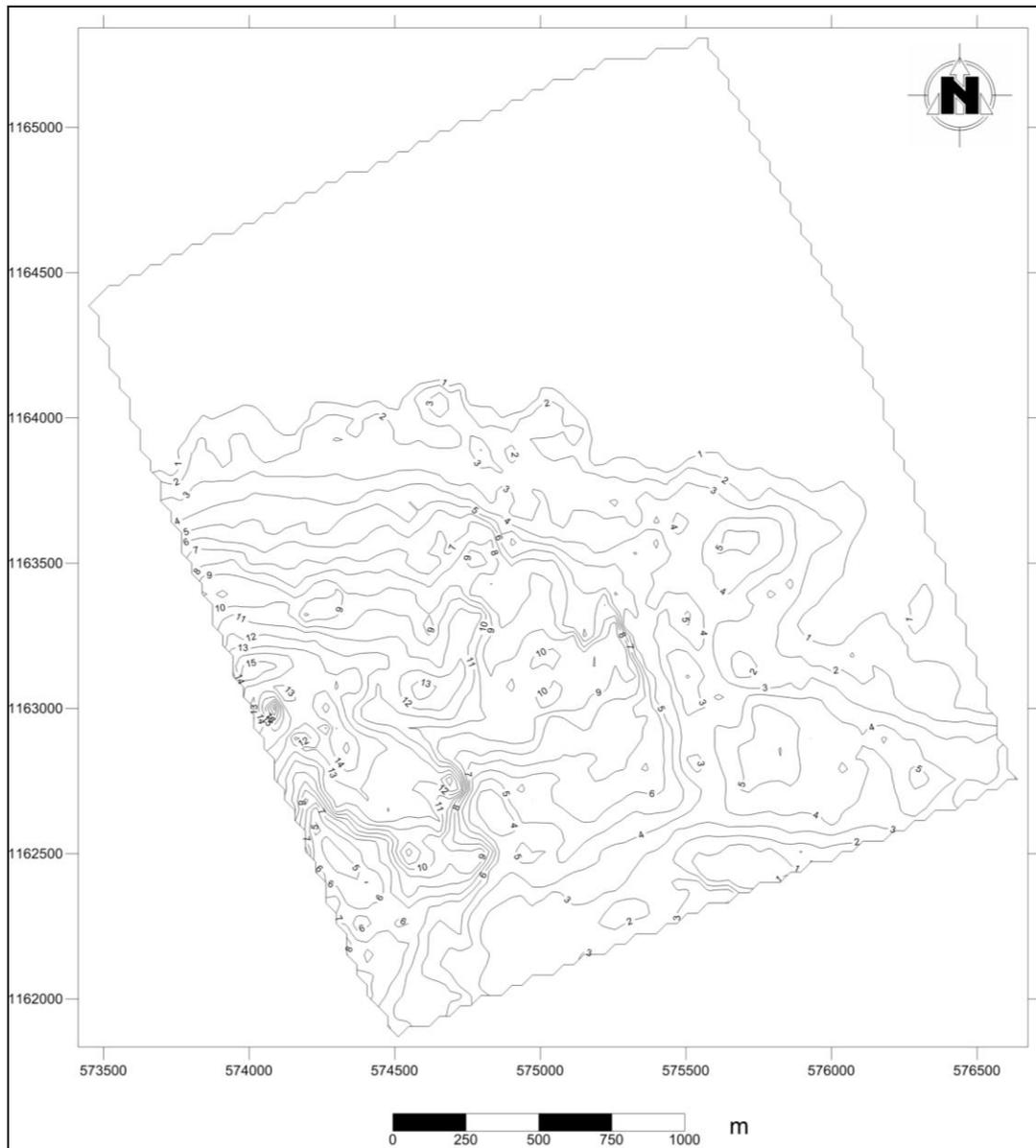


Figura 3.28 Mapa de intervalo de tiempo entre el fondo marino y la superficie de erosión

g) Cálculo de isópacos: se calculan los espesores entre el fondo marino y la superficie de erosión utilizando diferentes velocidades para su modelado.

Estimando valores de velocidades alrededor de 1519 m/s usado para modelar la batimetría (velocidad de propagación del sonido en el agua, obtenida en campo a través del método de calibración con plancha), se

calculan varios modelos de mapas isópacos a partir de los mapas de intervalos de tiempo entre las superficies y diversas velocidades (Apéndice 4.9, Apéndice 4.10 y Apéndice 4.11).

Finalmente, considerando que el efecto generado sobre los mapas por la variación de las velocidades en el rango seleccionado se encuentra por debajo de la resolución observada en los registros, se decidió emplear la velocidad obtenida mediante el método de calibración con plancha (1519 m/s) para generar el mapa final (Figura 3.29).

- h) Cálculo de contornos en profundidad y modelo estratigráfico: se calcula la superficie de erosión en profundidad (Figura 3.30) restando la batimetría generada en las fases B y C, menos el isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión, resultando el mapa de la superficie de erosión referido al nivel medio del mar. Posteriormente, se procede a construir un modelo estratigráfico de tres capas, adicionando a la superficie de erosión en profundidad la superficie del fondo marino y la superficie de agua.

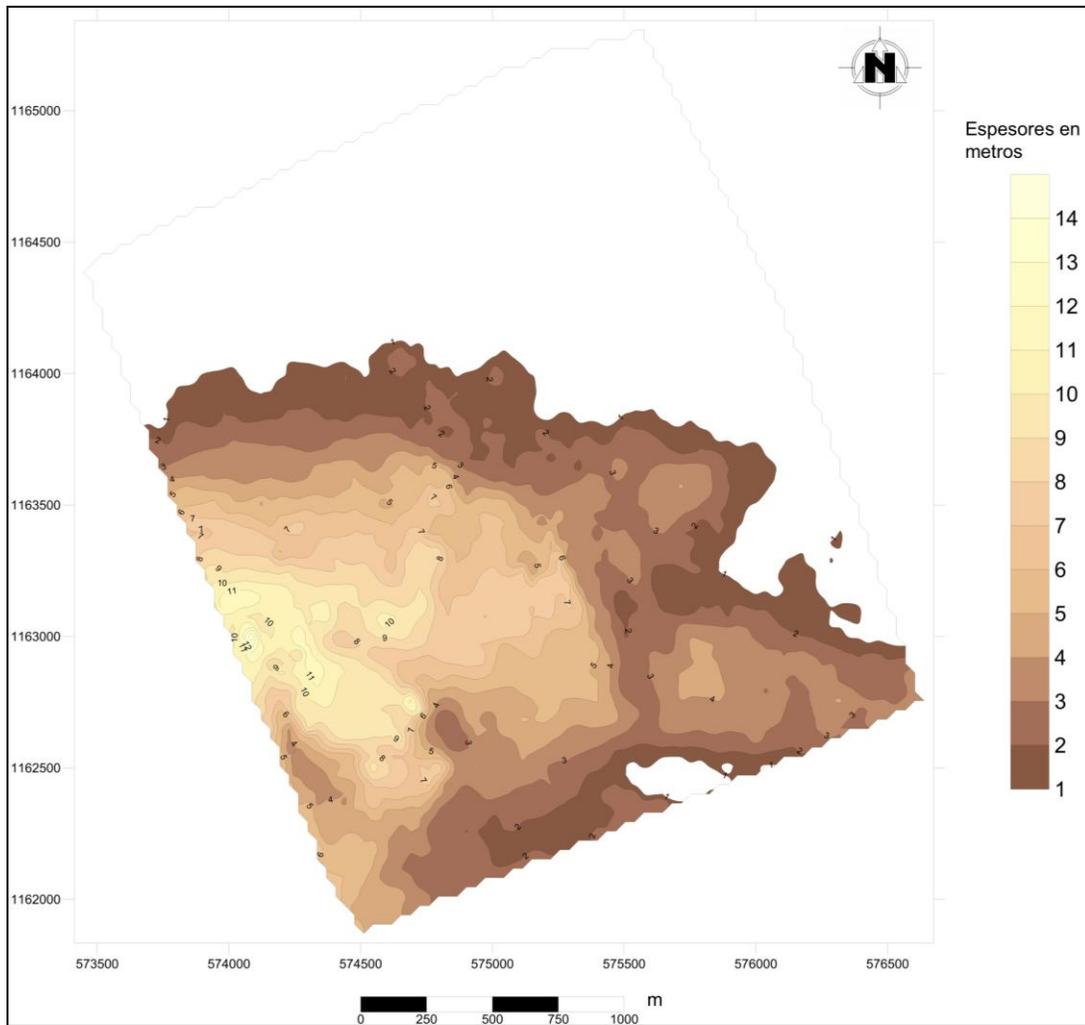


Figura 3.29 Mapa isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión generado a partir de la velocidad promedio de 1519 m/s

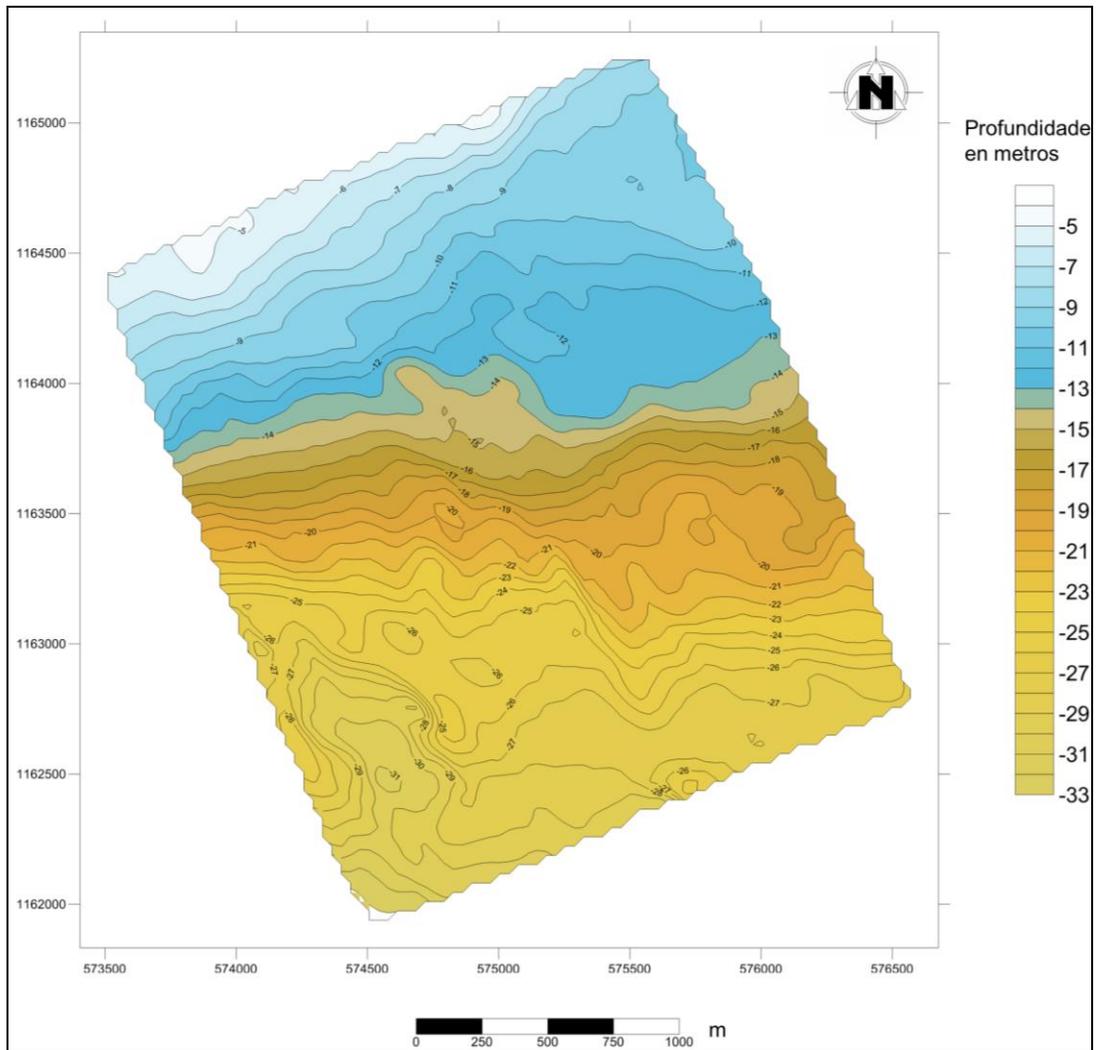


Figura 3.30 Mapa estructural de la superficie de erosión referido al nivel medio del mar

Se modela un estrato utilizando como tope el mapa estructural de la superficie de erosión y un plano horizontal de -34 metros referido al nivel medio del mar (Figura 3.31). Luego se modela un espesor de sedimentos recientes limitado en la base por la superficie de erosión y en el tope por la batimetría de las fases B y C (Figura 3.32). Finalmente, se crea un plano horizontal de cota cero para construir la superficie del agua y utilizando la batimetría de las fases B y C se modela la columna de agua en el área (Figura 3.33).

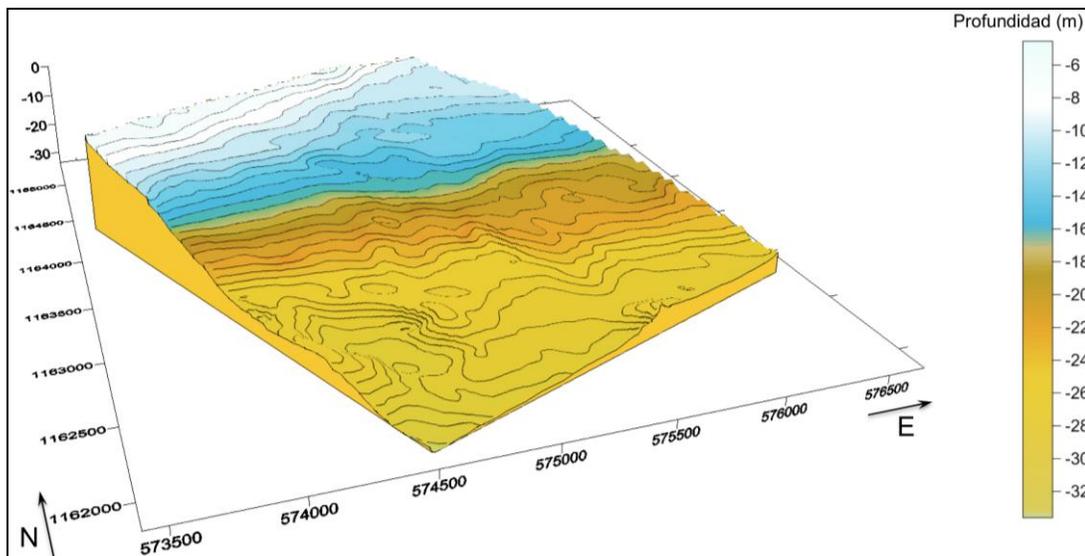


Figura 3.31 Modelo estratigráfico 3D de la superficie de erosión

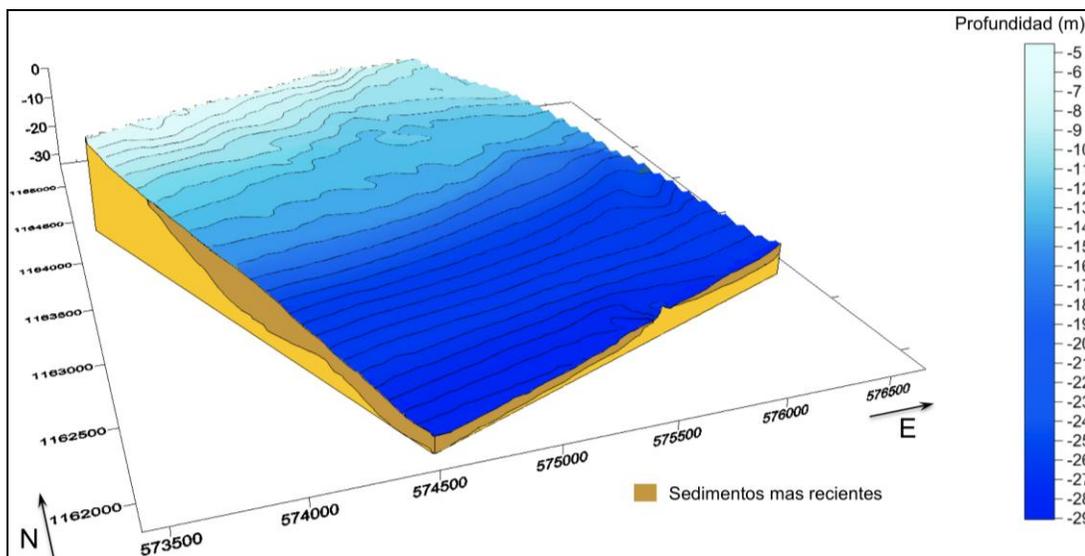


Figura 3.32 Modelo estratigráfico 3D del fondo marino y el espesor de sedimentos recientes

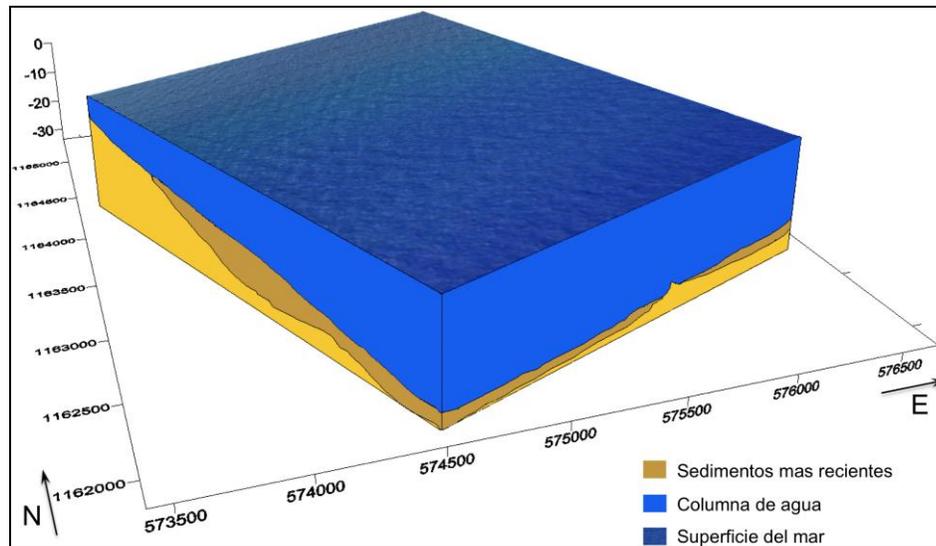


Figura 3.33 Modelo estratigráfico 3D de la superficie del mar y la columna de agua

### 3.3. Estudio geotécnico

Empleando un muestreador de fondo tipo dardo gravitacional se realizaron nueve (9) tomas de muestras en las fases B y C del área en estudio. En el proyecto la empresa Ingeniería de Consultas INCOSTAS S.A. contrató un servicio para analizar las muestras en un laboratorio con la finalidad de obtener información sobre las propiedades físicas de los suelos presentes en el área. Para los ensayos geotécnicos se siguieron las especificaciones de la ASTM (American Society for Testing and Materials) que se mencionan a continuación: Clasificación Visual (ASTM D-2487), Granulometría por Tamizado (ASTM D-442), Granulometría e Hidrómetro (ASTM D-1140-92), Límites de consistencia (Líquido y Plástico) (ASTM D-4318-95a), Peso específico (ASTM D-854).

Los resultados de los ensayos geotécnicos aplicados a las muestras y la ubicación de las mismas con respecto a las líneas de recorrido del perfilador de subfondo tipo Pinger se sintetizan en la Figura 3.34.

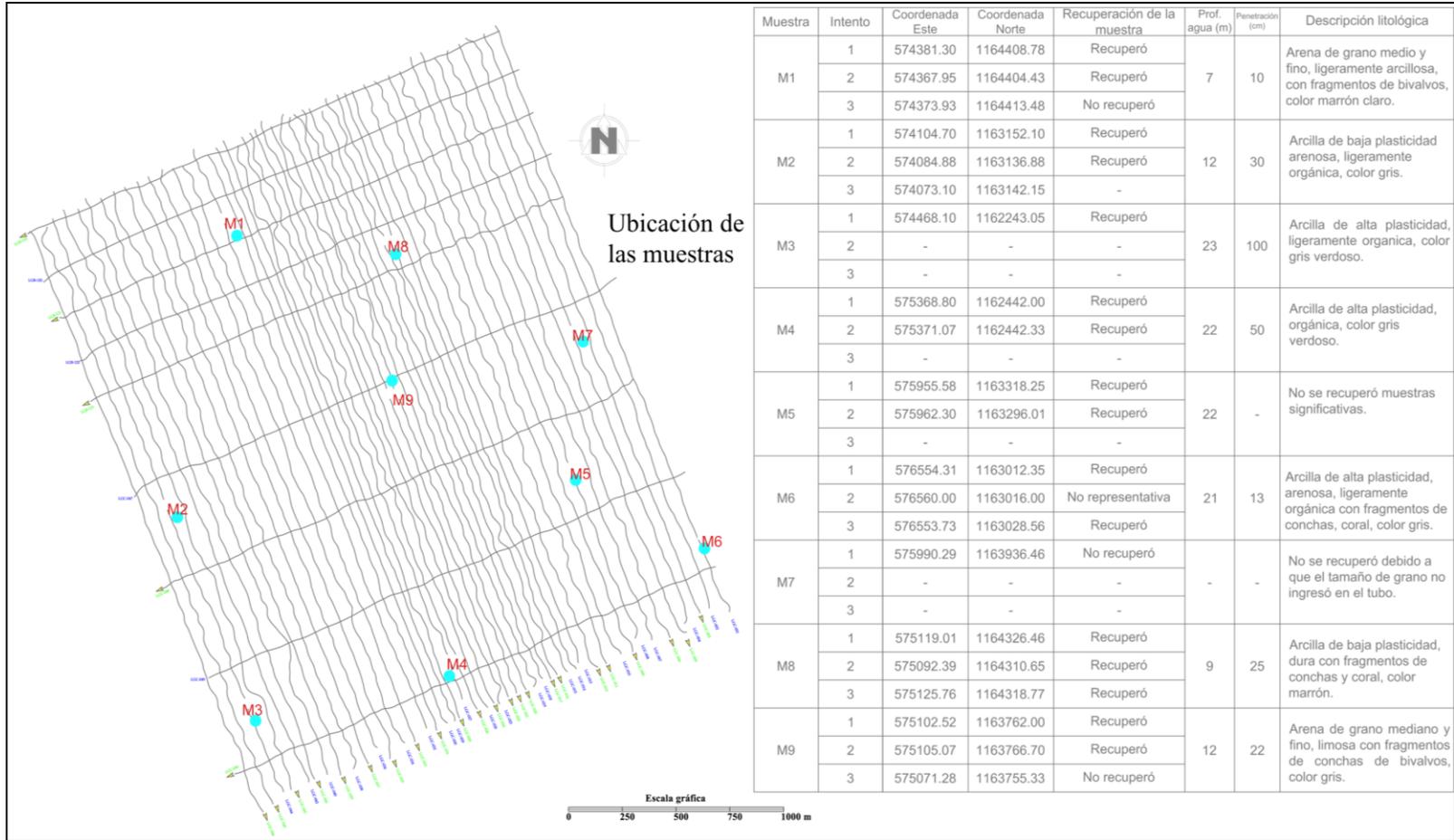


Figura 3.34 Resultados de los ensayos geotécnicos y la ubicación de las muestras

# CAPÍTULO IV

## **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados, análisis y correlaciones entre los estos provenientes de cada tipo de dato. Primero fue generado un mapa de batimetría monohaz, seguido del mapa isópaco de los sedimentos recientes a partir de los datos del perfilador de subfondo tipo Pinger y, finalmente, se elaboró el mapa estructural de la superficie de erosión calculado con base en los dos primeros resultados.

Posteriormente, basado en los resultados del estudio geotécnico, se describe la correlación con el mosaico del fondo marino, construido con el sonar de barrido lateral y con las secciones sísmicas del perfilador de subfondo tipo Pinger, para finalmente presentar el modelo estratigráfico.

### **4.1. Batimetría de las fases A, B y C generada partir del procesamiento de los datos adquiridos con ecosonda monohaz**

Las curvas de nivel del fondo marino en el mapa de batimetría en las fases A, B y C (Figura 4.1) se presentan en intervalos de un metro y tienen una orientación principal de OSO-ENE; estas exhiben una variación de las profundidades en dirección NNO-SSE en forma descendiente entre 0 y -30 m. La pendiente regional en dicha dirección exhibe una relación de 1V:100H. Al sureste del área se observa un mínimo relativo de -25 metros (circunferencia marrón en la Figura 4.1) el cual se asocia a una elevación local sobre el fondo marino.

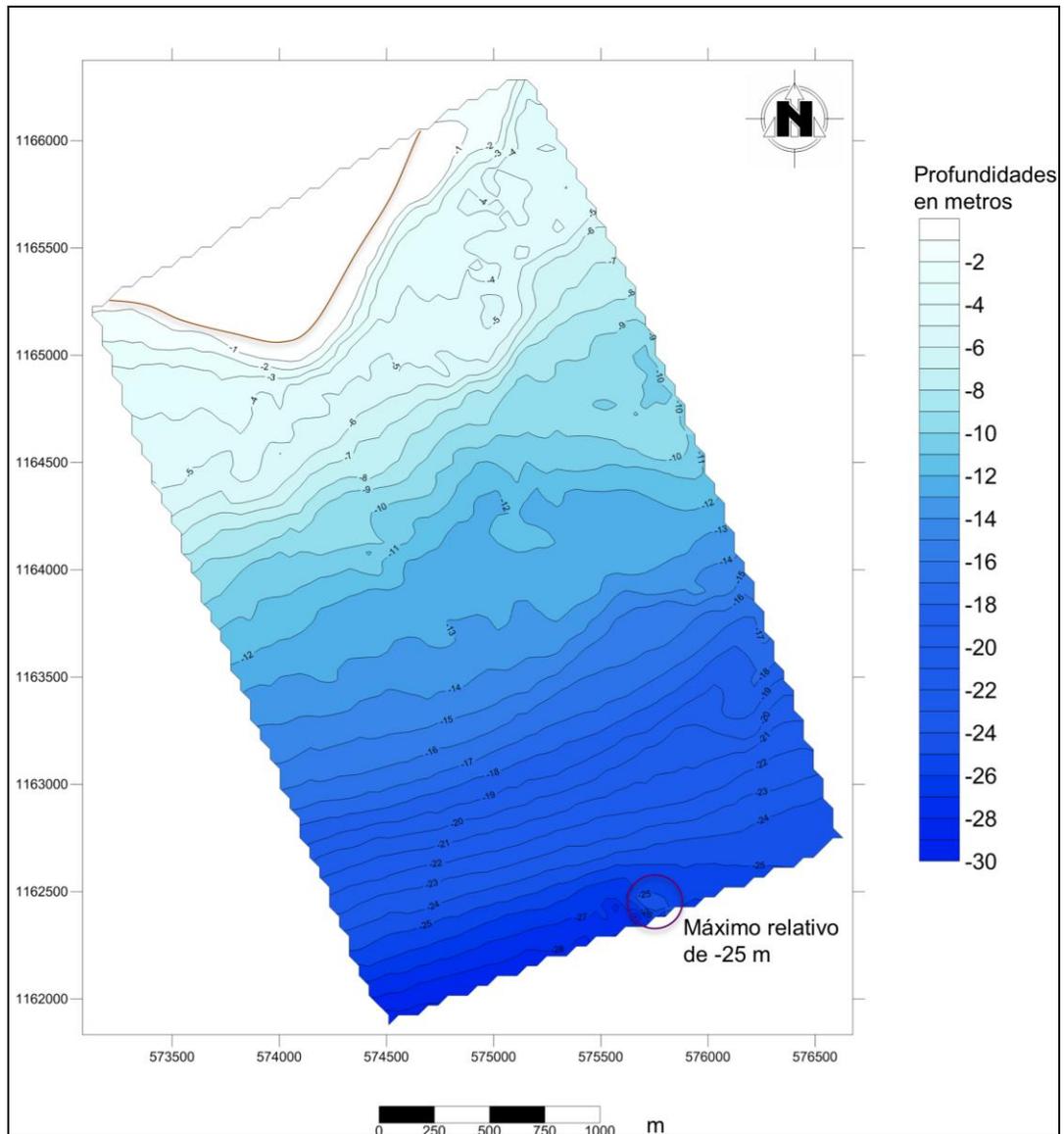


Figura 4.1 Batimetría con ecosonda monohaz en las fases A, B y C

#### 4.2. Secciones sísmicas del perfilador de subfondo tipo Pinger

Las secciones sísmicas del perfilador de subfondo en este estudio tienen un alcance de la señal de hasta 15 metros por debajo del fondo marino, teniendo como principal limitación la aparición del múltiple que interfiere de forma más significativa en las zonas de aguas menos profundas.

La reflectividad observada en las secciones sísmicas es el resultado de la respuesta acústica de los sedimentos, la cual está relacionada con su densidad. Se interpretaron los reflectores tomando en cuenta que las zonas más oscuras están asociadas a mayor reflectividad y las zonas más claras a menor reflectividad. En un fragmento de la sección sísmica 042 (Figura 4.2) el reflector del fondo marino tiene menor reflectividad que el reflector de la superficie más antigua detectada por el instrumento.

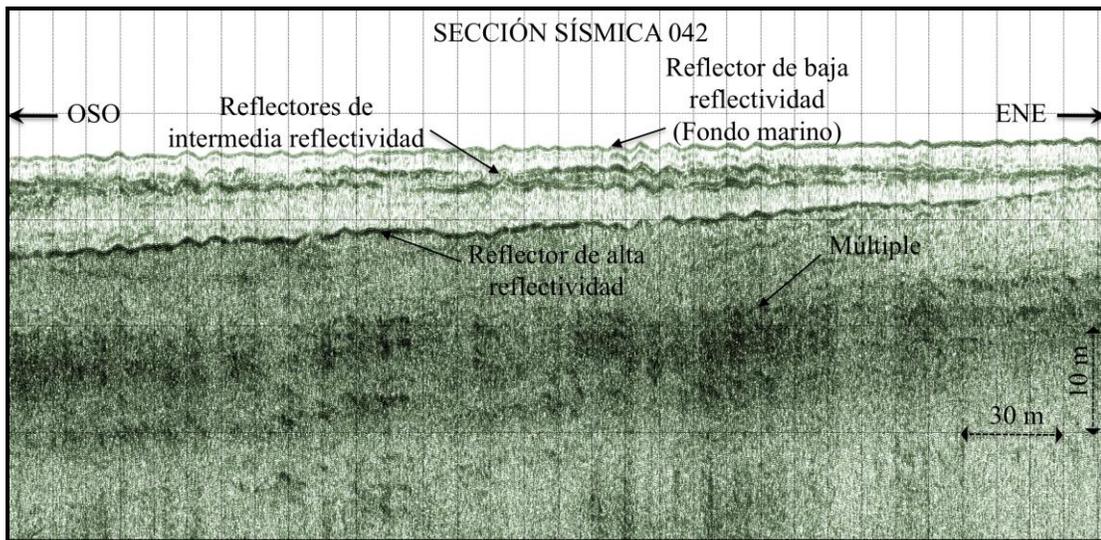


Figura 4.2 Interpretación de la sección sísmica del perfilador de subfondo Pinger 042

Se interpretó un horizonte que señala el límite de cambio de densidad de los sedimentos de menor a mayor reflectividad. Este horizonte, denominado superficie de erosión, tiene un comportamiento continuo en toda el área en estudio como se observa en un fragmento de la sección sísmica 049 (Figura 4.3).

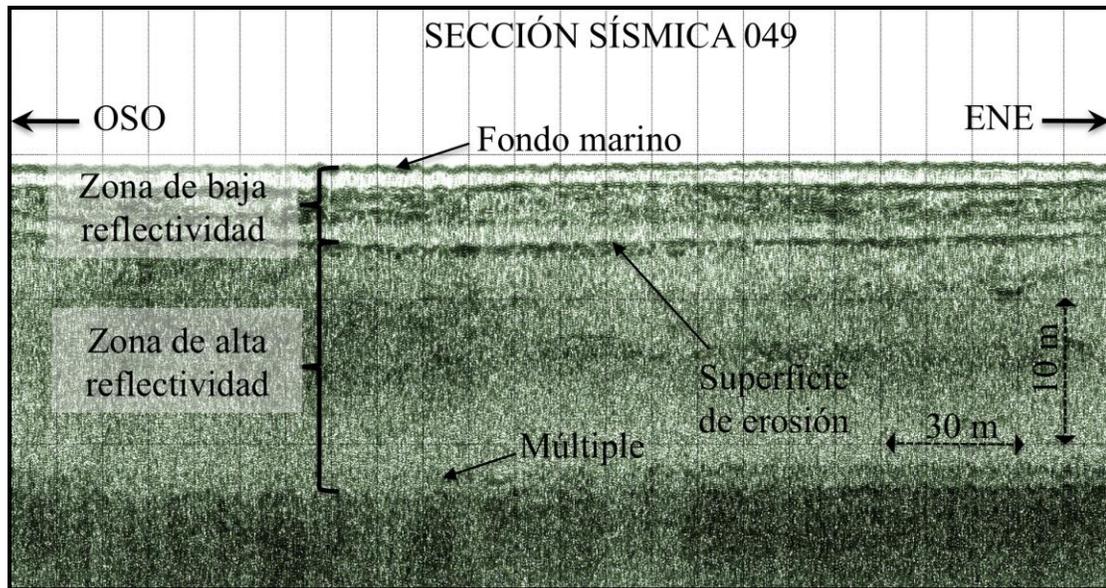


Figura 4.3 Interpretación de la sección sísmica del perfilador de subfondo Pinger 049

En las secciones sísmicas del perfilador de subfondo Pinger se interpretó una capa de sedimentos de baja reflectividad posiblemente blandos, recientemente depositados, limitados al tope por el primer reflector que corresponde al fondo marino, y limitado a la base por un reflector marcador de cambio de densidad interpretado como una superficie de erosión. Un ejemplo de interpretaciones en las secciones sísmicas del perfilador está en la Figura 4.4 donde se observan ambos reflectores que limitan una capa de sedimentos recientes y en donde la presencia del múltiple permite observar claramente los eventos hasta una profundidad de aproximadamente 12 m.

A pesar de la presencia del múltiple, en las secciones sísmicas del perfilador de subfondo no se interpretaron posibles acumulaciones gas, evidencia de fallamiento o diapirismo, hasta aproximadamente 30 m de profundidad por debajo del fondo marino.

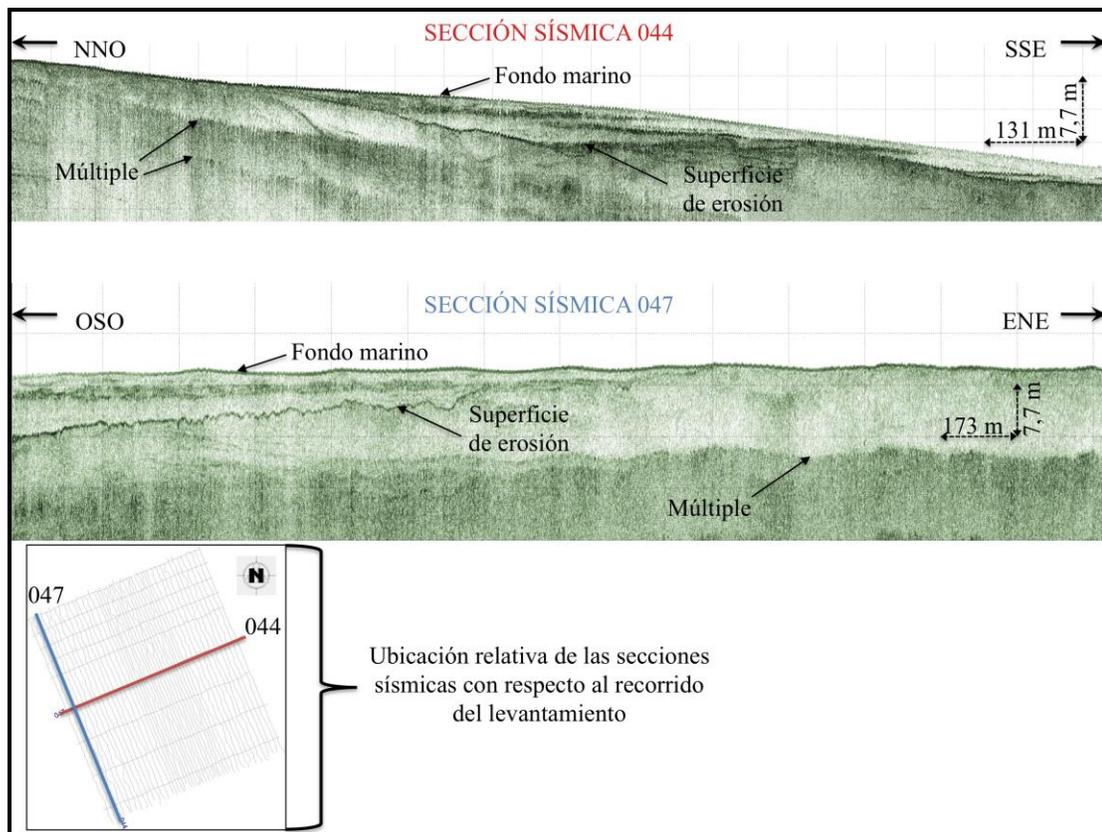


Figura 4.4 Interpretaciones de las secciones sísmicas 044 y 047

### 4.3. Mapa isópaco de sedimentos recientes generado a partir del procesamiento de los datos adquiridos con perfilador de subfondo tipo Pinger

En el mapa isópaco entre la superficie de erosión y el fondo marino en las fases A, B y C (Figura 4.5) las curvas de nivel se presentan en intervalos de un metro con orientación preferencial NO-SE y exhiben una variación entre 1 y 14 m encontrándose los mayores espesores en la región centro-oeste del área, la pendiente aproximada es 2V:100H. En el mapa se observan tres (3) máximos relativos: dos de ellos de 9 m y uno de 14 m, identificadas en la figura con circunferencias, lo que evidencia una tendencia de crecimiento del espesor de sedimentos hacia el centro de la zona oeste del área en estudio. Por otra parte el mapa isópaco delimita

aproximadamente el área de afloramiento de la superficie de erosión a partir de las curvas de nivel menores que 1 m.

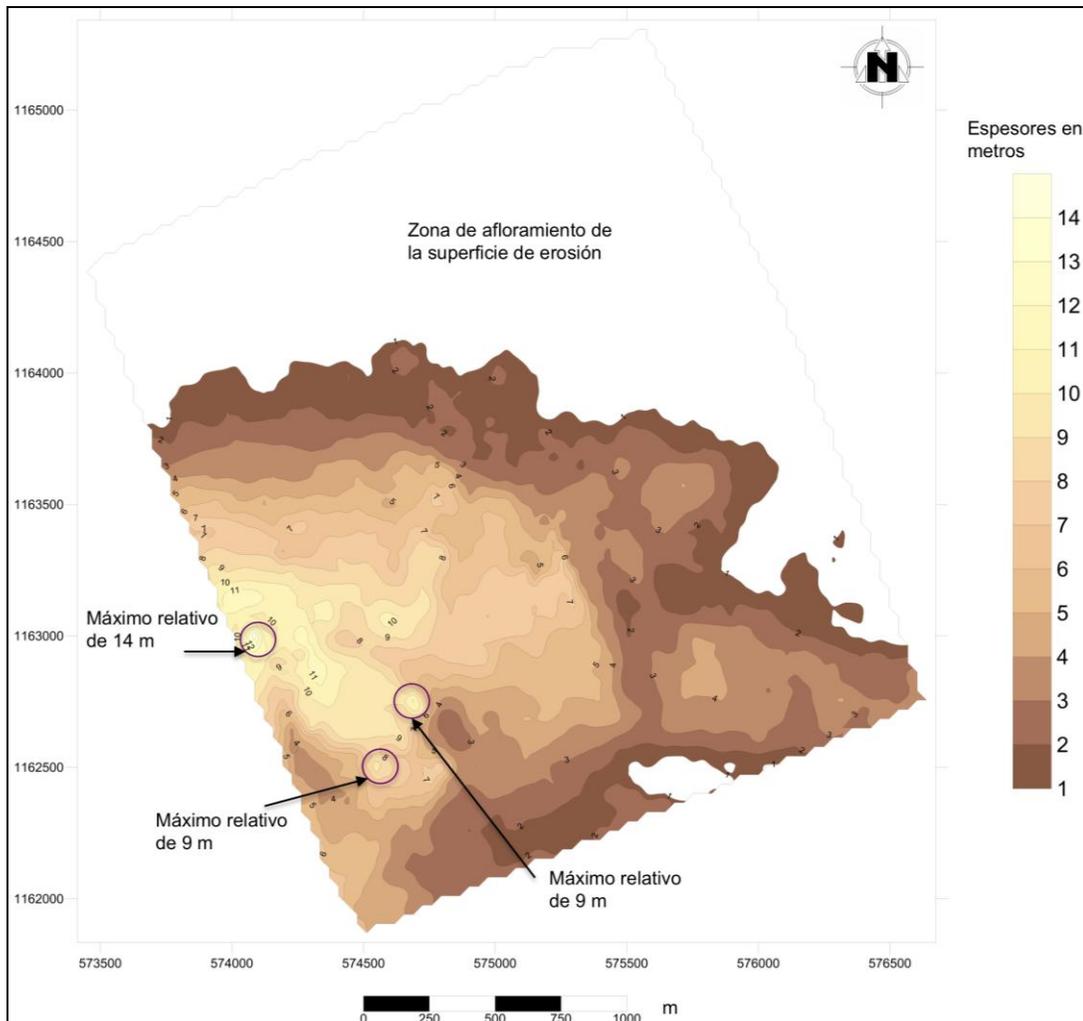


Figura 4.5 Mapa isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión en las fases B y C

Utilizando diferentes velocidades para realizar la conversión de tiempo a profundidad, con el fin de comparar los resultados con el isópaco generado con la velocidad de propagación de onda en el agua, se obtuvo que la variación máxima de profundidad es despreciable. En el gráfico de la Figura 4.6 se observa que las variaciones de las profundidades promedio son de un máximo de 33 cm con un rango de  $\pm 200$  m/s y una variación de profundidad de 17 cm con un rango de  $\pm 100$  m/s lo que es comparable con la resolución teórica del instrumento (9 cm).

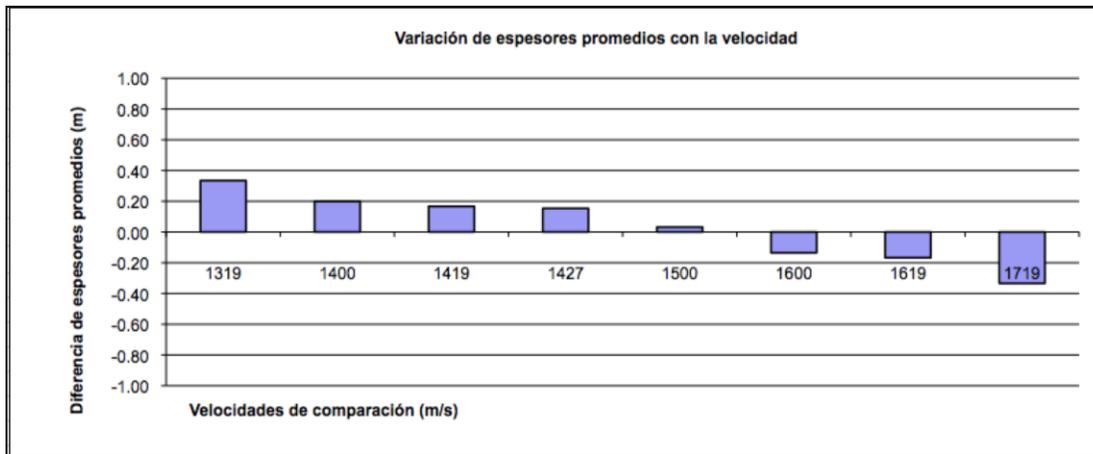


Figura 4.6 Variación de la profundidad promedio con respecto a la velocidad

#### **4.4. Mapa estructural de la superficie de erosión generado a partir de la integración de la batimetría con el mapa isópaco**

En el mapa estructural de la superficie de erosión ubicado en las fases B y C las curvas de nivel se presentan en intervalos de un metro (Figura 4.7 o véase Anexo 4.3), tienen una orientación principal OSO-ENE y exhiben una variación de profundidades en dirección NNO-SSE que van de -4 a -13 metros. Desde el centro hacia el sur del área, las curvas tienen una orientación preferencial ONO-ESE variando en dirección NNE-SSO desde -14 a -34 metros. En el suroeste del área se observa un máximo relativo de -31 metros el cual marca la tendencia de una depresión en el área, además se observa una elevación en el sureste con un mínimo relativo de -25 metros el cual representa un afloramiento local de la superficie de

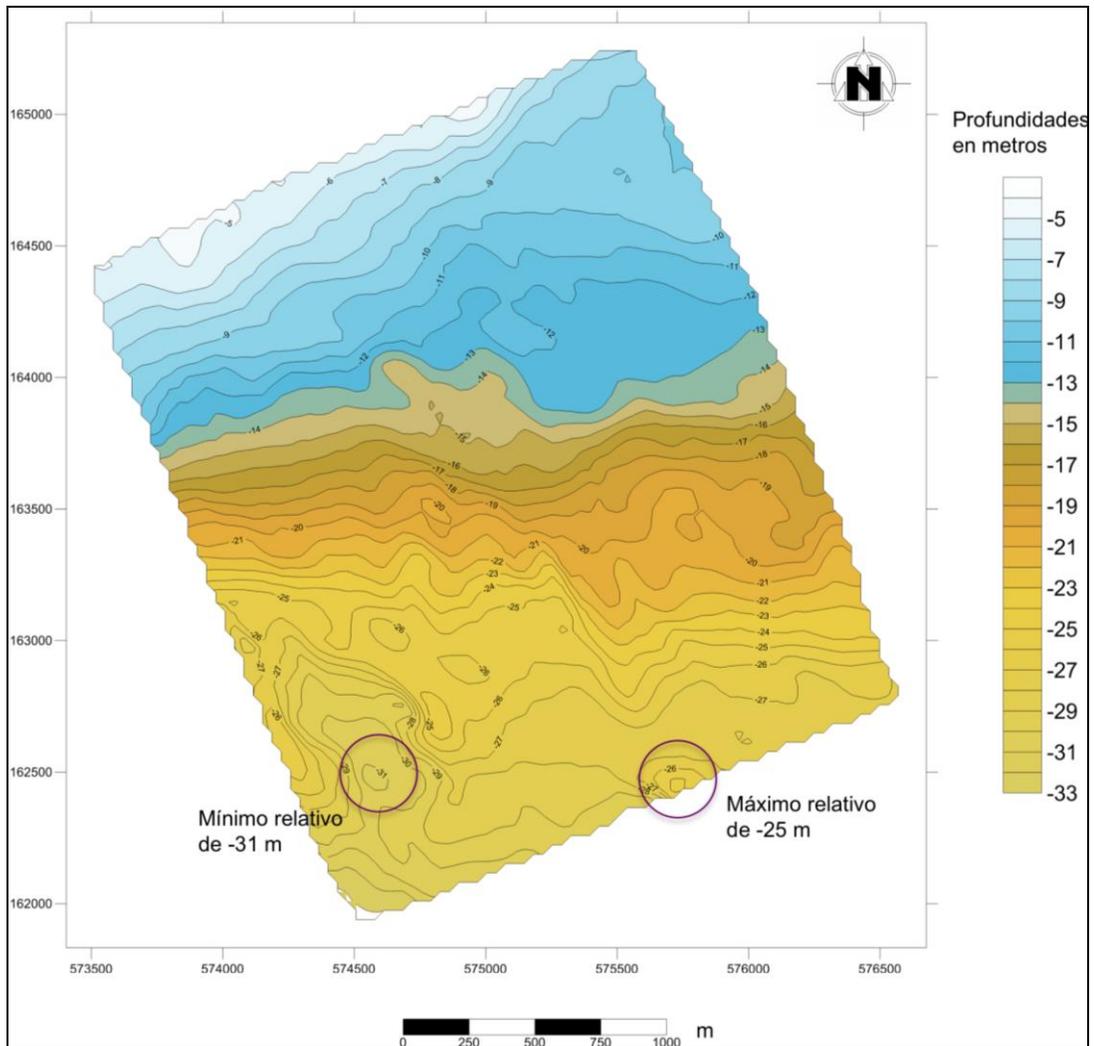


Figura 4.7 Mapa de la Superficie de erosión con perfilador de subfondo tipo Pinger en las fases B y C

#### 4.5. Estudio geotécnico y correlación con las secciones sísmicas

Se analizaron nueve muestras de fondo tomadas con dardo gravitacional en las locaciones seleccionadas en base a la respuesta acústica de los sedimentos observada a partir de los registros de perfilador de subfondo tipo Pinger. Las muestras delimitan dos zonas con propiedades similares en el norte y el sur del área en estudio. Fueron correlacionadas con las secciones sísmicas y el mapa isópaco de los sedimentos recientes, marcando consistentemente dos zonas que concuerdan con la línea de afloramiento de la superficie de erosión. Los resultados se observan en la

Tabla 4.1 y la Figura 4.8 que corresponde a la ubicación de las muestras con respecto a las líneas de recorrido del perfilador de subfondo tipo Pinger

Según los resultados (Tabla 4.1 y Figura 4.8) la presencia de bivalvos se observó en los ensayos M1, M8 y M9, que se encuentran localizadas hacia el norte del área, cercano a la costa. En toda el área se obtuvo mayor presencia de arcillas hacia el sur (ensayos M2, M3, M4, M6 y M8) y arenas hacia el norte (M1 y M9) debido al transporte del material, por lo que los sedimentos más reflectivos se asocian encuentran en el norte y los menos densos hacia el sur. Por último, en lo referente a la diferencia de plasticidad en los materiales se encontró mayor presencia de material de baja plasticidad hacia el norte (M2 y M8) y materiales de alta plasticidad hacia el sur (M3, M4 y M6).

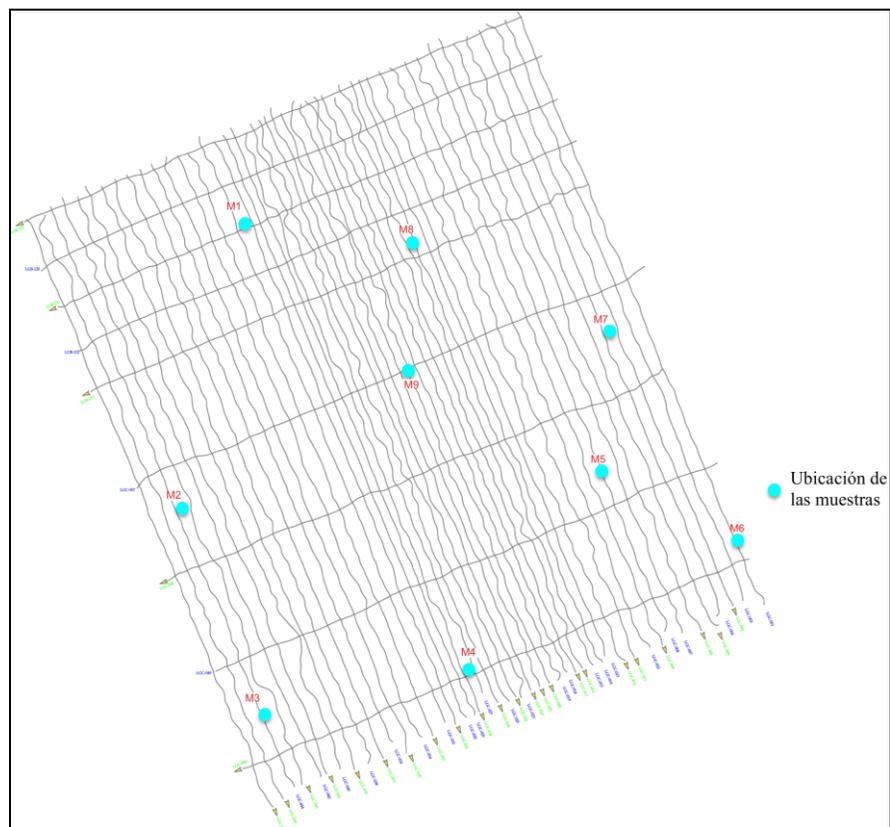


Figura 4.8 Ubicación relativa de las muestras y el recorrido del perfilador de subfondo tipo Pinger

Tabla 4.1 Resultado del estudio geotécnico de las muestras recuperadas con dardo gravitacional

Muestra	Intento	Coordenada Este	Coordenada Norte	Recuperación de la muestra	Prof. agua (m)	Penetración (cm)	Descripción litológica
M1	1	574381.30	1164408.78	Recuperó	7	10	Arena de grano medio y fino, ligeramente arcillosa, con fragmentos de bivalvos, color marrón claro.
	2	574367.95	1164404.43	Recuperó			
	3	574373.93	1164413.48	No recuperó			
M2	1	574104.70	1163152.10	Recuperó	12	30	Arcilla de baja plasticidad arenosa, ligeramente orgánica, color gris.
	2	574084.88	1163136.88	Recuperó			
	3	574073.10	1163142.15	-			
M3	1	574468.10	1162243.05	Recuperó	23	100	Arcilla de alta plasticidad, ligeramente orgánica, color gris verdoso.
	2	-	-	-			
	3	-	-	-			
M4	1	575368.80	1162442.00	Recuperó	22	50	Arcilla de alta plasticidad, orgánica, color gris verdoso.
	2	575371.07	1162442.33	Recuperó			
	3	-	-	-			
M5	1	575955.58	1163318.25	Recuperó	22	-	No se recuperó muestras significativas.
	2	575962.30	1163296.01	Recuperó			
	3	-	-	-			
M6	1	576554.31	1163012.35	Recuperó	21	13	Arcilla de alta plasticidad, arenosa, ligeramente orgánica con fragmentos de conchas, coral, color gris.
	2	576560.00	1163016.00	No representativa			
	3	576553.73	1163028.56	Recuperó			
M7	1	575990.29	1163936.46	No recuperó	-	-	No se recuperó debido a que el tamaño de grano no ingresó en el tubo.
	2	-	-	-			
	3	-	-	-			
M8	1	575119.01	1164326.46	Recuperó	9	25	Arcilla de baja plasticidad, dura con fragmentos de conchas y coral, color marrón.
	2	575092.39	1164310.65	Recuperó			
	3	575125.76	1164318.77	Recuperó			
M9	1	575102.52	1163762.00	Recuperó	12	22	Arena de grano mediano y fino, limosa con fragmentos de conchas de bivalvos, color gris.
	2	575105.07	1163766.70	Recuperó			
	3	575071.28	1163755.33	No recuperó			

Para los ensayos de M5 y M7 no se recuperaron muestras significativas debido a que el material presentó alta dureza la cual no impidió su recolección a través del tubo del dardo gravitacional. En la Figura 4.9 se evidencia el afloramiento de la superficie de erosión en un fragmento de la sección sísmica de la línea 008, la muestra M5 fue tomada intencionalmente en la cercanía del afloramiento observado en dicha línea, con el propósito de comparar el material que se encuentra debajo de la superficie de erosión con respecto a los sedimentos recientemente depositados sobre

ésta. La muestra M7 (Figura 4.10) fue tomada en la zona este del área, sobre la línea de la sección sísmica 004 donde aflora la superficie de erosión y se presenta una elevación por encima de la superficie del fondo marino. La alta reflectividad que presenta la superficie de erosión indica que el material es muy denso/duro, imposibilitando que el dardo gravitacional recuperara una muestra significativa.

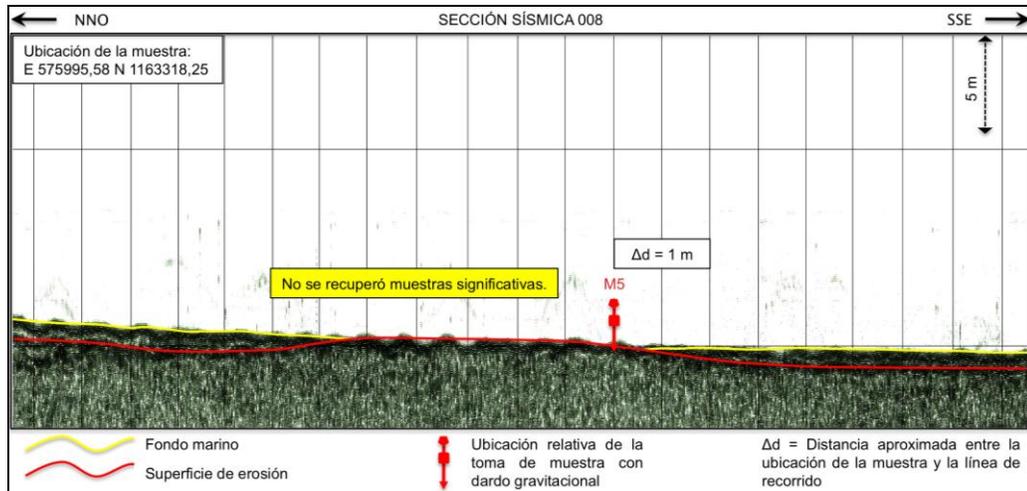


Figura 4.9 Ubicación de la muestra M5 en la línea 008

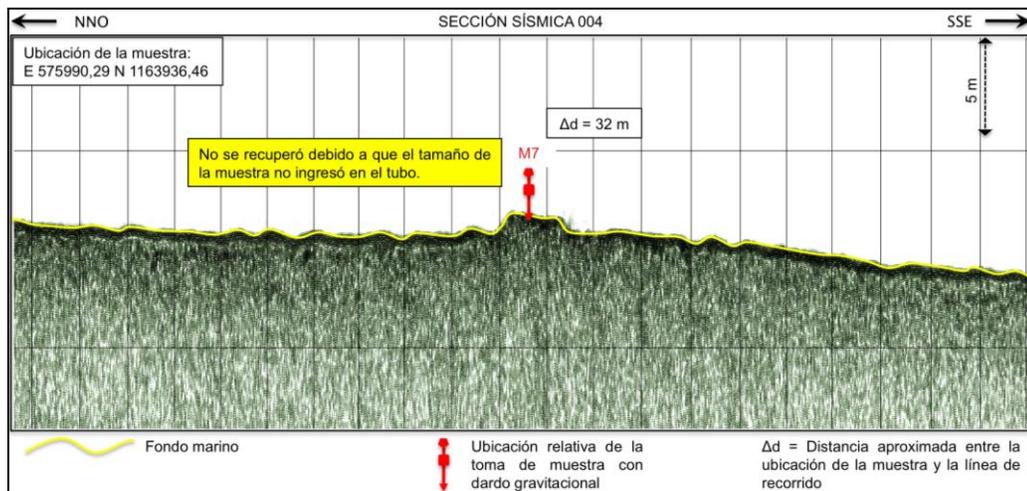


Figura 4.10 Ubicación de la muestra M7 en la línea 004

En los ensayos M3 y M4 se reportaron arcillas de alta plasticidad, estas muestras están ubicadas hacia el sur del área en estudio sobre las líneas de las secciones sísmicas 044 y 028 respectivamente (Figura 4.13 y Figura 4.14), donde se

observa una baja reflectividad producto de la consistencia del material que corresponde a los sedimentos blandos depositados recientemente sobre la superficie de erosión.

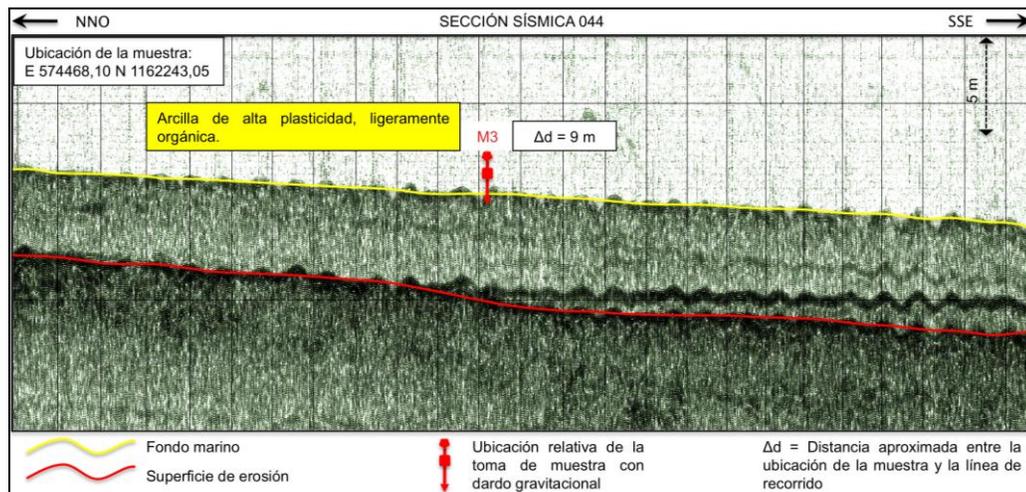


Figura 4.11 Ubicación de la muestra M3 en la línea 044

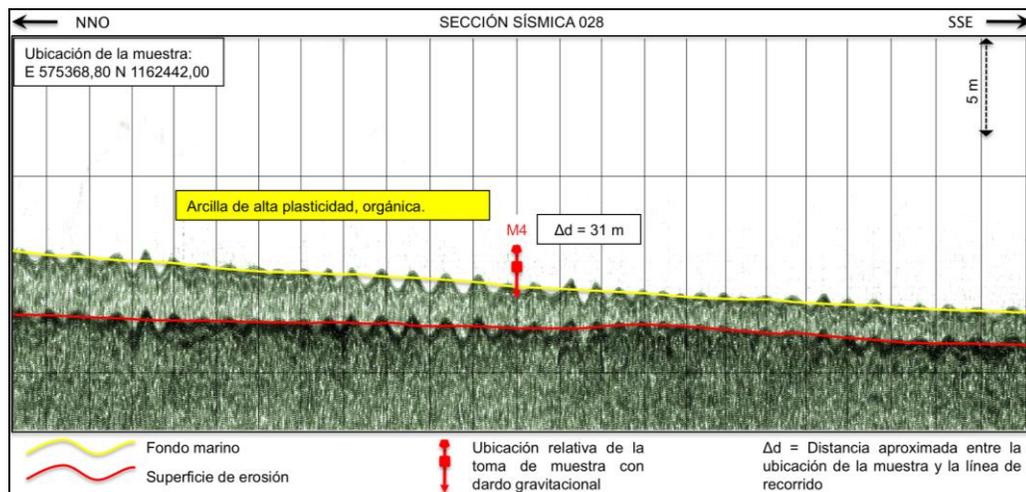


Figura 4.12 Ubicación de la muestra M4 en la línea 028

#### 4.6. Mosaico construido en las fases B y C a partir del procesamiento de los datos adquiridos con Sonar de Barrido Lateral

A continuación se describen los resultados obtenidos de la construcción del mosaico generado a partir de los registros de Sonar de Barrido Lateral en las fases B y C.

Como se observa en la Figura 4.13 el área se divide en dos zonas separadas por la reflectividad relativa, evidenciando las mayores reflectividades hacia la zona norte, donde aflora la superficie de erosión, y las menores hacia la zona sur donde se disponen las granulometrías más finas. En el mosaico no se observaron irregularidades en el suelo marino, ni ningún otro tipo de objetos dispuesto en el fondo que representen un riesgo para las instalaciones.

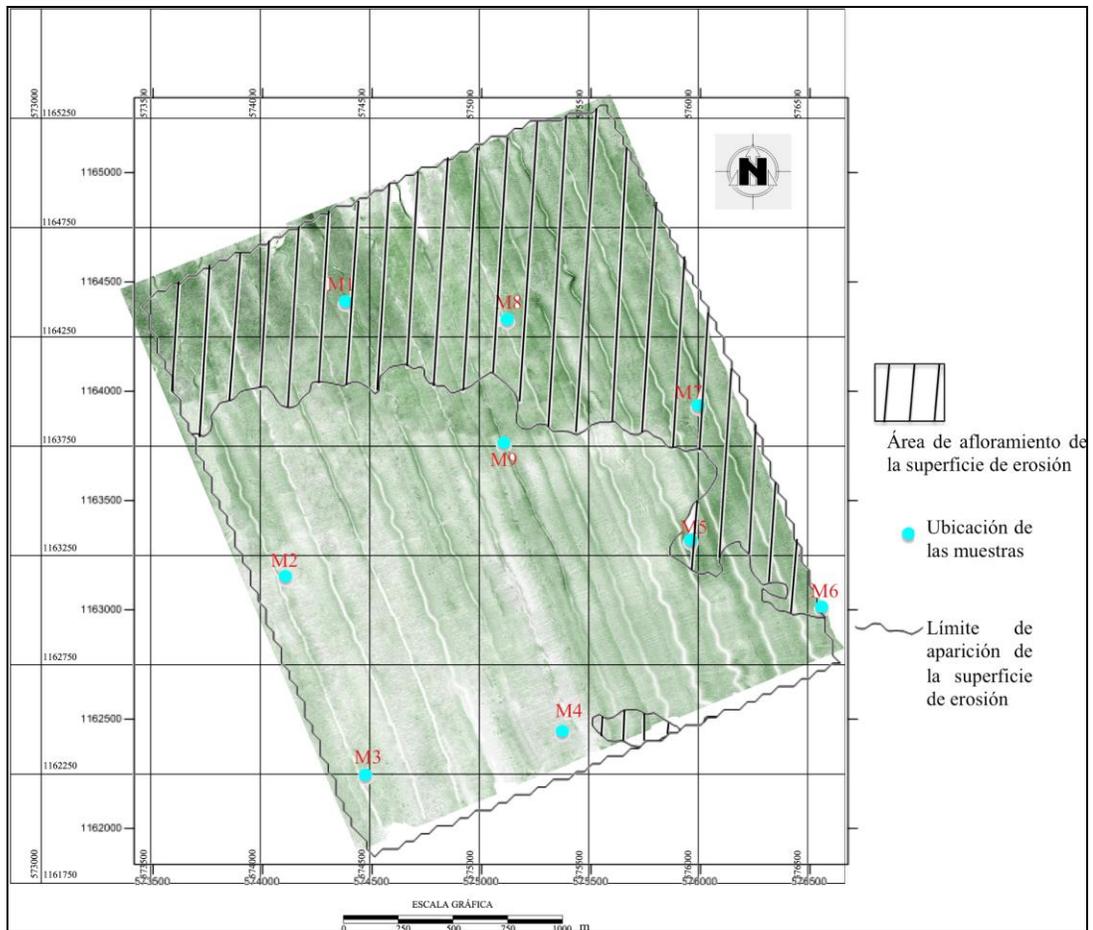


Figura 4.13 Mosaico del fondo marino y ubicación de las muestras con afloramiento de la superficie de erosión en las fases B y C

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio geotécnico (Tabla 4.1), el mosaico del fondo marino (Figura 4.13) y el mapa isópaco de los sedimentos recientes (Figura 4.5) se observa una correlación entre ellos, ya que a partir del mapa isópaco se obtuvo la zona aproximada del afloramiento de la superficie de erosión, la cual se encuentra en el norte del área en estudio donde se ubican los sedimentos más competentes determinados con el estudio geotécnico, lo cual se corrobora en el mosaico del fondo marino como evidencia de las altas reflectividades presentes en esta zona.

#### **4.7. Modelo estratigráfico obtenido de la integración de los resultados de batimetría, mapas isópacos y estudio geotécnico**

El modelo estratigráfico obtenido de la integración de los resultados de batimetría, mapas isópacos y estudio geotécnico se generó para las fases B y C del área en estudio. Este modelo contiene unos sedimentos más competentes depositados por debajo de la superficie de erosión, hasta una profundidad de 34 m (Figura 4.14.a), en la Figura 4.14.b se observa la depositación de los sedimentos blandos sobre la superficie de erosión. Se obtuvo la mayor acumulación de sedimentos blandos en la zona central y en el oeste del área en estudio, con un espesor máximo de 14 m debajo del fondo marino. Finalmente, se encuentra la columna de agua por encima del fondo marino referida al nivel medio del mar como se ilustra en la Figura 4.14.c.

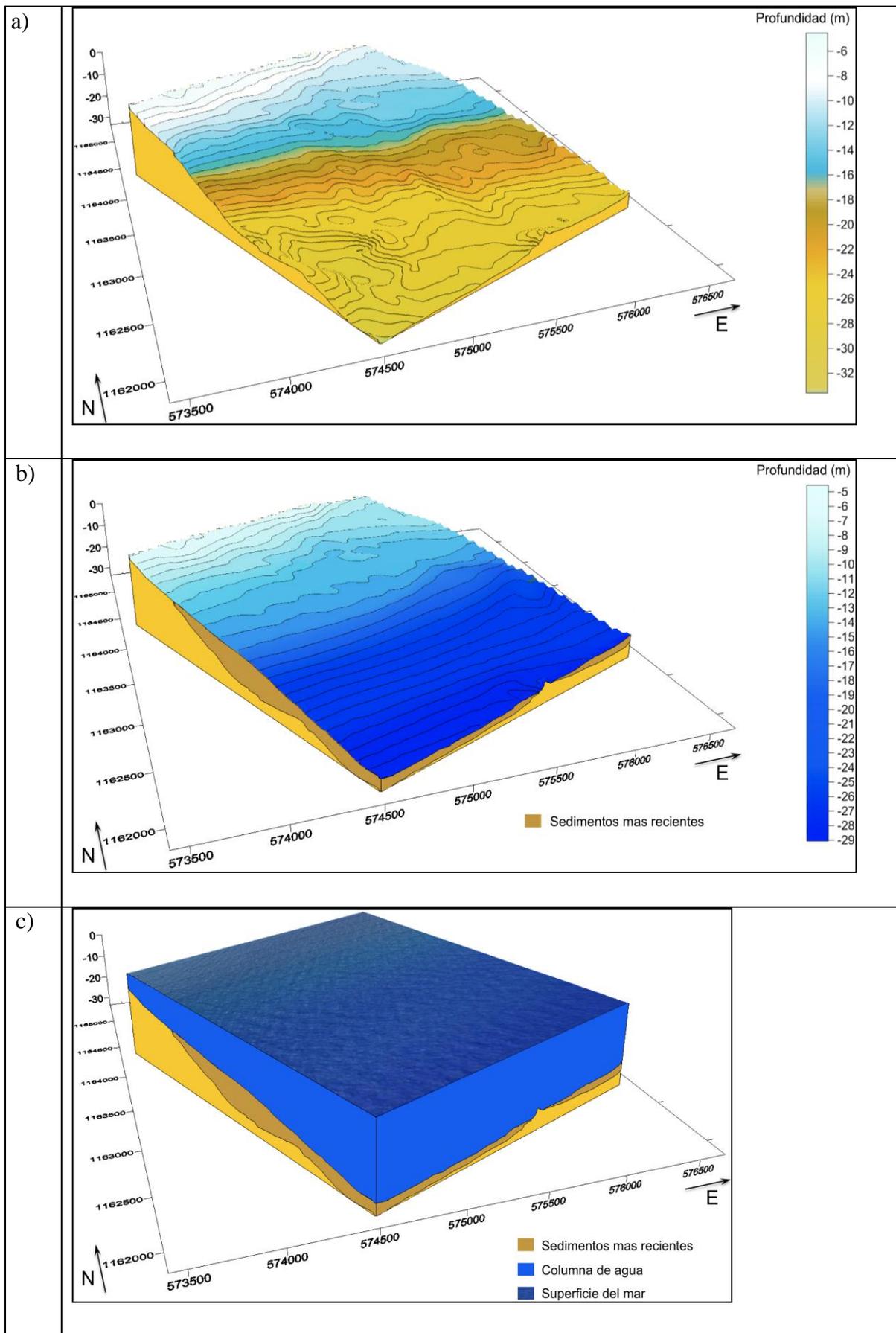


Figura 4.14 Modelo estratigráfico 3D. a) modelo de la superficie de erosión y los sedimentos por debajo de esta, b) modelo del fondo marino y los sedimentos recientes sobre los sedimentos más antiguos y, c) modelo de la superficie del mar y columna de agua sobre los sedimentos recientes.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

- A partir del mosaico de registros de sonar de barrido lateral se determinó que las mayores reflectividades se encuentran localizadas hacia el norte del área de estudio de forma coincidente con el afloramiento de la superficie de erosión. No se observaron irregularidades en el suelo marino, ni ningún otro tipo de objetos dispuestos en el fondo marino que representen posibles riesgos para las instalaciones.
- Las profundidades del fondo marino varían en dirección NO-SE desde 0 m hasta 30 m, referidos al nivel medio del mar. La variación es de baja pendiente con una relación 1V:100H.
- Los resultados del estudio geotécnico determinaron que los sedimentos blandos están compuestos principalmente por arcillas y se ubicaron mayoritariamente hacia el sur del área en estudio, mientras que los más densos se ubicaron al norte, de forma coincidente con el afloramiento de la superficie de erosión, de los cuales, en algunos casos, no se recuperaron muestras significativas debido a su dureza.
- A partir de las secciones sísmicas del perfilador de subfondo Pinger, se interpretaron dos reflectores en toda el área en estudio denominados Fondo Marino y Superficie de Erosión. La superficie de erosión se interpretó entre 0 y 14 m de profundidad con respecto al fondo marino y un buzamiento con aumento de su reflectividad hacia el suroeste.
- Con base en las interpretaciones fue calculado el mapa isópaco entre el fondo marino y la superficie de erosión. La variación de espesor obtenida osciló entre 0 m y 14 m, encontrándose los máximos espesores en el centro y el oeste del área, y los mínimos hacia el norte y el este, determinando el afloramiento de la superficie de erosión.

- Para realizar la conversión de tiempo a profundidad de los horizontes interpretados en las secciones sísmicas del perfilador de subfondo tipo Pinger en este estudio, fue suficiente utilizar la velocidad de propagación de onda en el agua ya que las variaciones de profundidad son despreciables, inclusive con respecto a la resolución de los registros.
- El modelo estratigráfico que se generó para las fases B y C del área en estudio contiene la columna de agua y los sedimentos recientes depositados sobre una superficie de erosión a un máximo de 34 m de profundidad referido al nivel medio del mar. Se obtuvo la mayor acumulación de sedimentos blandos en el centro y en el oeste del área, con un espesor máximo de 14 m por debajo del fondo marino.
- De acuerdo con las secciones sísmicas resultantes del procesamiento de datos del perfilador del subfondo tipo Pinger, no se detectó la presencia de gas, fallamiento, ni diapirismo en los primeros 30 m por debajo del fondo marino.
- A partir de los estudios geotécnicos, el mosaico del fondo marino y el isópaco de sedimentos recientes, se observaron dos zonas bien diferenciadas, limitadas por la superficie de erosión obtenida a partir del isópaco, las cuales se ubican, aproximadamente, hacia el norte y este del área en estudio, donde también se encuentran los sedimentos más competentes de acuerdo con el estudio geotécnico, esto se refleja en el mosaico a través de altas reflectividades ubicadas en la misma zona. Hacia el sur del área de estudios se presenta el caso contrario con respecto a los sedimentos y la reflectividad.
- De este estudio no se detectó riesgos debidos a fallas, acumulaciones de gas o intrusiones; sin embargo, en la zona límite entre los sedimentos recientemente depositados y el afloramiento de la superficie de erosión existe riesgo para la construcción y soporte de estructuras marinas debido a fallas localizadas por baja resistencia de suelos. Estas fallas se originan cuando los suelos experimentan cargas

excesivas por eventos tectónicos, carga de sedimentos, tensión gravitacional en taludes inclinados, o cargas estructurales provocadas por los apoyos de taladros de perforación (WS Atkins Consultants, 2004).

- Se recomienda que en proyectos donde se desee caracterizar riesgos para construcción de infraestructura se realicen estudios integrados de geofísica monocanal empleando los equipos descritos en este documento, y adicionando algunos otros, como el magnetómetro, para la detección precisa de escombros sobre el fondo y en el subfondo somero, además de otro perfilador de subfondo de menor frecuencia con el propósito de alcanzar mayor penetración de la señal acústica y lograr recolectar información estructural y estratigráfica en un contexto más regional.
- El uso de un dardo gravitacional para tomar muestras de fondo marino es recomendable utilizar solamente en los casos donde se observen afloramientos de las superficies de interés.

**BIBLIOGRAFÍA Y  
REFERENCIAS CITADAS**

-Audemard, F. A. (1999) Morpho-structural expression of active thrust fault systems in the humid tropical foothills of Colombia and Venezuela. *Zeitschrift für Geomorphologie* 118: 227-244.

-Audemard, F. A., Machett, E. M., Cox, J., Hart, R. and Haller, K., 2000: Map of Quaternary Faults of Venezuela. Scale 1:2,000,000. Acompañado por noticia explicativa: Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and Offshore regions, USGS Open-File Report 00-18, 78 p.

-Babb, S. y P. Mann (1999) Structural and sedimentary development of Neogene transpresional plate boundary between Caribbean and South American plates in Trinidad and the Gulf of Paria. *Caribbean Basins. Sedimentary basins of the World*, 4. Edited by P. Mann. Pp. 495-557. Elsevier Science B. V. Amsterdam.

-Babb, S. (1997) Tectonics and sedimentations of the Gulf of Paria and Northern basin, Trinidad. Unpublished Ph. D. dissertation, University of Texas at Austin, 200 pp.

-Duerto, L. and McClay, K., 2002: 3D Geometry and evolution of shale diapirs in the eastern Venezuelan basin. AAPG Convention, Houston, Texas, March, 2002.

-FUNVISIS (2005) Estudio de la amenaza sísmica para la Península de Paria. Informe técnico FUN-066 2005 a PDVSA GAS, S. A. Proyecto CIGMA. Caracas.

-INCOSTAS, S.A. (2009) Servicios de Adquisición, Procesamiento e Interpretación de datos para los Estudios Geofísicos en el área de las instalaciones marinas de la Planta de Gas Natural Licuado (PGNL). Informe Técnico, Caracas, Venezuela. 384 pp.

-Mann, P.; J. C. Weber y L. Wood (2001) Tectonic Framework for Trinidad and its Eastern Offshore area. AAPG Annual Meetind. Denver, Colorado.

-McClelland Engineers, Geotechnical Cansultants (1978) Interpretation and assesment of shallow geologic conditions, Orinoco regional survey areas, offshore Orinoco Delta, Venezuela.

-Molnar, P. y L. Sykes (1969) Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanism and seismicity. Geological Society of America Bulletin 80:1639-1684.

-Quijada P.; E. Fajardo, M. Franke, J. Kozuch y J. Grases (1993) Análisis de Amenaza Sísmica de Venezuela para el nuevo Mapa de Zonificación con fines de Ingeniería. VIII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente, Mérida.

-Russo, R. M., R. C. Speed, E. A. Okal, J. Sheperd y K. Rowley (1993) Seismicity and tectonics of the southeastern Caribbean. Journal of Geophysical Research, 98. pp. 14299-14319.

-Standar Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation. American Society for Testing and Materials Designation D 7128 – 05 (April 2006). United States.

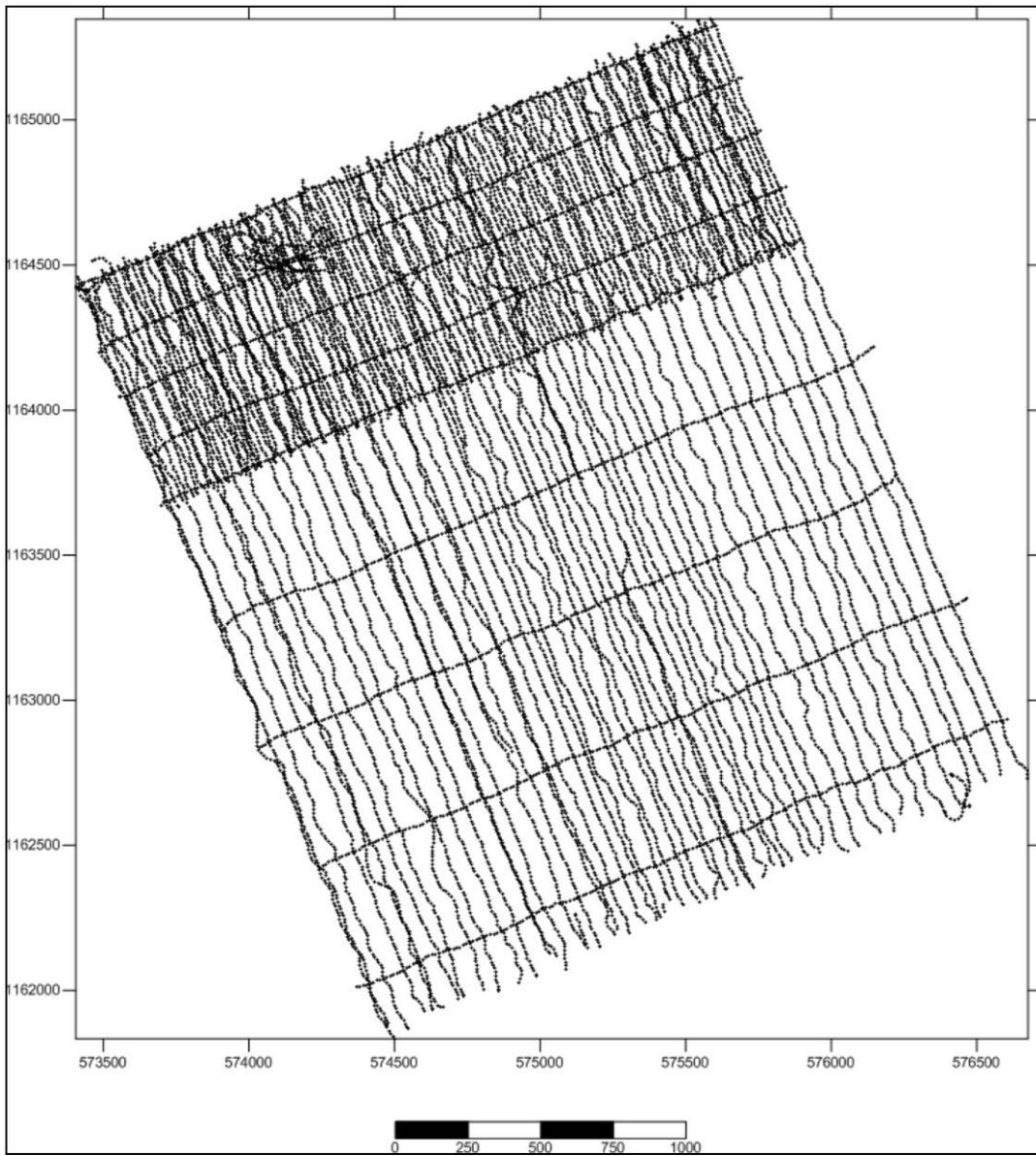
-Van Andel, T. y P. Sachs (1964) Sedimentation in the Gulf of Paria during the Holocene Transgression; a Subsurface Acoustic Reflection Study. Journal of Marine Research, V. 22, No. 1, p. 30-50.

-Van Andel, T. (1967) The Orinoco Delta. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 27, No 2. pp 297-310.

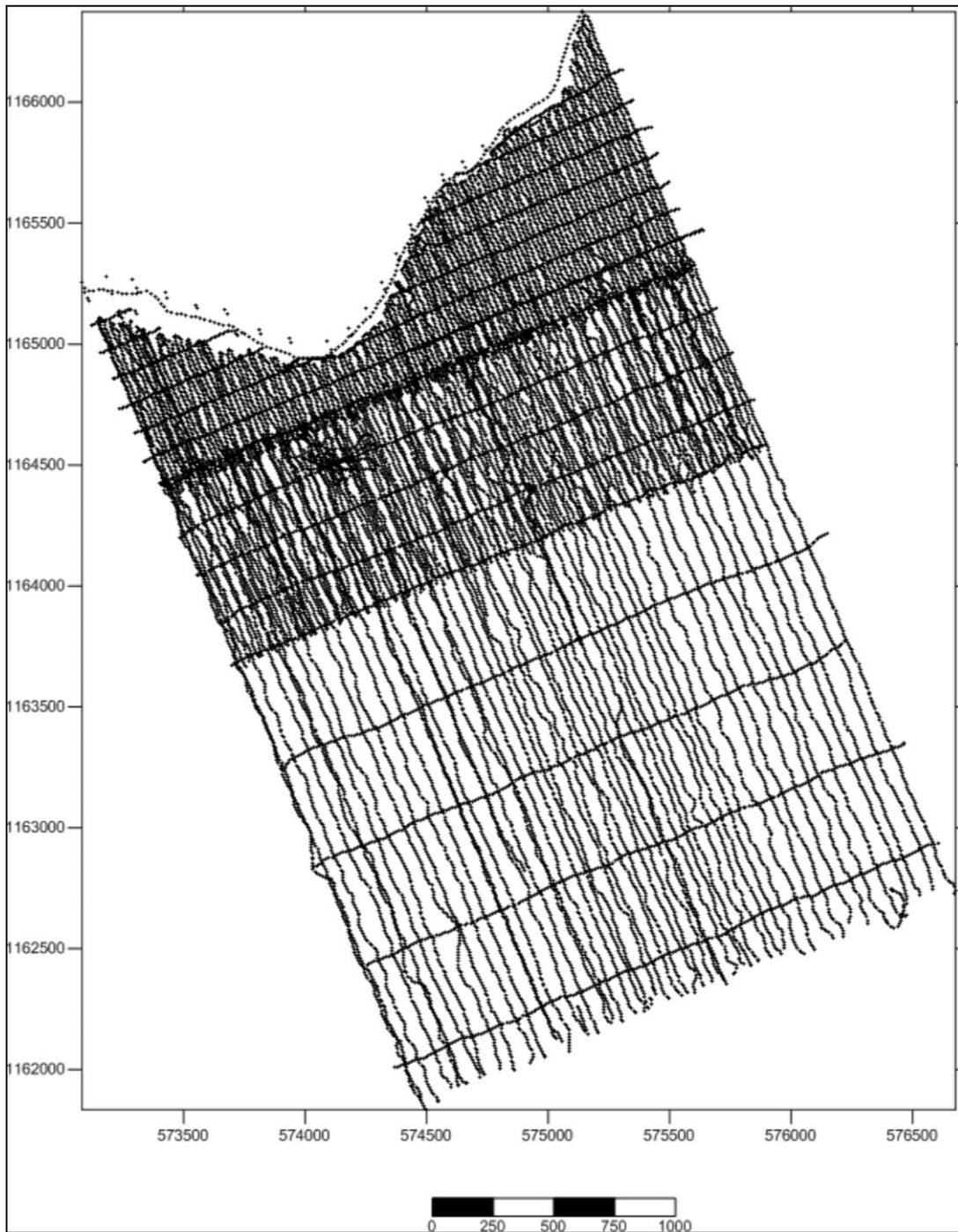
-Weber, J., T. Dixon, C. Demets W. Ambeh, P. Jansma, G. Mattioli, R. Bilham, J. Saleh y O. Perez (2001) A GPS Estimate of the Relative Motion between the Caribbean and South America Plates, and Geologic Implications for Trinidad and Venezuela. Geology 29, pp. 75-78.

-WS Atkins Consultants Ltd. (2004) Risk implications in site characterization and analysis for offshore engineering and design. Research Report 286 prepared by WS Atkins Consultants Ltd for the Health and Safety Executive.

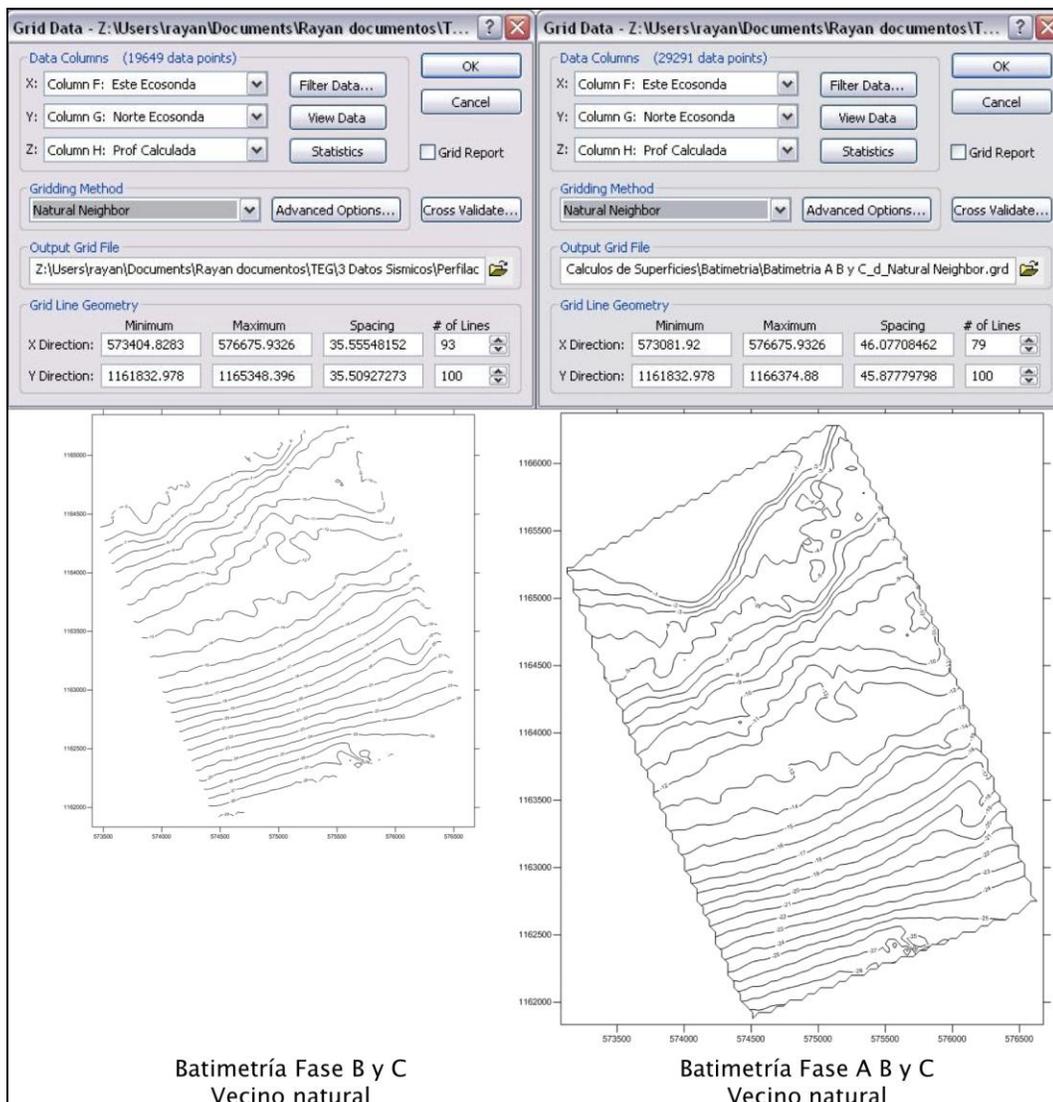
# APÉNDICES



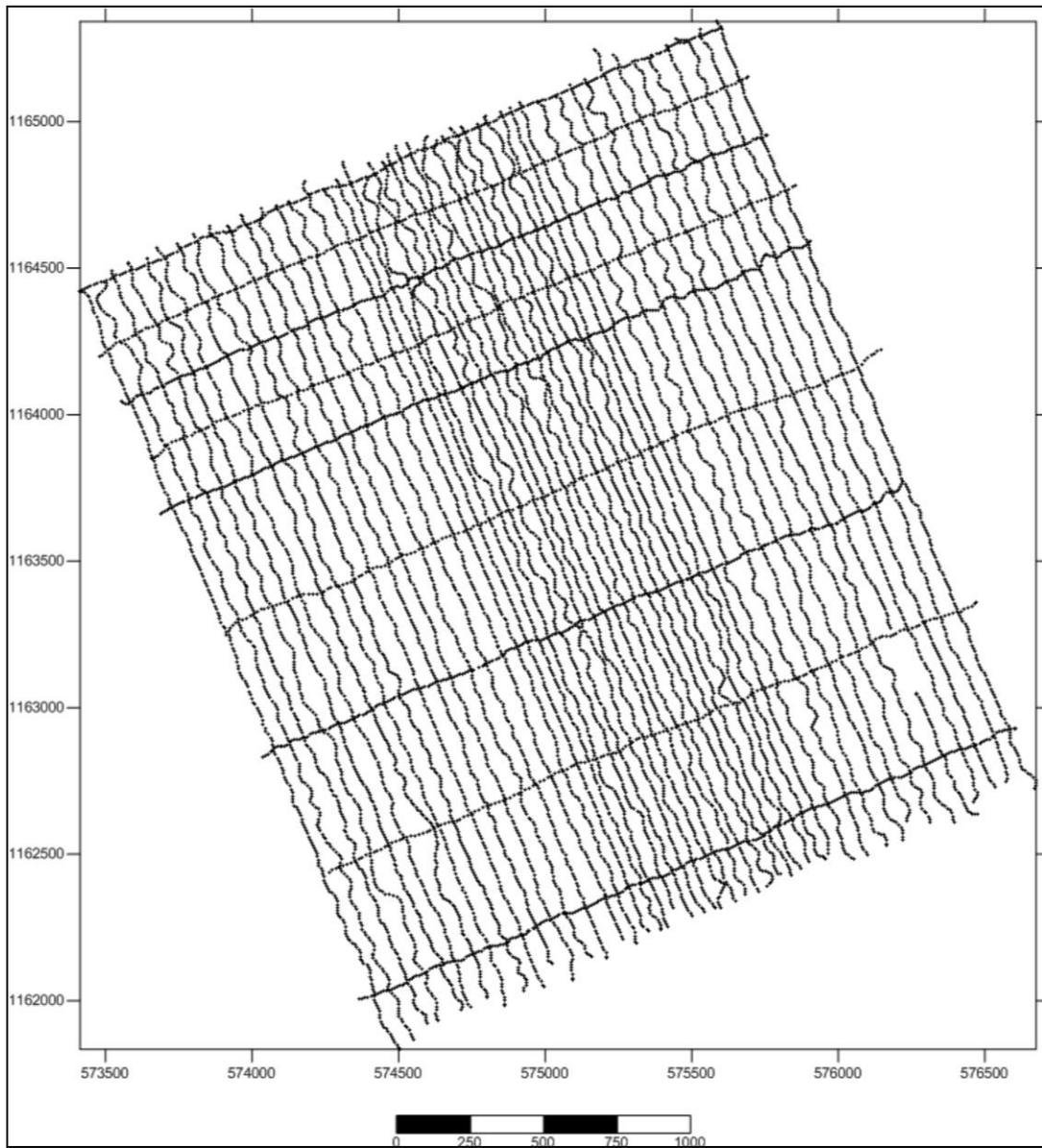
Apéndice 4.1 Distribución de los datos de la batimetría monohaz de las fases B y C



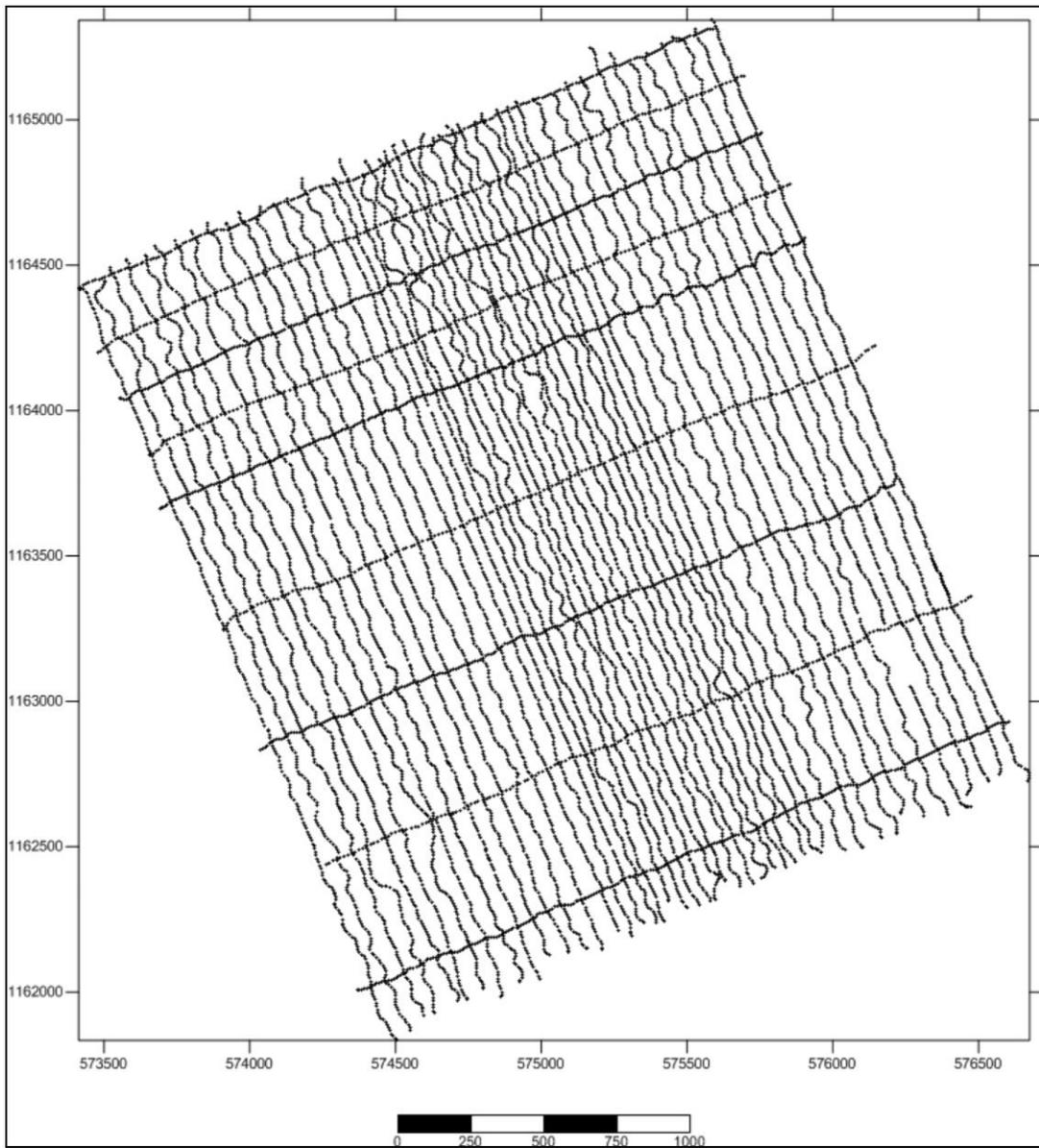
Apéndice 4.2 Distribución de los datos de la batimetría monohaz de las fases A, B, C



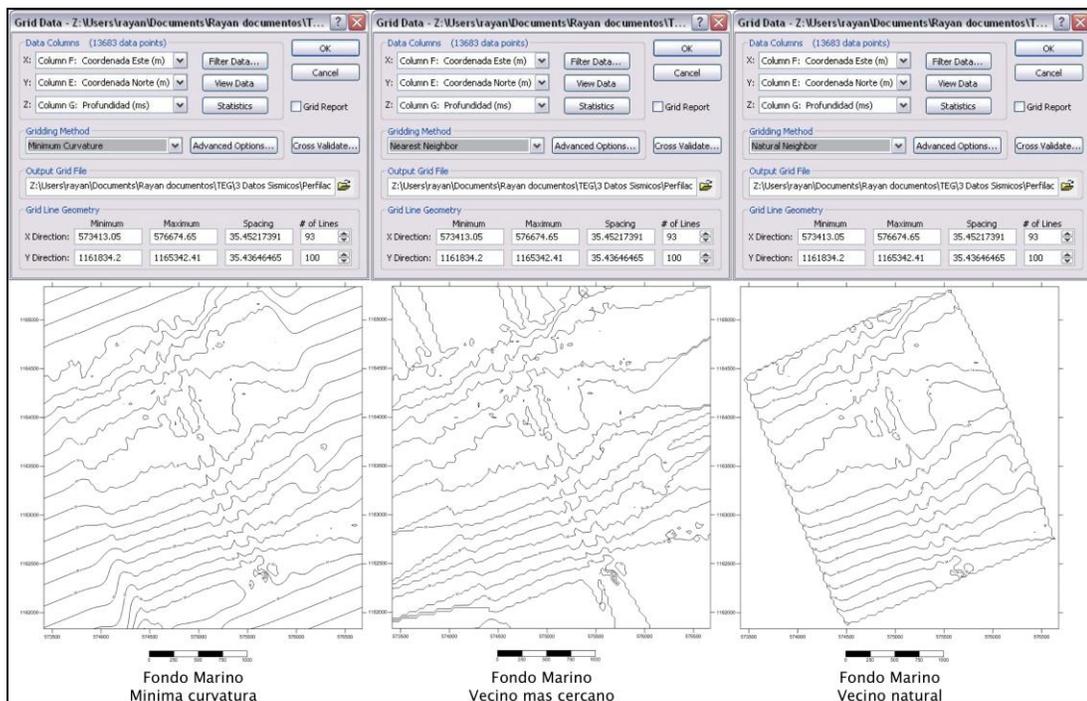
Apéndice 4.3 Cálculo de batimetría



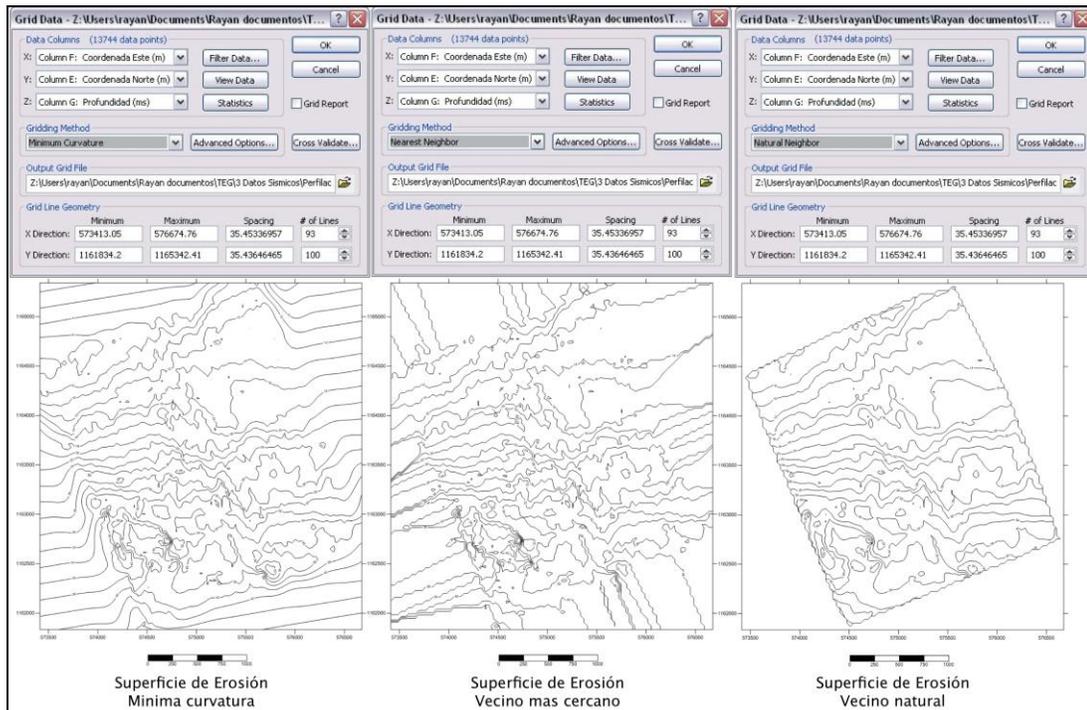
Apéndice 4.4 Distribución de los datos del perfilador de subfondo tipo Pinger del fondo marino en tiempo doble de viaje



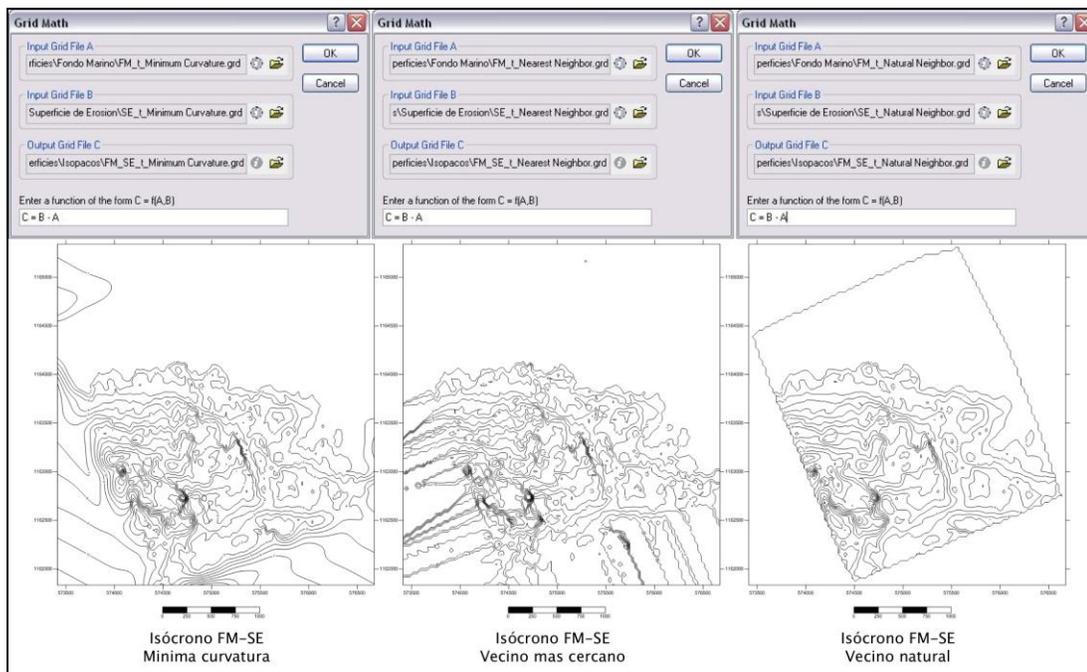
Apéndice 4.5 Distribución de los datos del perfilador de subfondo tipo Pinger de la superficie de erosión en tiempo doble viaje



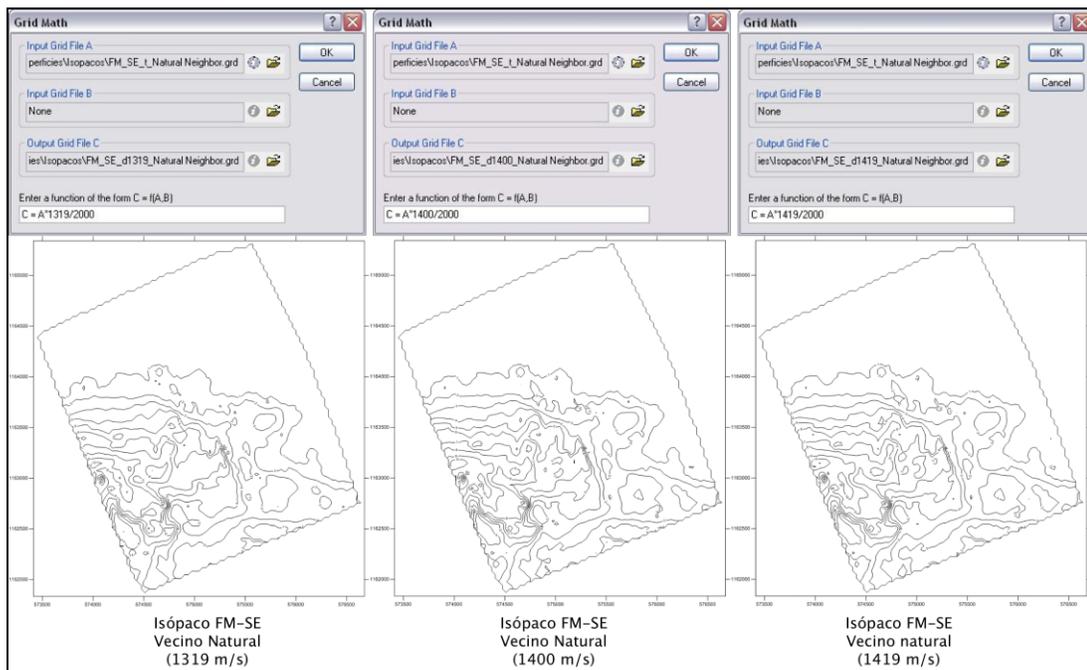
Apéndice 4.6 Métodos de interpolación para la superficie del fondo marino en tiempo doble de viaje



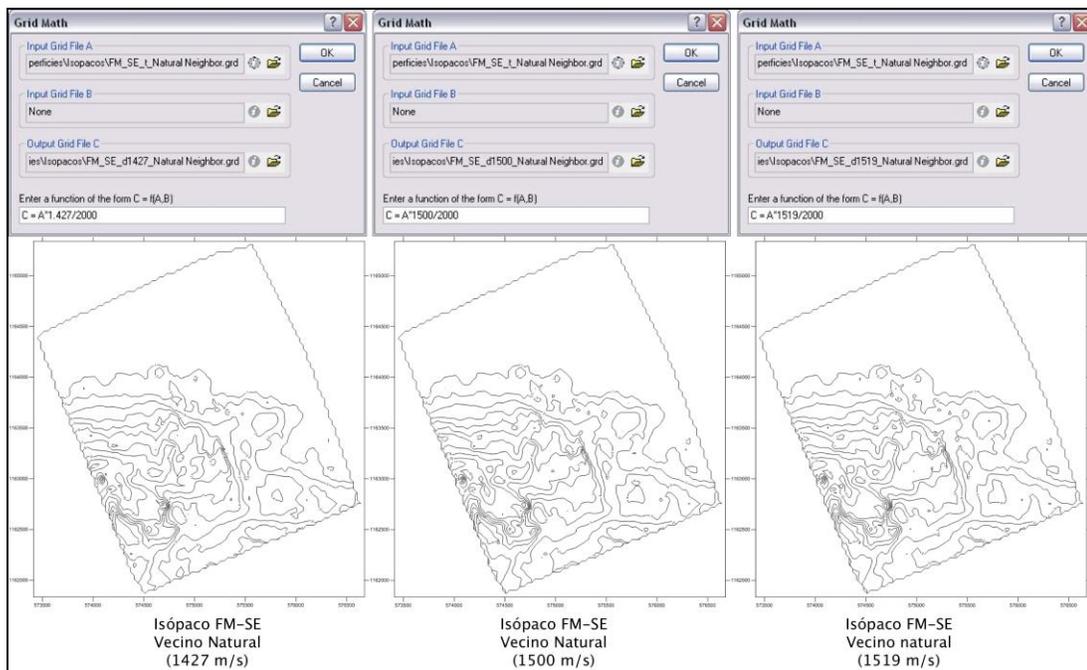
Apéndice 4.7 Métodos de interpolación para la superficie de erosión en tiempo doble de viaje



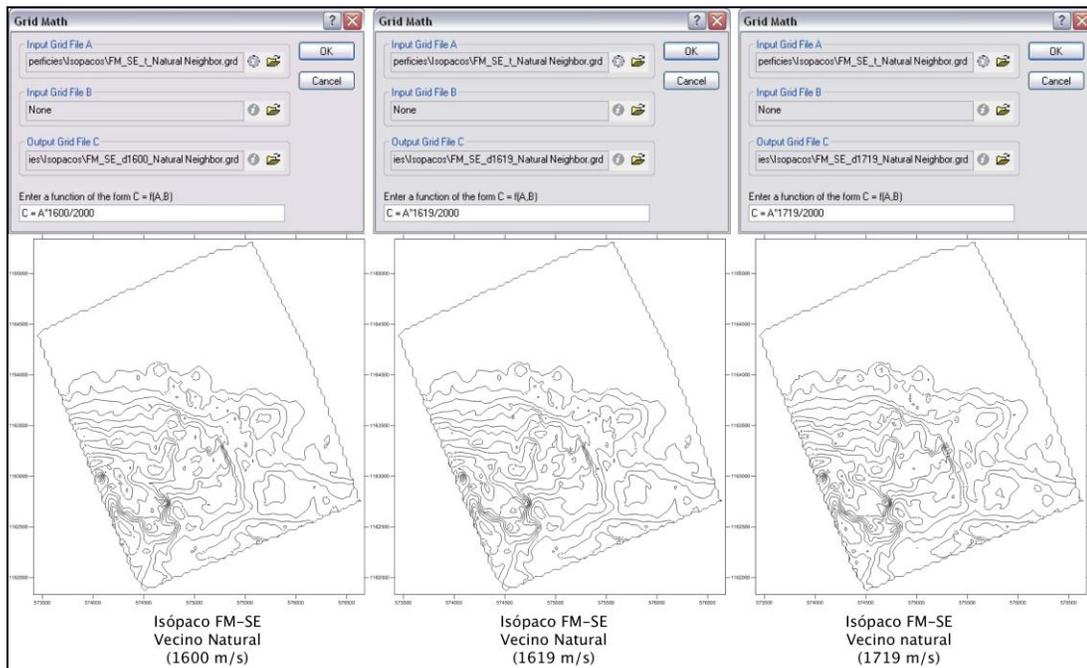
Apéndice 4.8 Cálculo de intervalo entre el fondo marino y la superficie de erosión



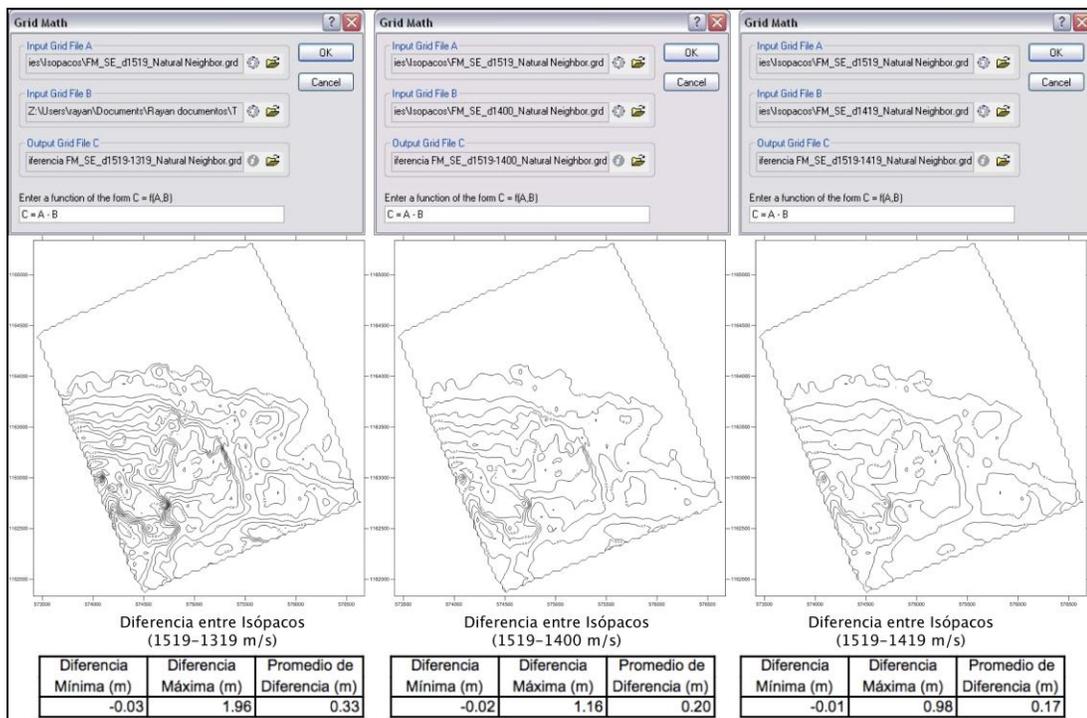
Apéndice 4.9 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1319, 1400 y 1419 m/s)



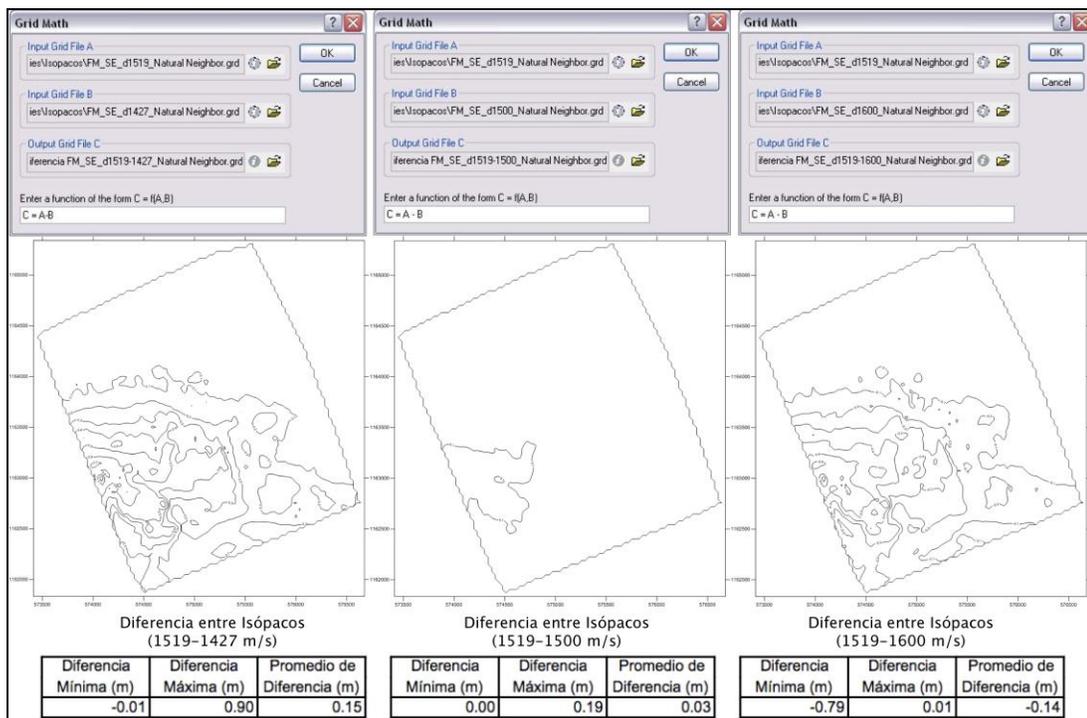
Apéndice 4.10 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1427, 1500 y 1519)



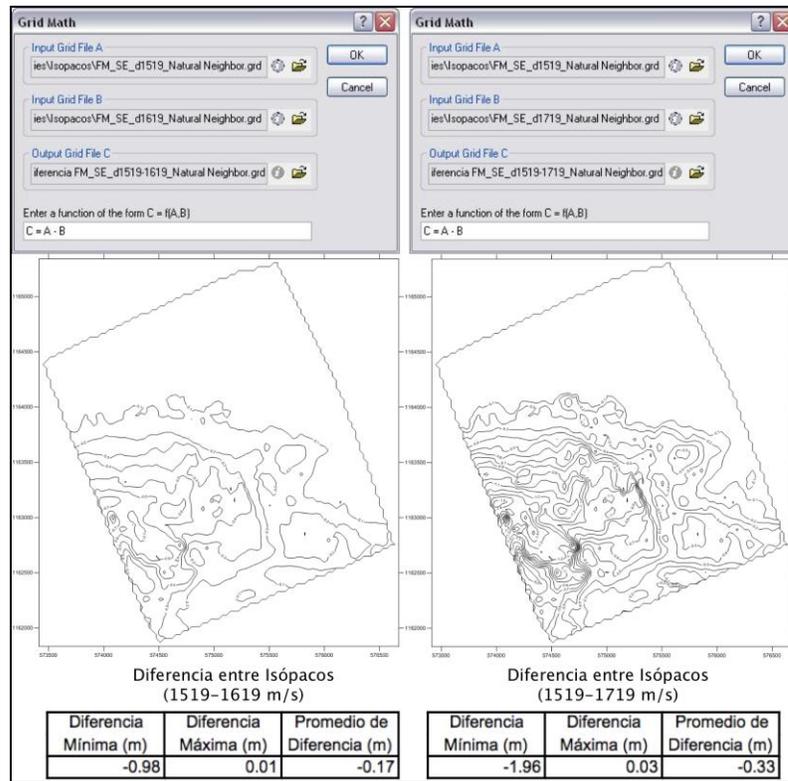
Apéndice 4.11 Cálculo de isópacos entre el fondo marino y la superficie de erosión variando la velocidad (1600, 1619 y 1719)



Apéndice 4.12 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1319, 1400 y 1419)



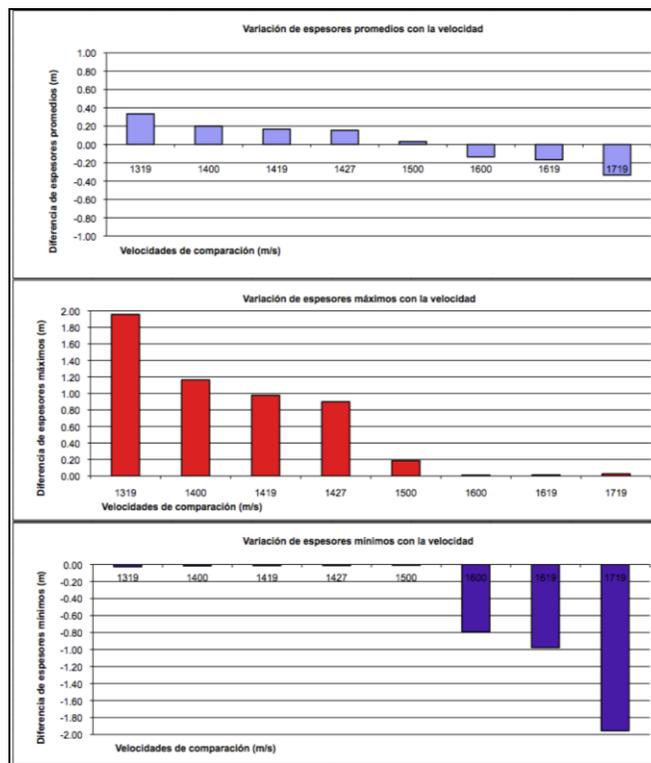
Apéndice 4.13 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1427, 1500 y 1600)



Apéndice 4.14 Diferencia de espesores entre isópacos variando la velocidad (1619 y 1719)

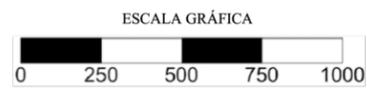
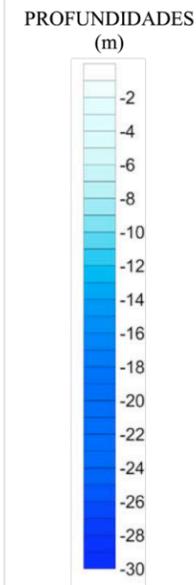
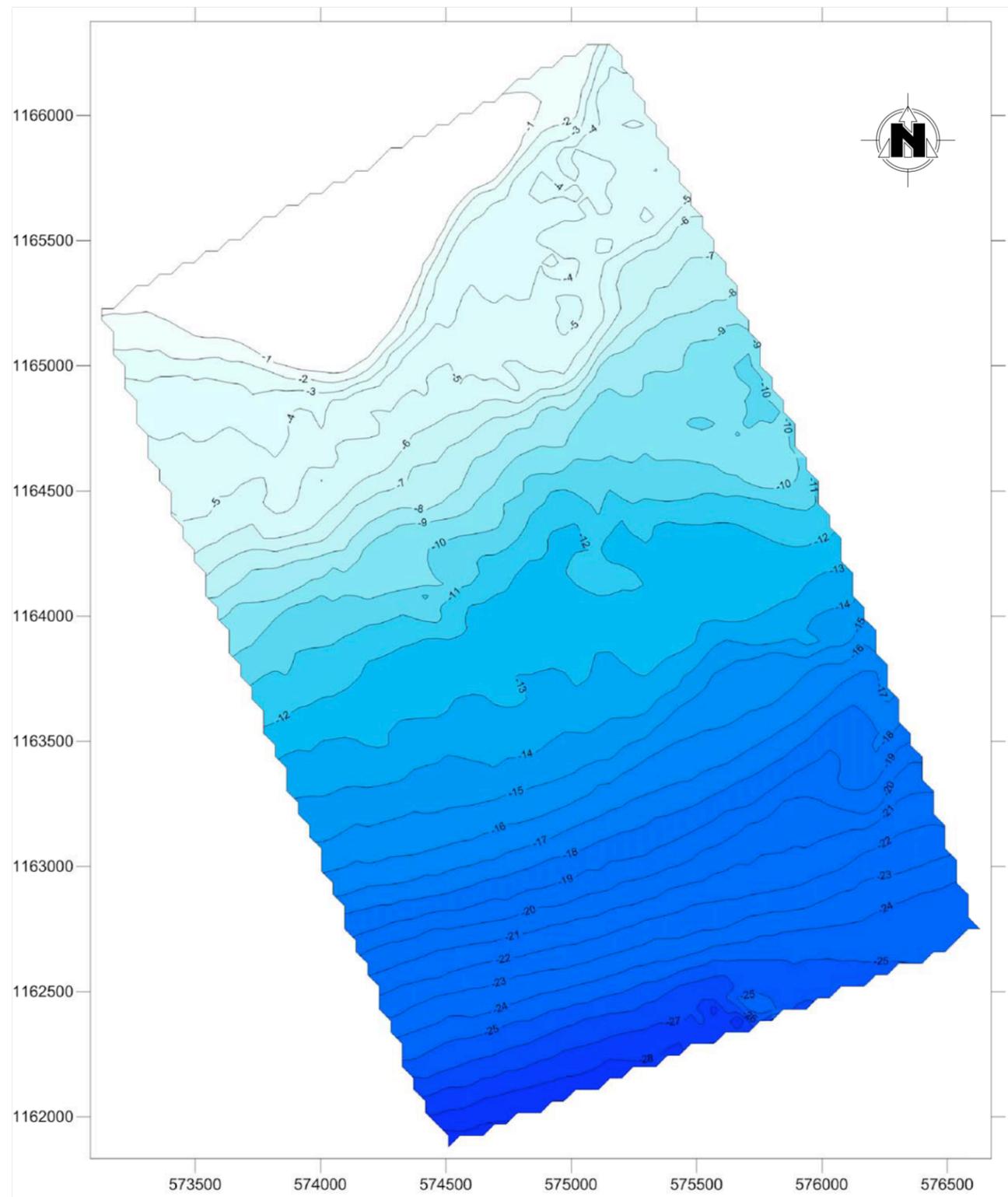
Velocidades	Diferencia Mínima (m)	Diferencia Máxima (m)	Promedio de Diferencia (m)
1519-1319	-0.03	1.96	0.33
1519-1400	-0.02	1.16	0.20
1519-1419	-0.01	0.98	0.17
1519-1427	-0.01	0.90	0.15
1519-1500	0.00	0.19	0.03
1519-1600	-0.79	0.01	-0.14
1519-1619	-0.98	0.01	-0.17
1519-1719	-1.96	0.03	-0.33

Apéndice 4.15 Tabla de variación de diferencias entre isópacos con la velocidad

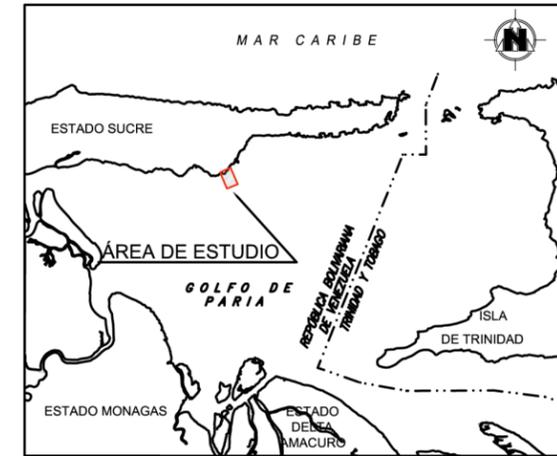


Apéndice 4.16 Gráfico de variación de diferencias entre isópacos con la velocidad

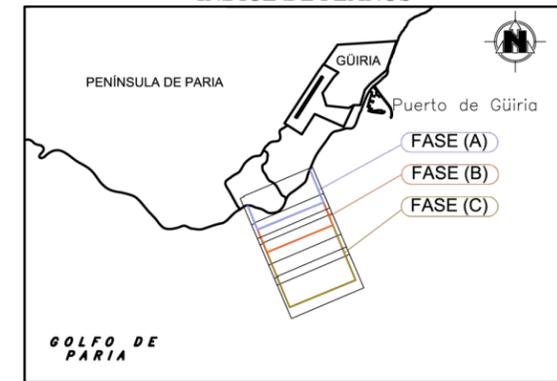
## **ANEXOS**



**UBICACIÓN GENERAL**



**ÍNDICE DE PLANOS**



**NOTAS**

1. SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM) CON DATUM HORIZONTAL REGVEN, ZONA 20, DE MERIDIANO CENTRAL 63°W.
2. POSICIONAMIENTO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO REALIZADO MEDIANTE SISTEMA DGPS CON RECEPTORES SATELITALES TOPCON, MODELO LEGACY-H L1+L2.
3. PROFUNDIDADES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM), UTILIZANDO PREDICCIONES DE MAREA CALCULADAS PARA LOS DÍAS DE ADQUISICIÓN.
4. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO REALIZADO CON ECOSONDA DIGITAL MARIMATECH MP35, TRABAJANDO EN DOBLE FRECUENCIA 33/200 KHZ Y REGISTRO CONTINUO.
5. FECHA DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO: DEL 30 DE NOVIEMBRE AL 11 DE DICIEMBRE DE 2008.

**LEYENDA**

—8— LÍNEA ISÓBATA



ESTUDIO DE GEOFÍSICA INTEGRADO PARA EVALUACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN INSTALACIONES MARINAS AL SUR DE LA PENÍNSULA DE PARIA

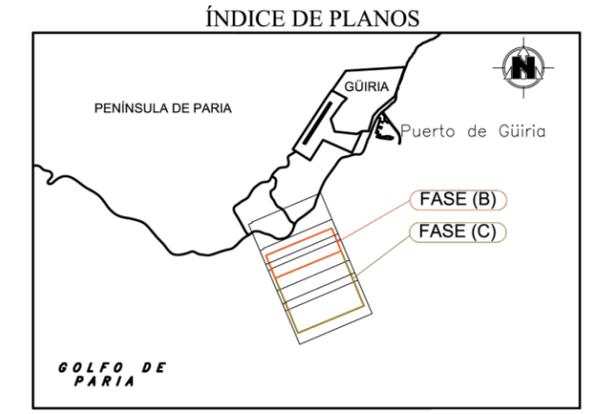
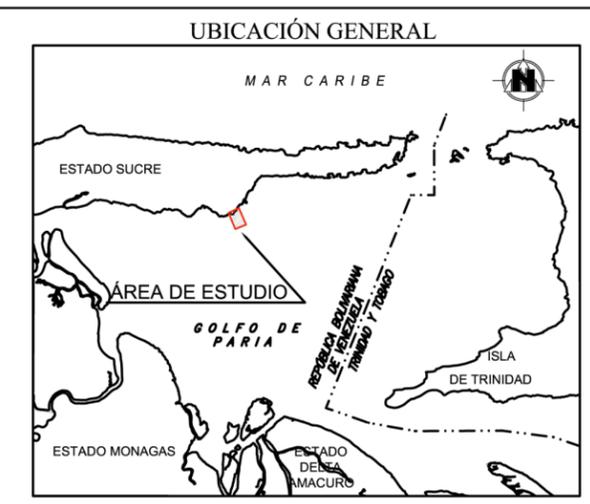
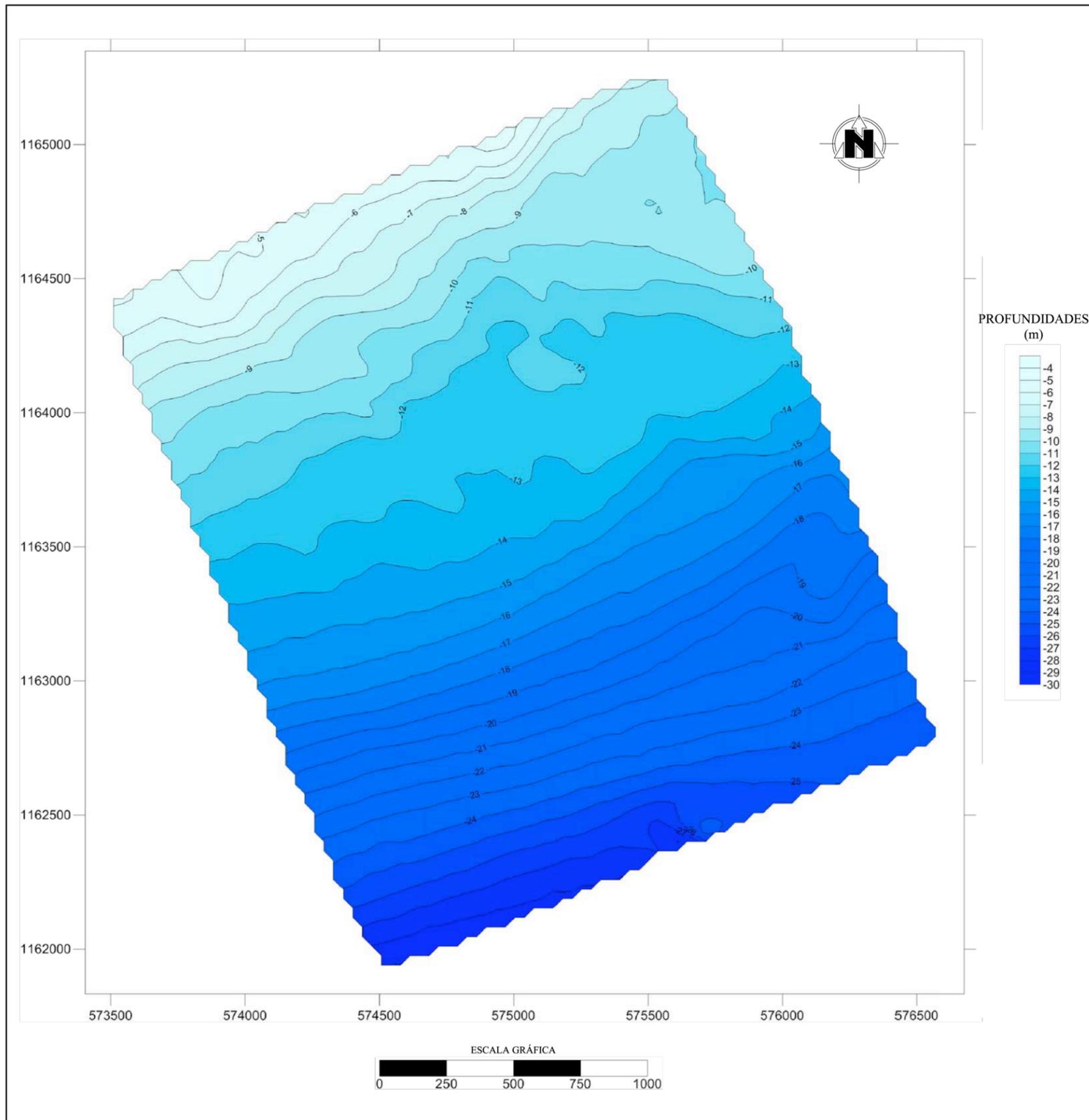
**BATIMETRÍA FASES A, B Y C**

DISEÑADO POR: ROBERT AYÁN  
 TUTOR ACADÉMICO: ANTONIO UGHI  
 TUTOR INDUSTRIAL: KEYLA QUILEN  
 FECHA: NOVIEMBRE 2009



PROYECTO GAS DELTA CARIBE ORIENTAL

Anexo 4.1 Batimetría fases A, B y C



- NOTAS**
1. SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM) CON DATUM HORIZONTAL REGVEN, ZONA 20, DE MERIDIANO CENTRAL 63°W.
  2. POSICIONAMIENTO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO REALIZADO MEDIANTE SISTEMA DGPS CON RECEPTORES SATELITALES TOPCON, MODELO LEGACY-H L1+L2.
  3. PROFUNDIDADES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM), UTILIZANDO PREDICCIONES DE MAREA CALCULADAS PARA LOS DÍAS DE ADQUISICIÓN.
  4. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO REALIZADO CON ECOSONDA DIGITAL MARIMATECH MP35, TRABAJANDO EN DOBLE FRECUENCIA 33/200 KHZ Y REGISTRO CONTINUO.
  5. FECHA DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO: DEL 4 AL 11 DE DICIEMBRE DE 2008.
- LEYENDA**
- 8— LÍNEA ISÓBATA

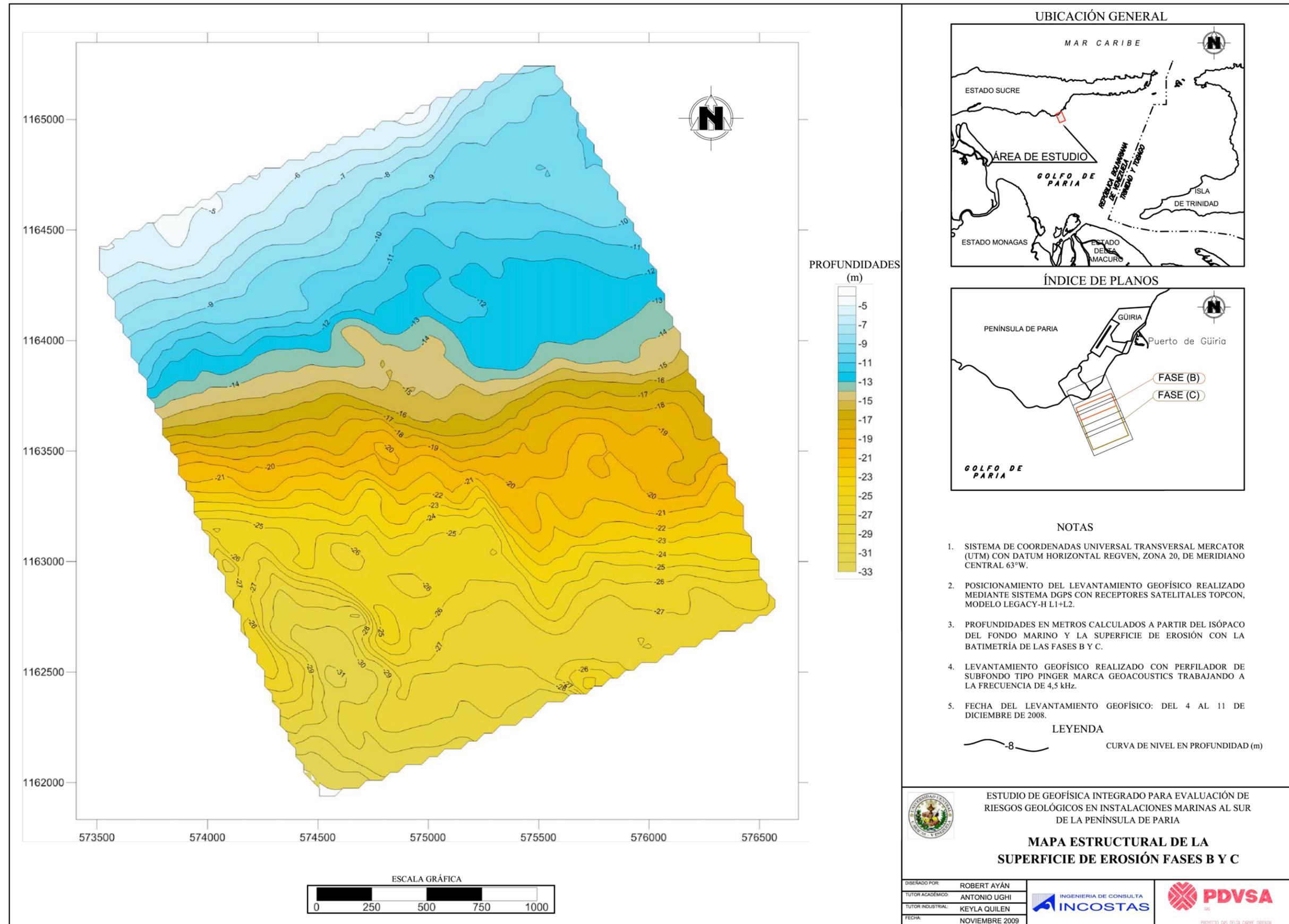
ESTUDIO DE GEOFÍSICA INTEGRADO PARA EVALUACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN INSTALACIONES MARINAS AL SUR DE LA PENÍNSULA DE PARIA

**BATIMETRÍA FASES B Y C**

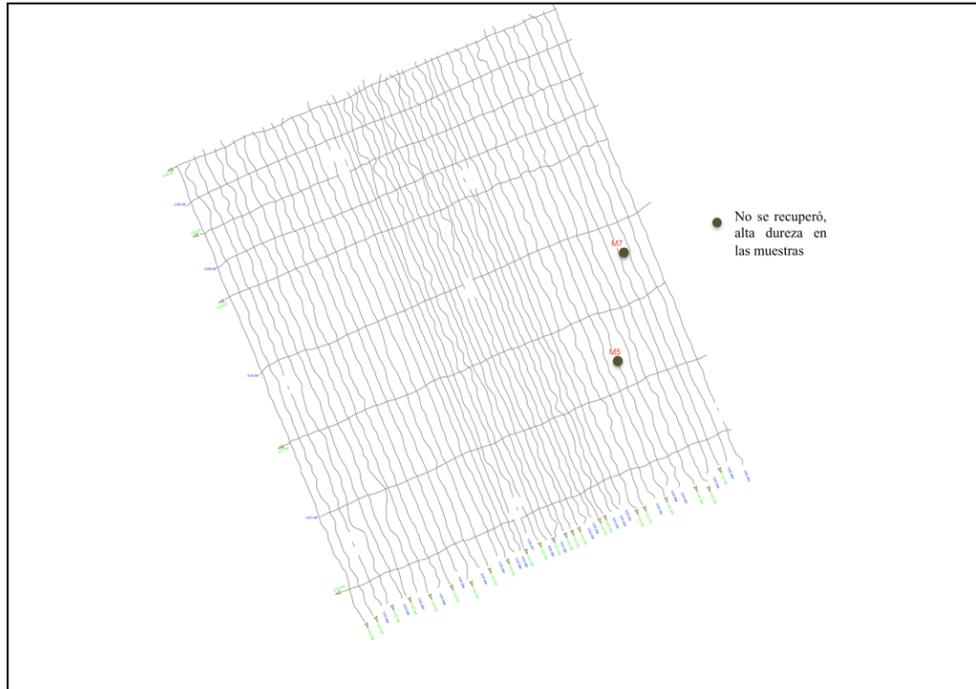
DISEÑADO POR:	ROBERT AYÁN		
TUTOR ACADÉMICO:	ANTONIO UGHI		
TUTOR INDUSTRIAL:	KEYLA QUILEN		
FECHA:	NOVIEMBRE 2009		

PROYECTO GAS DELTA CARIBE ORIENTAL

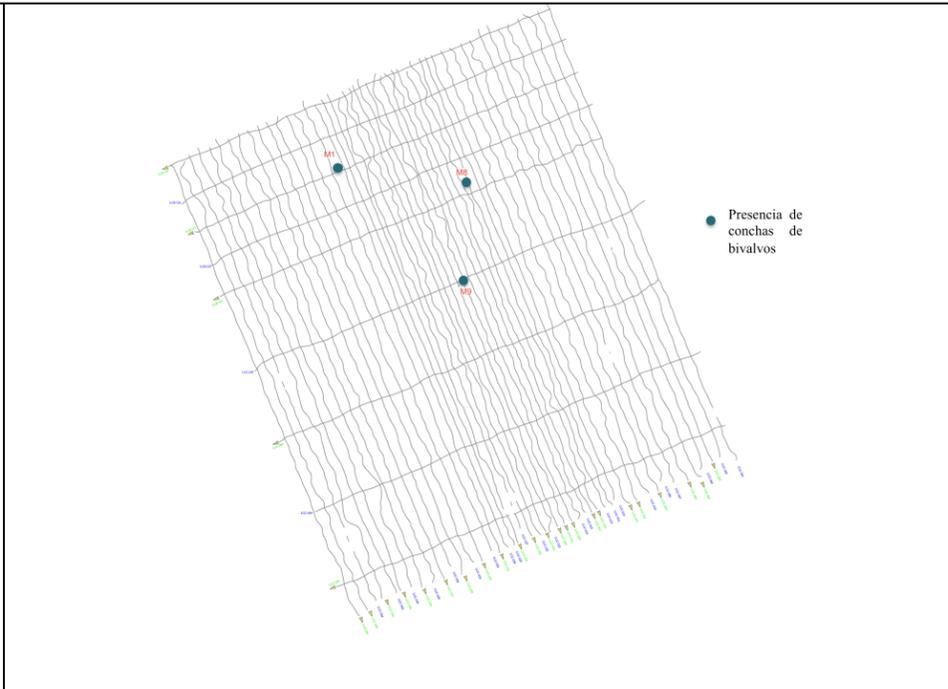
Anexo 4.2 Batimetría fases B y C



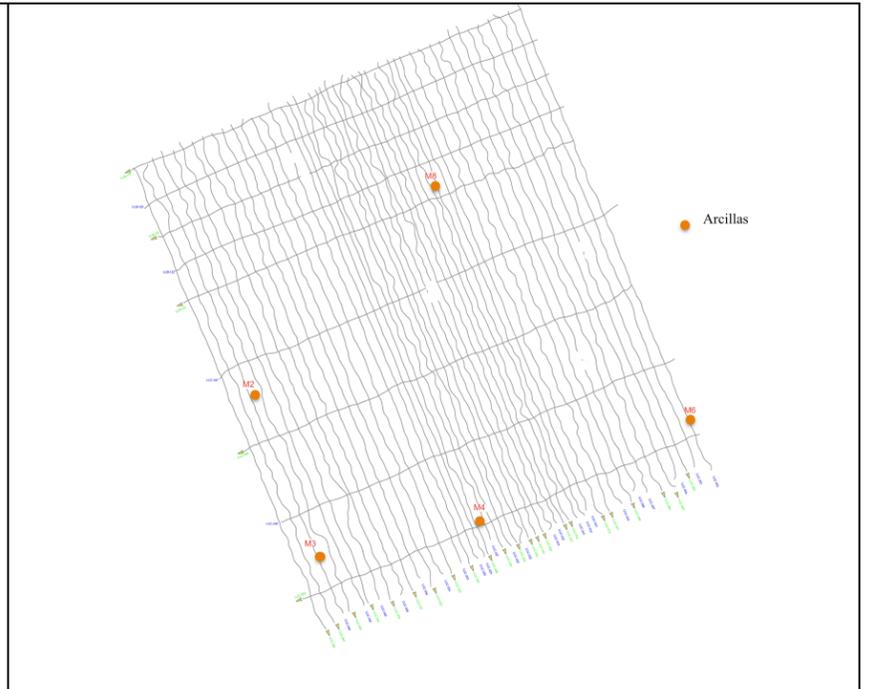
Anexo 4.3 Mapa estructural de la superficie de erosión fases B y C



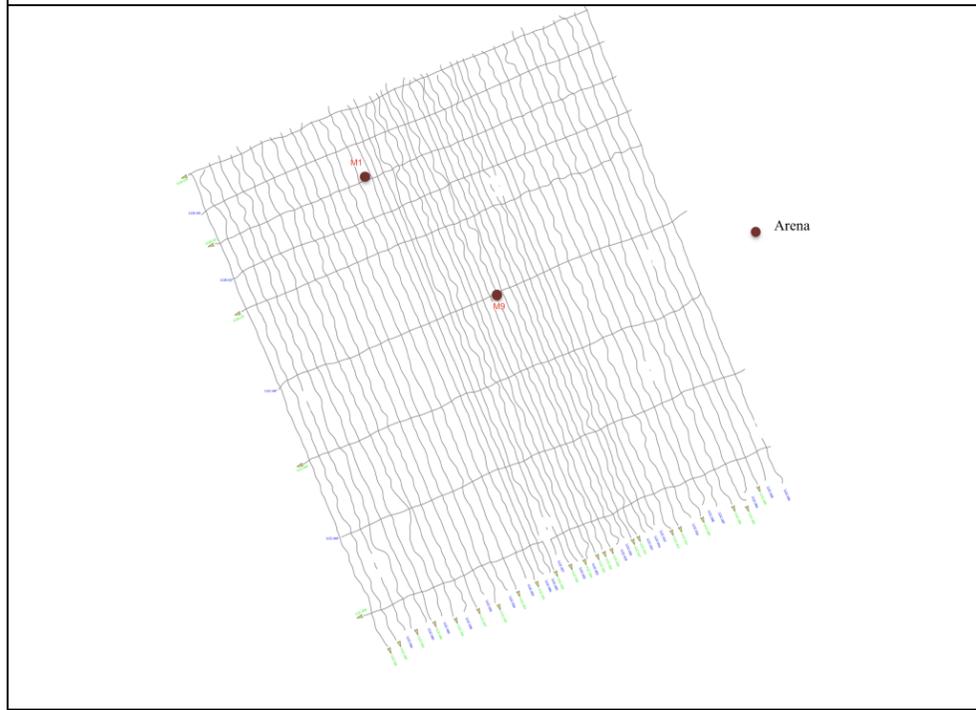
Anexo 4.4 Ubicación de las muestras sin recuperación efectiva



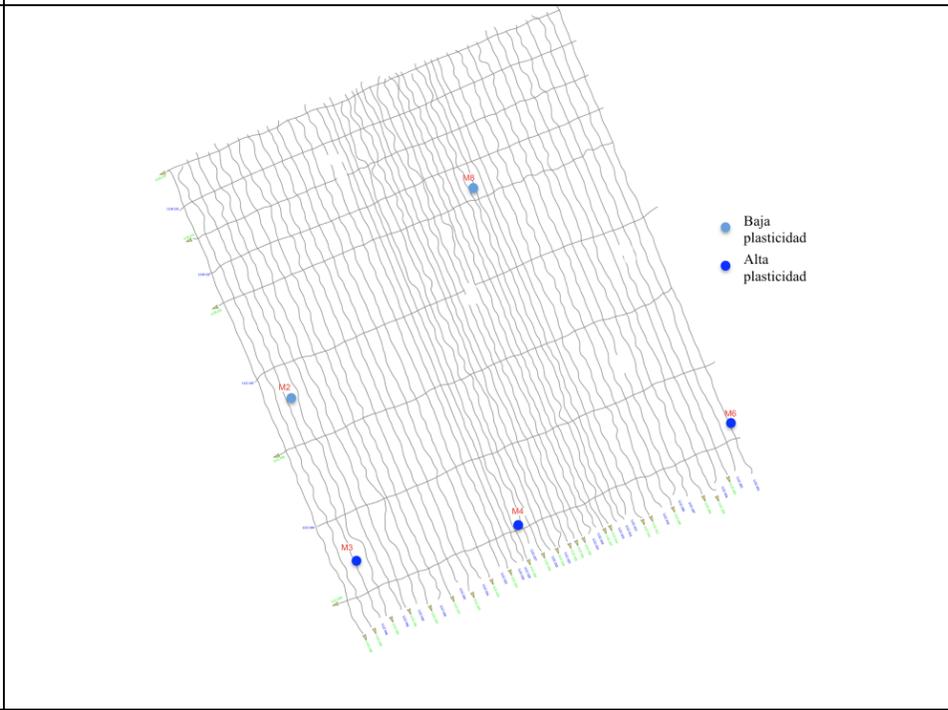
Anexo 4.5 Ubicación de las muestras con presencia de conchas



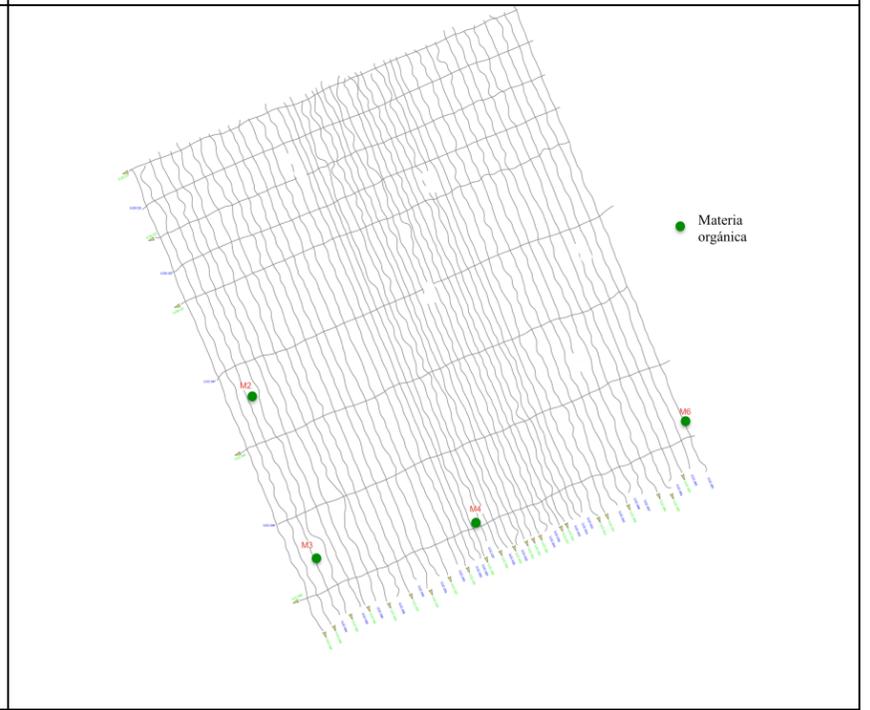
Anexo 4.6 Ubicación de las muestras con presencia de arcillas



Anexo 4.7 Ubicación de las muestras con presencia de arenas



Anexo 4.8 Ubicación de las muestras con baja y alta plasticidad



Anexo 4.9 Ubicación de las muestras con contenido orgánico