

SINGULARIDADES GEOLOGICAS EXPLORADAS CON EL MINISUBMARINO DEL "CALYPSO" EN VENEZUELA

JORGE BUTENKO, JEAN PAUL BARBOT Y JORGE DAZA
Departamento de Ingeniería General
INTEVEP, S. A.

RESUMEN: Este artículo presenta los resultados de las investigaciones geológicas submarinas realizadas con el minisubmarino (*Soucoupe Plongante SP 350*) y buceo autónomo desde el barco oceanográfico *Calypso* (*Costeau Society, Inc.*). Las áreas investigadas fueron: Delta del Orinoco, Norte de Paria y Golfo Triste. En el Delta del Orinoco se estudió un escarpe regional ubicado entre 90 y 130 m de profundidad de agua, que correspondería a una antigua línea de costa de fines del Pleistoceno. En la plataforma continental, al norte de la Península de Paria, se hicieron reconocimientos de formaciones coralinas fósiles y del substrato limolítico entre 160 y 110 m de profundidad. Hacia el Este de las formaciones coralinas, en 120 a 130 m de profundidad, donde se encuentran depósitos de arcillas blandas en forma de "olas de fango", se hizo un reconocimiento del "frente de una ola" que resultó ser muy inestable y potencialmente móvil. En Golfo Triste se investigó la naturaleza de un escarpe con pendiente entre 30° y 45°, que sobresale en un fondo de 98 m de profundidad de agua, donde aparecen también pináculos que afloran 2 ó 3 m sobre los sedimentos sueltos. Una muestra recuperada en el borde del escarpe se identificó como una lava vesicular (escoria volcánica) lo que plantea una interrogante acerca del conocimiento geológico de esta región.

ABSTRACT: This paper presents the results of submarine geological investigations conducted with submersible (*Soucoupe Plongante SP 350*) from the research vessel *Calypso* (*Costeau Society, Inc.*). The areas investigated were: Continental Platform off the Orinoco Delta, North of Paria Shelf and Golfo Triste. Off the Orinoco Delta, the purpose was to study a regional scarp lying between 90 and 130 m water-depth, believed to correspond to an old coastline from the end of the Pleistocene. On the North of Paria Shelf, fossil coral reefs and the limestone substratum were investigated, in depths ranging from 60 to 110 m. East from those reefs, at depths between 120 and 130 m, the study of soft clays deposited in form of "mud waves" pointed out their high instability and potential for movement. The main object of the investigations in Golfo Triste, was to define the nature of a steep scarp (30° to 45°), lying at 98 m depth, where several 2-to 3-m high pinnacles intruding through the loose sediments were identified on seismic profiles. A sample recovered on the edge of the scarp consisted of a vesicular lava (volcanic scoria), thus raising questions about the geological knowledge of this region.

1. INTRODUCCION

La Plataforma Continental del Nororiente de Venezuela (Delta del Orinoco, Golfo de Paria y Norte de Paria) y la zona del Golfo Triste en la Plataforma Continental Centro Occidental (ver Fig. 1) han sido extensamente exploradas por INTEVEP, S. A. mediante sismica de reflexión de alta resolución y muestreo geológico del fondo marino. Localmente, y de acuerdo a las necesidades de

información geotécnica, se han realizado sondajes estratigráficos hasta 150 m de profundidad. Toda esta información ha permitido conocer, en términos generales, la naturaleza geológica del fondo y subfondo marinos en las áreas mencionadas. Sin embargo, algunos rasgos geológicos destacados no han podido ser definidos con exactitud debido a que, desde el punto de vista de la interpretación de registros sísmicos, existe más de una solución, o bien la información no es suficiente para una conclusión definitiva. En el caso de fondos rocosos, la recuperación de muestras

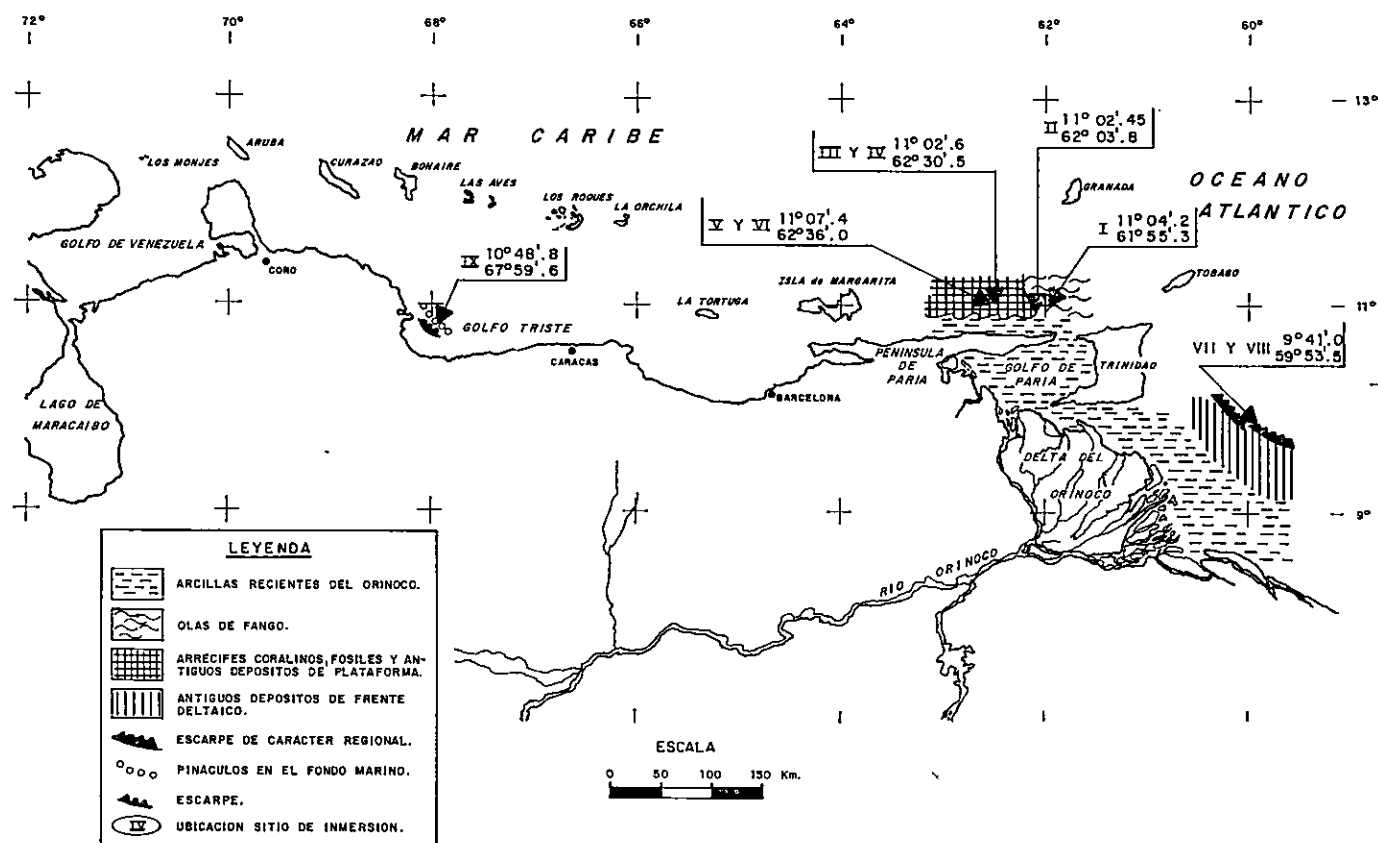


Fig. 1. Plano de ubicación.

con el pistón gravitacional es casi nula, haciendo aún más difícil la interpretación de la información de perfiles sísmicos.

El reconocimiento directo, con la posibilidad de fotografiar y tomar muestras seleccionadas en sitios pre-definidos, es ciertamente la técnica más recomendable para evaluar integralmente la información en un área de excepcional interés geológico. El presente trabajo pretende, por una parte, demostrar la utilidad de una observación directa del fondo marino en conexión con otras técnicas de exploración y, por la otra, presentar los resultados de dicha exploración como un aporte al conocimiento geológico de la plataforma continental.

2. ZONIFICACION DEL FONDO MARINO Y SELECCION DE RASGOS GEOLOGICOS RESALTANTES PARA LA EXPLORACION.

2.1. Delta del Orinoco:

A partir de la desembocadura deltaica y hasta una distancia entre 35 y 80 km de la costa (ver Fig. 1), se

extiende una cuña de fango cuyo espesor máximo alcanza unos 50 m. Esta cuña de fango está compuesta, esencialmente, de arcillas orgánicas de alta plasticidad y limo inorgánico provenientes de la descarga del Río Orinoco. Parcialmente, la fracción arcillosa proviene del Río Amazonas transportada por la Corriente de Guayana que se desplaza de este a oeste. La sedimentación actual caracterizada por esta cuña de fango desaparece al alcanzar profundidades de agua de 70 m. Hacia el noreste afloran los sedimentos subyacentes a la cuña de fango, compuestos por una mezcla de arena, limo y arcilla, derivados de antiguos depósitos deltaicos, según se infiere de los perfiles sísmicos disparados en la zona. Estos sedimentos terminan en un acantilado de carácter regional ubicado entre 90 y 130 m de profundidad de agua. A los pies de este acantilado aparecen depósitos deslizados que caracterizan el talud continental superior (1) (2).

El acantilado fue detectado durante los levantamientos sísmicos, y la interpretación de los registros (ver Fig. 2) permitió suponer que se trataba de una superficie erodada, probablemente asociada a una antigua línea de

costa, correspondiente a un nivel de mar bajo del final del Pleistoceno. La verificación de esta suposición resulta muy importante para reconstruir el esquema de sedimentación deltaica durante la transgresión del Holoceno, a partir del nivel del mar bajo de fines del Pleistoceno. Por esta razón, se decidió que una observación geológica directa con un minisubmarino permitiría verificar los supuestos derivados de la interpretación de perfiles sísmicos.

2.2. Norte de Paria:

En el sector noroccidental y central de la plataforma continental, al norte de la Península de Paria (Fig. 1), se localizan sedimentos correspondientes a depósitos probablemente holocénicos (3). En el noreste, el relieve es relativamente suave y los sedimentos están compuestos por arenas densas de grano medio a grueso, con restos de organismos calcáreos. En el sector central, el relieve es muy abrupto y el fondo marino está formado por limolitas fuertemente cementadas y corales (ver Fig. 3). De acuerdo a los perfiles sísmicos y las muestras de fondo marino, este sector es muy extenso y llama la atención que los corales se ubiquen principalmente entre 60 y 110 m de profundidad de agua. Los análisis de las muestras recuperadas indican que los corales son fósiles y fueron formados, posiblemente, durante el transcurso de la transgresión del Holoceno. Una observación directa con minisubmarino y buceo autónomo es la mejor forma de estudiar en detalle estas formaciones; por lo tanto, ésta fue otra de las áreas seleccionadas para nuestra exploración.

Hacia el este y sureste, las formaciones coralinas están cubiertas por fango de naturaleza arcillosa derivado del arrastre de sedimentos provenientes de la plataforma deltaica del Río Orinoco y del Golfo de Paria (ver Fig. 1). El fango se encuentra rellenando las depresiones erodadas en la limolita y las formaciones coralinas y también cubriendo extensas áreas de superficies relativamente planas. Lo singular en estos depósitos arcillosos lo constituyen las bruscas interrupciones en la continuidad del estrato. Estas interrupciones son erráticas y dan origen a una morfología que hemos denominado "olas de fango", que tienen alturas de hasta 20 m y longitudes entre 10 m y 1.500 m (ver Fig. 4). Aún no tenemos una explicación satisfactoria sobre el origen de estas "olas de fango", y lo que llama poderosamente la atención es el hecho de que el frente de las "olas" forma una pendiente inestable de acuerdo a lo que puede observarse en los perfiles sísmicos, lo que permite suponer que estas "olas de fango" son activas o potencialmente móviles. Observar el desarrollo de la pen-

diente en el frente de una "ola de fango" fue otro de nuestros propósitos en la observación del fondo marino con el minisubmarino.

2.3. Golfo Triste:

La plataforma continental de Golfo Triste (ver Fig. 1) se caracteriza por un fondo marino de suave pendiente donde predominan las arenas densas parcialmente cementadas y arcillas preconsolidadas. Localmente, estos materiales densos se encuentran cubiertos por una delgada capa de fango que corresponde a la escasa sedimentación actual proveniente de la descarga de los cauces fluviales de la región. Entre 90 y 120 m, siguiendo una alineación noroeste-sureste, existe una franja de pináculos que sobresalen 2 ó 3 m sobre el fondo marino (4). En esta zona no se sacaron muestras de fondo marino y la naturaleza de estos pináculos no pudo ser definida sólo en base a los perfiles sísmicos (ver Fig. 5).

Inmediatamente al suroeste de los pináculos y en el centro del área investigada existe un escarpe que, aparentemente, marca el máximo avance de la sedimentación holocénica. La naturaleza misma del escarpe tampoco pudo ser definida sólo en base a los perfiles sísmicos (ver Fig. 6) y, aparentemente, existe una contradicción con las propiedades acústicas de los sedimentos: las altas frecuencias del orden de 3,5 kHz sólo penetrarían sedimentos blandos y/o sueltos, pero estos sedimentos no deberían depositarse en pendientes de más de 30°, como ocurre en el escarpe. Con el fin de obtener más información acerca del escarpe, se planificó una inmersión con el minisubmarino.

3. TRABAJOS DE CAMPO.

Todas las singularidades geológicas definidas en los puntos anteriores habían sido localizadas mediante equipo de radionavegación Argo (T. M. Cubic Western) y Miniranger (T. M. Motorola), utilizados durante los levantamientos sísmicos. La reubicación de los sitios de inmersión se hizo utilizando el sistema de navegación por satélite del *Calypso*, verificando el fondo marino con un sonar de barrido lateral y un eco-sonda de baja frecuencia (3,5 kHz).

Los sitios a menos de 60 m de profundidad fueron explorados mediante buceo con equipo autónomo para filmación, fotografía, recuperación de muestras de fondo y estudios geológicos *in situ*. Los sitios a más de 60 m de profundidad fueron explorados utilizando el minisub-

marino "Soucoupe Plongante" SP 350 provisto de equipo de filmación, fotografía y brazo mecánico para la recuperación de muestras.

4. RESULTADOS DE LAS EXPLORACIONES.

4.1. Delta del Orinoco:

Los primeros depósitos deltaicos holocénicos de la plataforma continental, antepuestos al acantilado, están bien caracterizados por las muestras obtenidas con pistón gravitacional y de las cuales podemos destacar: una arena limosa cuarcífera de grano medio a grueso, angular a subredondeando, incluyendo fragmentos de conchas de pelecípodos, gasterópodos, briozoarios, espículas de esponjas y equinoideos, con algunos granos fosforizados y limo verde calcáreo con inclusión de foraminíferos.

También es importante señalar la existencia de una marga coquinoide con abundante material limoso calcáreo, de color verde con inclusiones de fragmentos de conchas, pelecípodos, equinoideos, gasterópodos, corales y microfauna.

Hacia el borde del acantilado, el espesor de sedimentos sueltos disminuye y comienzan a aflorar capas de arcillas muy duras y parcialmente cementadas (Fotografía 1). En el borde mismo del acantilado (Fotografía 2), se encuentran areniscas fuertemente oxidadas, posiblemente por exposición subaérea, que constituyen la base de formaciones

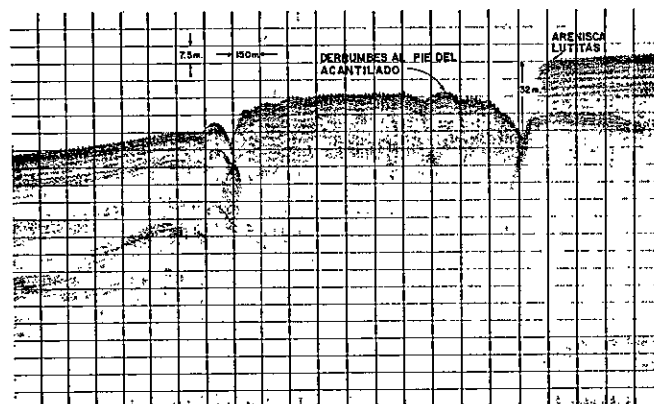


Fig. 2. Perfil acoustipulse - Acantilado regional costa afuera Delta del Orinoco.

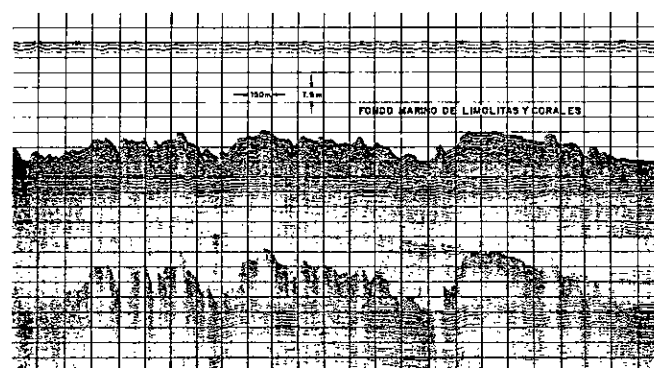


Fig. 3. Perfil acoustipulse - Fondo marino de limolitas y corales en el norte de Paria.

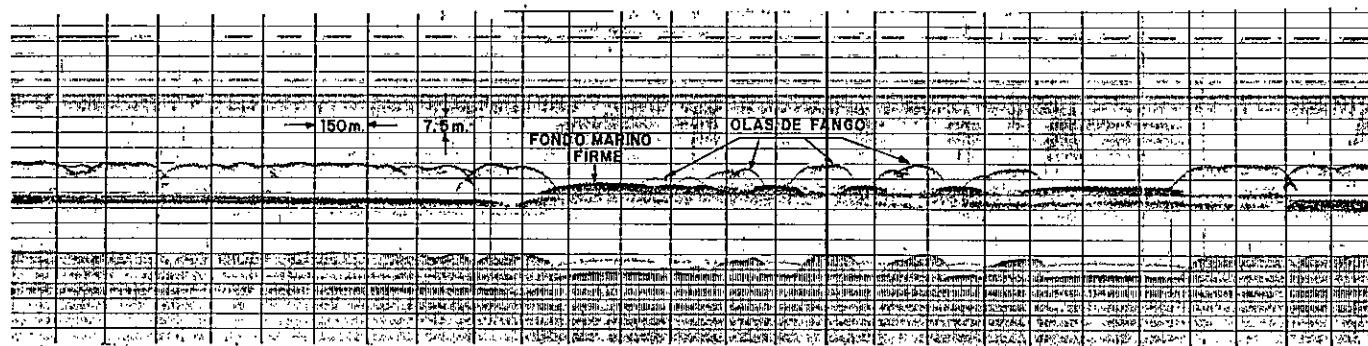


Fig. 4. Perfil de penetrador de fango - Depósitos de arcillas recientes en el norte de Paria.

coralinas dispersas. Esta arenisca está formada principalmente por granos medios a gruesos de cuarzo hialino y lechoso subredondeados, y fragmentos subredondeados de conchas de pelecípodos y gasterópodos en una matriz fina calcárea.

La Fotografía 3 muestra el corte vertical en el borde del acantilado ubicado a 125 m de profundidad de agua,

donde se aprecia una caída vertical de 22 m. Localmente, esta caída vertical puede llegar hasta 45 m.

En la Fotografía 4 se aprecia claramente la erosión diferencial de las capas estratificadas en la pared del acantilado. Esta Fotografía muestra una morfología típica de un acantilado en retroceso, con bloques en un equilibrio inestable.

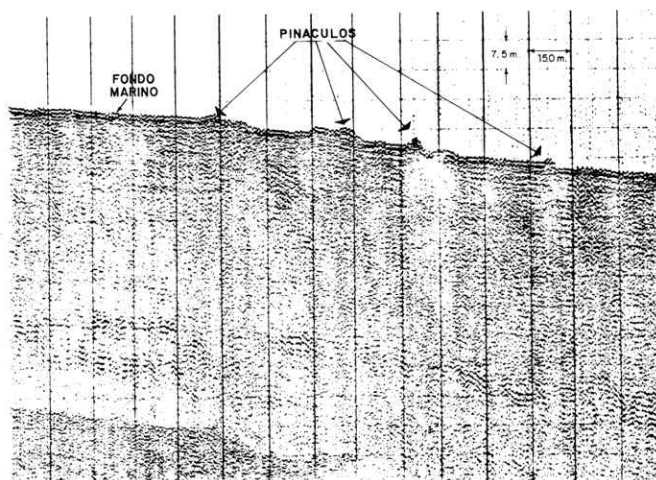


Fig. 5. Perfil acoustipulse - Pináculos en el fondo marino de Golfo Triste.

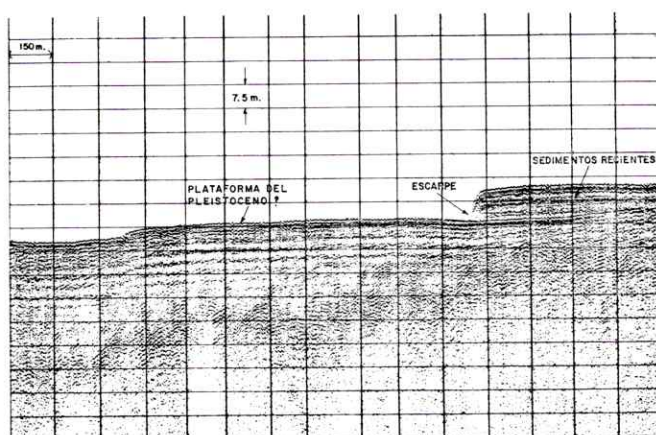


Fig. 6. Perfil acoustipulse - Escarpe en Golfo Triste.

La base del acantilado aparece en la Fotografía 5 donde se ve claramente el comienzo de los depósitos deslizados detectados con la sísmica de alta resolución (ver Figuras 2 y 7).

La recuperación de muestras en la pared del acantilado con el brazo del minisubmarino resultó muy difícil. Una pequeña cantidad de lutita amarilla, con indicaciones de oxidación, no tenía suficiente carbono como para determinarle la edad mediante C-14.

Toda la información disponible hasta la fecha parece indicar que el acantilado fue desarrollado como un acantilado costero en retroceso durante la ocurrencia de un nivel de mar bajo a fines del Pleistoceno; las formaciones coralinas en el borde de dicho acantilado y los antiguos depósitos deltaicos en la plataforma se desarrollaron durante la transgresión del Holoceno.

4.2. Norte de Paria:

Las formaciones de limolita y corales en la zona central de la plataforma en el norte de la Península de Paria, quedan bien representadas por los sitios explorados. La Figura 8 corresponde al fondo marino coralino más profundo, ubicado en el límite oriental de la zona que, globalmente, actúa como una barrera de contención de los sedimentos finos arrastrados por las corrientes marinas desde el este (ver Figura 1, Inmersión II). Esta formación está caracterizada por un substrato limolítico con abundantes bivalvos y algas, fuertemente cementado y parcialmente recristalizado, sobre el cual se fijan los corales fósiles. Todo el conjunto aparece intensamente erodado, formando cavidades tan extensas que incluso permiten la entrada del minisubmarino.

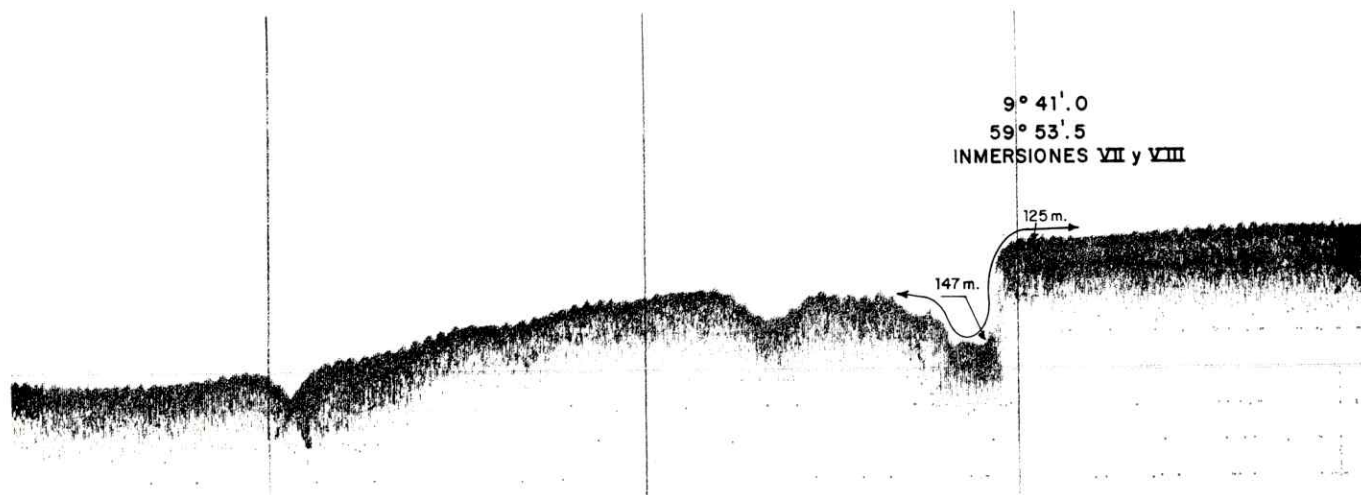


Fig. 7. Perfil de penetrador de fango - Inmersiones en Delta del Orinoco.

Hacia la parte central de la zona, las formaciones coralinas son masivas y extensas (ver Figuras 1 y 9, Inmersiones III y IV). La Fotografía 6 corresponde al fondo marino ubicado a 73 m de profundidad, compuesto por una arenisca calcárea fuertemente cementada, cubierta por extensos corales fósiles; parte de estos corales se han desprendido del sustrato y se encuentran redepositados *in situ*, rellenando depresiones. La datación por C-14 de una muestra de arenisca y coral, obtenida a 73 m de profundidad en esta área, dio una edad de 8.030 ± 55 años (5). Este fondo marino coralino masivo está poblado por numerosos pináculos coralinos que sobresalen notablemente.

El límite occidental del área coralina está en contacto con un fondo marino de arena densa que se extiende hacia la plataforma continental de la isla de Margarita. En esta área existen destacados altos topográficos aislados y distribuidos erráticamente. La Figura 10 muestra uno de dichos altos topográficos que fue explorado en las inmersiones V y VI (ver también Figura 1).

El tope de un alto topográfico investigado mediante buceo autónomo, está formado por corales parcialmente cubiertos por materiales detríticos provenientes de la remoción y redepositación *in situ*. Durante la inmersión,

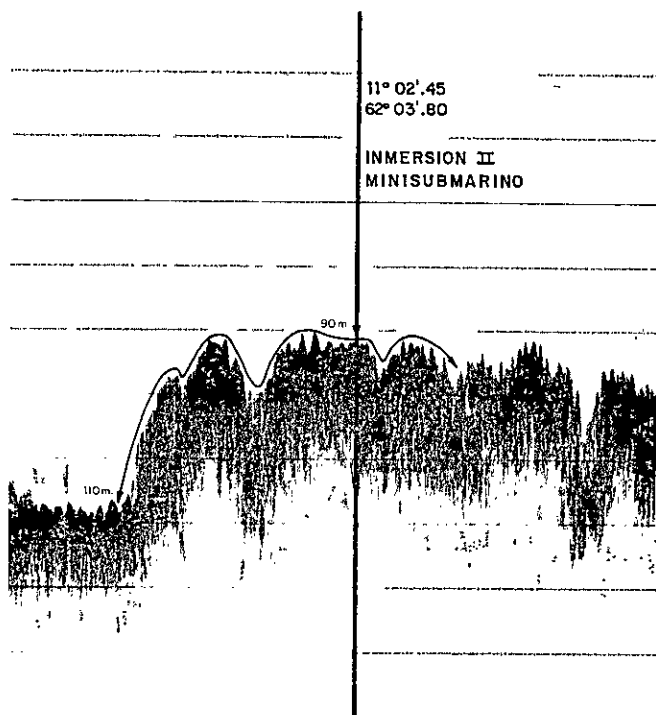


Fig. 8. Perfil de penetrador de fango - Inmersión en el Norte de Paria.

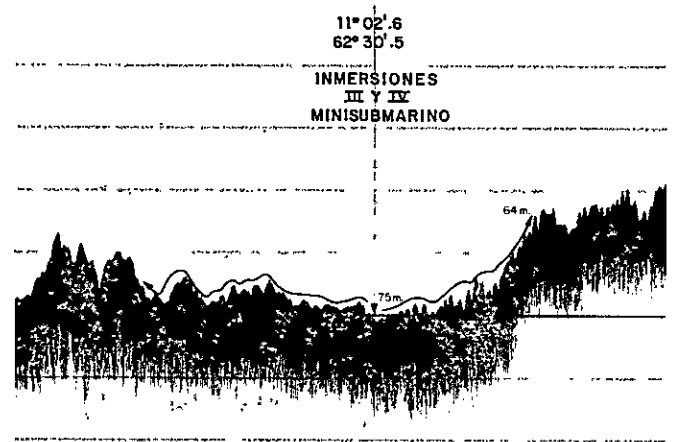


Fig. 9. Perfil de penetrador de fango - Inmersiones en el Norte de Paria.

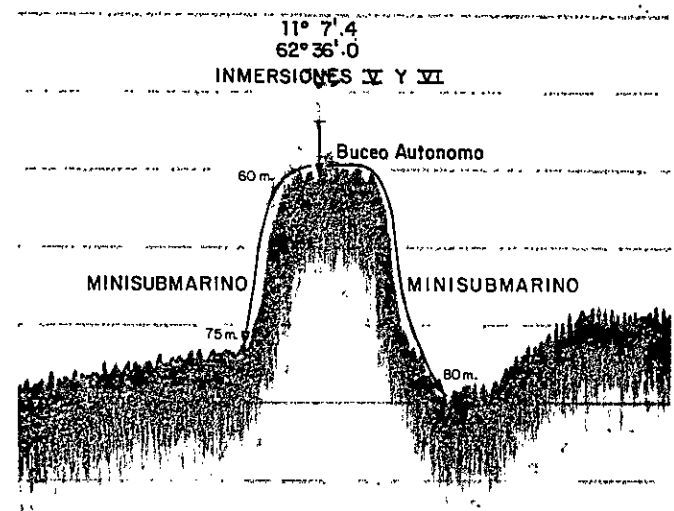


Fig. 10. Perfil de penetrador de fango - Inmersiones en el Norte de Paria.

los materiales detríticos y los corales fueron despejados en un área y se pudo obtener una muestra del sustrato rocoso. Este sustrato está compuesto de una limolita blanca con numerosas incrustaciones de algas. La datación por C-14 de esta muestra dio una edad de 8.670 ± 55 años.

La morfología más enigmática en la plataforma continental del Norte de la Península de Paria son las denominadas "olas de fango", descritas en el capítulo de zoni-

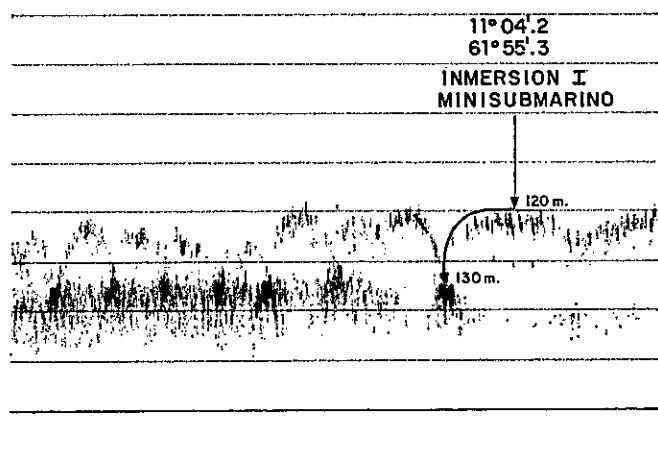


Fig. 11. Perfil de penetrador de fango - Inmersiones en el Norte de Paria.

ficación del fondo marino. La inmersión I (Figuras 1 y 11) permitió observar y fotografiar el frente de una de estas "olas de fango". El fango está compuesto por arcilla blanda con algunos fragmentos de restos de organismos marinos calcáreos, con un límite líquido cercano al contenido natural de humedad de alrededor de 110% y con un límite plástico cercano al 40%. La resistencia al corte, medida en muestras obtenidas en estudios anteriores, es del orden de $0,6 \text{ t/m}^2$. Al posarse el minisubmarino en el fondo quedó totalmente cubierto por la masa de fango, y al intentar despegarlo con el sistema de propulsión de agua (*jet*) se produjo el colapso del frente de ola y la masa de fango y el minisubmarino fueron desplazados pendiente abajo. Finalmente, se logró separarlo de la masa de fango y explorar el fondo marino entre las olas de fango, que resultó estar formado por arena gruesa medianamente compacta, de granos angulares a subangulares formados por cuarzo, feldespatos, calcita, minerales ferromagnesianos, mica y fragmentos de esquistos micáceos y restos de organismos marinos calcáreos. (Fotografía 7). Esta inmersión comprobó la hipótesis de que las olas de fango distan mucho de ser formaciones estáticas y consolidadas. Los mecanismos mediante los cuales se producen estos fenómenos no son conocidos.

4.3. Golfo Triste:

El reconocimiento del escarpe descrito en el capítulo de zonificación del fondo marino se realizó en una profundidad de agua de 98 m al pie del acantilado.

De acuerdo a lo que se puede apreciar en la Fotografía 8, el escarpe está cubierto por sedimentos sueltos,

principalmente arena fina. La pendiente de deposición (entre 30° y 45°) efectivamente no corresponde a la pendiente de equilibrio que alcanzaría una formación de arena suelta. Las corrientes marinas en esta zona son inferiores a medio nudo, lo que descarta la posibilidad de una zona de intensa erosión. De acuerdo a la morfología observada, lo más probable es que los sedimentos sueltos estén depositados sobre una formación de sedimentos consolidados o cementados, o bien existe una barrera natural que retiene los sedimentos provenientes de aguas más someras y que podría ser similar a los pináculos que afloran en aguas más profundas. Desafortunadamente, no fue posible despejar lo suficiente el sedimento suelto como para observar, en una extensión apreciable, lo que podría ser el sustrato consolidado.

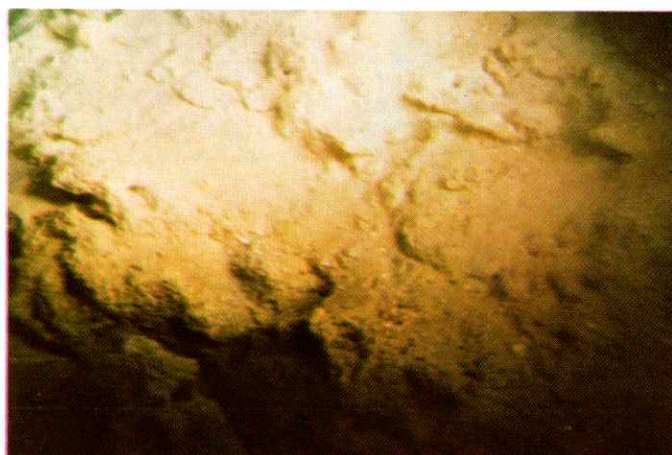
En el tope del escarpe existen numerosas cavidades en los sedimentos. Normalmente estas cavidades pueden ser producidas por organismos marinos excavadores, o bien por fluido o gas que esté escapando a través de los sedimentos. En una exploración sistemática a lo largo del acantilado se encontró en el tope del mismo una cavidad en la cual afloraba un pequeño pináculo de una formación rocosa. Con la idea de que este pequeño pináculo podría ser el afloramiento del sustrato consolidado, se sacó una muestra usando el brazo del minisubmarino (ver Fotografía 9). La muestra recuperada nos ha presentado una incógnita aún mayor en cuanto al origen de dicho escarpe, ya que se trata de una lava vesicular con características de escoria volcánica muy porosa, de color marrón oscuro, con segmentos de color negro y rojizo. En un corte transparente se observa una matriz amorfa con lineaciones en las que destacan fragmentos de vidrio volcánico en forma de agujas y microcristales de cuarzo dispersos en la matriz.

La idea de que pueda existir un afloramiento volcánico que actúe como barrera de contención de los sedimentos provenientes de aguas llanas, formando el escarpe en cuestión, no contradice las propiedades acústicas observadas en los perfiles sísmicos, por cuanto una lava muy porosa perfectamente puede tener una respuesta acústica similar a una arena suelta. Por otra parte, la existencia de actividad magmática reciente en el Golfo Triste es dudosa desde el punto de vista del conocimiento actual en la región.

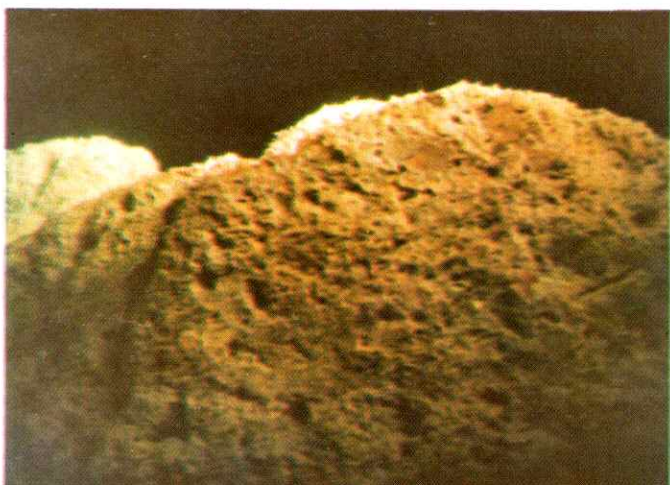
Sin embargo, la actividad sísmica de la región, la coincidencia en el alineamiento de los pináculos en el fondo marino con la dirección preferencial de fallamiento, la existencia de aguas termales entre Valencia y Puerto Cabello (también en la alineación de los pináculos del fondo marino) y el gradiente anormal de temperatura en los pozos



Fotografía 1. Borde del acantilado.



Fotografía 4. Erosión diferencial.



Fotografía 2. Arenisca oxidada.



Fotografía 5. Depósitos deslizados al pie del acantilado.



Fotografía 3. Corte vertical del acantilado.



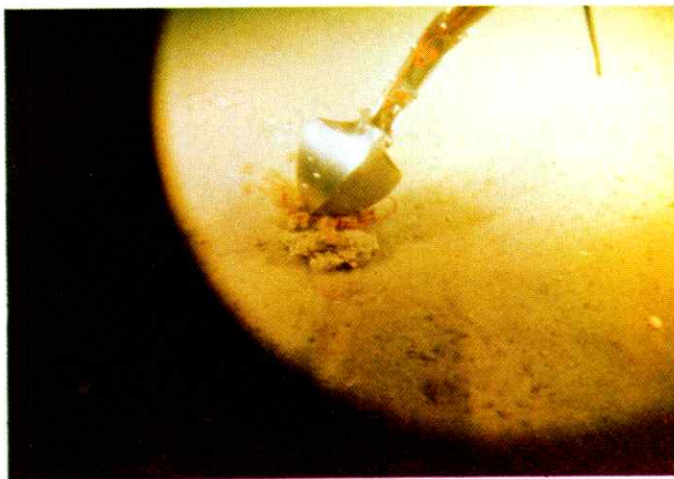
Fotografía 6. Formaciones coralinas fósiles.



Fotografía 7. Contacto fondo arenoso - Ola de fango.



Fotografía 8. Escarpe.



Fotografía 9. Toma de muestra de escoria volcánica.

perforados por MARAVEN son indicadores que sugieren que la hipótesis de una actividad magmática reciente no debe ser descartada. Creemos que es fundamental efectuar estudios de mayor detalle en esta zona antes de llegar a una conclusión definitiva.

5. CONCLUSIONES:

Los resultados de este estudio de investigación directa del fondo marino han permitido corroborar la interpretación de los datos sísmicos de alta resolución adquiridos en nuestros estudios de la geofísica de la plataforma continental de Venezuela. En algunos casos, se ha logrado un esclarecimiento entre diferentes posibilidades de interpretación. La utilización de minisubmarinos no debe ser considerada como una herramienta primordial de la investigación en geología marina, pero puede ser de gran ayuda para resolver enigmas geológicos cuya aclaración es de suma importancia para el desarrollo de las operaciones petroleras costa afuera.

6. AGRADECIMIENTOS:

Es un deber de los autores expresar su agradecimiento al Comité Nacional para la Coordinación del Programa Científico del CALYPSO en Venezuela y, también, al Ministerio para el Desarrollo de la Región Oriental, que fue el principal soporte de este programa. También queremos dejar testimonio de nuestro reconocimiento a los buzos y tripulantes del CALYPSO y a THE COUSTEAU SOCIETY, INC., por su entusiasmo en prestarnos la mayor colaboración para el éxito de estas investigaciones.

REFERENCIAS

- 1) BUTENKO, J. y BARBOT, J. P. Características Geotécnicas de Sedimentos Marinos Costa Afuera Delta del Orinoco. 4th Latin American Geological Congress. Trinidad. Julio, 1979.
- 2) BUTENKO, J. y BARBOT, J. P. Geological Hazards Related to Offshore Drilling and Construction in the Orinoco River Delta of Venezuela. Paper 3395 O.T.C. 79 and J.P.T. Mayo, 1980
- 3) MILLIMAN, J., BUTENKO, J. y BARBOT, J. P. Holocene Sediments from the Orinoco River on the Paria Shelf, Northern Venezuela". 26th International Geological Congress. Paris. Julio, 1980.
- 4) BARBOT, J. P.; BUTENKO, J. y RODRÍGUEZ, J. I. Geologic and Geotechnical Analysis of Golfo Triste: Its Influence on Offshore Structures and Drilling Operations. International Symposium on Offshore Structures, Brasil Offshore '79. Octubre, 1979.
- 5) MILLIMAN, J. Nature and Origin of Limestones from the North of Paria Continental Shelf. Informe a INTEVEP, S. A. Mayo, 1980.

Recibido: 15-9-80
Aprobado: 26-9-80