

**CARATERIZACION SEDIMENTOLOGICA Y DE PROCESOS EN LOS
ALREDEDORES DEL ARCHIPIELAGO DE SAN BERNARDO**

ANDRES MARTINEZ HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-INVEMAR
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLOGICA Y DE PROCESOS EN LOS
ALREDEDORES DEL ARCHIPIELAGO DE SAN BERNARDO**

ANDRÉS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de
Geólogo.**

**Directora
Blanca Oliva Posada Posada
Geóloga (INVEMAR)**

**Director asociado
Ricardo Mier Umaña
Geólogo (UIS)**

**Asesores
Javier reyes, Nadezda Santodomingo
Biólogos Marinos (INVEMAR)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-INVEMAR
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

“Por más que piedras del camino tengas que mover para poder pasar, ahora sigue persiguiendo tu sueño.....”

DEDICATORIA

***A MIS PADRES ANDRES Y ROSALIA
A MIS HERMANAS NELCY, ISABEL, MILENA, PAOLA,
A MIS HERMANOS HERMES, RAUL
QUE GRACIAS A SU INCONDICIONAL
AYUDA Y ESFUERZO HE PODIDO
ALCANZAR LA META DE SER UN
PROFESIONAL***

AGRADECIMIENTOS

- *A **mis** padres y hermanos, que fueron la columna vertebral de todo esto.*
- *A la Escuela de Geología y el cuerpo de profesores por la formación profesional que me brindaron.*
- *Al grupo de trabajo en el invemar, Javier reyes, Nadezda Santodomingo, Adriana Gracia, Blanca Posada por la oportunidad que me brindaron para realizar mi tesis y por la confianza y orientacion dada durante todo el trabajo.*
- *A Georgina Guzmán, Nelson Rangel, por su orientacion en las labores de investigación geológica en el mar.*
- *A la tripulación del B/I Ancon por la colaboración prestada en la fase de campo.*
- *Al laboratorio de química del INVEMAR y todo su personal por la colaboración prestada en la fase de laboratorio.*
- *A Germán Ojeda por su guía en el trabajo y por la bibliografía brindada.*
- *Al Profesor Ricardo Mier por sus sugerencias y tiempo dedicado a este trabajo.*
- *A Carolina García y el grupo GEZ del INVEMAR por su colaboracion en la cartografía.*
- *A Adri, Norellita, Nadiécita, Nelson, por acogerme como parte de su familia durante mi estadía en Santamarta, por su amistad y toda su colaboracion.*
- *A Caro, Julito, Juando, Andreita, Tommy, Paolita, por todas las cosas lindas que me brindaron durante todo el tiempo que compartimos en Santamarta.*
- *A Foncho y Olivia por la bibliografía prestada.*
- *A mis amigos de siempre, Jaimito, el Enano, Nico, Pablito, Rossy por estar siempre **a mi lado.***

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
1. AREA DE ESTUDIO	20
2. MARCO GEOLOGICO	22
2.1 PROVINCIAS ESTRUCTURALES	22
2.2 ESTRATIGRAFÍA	25
3. MARCO TEORICO	27
3.1 DIAPIRISMO DE LODO	27
3.1.1 Causas del fenómeno	28
3.1.2 Morfologías del fenómeno	29
3.1.3 Diapirismo de lodo en Colombia	31
3.2 CORALES DE PROFUNDIDAD	33
4. METODOLOGÍA	34
4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRAFÍA	34
4.2 FASE DE CAMPO	34
4.2.1 Adquisición de información geofísica	35
4.2.2 Muestreo sedimentológico	39
4.2.3 Muestreo de fondos duros	41
4.3 FASE DE LABORATORIO	42
4.3.1 Clasificación de los sedimentos	42
4.3.2 Análisis de información	47
5. RESULTADOS	48
5.1 Sedimentología	48

5.1.1 Granulometría	48
5.1.1.1 Sector A	48
5.1.1.2 Sector B	51
5.1.1.3 Sector C	52
5.2 DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS	56
5.3 FONDOS ROCOSOS	60
5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS DE ECOSONDA	63
5.4.1 Sector A	66
5.4.2 Sector B	71
5.4.3 Sector C	75
5.5 GEOMORFOLOGÍA DEL FONDO DEL MAR	81
5.6 DISTRIBUCIÓN DE CORALES	85
6. DISCUSIÓN	87
6.1 SEDIMENTOLOGIA	87
6.1.1 Granulometría	87
6.1.2 Carbonato de calcio	87
6.2 EMANACIÓN DE GASES	88
6.3 FONDOS ROCOSOS	90
6.4 GEOMORFOLOGÍA	91
6.4.1 Depresiones	91
6.4.2 Domos	92
6.4.3 Talud	93
6.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS CORALES	94
7. CONCLUSIONES	96
8. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localización geográfica del área de estudio.	21
FIGURA 2. Ambiente Tectónico de la región más sur del Caribe Colombiano ((Modificado ESRI-ILEX Ltda., 1995), tomado de Mantilla Pimiento 2005).	23
FIGURA 3. Cuadro estratigráfico de la cuenca Sinú-San Jacinto (Tomado de la Agencia Nacional de Hidrocarburos 2005).	26
FIGURA 4. Localización global de las manifestaciones del fenómeno diapírico (Tomado de Kopf 2002).	27
FIGURA 5. Esquema de formación del fenómeno diapírico (Tomado de Milkov 2000).	29
FIGURA 6. Mud dome (Tomado de Kopf 2002).	30
FIGURA 7. Mud pie (Tomado de Kopf 2002).	31
FIGURA 8. Localización de evidencias del fenómeno diapírico en el Caribe colombiano (Adaptado de Vernet 1985).	32
FIGURA 9. B/I Ancon (INVEMAR 2004).	34
FIGURA 10. Esquema de la recolección Geofísica.	36
FIGURA 11. Mapa de los registros tomados en el sector A.	37
FIGURA 12. Mapa de los registros tomados en el sector B.	38
FIGURA 13. Mapa de los registros tomados en el sector C.	39
FIGURA 14. Draga usada en el muestreo sedimentológico en la posición de lanzamiento (Draga Van Veen de 60 litros).	40
FIGURA 15. Caja usada en el muestreo de fondos duros (Caja de Arrastre).	42
FIGURA 16. Esquema del Calcímetro de Bernard.	44

FIGURA 17. Curva de calibración para el calcímetro, esta se realizó en el laboratorio de química del INVEMAR.	45
FIGURA 18. Composición del sedimento, esta compuesto principalmente de foraminíferos, también se observan algunos restos de otros invertebrados.	50
FIGURA 19. Composición del sedimento, esta compuesto principalmente de fragmentos de roca carbonatada y en menor cantidad se observan restos de conchas de invertebrados.	50
FIGURA 20. Composición del sedimento, esta contiene un gran porcentaje partículas redondeadas que posiblemente sean ooides, también se observan en menor porcentaje restos de conchas y algunos fragmentos de rocas carbonatadas.	51
FIGURA 21. Mapa de distribución de tamaño de grano para las áreas A - B (clasificación del CIOH).	54
FIGURA 22. Mapa de distribución de tamaño de grano para el área C (Basado en la clasificación del CIOH)	55
FIGURA 23. La grafica muestra como es la relación del contenido de carbonatos con el porcentaje de arenas.	57
FIGURA 24. Mapa de distribución de % de CaCO ₃ para las áreas A y B (Basado en la clasificación del CIOH).	58
FIGURA 25. Mapa de distribución de CaCO ₃ para el área C (Basado en la clasificación del CIOH)	59
FIGURA 26. Rocas recolectadas.	60
FIGURA 27. En el registro se muestra la forma del reflector del fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	63
FIGURA 28. En el registro se muestra como es la reflexión del fondo en algunos lugares (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	64

FIGURA 29. En el registro se muestran los reflectores que aparecen subparalelos al fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	64
FIGURA 30. En el registro se muestran los reflectores en forma de "X" (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	65
FIGURA 31. En el registro se observan los reflectores que se cortan con el fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	65
FIGURA 32. En el registro se observa un múltiple del reflector del fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	66
FIGURA 33. En el registro se observa una posible fractura sobre la plataforma en el sector A (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	67
FIGURA 34. En el mapa se representan las fallas cartografiadas para la región por el INGEOMINAS (líneas verdes), también se muestran los lineamientos cartografiados en base a las posibles fracturas observadas en los registros (líneas rojas, los cuadros en azul representan los sectores estudiados)	67
FIGURA 35. Modelo digital del sector A, en el se muestra las morfologías llamadas en este texto canales y crestas.	68
FIGURA 36. En el registro donde se muestra el flanco mas largo de las crestas en el talud del área A (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz)	69
FIGURA 37. Posible deposito sobre un flanco en las crestas ubicadas en el talud de la zona A (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz)	69
FIGURA 38. Reflexiones débiles que se muestran dentro de cuadro rojo, corresponden a posibles derrumbes o acumulaciones de seres vivos (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	70

FIGURA 39. Las reflexiones mostradas en el cuadro rojo corresponden a posibles derrumbes a seres vivos (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	71
FIGURA 40. En la figura se muestra el modelo digital del sector B.	73
FIGURA 41. En el registro se observan dos domos (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).	73
FIGURA 42. En el registro se muestra el domo que posee una sola cresta y los flancos que son aproximadamente rectos (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	74
FIGURA 43. En este registro se muestra el segundo domo del sector (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	74
FIGURA 44. En el registro se observa el reflector inclinado (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz.).	75
FIGURA 45. En la figura se muestra el modelo digital de sector C.	76
FIGURA 46. En el registro se observan los reflectores sudparalelos (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	77
FIGURA 47. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	78
FIGURA 48. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector, en este se nota que las reflexiones están sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	78
FIGURA 49. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector, en este se nota que las reflexiones están algunos metros sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	79

FIGURA 50. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles, que se encuentran ubicadas muy cerca de una de las depresiones de este sector, en este se nota que las reflexiones están sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	79
FIGURA 51. En el registro se observan reflexiones débiles alrededor de la estructura, este registro corresponde al flanco más costa afuera (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	80
FIGURA 52. En el registro se observan reflexiones débiles que aparecen en forma vertical, los cuales pueden corresponder a emanaciones de gas (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz.).	81
FIGURA 53. Mapa geomorfológico de los sectores A-B	83
FIGURA 54. Mapa geomorfológico del sector C.	84
FIGURA 55. En el registro se observan los relieves favorables para posible asentamiento de corales (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).	85

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Clasificación de los sedimentos según su tamaño (tomado de Vernette 1982).	43
TABLA 2. Clasificación según el porcentaje de carbonato de calcio (tomado de Vernette 1982).	46
TABLA 3. Tabla de clasificación de sedimentos C.I.O.H. (1982).	46

RESUMEN

TITULO: "CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLOGICA Y DE PROCESOS EN LOS ALREDEDORES DEL ARCHIPIELAGO DE SAN BERNARDO"

AUTOR: ANDRES MARTINEZ HERNANDEZ **

PALABRAS CLAVES: Diapíros de lodo, emanaciones de gas, Caribe colombiano, carbonatos autigénicos.

DESCRIPCION:

Morfologías en el fondo del mar relacionadas con procesos diapíricos y actividad de emanaciones de gas desde el fondo, se han encontrado en los océanos alrededor del mundo, en Colombia en la región costa afuera del Archipiélago de San Bernardo en el Caribe colombiano de igual manera se han descrito morfologías en el fondo del mar con características similares a las reportadas en el mundo, las cuales muy posiblemente están relacionadas a procesos diapíricos y emanaciones de gas.

Durante el crucero de investigación *MARCORAL* 2005, realizado a bordo del buque de investigación (B/I ANCON) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR en los alrededores del Archipiélago de San Bernardo , en el cual se realizó muestreos de sedimentos con una draga van veen de 60 litros, y de fondos rocosos con un sistema de arrastre. Además se recolectó información geofísica con una ecosonda nudsen de 12 y 200 khz, donde se encontraron evidencias de diapirismo de lodo y emanaciones de gas ; tales como morfologías dómicas y depresiones registradas por la ecosonda. En el muestreo de fondos rocosos se hallaron rocas tubulares como posibles evidencias de emanaciones de gas, conchas de invertebrados jóvenes cementadas con carbonatos lo que sugiere un proceso de diagenesis temprana a causa de la posible oxidación de metano y la precipitación de carbonatos autigénicos como cemento

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Geología. M sc. Blanca Oliva
Posada Posada. Geólogo Ricardo Mier Umaña

SUMMARY

TITLE: " CHARACTERIZATION SEDIMENTOLOGIC AND OF PROCESSES IN THE SURROUNDINGS OF SAN BERNARDO ARCHIPELAGO^{*}

AUTHOR: ANDRES MARTINEZ HERNANDEZ ^{**}

KEYWORDS: Mud diapirism, gas seep, Colombian Caribbean , authigenic carbonates.

DESCRIPTION:

Morphologies at the bottom of the sea related to diapiric processes and activity of gas seep, has been found in the oceans about the world. Actually Colombia in the offshore region of San Bernardo's Archipelago in the Colombian Caribbean have been described morphologies by characteristics similar to the reported ones in the world, which possibly are related to the above processes.

During the cruise of research MARCORAL 2005 realized on board of the boat of research (R/V ANCON) of the Institute of Marine Researches and Coastal INVEMAR in the surroundings of San Bernardo's Archipelago, in which sediment samplings were realized by a drag Van Veen of 60 liters, and of rocky bottoms with a system of dragging. Besides geophysical information was gathered by an echosounder Nudsen of 12 and 200 khz, where they found evidences of mud diapirism and seep gas ; such as dome morphologies and depressions registered by the echosounder. In the sampling rocky bottom tubular rocks were situated as possible evidences of seep gas , shells of young invertebrates cemented with carbonates what suggests a process of diagenesis early because of the possible oxidation of methane and the precipitation of carbonates autigénicos as cement.

* Degree Work

** Physics and Chemistry Engineering College, Geology. M sc. Blanca Oliva Posada Posada.

Geologist Ricardo Mier Umaña.

INTRODUCCIÓN

El territorio marino en nuestro planeta está inexplorado en gran parte, tanto su entorno físico como biológico, especialmente en nuestro país. Solo se conoce algo de lo que sucede con las comunidades biológicas y su entorno físico en aguas someras, en los últimos años ha crecido el interés por conocer lo que se tiene en aguas profundas y abisales, con el fin de conseguir un aprovechamiento sostenible de los recursos para beneficio del hombre.

Dentro de los ecosistemas marinos que se han empezado a estudiar, están las comunidades coralinas de profundidad, dichas comunidades despiertan gran interés ya que se ha encontrado que albergan gran diversidad de especies.

Los arrecifes de profundidad viven y crecen en condiciones muy diferentes a los que se encuentran en aguas someras tropicales, dentro de las principales diferencias se han identificado: que estos carecen de la relación simbiótica que tienen los arrecifes someros en el proceso de fijación del CaCO_3 , y por lo tanto pueden desarrollarse en ausencia de luz distribuyéndose en un amplio ámbito latitudinal (desde el trópico hasta las zonas templadas) y también en un amplio rango batimétrico (desde aguas someras hasta profundidades fuera de la influencia del oleaje). Los corales de profundidad también se constituyen como importantes archivos paleoclimáticos debido a su baja tasa de crecimiento y a que guardan una estrecha relación con los procesos de carbonatización en aguas profundas (Roberts et al., 2006).

En proyectos de caracterización de ecosistemas marinos realizados por el INVEMAR, se encontraron evidencias de la existencia de estas comunidades profundas en nuestro país, para lo cual se planteó el desarrollo del proyecto “BIODIVERSIDAD DE LAS COMUNITADES DEL MARGEN CONTINENTAL

COLOMBIANO. Fase 1.comunidades coralinas de profundidad (100-300m)” y se incluyó por primera vez en este tipo de caracterizaciones biológicas un componente geológico, como uno de los temas clave para la comprensión de la formación de estas comunidades y su desarrollo.

Para cumplir este objetivo se realizó un crucero científico a bordo del buque de investigación B/I ANCON del INVEMAR, en los alrededores del Archipiélago de San Bernardo y se hizo un muestreo biológico, sedimentológico y batimétrico con el fin de explorar y caracterizar biológica y geofísicamente un sector del margen continental (100- 300 m) adyacentes al PNNCRSB, como base de conocimiento en el proceso de definición y zonificación de esta AMP.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Elaborar la cartografía sedimentológica, geológica y geomorfológica en los alrededores del Archipiélago de San Bernardo, describiendo las características sedimentarias y los procesos geológicos presentes.

ESPECIFICOS:

- Realizar una caracterización y mapeo de las facies sedimentarias del fondo marino actual.
- Reconocer las capas presentes en el subsuelo marino y establecer su posible historia geológica.
- Determinar la existencia o no de estructuras geológicas tales como diapíros, fallas, fracturas, etc.
- Describir estructuras geológicas en el fondo por medio de perfiles de ecosonda.

1. ÁREA DE ESTUDIO

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicada en el mar Caribe colombiano, costa afuera del Golfo de Morrosquillo (Fig. 1). Para efectos de este estudio se subdividió en tres sectores, nombrados como A, B, C. A con dimensiones de 4 x 15 km con un área de 60 km², B de 4 x 4 km con un área de 16 km², C de 4 x 11 km con un área de 44 Km², para un total de 120 km² cubiertos. Los sectores están enmarcados por las siguientes coordenadas:

Sector A:

9° 45' 47.2'' N - 76° 16' 33.8'' W, 9° 44' 10.1'' N - 76° 15' 03.2'' W y 9° 51' 05.4'' N - 76° 11' 04.1'' W, 9° 49' 30.4'' N - 76° 09' 35.2'' W.

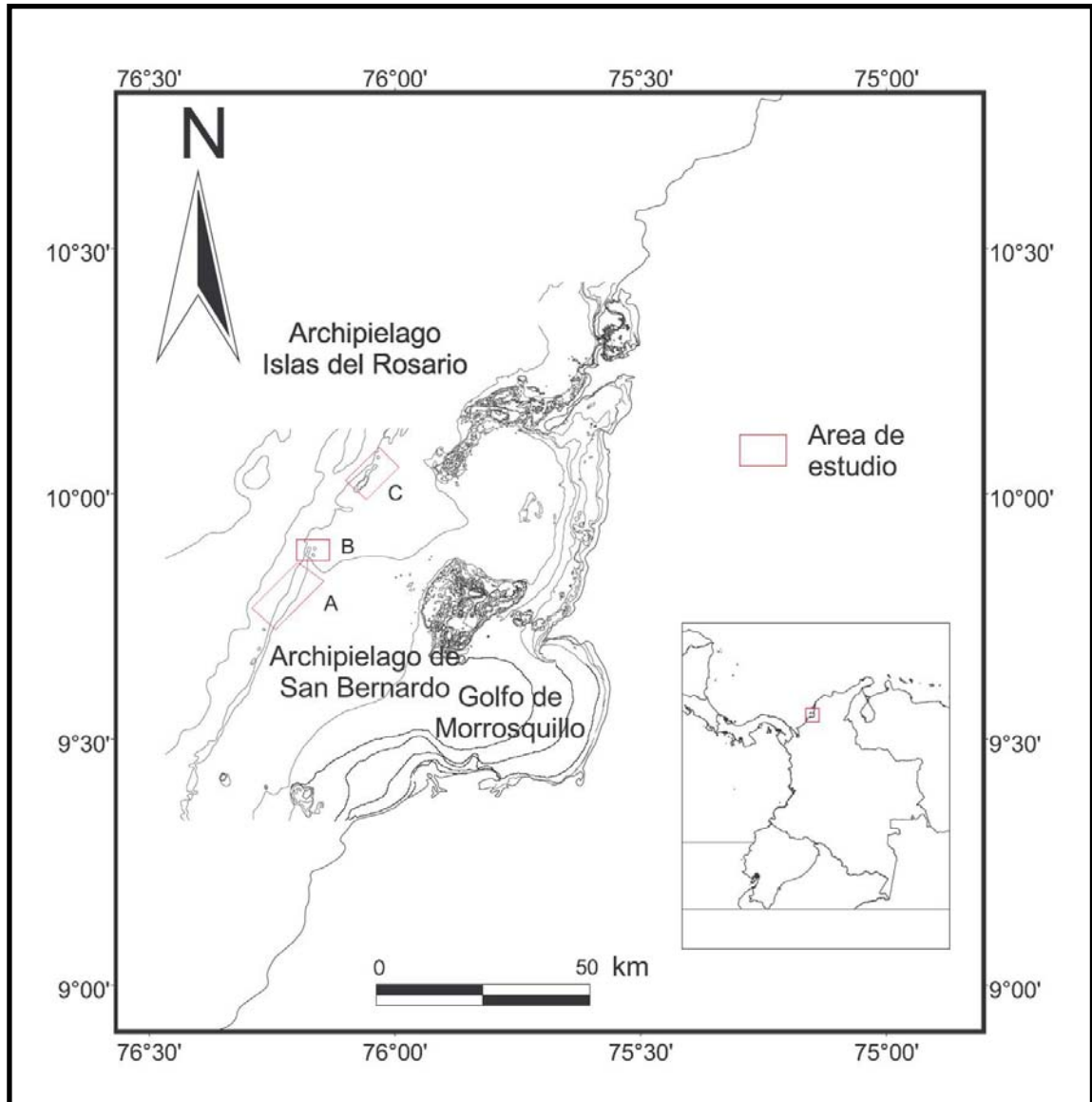
Sector B:

9° 51' 50.6'' N - 76° 11' 16.9'' W, 9° 51' 45.7'' N - 76° 09' 02.0'' W y 9° 54' 00.4'' N - 76° 10' 54.4'' W, 9° 54' 00.9'' N - 76° 09' 03.0'' W.

Sector C:

10° 0' 36'' N - 76° 6' 36'' W, 9° 58' 48'' N - 76° 4' 48'' W y 10° 2' 54.68'' N - 76° 0' 42.95'' W; 10° 4' 24.98'' N - 76° 2' 18.88'' W .

FIGURA 1. Localización geográfica del área de estudio, los cuadros de color rojo muestran los tres sectores objetivos de la investigación, los cuales se nombran como A, B, C de sur a norte respectivamente.



2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 PROVINCIAS ESTRUCTURALES:

El Caribe colombiano es una región estructuralmente muy compleja, localizada en un ambiente tectónico compresional en donde se encuentran involucradas tres placas tectónicas, Nazca, Caribe y Suramericana (De Porta 2003). Esta región esta conformada por 4 provincias estructurales. Sierra Nevada de Santa Marta, la Sierra de San Jacinto, el cinturón plegado de Sinú, la cuenca del Magdalena.

La Sierra Nevada de Santa Marta es una región limitada por sistemas de fallas y cuencas que están rellenas por sedimentos terciarios, su límite geológico en el Norte es la falla de Oca, en el oeste esta limitada por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa marta. Esta constituida por basamento continental, principalmente metamórfico, que fue levantado durante el Mioceno temprano al mismo tiempo que se forman las cuencas adyacente (Tschanz et al, 1974). Esta se levanta hasta 5700 msnm.

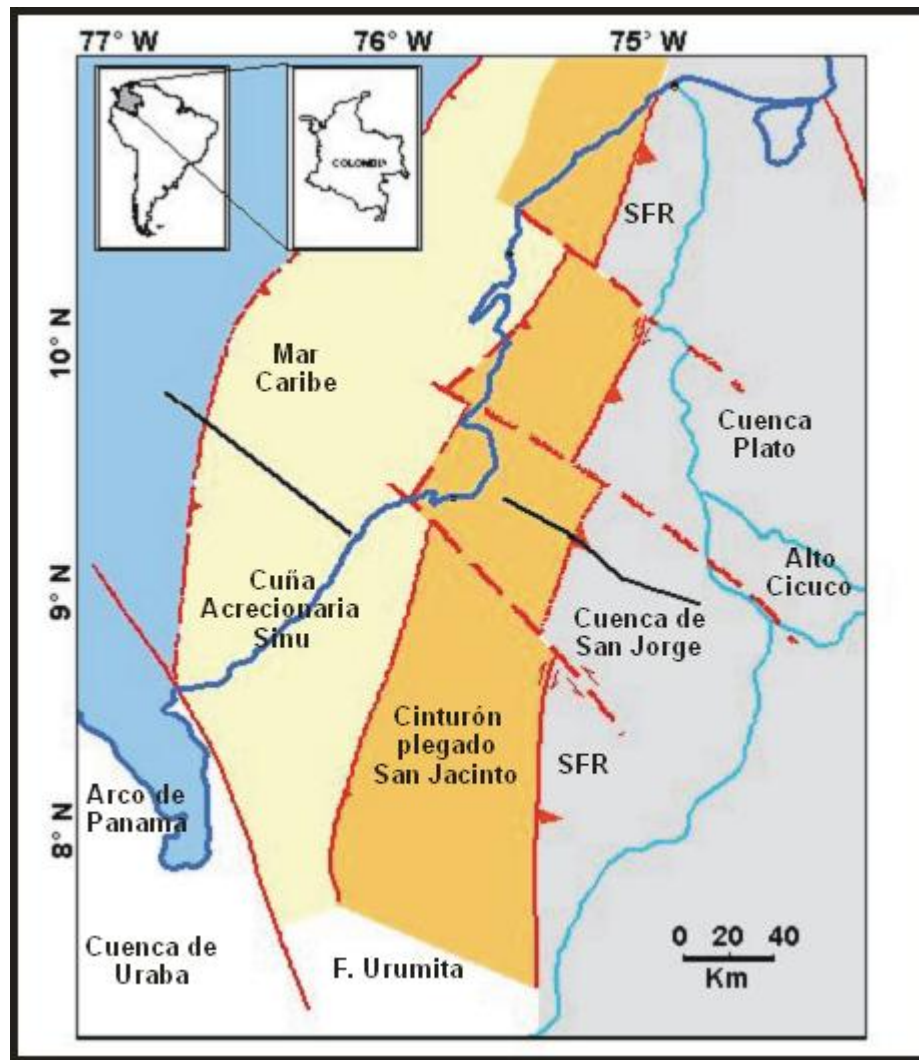
La Sierra de San Jacinto tectonizada durante el Eoceno medio y que posteriormente es reactivada durante el Mioceno-Plioceno tardío al mismo tiempo que se forma el cinturón de Sinú (Duque-Caro 1979-1984). Los eventos tectonicos y sedimentarios involucrados en la evolución de este cinturón plegado fueron controlados principalmente por: la falla de Romeral, el lineamiento de Sinú, la falla Bucaramanga-Santa marta y la falla de Oca (Case et al., 1971, Hawe, 1981).

El cinturón plegado de Sinú, se encuentra al oeste de la sierra de San Jacinto limitado por el lineamiento del Sinú, su principal característica es la actividad diapirica en el continente como en el fondo del mar (Duque-Caro, 1984).

La cuenca del Magdalena que constituye el contraste morfológico dentro de este sector del país. Este contraste morfológico es una clara evidencia de la reciente actividad tectónica en esta región (Kroonenberg et al 1990 En:

Vernette 1992). El objeto de este trabajo es la parte más sur y costa afuera del Caribe la cual corresponde al cinturón plegado Sinú – San Jacinto (Fig. 2).

FIGURA 2. Ambiente Tectónico de la región más sur del Caribe Colombiano, en la grafica se muestra el cinturones plegados de Sinú y San Jacinto, elementos estructurales de esta zona y las cuencas adyacentes en la región continental (Modificado ESRI-ILEX Ltda., 1995), tomado de Mantilla Pimiento 2005).



El cinturón del Sinú es la cuña más occidental y se encuentra adyacente al cinturón de San Jacinto separado por el lineamiento del Sinú, Limitado al oriente por el sistema de fallas de Romeral y al occidente por el de Colombia (Duque-Caro, 1979). En este cinturón se han descrito en su porción terrestre dos tipos de geoformas (Duque-Caro, 1984), “Masas cónicas de lodo” dentro de las cuales se describen volcanes de lodo en el sector terrestre y masas de lodo que emergen como domos aislados sobre morfologías planas hasta 20m, principalmente a lo largo de las zonas mayores de falla, que siguen el rumbo general del cinturón. Ejemplos de estas “Masas cónicas de lodo” son los volcanes de lodo como Cañaverales, el Totumo a lo largo de lineamiento del Sinú en el sector de Cartagena-Barranquilla, volcanes como Arboletes y Punta Canoas en el margen costero (Duque-Caro, 1984) y las colinas en el fondo marino enfrente del delta del río Magdalena (Shepard, 1973).

El diapirismo de lodo es considerado como el fenómeno más característico e importante observado dentro del cinturón del Sinú (Duque-Caro, 1984), que en forma general también se encuentra estrechamente ligado a los prismas de acreción, prueba de la actividad tectónica de este margen continental (Verne, 1988).

El cinturón de Sinú se extiende aproximadamente 500 km a lo largo del Caribe y alcanza los 125 km de ancho, su tren estructural general es paralelo al del terreno San Jacinto (N 20° E) y presenta abundantes evidencias diapíricas (Verne, 1988), el sector más occidental coincide con el cambio batimétrico marcado por la base del talud continental y la llanura abisal (Duque-Caro, 1984). Durante la misión Diapírica, llevada a cabo por el Departamento de Geología y Oceanografía, de la Universidad de Burdeos, Francia (IGBA) - 1987, en registros de cañón de agua y de *mud penetrador* de 3.5 Khz, se identificaron domos de origen diapírico que se encuentran alineados con la mayor dirección estructural de este terreno (N

30°)(Fig. 2), distribuidos principalmente sobre la plataforma continental y parte de talud hasta 500 m, región comprendida entre Cartagena y el Golfo de Morrosquillo.

Desde un punto de vista estratigráfico, se tiene que en todas las cuñas de acreción, la parte más interior del prisma involucra rocas más antiguas, en este caso, rocas Cretácicas a Paleógenas para el cinturón San Jacinto, y en la parte más exterior del cinturón del Sinú, las rocas más jóvenes de edad Eoceno - Oligoceno (Flinch, 2003).

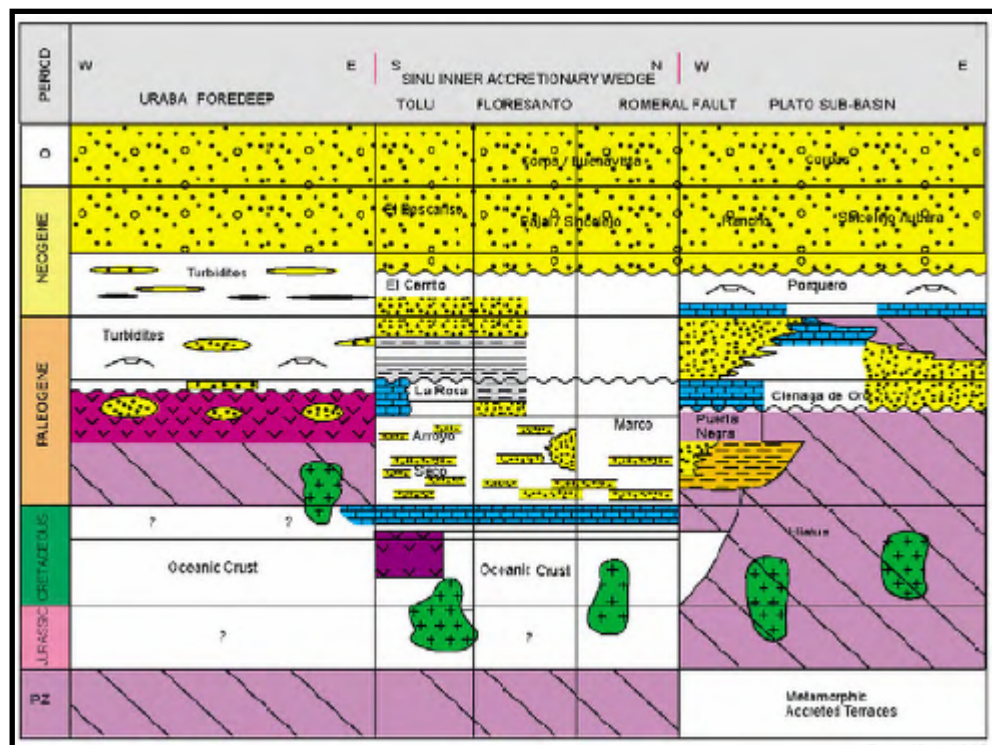
El Archipiélago de San Bernardo hace parte de un cinturón de altorrelieves diapíricos de la plataforma continental, con cobertura de carbonatos biogénicos, que presentan una orientación general de N 30° E y se extiende desde cercanías de bajo Salmedina (10° 30'N – 75°40'W) hacia el SE, hasta el sur de isla Fuerte (9° 25'N – 76° 15'W) (Phral y Erhardt, 1985) (Fig. 8). De igual manera para toda esta zona Vernet (1992) describió varios domos diapíricos con la misma dirección predominante.

2.2 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía general para el terreno Sinú – San Jacinto (Ver Fig. 3), comprende afloramientos principalmente de edades Mioceno tardío a Plioceno y consisten en una secuencia muy monótona de turbiditas de sedimentos muy finos que alcanzan espesores de hasta 5000 m; se supone un ambiente de depósito entre 1000-2000 m, según análisis paleobatimétricos realizados en foraminíferos (Duque-Caro 1975). Suprayaciendo dicha secuencia se encuentra una facie de carbonatos poco profunda de edad Pleistoceno-Holoceno, que tiene hasta 1000 m de espesor, aunque estudios de pozos exploratorios recientes, realizados entre la región de Cartagena-Barranquilla, indican que estos espesores podrían llegar hasta 4000 m (Duque-Caro 1984). Los depósitos de carbonatos están compuestos de calizas arrecifales, shales, areniscas y conglomerados. Según Duque-Caro (1984), las

calizas encontradas podrían estar restringidas al área comprendida entre Cartagena y Barranquilla, donde estas se encuentran especialmente bien desarrolladas.

FIGURA 3. Cuadro estratigráfico de la cuenca Sinú-San Jacinto, en este se representa la estratigrafía de la cuña de acreción del Sinú, de la sub-cuenca del Plato en el continente y la estratigrafía mar adentro de Uraba (Tomado de la Agencia Nacional de Hidrocarburos 2005).

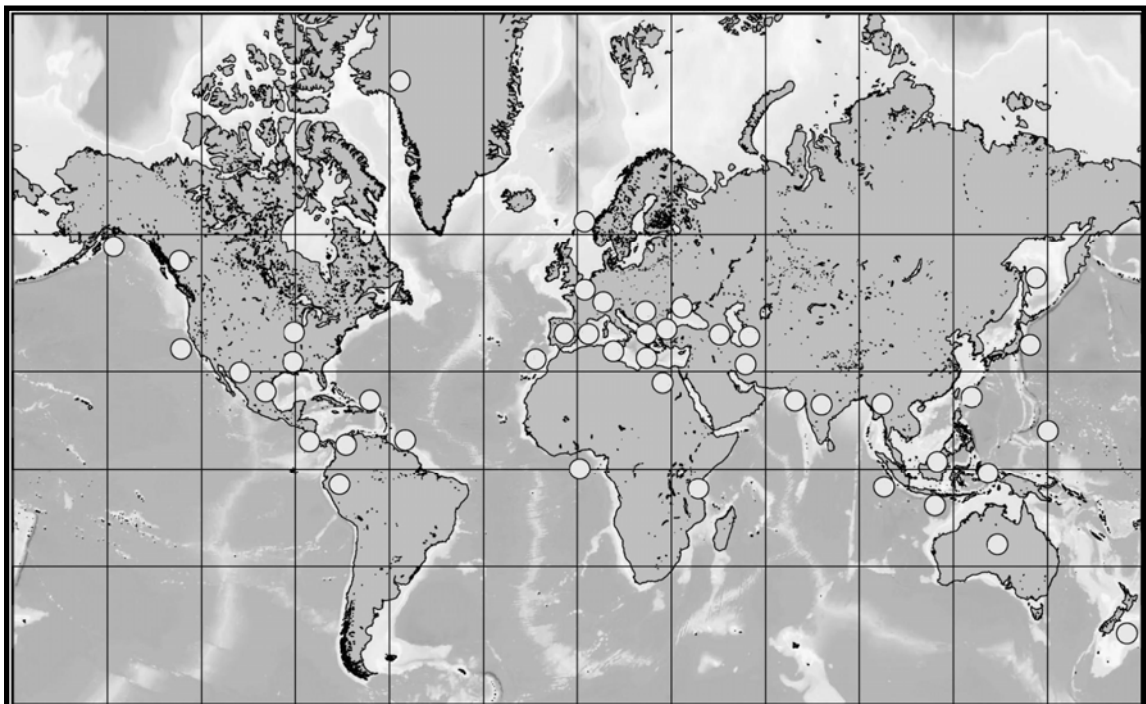


3. MARCO TEÓRICO

3.1 DIAPIRISMO DE LODO

Este fenómeno se ha registrado en el ámbito mundial, principalmente localizado en márgenes convergentes, en cuñas de acreción como los ambientes más activos para este tipo de evento. Los prismas más relevantes en este fenómeno son el de Barbados, Makran en el mar Árabe y el Mediterráneo (Robertson y Kopf 1998, Kopf 2002, Schluter 2002, Deville 2003, Duerto y McClay 2003) (Fig. 4); en Colombia corresponde al prisma de acreción formando por los cinturones plegados de Sinú y San Jacinto.

FIGURA 4. Localización global de las manifestaciones del fenómeno diapírico (Tomado de Kopf 2002).

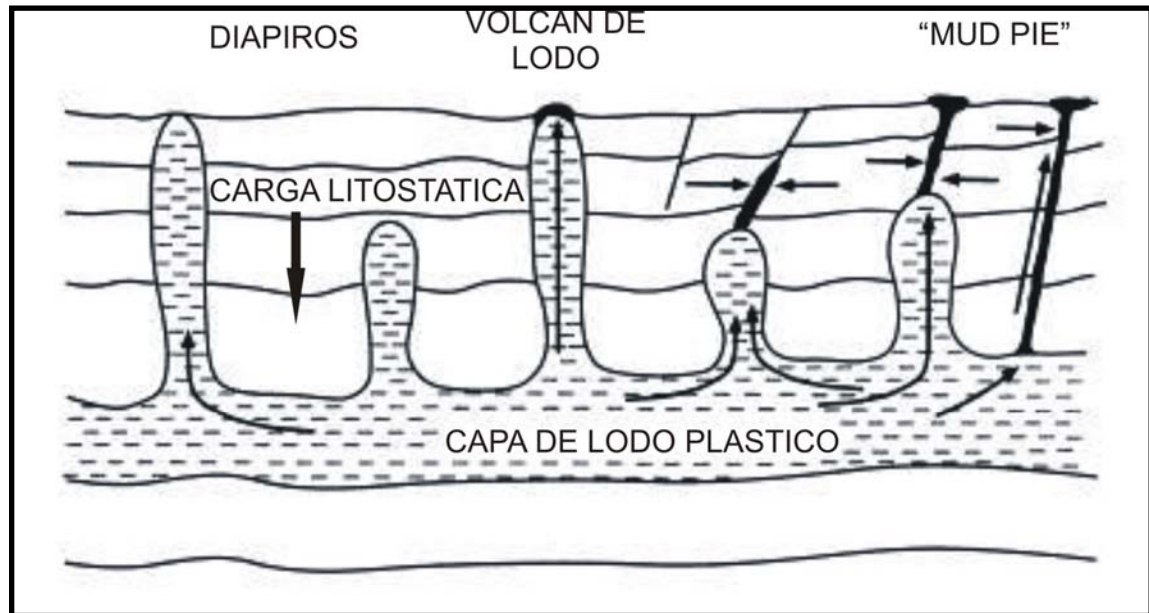


3.1.1 Causas Del Fenómeno De Diapirismo. Las principales condiciones para generar esta actividad son: depositación rápida de sedimentos de tamaño lodo y arcilla en ambientes marinos, una relación estructural compresional, sedimentos sobrepresionados acompañado de emisión de fluidos (gas, agua salada, hidratos de metano y muy rara vez petróleo) (Kopf, 2002), que da como resultado el ascenso de material arcilloso desde capas profundas no consolidadas y que atraviesan las capas mas superficiales (Verneette, 1985).

El papel de la rápida sedimentación, es de gran importancia ya que permite atrapar gran cantidad de agua, que a medida que avanza la depositación va generando presiones anormales, factor clave para la intrusión del lodo. Otro elemento importante es el contenido de gases; estos gases principalmente metano, que puede ser producto de la actividad bioquímica de las bacterias contenidas en los sedimentos, o por el efecto termoquímico que genera el aumento de la temperatura en los sedimentos debido al enterramiento durante su historia (Hedberg, 1974). Estudios experimentales realizados por Rodríguez-González (2005), han encontrado relación entre la cantidad de materia orgánica y la generación de gas, lo cual es fundamental para impulsar el lodo sobrepresionado, que junto a las fuerzas resultantes por la compresión tectónica (Kopf, 2002) proporcionan movimiento al lodo.

En la Fig. 5 se observan tres mecanismos para la formación de este fenómeno, en el cual se muestra cómo la carga litostática y los esfuerzos compresivos colaboran con la movilización de los lodos desde la capa fuente a través de planos de debilidad como fallas o fracturas.

FIGURA 5. Esquema de formación del fenómeno diapírico. Las flechas con dirección horizontal indican la dirección de los esfuerzos de compresión; las flechas con dirección vertical hacia arriba indican como es el movimiento del lodo desde la capa fuente que se indica en la figura como capa de lodo plástico, el lodo como se observa en la figura resulta en diferentes expresiones (las formas de expresión se explican abajo); la flecha con dirección vertical hacia abajo indica la carga litostática (Tomado de Milkov 2000).



3.1.2 Morfologías del fenómeno de diapirismo. Este evento presenta gran variedad de geometrías, de las cuales se pueden destacar los domos y los volcanes, con diferentes formas y alturas hasta de cientos de metros; también poseen gran diversidad en cuanto al tipo de fluidos, que generalmente son gas (principalmente metano), agua, y lodo, localizado a pocos metros o a grandes profundidades (Kopf, 2002). Estos fluidos pueden estar acompañados de fragmentos sólidos, que son arrancados de las capas penetradas durante el ascenso.

Las morfologías de carácter extrusivo se clasifican principalmente en dos, denominadas "*mud dome*" o volcán y "*mud pie*" (Kopf, 2002).

Los mud dome son la morfología mas clásica que consiste en el flujo de lodo a través de un cráter que con el pasar del tiempo va construyendo un edificio o cono, cuya estructura depende de la viscosidad del fluido; también puede suceder que solamente se forme un domo sin romper las capas suprayacentes, es decir, sin expulsión de material a la superficie, sea en tierra o en el fondo del mar (Fig. 6).

Otra morfología es llamada “*mud pie*”, la cual consiste en el ascenso de material con altas porosidades (Lance et al., 1998) lo que hace poco plástico al lodo y por esta razón es poco probable que se forme una estructura cónica, por lo cual se tiene un lago de lodo alrededor de la fuente de expulsión (Fig. 7).

FIGURA 6. Mud dome, en la figura se observan los diferentes elementos de la geometría básica de un volcán de lodo (Modificado de Kopf 2002).

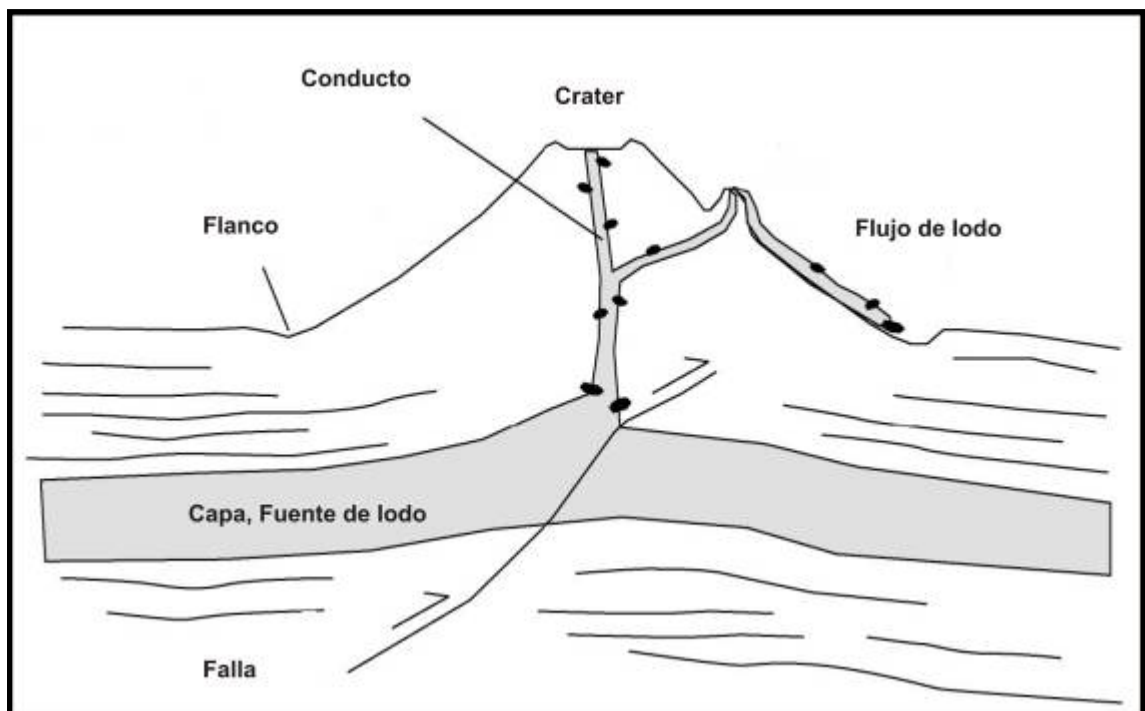
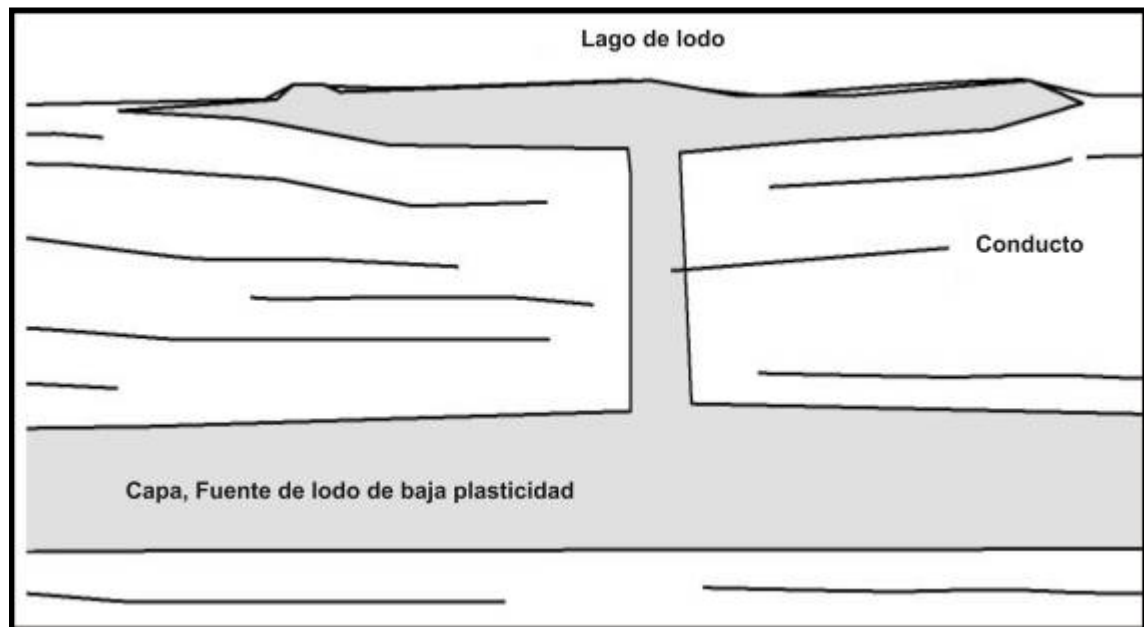


FIGURA 7. Mud pie, en la figura se observan los diferentes elementos de esta geometría y su expresión. (Modificado de Kopf 2002)

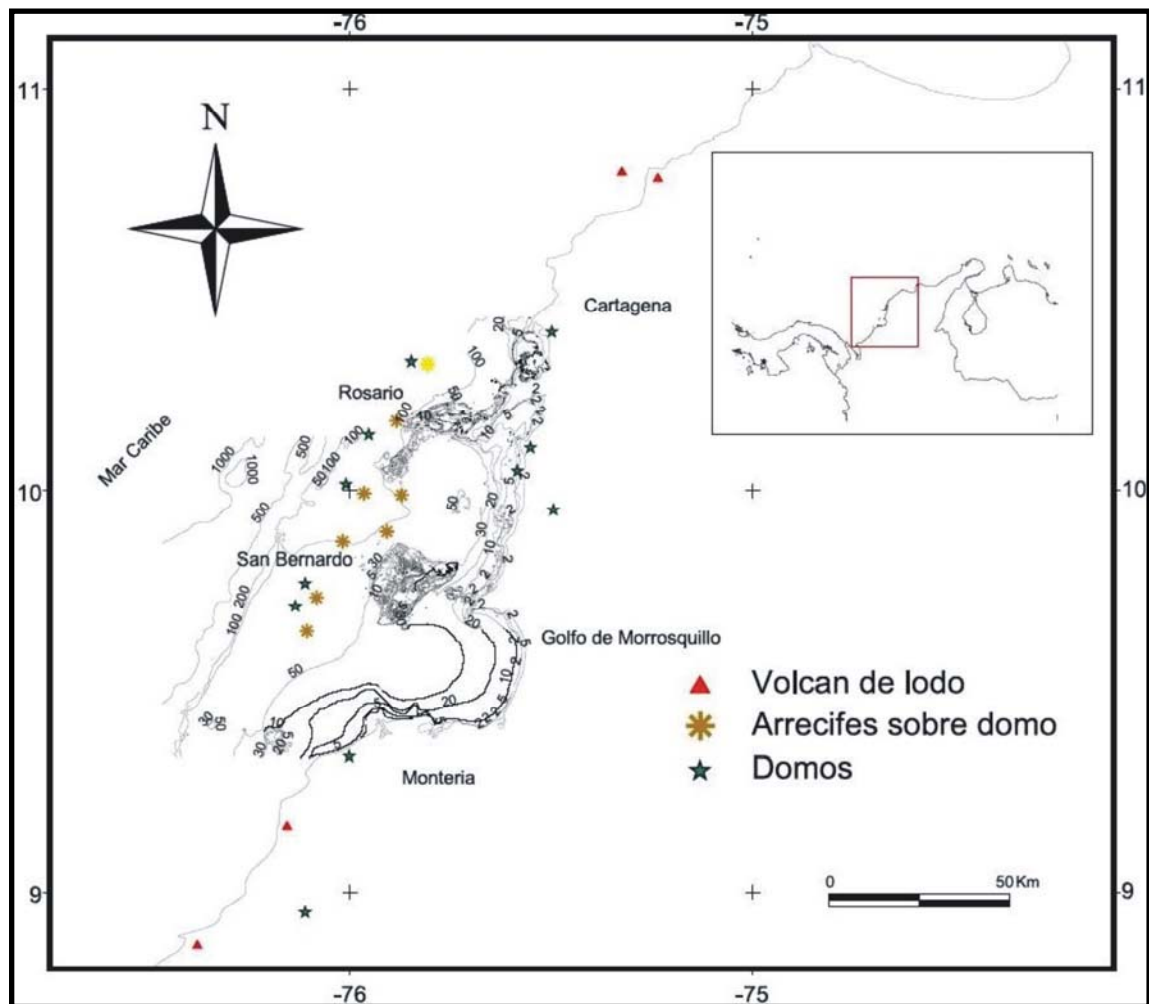


3.1.3 Diapirismo de lodo en Colombia. El diapirismo de lodo en el Caribe colombiano, está registrado desde hace varios siglos; en la expedición FIDALGO en 1774, se registró en el sector de Galerazamba un volcán de lodo que se denominó el volcán del Totumo. Tiempo después, en 1801, Alexander Von Humbolt mencionó los volcancos de lodo de Turbaco situados en las colinas alrededor de la ciudad de Cartagena (Vernette, 1985). A finales del siglo XX los principales autores que han estudiado este fenómeno en nuestro país fueron Duque-Caro (1979, 1984) y Vernette (1985).

Para la región que corresponde al Cinturón Sinú-San Jacinto, Duque-Caro (1984), habla de “masas cónicas de lodo”, que emergen aisladas a través de grandes zonas de falla, siguiendo el rumbo general de este terreno; estas geoformas fueron observadas por este autor en las regiones de Cartagena, Barranquilla, Arboletes y Punta Canoas, se considera que el diapirismo de lodo es el fenómeno del Cinturón Sinú-San Jacinto.

Posteriormente Vernette en 1985 realiza una cartografía preliminar de la presencia del diapirismo (Fig. 8), tanto en tierra como costa afuera, donde encuentra que muchos de los domos entre los archipiélagos de San Bernardo y del Rosario están colonizados por arrecifes de coral, además que la dirección preferencial de estos diapíros es paralela a la del Cinturón Sinú-San Jacinto.

FIGURA 8. Localización de evidencias del fenómeno diapírico en el Caribe colombiano, en la grafica se observan las diferentes expresiones de esto proceso en la región. (Adaptado de Vernette 1985).



3.2 CORALES DE PROFUNDIDAD.

Las comunidades de corales de profundidad están conformadas por corales azooxanthelados, que se desarrollan en condiciones de bajas temperaturas y oscuridad (Freiwald et al. 1999), y al igual que los corales zooxanthelados hermatípicos, algunos de ellos construyen verdaderos arrecifes. Requieren condiciones ambientales especiales para su desarrollo, como la presencia de sustratos duros (Freiwald et al., 1999, Mortensen et al., 2001), y zonas con parámetros oceanográficos relativamente estables, en términos de temperatura y salinidad (Dons, 1944, Freiwald et al., 2002). Crecen por debajo de la línea del oleaje de tormentas locales (Fredericksen et al., 1992) y se asocian a corrientes fuertes, permanentes o episódicas (Dons, 1944, Fredericksen et al., 1992); son longevos y de crecimiento lento, constituyendo así verdaderos archivos de los cambios climáticos globales (Gass, 2003).

4. METODOLOGIA

4.1 RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

Para la elaboración de este estudio fue necesaria la recopilación de información secundaria, en temas relacionados con la Geología y procesos relacionados con el fenómeno diapírico del sector a estudiar, también se recopiló información sobre fauna de profundidad y de trabajos realizados en lugares del mundo con características geológicas similares al Caribe colombiano.

4.2 FASE DE CAMPO

La fase de campo para este trabajo se desarrolló a bordo del buque de investigación (B/I ANCON) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR (Fig. 9). La cual se llevó a cabo los días comprendidos entre el 22 de abril y el 2 de mayo del año 2005.

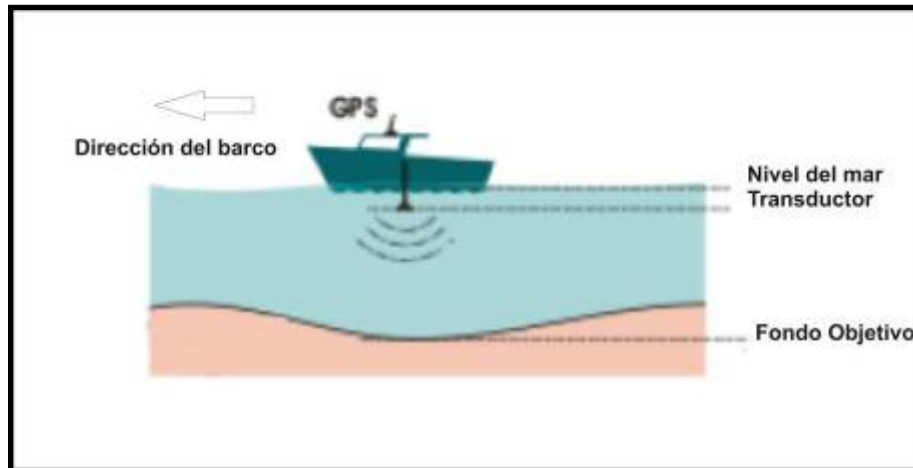
FIGURA 9. B/I Ancon (INVEMAR 2004).



4.2.1 Adquisición de información geofísica. Durante la primera fase del crucero se realizó la adquisición de información geofísica y batimétrica del área de estudio mediante un ecosonda portátil Single Beam Knudsen de doble frecuencia (12-200 khz). Esta herramienta funciona transmitiendo pulsos sonoros que viajan a través del agua y unos pocos metros bajo el fondo marino, que son captados por el transducer, el cual también los transmite y posteriormente son registrados.

En esta herramienta la fuente del pulso y el receptor (transducer) están en el mismo lugar y en movimiento con respecto del fondo (Fig. 10), las diferentes frecuencias funcionan con objetivos diferentes, la de alta frecuencia (200 kHz) se emplea para obtener los datos batimétricos ya que la señal no penetra en el sustrato, proporcionando mayor precisión al determinar la profundidad cuando el pulso es devuelto al receptor después de que establece contacto con el fondo; estos pulsos son georreferenciados por medio de un GPS diferencial que posee un error de posicionamiento que va de 0.5 a 5 m alrededor del punto georreferenciado y posteriormente son registrados de forma digital en la CPU que controla la Ecosonda. El canal de menor frecuencia es empleado para capturar la morfología del fondo y las primeras capas de sedimento, y su penetración depende del tipo de sedimento del fondo, este canal es registrado de igual forma que el anterior. En general, se estimó para el área una penetración de 12m aproximadamente.

FIGURA 10. Esquema de la recolección Geofísica, consiste básicamente en la emisión de ondas sonoras con el barco en movimiento, el transductor es la fuente de las ondas y la mismo tiempo funciona como receptor.



Se realizó el levantamiento geofísico alrededor de tres sectores demarcados para la investigación y nombrados como A, B, C. El sector A con unas dimensiones de 4 x 15 km, el sector B de 4 x 4 km y el sector C con dimensiones de 4 x 11 km; para cada sector se tomaron transectos aproximadamente paralelos a la costa; para los sectores A y C con dirección NE - SW y para el sector B con una dirección NS, que fueron denominados líneas principales y perpendicular a éstos se realizaron otros recorridos de comprobación. La velocidad de los recorridos fue aproximadamente de 4 nudos, la dirección de los transectos fue planeada de esta forma, ya que las estructuras en esta zona son paralelas a la costa, dicha dirección es la orientación principal del cinturón plegado de Sinú-San Jacinto.

Los recorridos principales están separados entre sí 250 m, y fueron 17 para cada sector, los de comprobación se tomaron con un espaciamiento de 1000 m entre sí, con 15 transectos para la zona A, 5 para la zona B y 11 para la zona C, para un área total de 102 km² cubiertos por información geofísica y batimétrica (Figs. 11-13) Durante la toma de esta información se presentaron algunos inconvenientes

técnicos con la herramienta en el registro de las primeras líneas y por esta razón se presentan algunos vacíos (Figs. 11-13).

FIGURA 11. Mapa de los registros tomados en el sector A, las flechas indican la dirección en la se inició la adquisición de los registros, es decir los registros marcados con números impares van en esta dirección y los pares van en sentido contrario al que muestra la flecha, lo cual se cumple para las líneas principales (paralelas a la costa) como para las de comprobación (perpendiculares a las líneas principales), los espacios vacíos en las líneas son debidos a los problemas durante la toma de la información.

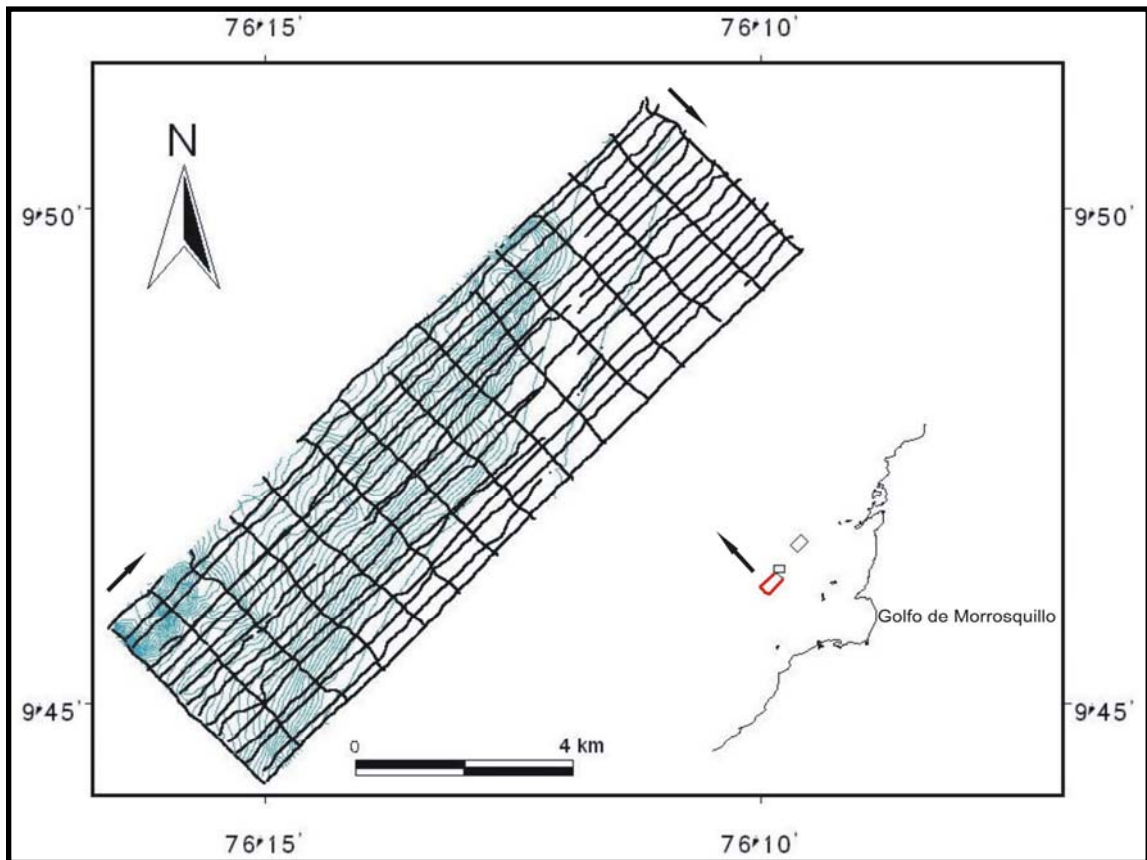


FIGURA 12. Mapa de los registros tomados en el sector B, las flechas indican la dirección en que se inició la adquisición de los registros, es decir los registros marcados con números impares van en esta dirección y los pares van en sentido contrario al que muestra la flecha, lo cual se cumple para las líneas principales (paralelas a la costa, que en este sector no son completamente paralelas) como para las de comprobación (perpendiculares a las líneas principales), los espacios vacíos en las líneas son debidos a los problemas durante la toma de la información.

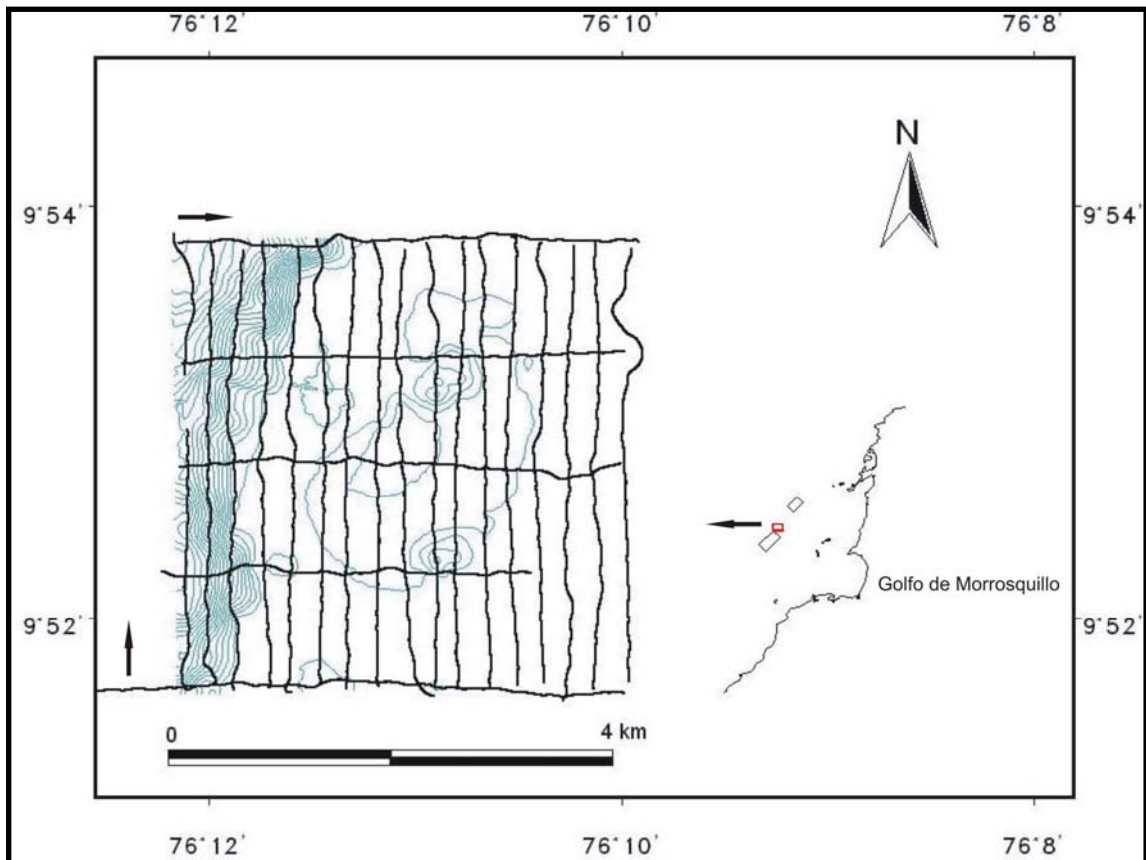
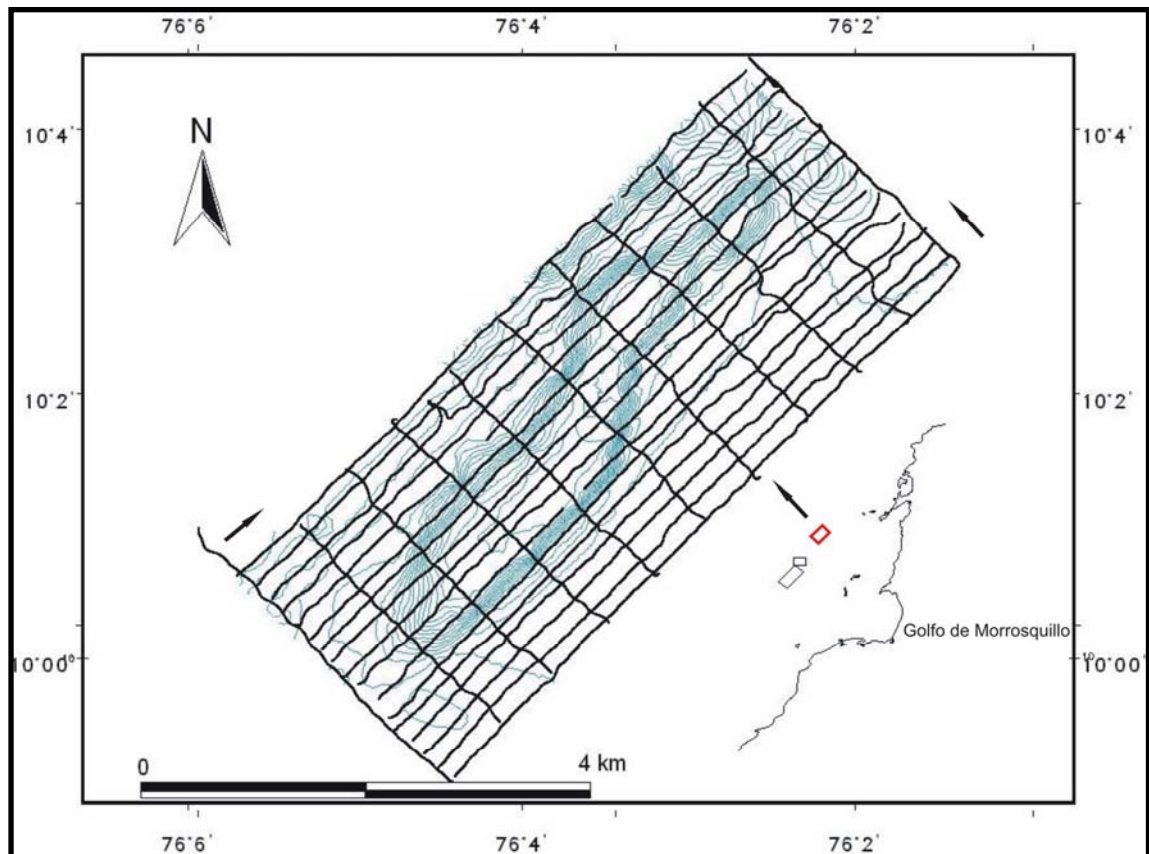


FIGURA 13. Mapa de los registros tomados en el sector C, las flechas indican la dirección en la que se inició la adquisición de los registros, es decir los registros marcados con números impares van en esta dirección y los pares van en sentido contrario al que muestra la flecha, lo cual se cumple para las líneas principales (paralelas a la costa) como para las de comprobación (perpendiculares a las líneas principales), los espacios vacíos en las líneas son debidos a los problemas durante la toma de la información.



4.2.2 Muestreo sedimentológico. Las muestras sedimentológicas se tomaron con una draga tipo Van Veen de 60 litros (Fig. 14), la cual es lanzada al fondo del mar mediante un winche; un sencillo dispositivo de cierre atrapa dentro de ella sedimento de las capas más superficiales.

FIGURA 14. Draga Van Veen (modificada 60 litros) usada en el muestreo sedimentológico durante la posición de lanzamiento.



Se obtuvieron muestras de 53 dragados distribuidos de la siguiente manera: para el sector A, se realizaron 26 dragados, donde 18 fueron dragados efectivos y 8 dragados vacíos, para el sector B, se efectuaron 12 dragados, de los cuales 10 fueron dragados efectivos y 2 fueron dragados fallidos y para la sector C, se realizaron 15 dragados de los cuales, 12 fueron dragados efectivos y 3 dragados vacíos, para un total de 40 muestras de sedimento. De cada dragado se tomaron aproximadamente 500 gr, los cuales se empacaron en bolsas plásticas, en cuyo rótulo registró la información de las coordenadas geográficas y la profundidad observada en la ecosonda en el lugar del muestreo. El resto de la muestra se lavó hasta dejar únicamente el material biológico como las conchas y demás organismos colectados, como peces, esponjas, crustáceos, para los análisis biológicos.

En los casos que la draga arribó vacía, o con una cantidad muy pobre (menor al 10% del volumen de la draga) de sedimento en la superficie, se realizaron varios intentos adicionales. Si a pesar de esto no se obtenía ninguna muestra del fondo, se realizaba la anotación de un posible fondo rocoso; o si por el contrario este lance contenía sedimento se colectaba y se realizaba la anotación que fue tomado en el segundo lance del lugar y se registraba en la bitácora que hubo dificultad por las corrientes, las cuales se evidenciaban en la marcada inclinación que mostraba la draga en la ecosonda en su descenso hacia el fondo; en la recolección del sedimento también se tuvo en cuenta el porcentaje de sedimento que ocupaba la draga al llegar a la cubierta, este porcentaje se estimó de forma visual, y se registró en la bitácora.

Los dragados fueron tomados con espaciamiento de 2 km según el diseño planeado, y en algunas ocasiones fue modificado el lugar previsto para el muestreo dependiendo de las condiciones de trabajo en el buque y con un número de estaciones limitado al tiempo y el presupuesto.

Se tomaron muestras de dragas tanto en la plataforma como el talud, ya que el área de estudio está conformada por porciones de estas dos regiones; los muestreos variaron en profundidad de 72 a 160 m sobre la plataforma y de 160 a 410 m sobre el talud.

4.2.3 Muestreo de fondos duros. También se llevó a cabo un muestreo de fondos duros mediante el empleo de una caja de arrastre metálica, con una cavidad de entrada de 100 cm de largo por 40 cm de alto, y con una red de cadenas con ojo de malla de 10 cm y una longitud total de 150 cm (Fig. 15); los arrastres se realizaron sobre el quiebre de la plataforma, iniciando en la parte más profunda hacia la plataforma continental con el fin de abarcar una mayor profundidad y por ende mayor registro litológico; de este modo, también se buscó ampliar la posibilidad de recolectar corales sobre este registro litológico. Los

arrastres fueron efectuados por un intervalo de 5 minutos a una velocidad de deriva (1 a 1,5 nudos) registrando el recorrido en la ecosonda; las muestras de rocas recolectadas fueron rotuladas con la posición profundidad inicial y final de cada recorrido, para después almacenarlas en cajas.

FIGURA 15. . Caja de arrastre para fondos duros. La imagen ilustra una muestra sobre la cubierta del buque, la cual contiene fragmentos de roca, coral y lodos.



4.3 FASE DE LABORATORIO

4.3.1 Clasificación de sedimentos. La clasificación de sedimentos marinos se llevó a cabo con base en la estandarización de los criterios sedimentológicos para la cartografía de la plataforma continental realizada por Vernet (1982). Esta clasificación se basa en dos parámetros básicos: granulometría y contenido de carbonato de calcio.

Granulometría de los sedimentos: La granulometría hace referencia a la clasificación de los sedimento según su tamaño de grano; se realiza con un set de tamices que separa el sedimento en varios tamaños. Para esto se tomaron aproximadamente 250 gr de la muestra que fueron pesados en una balanza de precisión METTER EP 600, y posteriormente fueron secados en un horno a $90^{\circ} \pm$

5º durante 48 horas. Luego se tomaron aproximadamente 100 gr los cuales fueron disgregados y tamizados en un Rotap Fritch Vibratory Sieve Shaker durante 15 minutos usando un set de tamices de ojo de malla de 2, 1, 0.500, 0.250, 0.125, 0.063mm y uno en el fondo para los tamaños menores a 0.063mm (Rangel Buitrago, 2004).

En esta clasificación se destacan tres categorías de sedimentos (Tabla 1.): Sedimentos gruesos (Gránulo) que están entre 2 mm y 2 cm, los sedimentos de tamaño medio (Arenas) que van desde 63 μ hasta 2mm y los sedimentos más finos, limos y los lodos, con un tamaño de grano inferior a 63 μ .

TABLA 1. Clasificación de los sedimentos según su tamaño (tomado de Vernette 1982).

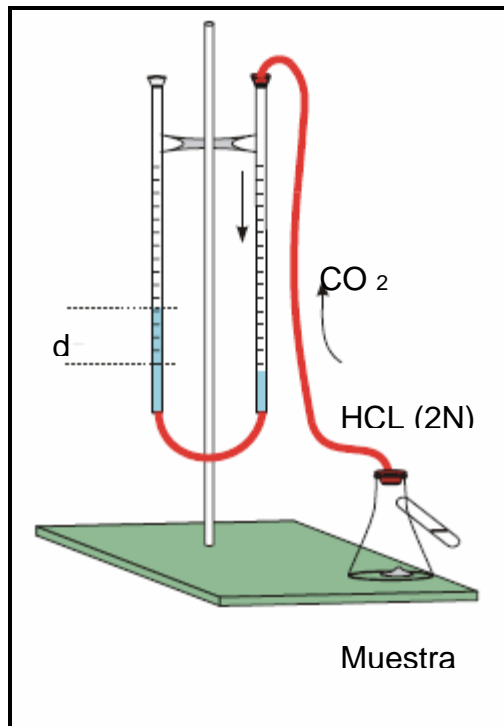
NOMBRE	CODIGO	RANGO DE TAMAÑO
Grava	C	> 2cm
Granulo	G	Entre 2mm y 2cm
Arena gruesa	Ag	Entre 500 μ y 2mm
Arena media	Am	Entre 160 μ y 500 μ
Arena fina	Af	Entre 63 μ y 160 μ
Limo	L	Entre 2 μ y 63 μ
Lodo, arcilla	F	< 2 μ

Porcentaje de carbonato de calcio: el contenido de CaCO₃ se determinó empleando la técnica del Calcímetro de Bernard (Fig. 16), la cual consiste en la disolución del carbonato usando una solución acida de HCL con una concentración 2N.

Este sistema está compuesto de un par de buretas conectadas entre si por una manguera que contiene agua; una tercera bureta unida a un tubo de ensayo en el

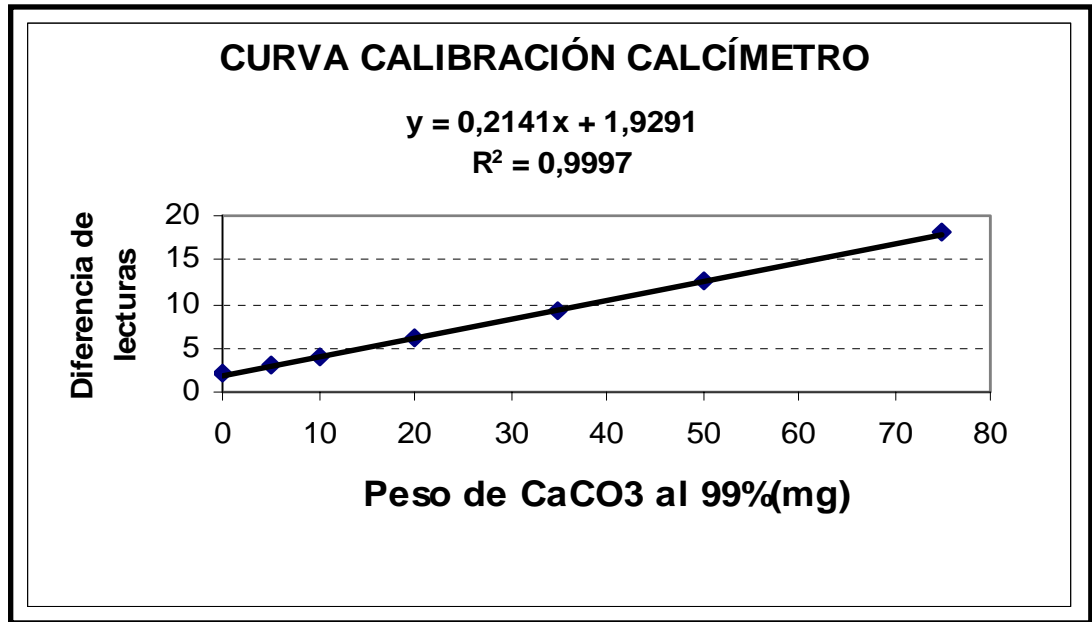
cual se coloca la muestra previamente pulverizada donde se adiciona por medio de una jeringa HCl 2N (Fig. 16).

FIGURA 16. Esquema del Calcímetro de Bernard, en la grafica se observa la configuración de la herramienta y se indica la distancia (**d**), la cual representa el desplazamiento de la columna de agua provocada por la reacción del carbonato con el ácido clorhídrico, distancia que es usada para el cálculo de la cantidad de carbonatos.



En la disolución del carbonato por el ataque del ácido se libera CO_2 , que desplaza la columna de agua con respecto a una altura inicial; este desplazamiento es tomado para el cálculo del porcentaje de carbonato. Para esto se preparó ácido clorhídrico con una concentración de 2N y se pesaron 70 ± 5 mg de muestra previamente pulverizados; para el cálculo del porcentaje de carbonato de calcio fue necesario realizar una curva de calibración (Fig. 17), la cual se realizó midiendo el desplazamiento de la columna de agua para diferentes cantidades de muestra con el porcentaje de carbonato conocido.

FIGURA 17. Curva de calibración para el calcímetro, esta se realizó en el Laboratorio de química del INVEMAR.



Para asignar el nombre a la muestra según el porcentaje de carbonato se usan principalmente dos términos “Lito” y “Bio” los cuales hacen referencia al tipo de partículas, es decir si se tiene un bajo porcentaje de carbonatos se tendrá un origen mineral para las partículas, en este caso se usa el término “Lito” y si el porcentaje es alto se usa el término “Bio” el cual sugiere un origen biológico de las partículas. Para concentraciones intermedias se usa una combinación de los dos términos, que sugerirá una mezcla de orígenes de las partículas, es decir mineral y biológico, para esto se usa en primer lugar el término correspondiente al origen predominante (Tabla 2).

El término “clástico” se utiliza en un sentido amplio, es decir, se aplica a todos los residuos y partículas cualquiera que sea su naturaleza o procedencia.

TABLA 2. Clasificación según el porcentaje de carbonato de calcio (tomado de Vernette 1982). La nomenclatura para clasificar los sedimentos se obtiene por la asociación del término que corresponde al tamaño y el relacionado con la concentración de carbonatos (Tabla 3).

NOMBRE	CODIGO	PORCENTAJE DE CARBONATO DE CALIO
Litoclastico	L	< 15%
Lito-bioclastico	lb	Entre 15 y 50%
Bio-litoclastico	bl	Entre 50 y 85 %
Bioclastico	B	> 85%

TABLA 3. Tabla de clasificación de sedimentos CIOH (1982).

% De arenas % De CaCO₃	ARENAS	ARENAS LODOSAS	LODOS ARENOSOS	LODOS	
LITOCLASTICO	ARENAS LITOCLASTICAS	ARENAS LODOSAS LITOCLASTICAS	LODOS ARENOSOS LITOCLASTICOS	LODOS LITOCLASTICOS	0%
LITOBIOCLASTICO	ARENAS LITOBIOCLASTICAS	ARENAS LODOSAS LITOBIOCLASTICAS	LODOS ARENOSOS LITOBIOCLASTICOS	LODOS LITOBIOCLASTICOS	15%
BIOLITOCLASTICO	ARENAS BIOLITOCLASTICAS	ARENAS LODOSAS BIOLITOCLASTICAS	LODOS ARENOSOS BIOLITOCLASTICOS	LODOS BIOLITOCLASTICOS	50%
BIOCLASTICO	ARENAS BIOCLASTICAS	ARENAS LODOSAS BIOCLASTICAS	LODOS ARENOSOS BIOCLASTICOS	LODOS BIOCLASTICOS	85%
	100%	90%	50%	10%	100%

4.3.2 Análisis de información. En esta fase se realizó el análisis estadístico de los sedimentos, la interpretación de los registros de ecosonda, mapas de distribución de tamaño de grano, de distribución de carbonatos y geomorfología.

Análisis estadístico de los sedimentos: el análisis estadístico se realizó con la ayuda de un software desarrollado por Ken Wholertz de la Universidad de California. Los Alamos National Laboratory, DOE (Departamento de Energía de los Estados Unidos), a partir de este se realizaron histogramas y curvas de frecuencia.

Revisión de los registros geofísicos: En la observación y análisis de los registros se llevaron a cabo varias etapas.

Impresión: Para tener una relación espacial de las morfologías observadas en los perfiles, fue necesaria la impresión de los registros, ya que la herramienta usada realiza la toma de información en formato digital (.keb). Para esto fue necesario convertir los archivos a formato .pdf mediante un software llamado *PDF creator*, debido a que el software usado para visualizar la información, no permite realizar impresiones eficientes. De esta manera se pudo organizar varios registros en una tira de papel y así realizar una impresión eficiente usando un software de diseño llamado *CoreIDRAW 11*.

Interpretación: Con los registros impresos se realizó la observación de ellos por sector, y por grupo de transectos, es decir principales y de comprobación. Sobre cada registro se hicieron anotaciones de los rasgos más relevantes, como morfologías del fondo, fracturas o fallas, de los cuales se tomaban las coordenadas de los puntos observados y eran ploteados en el software *Arcview 3.2*, para conocer su distribución y comportamiento en el espacio; también se realizaron anotaciones sobre la forma y la tonalidad de los reflectores. Cabe resaltar que los registros fueron interpretados teniendo en cuenta los errores en la adquisición ya que estos no fueron post-procesados.

5. RESULTADOS

5.1 SEDIMENTOLOGIA

5.1.1 Granulometría.

5.1.1.1. Sector A

En el análisis de tamaño de grano para este sector, se encontró básicamente que el 100% de las muestras presentan una tendencia unimodal en la distribución de tamaño de grano. En el 95% de las muestras la moda corresponde al tamaño lodo y el 5% restante a arena media, esta muestra espacialmente está ubicada sobre el borde del talud en la transición plataforma –talud, en esto vale la pena mostrar que la muestras que están más cerca a esta y se ubican sobre la plataforma, tienen como moda el lodo, pero en su distribución posee altos porcentajes en la fracción de arena media.

El 78% de las muestras tiene una pobre selección, el 22% restante esta en un rango de moderadamente bien a bien seleccionada, en esto encontramos que las muestras con pobre selección se encuentran sobre la porción de plataforma muestreada y las que poseen buena selección están sobre el talud.

El sedimento en las fracciones de tamaño arena (63μ -2mm) se compone de carbonatos en un 95% y una porción siliciclástica en el 5% restante; la porción carbonatada está constituida por bioclastos y fragmentos de roca, de los cuales el 80% son bioclastos y el 15% restante son fragmentos de roca.

Los bioclastos están representados por conchas completas de invertebrados (60%) y por fragmentos de conchas (20%). Las conchas completas pueden ser de foraminíferos y moluscos, siendo más abundantes las conchas de foraminíferos

hacia las zonas más profundas (45%), mientras que los moluscos representan en promedio un 15% (Fig. 18). De otra parte el porcentaje de los fragmentos de conchas de invertebrados (20%), esta representado por foraminíferos (13%), equinodermos (2%), moluscos (3%), briozoos (1%), corales (1%); los fragmentos de roca que componen el resto de la fracción carbonatada, son de color blanco grisáceo, de forma angulosa y alargada se encuentran en promedio en un 15%; los fragmentos siliciclasticos son en su totalidad de cuarzo.

La mayor parte de los fragmentos de conchas están ubicadas en las porciones de 125 y 250 μ , según clasificación de Wentworth; se ubican en el mismo rango de tamaño de los foraminíferos y la composición siliciclastica. La parte de los sedimentos que corresponde a fragmentos de rocas carbonatadas tienen un tamaño de grano arena fina, que en su mayoría se encuentran en la fracción de 125 μ (Fig. 19).

Sobre la plataforma continental de este sector, se observaron partículas muy redondeadas de color naranja con un tamaño de grano arena fina (125 y 250 μ), principalmente en la fracción de 250 μ (Fig. 20), que al contacto con HCL reacciona consumiendo la porción carbonatada; al observar el final de la reacción se tiene un remanente, de grano siliciclástico (cuarzo en todas las reacciones observadas), lo cual podría corresponder a la descripción de los ooides, según lo propuesto por Riding (2000). Este autor establece que en procesos de calcificación por bacterias y hongos es común encontrar partículas atrapadas dentro de la cubierta carbonatada, mientras Rogenstein 1998 (En: Brehm 2004) dice que los ooides son partículas ovaladas o esféricas compuestas de carbonatos y que se desarrollan en regiones tropicales en cercanía a una fuente carbonatada como una plataforma calcárea. Estos granos también aparecen en los sectores B y C pero de una forma muy aleatoria, las concentraciones más altas están en el sector A, específicamente en la parte central y norte.

FIGURA 18. En la foto se observa la composición del sedimento, esta compuesto principalmente de foraminíferos, también se observan algunos restos de otros invertebrados.

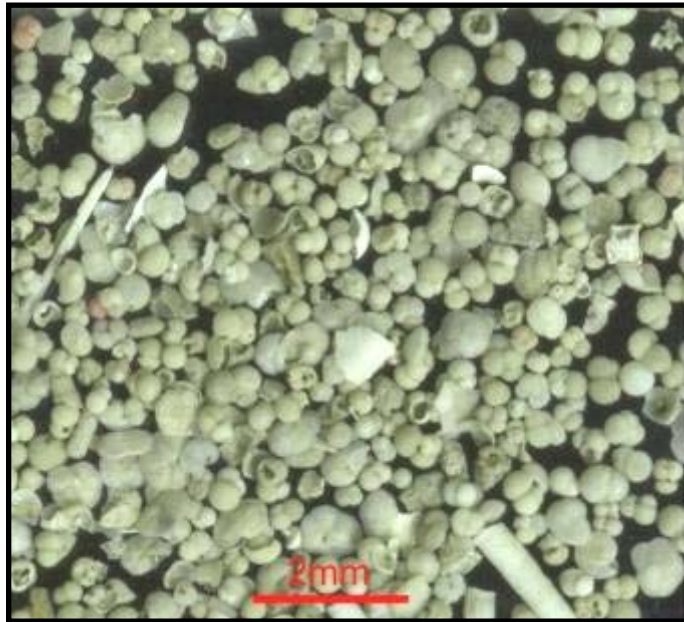


FIGURA 19. En la foto se observa la composición del sedimento, esta compuesto principalmente de fragmentos de roca carbonatada y en menor cantidad se observan restos de conchas de invertebrados.



FIGURA 20. En la foto se observa la composición del sedimento, esta contiene un gran porcentaje partículas redondeadas que posiblemente sean ooides, también se observan en menor porcentaje restos de conchas y algunos fragmentos de rocas carbonatadas.



5.1.1.2 Sector B

En este sector, de igual manera el comportamiento de las muestras es unimodal, de las cuales el 60% de las muestras tiene como moda el tamaño de grano lodo, el 30% tiene como moda la arena fina y el 10% restante presenta como moda la arena media; al igual que en el sector A las muestras que tienen como moda los tamaños arena fina y media, tienen dragados con mayor contenido de lodos que están ubicadas cerca y que poseen porcentajes altos de arena fina y media; todas estas muestras están sobre la plataforma.

En este sector el 90% de las muestras están pobremente seleccionadas, y el 10% de las muestras tiene un moderada selección, en este sector las muestras con

pobre selección están distribuidas en profundidades que van de 100-160m y las que tienen moderada selección, están a mas de 230m de profundidad.

La composición en este sector también presenta un dominio de bioclastos, que están constituidos principalmente por conchas de foraminíferos, estas conchas aparecen en promedio como los 50% del sedimento, conchas de micromoluscos que ocupan el 8%, briozoos en un 2% y cantidades menores de fragmentos de conchas de otros invertebrados que en promedio aparecen en un 20%. Los fragmentos de rocas carbonatadas en este sector es del 18% en promedio y los fragmentos siliciclasticos están en un 2%, que en su totalidad se trata de granos de cuarzo.

5.1.1.3 Sector C

En este sector la tendencia central para la granulometría también es unimodal, con el predominio de sedimentos tamaño lodos, donde el 83% de las muestras presentan esta moda y el 17% restante tiene como predominio la arena media. En este sector las muestras con moda en el tamaño de arena media están ubicadas a menor profundidad, la cual corresponde a la cima de la estructura observada en este sector, las muestras donde predomina el lodo están ubicadas a lado y lado de las estructuras y se encuentran a más de 120m de profundidad.

Para este sector la cantidad de muestras con pobre selección es del 50% y el 50% restante esta de moderado a muy bien seleccionado, las muestras con una selección moderada a muy bien seleccionada, están distribuidas sobre la plataforma, la cual para este sector esta a 150 m y alrededor de la estructura, por otro lado las muestras con selección pobre tienen un amplio rango de profundidad, dichas muestras se encuentran distribuidas de 73 a 160m aproximadamente.

La composición del sedimento en los dragados de este sector también presenta abundancia de bioclastos, la cual está conformada de la siguiente manera: Foraminíferos completos componen el 50% del sedimento, moluscos el 5%, fragmentos de conchas en una proporción del 20% y fragmentos de rocas carbonatadas en un 25%, en este sector el contenido de material siliciclástico es nulo.

Para la cartografía de los atributos sedimentológicos de la zona (Figs. 21,22), se clasificaron los sedimentos según los parámetros expuestos por Vernet (1982); por la baja densidad del muestreo se realizaron mapas de distribución de grano y de distribución del porcentaje de carbonato de calcio (% de CaCO_3) por separado, ya que la integración de la información en un mapa de facies requiere de información más detallada y la densidad de muestreo se considera suficiente únicamente para plantear un modelo preliminar de distribución de sedimentos que requiere ser confirmado con más muestras que permitan realizar las respectivas extrapolaciones a grandes áreas. En la clasificación de los sedimentos por el tamaño de grano se tuvo una tendencia normal de distribución según su ambiente de depositación, como planteó Folk (1974), ya que el tamaño de grano disminuye con la profundidad, excepto en algunos dragados

FIGURA 21. Mapa de distribución de tamaño de grano para las áreas A - B (clasificación del CIOH).

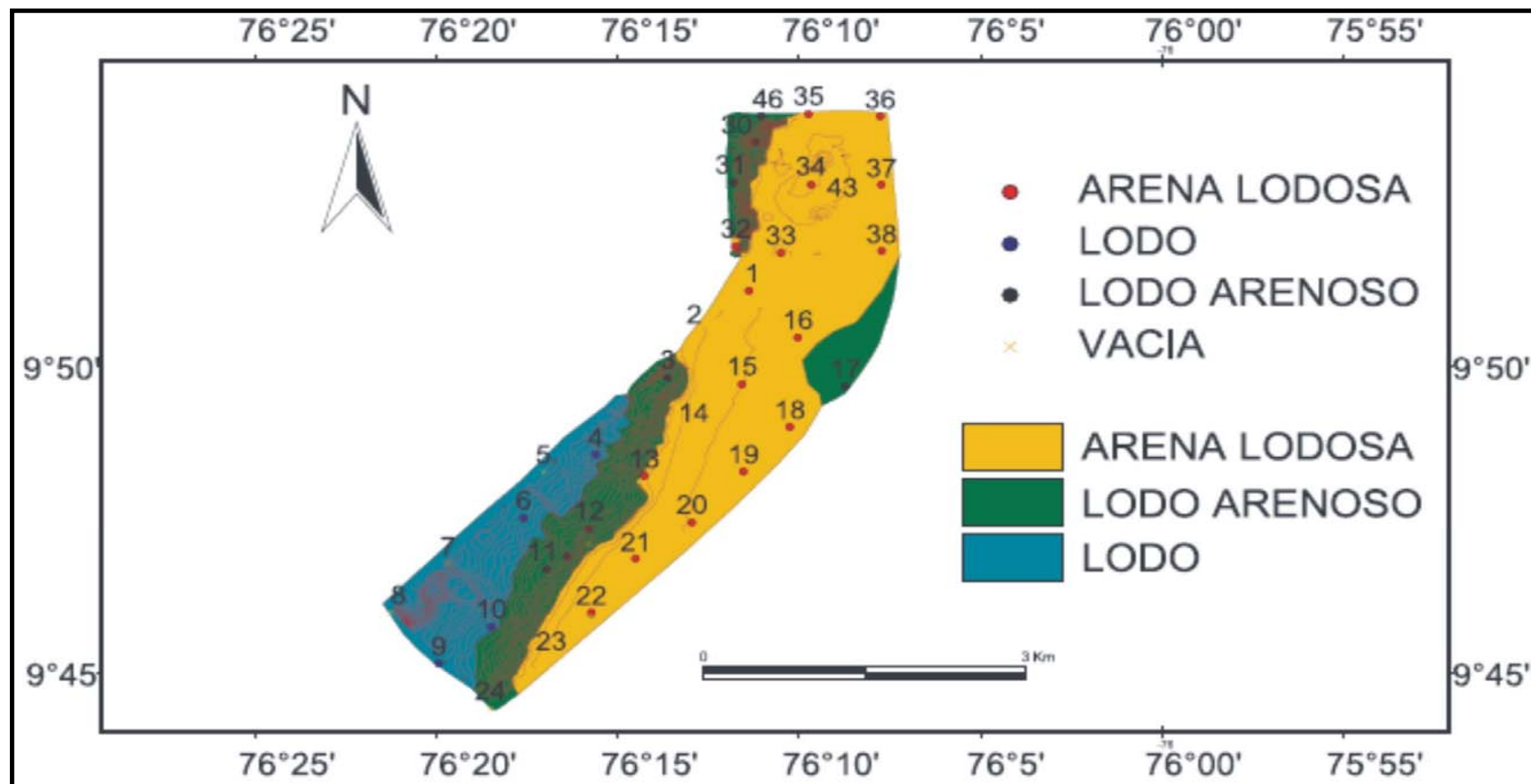
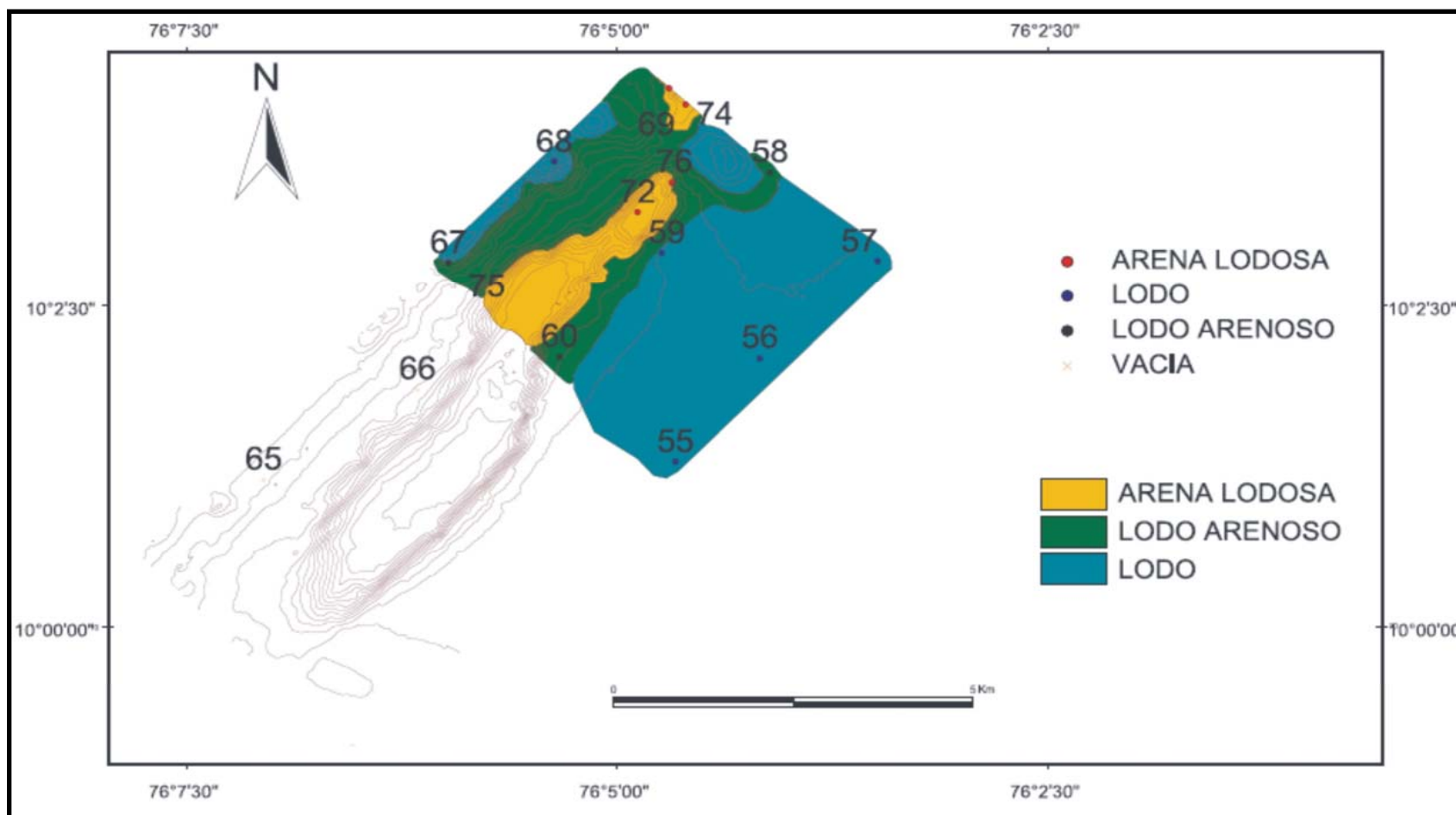


FIGURA 22. Mapa de distribución de tamaño de grano para el área C (Basado en la clasificación del CIOH)



5.2 DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS

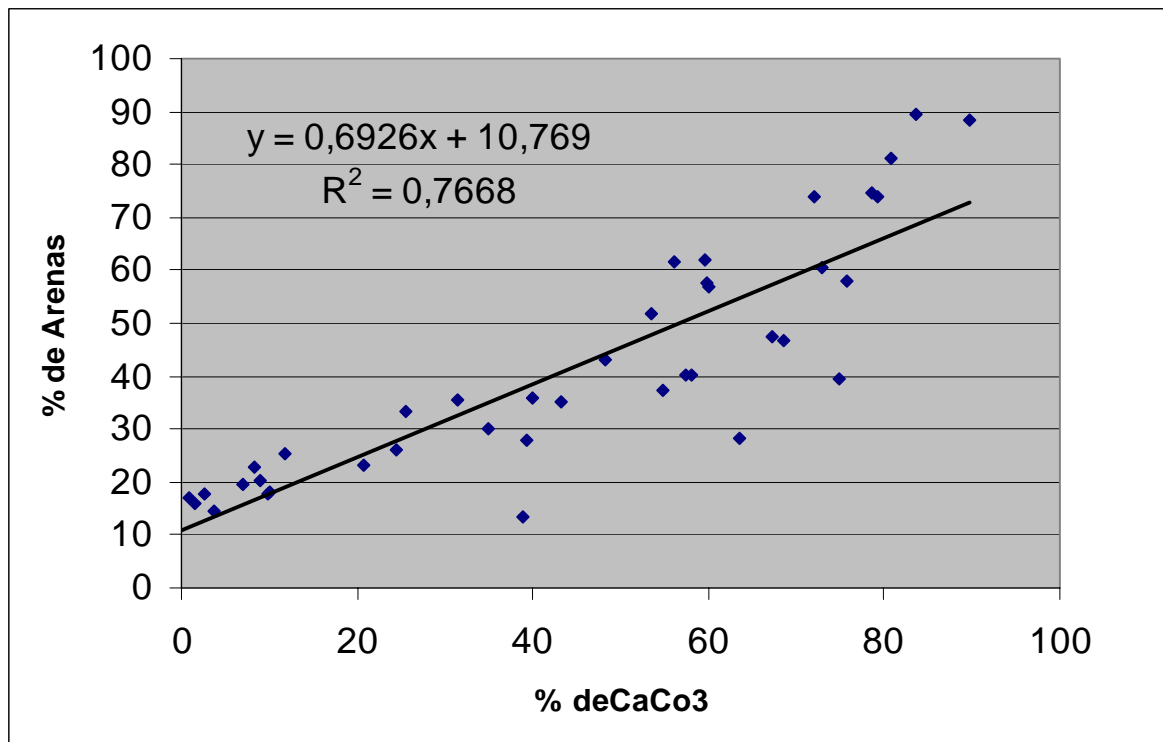
La distribución de los carbonatos en el área de estudio, esta relacionada con la profundidad, en este caso el porcentaje de carbonato de calcio en los dragados disminuye con la profundidad, si lo comparamos con lo expuesto por Morse (2003), el cual menciona que la fuente del carbonato de calcio, en sedimentos de aguas profundas depende principalmente de la cantidad de restos de foraminíferos, tendría validez ya que en este trabajo se observó la disminución del tamaño de grano con la profundidad y por ende menor cantidad de conchas y partículas carbonatadas, que podrían ser el producto de la precipitación de carbonatos autigénicos, que de igual forma son de gran importancia en los ambientes marinos.

La mayor concentración de carbonatos se encuentra en el área C sobre la cima de la estructura, la cual está directamente relacionado con la presencia de corales y otros invertebrados calcáreos y se encuentra en la menor profundidad del sector.

De otra parte, la tendencia general de los carbonatos es la disminución de norte a sur en los sectores A y B (Fig. 24), y a su vez también disminuye hacia las partes más profundas del talud donde se observaron las concentraciones más bajas de carbonatos de calcio (Fig. 25).

Al relacionar el porcentaje de carbonatos con el porcentaje de arenas en una gráfica realizada para mostrar la cantidad de carbonatos contra la cantidad de conchas (% de arenas) se muestra a continuación (Fig. 23); en la grafica se puede observar una buena correlación del control que ejercen las conchas y las demás partículas (posibles oolitos y fragmentos carbonatados) sobre la cantidad de carbonatos, lo cual nos sugiere que la mayor parte de los carbonatos en el sedimento, corresponden a los bioclastos.

FIGURA 23. Relación entre el porcentaje de arenas y el porcentaje de carbonatos, nótese que el coeficiente de la regresión lineal nos da un valor aceptable.



Si se observan los mapas de distribución de tamaño de grano y los mapas de contenido de carbonatos (Figs. 21 y 22, 24y 25, respectivamente), se tiene que las regiones con sedimentos de tamaño de grano arena, coinciden en buena parte con las regiones que poseen los más altos porcentajes de carbonatos.

FIGURA 24. Mapa de distribución de % de CaCO_3 para las áreas A y B (Basado en la clasificación del CIOH).

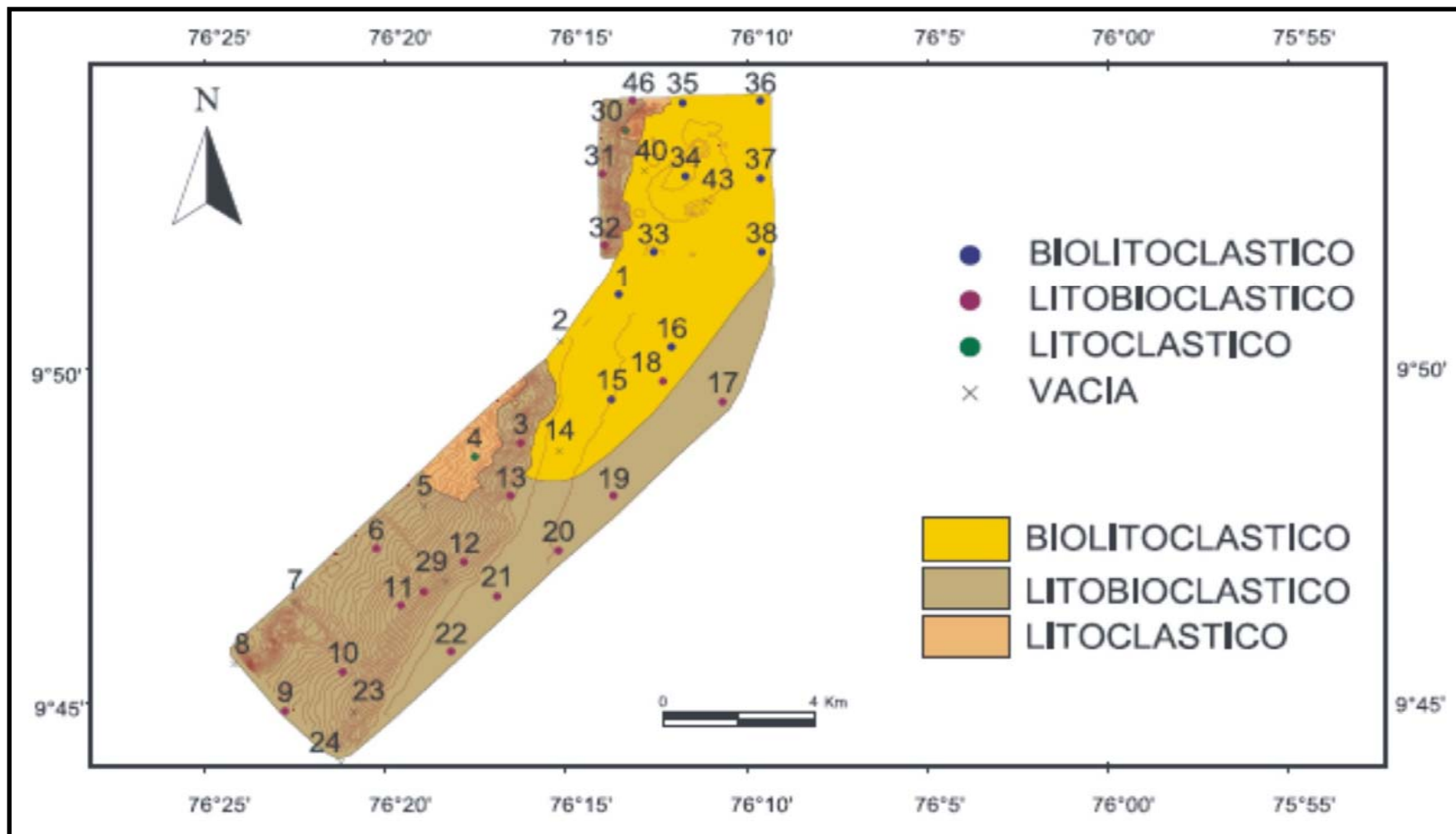
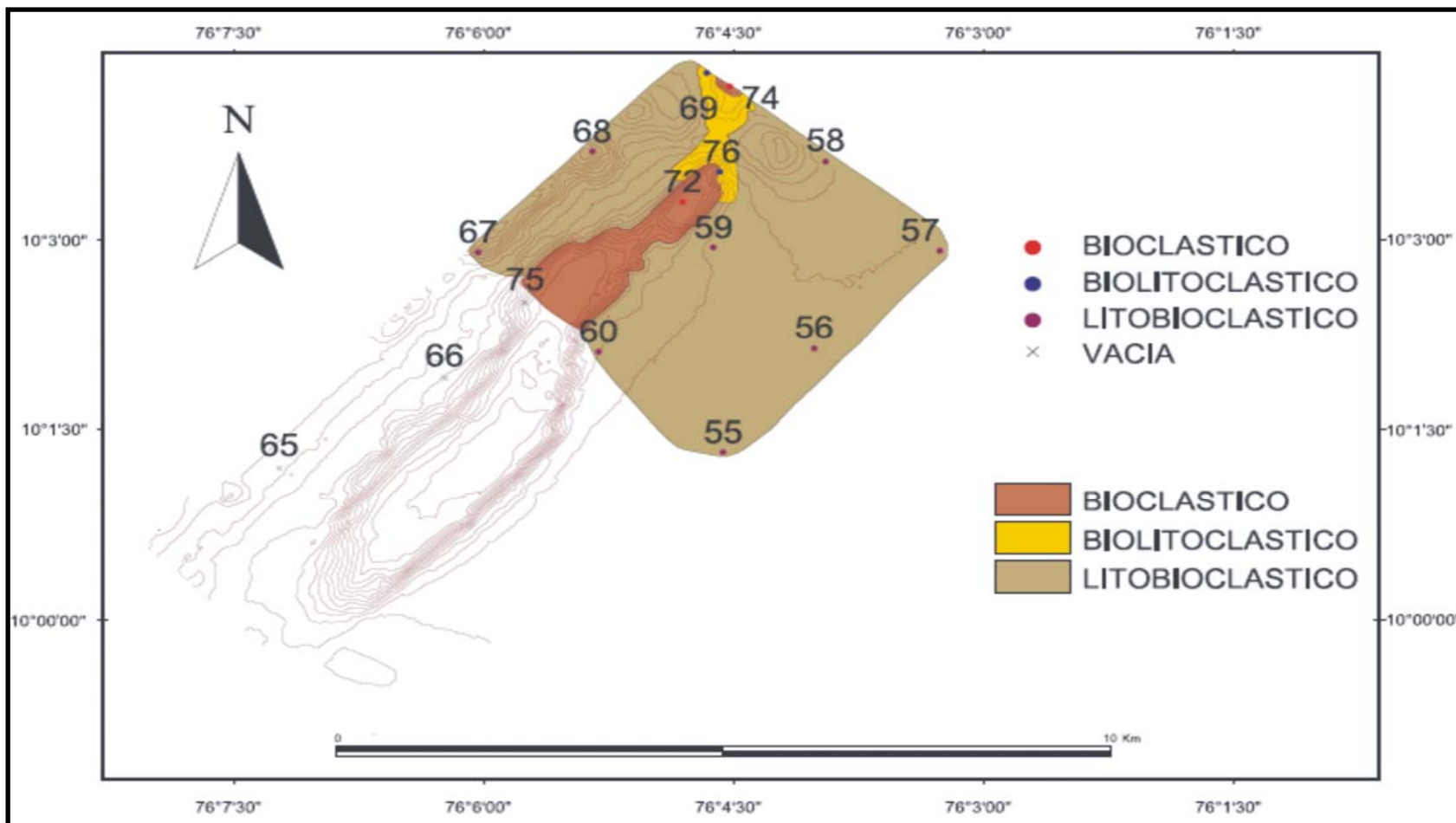


FIGURA 25. Mapa de distribución de CaCO₃ para el área C (Basado en la clasificación del CIOH)



5.3 FONDOS ROCOSOS.

En el muestreo de fondos rocosos se recolectaron principalmente rocas carbonatadas, con dimensiones de 10 cm a 80 cm de longitud; igualmente se recolectaron estructuras cilíndricas semejantes a madrigueras de animales, o conductos de algún tipo de fluido proveniente de capas inferiores de hasta 15 cm de longitud.

En algunas de las muestras rocosas o de las estructuras cilíndricas, se encontraron corales adheridos a la superficie, la descripción macroscópica de estas muestras mostró principalmente cuatro características: Agujeros (“Huellas de disolución”) en la superficie, superficies planas, corales fósiles, conchas cementadas, colores típicos producto de la oxidación.

1. Agujeros (“Huellas de disolución”): En la mayoría de las rocas se notan estos agujeros (“huellas de disolución”), que van desde unos pocos centímetros hasta alcanzar los diez o más centímetros, dependiendo del tamaño de la muestra; en algunas muestras estos agujeros que atraviesan de lado a lado la roca (Fig. 26 – A y B).
2. Superficies planas: En las muestras se observa una morfología plana, que evidencia los planos de estratificación (Fig. 26-B), en una de estas muestras se pudo realizar un corte perpendicular al plano de estratificación y se observaron sus características texturales. Es una roca con una matriz de granos tamaño arena fina a media, los cuales se encuentra cementados con carbonatos; los granos forman laminas de diferentes granulometrías (arena fina y arena media), estructura que se presenta en una escala muy pequeña, en una sección aproximada de 3cm. La forma de los granos es irregular, aunque

algunos son redondeados a subredondeados; la muestra tiene un mal calibrado y la composición básicamente es siliciclastica (Fig. 26-C).

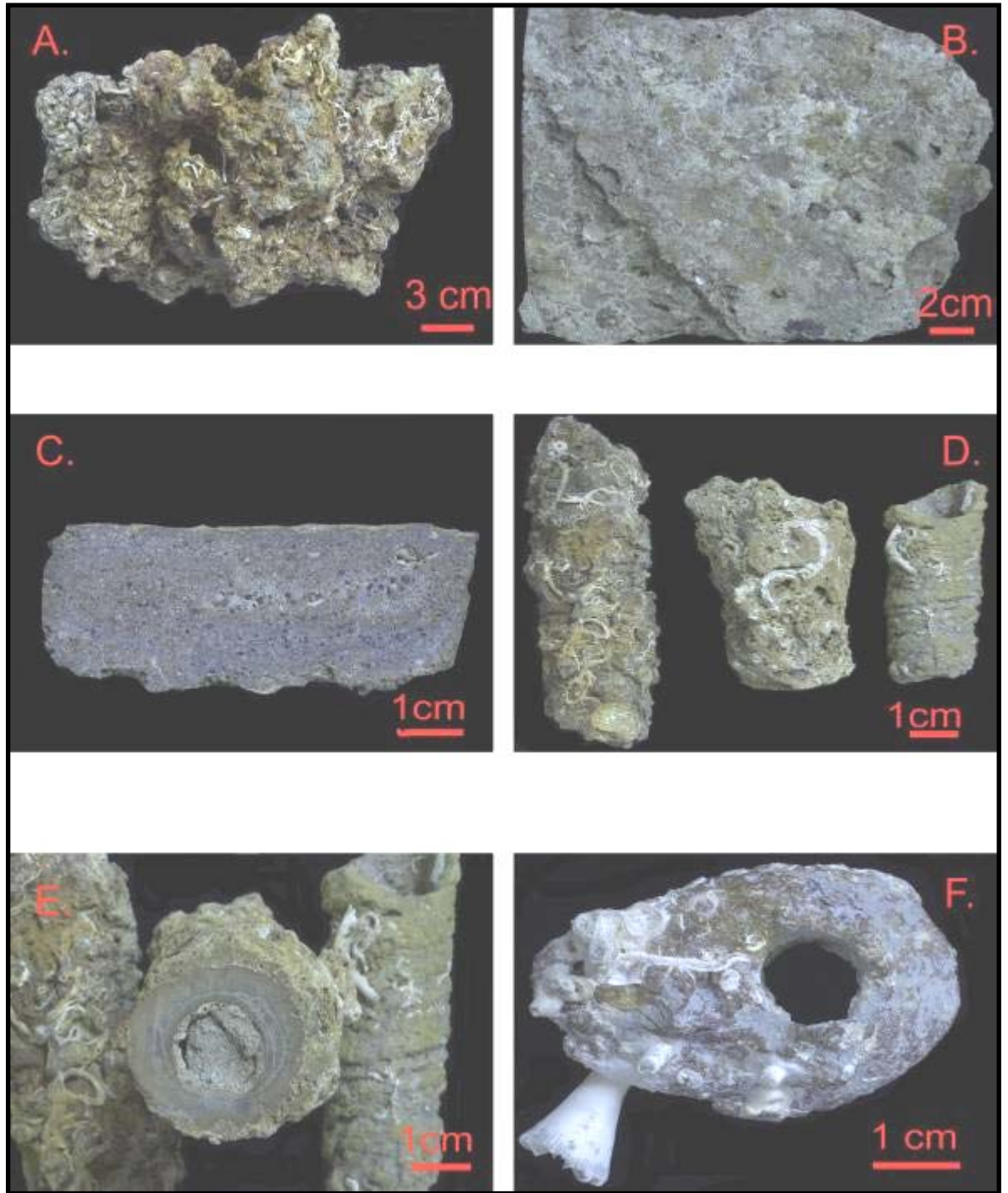
3. Corales fósiles: En las rocas colectadas se pudieron reconocer corales fósiles de diferentes especies, siendo estas de aguas someras, la mayoría de las muestras son fragmentos de coral, no se observaron fragmentos completos; los tamaños van desde 10 cm hasta 20 cm de longitud.
4. Conchas cementadas: algunas de las muestras colectadas son agregados de conchas de color blanco unidas entre si por cemento calcáreo.
5. Oxidación: En la mayoría de las muestras se encuentran rastros de oxidación de colores rojos - café y amarillos; estos rastros sólo aparecen por una cara de la muestra (Ver Fig. 26 – A), posiblemente sea la cara ubicada hacia arriba.

Chimeneas

Este tipo de muestras corresponden a estructuras cilíndricas, que fueron recolectadas en la draga # 31 (sector B-225 m), localizado a 2 km mar afuera de los domos observados en este sector. Estas estructuras tienen longitudes aproximadas de 5 a 15 cm y diámetros exteriores de 3 a 6 cm aproximadamente, con orificios de 1 a 3 cm. de diámetro (Fig. 26 – D, E, F). En un corte transversal realizado a una de estas estructuras se observó una composición de sedimentos muy finos carbonatados con aspecto de crecimiento radial (Fig. 26 – E).

La presencia de carbonatos se comprobó mediante la reacción de efervescencia al contacto con HCL. El color en la superficie del corte es variable, este varía de un tono café a uno gris hacia el interior de la estructura, lo cual sugeriría eventos episódicos en el desarrollo de la estructura. También se observó una vena concéntrica al orificio con composición diferente al material circundante, dada por su estructura, y su tamaño de grano mayor al material que la circunda. En la parte exterior de las estructuras también se observa el crecimiento radial.

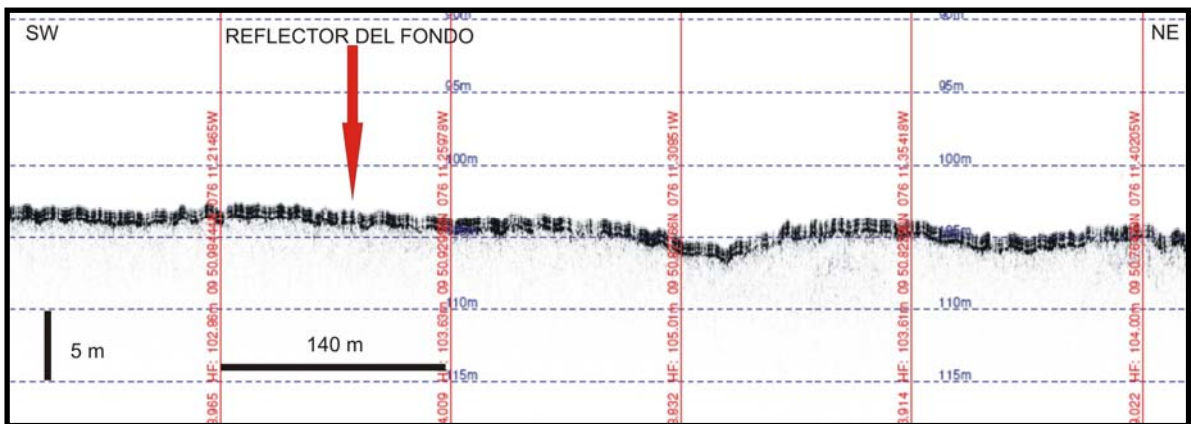
FIGURA 26. Rocas recolectadas A.) Huellas de disolución y oxidación en la roca. B.) Morfología plana. C.) Corte transversal de la roca plana donde se observa su textura. D.) Estructuras cilíndricas. E.) Corte transversal de una de las estructuras donde se observa el crecimiento radial. F.) Coral adherido a una de las estructuras cilíndricas.



5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS DE ECOSONDA.

En la revisión de los registros, se reconocieron reflexiones abajo del fondo hasta 20 m y el reflector del fondo del mar, siendo este el mejor registrado y continuo. El reflector del fondo tiene un espesor aproximado de 1.5 m, en su interior se observan finas líneas paralelas entre si, tiene una forma ondulada en casi la totalidad de su extensión, su tonalidad es mucho mayor a las demás reflexiones, pero no es la misma en todo el fondo, este presenta pequeñas variaciones de tonalidad en ciertos lugares aislados (Fig. 27).

FIGURA 27. En el registro se muestra la forma del reflector del fondo, en el se nota que este se encuentra subdividido en líneas interiores de color blanco que son paralelas entre si (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 KHz).



La apariencia de las reflexiones abajo del fondo es una distribución de puntos y manchas ubicados hasta 20 m por debajo del fondo, el tono de estas reflexiones disminuye con la profundidad. Sin embargo se observan reflectores definidos con diferentes disposiciones espaciales con respecto al fondo, que en la mayoría de los casos son paralelos a subparalelos, otras veces forman una "X" que se presentan en lugares donde hay cambio en la dirección de la pendiente, también

se encuentran otras reflexiones que intersectan el fondo, que pueden empezar o terminar en este; estos reflectores se notan como una línea que se resalta sobre los puntos, otros aparecen como manchas que generalmente son paralelas o subparalelas al fondo, estas en su interior están formadas por puntos y tienen una tonalidad mayor que las resalta sobre lo demás (Figs. 28-31).

FIGURA 28. En el registro se muestra como es la reflexión del fondo en algunos lugares, en este caso es como una distribución de puntos (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).

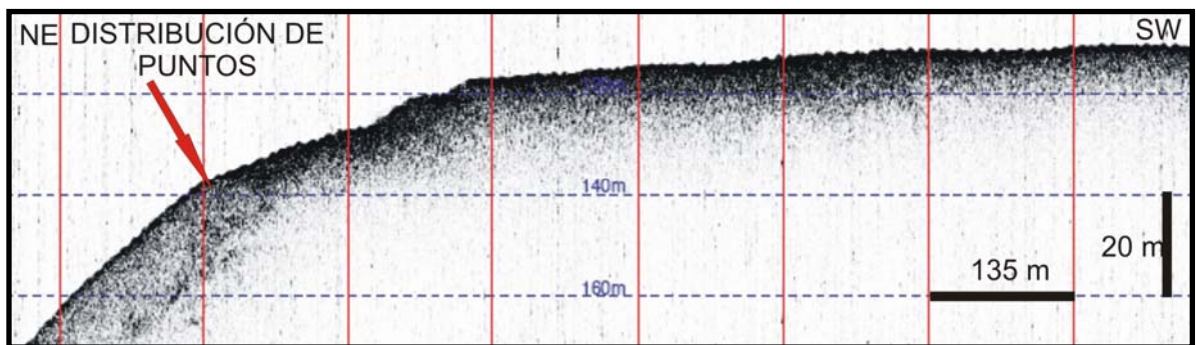


FIGURA 29. En el registro se muestran los reflectores que aparecen subparalelos al fondo observados en algunos lugares, estos reflectores se observan como manchas formados por puntos que de la misma manera forman una línea (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).

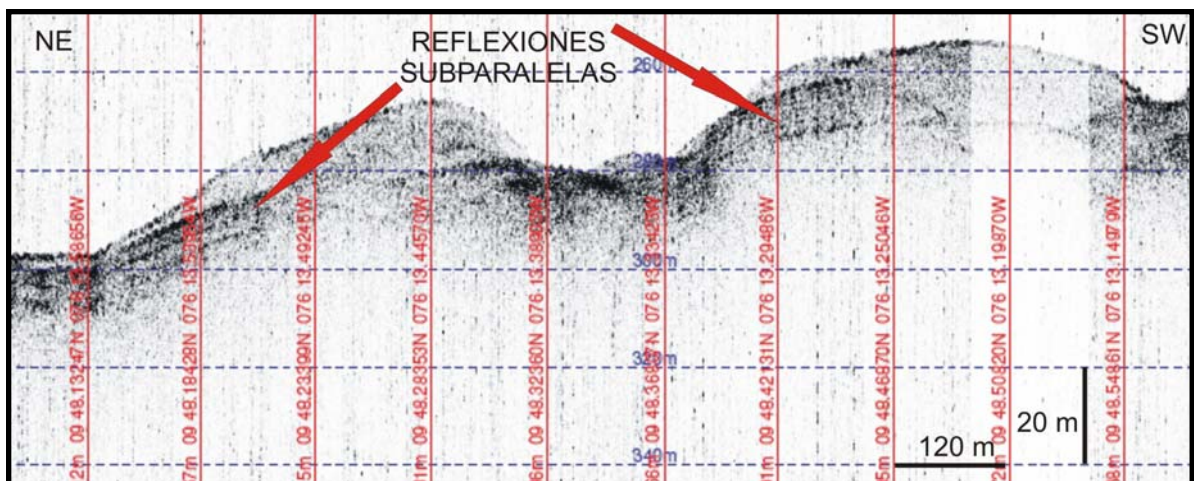


FIGURA 30. En el registro se muestran los reflectores en forma de “X”, que se observan en los lugares donde hay cambio en la dirección de la pendiente, como se observa en la figura (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).

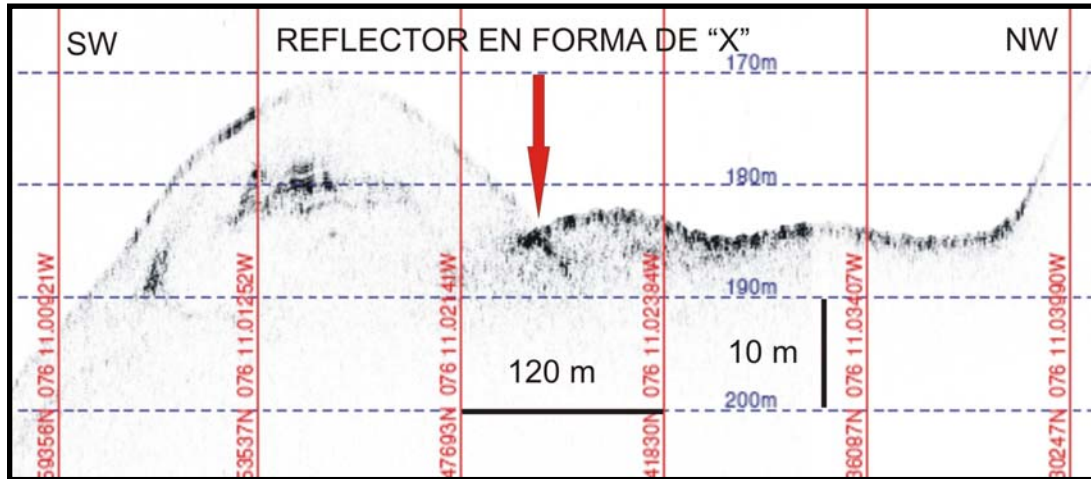
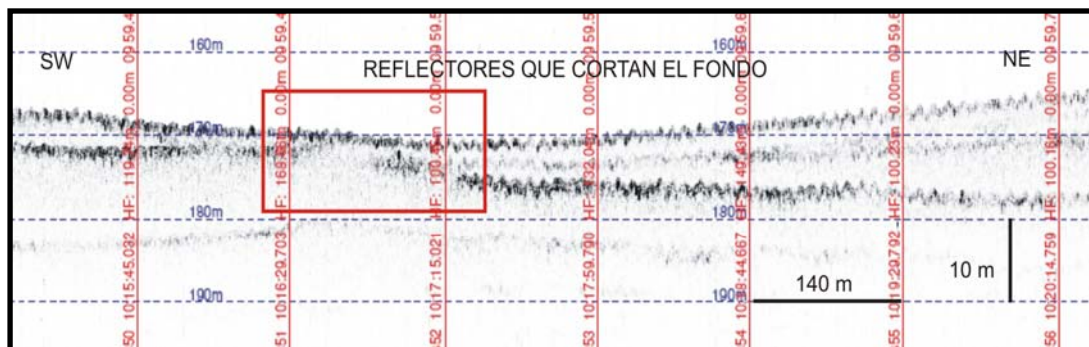
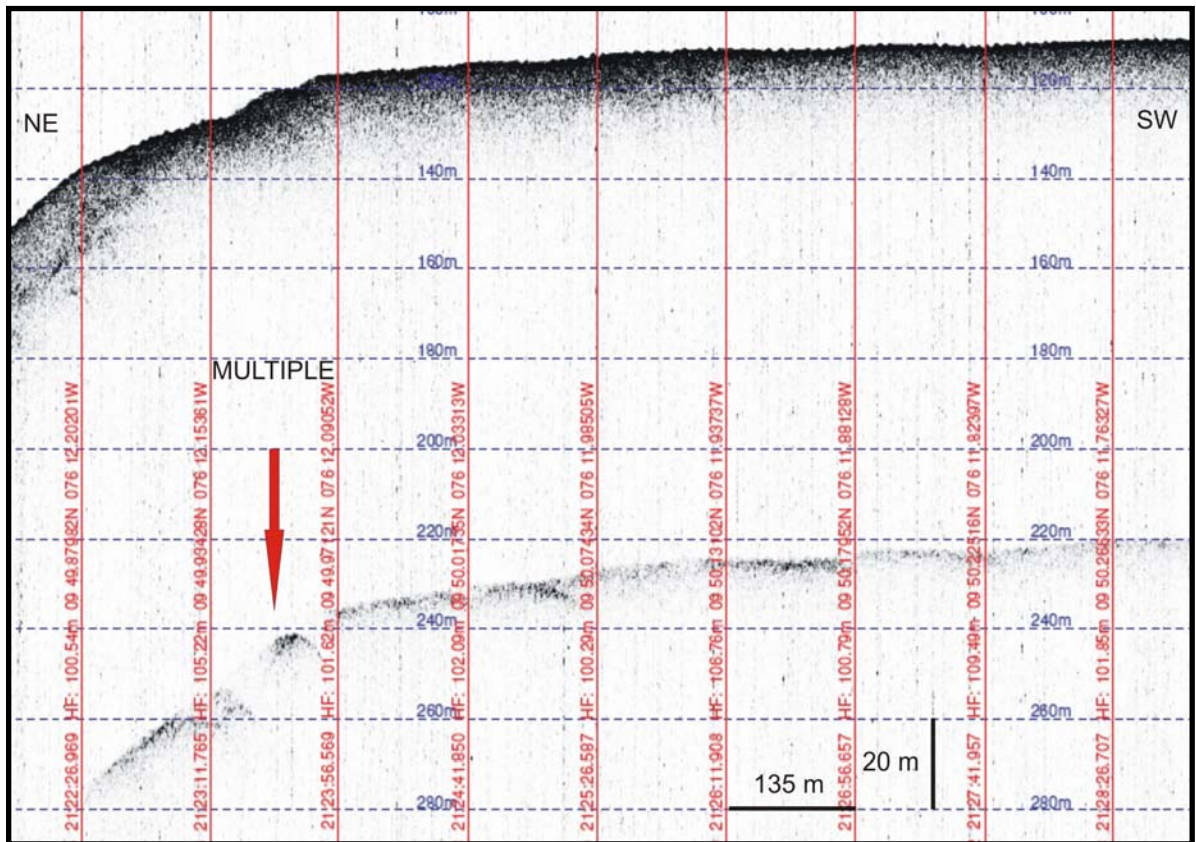


FIGURA 31. En el registro se observan los reflectores que se cortan con el fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).



En los registros también fue evidenciado los errores generados durante la reflexión de las ondas, que se observan en los múltiples (Fig. 32).

FIGURA 32. En el registro se observa un múltiple del reflector del fondo (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 KHz).



5.4.1 Sector A

Plataforma: En los perfiles de ecosonda en la zona A se encontraron algunas discontinuidades en los reflectores del fondo marino, ubicadas sobre la plataforma continental, que podrían ser interpretadas como algún tipo de fracturamiento o fallamiento (Fig. 33), estas discontinuidades se encontraron en casi todos los registros de comprobación, en una zona muy cercana al quiebre de la plataforma y aparecen en casi la totalidad del sector; al cartografiar los puntos se observa que esta característica presenta una orientación aproximadamente NE – SW (Fig. 34).

FIGURA 33. En el registro se observa una posible fractura sobre la plataforma en el sector A (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).

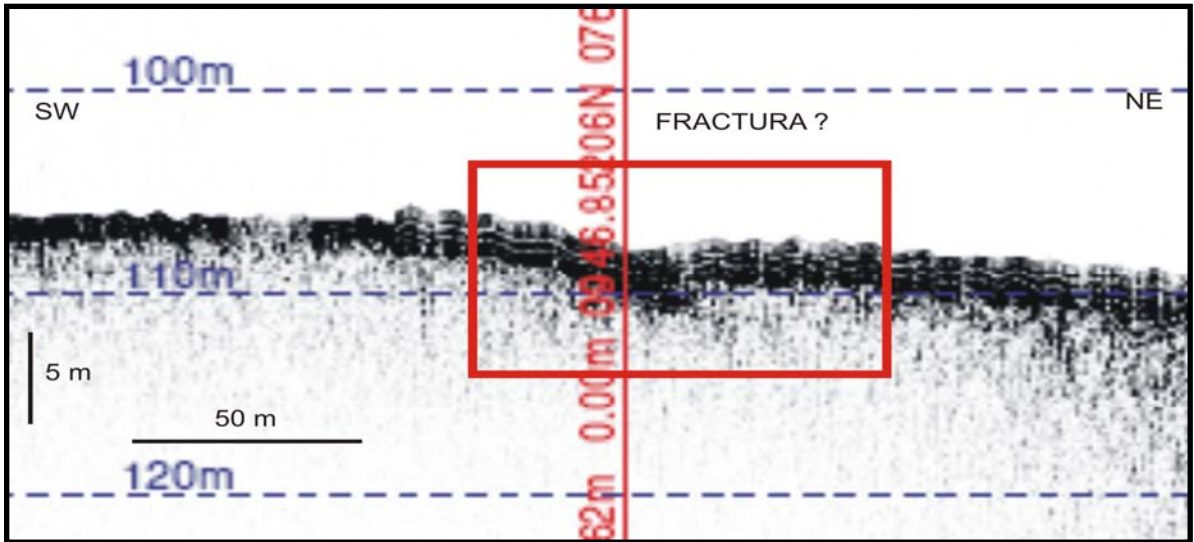
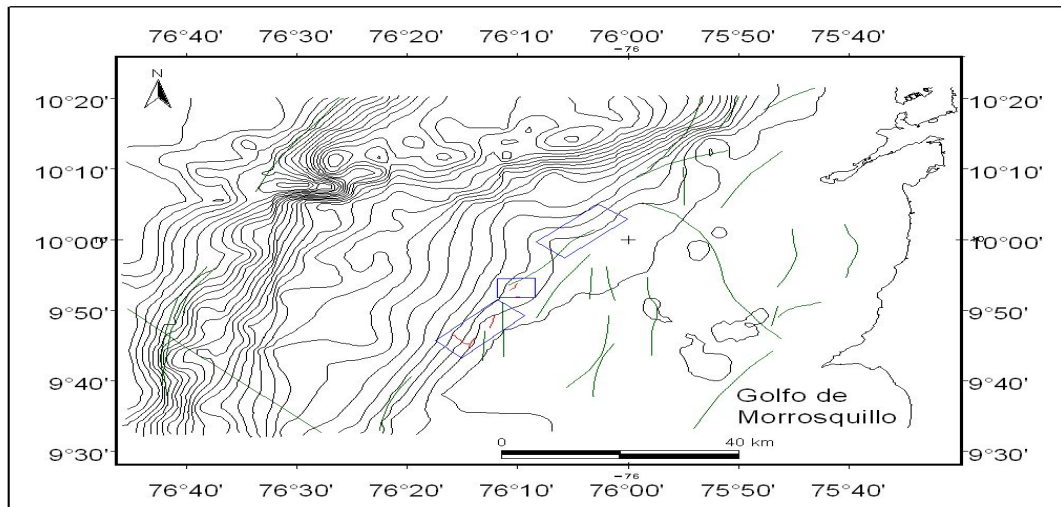
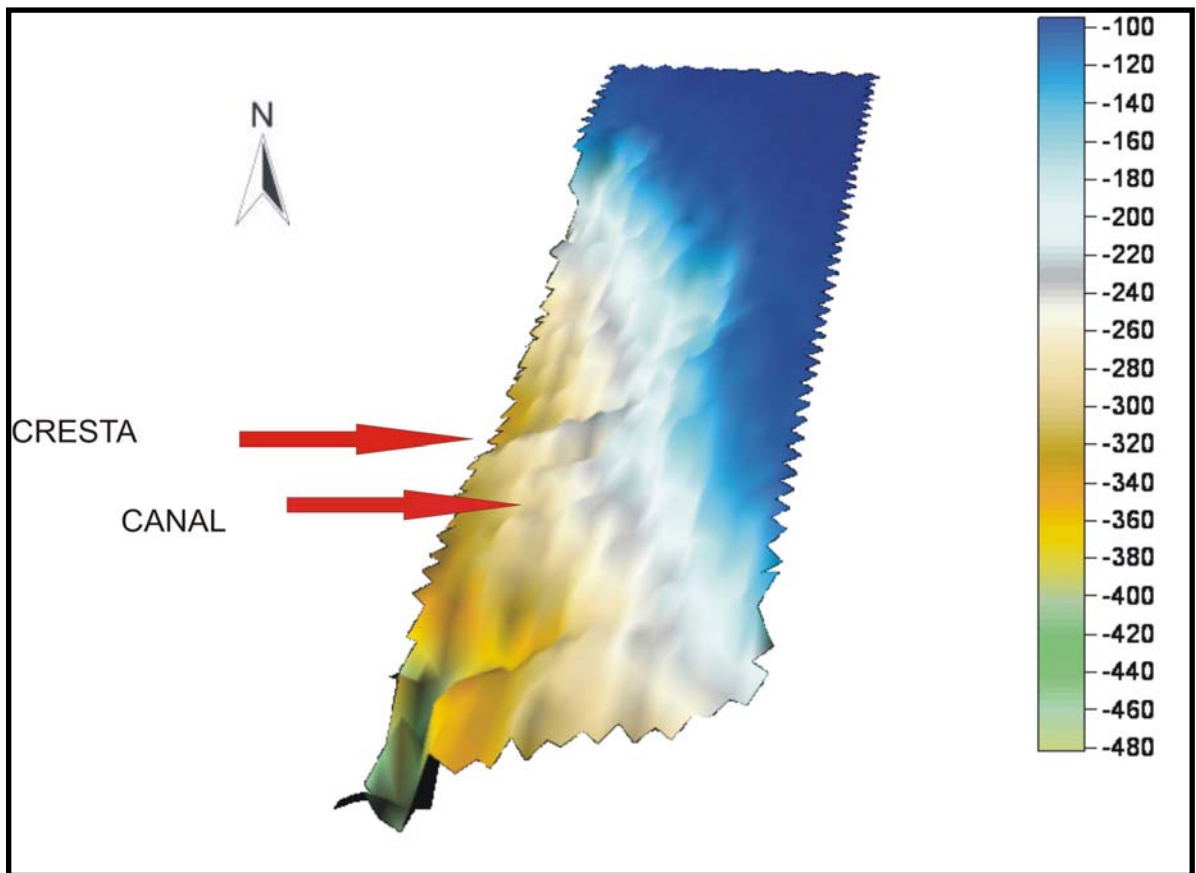


FIGURA 34. En el mapa se representan las fallas cartografiadas para la region por el INGEOMINAS (líneas verdes), también se muestran los lineamientos cartografiados en base a las posibles fracturas observadas en los registros (líneas rojas, los cuadros en azul representan los sectores estudiados)



Talud: En este sector se observaron morfologías, con una tendencia casi paralela entre sí; estas estructuras en algunos lugares van hasta el final del talud, podrían ser canales y crestas (Fig. 35), las cuales llegan a tener más de 500 m de longitud y más de 20 m de alto.

FIGURA 35. Modelo digital del sector A, en el se muestra las morfologías llamadas en este texto canales y crestas.



Los relieves denominados positivos o crestas, presentan como característica general, un flanco sur con menor pendiente que el flanco norte, el flanco sur es más largo, el flanco norte por el contrario es más corto y un poco más pendiente (Fig. 36), Algunas de estas estructuras también presentan en sus flancos posibles estructuras de depositación; estas son unas cuñas que aparecen sobre uno de los costados de las crestas, en la gran mayoría de los registros sobre el flanco más

alargado y menos pendiente, estas estructuras se podrían comparar con las observadas por Vernet (1992) muy cerca de esta zona (Fig. 37).

FIGURA 36. En el registro donde se muestra el flanco más largo de las crestas en el talud del área A (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz)

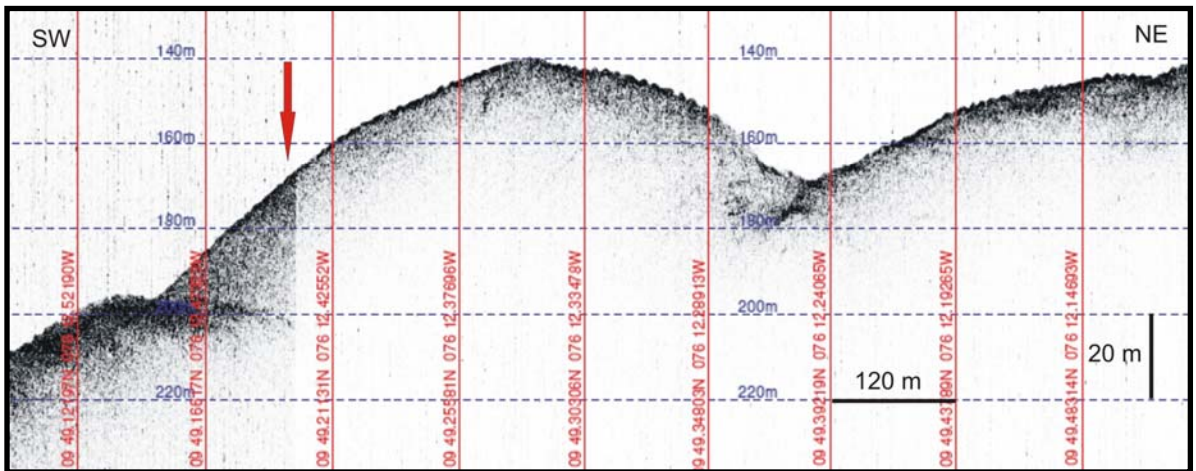
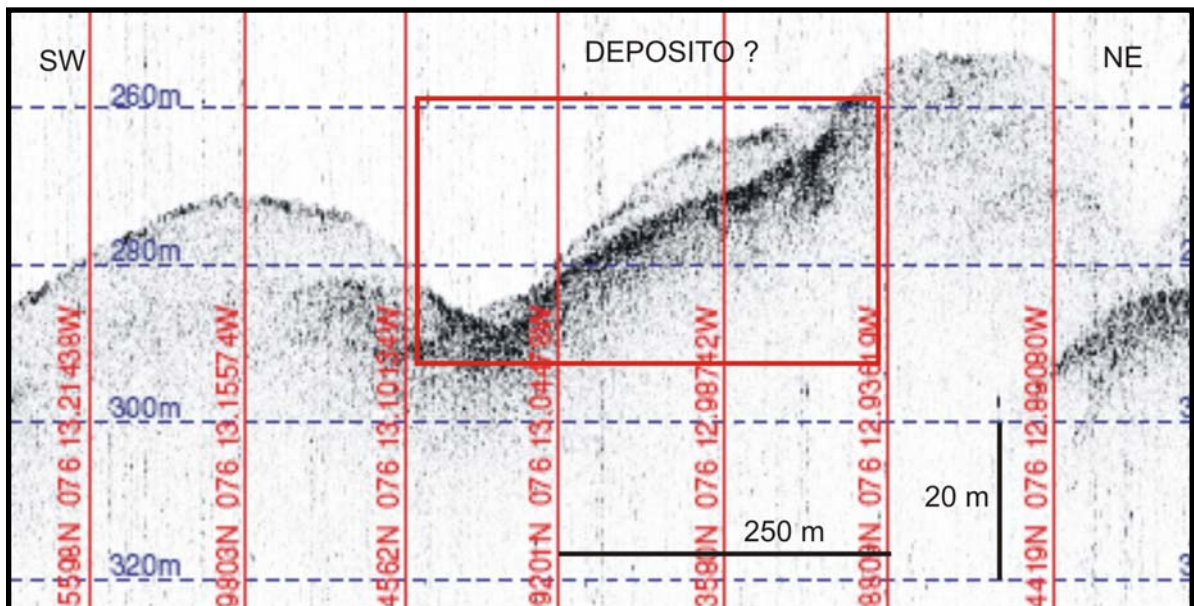


FIGURA 37. Posible depósito sobre un flanco en las crestas ubicadas en el talud de la zona A (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz)



En el sector A también se observaron reflectores débiles sobre el fondo (Figs. 38, 39), que pueden corresponder a comunidades biológicas, Otra explicación posible a estas estructuras es que correspondan a ondas de sedimento como las descritas por Ercilla et al. (2002) en la parte frontal de la desembocadura del Río Magdalena, pues comparte el mismo patrón de baja reflectividad.

Reflectores similares ha observado Conway (2005), en la cuenca Queen Charlotte en el océano pacifico canadiense, donde se identifican como arrecifes de esponjas; también podría tratarse de sedimentos poco consolidados, ya que poseen una morfología poco ordenada y se encuentran sobre el sustrato además, los sedimentos poco consolidados tienen reflectividades bajas (Conway, 2005). La hipótesis de que fueran reflexiones que corresponden con estructuras biológicas es de alguna forma convincente ya que en los registros donde se presentaron estas manifestaciones hubo corales en los alrededores.

FIGURA 38. Reflexiones débiles que se muestran dentro de cuadro rojo, corresponden a posibles derrumbes o acumulaciones de seres vivos (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).

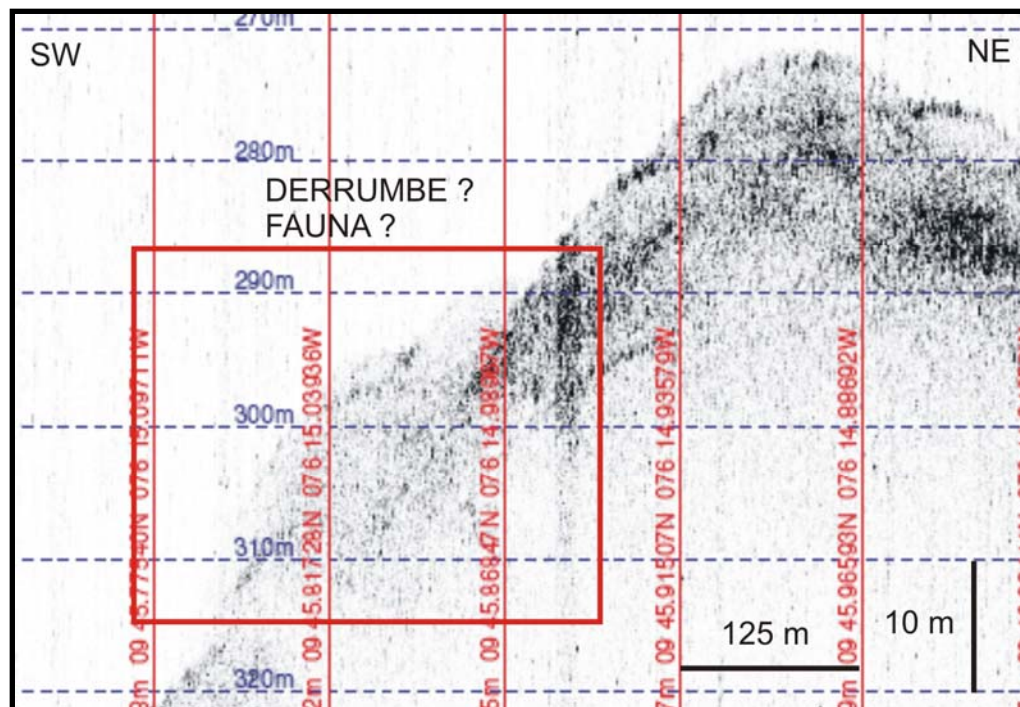
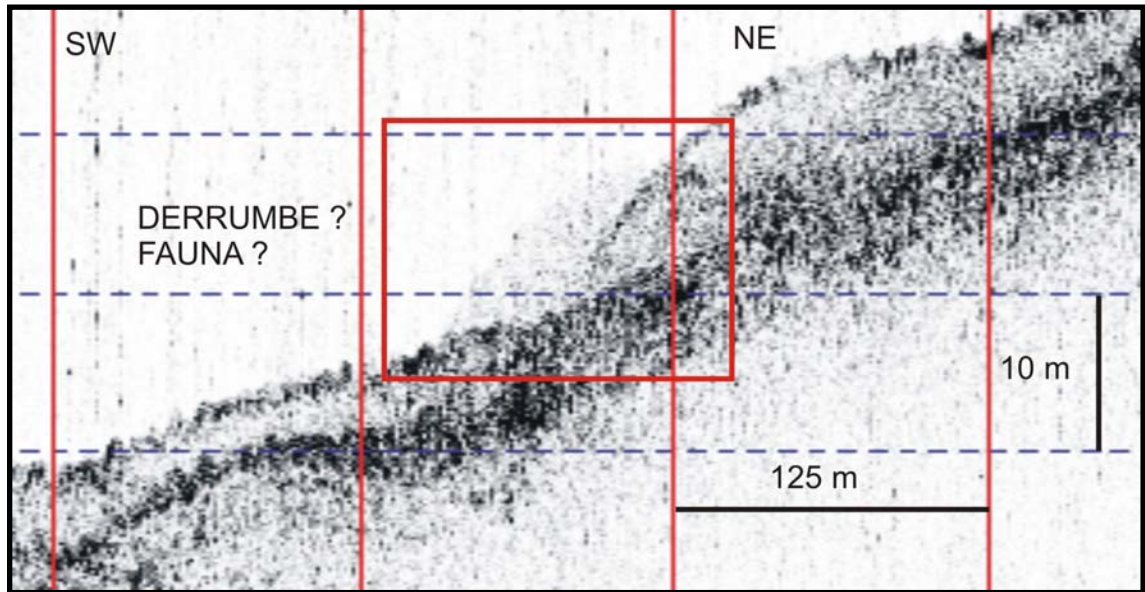


FIGURA 39. Las reflexiones mostradas en el cuadro rojo corresponden a posibles derrumbes a seres vivos, en la figura se nota la diferencia entre los tonos de las reflexiones del fondo con las que se encuentran por encima de este (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).



5.4. 2 Sector B

En este sector se encontraron dos domos que tienen dimensiones de 400 y 600 m de ancho y 35 y 45 m de altura respectivamente, que presentan un dirección aproximada N – S; el domo que se encuentra ubicada en la parte norte del sector está constituido por dos picos, uno de estos posee un terminación aguda y se levanta 45 m sobre el fondo del mar, la terminación del otro pico es plana y tiene menor altura que el anterior (38 m), el flanco del lado sur en este domo no es recto ya que a la altura de 18 m (tomada a partir del fondo) presenta una protuberancia, la forma del flanco opuesto es aproximadamente recta, ya que a los 10 m de altura medida desde el fondo se notó una pequeña curvatura hacia la parte exterior del flanco; el domo ubicado hacia el sur esta formado por un solo pico, el cual es de forma aguda, el flanco del lado norte tiene un quiebre ubicado a 18 m del fondo, el flanco del lado contrario no muestra alguna irregularidad siendo este recto; los flancos de los domos que se encuentran hacia la parte central entre ellos alcanzan

mayor profundidad debido a una depresión que se describe adelante; la reflexión de la superficie de estos domos y el fondo adyacente es una distribución de puntos que va hasta 10 m abajo del fondo con una gradación de la densidad de puntos en esta dirección (Figs. 40-43).

También se notó una depresión de forma elipsoidal de aproximadamente 2.5 km de diámetro para su eje más largo que coincide con la misma dirección de los domos; el eje más corto mide aproximadamente 1.7 Km y alcanza una profundidad máxima de aproximadamente 20 m en el centro de ella, esta depresión se ubica alrededor y dentro de los domos. También se hallaron discontinuidades en el reflector del fondo indicando fracturamiento de éste en todo el perímetro de la depresión (Figs. 40 y 44), tal y como lo encontraron Duque – Caro (1894) y Vernette (1985).

Se encontró además una depresión en la parte de la plataforma más cercana al talud, pero mucho más pequeña que la descrita alrededor de los domos, pero podría hacer parte de ésta, si se considera que la interpolación de los puntos de sondeo pudo generar isóbatas separadas (Fig. 40). En este sector también se encontraron en la parte del talud, estructuras similares a las descritas para el sector A (canales y crestas) (Fig. 40).

FIGURA 40. En la figura se muestra el modelo digital del sector B, en este se observan los domos en 3D, que se observaron en los registros de este sector, también se observan las depresiones en la plataforma, las crestas y los canales en el talud (señalados con las flechas de color rojo).

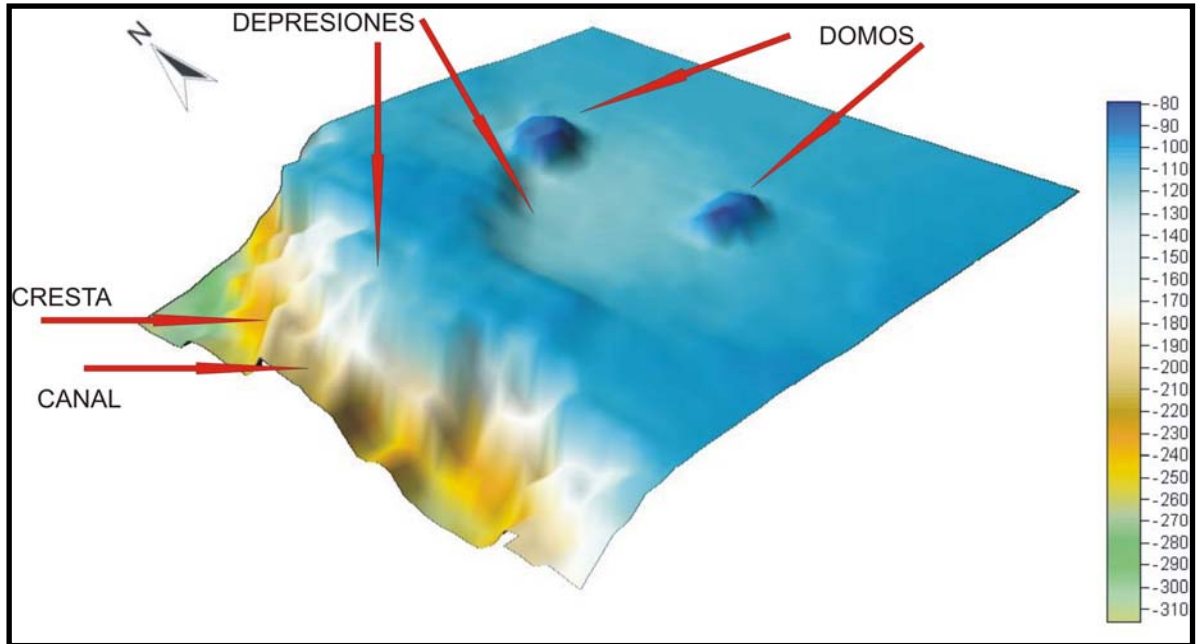


FIGURA 41. En el registro se observan dos domos (Registro de ecosonda Knudsen canal de 12 Khz).

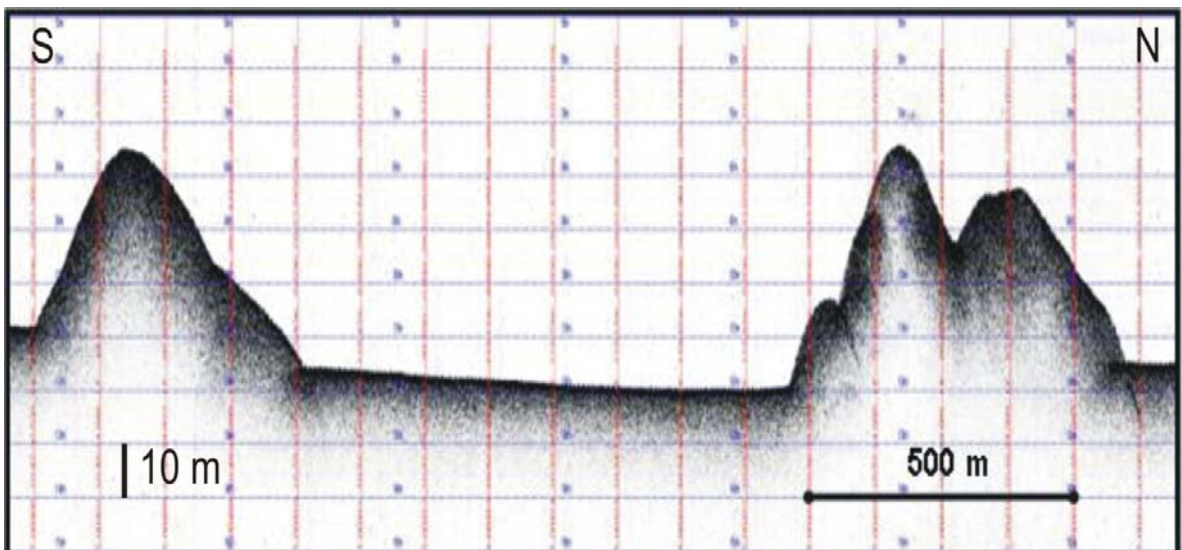


FIGURA 42. En el registro se muestra el domo que posee una sola cresta y los flancos que son aproximadamente rectos, en los cuadros rojos se muestra los reflectores que indican las posible fractura, estos se observan como los vistos en la plataforma del sector A (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).

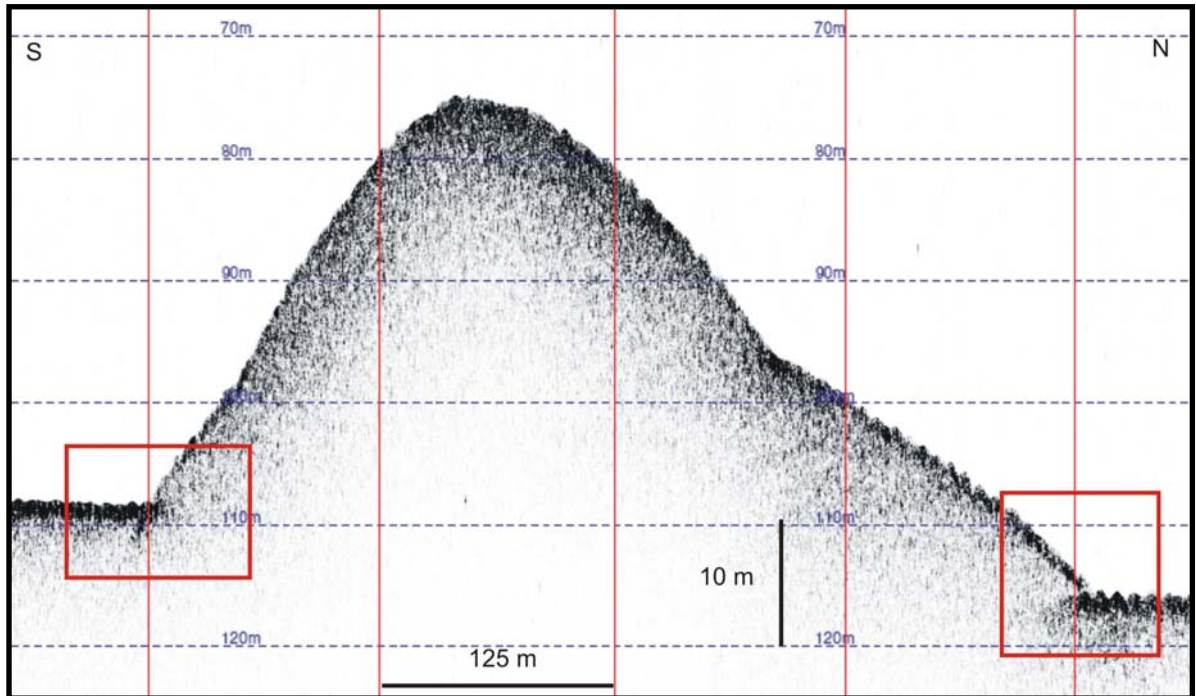


FIGURA 43. En este registro se muestra el segundo domo del sector, el cual posee dos crestas, de las cuales una es aguda y la otra es plana, también se observa que los flancos de este domo no son rectos como en el anterior, en los cuadros rojos se muestran los reflectores que corresponden a las posibles fracturas (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).

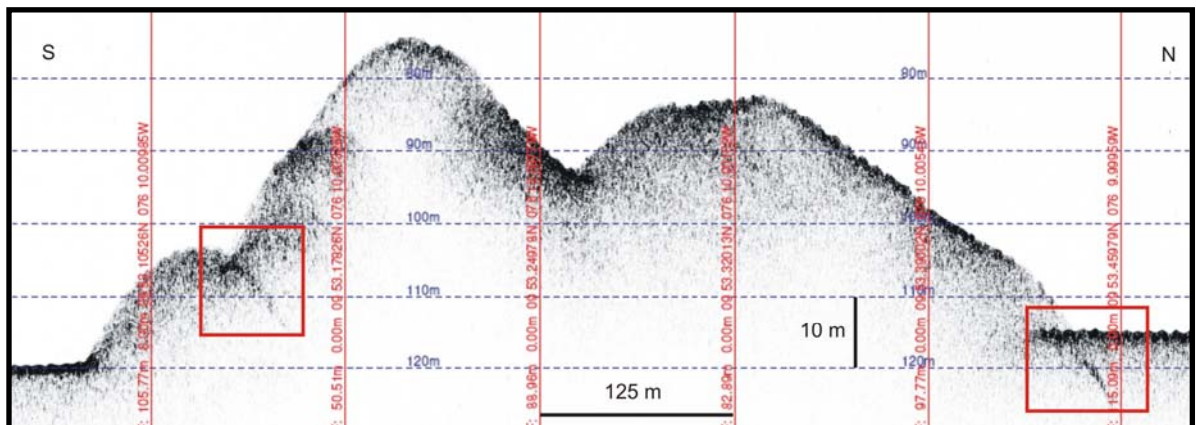
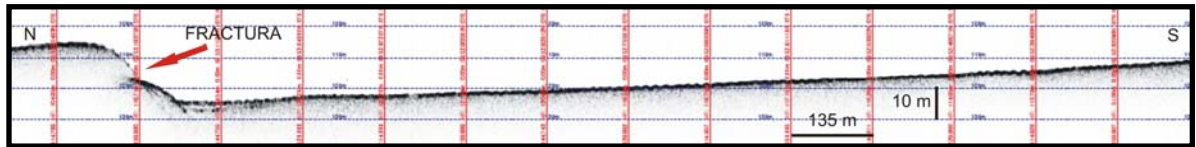


FIGURA 44. En el registro se observa el reflector inclinado, esto indica la presencia de una depresión, que es la ubicado en el sector B, también se observa un reflector de posible fracturamiento (señalado con la flecha roja) (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz.).

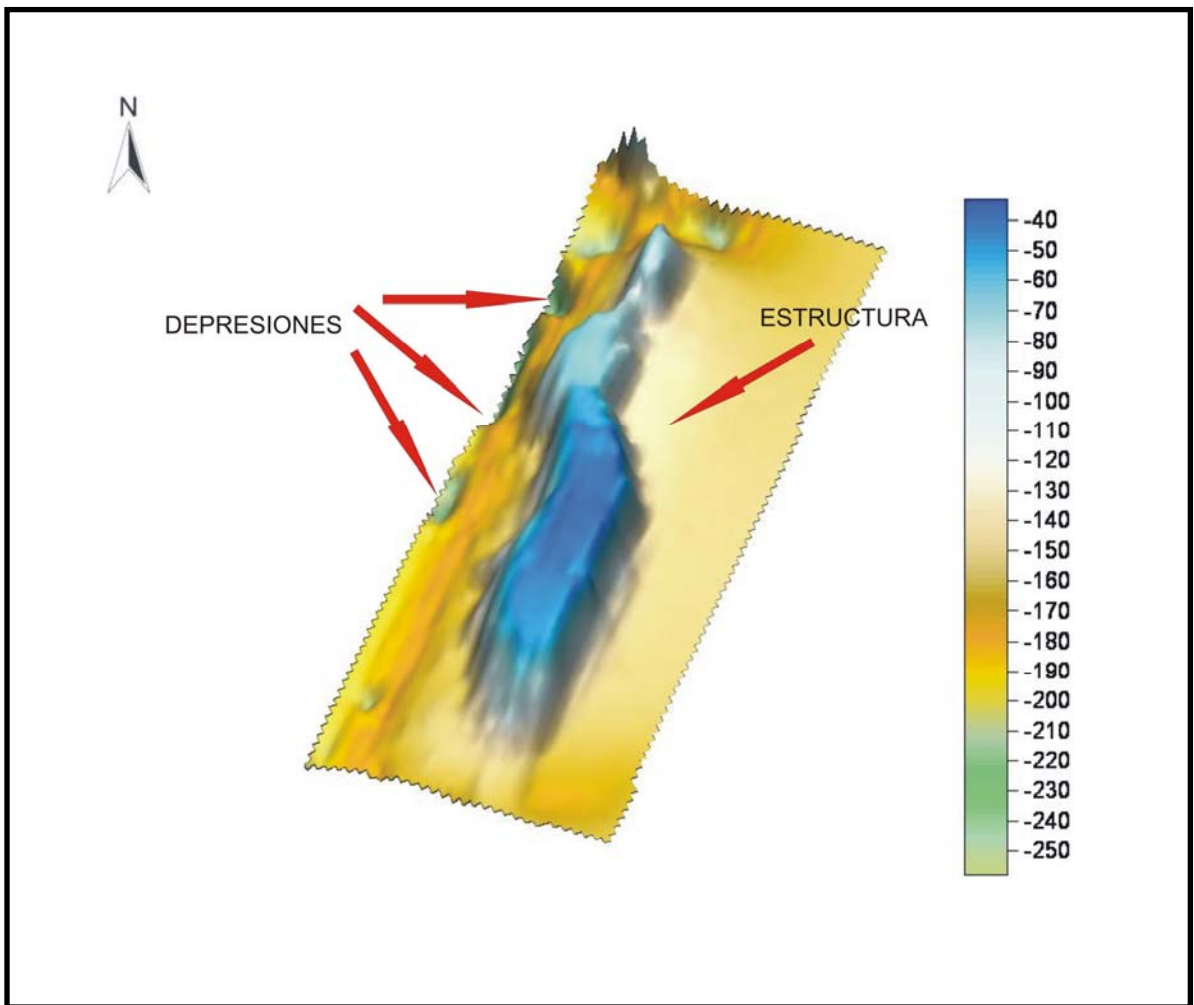


5.4.3 Sector C

En este sector la plataforma está a mayor profundidad que en los otros sectores (160 m), la morfología más representativa es una estructura que se extiende en casi toda la zona, con unas dimensiones 8.5 x 1.5 x 0.07 km; la cual corresponde al registrado por Vernette (1992) que es llamado bajo Barú. En una línea sísmica realizada alrededor de este sector, se presenta como un domo diapírico con una amplitud similar al descrito en este trabajo visto en planta, se observa una estructura en forma de “S”, con una orientación aproximada N 30° E (Fig. 45), como las estructuras descritas por Vernette (1992) para esta zona. En la parte más norte de la zona se encontró otro pequeño domo con tendencia similar al anterior, pero a diferencia de este, tiene forma de domo; están separados aproximadamente 650 m (Fig. 45). Costa afuera de la estructura y al final de esta en dirección noreste, en el modelo digital de terreno y en los registros de la ecosonda (Fig. 45, 50), se observaron varias depresiones de forma cóncavas que pueden corresponder al colapso de la plataforma debido al fenómeno diapírico, ya que Vernette (1992) menciona que este tipo de depresiones, pueden ocurrir por el colapso de la capas que se encuentran suprayaciendo el material que ha sido desplazado hacia la superficie, lo cual ocurre por la fuerza gravitacional y la presión ejercida por la columna de agua; cabe resaltar que estas depresiones podrían ser una sola en realidad, ya que en algunos tramos de los registros de ecosonda correspondientes a esta parte del modelo digital, falta información por

los problemas presentados por la ecosonda durante el registro, debido a esta falta de datos es posible que el software realice la interpolación de forma errónea.

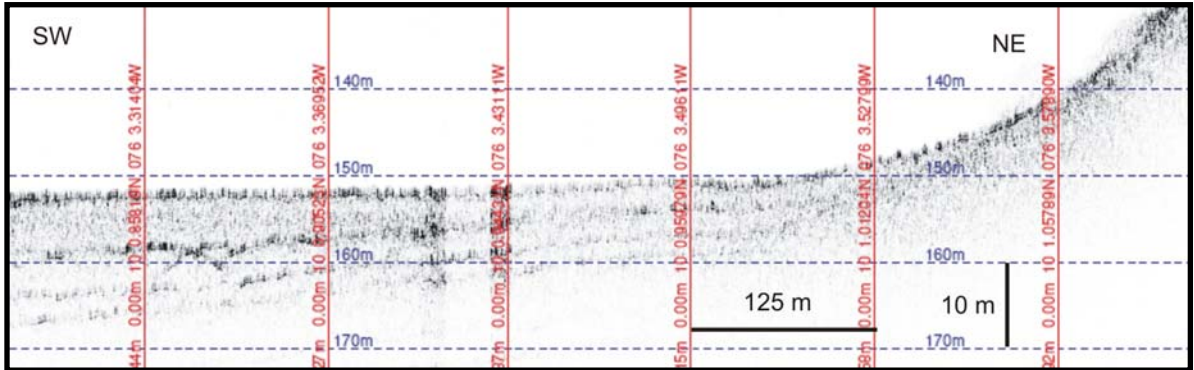
FIGURA 45. En la figura se muestra el modelo digital de sector C, en este modelo se observa la estructura del sector C, también se observan las depresiones en la parte mas costa afuera de la estructura.



Abajo del reflector del fondo del mar, se observan más reflexiones, de los cuales, unos de ellos son aproximadamente paralelos entre si y otros se truncan con el del fondo, en este sector se observan depresiones (Fig. 50), los que tienen una distribución paralelos se alcanzan a seguir en todo el registro. En los registros

donde aparece la estructura, estas reflexiones desaparecen en los lugares más cercanos a ella (Fig. 46).

FIGURA 46. En el registro se observan los reflectores sudparalelos, también se nota como estos al acercarse a la estructura se pierden (la estructura inicia del lado derecho), (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).



En algunos registros (Fig. 47-49), se observan manchas de tonalidad débil, con formas que se asemejan a un domo con dimensiones de 70 m de longitud y 7 m de altura (Fig. 47), esta se encuentra sobre el reflector del fondo a 140 m de profundidad y ha 80 m de la estructura observada, en dirección noreste; la mancha de la figura 48 tiene apariencia circular con una extensión de 25 m y una altura de 9 m aproximadamente, esta mancha esta ubicada sobre la cumbre de la estructura, pero no aparece sobre el reflector que describe dicha cumbre, esta se ubica por encima de este, aproximadamente 7 m y se encuentra ha 1000 m del extremo suroeste de la estructura (Fig. 49), según Von Rad et al (1996) estas manchas son emanaciones de gas, las cuales fueron observadas en Pakistán y verificadas con la ayuda de imágenes de video.

FIGURA 47. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector, en este se nota que las reflexiones están sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).

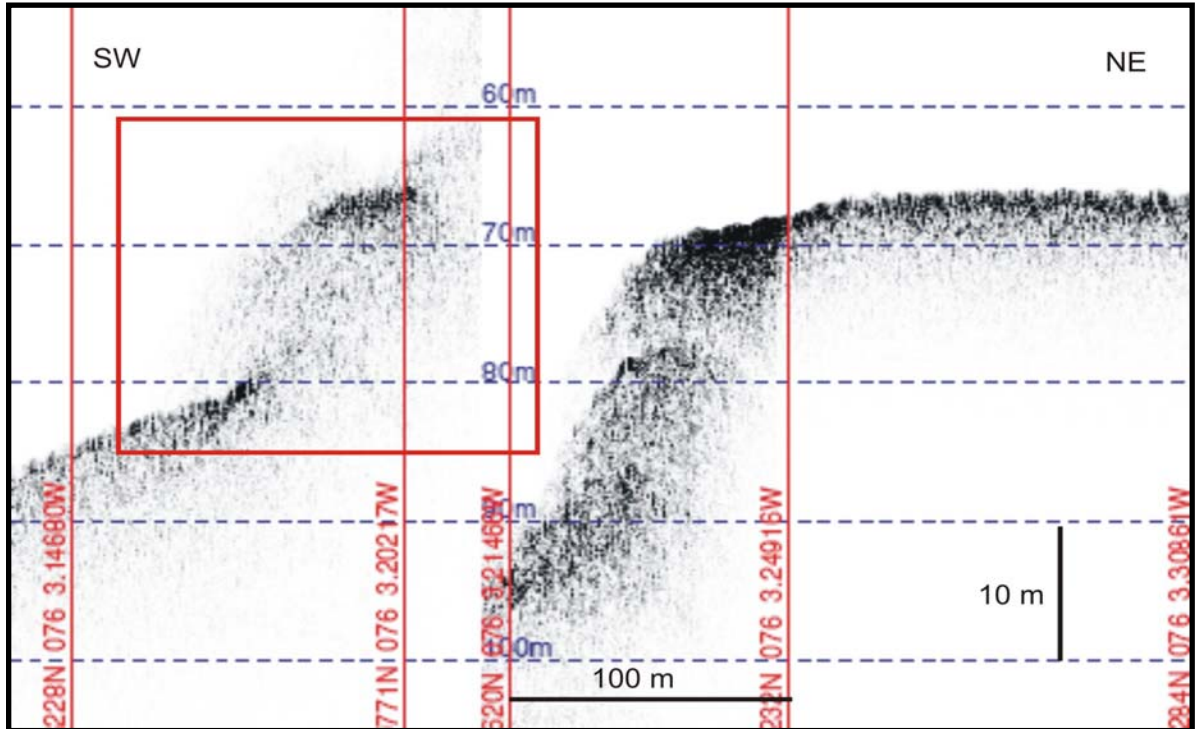


FIGURA 48. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector, en este se nota que las reflexiones están sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).

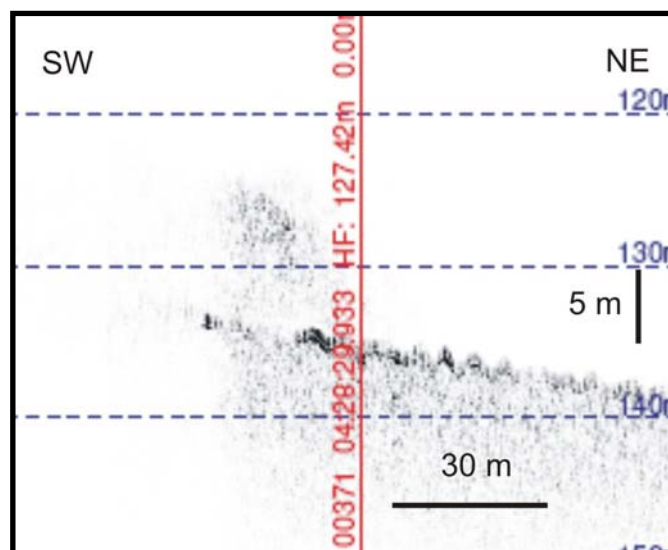
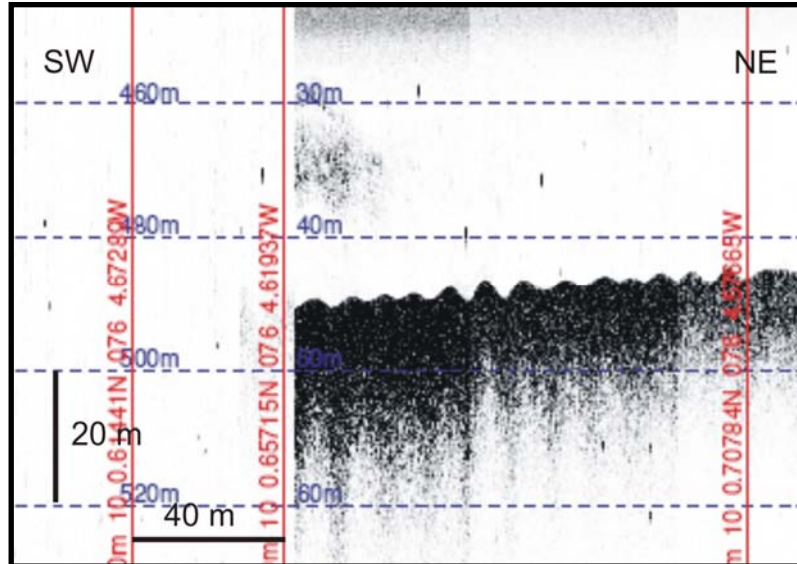
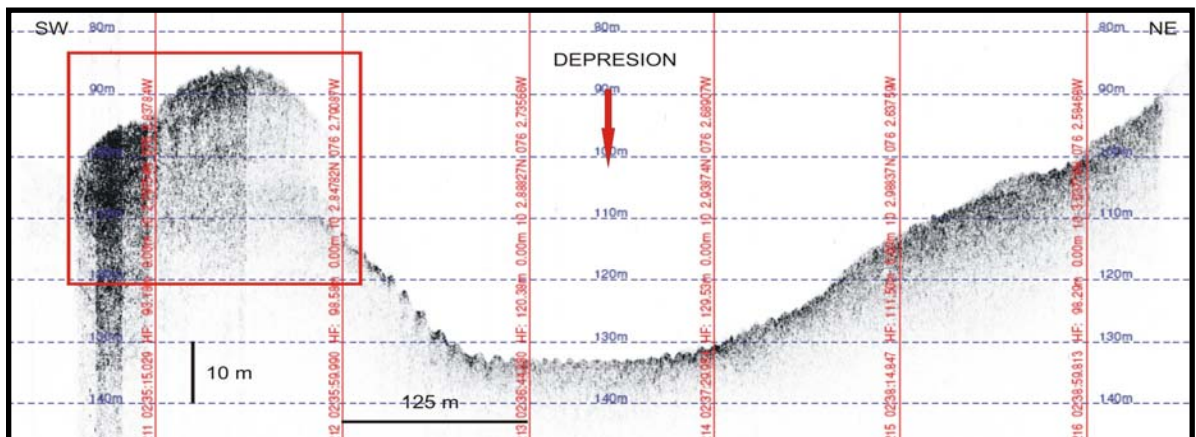


FIGURA 49. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles que se encuentran en este sector, en este se nota que las reflexiones están algunos metros sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).



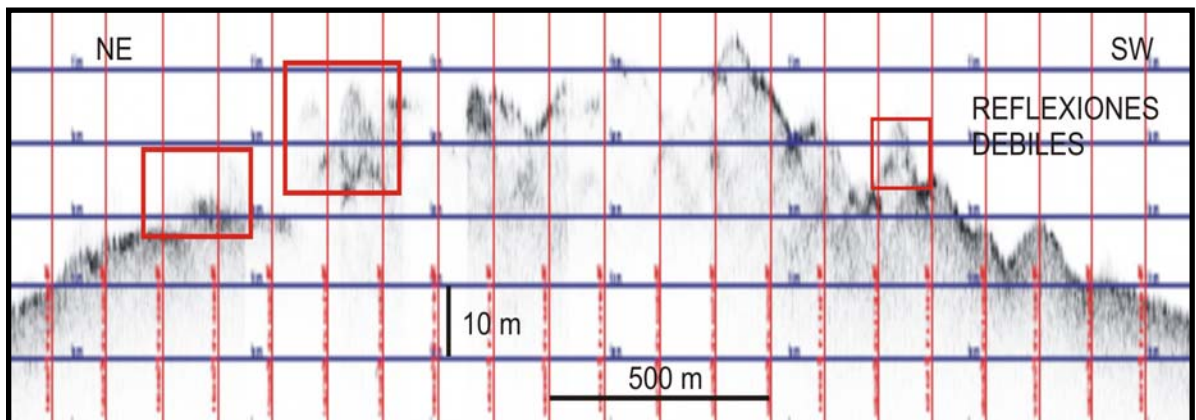
En el registro mostrado en la figura 49 se observa una mancha más nítida y de apariencia más compacta que las descritas anteriormente, la forma es irregular y tiene de longitud 190 m y de altura 24 m aproximadamente, esta se encuentra ubicada sobre el borde suroeste de la depresión ubicada al noreste de la estructura, ha 110 m de profundidad (Figs. 45 y 50).

FIGURA 50. En el registro se indican en el cuadro rojo las reflexiones débiles, que se encuentran ubicadas muy cerca de una de las depresiones de este sector, en este se nota que las reflexiones están sobre el fondo (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).



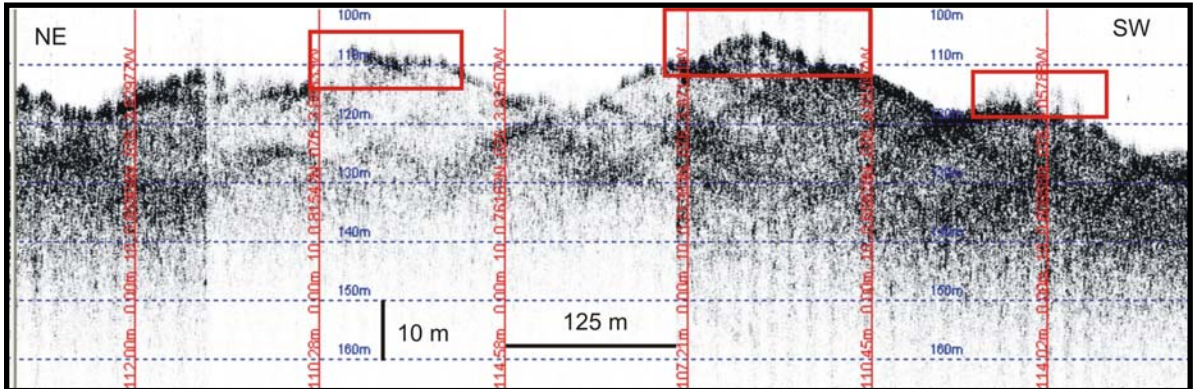
Otras observaciones realizadas en este sector muestran la frecuente aparición de reflexiones con tonalidad débil alrededor de toda la estructura, las cuales se presentaron en la parte más inferior, es decir en el quiebre de la estructura con la plataforma; como se describió antes, estas podrían corresponder a seres vivos o a sedimentos poco consolidados por posibles movimientos (Figs. 51 y 52)

FIGURA 51. En el registro se observan reflexiones débiles alrededor de la estructura, este registro corresponde al flanco más costa afuera (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz.).



En el sector costa afuera de la estructura también se observaron reflexiones débiles verticales, que salen por encima del reflector del fondo que de igual forma que las descritas arriba podrían ser emanaciones de gas, según comparadas con las descritas y verificadas en campo por Vernet (1992). De acuerdo con Vernet (1992), estas se ven como sombras verticales sobre el fondo del mar, en este trabajo no se observan bien definidas debido a la frecuencia de la ecosonda empleada en este estudio que no permitió una resolución suficiente para diferenciarlas, pero si se observa de manera detallada se alcanzan a notar sombras verticales sobre el fondo (Fig. 52)

FIGURA 52. En el registro se observan reflexiones débiles que aparecen en forma vertical, los cuales pueden corresponder a emanaciones de gas (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz.).



5.5 GEOMORFOLOGIA DEL FONDO DEL MAR

Con base en las morfologías presentes en los registros y con la ayuda del mapa batimétrico y los modelos digitales, se realizó una cartografía geomorfológica, donde se ilustran los rasgos más relevantes descritos en los registros de la ecosonda; para esto se realizaron dos mapas, uno de la geomorfología de los sectores A-B (Fig. 53) y otro para el área C (Fig. 54).

Las principales geformas encontradas en los sectores son morfologías de diversos tamaños y formas, que van desde cientos de metros hasta kilómetros y con alturas que no superan los 50 m. Dentro de las cuales se diferenciaron principalmente, domos en el sector B y una estructura elongada que desde una vista de planta se observa en forma de “S” que se encuentra en el sector C (Figs. 40 y 45).

Otra geformas observadas, son las depresiones ubicadas en los sectores B y C, las cuales poseen morfologías diversas, como elípticas y elongadas, de dimensiones variadas y profundidades que no superan los 20 m; para los dos

sectores las depresiones tienen diferente ubicación con respecto a las geoformas descritas atrás, en el sector C éstas se encuentran al costado más hacia el mar de la estructura y alineadas en la misma dirección de esta (N 30° E), para el sector B se tiene una depresión mayor que circunda los domos y una de menor dimensión ubicada muy cerca al quiebre de la plataforma y en la región meridional del sector (Figs. 40 y 45).

En la zona del talud continental se realizó una observación más detallada de la morfología, donde se discriminaron y cartografiaron crestas y canales; en los sectores donde no existen estos; se habla simplemente de talud. Las crestas y los canales se observaron solo en los sectores A y B; en el sector A, predominan en la parte más Norte y se extienden a través de todo el talud; para el sector B se encuentran en todo el talud pero no tienen continuidad en toda la extensión de éste. La altura de las crestas no supera los 30 m y el ancho de éstas y de los canales va desde 250 m hasta 400 m aproximadamente (Fig. 53).

FIGURA 53. Mapa geomorfológico de los sectores A-B

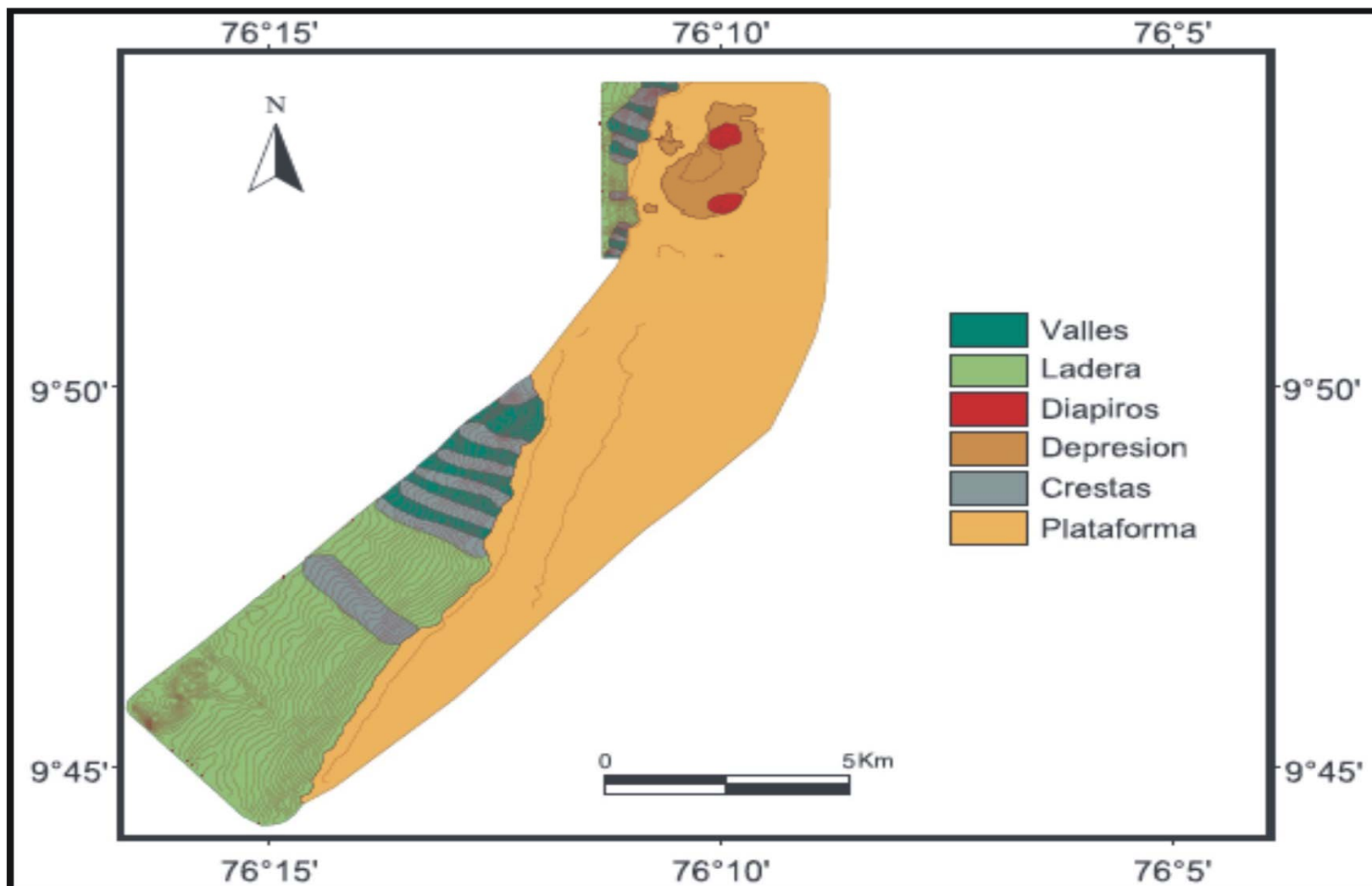
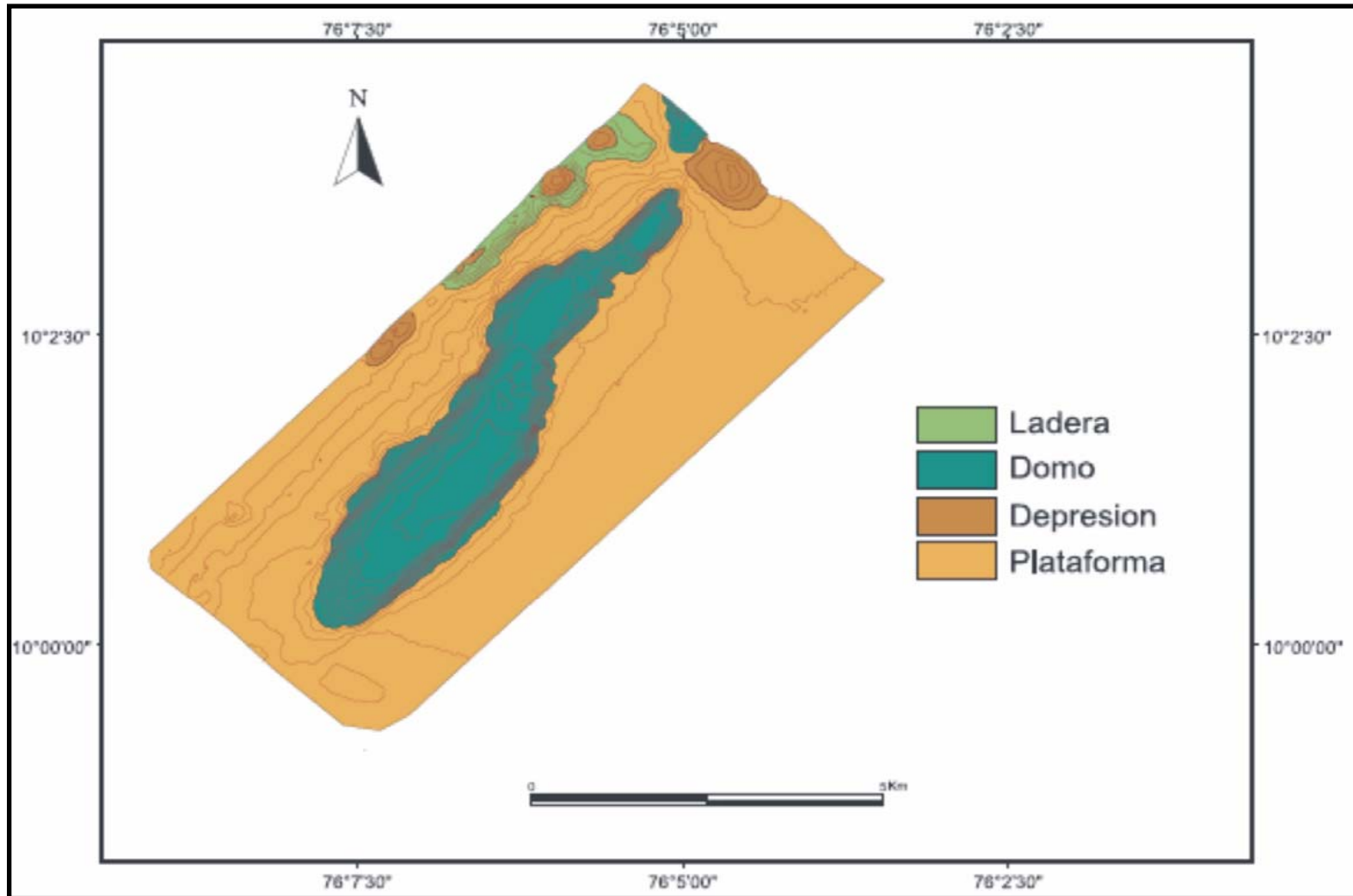


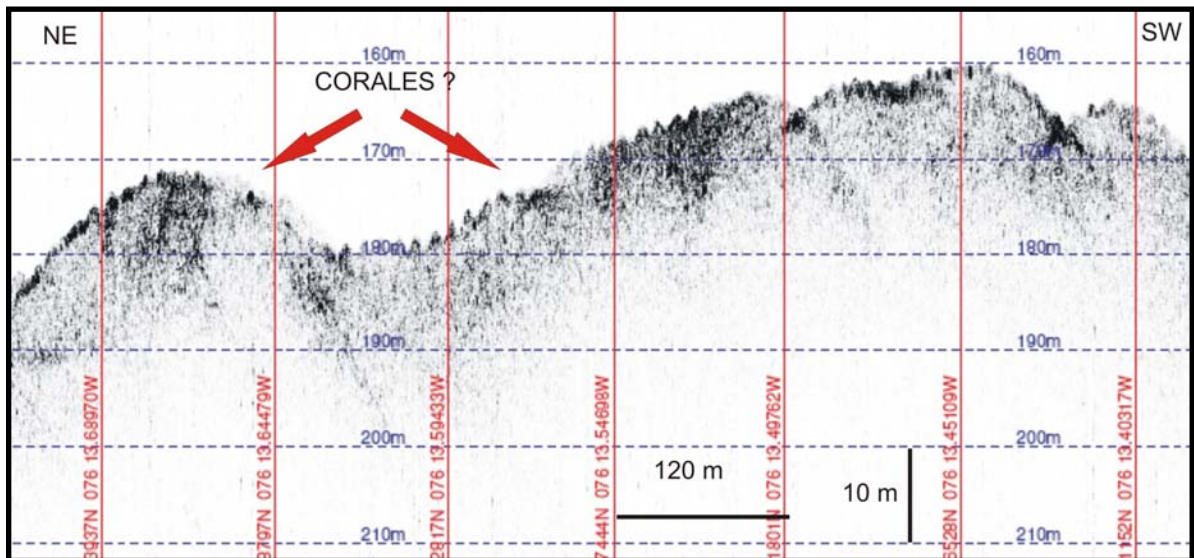
FIGURA 53. Mapa geomorfológico de los sectores A-B



5.6 DISTRIBUCIÓN DE CORALES

La distribución de corales, no presenta una relación muy marcada con los tamaños de grano ni con el porcentaje de carbonatos; solo se encontró alguna relación entre la aparición de corales y el relieve del fondo marino, es decir, las zonas donde se encontraron los corales son zonas con relieves positivos que fueron identificados en los perfiles de la ecosonda como se muestra en la figura 55.

FIGURA 55. En el registro se observan los relieves favorables para posible asentamiento de corales (Registro de ecosonda Knudsen de 12Khz).



Los dragados donde se recuperaron corales están muy cerca o sobre alguna de esta estructura en forma de domo que presentan un relieve positivo, tal como lo observó Álvarez-Pérez (2005) en el Estrecho de Gibraltar, donde menciona que estos corales los encuentra asociados a estructuras en forma de montículos. Aunque no todas las muestras con corales se encuentran sobre estas estructuras, las más representativas si se observaron relacionadas con relieves positivos; algunas se encuentran sobre la plataforma, tal vez asentadas sobre fondos duros, como lo observado en el estrecho de Sicilia, en el Mediterráneo (Zibrowius, 2005); en este estudio se propone que los corales también pueden asentarse sobre

fondos duros y de allí la dificultad para obtener las muestras mediante la metodología de dragado, ya que en algunas de las muestras donde hay corales fue difícil la recolección del sedimento. En términos generales estos corales se pueden hallar sobre fondos duros, o relacionados con topografías abruptas.

6. DISCUSION

6.1 SEDIMENTOLOGIA

6.1.1 Granulometría. La granulometría y la composición de los sedimentos en el área de estudio, sugieren una acumulación de sedimentos pelágicos en un ambiente marino sobre la plataforma principalmente, ya que no se observaron composiciones siliciclásticas considerables en los tamaños arena para relacionar con otro tipo de ambiente (Folk, 1974), además la cantidad de conchas y fragmentos de conchas marinas en esta zona indica poca influencia de un ambiente continental o transicional.

La sedimentación del talud puede ser también de tipo pelágico, aunque no se descarta la redepositación por la acción de corrientes a lo largo del talud, hacia las zonas más profundas, el cual puede ser el proceso que puede ser el causante de las formas que se observan en los montículos descritos en los perfiles para el talud (Staubwasser y Sirocko 2001, Ercilla 2002).

Las características de los sedimentos observados en toda el área de estudio concuerdan con las secuencias pelágicas descritas por Duque- Caro (1984), ANH (2005) y Duarte (2006), para los cuales se sugiere un tiempo de depositación desde el Mioceno superior hasta el Plio- Pleistoceno.

6.1.2 Carbonato de calcio. Los porcentajes de carbonatos están controlados principalmente por la composición de la fracción tamaño arena del sedimento, ya que en una gran proporción se trata de conchas de invertebrados, de posibles oolitos y de fragmentos de rocas carbonatadas. A su vez está controlado por la profundidad ya que la composición biogénica y las demás partículas carbonatadas (posibles oolitos y de fragmentos de rocas carbonatadas), disminuye con la

profundidad (Ver fig. 22). La correlación de los tamaños arena con el porcentaje de carbonatos no presenta una relación 100% lineal, pero si proporciona una alta correlación bueno ($R^2 = 0.7668$ (76%)) que permite sugerir que el material biogénico es el principal control de las partículas carbonatadas y en consecuencia de la cantidad de carbonatos en los sedimentos; debido a que la correlación no es del 100%, sugiere la presencia de lodos carbonatados en el área de estudio. Los mayores porcentajes de carbonatos se encontraron en la parte norte del domo del área C, ya que en esta zona hay una plataforma coralina, donde además abundan algas calcáreas laminares, como se registró en los dragados durante el crucero.

Como lo muestran los patrones de sedimentación encontrados por Vernette (1984), para la plataforma continental colombiana, este sector comprendido entre la desembocadura del río Magdalena y el Golfo de Morrosquillo; corresponde a una provincia calcárea, lo cual pudo verificarse con porcentajes de carbonatos obtenidos en este estudio.

6.2 EMANACIÓN DE GASES.

Las evidencias encontradas en este trabajo relacionadas con sitios de emanación de gases, se basan en el hallazgo de estructuras en forma de tubo y los agujeros presentes (“huellas de disolución”) en las rocas colectadas; otro indicio de estas emanaciones es la actividad diapirica evidenciada en los domos encontrados en el sector B; las reflexiones débiles observadas en los registros, que en algunos lugares se observan como sombras verticales, semejantes a las descritas por Vernette (1985) en el Caribe colombiano como “gas seep” es otro argumento que soporta la idea de que en el área de estudio hay presencia de sitios con emanación de gases.

Las estructuras con forma cilíndrica han sido descritas como chimeneas y las rocas asociadas como costras en algunos sectores al Noreste de China (Chen

2005). De otra parte, Von Rad (1997) en el prisma de acreción de Pakistán habla de precipitación de carbonatos autigénicos debida a la oxidación de metano por actividad biológica el cual favorece la formación de costras carbonatadas, como las que se observan en este estudio, la cual a su vez puede estar relacionada con la precipitación carbonatos en el fondo del mar es por oxidación de metano (Ritger 1987 EN: Morse 2003).

Stakes (1999), dice que las chimeneas (tubos) son conductos cementados por carbonatos debido al flujo de metano, y que las costras de carbonatos se forman por la circulación de gases a través de fallas, formando costras semicontinuas alrededor de comunidades bentónicas; este autor reporta chimeneas y costras con agujeros en la Bahía de Monterey en California.

Díaz del Río (2003) colectó chimeneas en el prisma de acreción en el Golfo de Cádiz y encontró que están distribuidas a lo largo de un lineamiento y de composición carbonatada y presencia de óxidos de hierro.

Traynor (1997) reporta reflexiones verticales sobre el reflector del fondo, en registros de sonar en la región costa afuera de Vietnam

Si comparamos las características de las muestras colectadas, el ambiente tectónico, los lineamientos encontrados en este trabajo y los registrados en la plancha del INGEOMINAS correspondiente al Cinturón Sinú-San Jacinto, con los de los autores mencionados arriba, además se conoce la presencia de metano en el Caribe colombiano evidenciada en la explotación que se realiza en la Guajira; y la presencia del BSR en líneas sísmicas tomadas en el Caribe (Minshull et al 1994), López 2005 calculó reservas de metano que pueden variar desde 1118.77, 3356.32 a 6712.63 TPC para un escenario conservador, intermedio y optimista respectivamente; lo que indica la presencia de gas en el fondo del Mar Caribe, con estas evidencias y las encontradas en este trabajo se puede sugerir que en la zona de estudio hay emanaciones de gas.

Aunque no se descarta la posibilidad que estos tubos se formaran a causa de la actividad de animales bentónicos que cavan madrigueras en los sustratos no consolidados (Martin 1996), los cuales secretan sustancias que muy posiblemente sean las causantes de la cementación del material que compone dicha estructura (Liu y Hsieh, 2000).

6.3 FONDOS ROCOSOS.

Las muestras de rocas colectadas en este trabajo indica la presencia de fondos rocosos en el área de estudio, si se tiene en cuenta las características de las muestras colectadas; como la apariencia joven (debido al color blanco de estas) de las conchas cementadas, los agujeros descritos, las manchas de oxidación de la mayoría de las muestras y los tubos (posibles chimeneas), podríamos hablar de la formación de carbonatos autigénicos en el área de estudio, debido a la oxidación del metano por organismos, que genera ambientes propicios para la precipitación de carbonatos (Von Rad 1996, Canet 2003, Johnson 2003, Flugel 2004, Manzini 2004, Chen 2005), si se conocen indicios de este gas en el fondo del Mar Caribe. Otra evidencia de este proceso son las partículas redondas, nombradas como posibles oolitos y los clastos de forma angular descritos en los sedimentos, ya que los oolitos nos sugieren la precipitación del carbonato que lo compone y la forma angular de las partículas carbonatadas, de igual forma pueden sugerir una precipitación autigénica de estas en el área de estudio.

De otro lado estas rocas pueden pertenecer a calizas arrecifales antiguas, ya que estas han sido registradas en el área por varios autores, como por ejemplo, Duque-Caro (1984) y Vernet (1985), hacia el sector de Cartagena, Barranquilla y el Golfo de Morrosquillo. Vernet menciona una terraza fósil en el sector, que puede estar relacionada con las rocas colectadas y descritas. Los agujeros (“huellas de disolución”) observadas en las muestras además de tener alguna

relación con el escape de fluidos desde el subsuelo, como se menciona arriba, también pueden proporcionar evidencia que estas rocas estuvieron expuestas en algún momento, confirmando lo supuesto por Vernette.

6.4 GEOMORFOLOGÍA

6.4.1 Depresiones. Una de las morfologías encontrada y que pueden estar asociadas al proceso de diapirismo de lodo, son las depresiones, siendo la más representativa la descrita en el sector B que circunda los dos domos y las ubicadas en el sector C, estas depresiones podrían ser generados por el colapso del fondo, debido principalmente a la desgasificación de los sedimentos, aunque no se descarta la posibilidad que estas depresiones correspondan a charcos de falla, que son morfologías que se forman en trazados de fallas rumbo deslizantes, Vernette (1992) reporta un falla de este tipo cerca donde se encuentra esta depresión

Las depresiones descritas en el área de estudio presentan características similares a las descritas por muchos autores en diferentes lugares del mundo con ambientes tectonicos y presencia de fenómenos diapíricos similares.

Schroot (2005) encuentra depresiones sobre el fondo del mar en forma de “V” y otras de forma cóncava ubicadas en la interfase agua –sedimento registrados en un perfilador de fondo de 3.5 khz, estas depresiones según el autor están relacionadas al flujo de gases y las nombra “pockmark”.

Somoza et al (2003) encontró depresiones alrededor de domos encontrados en el Golfo de Cádiz, para las cuales el autor propone un origen debido al colapso de la estructura debido al ascenso de fluidos y desgasificación de los sedimentos.

Naudts et al (2006), encuentra sobre la plataforma cientos de depresiones elongadas que las interpreta como “pockmarks” y menciona que son producto de la salida de fluidos y que ocurren a nivel mundial en márgenes continentales.

Loncke et al (2004) describe depresiones en el fondo como pockmark asociadas a emanación de fluidos y la desgasificación del sedimento, este proceso el autor lo cataloga como precursor de micro-fallas.

Hovland et al (2005) atribuye el proceso de desgasificación de los sedimentos en el fondo del mar, a la formación de depresiones (“pockmarks”) en la región costa afuera de Noruega.

Teniendo en cuenta las observaciones hechas por estos autores, los registros observados y las evidencias para la presencia de gas en este trabajo, se sigue que las depresiones del área de estudio pueden ser “Pockmarks”, realizando la salvedad de la diferencia de las herramientas usadas y los análisis complementarios para confirmar lo observado en los registros, ya que este trabajo es basado solo en la observación de las morfologías en los registros y en los modelos 3D.

6.4.2 Domos. En diversos lugares del mundo incluyendo el Mar Caribe, se han observado morfologías domicas en el fondo del mar como las observadas en este trabajo, donde se les ha atribuido su formación al fenómeno del diapirismo de lodo.

Galindo- Zaldivar et al (1996) encuentra morfologías domicas sobre el fondo del mar en el Mediterráneo al sur de Creta en sonogramas de 30 Khz de frecuencia.

Volgin-Woodside (1996) observaron formas domicas en el Mediterráneo en imágenes de perfilador de fondo de 5 Khz.

Murton y Biggs (2003) describen morfologías domicas en el Golfo de Cádiz, estos autores identifican dichas estructuras en registros de perfilador de fondo.

Somoza et al (2003) observó domos con diversas formas en el Golfo de Cádiz, dentro de los cuales describe domos con varios crestas, las cuales atribuye su origen a fugas de sedimento a través de canales cortos ubicados en la estructura. Para el Caribe colombiano, Shepard (1973) encontró este tipo de morfologías domicas en la región costa afuera de Santa Marta, estas fueron observadas en perfiles sísmicos; este autor propone que la génesis de estos domos es debida al fenómeno diapírico.

Vernette (1989) encontró domos en la región costa afuera comprendida entre Cartagena y Montería, para los que propone un origen en el diapirismo de lodo, basado en las evidencias geofísicas y la observación directa del fenómeno en tierra (Volcanes del Totumo y Galerazamba).

Basados en la similitud de los ambientes geológicos de los reportes mundiales, y los reportados en el Caribe colombiano, se puede hablar de un origen diapírico para los domos reportados en este trabajo.

Con respecto a la estructura del sector C, se atribuye el origen al mismo fenómeno diapírico solo que en este caso, la expulsión del material posiblemente es a través de una falla registrada por el INGEOMINAS en el sector. (Ver fig. 33).

6.4.3 Talud. De igual forma, se identificaron en el talud continental en los sectores A y B, una serie de canales distribuidos de forma paralela entre si; posiblemente sean canales de drenaje que en el pasado estuvieron expuestos en la superficie y que posiblemente aun sigan actuando como drenajes, Mitchell (2004) afirma que las corrientes en el fondo del mar pueden ocasionar un efecto erosivo similar al que un río causaría en la superficie de la tierra. En los Estados

Unidos en el talud del Estado de Virginia se tienen canales con dimensiones y una distribución similar (Mitchell 2004), los cuales se han interpretado como el resultado de la erosión en el fondo del mar.

De otro lado las estructuras de depositación en los flancos de las crestas sugieren la acumulación de material posiblemente producto de corrientes que transportan material desde la plataforma hacia el talud pendiente abajo a través de los canales descritos (Staubwasser y Sirocko 2001, Ercilla 2002). Aunque estas reflexiones también pueden corresponder al asentamiento de organismos, como las descritas por Feiwald et al (2002) en el Atlántico Norte

6.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS CORALES.

Estudios realizados para este tipo de fauna se han efectuado principalmente en regiones donde el fondo está compuesto de montes submarinos (“seamounts”) y arrecifes fósiles (Freiwald 2002, Freiwald et al 2004, en Taviani 2005). Si se tiene en cuenta que las estructuras buscadas por estos autores alrededor del mundo y las encontradas en este trabajo son análogas, al tratarse de relieves que sobresalen en el fondo, son muy probables estos asentamientos de vida en el área de estudio.

La razón para buscar comunidades de seres vivos en estas estructuras de este tipo es que, según estudios realizados por Taylor (1917) y Proudman (1916) que se conocen como la teoría de Taylor-Proudman, encontraron que estas geometrías generan una perturbación en el flujo de las corrientes en el fondo del mar que en condiciones normales no puede atravesar las isóbatas, generando un flujo anticiclónico que atrapa partículas arriba de estas geoformas, este patrón de flujo es llamado comúnmente como la columna de Taylor; con relación a esto, estudios realizados por Goldner y Chapman (1997) han encontrado que este efecto de la columna de Taylor, genera entrapamiento de material orgánico

encima de estas geoformas, lo cual las convierte en zonas de productividad alta, por ende propicias para el asentamiento de vida.

También cabe la posibilidad de que existan más de estas comunidades a lo largo de estas crestas o de los domos mencionados anteriormente, que debido a la baja densidad del muestreo no se pudieron verificar.

Si se realiza una comparación de los mapas de distribución de corales y de distribución de los volcanes o diapíros de lodo se encuentra que existe una relación muy estrecha entre las dos distribuciones, es decir, casi en su totalidad donde hay volcanes de lodo o diapíros se han reportado corales, por lo cual es muy probable que en el Caribe colombiano se puedan encontrar dichos bancos, como parte de la riqueza biológica hasta ahora inexplorada.

CONCLUSIONES

- Las partículas de tamaño arena encontradas en las muestras de sedimento corresponden a material bioclástico y a fragmentos de rocas carbonatadas, por lo que los sedimentos continentales en esta área son principalmente los depositados por flotación, es decir las granulometrías más finas.
- Las reflexiones con tonos débiles observadas en los registros, los tubos (“Chimeneas”), las depresiones (“Pockmarks”) descritas en la zona de estudio son evidencias de emanaciones de gas, las cuales están muy relacionadas con la geomorfología del fondo.
- Las evidencias encontradas para hablar de precipitación de carbonatos autigénicos son: la cementación de conchas relativamente nuevas y la formación de oolitos, procesos que ocurren por la oxidación del gas presente pueden ser de gran importancia en el desarrollo de los corales de profundidad en esta zona.
- Las reflexiones causadas por posibles asentamientos de vida encontradas sobre o muy cerca de las geoformas descritas en este trabajo sugiere alguna relación de estos seres vivos con la geomorfología del fondo.

RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos sedimentológicos mas densos para refinar la cartografía sedimentológica de la zona.
- Se recomienda realizar muestreos de sedimentos en condiciones de conservación para llevar a cabo análisis sobre contenido de gases y así poder localizar y cartografiar las concentraciones y si es posible las fuentes de éstos.
- Realizar estudios petrográficos a las estructuras cilíndricas principalmente y para los demás rocas colectadas, para corroborar la relación genética con la presencia de gas.
- Se recomienda investigar en el post-procesamiento de los registros adquiridos con la ecosonda, para tener un mejor aprovechamiento de esta herramienta.

BIBLIOGRAFÍA

- **Alvarez, G.**, 2003. Deep-Water Coral occurrences in the Strait of Gibraltar, 2 International Symposium on Deep-Sea Corals, Erlangen, pp 17.2003.
- **Alvarez, G., Busquets, P., De Mol, B., Sandoval, N. G., Canals, M., Casamor, J. L.**, 2005. Deep-Coral occurrences in the Strait of Gibraltar, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 605-621, 2005. pp 207-221, 2005.
- **ANH**, 2005. Sinú-San Jacinto basin-Colombia 2005.
- **Brehm U., Palinska K.A., Krumbein W.E.**, 2004. Laboratory cultures of calcifying bioturbators generate ooids - A contribution to the origin of oolites.- Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Maintenon, Letter 2004.
- **Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Melgarejo, J.C., Reyes, A.**, 2003. Methane-related carbonates formed at submarine hydrothermal springs: a new setting for microbially-derived carbonates?, Marine Geology Vol 199, pp, 245-261, 2003.
- **Case, J.E., Durán, L.G., López, A., Moore, W.R.**, 1971. Tectonic investigations in Western Colombia and Eastern Panamá. Geological Society of America Bulletin, v. 82, pp 2685-2712, 1971.
- **Chen, D.F., Huang, Y.Y., Yuan, X.L., Cathles III, L.M.**, 2005. Seep carbonates and preserved methane oxidizing archaea and sulfate reducing bacteria fossils suggest recent gas venting on the seafloor in the Northeastern South China Sea, Marine and Petroleum Geology, Vol 22, pp 613–621 2005
- **Conway, K.W., Krautter, M., Barrie, V., Whitney, F., Thomson, R.E., Reiswing, H., Lehnert, H, Mungov, G., Bertram, M.**, 2005. Sponge reefs in the Queen Charlotte Basin, Canada: controls on distributions, growth and development, Coral-Water Corals and Ecosystems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 605-621, 2005. pp 605-621, 2005.
- **De Porta, J.**, 2003. La formación del istmo de Panamá y su incidencia en Colombia, Rev. Acad. Colomb. Cienc.,: volumen xxvii, número 103, pp.-191-216 junio de 2003.
- **Deville, E., Battani, A., Griboulard, R., Guerlais, S., Lallemant, S., Mascle, A., Prizhofer, A., Schmitz, J.**, 2003. Processes of Mud Volcanism in

the Barbados-Trinidad Compressional System: New structural, Thermal and Geochemical Data, Search and Discovery Article #30017, 2003.

- **Di Geronimo, I., Vertino, A.,** 2003. Plio-Pleistocene Deep-Water Coral deposits from the Messina area (southern Italy). 2 International Symposium on Deep-Sea Corals, Erlangen, pp 33.2003.
- **Diaz-del-Rio, V., Somoza, L., Martinez-Frias, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernandez-Molina, F.J., Lunar, R., Martin-Rubi, J.A., Maestro, A., Fernandez-Puga, M.C., Leon, R., Llave, E., Medialdea, T., Vazquez, J.T.,** 2003. Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cadiz, Marine Geology Vol 195, pp 177-200, 2003.
- **Duarte, L.M., Rizzi, J.A., Toledo, M.A., Reistroffer, J., Buitrago, J., Avella, E., Guerrero, C., Suarez, M.,** 2006. Estratigrafía y Controles Sedimentarios de la Cuenca Costa Afuera en el Caribe Colombiano, IX Simposio Bolivariano, Cartagena-Colombia, Memorias, 2006.
- **Duerto, L., McClay, K.,** 2003. Shale Diapirs in an Oblique Contractional Range: Eastern Venezuelan Basin, AAPG Annual Convention, May 11-14, 2003, Copyright A 2003 by AAPG Salt Lake City, Utah
- **Duque-Caro, H.,** 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecionamiento del terreno Sinu-San Jacinto en el noroccidente de Colombia, Bol. Geológico, Vol 27 N° 2, pp. 1-29 1984.
- **Duque-Caro, H.,** 1979. Major structural elements and evolution of northwestern Colombia, in Watkins, J. S., and others, eds. Geological and geophysical investigations of continental margin: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 29, pp. 329-351.
- **Duque-Caro, H.,** 1980. Geotectónica y evolución de la región nor-occidental Colombiana, Bol. Geol. Ingeominas vol.23 N° 3, pp. 4-36, 1980.
- **Ercilla, G., Wynn, R.B., Alonso, Belen., Baraza, J.,** 2002. Initiation and evolution of turbidity current sediment waves in the Magdalena turbidite system, Marine Geology, 192 (2002) , pp153-169, 2002.
- **Flinch, J. F.,** 2003, Structural Evolution of the Sinú-Lower Magdalena Area (Northern Colombia), AAPG Memoir 79, pp. 776–796, 2003.

- **Folk, R. L.**, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill Publishing Company Austin, Texas 78703, pp 30-99.
- **Galindo-Zaldiviar, J., Nieto, L., Woodside, J. M.**, 1996. Structural features of mud volcanoes and the fold system of the Mediterranean Ridge, south of Crete, *Marine Geology*, Vol. 132, pp 95-112, 1996.
- **Gardner, J.V., Mayer, L.A., Armstrong, A.**, New Views of the U.S. Continental Margins, Center for Coastal & Ocean Mapping/Joint Hydrographic Center, University of New Hampshire, Durham, NH 03824.
- **Goldner, D., Chapman, D.**, 1997. Flow and particle motion induced above a tall seamount by steady and tidal background currents, *Deep-Sea Research I*, Vol. 44, No. 5, pp. 719-744, 1997.
- **González, O., Rodríguez, A.**, 2005. Estudio experimental sobre diapirismo de lodo: "Relación entre la materia orgánica presente en el lodo y la altura de los domos diapíricos", Tesis de grado, pp. 76-78, 2005.
- **Hollins, H.**, 1974. Relation of methane generation to undercompacted shales, shales diapirs, mud volcanoes. *AAPG*, v 58 # 4, pp 661-673, 1974.
- **Hovland, M., Svensen, H., Forsberg, C.F., Johansen, H., Fichler, C., Fossa, J.H., Jonsson, R., Rueslatten, H.**, 2005. Complex pockmarks with carbonate-ridges off mid-Norway: Products of sediment degassing, *Marine Geology*, Vol. 218, pp 191– 206, 2005.
- **Johnson, J.E., Goldfinger, C., Suess, E.**, 2003. Geophysical constraints on the surface distribution of authigenic carbonates across the Hydrate Ridge region, Cascadia margin, *Marine Geology*, Vol. 202, pp 79-120, 2003.
- **Kopf, A. J.**, 2002. Significance of mud volcanism, *Rev. Geophys.*, 40 (2), 1005 doi:10.1029/2000RG000093, 2002.
- **Kozachenko, M.**, 2003. Sedimentary processes and carbonate mound morphology: The Belgica mounds, Porcupine Seabight. 2 International Symposium on Deep-Sea Corals, Erlangen, pp 53.2003.
- **Lance, S., Henry, P., Le Pichon, X., Lallemand, S., Chamley, H., Rostek, F., Faugeres, J.C., Gonthier, E., Olu, K.**, 1998. Submersible study of mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary wedge: Sedimentology, structure and rheology, *Mar. Geol.*, 145, 255–292, 1998.

- **Lewis, B., Cochrane, G.C.**, 1990. Relationship between the location of chemosynthetic benthic communities and geologic structure on the cascadia subduction zone, *Journal of geophysical research*, vol. 95, No. B6, pp 8783-8793 junio 10, 1990.
- **Liu, P.J., Hsieh, H.L.**, 2000. Burrow Architecture of the Spionid Polychaete *Polydora villosa* in the Corals *Montipora* and *Porites*, *Zoological Studies*, 39(1), pp., 47-54, 2000.
- **Loncke, L., Mascle, J., Fanil Scientific Parties**, 2004, Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, pp 669–689, 2004.
- **López, C.**, 2005. Determinación del gradiente geotérmico en un área del Caribe colombiano a partir del reflector simulador de fondo (BSR), Tesis de grado, pp. 108, 2005.
- **Mantilla-Pimiento, A., Alfonso-Pava, C. A., Jentzsch, G., Kley, J.**, 2005. Crustal structure of the southwestern Colombian Caribbean area, 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Barcelona pp. 472-476 2005.
- **Martin, A.J.**, 1996. Department of Environmental Studies Emory University Atlanta, Georgia USA 3032 web.
- **Mazzini, Ivanov, M.K., Parnell, J., Stadnitskaia, A., Cronin, B.T., Poludetkina, E., Mazurenko, L., Weering, V.**, 2004. Methane-related authigenic carbonates from the Black Sea: geochemical characterisation and relation to seeping fluids, *Marine Geology*, Vol. 212, pp 153– 181, 2004.
- **Morse, J. W.**, 2003. Formation and Diagenesis of Carbonate Sediments, *Treatise on Geochemistry*, Volume 7; (ISBN: 0-08-044342-7); pp. 67–85. 2003.
- **Mortensen, P.B., Hovland, M.T., Fossa, J.H., Furevik, D.M.**, 2001. Distribution, abundance and size of *Lophelia pertusa* coral reefs in mid-Norway in relation to seabed characteristics. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81: 581-597.
- **Milkov, A.V.**, 2000. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates, *Marine Geology*, Vol. 167, pp 29-42, 200

- **Murton, B.J., Biggs, J.,** 2003. Numerical modelling of mud volcanoes and their flows using constraints from the Gulf of Cadiz, *Marine Geology*, Vol. 95, pp 223-236, 2003.
- **Naudts, L., Greinert, J., Artemov, Y., Staelens, P., Poort, J., Van Rensbergen, P., De Batist, Marc.,** 2006. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea, *Marine Geology*, Vol. 227, pp 177– 199, 2006.
- **Neil, M.,** 2004, Form of submarine erosion from confluences in atlantic usa continental slope canyons, *American Journal of Science*, Vol. 304, September, 2004, P. 590–611.
- **Riding, R.,** 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms. *Sedimentology* **47** (s1), 179-214. doi: 10.1046/j.1365-3091.2000.
- **Roberts, J.M., Wheeler, A.J., Freiwald, A.,** 2006. Reefs of the Deep: The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystems, *Science* Vol. 312 , pp, 543-544,2006.
- **Robertson, A., Kopf A.,** 1998. Tectonic setting and processes of mud volcanism on the Mediterranean ridge accretionary complex: evidence from leg 160, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 160, 1998.
- **Schroot, B.M., Klaver, G.T., Schuttenhelm, R.,** 2005. Surface and subsurface expressions of gas seepage to the seabed—examples from the Southern North Sea, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 22, pp 499–515, 2005.
- **Shepard, F.,** 1973. Sea floor off Magdalena delta and Santa Marta area, Colombia, *Geological Society of American Bulletin*, Vol 84, pp 1955-1972, 1973.
- **Somoza, L., Diaz-del-Rio, V., Leon, R., Ivanov, M., Fernandez-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernandez-Molina, F.J., Pinheiro, L.M. , Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vazquez, J.T., Medialdea, T., Fernandez-Salas, L.M.,**2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data, *Marine Geology*, Vol. 195, pp 153-176, 2003.
- **Stakes, D.S., Orange, D., Paduan, J.B., Salamy, K.A., Maher, N.,** 1999. Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California, *Marine Geology* Vol, 159, pp. 93–109, 1999.

- **Staubwasser, M., Sirocko, F.,** 2001. On the formation of laminated sediments on the continental margin off Pakistan: the effects of sediment provenance and sediment redistribution, *Marine Geology*, Vol. 172, pp 43-56, 2001.
- **Taviani, M., Freiwald, A., Zibrowius, H.,** 2005. Deep coral growth in the Mediterranean sea: an overview, *Coral-Water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 605-621, 2005.
- **Traynor, J.J., Sladen, C.,** 1997. Seepage in Vietnam - onshore and offshore examples, *Marine and petroleum Geology*, Vol. 14, pp. 345-362, 1997.
- **Tschanz, C., Marvin, R., Cruz, J., Mehnert, H., Cebula, G.,** 1974. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia, en prensa en USA., 1974.
- **Vernette, G.,** 1982. Estandarización de los criterios sedimentológicos para la cartografía de la plataforma continental, *Bol. Cient. CIOH. N-4*, pp 3-13.
- **Vernette, G.,** 1985. Le plate-forme continentale Caraïbe de Colombie (du Débouché du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse de doctorat d' état Université Bordeaux 1. France, 378 pag.
- **Vernette, G., Mauffret, A., Bobier, C., Briceño, L., Gayed, J.,** 1992. Mud diapirismo, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202: 335-349.
- **Vernette, G., Blanc, G., Briceño L., Carvajal, H., Faugeres, G., Gayet, J., Gonthier, E., Griboulard, R., Molina, A.,** Manifestaciones tectónicas en imágenes activas comparación entre dos sectores del Caribe.
- **Vernette, G., Hincapié S., Martínez, J., Parada, C.,** 1984. Caracteristiques et mise en place des sédiments sur la plate-forme continentale Colombienne en Mer Caraïbe (du fluve Magdalena au Golfe de Morrosquillo), N° 35, pp. 87-102 1984.
- **Vernette, G.,** 1989. Examples of diapiric control on shelf topography and sedimentation patterns on the Colombian Caribbean continental shelf, *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 2, pp 391-400, 1989.
- **Volgin, A.V., Woodside, J.M.,** 1996. Sidescan sonar images of mud volcanoes from the Mediterranean Ridge: possible causes of variants in backscatter intensity, *Marine Geology*, Vol. 132, pp 39-53, 1996.

- **Von Rad, U., Riisch, H., Berner, U., Geyh, M., Marchig, V., Schulz al, H.,**1996. Authigenic carbonates derived from oxidized methane vented from the Makran accretionary prism off Pakistan, *Marine Geology* Vol 136, pp 55-77, 1996.
- **White, M., Mohn, C.,** 2002. Seamounts: a review of physical processes and their influence on the seamount ecosystem, Oasis report, 2002.
- **Zibrowius, H., Taviani, M.,** 2005. Remarkable sessile fauna associated with deep coral and other calcareous substrates in the strait of Sicily, Mediterranean Sea, *Coral-Water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 605-621, 2005. pp 807-819, 2005.