

ESTUDIO GEOFÍSICO MARINO EN GÜIRIA, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Dionisio GONZÁLEZ y José L. OLIVER

Amundaray Instrumentos Geotécnicos C.A.
Calle 8, Edif. Lion, Piso 2, Ofc. 206. La Urbina
Caracas Venezuela. Dionisio.gonzalez@aig-instrumentos.com

GONZÁLEZ, D., OLIVER, J. (2014). Estudio geofísico marino en Güiria, Estado Sucre, Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1):27-34.

Manuscrito recibido: julio 2014; corregido recibido: noviembre 2014; aceptado: noviembre 2014

RESUMEN

Se realizó un estudio geofísico para determinar las características batimétricas y estructurales del fondo marino en la localidad de Güiria, distrito Valdez, Estado Sucre. Como herramientas de adquisición se utilizaron ecosondas monohaz y multihaz, perfilador de fondo submarino y sonar de barrido lateral. Se realizaron 102 líneas de investigación perpendiculares a la línea de costa con una separación entre ellas de 10 m, así como 68 líneas transversales, paralelas a la línea de costa y separadas 50 m entre ellas.

A partir de los datos de batimetría se obtuvo el mapa de isóbatas del fondo marino en el área de estudio. En el mismo se observan curvas bastantes homogéneas en el área con orientación preferencial suroeste – noreste, con mínimos relativos, entre 3,5 y 7,5 m de profundidad hacia la parte más oeste del área (hacia la línea de costa), mostrando un gradiente o inclinación preferencial del área de estudio en esta zona de 4%. Por su parte, se estimó en 22 m la profundidad del máximo absoluto en su parte más profunda hacia el este y de 9% de la pendiente del fondo marino.

Hacia la parte más este de esta zona, se observan las irregularidades más significativas del fondo marino, interpretadas para el área de estudio. Se observa un reflector aparentemente fallado normalmente con un salto de 4 m aproximadamente, el cual pudiese ser el responsable directo del cambio de las pendientes del fondo marino en esta zona, el cual está en el orden del 50% de inclinación. A esta pequeña expresión estructural no se le atribuyen movimientos recientes ya que por encima de ésta se observa la continuidad de reflectores u horizontes bien definidos.

Palabras clave: Ecosonda monohaz, ecosonda multihaz, perfilador de fondo submarino, sonar de barrido lateral, batimetría, geofísica marina.

ABSTRACT

The study took place in Güiria, Valdez district, Sucre state. It involved the use of three complementary tests for seabed studies. For the description of the bathymetric features of the scope zone and the interpretation of geological structures we employed multibeam and single beam echosounder (the single beam is used for calibration only), also the sub bottom profiler and side scan sonar were employed for the lithological classification of the seabed. 102 survey lines were recorded perpendicular to the coast line with a separation of 10 m, also 68 cross lines separated 50 m were recorded. In the study area from the interpretation of the 96 seismic lines, it was possible to identify changes in the horizons possibly associated with the changes described by previous geotechnical studies where 8 m deep changes in the plasticity of clays (harder towards the base) are reported. The depth of this layer of hard clay will increase from east - west in the study area from 8 m to 22 m depth in the west.

Additionally, it is possible to identify changes in the reflectivity of the top of the seabed in contrast with underlying materials. Lower contrasts in the west (possibly transitional clay materials) and higher contrast at the eastern part, are possibly attributed to contrasts of reflectivity or sandier gravel (at the top).

Key Words: Single beam echo sounder, multibeam echo sounder, sub bottom profiler, side scan sonar, bathymetry, marine geophysics.

INTRODUCCIÓN

En un estudio empleando geofísica marina llevado a cabo en la localidad de Güiria, distrito Valdez, Estado Sucre (Fig. 1), se utilizaron tres métodos complementarios de estudio de suelos para la descripción de las características batimétricas de la zona de estudio, así como de las estructuras geológicas interpretadas a partir de la integración de los datos adquiridos y tomando en

consideración las características geológico-estructurales propias de la zona se llevó a cabo empleando ecosonda multihaz y monohaz (se usa como calibración de la ecosonda multihaz), además se empleó perfilador de fondo submarino y sonar de barrido lateral a fin estudiar características geológico-estructurales de la zona. El alcance del presente trabajo es describir las características batimétricas de la zona de estudio, así como las estructuras

geológicas interpretadas a partir de la integración de los datos geofísicos y geológicos, tomando en consideración las características geológico-estructurales propias de la zona.

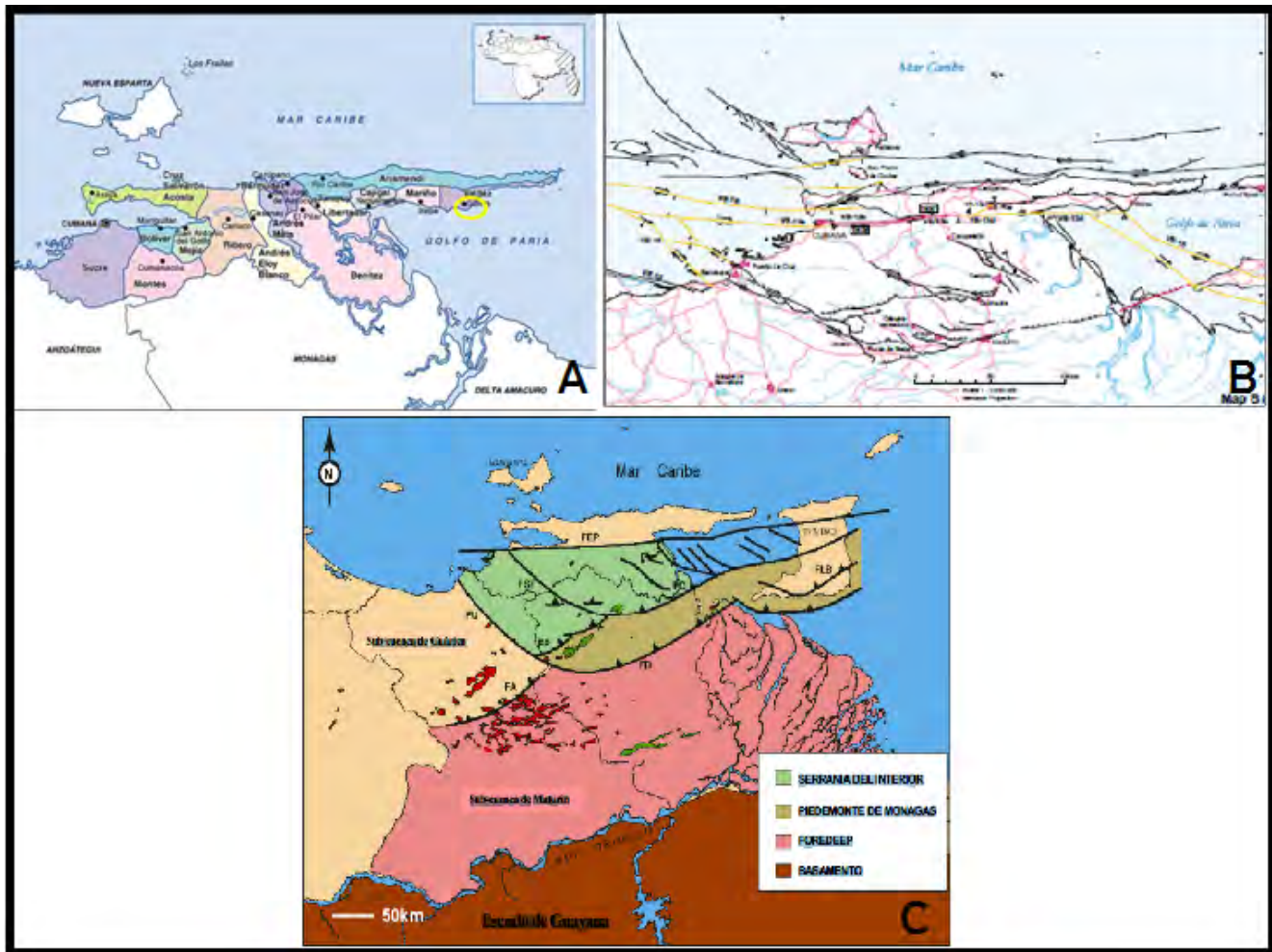


Fig. 1. a) Área de trabajo, localidad de Güiria. b) Mapa de fallas Cuaternarias en el Oriente de Venezuela. En el mapa se refleja la diversidad de fallas presente en el país (AUDEMARD *et al.* 2000). c) Principales elementos estructurales de la Cuenca Oriental de Venezuela. Abreviaturas: FEP= Falla El Pilar; FSF= Falla San Francisco; FP= Falla Piritai; FU= Falla de Urica; FLB= Falla Los Bajos; FD= Frente de deformación (Tomado de HUNG 1997).

Marco geodinámico del noreste de Venezuela

Al norte de Venezuela se encuentra la zona de interacción entre la placa Caribe moviéndose en sentido este respecto a la placa Suramericana a una tasa estimada de 20 mm/año (PÉREZ *et al.* 2001). El límite entre ambas placas no es del tipo dextral simple, sino una zona de deformación de 100 km de ancho aproximadamente, resultado de un largo proceso de colisión oblicua entre ellas (AUDEMARD, 1993), y gran parte del movimiento lateral dextral es distribuido a lo largo del sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar-Los Bajos-El Soldado, el resto de la deformación se distribuye a lo largo de las fallas costa afuera de Venezuela (Audemard *et al.* 2000).

El contacto entre las placas tectónicas del Caribe y Suramérica, al norte de Venezuela, se encuentra bajo un campo de esfuerzos caracterizado por un esfuerzo máximo horizontal de dirección NNO-SSE y un mínimo horizontal en dirección ENE-OSO (régimen transcurrente) (AUDEMARD *et al.* 2005). Este tensor de deformación

calculado a través de datos microtectónicos y confirmado por mecanismos focales, es el responsable de la cinemática actual a lo largo del cinturón de deformación, caracterizado por la presencia de numerosas fallas laterales-dextrales este-oeste, fallas dextrales en dirección NO-SE (sintética de la fallas este-oeste), fallas normales en dirección NNO-SSE, y fallas inversas ENE-OSO (subparalelas al eje de los pliegues) (AUDEMARD *et al.* 2005) (Fig. 1). Este conjunto de fallas a lo largo de las cuales se libera sísmicamente la mayor parte de la energía de deformación producto de la interacción entre las placas, ocurre a lo largo y ancho de los sistemas de fallas antes mencionados, mostrando actividad cuaternaria y sísmicidad reciente (PÉREZ & MENDOZA 1998).

La región nororiental de Venezuela, tectónicamente compleja en el sureste caribeño, experimenta dos procesos geodinámicos principales:

- Partición de deformación caracterizada por: una tendencia de acortamiento NNO-SSE en la región entera,

desde el norte de la isla La Blanquilla hasta la parte más sur del frente de corrimiento activo de la Cordillera del Interior, y desplazamiento transcurrente dextral, a lo largo del rumbo principal E-O de la falla El Pilar y del correspondiente NO-SE de las fallas Los Bajos y El Soldado, respectivamente. (PÉREZ & MENDOZA 1998).

- Un “*Slab Detachment*” asociado con una subducción tipo A incipiente responsable de la anomalía de Bouguer más grande del mundo, localizada en la cuña sur de la Cordillera del Interior. (PÉREZ & MENDOZA 1998).

Según BARRIOS (1993), en el contexto de convergencia oblicua de placas, los modelos estructurales evidencian las tres familias de fallas, las dos primeras de tipo transcurrentes absorben la componente rumbo-deslizante de la transpresión, mientras que los corrimientos absorben la componente de convergencia. En la figura 3 se pueden observar las siguientes familias de fallas:

- Fallas transcurrentes dextrales con dirección Este-Oeste, como la falla de El Pilar, la cual se extiende por 700 km desde la cuenca de Cariaco hasta el Este de Trinidad.

- Fallas transcurrentes dextrales de rumbo N 40°- 50° O, como la falla de Urica con un desplazamiento aproximado de 40 km; la falla de San Francisco, con desplazamiento cercana a 25 km y activa hasta el Plioceno; y una falla que aún presenta actividad denominada Los Bajos.

- Corrimientos con fallas de rumbo N 60°- 70° E que forman el cinturón orogénico.

A escala más local, en el campo de la ingeniería de fallas activas, reporta una serie de lineamientos con orientación NW-SE en los sedimentos cuaternarios del sur de la península de Paria que representan la prolongación del tren de accidentes dextrales de Los Bajos-El Soldado (Fig. 2).

BELTRÁN & GIRALDO (1989) describen como la franja de deformación de unos 40 km de ancho, donde se concentra lo esencial del movimiento relativo entre las placas Caribe y Sudamérica, se abre a la altura de Güiria para formar una zona más ancha donde predominan el movimiento transcurrente dextral y direcciones NE-SW y NW-SE.

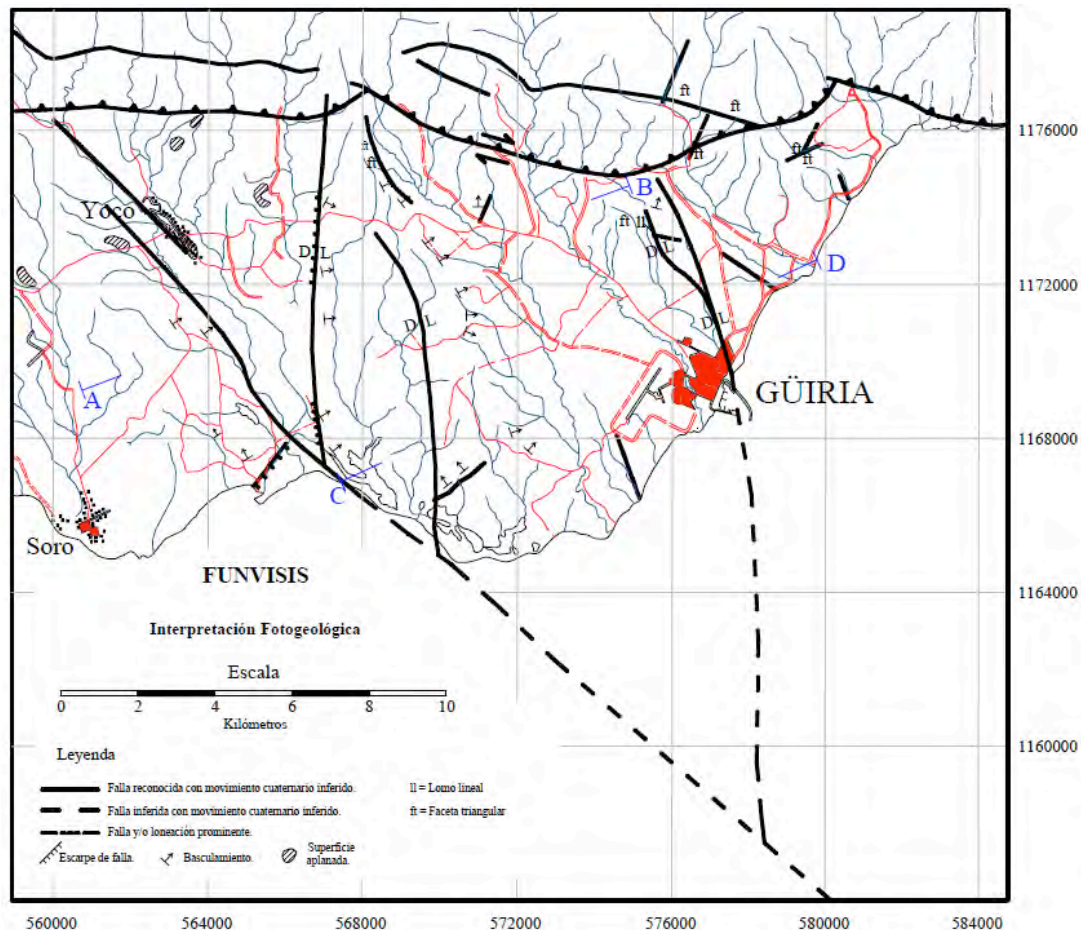


Fig. 2. Interpretación fotogeológica para la evaluación de eventuales deformaciones permanentes de origen cosísmico en el SW de Güiria (Tomado de AUDEMARD et al. 2003). En el recuadro rojo se demarca la ubicación del área del estudio.

A partir de una interpretación fotogeológica a escala 1:30.000 se identifican varias estructuras con evidencia geomorfológica de actividad reciente. Para el área de Güiria, se trata de una zona deprimida respecto a las zonas

circundantes, pues presenta elevaciones medias entre 20 y 40 m, en contraste con la serranía de Paria con elevaciones de hasta 800 m y las elevaciones del oeste de Yoco que circundan los 100 m de altura.

Basculamientos no asociados a las alineaciones principales han sido identificados con vergencia al Norte y frente al piedemonte de la serranía, lo que ha sido interpretado como el producto de la carga litostática que ejerce esta sobre los depósitos plio-pleistocenos del área. Esta característica, sumada a las múltiples y consistentes anomalías de la red de drenaje identificadas en el piedemonte, permiten afirmar el carácter activo de este accidente, conocido como el corrimiento de Tunapuy (Fig. 2).

ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Se realizaron 102 líneas de investigación perpendiculares a la línea de costa con una separación entre ellas de 10 m, así como 68 líneas transversales, paralelas a la línea de costa y separadas 50 m entre ellas. En las zonas en las que la profundidad es menor a 4 m, no fue posible realizar la adquisición en la embarcación debido a su característica de calado, en consecuencia, fue instalada la ecosonda monohaz en una embarcación de menor tamaño para grabar datos de profundidad en estas zonas someras. Dichos datos fueron unidos con los datos de multihaz para la generación del plano batimétrico. En la tabla 1 se observan los parámetros de adquisición de datos:

Tabla 1. Parámetros de adquisición

	Frecuencia de operación	Intervalo de muestreo	Muestras por lado/traza	Rango/Duración
Ecosonda Monohaz:	200 KHz	-	-	-
Ecosonda Multihaz	125 KHz	-	-	-
Sonar de barrido lateral	-	40 μ s	1248 (por lado)	38 m/50 ms
Perfilador de Fondo	-	40 μ s	1248 (por traza)	31 m/50 ms

Ecosonda multihaz

La ecosonda multihaz se utiliza para calcular la profundidad a la que se encuentra el fondo marino a lo largo de una línea, de manera que al estar en movimiento la embarcación, es posible obtener la batimetría de un área. Para ello, se vale de una fuente que genera ondas acústicas de alta frecuencia que al encontrarse con el fondo marino, son reflejadas en dirección a la superficie, donde son captadas por el receptor. Conociendo el intervalo de tiempo entre la emisión y recepción del pulso, así como la velocidad de las ondas acústicas en el agua, le permite calcular la profundidad a la que se encuentra el lecho marino.

Importación de datos en el software:

- Archivos sin procesar generados durante la adquisición con la ecosonda multihaz, en formato .rdf.
- Datos de marea recolectados con el mareógrafo, en formato txt.

- Perfiles de velocidad del sonido recolectados con el SVP (sound velocity profiler), en formato txt.
- Geometría del bote y posición del transductor y de la antena, en formato .vef.

Para lograr determinar estos valores, se calculó el error mínimo cuadrático entre las profundidades indicadas por la ecosonda para un área en común, medida a lo largo de líneas adyacentes navegadas en direcciones opuestas. Este procedimiento se realizó tanto para el transductor en la posición de estribor como el ubicado en babor. Estos archivos cuentan con las tres dimensiones espaciales de un área y además tienen asociado el tiempo (momento en el que fue adquirido cada punto). Durante la generación de estos archivos fue efectuada la corrección de marea, asociando la hora a la que fue adquirido cada punto con la magnitud de la marea existente en el mismo momento que se realizó dicha medición. Igualmente, al generar estos archivos, se integró la información de los perfiles de velocidad del sonido, lo cual permitió al software corregir el camino recorrido por el rayo, ya que al encontrar cambios abruptos de temperatura, salinidad y presión (parámetros que afectan la velocidad del rayo en el agua), éste se difracta, es decir, varía el ángulo con el que se propaga en el agua. Se aplicaron una serie de filtros para eliminar el ruido ambiental y del motor de la embarcación, de manera tal que el archivo *swath* fuese generado con información proveniente únicamente del fondo marino (Fig. 6). A partir de los Swath files generados en el paso anterior, se procedió a realizar el grid del área en estudio. Para ello, el software calculó un promedio de todas las mediciones de profundidad que caen dentro de un área de 1 m². Teniendo como base el grid del área, se generaron las curvas isóbatas del fondo marino según las especificaciones. Adicionalmente, como se grabaron en paralelo datos monohaz y multihaz, se comprobaron ambos para control de calidad.

Sonar de Barrido Lateral

El sonar de barrido lateral es una herramienta que permite obtener una imagen acústica bidimensional del fondo marino al ser capaz de identificar niveles de reflectividad, lo que permite identificar texturas relacionadas a la granulometría de los sedimentos al igual que elementos como tuberías y otros objetos, arrecifes coralinos, etc.

Todos los registros fueron grabados por un sistema geofísico integrado de adquisición digital. Al igual que para el procesamiento de los datos recolectados por la ecosonda multihaz, el software utilizado para el procesamiento de estos registros, fue GeoSwath 3.60.

Importación de datos en el Software:

- Archivos crudos generados durante la adquisición con el sonar de barrido lateral, en formato .xtf.
- Datos de marea recolectados con el mareógrafo, en formato txt.
- Geometría del bote y posición del transductor y de la antena, en formato .vef.

Los archivos *swamp files* generados a partir de datos crudos cuentan con el posicionamiento geográfico y que tienen asociado el tiempo (momento en el que fue adquirido cada punto). Durante la generación de estos archivos, fue efectuada la corrección de marea, asociando la hora a la que fue adquirido cada punto con la magnitud de la marea existente en el mismo momento que se realizó dicha medición. Se aplicaron una serie de filtros de amplitud para eliminar el ruido ambiental y del motor de la embarcación, tal que en el archivo se lograra visualizar información proveniente únicamente del fondo marino.

Por otra parte, durante el procesamiento de los archivos .xtf, se detectaron visualmente distintas estructuras, tales como tuberías con dimensiones variables y un fragmento de una embarcación naufragada, la cual se encuentra parcialmente sumergida. Gracias a que los archivos se encuentran georeferenciados, fue posible detectar la ubicación de estos elementos y ubicarlos en el área de estudio (Fig. 3).

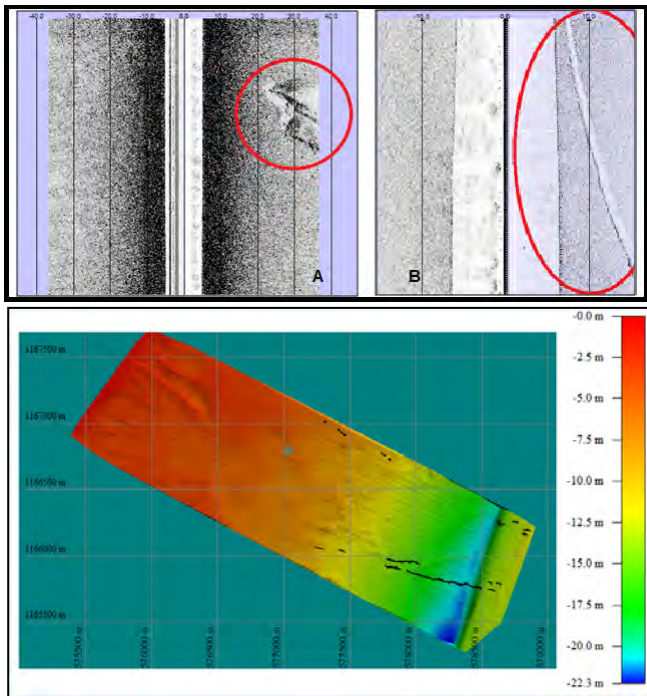


Fig. 3. Batimetría con líneas de posibles tuberías (B y segmentos negros) y embarcación parcialmente sumergida (A estrella azul) interpretadas con sonar de barrido lateral

Perfilador de fondo

El perfilador sísmico consiste en un sistema de exploración geofísica basado en los principios de la sísmica de reflexión vertical, en el que interviene una fuente sísmica generadora del frente de ondas acústicas y de uno o varios receptores de la señal reflejada. El perfilador de fondo obtiene registros de señal acústica de baja frecuencia reflejada en el subsuelo marino, permitiendo discriminar la interface entre distintas capas de materiales u horizontes. Se utilizan distintos sistemas de generación de onda y proceso de señal en función de la penetración en el subsuelo marino requerida, el ancho de banda de operación, la resolución

espectral y geométrica requeridas y la absorción de señal por el medio acuático y el subfondo explorado.

Entre sus aplicaciones, cabe destacar:

- Estudios para trazados de emisarios u otras conducciones.
- Localización de sedimentos no consolidados y cuantificación de su volumen.
- Localización de objetos interestratificados en los sedimentos.
- Estudios geotécnicos del fondo marino.
- Estudios de la dinámica sedimentaria.

El software de procesamiento utilizado fue Seismic Unix (SU), el cual es un software libre con utilitarios para tratamiento de datos sísmicos creados por el "Centre For Wave Phenomena (CWP)" de la Colorado School of Mines. SU corre en terminales de Linux.

Los datos sísmicos fueron adquiridos en formatos de grabación tipo SEG-Y.

De campo se tiene:

- El reporte del observador (bitácora de adquisición)
- Los archivos en formato SEG-Y que contienen los datos sísmicos
- Las trazas de navegación, donde se almacenan las coordenadas geográficas de todos los elementos de la adquisición en cada punto de tiro.

Tanto las trazas de navegación como los datos sísmicos debieron ser reformateadas a un tipo de formato compatible con el software de procesamiento. Gracias a las trazas de navegación (coordenadas) y los datos (secuencias de disparo, cables, etc.) fue posible realizar la asignación de geometría (asignar a cada elemento de la adquisición una coordenada). En esta etapa también debió ser realizada la edición de las trazas, que consistió en borrar las trazas que presentaron problemas durante la adquisición.

Durante la adquisición de datos marinos existen muchas fuentes de ruido aleatorio y ruido lineal, como el oleaje, los cables del arreglo, entre otras. La primera secuencia de atenuación se usa para disminuir este tipo de ruido, se realiza mediante filtros pasa banda en el dominio del tiempo y filtros FK en el dominio de frecuencias. Las pendientes eliminadas corresponden a las velocidades de onda directa hasta la velocidad de las ondas sísmicas en agua (240 m/s a 1500 m/s). Además se le aplicó *Automatic Gain Control* (AGC) a las trazas con una ventana de 0,003 s, utilizados con el fin de compensar la pérdida de energía en función del tiempo, este método de ganancia promedia las amplitudes de la traza en una ventana preseleccionada.

Uno de los mayores inconvenientes en la data sísmica marina es la presencia de múltiples. Los múltiples son energía sísmica que se ha reflejado más de una vez, de los cuales existen diferentes tipos con diversas características que afectan la data, por lo que se requiere una secuencia de atenuación fuerte para lograr disminuir su efecto negativo. Los métodos principales de atenuación de múltiples son la deconvolución predictiva y filtros en el dominio TAU-P (transformada de Radon). Las frecuencias de corte utilizadas fueron de 1000 a 5000 Hz ya que corresponden a múltiples en superficie (filtros FK).

Debido a las suposiciones de incidencia normal tomadas en cuenta para el análisis de trazas sísmicas (el coeficiente de reflexión no es el resultado de la suposición teórica porque los rayos no inciden a 90°), se debe hacer un proceso de migración para llevar los eventos a su verdadera posición en el subsuelo. Para esto se obtuvo una velocidad de reducción para los horizontes en tiempo, y al tener el tiempo doble de viaje se aplicó la ecuación de transformación de tiempo a distancia.

INTERPRETACIÓN

A partir de los datos de batimetría se generó el mapa de isóbatas del fondo marino en el área de estudio, curvas de las cuales se puede extraer tendencia en la morfología del fondo marino (Fig. 4). Se observan curvas bastantes homogéneas en el área de estudio con orientación preferencial suroeste – noreste, con mínimos relativos, entre 3,5 y 7.5 m de profundidad hacia la parte más oeste del área (hacia la línea de costa), mostrando un gradiente o inclinación preferencial del área de estudio en esta zona de 4%. Por su parte, se estimó en 22 m la profundidad del máximo relativo en su parte más profunda hacia el este y de 9% de la pendiente del fondo marino.

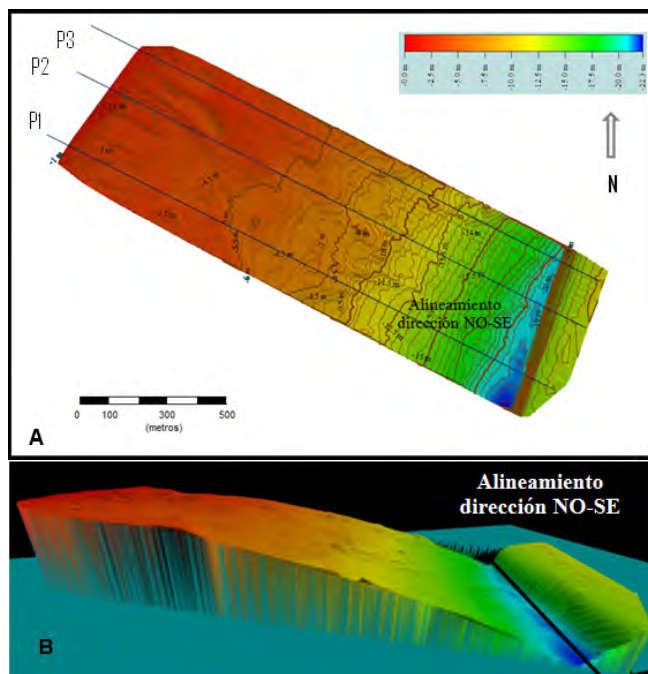


Fig. 4. a) Mapa de líneas isóbatas mediante técnica Multihaz en el área de estudio. Las líneas sólidas P1, P2 y P3 representan la ubicación y orientación de los perfiles de fondo marino al norte, centro y más sur del área de estudio. b) Vista 3D de la profundidad del fondo marino y sus irregularidades en el área de estudio

La tendencia general en la inclinación de las líneas isóbatas hacia la zona este, se ve interrumpida repentinamente por un levantamiento del fondo marino que va desde los -22 m de profundidad hasta los 14 m de profundidad, con una pendiente de 50%, aproximadamente. Debido a su cercanía al sistema de Fallas de Los Bajos-El

Soldado, este levantamiento abrupto del fondo marino puede estar relacionado directamente a la interacción entre la sedimentación del área y el movimiento transpresivo del sistema de fallas antes mencionado, al cual a su vez se le reporta con una orientación NO-SE (Audemard *et al.*, 2003).

Con el perfilador de fondo submarino se ha realizado la interpretación sísmica de las líneas adquiridas en el área de estudio, 102 con dirección preferencial noroeste – sureste llamadas “longitudinales” y 46 que llamaremos “transversales”, las cuales son perpendiculares a las primeras y llevan una dirección preferencial suroeste – noreste.

En términos generales, y debido a las estructuras que se interpretan tanto en las líneas longitudinales como en las transversales, el área de estudio se puede dividir en dos zonas preferenciales que definiremos como: “Zona Oeste” y “Zona Este”, las cuales corresponden a las zonas definidas anteriormente, y cuyos detalles se discuten a continuación:

Zona oeste

Esta es la zona más cercana a la línea de costa hasta unos 1500 - 2000 m en sentido longitudinal, la cual se muestra bastante homogénea, con profundidad del fondo marino entre 4 y 13 m. Existe un cambio en la reflectividad de los horizontes a los 400 m desde la costa, lo cual puede atribuirse a cambios en la composición litológica de los materiales que componen el subsuelo marino, posiblemente de arcillosos a arenosos en esa área.

Se sabe con anterioridad, a partir de resultados geotécnicos previos (divulgación no autorizada) para el área de estudio, de la presencia de sedimentos arenosos y arcillosos hasta los primeros 8 m de profundidad, por debajo de los 8 m de profundidad, se convierten en arcillas de alta plasticidad.

A partir de la anterior descripción, es posible realizar comparaciones similares utilizando los resultados del perfilador sísmico del fondo marino para la “Zona Oeste”. En la Figura 6 se observa la interpretación del fondo marino y por debajo de este a unos 8 m aproximadamente, en su parte más somera, un reflector que puede ser atribuido al contraste de impedancia entre las capas arenosas - arcillosas más someras y las arcillas duras definidas en un perfil geotécnico (divulgación no autorizada). La tendencia de este último reflector es aumentar su profundidad hacia el este de la zona en donde alcanza su máximo de 17 m de profundidad.

Zona este

La Zona Este se definió desde la distancia 1500 m hasta los 3000 m aproximadamente, hacia el este. En esta zona se logran interpretar, en comparación con la Zona oeste, más elementos estructurales (cambios en la pendiente y dirección de estratificación) y otros elementos antrópicos como lo es la probable ruta de una tubería. En la figura 5 se muestra un ejemplo de los elementos interpretados en esta zona. La profundidad del fondo marino se interpretó desde los 13 m hasta los 21 m en su parte más profunda, cambiando de pendiente para levantarse hasta los 14 m de profundidad (Fig. 5).

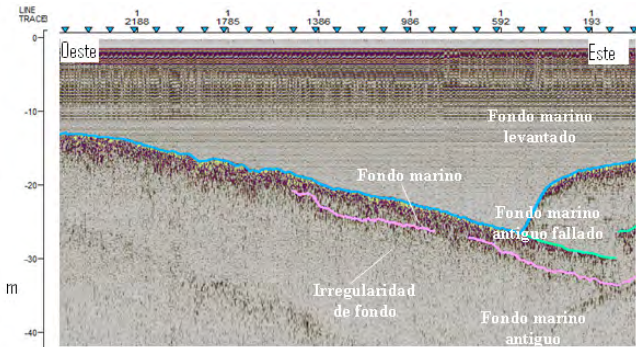


Fig. 5. Ejemplo de horizontes interpretados en la Zona Este en la línea longitudinal #002 en ms.

Hacia la parte más oriental de esta zona se observan las irregularidades más significativas del fondo marino, interpretadas para el área de estudio (Fig. 5). Como se mencionó anteriormente, en esta parte de la “zona este” se observa un importante cambio en la pendiente del fondo marino (observado en el mismo lugar en el mapa de curvas isóbatas. Adicionalmente, correspondiente a la línea sísmica transversal más hacia el este adquirida en el área, se puede observar un reflector aparentemente fallado normalmente, con un salto de 4 m aproximadamente, el cual pudiese ser el responsable directo del cambio de las pendientes del fondo marino en esta zona. Esta pequeña expresión estructural no se le atribuye movimientos recientes ya que por encima de ésta se observa la continuidad de reflectores u horizontes bien definidos, que de hecho están marcando cambios en la pendiente de estratificación de la zona luego de producido el fallamiento (Fig. 5).

Por su parte la ruta de la posible tubería, interpretada en tope del fondo marino (Fig. 5) lleva una dirección NE-SO y se logra interpretar hasta la línea sísmica transversal #33, ubicada a unos 2000 m de la línea de costa, lugar en donde desaparece sin evidencias sísmicas de permanecer enterrada bajo la misma ruta.

En resumen, se puede decir que en los 3 km² de área de fondo marino estudiado, según las técnicas de ecosonda de barrido multihaz (batimetría) y el perfilador sísmico de fondo marino (SBP), se pueden observar dos tendencias bien definidas en la geomorfología del fondo marino. La primera, ubicada prácticamente desde la línea de costa al oeste del área y hasta unos 2000 m en dirección oeste, posee una ligera inclinación de 4% de pendiente, incrementándose hacia el este hasta los 9% de inclinación (aproximadamente 3000 m de la línea de costa), lugar donde se consigue su máxima profundidad alrededor de los 21 a 22 m, para luego incrementar abruptamente su pendiente, cercana a 50% de inclinación, en una elevación que llega a los 14 m de profundidad en menos de 200 m distancia. Esta abrupta inclinación puede ser debida al carácter sin-sedimentario de un fallamiento normal observado en las líneas sísmicas tanto longitudinales como transversales de la zona, característico de los regimenes transtensivos descritos para el área de estudio. A partir de las líneas sísmicas, en donde de manera similar al mapa de isóbatas se observa una orientación preferencial de este levantamiento abrupto en

dirección NO-SE, el cual debe relacionarse directamente al sistema transtensivo del sistema de fallas de Los Bajos-El Soldado descritos en AUDEMARD *et al.* (2005) (Fig. 6).

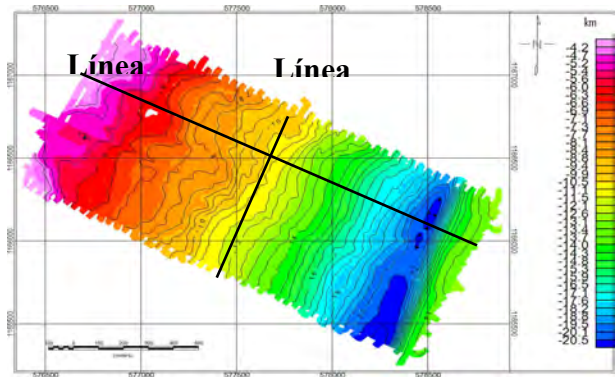


Fig. 6. Mapa de contornos de profundidad del fondo marino interpretado a partir de las líneas longitudinales y transversales de la técnica SBP en el área de estudio.

Por último, se puede decir que en las líneas sísmicas interpretadas, se observa un cambio en las amplitudes y el contraste reflectivo asociado a estas, que puede ser atribuido a cambios de materiales del fondo marino. En la figura 7 se muestra como ejemplo de ello la longitudinal # 002 en su zona más oeste (cercana a la línea de costa). Se observa un cambio de las intensidades reflectivas entre los materiales del tope del fondo marino y los más profundos. A partir de los resultados geotécnicos se sabe que la composición del subsuelo somero en profundidad hasta los 8 m está constituido básicamente por arcillas de baja plasticidad que en contraste con los sedimentos del tope del fondo marino pueden tener diferentes grados de reflectividad. Se observa como hacia la zona más oeste (línea de costa) los estratos tienen una disposición diferente a los estratos del este, inclusive afirmando que estos estratos tienen un contraste más marcado. Esto último hace suponer que en dirección “este” existe un mayor contraste de reflexión entre los materiales que componen el fondo marino somero, el cual puede ser de materiales más arenosos en el tope a más arcillosos en profundidad, mientras que en las zonas cercanas a la línea de costa las amplitudes de reflexión son menores suponiendo poco contraste entre materiales de composición arcillosa.

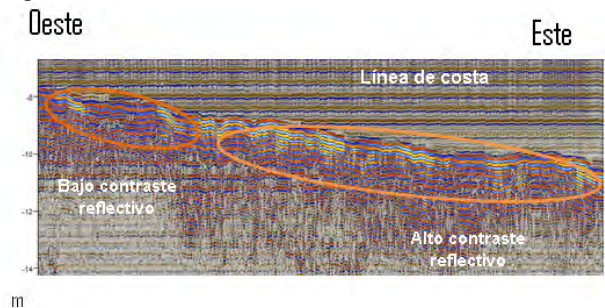


Fig. 7. Sección sísmica longitudinal #002. Se muestra un cambio en los coeficientes de reflexión en sentido oeste – este, suponiendo cambios de materiales de arcillosos a más arenosos en el mismo sentido.

CONCLUSIONES

A partir de los datos de batimetría se obtuvo el mapa de isóbatas del fondo marino en el área de estudio. En el mismo se observan curvas bastantes homogéneas en el área con orientación preferencial suroeste – noreste, con mínimos relativos, entre 3,5 y 7,5 m de profundidad hacia la parte más oeste del área (hacia la línea de costa), mostrando un gradiente o inclinación preferencial del área de estudio en esta zona de 4%. Por su parte, se estimó en 22 m la profundidad del máximo absoluto en su parte más profunda hacia el este y de 9% de la pendiente del fondo marino.

Hacia la parte más este de esta zona, se observan las irregularidades más significativas del fondo marino, interpretadas para el área de estudio. Se observa un reflector aparentemente fallado normalmente con un salto de 4 m aproximadamente, el cual pudiese ser el responsable directo del cambio de las pendientes del fondo marino en esta zona, el cual está en el orden del 50% de inclinación. A esta pequeña expresión estructural no se le atribuye movimientos recientes ya que por encima de ésta se observa la continuidad de reflectores u horizontes bien definidos.

A partir de la interpretación de las 96 líneas sísmicas, se logró identificar cambios en los horizontes en profundidad posiblemente asociados a los cambios descritos por estudios geotécnicos previos donde describen a partir de los 8 m de profundidad cambios en la plasticidad de las arcillas, más duras hacia la base. La profundidad de esta capa de arcillas duras va incrementándose de dirección este – oeste en el área de estudio desde los 8 m de profundidad a 22 m en la zona oeste. Adicionalmente, es posible identificar cambios en las reflectividades del tope del fondo marino en contraste con los materiales subyacentes. Se observan menores contrastes en la zona oeste (posiblemente transiciones de materiales arcillosos) y mayores contrastes hacia la parte este, atribuidos posiblemente a contrastes reflectivos de materiales más arenosos o gravas (en el tope) con materiales más arcillosos en profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

- AUDEMARD, F. A. 1993. *Néotectonique, Sismotectonique et Aléa Sismique du Nord-ouest du Vénézuéla (Système de failles d'Oca-Ancón)*. Ph.D. Tesis, Montpellier II (U.S.T.L.). Francia, 369 pp.
- AUDEMARD F., M. MACHETTE, J. COX, R. DART & K. HALLER. 2000. *Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions*. US Geological Survey Open-File Report 00-0018. Include map at scale 1:2,000,000 and 78-page report.
- AUDEMARD, F. A., Romero, G. Rendón, H. Cano, V. 2005. Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from microtectonic data and focal mechanism solutions. *Earth Sci. Rev.* 69(3-4):181-233.
- BARRIOS F. 1993. *Sequence stratigraphy of the Monagas Area, Cuenca Oriental de Venezuela*. Informe Técnico, Archivos de Geología, Lagoven, Inédito.

PÉREZ O. & J. MENDOZA. 1998. Sismicidad y tectónica en Venezuela y áreas vecinas. *Física de la Tierra*, Vol. 10, Editorial Complutense, Madrid.

PÉREZ O., R. BILHAM, R. BENDICK, N. HERNÁNDEZ, M. HOYER, J. VELANDIA, C. MONCAYO & M. KOZUCH. 2001. Velocidad relativa entre las placas del Caribe y Sudamérica a partir de observaciones dentro del sistema de posicionamiento global (GPS) en el norte de Venezuela. *Interciencia*, 26(2):69-74.