

II. ANTECEDENTES

2.1. Fisiografía y Morfología de la Cuenca del Golfo de México

El Golfo de México es una cuenca semicerrada, comunicada con dos accesos al Océano Atlántico a través del Cañón de Yucatán y el Estrecho de Florida, teniendo un diámetro aproximadamente de 1500 km, una área de más de 1,500,000 km² y tirantes de agua de hasta 3750 m de profundidad [Salvador A. et al.,1991]. La cuenca de golfo se localiza en el hemisferio Norte, entre 18°N a 30°N y al Occidente del Atlántico, entre 99°W a 82°W. Sus márgenes está n limitados por las costas de la Isla de Cuba al Este, de la Península de Yucatán al Sureste, las costas del territorio Mexicano al Sur, Suroeste y Oeste, las costas del territorio de los E.U.A. al Noroeste, Norte y Noreste. La principal corriente oceánica proviene del Mar Caribe a través del Canal de Yucatán y saliendo por el Estrecho de Florida hacia el Océano Atlántico, [Monreal et al., 1997]. La Figura 2 muestra que los límites de la cuenca corresponden principalmente a rasgos estructurales.

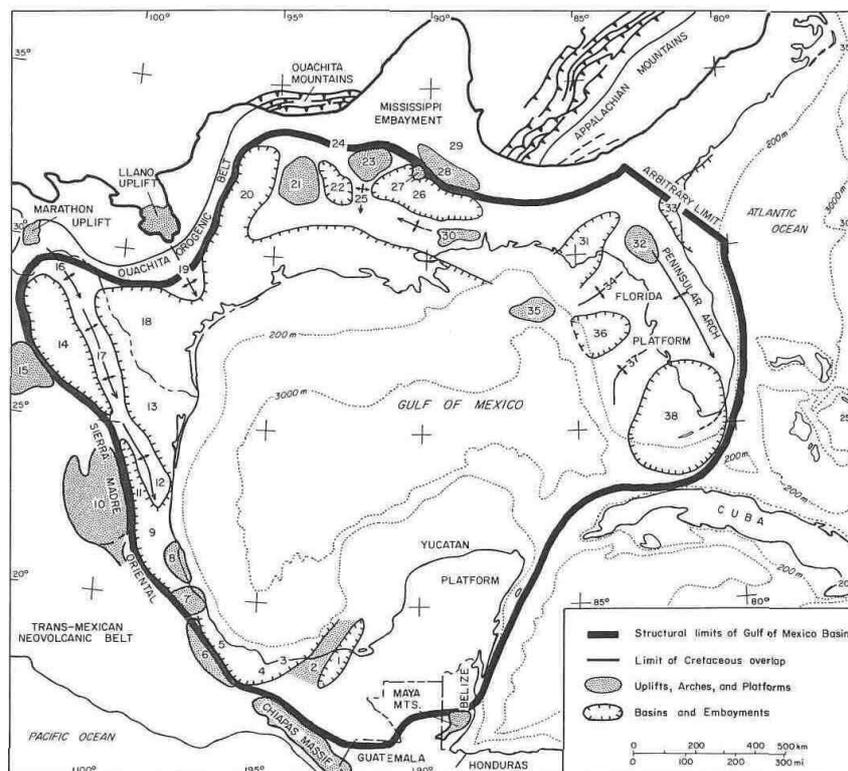


Figura 2. Límites estructurales de la Cuenca del Golfo de México [Salvador, 1991].

La batimetría del Golfo de México (Figura 3), refleja los rasgos estructurales geológicos asociados a su formación y evolución de una cuenca en un margen continental por un fallido proceso de “*rifting*” (apertura). Las enormes cantidades de sedimentos depositados en la cuenca del Golfo de México y su subsidencia han cubierto las estructuras formadas por los eventos del “*rifting*”, el cual originó el basamento de rocas ígneas en su parte central, y luego el depósito y acumulación de evaporitas sobre sus márgenes, posteriormente estos grandes cuerpos salinos son movilizados por las grandes cantidades de sedimento acumulados sobre estos.

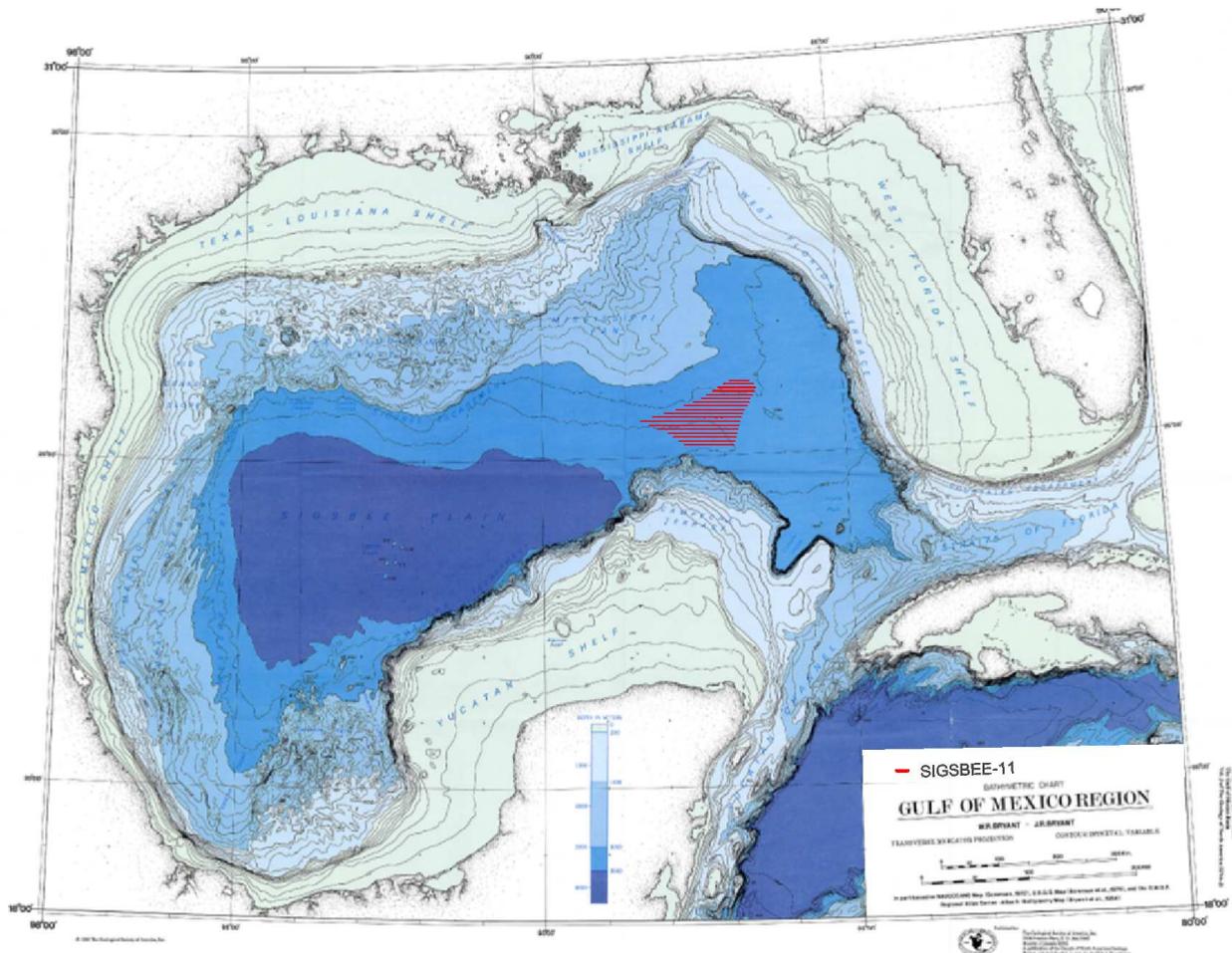


Figura 3. Batimetría del Golfo de México [Bryant et al., 1968] con la campaña oceanográfica SIGSBEE-11.

La fisiografía del relieve batimétrico de la cuenca del Golfo de México ha registrado en sus provincias los cambios debido a los siguientes procesos: (1) “*rifting*”, (2) extensión, (3) subsidencia, (4) desarrollo de plataformas carbonatadas, (5) cambios

eustáticos en el nivel del mar, (6) movimiento salino en forma diapirica, (7) “*slumping*” deslizamiento de enormes masas de sedimentos por gravedad en su talud, y (8) por densidad fueron transportados por cañones submarinos [Bryant et al., 1968].

2.2. Origen y evolución del Golfo de México

Al final del Paleozoico, Pangaea tuvo una gran colisión entre varias placas continentales [Salvador A. et al., 1991]. Después en el Triásico tardío, lo que iría a ser la cuenca marina del Golfo de México, resulto ser la separación de las placas Norteamérica, Africana y Sudamericana. La iniciación del rifting en la cuenca del golfo fue un lento proceso que continuó durante el Jurásico temprano y medio, formando los márgenes continentales que bordearon la parte central de la cuenca. La lenta subsidencia de la litosfera permitió el avance interrumpido del mar hacia dentro del área continental, formando mares de poca profundidad y como resultado la formación de extensos depósitos de evaporitas. En el periodo Jurásico tardío, surge el evento principal de la formación de una cuenca profunda, esto acontece cuando el bloque de Yucatán se mueve hacia el sur y se separa de la placa de Norteamérica, dando como resultado la formación de la corteza oceánica en la parte central de la cuenca [Salvador A. et al., 1991]. Desde este periodo, la cuenca ha sido una provincia tectónicamente estable, caracterizada por el persistente hundimiento de su parte central, debido probablemente al enfriamiento térmico como primera faceta y más tarde a la carga de sedimento que llenó la cuenca con gruesas cuñas clásticas progresivamente, a lo largo de los márgenes norte y noroeste.

La sección sedimentaria que rellena la cuenca del Golfo de México, comprende desde el Triásico Superior, donde existe un pequeño complejo de basamento en su parte central que se formó en una época anterior al Triásico y es la

sección más profunda de la cuenca, donde se estima una profundidad de 12 a 16 km debajo del nivel del mar [Salvador A. et al., 1991]. Esta parte central de la cuenca, la conforman una capa superior de la corteza terrestre oceánica, mientras que la mayor parte del Golfo de México, está conformada por basamento continental o corteza de transición. El intervalo estratigráfico más viejo que se conoce en el Golfo de México es del Jurásico medio, cubriendo la mayor parte de la cuenca del Golfo de México, por los extensos depósitos de sal.

Sobre la sal o sobre el basamento oceánico en la parte central de la cuenca hay un grueso espesor de sedimentos, que son depósitos de ambientes marinos. Esta secuencia de sedimentos existe desde el periodo del Jurásico tardío hasta nuestros tiempos. Las secciones sedimentarias del Jurásico Superior, Cretácico y Cenozoico de la cuenca del Golfo de México, fueron depositadas en condiciones notables de estabilidad tectónicas [Salvador A. et al., 1991] y solamente acompañada por su subsidencia debido a la gran carga de la acumulación de los depósitos sedimentarios. La estratificación de la cuenca fue modificada solo por la deformación local de la sal del Jurásico y por el fallamiento creciente en fronteras de los depósitos.

La Figura 4, muestra dos secciones transversales que ilustran el marco geológico de los estratos de sedimentos depositados sobre la cuenca del Golfo de México. El perfil A, va de la Sierra Madre Oriental a la Península de Florida, atravesando el Golfo de México pasa por el abanico del Mississippi (Figura 5 a). Mientras que el perfil B, va del norte de las montañas Apalaches al sur de Cuba (Figura 5 b).

La mayor parte del Abanico del Mississippi fue depositado durante el Pleistoceno; y su acumulación ocurrió en varias etapas [Bouma et al., 1989]. Al final

PERFILES SÍSMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y MAGNÉTICOS DEL LECHO MARINO DENTRO DEL POLÍGONO ORIENTAL EN EL GOLFO DE MÉXICO

del periodo de glaciación, en el Wisconiano, el curso del Rio Mississippi, se movió de la región este a la posición que actualmente se encuentra. Este cambio cortó el sistema del Cañón de Mississippi, como un conducto para el transporte de sedimento del abanico.

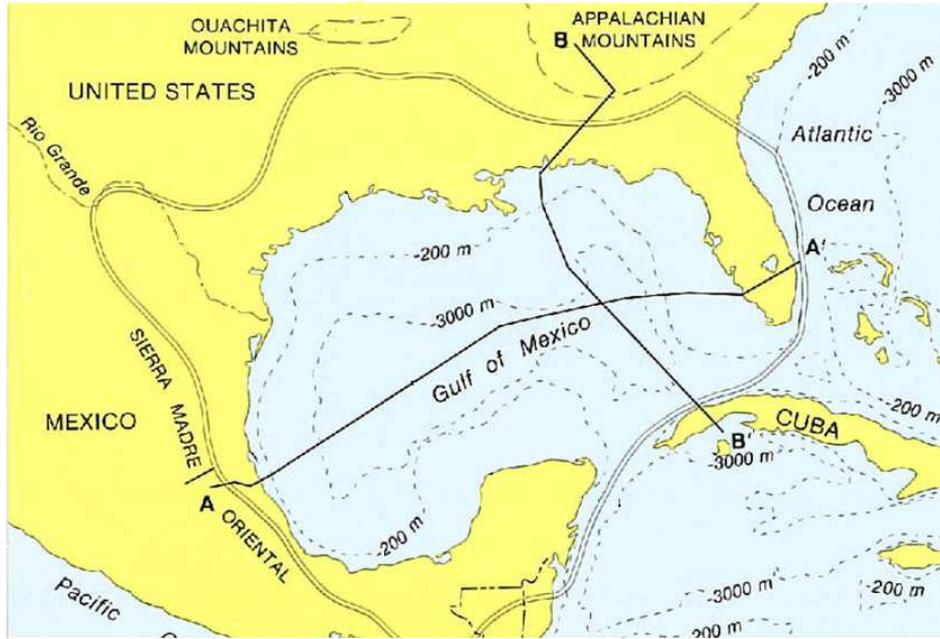


Figura 4. Mapa de las secciones transversales de la Cuenca del Golfo de México.

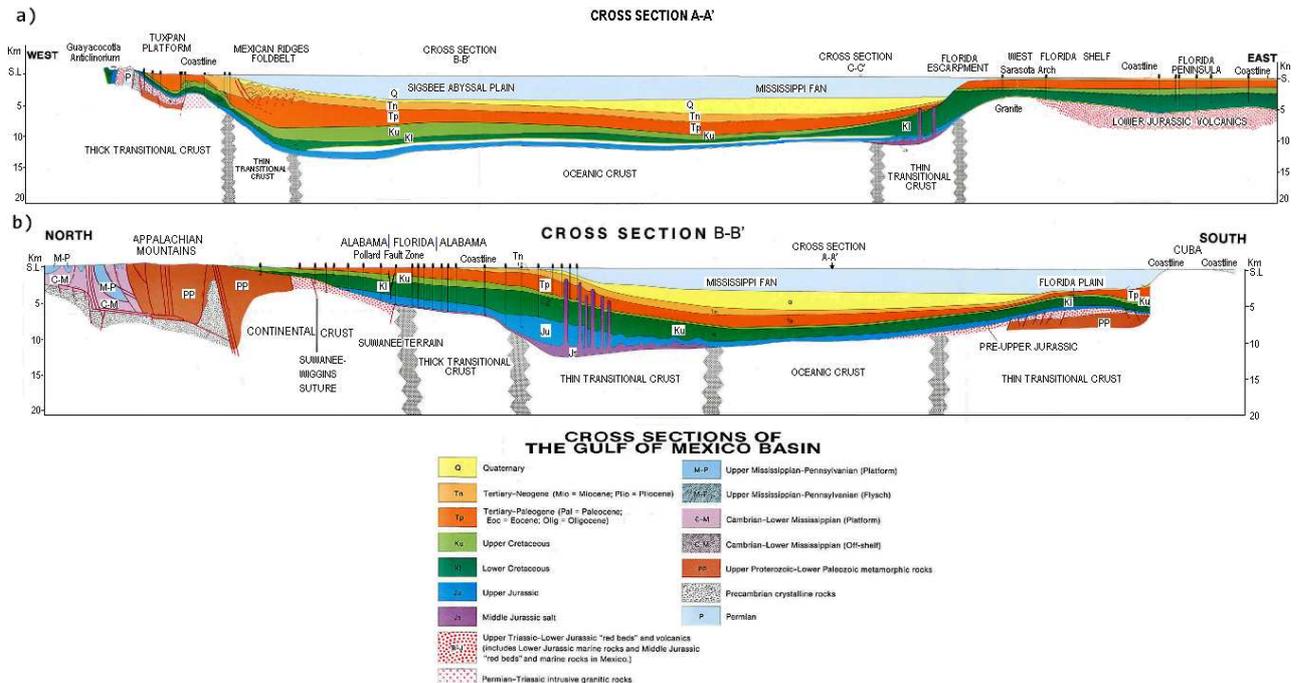


Figura 5. a) Sección transversal A-A'. b) Sección transversal B-B'.

2.3. Provincias Fisiográficas del Golfo de México

Existen tres regiones en la cuenca del Golfo de México, donde sus provincias son controladas por la litología del subsuelo. Al este y al sureste se encuentran las penínsulas de Florida y de Yucatán, conformadas por bancos de rocas carbonatas y delimitando la forma total de la cuenca. Al noroeste y oeste, los márgenes están conformados por sedimentos clásticos terrígenos. En su interior, las planicies son rellenos de la sedimentación pelágica y los abanicos son productos de las grandes descargas de turbiditas, que bajan hacia la planicie de la cuenca [Bryant et al.,1968].

2.3.1. Plataforma y Talud continental

El margen continental del oeste de Florida consiste en un amplio banco de carbonatos que conformaron el margen occidental de la Plataforma de Florida y el escarpe de Florida; presentando una de las pendientes submarinas de mayor grado en todo el mundo. Este escarpe separa abruptamente la plataforma continental que conforma el banco de las provincias más profundas que conforman el Abanico del Mississippi y la Planicie de Florida. El escarpe de Florida expone las calizas más jóvenes del Cretácico inferior. En la parte norte y oeste de la Plataforma de Yucatán, conocida también como el “Banco de Campeche”, conformado de enormes estratos de evaporitas y calizas que fueron depositados durante el Cretácico Temprano, a consecuencias de un crecimiento favorable de los arrecifes, de los bancos biogénicos y los cordones litorales calcareníticos en un mar somero y de bajas latitudes. El escarpe de Campeche separa abruptamente el banco de las provincias más profundas que conforman la Planicie de Sigsbee y el campo de los domos salinos de Campeche. Desde entonces, la acumulación lenta de sedimentos terrígenos provenientes de la plataforma han contribuido la gran subsidencia en esta cuenca y en el movimiento ascendentes de las capas de evaporitas.

El talud continental del margen occidental y norte del golfo está conformado por tres provincias: Texas-Louisiana, Río Grande y Este de México. El talud continental de Texas-Louisiana presenta una extrema complejidad como producto de la actividad diapirica ascendente de las evaporitas. El talud continental del este de México, se encuentra limitado hacia el norte por la provincia diapirica de Texas-Louisiana y al sur por la elevación de los Tuxtlas y el campo de los domos (*"knolls"*) de Campeche que presentan una batimetría monocular y cordilleras producto del diapirismo salino.

2.3.2. Planicie Abisal Sigsbee

Es una región plana que se extiende 450 km a lo largo y 290 km de ancho, cubre un área de 103,600 km². La planicie ha tenido una base de sedimentos pelágicos con un espesor de hasta 9 km; la fuente principal de los sedimentos terrígenos en el Mioceno provinieron del del río Grande y mientras que en el Plioceno y Pleistoceno han provenido del río Mississippi. El piso de la planicie en la parte central presenta el relieve de varios *"knolls"* dispersos, productos del movimiento diapírico que conformaron los Domos de Sigsbee [Bryant et al., 1968]. También el piso de esta planicie en su parte norte ha sido recientemente afectado por las Turbiditas provenientes del cañón del Mississippi.

2.3.3. Abanico del Mississippi

El abanico del Mississippi se encuentra al noreste del Golfo de México y se extiende hacia el mar de la plataforma continental de Louisiana a profundidades abisales [Bryant, 1991]. Su forma de abanico ha sido resultado de las enormes cantidades de turbiditas que se han depositado desde el Cuaternario y se ha extendido hasta una distancia de más de 600 km del delta del Río Mississippi, alcanzando las Planicies Abisales de Sigsbee y de Florida. Su área abarca más de 290,000 km² y un

volumen de aproximadamente 300,000 km³. En su parte central, el espesor de sedimentos depositados es de aproximadamente 4.5 km con un tirante de agua de aproximadamente 2500 m en la base del talud continental (Stuart and Caughey, 1976; Moore, et al., 1979).

Bates [1953] es el primero en reconocer que el abanico del Mississippi, es una acumulación de sedimentos provenientes de un delta submarino, y dos años más tarde, Fisk y Mc Farlan [1955], presentaron un estudio más detallado del delta del Rio Mississippi desde el Pleistoceno Tardío, acentuando que la interacción de los procesos fluviales del delta fluvial y los procesos eustáticos han inducido que el nivel del mar ha bajado. La forma de abanico del Mississippi consiste en varias salientes en forma de lóbulos; cada uno tiene una forma alargada y son conectados al cañón submarino que atraviesa la plataforma y el talud continental, llevando grandes flujos masivos de sedimentos que en su final son depositados en secuencias de turbiditas.

El complejo del abanico lobular del cañón del Mississippi básicamente ha sido formado por los depósitos derramados sobre los bancos de canales. La fisiografía del abanico está caracterizada por el relieve topográfico de un cañón submarino que atraviesa, las tres provincias fisiográficas del abanico, caracterizándolas con diferentes estructuras sedimentarias. El cañón submarino del Mississippi muestra una cuenca elevada con un graben en su parte central con paredes escarpadas que han sido erosionadas por las turbulentas corrientes cargadas de sedimentos gruesos y finos (turbiditas). Basados en datos de perfiles de reflexión sísmica, Moore [1978], divide el abanico en tres unidades estratigráficas.

1. El abanico superior, se ubica en la rompiente entre la planicie de la plataforma continental y la parte superior del talud, en donde cubre extensivamente

una gran área y es erosionada por los canales. Estos procesos llegan a tener profundidades de agua entre 1300 y 2500 metros; su topografía es caracterizada por formas de montículos pequeñas, referidas técnicamente como formas “*hummocky*”.

2. El abanico medio tiene forma de convexo en secciones cruzadas, con canales de forma senoidal que atraviesan a lo largo del talud; su estructura principal, es un depósito lobular amplio con una superficie lisa moderadamente y se compone de un complejo masivo de canales llenos (hasta sus niveles naturales), en donde el material se derrama sobre sus bancos. El canal central que se encuentra en el talud, mide aproximadamente 3 km a lo ancho, muestra en varios segmentos su fondo del lecho marino. Su morfología, presenta una migración natural. Este canal es caracterizado por tener depósitos de arena que forma la parte básica del canal y son recubiertos por sedimentos de granos finos.

3. El abanico inferior, es una zona que tiene varios canales: uno activo y otros abandonados. Su superficie es casi plana, con una suave inclinación en su pendiente que emerge hasta la planicie abisal hacia el Sureste y Suroeste. Es caracterizado por tener numerosos canales pequeños de poca profundidad agrupados en la base del abanico, los cuales han cambiado a través del tiempo. Estas distribuciones son el resultado de corrientes de turbiditas que se mueven sobre los canales [Moore et al., 1978].

2.4. Estudios Previos en el Polígono Oriental

En los últimos años, ha habido un interés particular en estudiar los recursos del lecho marino en la zona internacional del Polígono Oriental del Golfo de México, referida también como el “*hoyo de dona oriental*”. Los límites de la zona internacional del Polígono Oriental en el Golfo de México son enmarcados por los límites de las ZEE de Cuba, E.U.A. y México. Esta zona comprende dos provincias

fisiográficas del lecho marino en el golfo: la parte inferior del Abanico del Mississippi y el sector NE de la Planicie Abisal de Sigsbee. Desde 1960, pocas campañas oceanográficas organizadas por diferentes instituciones oceanográficas (*Scripps Institution of Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institution, Lamont-Doherty Earth Observatory*) han adquirido a grandes rasgos datos geofísicos que comprende registros magnéticos, sísmicos, batimétricos y gravimétricos en la zona internacional del Polígono Oriental. La Figura 6 muestra las localidades de los registros geofísicos (magnéticos, sísmicos, batimetría y gravedad) que son de interés para este estudio y que fueron obtenidos accediendo a la base de datos del “*Geophysical Data System*” (GEODAS) del “*National Geophysical Data Center*” (NGDC) en Boulder Colorado, E.U.A. [http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/ims/trk_cri.html].

El programa internacional “*Deep Sea Drilling Project (DSDP)*” realizó la campaña oceanográfica, Leg 96 en la parte central del Golfo de México en 1983, a bordo del buque de perforación, D/V *Glomar Challenger*, para estudiar particularmente los ambientes sedimentarios en el abanico del Mississippi [Bouma y Coleman, 1989], en el que se obtuvieron 387 núcleos de sedimentos marinos con profundidades de 5 a 430 m de la superficie del lecho marino, en tirantes de agua entre 2200 y 3300 m. Ninguna de las perforaciones alcanzo a muestrear el basamento oceánico.

PERFILES SÍSMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y MAGNÉTICOS DEL LECHO MARINO DENTRO DEL
POLÍGONO ORIENTAL EN EL GOLFO DE MÉXICO

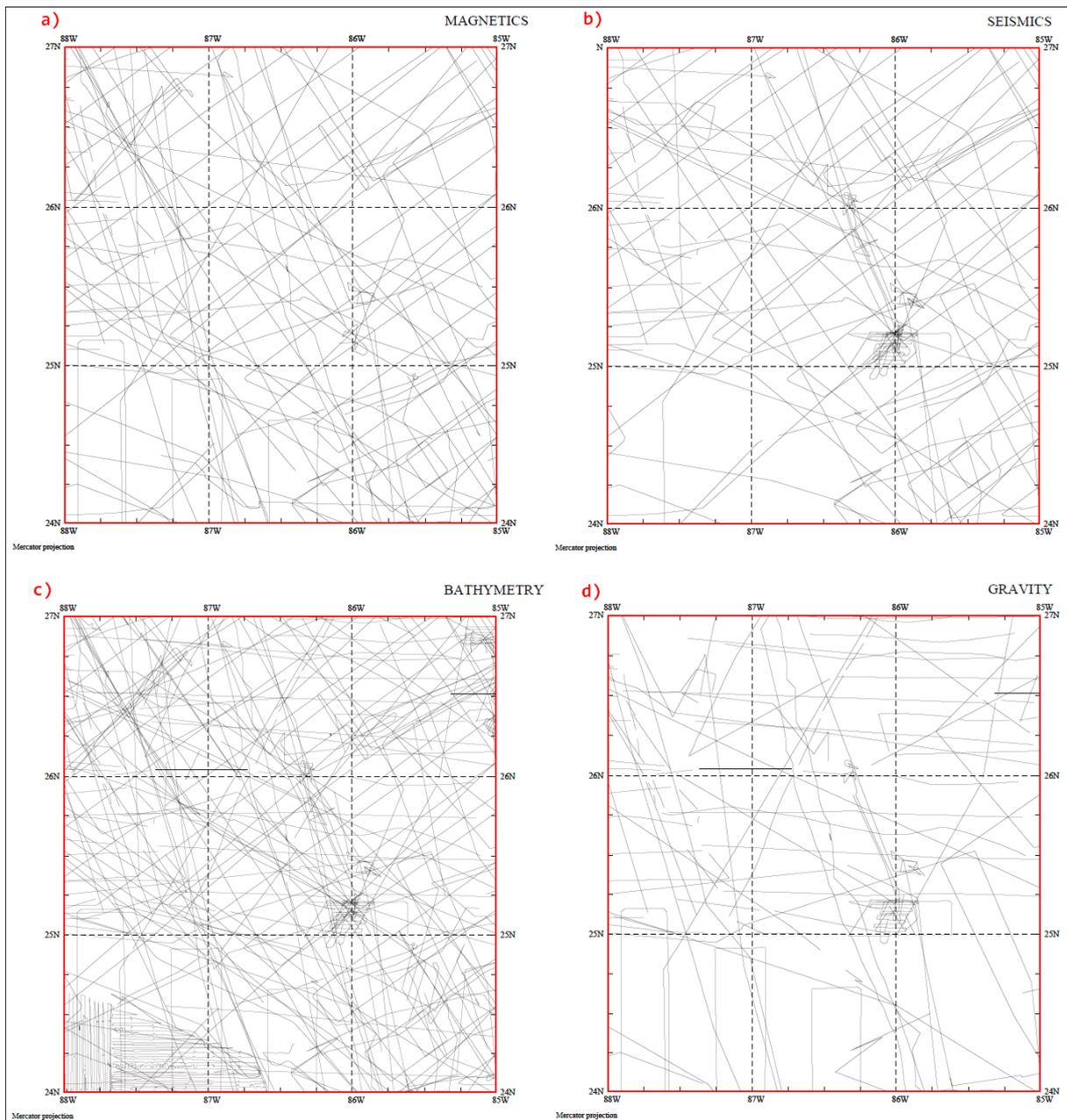


Figura 6. Datos registrados de la zona de estudio, a) magnéticos, b) sísmicos, c) batimétricos y d) gravimétricos del sitio web GEODAS.

Cinco hoyos (“Hole”), sitios de perforación de la campaña DSDP-Leg 96 se ubican cerca y dentro de la zona de estudio de este trabajo: *Hole* 616 (en el sector medio del abanico), *Hole* 624, *Hole* 623, *Hole* 615 y *Hole* 614 (en el sector inferior del abanico) (Figura 7). Los núcleos están principalmente compuestos de sedimentos terrígenos que comprenden arena, arcilla y limo que datan de la época Pleistoceno.

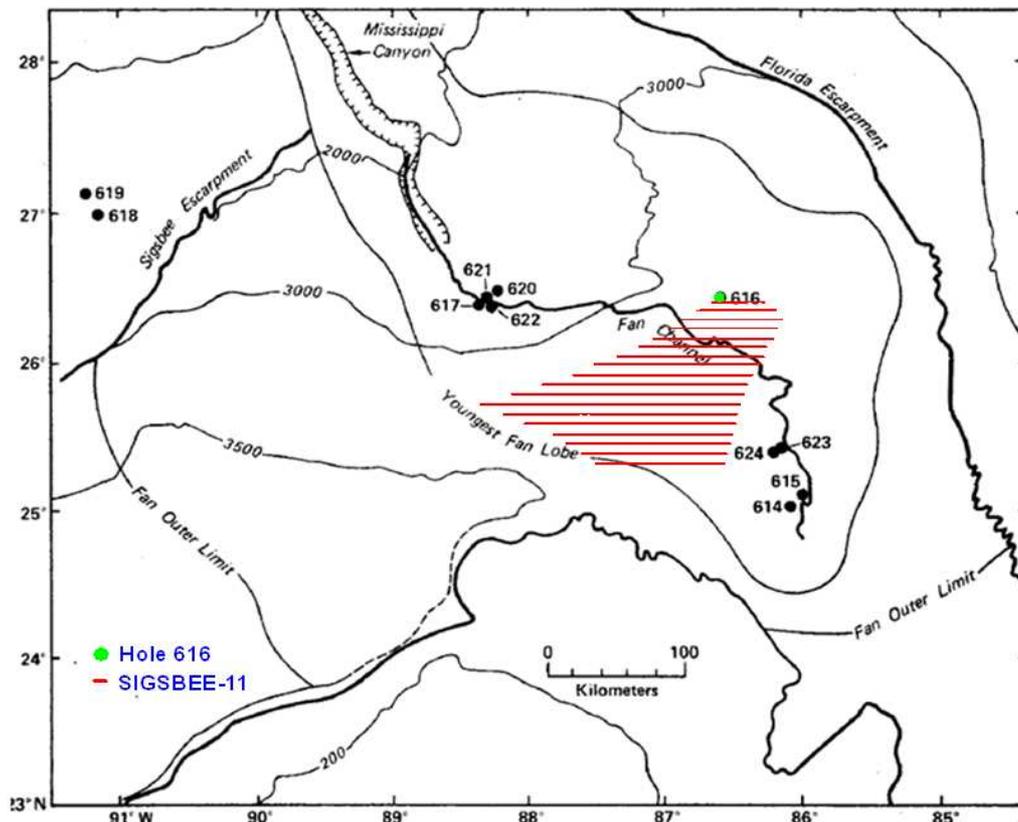


Figura 7. Zona de estudio del proyecto (DSDP). Tomada de [INITIAL CORE DESCRIPTIONS. DEEP SEA DRILLING PROJECT. LEG 96, 1983. Scripps Institution of Oceanography].

Un estudio aeromagnético se realizó en la parte este del Golfo de México y al sur del delta del Río Mississippi (Figura 8), por el Servicio Aéreo de los E.U.A. en noviembre de 1989 [Hall y Najmuddin, 1994]. Este estudio (Figura 8a) adquirió 15,000 km de datos aeromagnéticos a una altura de 300 m sobre el nivel del mar, consistiendo de 42 líneas en dirección Norte a Sur con un espaciamiento de 12 km entre líneas (Figura 8b). Varias líneas tuvieron diferentes orientaciones y espaciamientos: cinco de ellas cruzaron la parte central del estudio aéreo, teniendo un espaciamiento de 90 km entre ellas. Tres líneas vinculadas fueron usadas en los límites Este y Oeste del estudio con un espaciamiento aproximadamente de 110 km.

El magnetómetro utilizado para las mediciones de los valores de intensidad magnética total tiene una resolución de 0.01 nT. El sistema de mediciones totales tiene un nivel de ruido menor a 0.5 nT, su estación base se ubicó en Houma,

Louisiana, para la corrección por variación diurna y para la reducción del campo geomagnético total, se utilizó el modelo IGRF de la época 1985.

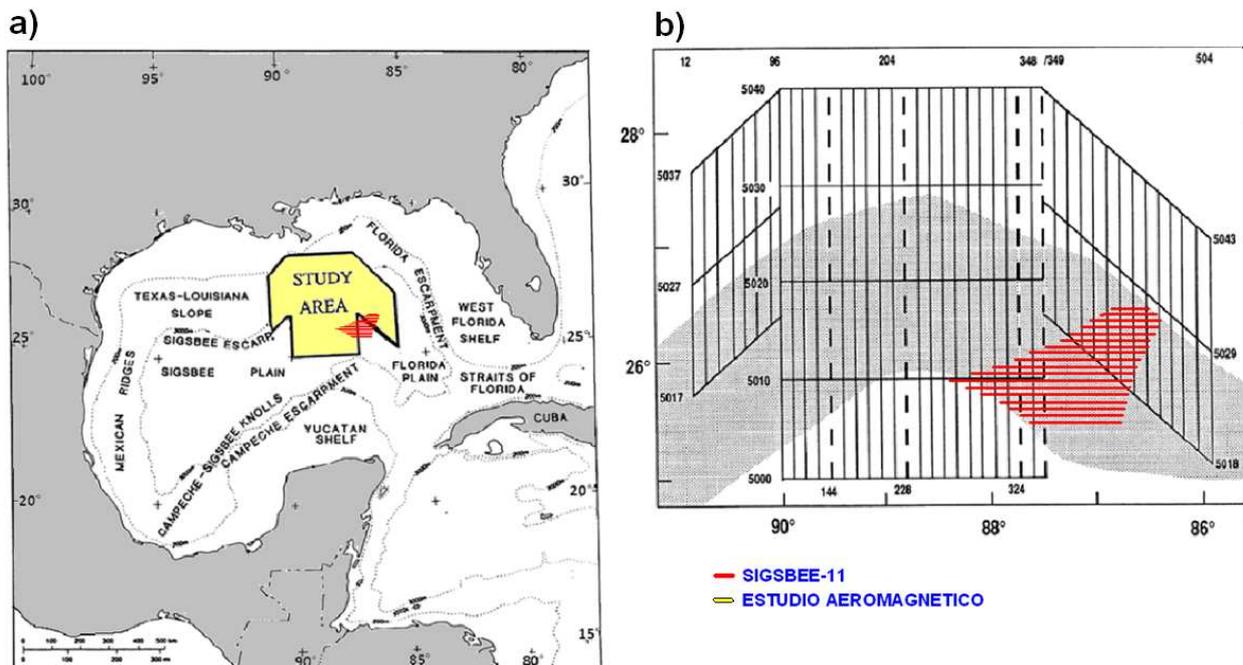


Figura 8. a) Mapa del estudio aeromagnético en la parte este del Golfo de México realizado por el Servicio Aéreo en Noviembre de 1989. b) Geometría del estudio Aeromagnético. Líneas de vuelos: 42 en dirección norte-sur, 5 al centro, 3 en los límites este y 3 en los límites oeste. [Hall, y Najmuddin, 1994].

Como resultado final del estudio de Hall y Najmuddin [1994], el mapa de contornos de las anomalías magnéticas resalta tres rasgos importantes: (I) amplitudes altas de (200-300 nT) manifestando anomalías positivas con dirección de WNW-ESE y otras más al noreste del área de estudio; (II) una serie de amplitudes pequeñas (50-150 nT), con anomalías de longitud de onda ancha (30-60 km desde la punta), sobre la parte central del área de estudio y (III) una persistente anomalía negativa (150-200 nT) a lo largo de la periferia sur del área de estudio (Figura 9). La calidad de los datos magnéticos aéreos de este artículo ha permitido definir los límites de la corteza de transición con la oceánica en la parte este del Golfo de México.

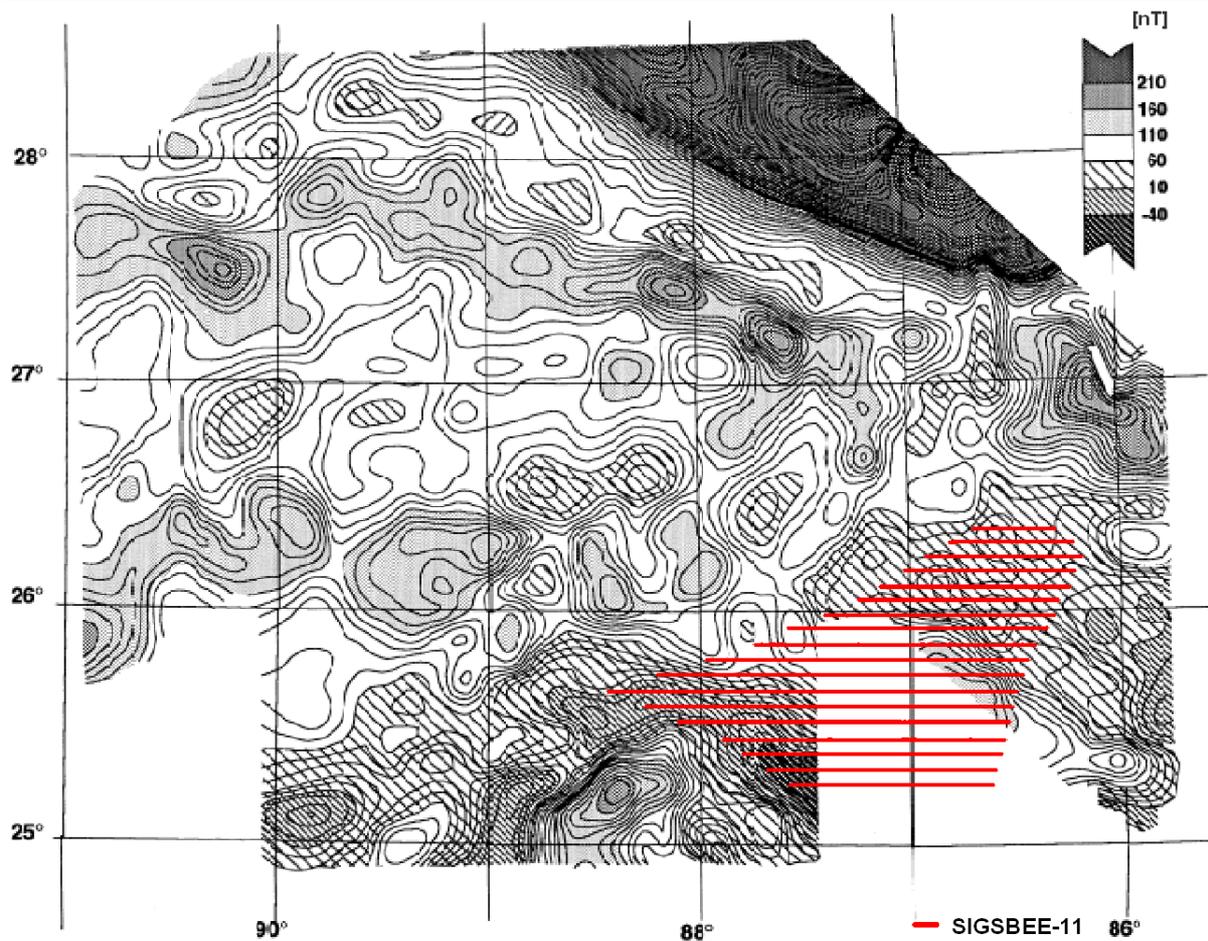


Figura 9. Mapa de contornos de anomalías del campo magnético total al este de la Cuenca del Golfo de México, basado en los resultados del estudio aeromagnético. [Hall, y Najmuddin, 1994]

En el 2006 Ellwood, Balsam y Roberts publicaron un estudio de propiedades magnéticas (susceptibilidad magnética y magnetización remanente) de distintos materiales para analizar y caracterizar fuentes de sedimentos y distribución de flujos en el Golfo de México (Figura 10), este estudio se apoyo con el trabajo de Balsam y Beeson [2003], donde se analizaron 186 núcleos reflejando el contenido de carbonato en estos y determinaron la composición y distribución moderna de sedimentos en el Golfo de México.

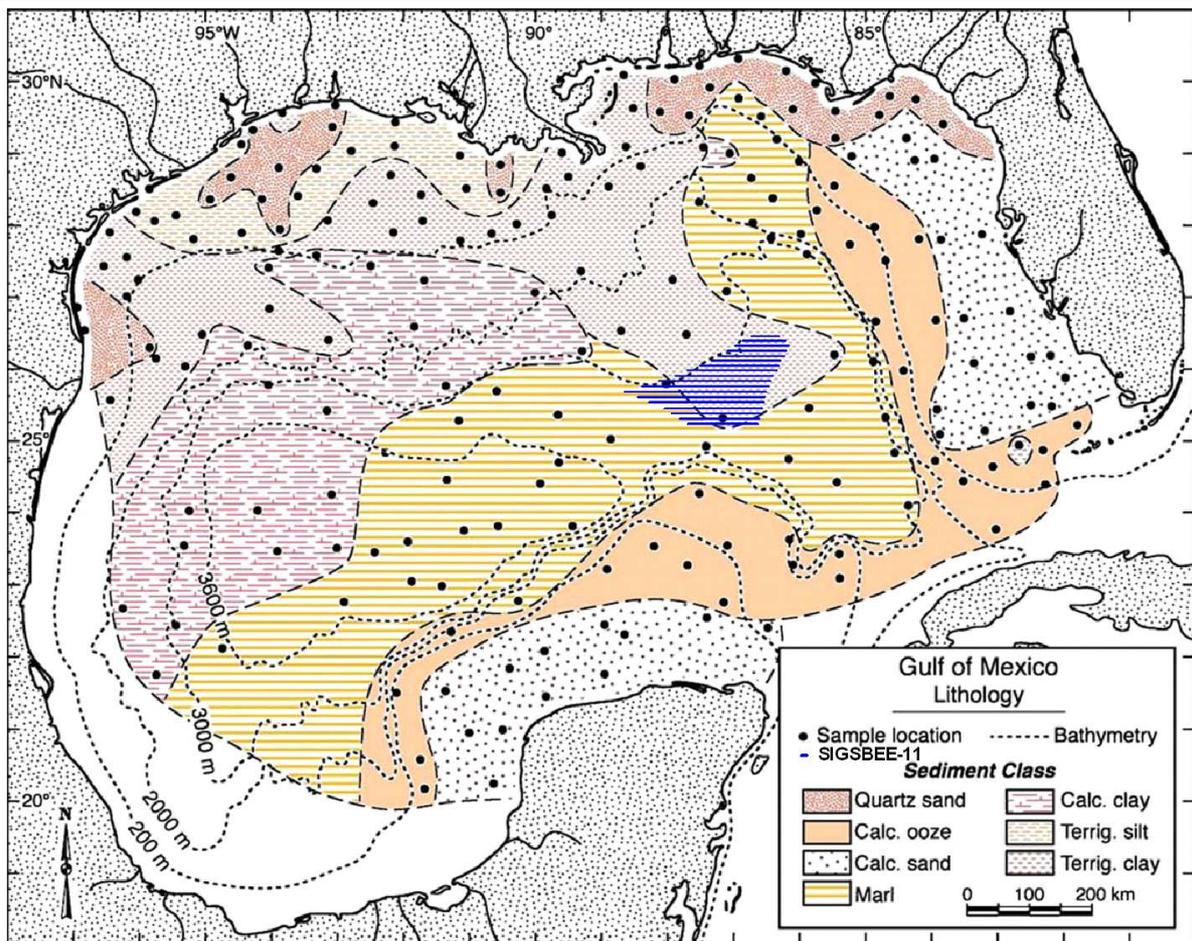


Figura 10. Mapa Litológico del Golfo de México modificada por Balsam and Beeson [2003].

La Zona Económica Exclusiva del Golfo de México y el Norte de la placa del Caribe, fueron estudiados usando GLORIA (Geologic Long Range Inclined Asdic [Allied Submarine Detection Investigation Committee]) durante el programa EEZ-SCAN realizado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en 1985. En total, este estudio mapeo aproximadamente 600,000 km², recolectando valores del campo magnético, perfiles de reflexión sísmica de 3.5 kHz y perfiles batimétricos de 10 kHz, además de obtener imágenes del sonar sidescan GLORIA (16 mosaicos, donde SIGSBEE-11 se encuentra en el 4, 5 y 13). Estos mosaicos formaron imágenes continuas del lecho marino (Figura 11), dividiendo el Golfo de México en tres provincias sedimentarias: en la parte Oeste el Escarpamiento de Sigsbee, en la sección centro el Cañón y el abanico del Mississippi (dividiéndose en tres partes: el abanico de la parte baja, el abanico de la zona alta y la dirección del canal hacia el

Este), y hacia la zona Este una provincia de carbonatos separada por el abanico del Mississippi y por el escarpamiento de Florida.

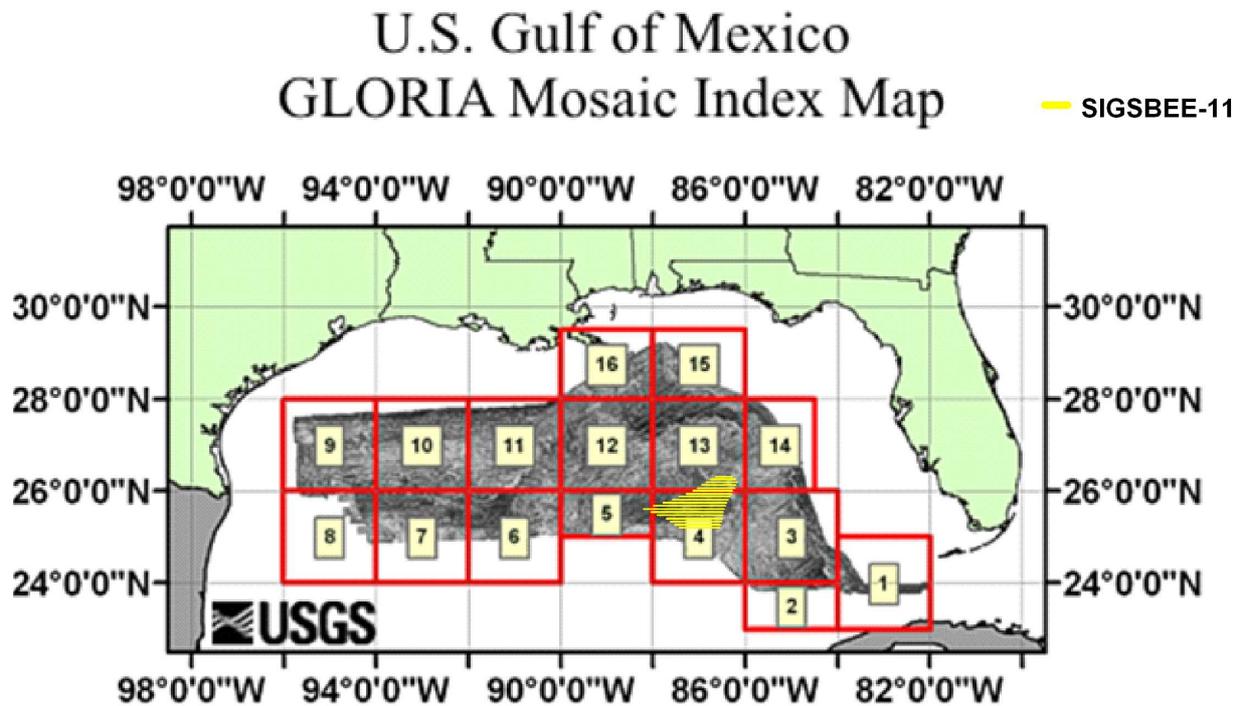


Figura 11. Mapa de los mosaicos que forman la imagen del lecho marino del Golfo de México [obtenidos con el Sonar Sidescan GLORIA durante el programa EEZ-SCAN realizado por el USGS en 1985] y el estudio geofísico marino SIGSBEE-11.