



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y LITOLÓGICOS EN EL
MARGEN CONTINENTAL FRENTE A LA BAHÍA DE
PETACALCO, GUERRERO Y MICHOACÁN, EMPLEANDO
PERFILES DE REFLEXIÓN SÍSMICA DE ALTA RESOLUCIÓN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOFÍSICO

P R E S E N T A:

LUIS ENRIQUE ARCE PÉREZ



DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS ANGEL Q. MORTERA GUTIÉRREZ

CD. UNIVERSITARIA 2015

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada principalmente a mi padre Francisco Javier Arce Hernández que desde el cielo me ha cuidado todos estos años. Sin sus consejos y formación esto nunca hubiera sido posible. Gracias por contagiarme todos esos sueños de grandeza.

A mi madre Lilia Silvia Pérez Cervantes, gracias a ella he logrado todo lo que me he propuesto. Con su empeño, dedicación y apoyo en mi formación me ha enseñado lo que es el amor sin necesidad de explicarlo.

A mi hermano José Javier Arce Pérez, mi cómplice en la vida y el ser humano que posee todas las virtudes que a mí me hacen falta. Por su apoyo, que siempre me ha hecho sentir tan grande que puedo lograr todo. Gracias por estar siempre ahí ayudándome constantemente en todos los proyectos que hemos emprendido.

A mi abuela Alicia Cervantes Solano que con su actitud relajada me ha enseñado que la vida es como te la tomes. A mi abuela Socorro Hernández Roldán “Coco” que con su cariño, atenciones y anécdotas me llenó de sueños y lecciones.

A mis primos Fernando, Yolanda, Humberto, Víctor, Javier, Gabriel, Cinthya, Mabel y Diana. A mis tías Maribel, Martha y Aurora y a mis tíos Luis Fernando Apango y José Luis Arce.

A mis amigos Alexis, Pepe, Chito, Edgar, Alejandro, Tati, Adal, Ayaviri, Sebas, Dani, Juan, Michel, Peje, Poncho, Zac, Abraham, May, César, Braulio, Capilla, Carlos, Daniel, Daniela, Edu, Erik, Fabian, Iso, Julio, Omar, Suárez, Toledo, Vargas, Yadir, Lau , Chapis y todos aquellos que dejaron una lección en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. Carlos Mortera que siempre confió en mi y su visión fue definitiva para sacar este proyecto adelante.

A las escuelas que me formaron Instituto Oriente y Tecnológico de Monterrey.

A todos mis profesores que durante estos años se encargaron de que llegara a ser un profesionista integro, mostrándome el mundo de las ciencias y el arte con una visión social.

A mis compañeros de geofísica marina que ayudaron a adquirir los datos para esta tesis Carmen, Dani, Paco, Pablo, Sandy, Alexis, Itzel y Emilio.

A mis sinodales Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, William Lee Bandy, Osvaldo Sánchez Zamora y Alfonso Reyes Pimentel.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y por ende al pueblo de México que creyó en mí e invirtió sus recursos y esperanzas en mi educación.

RESUMEN

El Río Balsas desemboca en la Bahía de Petacalco en las costas de los estados de Guerrero y Michoacán, formando un ramal submarino con grandes cañones a lo largo del margen continental. Esta zona ha sido epicentro de varios sismos de gran magnitud en México. A pesar de la importante actividad sísmica en la zona, desconocemos la deformación actual en este margen continental.

Durante los últimos años, investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM realizaron dos campañas oceanográficas desde la costa hasta la trinchera entre las dos placas para registrar atributos geofísicos marinos de las estructuras del piso oceánico y su subsuelo. Durante los estudios marinos se adquirieron datos de reflexión sísmica de alta resolución en trayectorias NW-SE. En un área comprendida entre $17^{\circ} 4' N$ hasta $17^{\circ} 53' N$ y desde $102^{\circ} 23' W$ hasta $101^{\circ} 30' W$ con el propósito de registrar la deformación actual de la zona.

Para registrar la deformación actual de la zona, se llevó a cabo un estudio de sísmica de reflexión de alta resolución para identificar los elementos estructurales y litológicos en el margen continental durante las campañas MAMRIV12 y BAPET13 a bordo del Buque Oceanográfico El Puma.

En este trabajo se procesaron e interpretaron nueve perfiles sísmicos de reflexión que cruzaron el área de estudio con el fin de identificar los elementos estructurales y litológicos en el margen continental y de esta forma poder evaluar la deformación del talud y sus posibles riesgos geológicos.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE FIGURAS	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	5
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
2.2 MARCO GEOLÓGICO-TECTÓNICO REGIONAL.....	8
2.3 ESTUDIOS PREVIOS EN LA ZONA.....	12
III. DATOS Y METODOLOGÍA	26
3.1 CONCEPTOS DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN.....	26
3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN.....	29
3.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN.....	38
IV. INTERPRETACIÓN	41
4.1 INTERPRETACIÓN DE PERFILES SÍSMICOS.....	41
V. CONCLUSIONES	74
VI. BIBLIOGRAFÍA	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa tectónico de las placas en el pacífico mexicano. Área de estudio en recuadro rojo.....	2
Figura 2. Las rupturas de diferentes sismos que han ocurrido en el margen mexicano del Pacífico. El recuadro rojo marca la zona de estudio [Kostoglodov, 1999].....	4
Figura 3. Área de trabajo en recuadro rojo dentro de la Bahía de Petacalco.....	6
Figura 4. Trayectoria de los perfiles del proyecto.....	7
Figura 5. Transecto de los nueve perfiles a trabajar en esta tesis.....	7
Figura 6. Placas tectónicas y eventos sísmicos según Atwater [1989].....	8
Figura 7. Delta del Río Balsas y cañones submarinos según Reimnitz [1969].....	11
Figura 8. Batimetría de la Bahía de Petacalco según Shepard [1981].....	13
Figura 9. Mapa de los perfiles sísmicos de alta resolución realizados por Shepard, se numeran los más importantes [1981].....	14
Figura 10. Provincias geológicas según Shepard y Reimnitz [1981].....	17
Figura 11. Perfil sísmico número 4 de Shepard y Reimnitz [1981].....	18
Figura 12. Perfil sísmico 5 de Shepard y Reimnitz [1981].....	20
Figura 13. Perfil sísmico 6 de Shepard y Reimnitz [1981].....	22
Figura 14. Perfil sísmico 7 de Shepard y Reimnitz [1981].....	22
Figura 15. Perfil sísmico 8 de Shepard y Reimnitz [1981].....	23
Figura 16. Perfil sísmico 11 de Shepard y Reimnitz [1981].....	24
Figura 17. Perfil sísmico 12 de Shepard y Reimnitz [1981].....	25

Figura 18. Adquisición de datos sísmicos monocanal.....	27
Figura 19. Perfilador sísmico de tipo Pinger.....	28
Figura 20. Transectos realizados en la Bahía de Petacalco en la campaña MAMRIV12.....	30
Figura 21. Perfiles sísmicos obtenidos en BAPET13.....	31
Figura 22. Esquema de los elementos del perfilador del subsuelo TOPAS PS18.....	33
Figura 23. Ilustración de los principios de operación del perfilador de subsuelo TOPAS PS18.....	34
Figura 24. Movimientos de la embarcación durante la navegación.	35
Figura 25. Sistema de navegación y movimiento Seapath 200.....	37
Figura 26. Perfiles sísmicos levantados durante MAMRIV12 y BAPET13.....	38
Figura 27. Perfil 1.....	43
Figura 28. Perfil 2.....	44
Figura 29. Cuadro A en perfil 2.....	45
Figura 30. Perfil 3.....	47
Figura 31. Perfil 4.....	49
Figura 32. Cuadro A en perfil 4.....	50
Figura 33. Cuadro B en perfil 4.....	51
Figura 34. Cuadro C en perfil 4.....	52
Figura 35. Perfil 5.....	55
Figura 36. Cuadro A en perfil 5.....	55
Figura 37. Cuadro B en perfil 5.....	56

Figura 38. Cuadro C en perfil 5.....	57
Figura 39. Perfil 6.....	60
Figura 40. Cuadro A en perfil 6.....	61
Figura 41. Cuadro B en perfil 6.....	62
Figura 42. Cuadro C en perfil 6.....	63
Figura 43. Cuadro D en perfil 6.....	64
Figura 44. Perfil 7.....	66
Figura 45. Cuadro A en perfil 7.....	67
Figura 46. Cuadro B en perfil 7.....	68
Figura 47. Perfil 8.....	70
Figura 48. Perfil 9.....	72
Figura 49. Cuadro A en perfil 9.....	73

I. INTRODUCCIÓN

El territorio de la República Mexicana es el resultado de múltiples procesos geológicos y tectónicos que la han afectado durante toda su evolución [Aguayo, 1996]. Parte del territorio de México se encuentra sobre la Placa de Norteamérica y solamente la península de Baja California es parte la Placa del Pacífico [Figura 1]. Estas dos placas se encuentran separadas por la falla dextral de San Andrés. Las provincias del golfo de México son tectónicamente estables y pertenecen a la Placa de Norteamérica, mientras que en el Pacífico Mexicano encontramos las Placas de Cocos y Rivera subduciendo bajo la Placa de Norteamérica, formando una trinchera que va desde Colima y se extiende hasta Centroamérica. La placa oceánica de Cocos es rodeada por las placas del Pacífico y Norteamérica. Hacia el Noreste, la placa de Cocos converge contra el margen continental de la placa de Norteamérica, e inicia su subducción debajo de las costas de México hasta Costa Rica.

La subducción de una placa oceánica bajo una placa continental es un fenómeno común en los márgenes del océano Pacífico. Esta interacción entre las placas produce sismos al romper su interface de acoplamiento. La energía que se había acumulado en la zona de contacto entre las placas tectónicas se libera en forma de ondas sísmicas que se propagan por la superficie de la Tierra. Estos sismos de subducción, se concentran entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad. Usualmente estos sismos ocurren entre la costa y la Fosa Mesoamericana (FMA), los más grandes y superficiales llegan a deformar el suelo marino durante su ocurrencia. Esta deformación súbita del suelo oceánico puede llegar a producir

olas de gran tamaño, llamadas Tsunami [Kostoglodov, 1999]. El contacto entre las placas de Cocos y Norteamérica en la zona de estudio frente a la Bahía de Petacalco, [Figura 2] ha sido el lugar de ocurrencia de sismos importantes, como el de Michoacán en 1985 y el de Petatlán en 1979, que afectaron gravemente a la Ciudad de México.

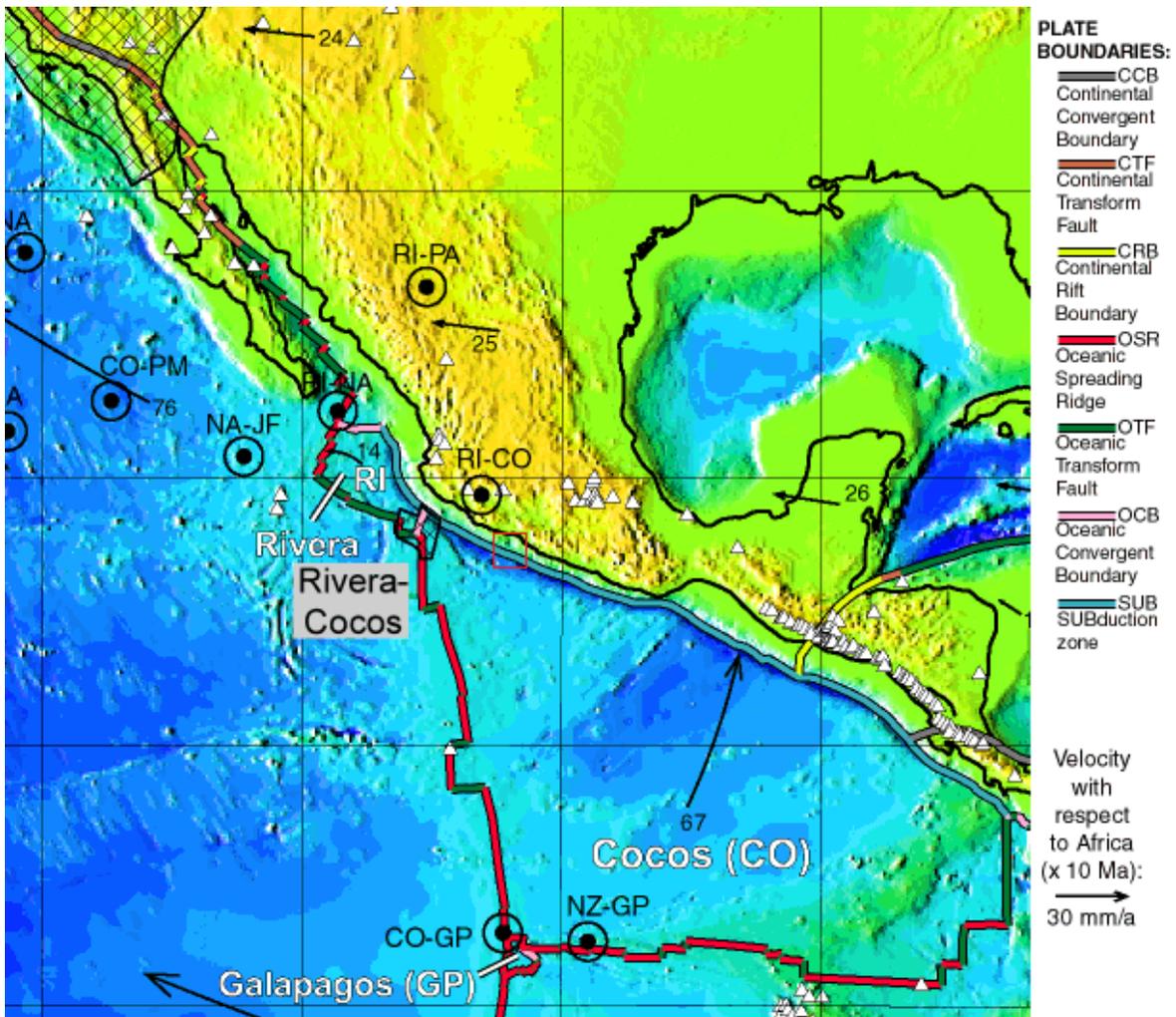


Figura 1. Mapa tectónico de placas del pacífico mexicano. Área de estudio aproximada en recuadro rojo. [Modificado de Figueroa, 2013]

La geología y tectónica del margen mexicano en el Pacífico es compleja y por lo cual es investigada para incrementar el conocimiento sobre los posibles riesgos geológicos que se pudieran derivar de una deformación del suelo marino. Esta investigación pretende revisar las condiciones actuales de la zona de estudio, para incrementar el conocimiento del riesgo geológico de este margen marino. Teniendo como objetivo revisar la deformación del margen continental actual para identificar zonas donde pudiere existir la posibilidad de tener inestabilidades submarinas que lleguen a generar tsunamis y el segundo objetivo es tener un antecedente en caso de ocurrir un sismo se pudiese identificar zonas sensibles a la deformación.

Actualmente no ha habido un estudio sobre el estado actual de la deformación del margen continental en la Bahía de Petacalco, frente a las costas entre Guerrero y Michoacán [Figura 1]. Por eso es necesario obtener un registro de las condiciones actuales para compararlo en un futuro registro después de la ocurrencia de eventos sísmicos, y de esta forma poder evaluar la deformación y sus posibles riesgos geológicos.

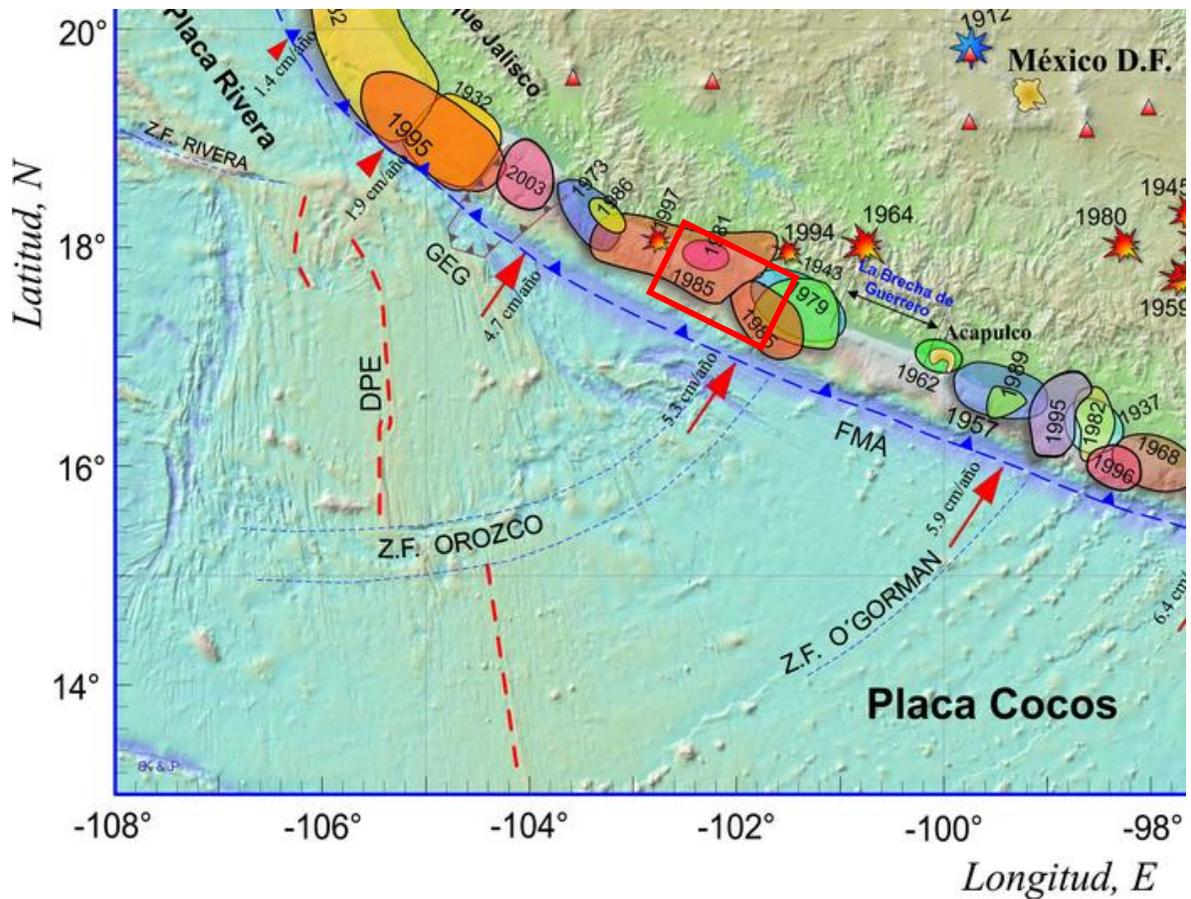


Figura 2. Las rupturas de diferentes sismos que han ocurrido en el margen mexicano del Pacífico. El recuadro rojo marca la zona de estudio. [Modificado de Kostoglodov y Pacheco, 1999].

El Instituto de Geofísica de la UNAM realizó dos campañas de investigación a bordo del Buque Oceanográfico "El Puma", frente a la bahía de Petacalco denominadas MAMRIV12 y BAPET13, adquiriendo datos de batimetría monohaz, multihaz, así como datos de magnetometría y perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución. Específicamente este trabajo de tesis está enfocado en la caracterización litológica de esta zona con el fin de conocer detalle de las estructuras geológicas actuales desde el margen continental, hasta la trinchera, y entre las costas de Guerrero y Michoacán. Nueve perfiles sísmicos de alta resolución son procesados, analizados e interpretados, que van desde la costa

hasta la trinchera, desde los 102° 48' 11" W hasta los 101° 27'34" W en el Pacífico Oriental.

II. Antecedentes

La investigación de estudios anteriores realizados en la zona representa un factor fundamental en toda investigación, pues a partir de ella surgen los conocimientos e hipótesis a desarrollar. En esta etapa de la investigación se realizó una amplia consulta bibliográfica de los trabajos de geofísica y geología realizados en la Bahía de Petacalco entre ellos la Distribución y Evolución de Sedimentos Superficiales del Delta del Río Balsas [Morales de la Garza, 1987] así como la Sedimentación alrededor del Río Balsas y sus cañones al oeste de México [Shepard y Reimnitz, 1981].

2.1 Ubicación geográfica.

La desembocadura del Río Balsas se encuentra entre los estados de Guerrero y Michoacán, en el sector oriental del Océano Pacífico. La Figura 3 muestra el área aproximada de estudio, entre las longitudes que va desde los 102° 23' W hasta los 101° 30" W y con una latitud desde los 17° 4' N hasta los 17° 52' N. Las ciudades más cercanas a la zona de estudio son el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán y la ciudad de Zihuatanejo, Guerrero.

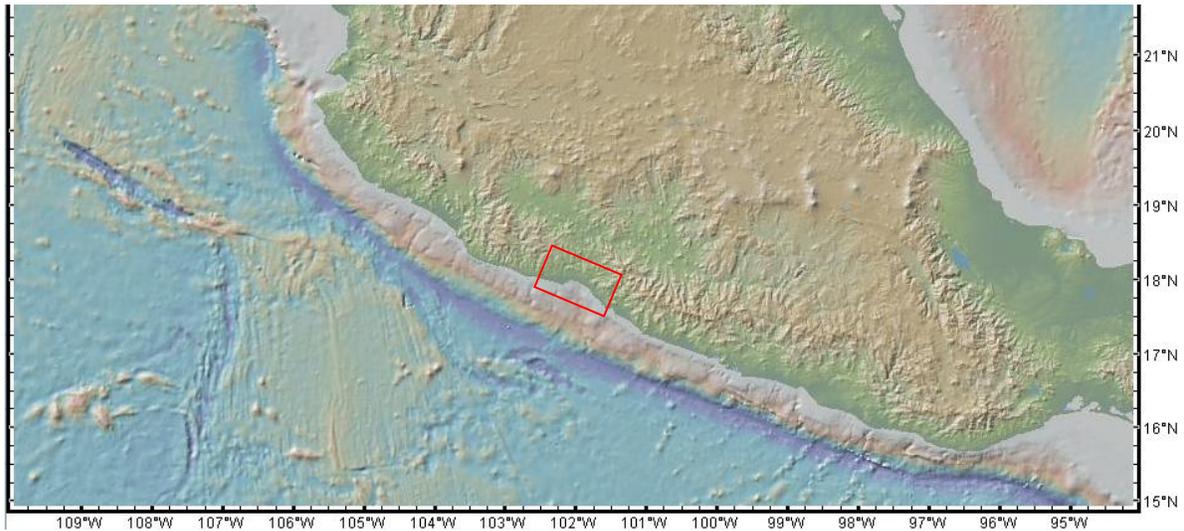


Figura 3. Área aproximada de estudio en recuadro rojo dentro de la Bahía de Petacalco [Modificada de GeoMapApp]

Los registros continuos de mediciones de geofísica marina se adquirieron durante dos campañas oceanográficas a bordo del buque Oceanográfico “El Puma” de la UNAM, denominadas MAMRIV12 y BAPET13, durante estas campañas se adquirieron un total de 186 perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución con una profundidad entre los 100 hasta los 3500 metros [Figura 4].

De este total de perfiles, sólo nueve son seleccionados para caracterizar sísmicamente el subsuelo del talud como parte de esta tesis [Figura 5], teniendo una dirección de Noroeste a Sureste.

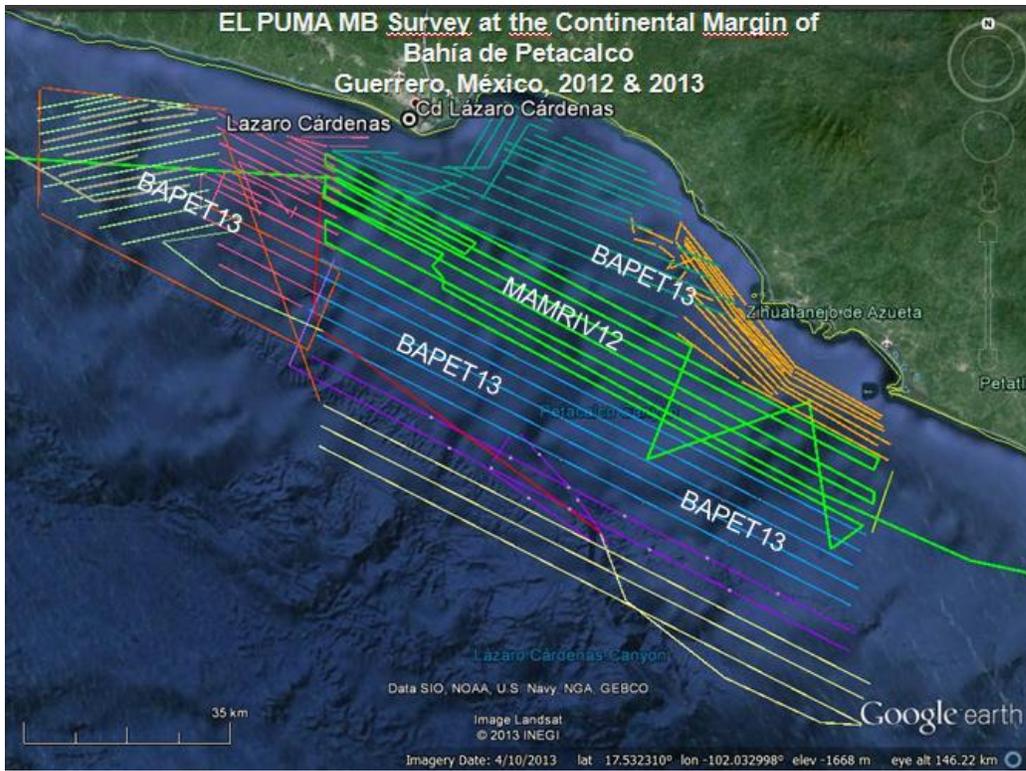


Figura 4. Trayectoria de los perfiles del proyecto. [Instituto de Geofísica UNAM].

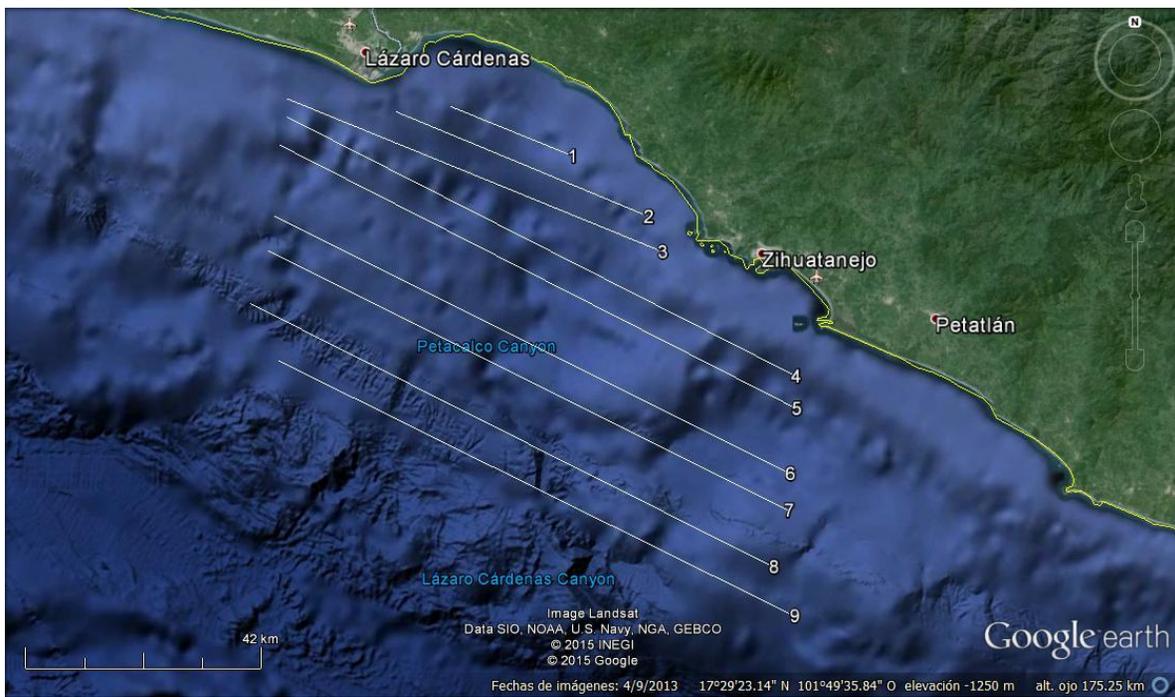


Figura 5. Transectos de los nueve perfiles utilizados en esta tesis [Google Earth, 2015]

2.2 Marco geológico-tectónico regional

El Océano Pacífico tiene una configuración tectónica compleja, abarcando la mayor parte de la placa oceánica del Pacífico, también existen otras placas oceánicas de menor tamaño. Al oriente del Océano Pacífico se encuentra la Placa de Cocos que está rodeada por cuatro placas principales la Placa Norteamericana, Placa del Pacífico, Placa del Caribe y la Placa de Nazca. La Placa de Cocos al norte subduce bajo la Placa Norteamericana desde México hasta Costa Rica, formando la Trinchera Mesoamericana [Figura 6].

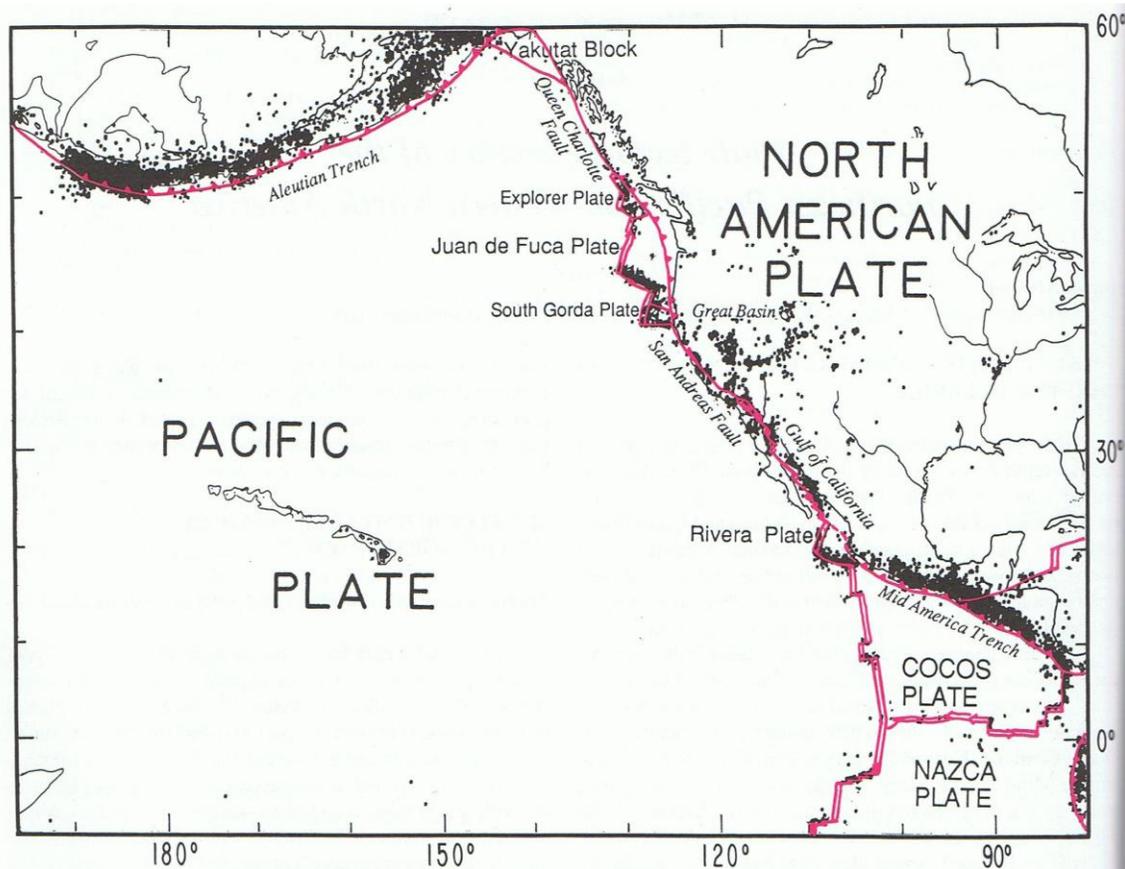


Figura 6. Placas que conforman los bordes de la Placa del Pacífico y eventos sísmicos [Atwater, 1989]

La zona de estudio de esta tesis está localizada en la costa del Pacífico Mexicano en el límite entre los estados de Guerrero y Michoacán, frente al puerto de Lázaro Cárdenas, esta zona se encuentra en la provincia morfoestructural [Lugo, 1985], del Margen Submarino del Sur de México. La fisiografía y la morfología de esta provincia está caracterizado por una estrecha plataforma continental, un talud continental de gran pendiente hasta la fosa de la Trinchera Mesoamericana [Morales de la Garza, 1987]. El margen continental del Océano Pacífico Mexicano presenta cuencas sedimentarias y cañones submarinos. El subsuelo muestra secuencias de sedimentos con estratificación cruzada y paralela, laderas de valles empinadas y suaves.

La Trinchera Mesoamericana constituye la morfoestructura principal de esta región de México, siendo de menor magnitud la plataforma y el talud continental [Morales de la Garza, 1987]. La zona montañosa de la costa sureste junto con la de Guerrero y Oaxaca constituye la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur [Álvarez, 1962] que se caracteriza por tener una planicie costera muy estrecha, la cual en ocasiones está ausente, formando un litoral rocoso. Esta región está formada por esquistos paleozoicos, intrusiones graníticas y rocas calcáreas mesozoicas que se encuentran en una etapa de avanzada erosión. Entre la Sierra Madre del Sur y el Océano Pacífico, aparece una franja muy angosta que varía entre 100 m y 15 km de ancho, denominada Planicie Costera Sudoccidental [Tamayo, 1970] la cual está sujeta a un proceso de inmersión que provoca una disminución del ancho de esta planicie [Morales de la Garza, 1987].

Otra provincia fisiográfica que tiene efecto directo sobre la sedimentación del área de estudio, es la Cuenca del Balsas [Álvarez, 1962], la cual tiene unos 600 km de largo, 150 km en su parte más ancha y 105,900 km² de área de drenaje. El Río Balsas es el segundo más largo del oeste de México, capta el drenaje de esta cuenca a través de numerosos ríos tributarios que se unen y llevan sus aguas y sedimentos hacia el Océano Pacífico. Después de fluir a lo largo del flanco norte de la Sierra Madre del Sur, el río hace un cambio abrupto de dirección entre las montañas hacia el Océano Pacífico. Aquí un delta arqueado se ha formado a lo largo de una costa rocosa. Los deltas submarinos se extienden en un cinturón que va reduciéndose gradualmente hasta una distancia de 30 km hacia el oeste de la desembocadura y de sólo 10 km hacia el este.

Las montañas costeras que flanquean el delta se componen por calizas del Cretácico que recubren conglomerado y rocas volcánicas del Terciario. Estas unidades presentan intrusiones de dioritas y granodioritas de dimensiones batolíticas. Las laderas de la zona alrededor del delta consisten en conglomerados de origen fluvial, presumiblemente del Cuaternario [Morales de la Garza, 1987].

De los cañones submarinos, al menos cuatro grandes cabeceras del cañón se encuentran muy cerca del delta superficial [Figura 7], dos de ellas dentro de la zona de surf. De oeste a este son el Cañón del Manglito, el Cañón de la Necesidad, los Cañones de Gasolinos y el Cañón de Petacalco. Mar adentro, a los costados de la desembocadura del río hay dos montículos que tienen pendientes suaves. Al oeste del delta la plataforma es de 18 a 20 km de ancho, pero al este del delta es de sólo 1,5 km de ancho y tiene una caída repentina en el borde

exterior. El sistema de cañones que se extiende por la Bahía de Petacalco termina en la Fosa de Mesoamérica a una distancia de 110 km de la costa y a una profundidad de unos 4.600 m.b.n.m. [Reimnitz y Gutiérrez, 1969].

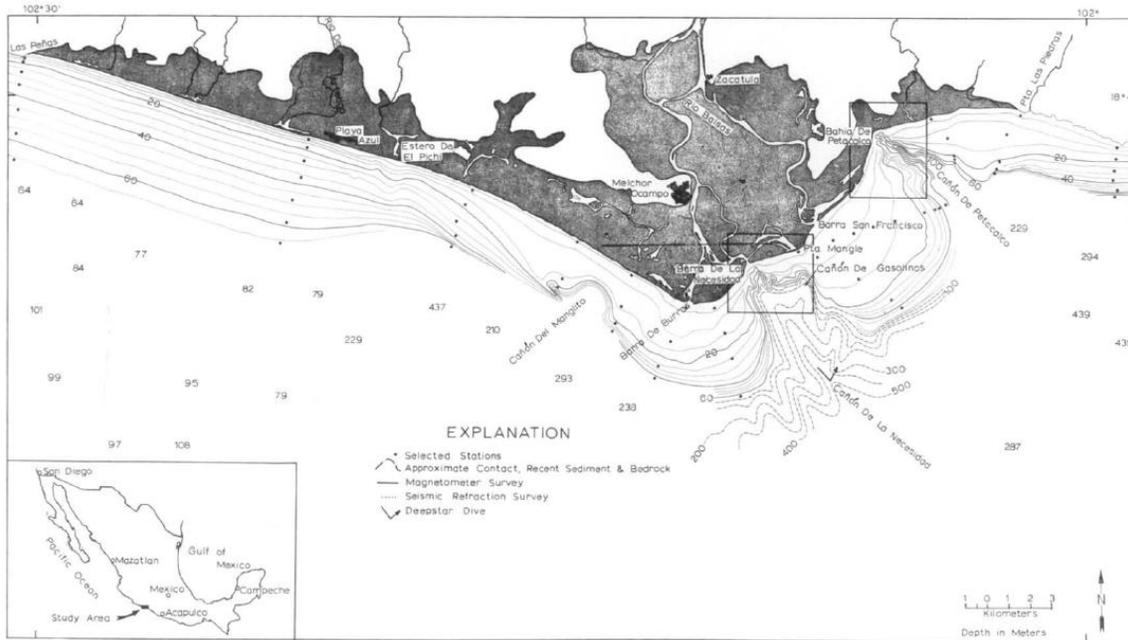


Figura 7. Delta del Río Balsas y cañones submarinos [Reimnitz y Gutiérrez, 1970]

El Cañón de la Necesidad y el Cañón de Petacalco, tienen un gran número de cañones en forma de V que se extienden en la zona de surf. La amplia cabecera del Cañón de la Necesidad yace mar adentro inmediatamente después de la Barra Boca de la Necesidad en la desembocadura del Río Balsas. El borde del cañón está cortado por una serie de pequeños cañones que entran desde el oeste, porque la corriente del litoral suministra sedimentos predominantemente de esta dirección, pero también del este. Los cañones de Gasolinos y del Manglito se encuentran a una distancia considerable de la costa y no están relacionados con

la descarga del río y parecen estar llenándose con sedimentos [Reimnitz y Gutiérrez, 1970].

La región estudiada presenta una gran actividad sísmica, dado que en la Trinchera Mesoamericana se originan sismos de gran intensidad, afectando grandes extensiones de tierra firme que incluyen las costas, los sistemas montañosos marginales y las depresiones intermontañosas [Lugo, 1985].

2.3 Estudios previos en la zona

En la región del Delta submarino del Río Balsas, se han realizado estudios por la Agencia Federal de Obras Marítimas [1963], de la Secretaría de Marina en donde se estudiaron los procesos físicos en la zona del Río Balsas. Brand [1958] publicó un estudio sobre la costa del sureste de México, en el cual incluye el análisis mineralógico de las arenas de Michoacán. Yáñez [1963] realizó un estudio de la morfología y sedimentología de los depósitos deltaicos. Reimnitz [1968] estudió los procesos, historia y origen de los cañones submarinos del Río Balsas. Reimnitz y Gutiérrez [1970] estudiaron sobre los cambios rápidos en la sedimentación de las cabeceras de los sistemas de los cañones submarinos. Gutiérrez-Estrada [1971] hizo un estudio en la que presenta los aspectos fisiográficos y sedimentológicos del Delta del Río Balsas. Shepard [1981] realizó un estudio sobre la sedimentación en el delta del Río Balsas y los cañones. Márquez y Morales hicieron un estudio sobre la distribución y evolución de sedimentos superficiales del delta del Río Balsas. [Morales de la Garza, 1987]

Márquez y Morales en su estudio de 1987 nos explican que el cañón del Río Balsas antiguamente se mostraba como un único canal que se extendía en la Bahía de Petacalco, pero ahora se sabe que consiste de un sistema de cañones con varios afluentes tributarios [Figura 8].

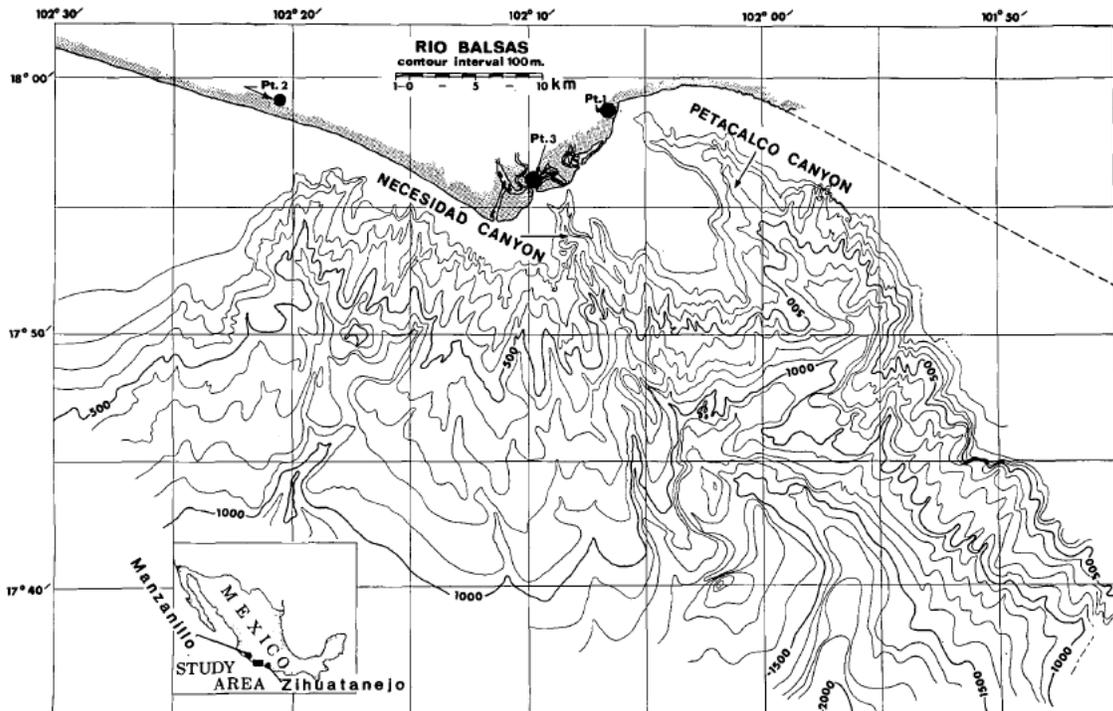


Figura 8. Batimetría de la Bahía de Petacalco [Shepard, 1981]

El estudio sobre la sedimentación en el delta del Río Balsas y los cañones en la Bahía de Petacalco realizado por Shepard y Reimnitz [1981] a bordo del buque Ellen B. de Scripps analiza perfiles sísmicos en la zona [Figura 9]. Su estudio indica que el Río Balsas ha construido un delta submarino que traslapa la plataforma continental, creando grandes cañones a su paso, así que el sedimento del río se vierte directamente en el talud continental [Figura 8]. El talud mar adentro del delta del Río Balsas está marcado por valles submarinos, algunos de

proporciones de cañones. Estudios de medición de corrientes confirman la existencia de corrientes turbidíticas en los valles que se encuentran en el talud durante épocas de alto oleaje [Reimnitz y Gutiérrez, 1970].

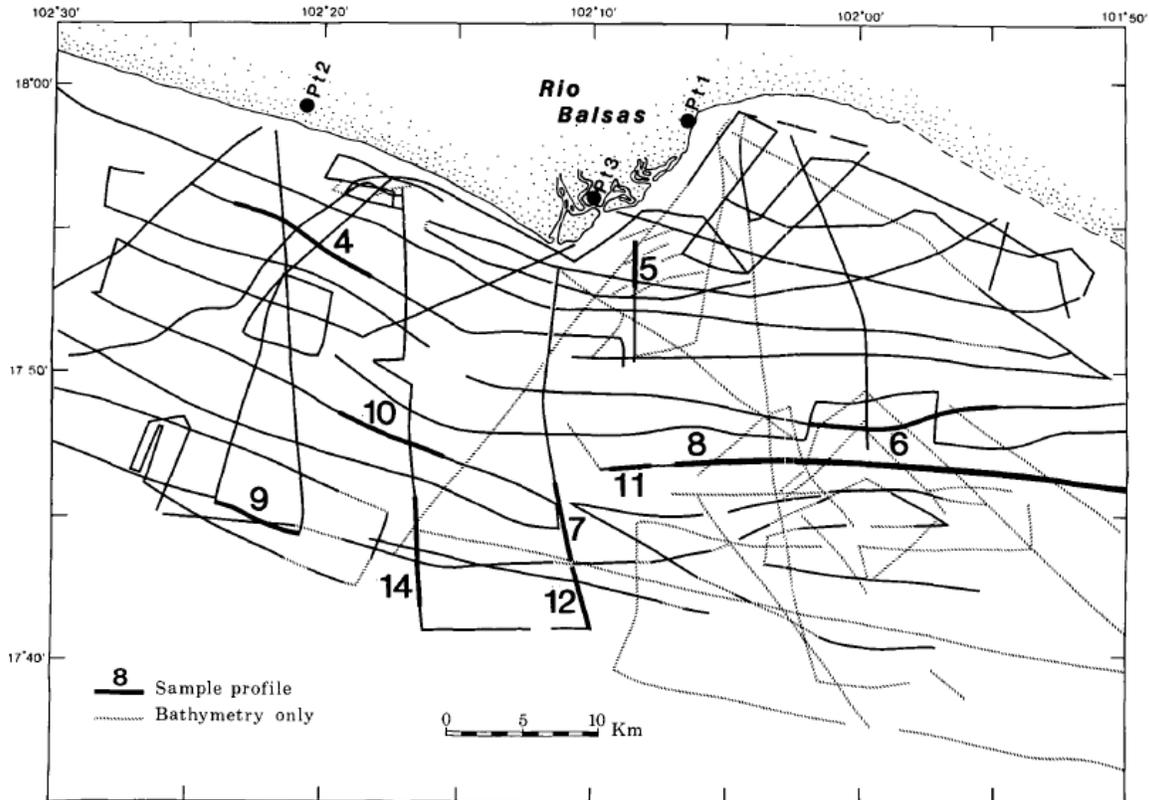


Figura 9. Mapa de los perfiles sísmicos de alta resolución realizados por Shepard, se numeran los más importantes. . [Shepard y Reimnitz, 1981]

Las cabeceras de cañón tienen forma de V como lo muestran en los perfiles transversales que se obtuvieron pero en las partes más profundas se encontraron valles de cañón con amplios y planos suelos. Estos valles planos llegan a medir hasta dos kilómetros de ancho en algunos lugares y son similares a las depresiones de los deltas de los ríos Ganges e Indio. [Shepard y Reimnitz, 1981]

El Cañón de la Necesidad aparentemente continua mar adentro por al menos dos kilómetros aunque hay una incertidumbre acerca de la continuidad del valle más allá de los 750 metros de profundidad, donde parece que se bifurca con una rama extendiéndose al sur y el otro hacia el sureste volviéndose parte de un sistema de cañones de piso plano y ancho.

En esta zona, los dos principales cañones son el Cañón de la Necesidad que surge de la desembocadura del Río Balsas y el Cañón de Petacalco que empieza en la Bahía de Petacalco. El Cañón de Petacalco tiene un valle tributario de tamaño relativamente grande con una dirección cercana al delta. Aproximadamente ocho kilómetros al oeste de la presente desembocadura del Río Balsas se encuentra otro cañón parecido al Cañón de Petacalco y que también tiene fondo plano, al parecer se trata del Cañón de Manguito que menciona Reimnitz. Entre estos tres valles existen muchos cañones más pequeños y menos continuos. Muchos de estos canales se encuentran bordeados por crestas que parecen ser diques naturales.

El delta del río Balsas tiene varias diferencias a otros deltas similares. Primero los dos cañones principales contienen numerosos canales tributarios en forma de V cercanos a la zona de surf y son afectados por los procesos de dicha zona. Segundo todos estos pequeños tributarios contienen pisos de arena desde varios metros a varias decenas de metros de ancho. La pendiente de las cabeceras de cañón es muy empinada. [Shepard y Reimnitz, 1981]

Al oeste del área del delta submarino, el margen continental tiene una pendiente suave tal como lo menciona Morales de la Garza [1987] refiriéndose a los montículos al oeste y este del delta. Al oeste y al noroeste del delta submarino existen una serie de cañones submarinos que son provocados por el drenaje submarino. Los cañones mar adentro contrastan con los cañones del delta submarino porque muchos continúan pendiente hacia abajo, alcanzando hasta la trinchera y muestran el patrón dendrítico típico de los cañones. Estos cañones submarinos en el talud se encuentran al sureste del delta a lo largo del talud, hasta una distancia de al menos setenta kilómetros.

Los perfiles de sísmica de alta resolución que presenta Shepard y Reimnitz [1981] tienen una estructura interna de larga escala en el sistema de cañones de delta, y permiten especular sobre la historia del sistema de cañones. Resultado de su estudio presenta un mapa que generaliza las diferentes provincias geológicas en la zona submarina [Figura 10].

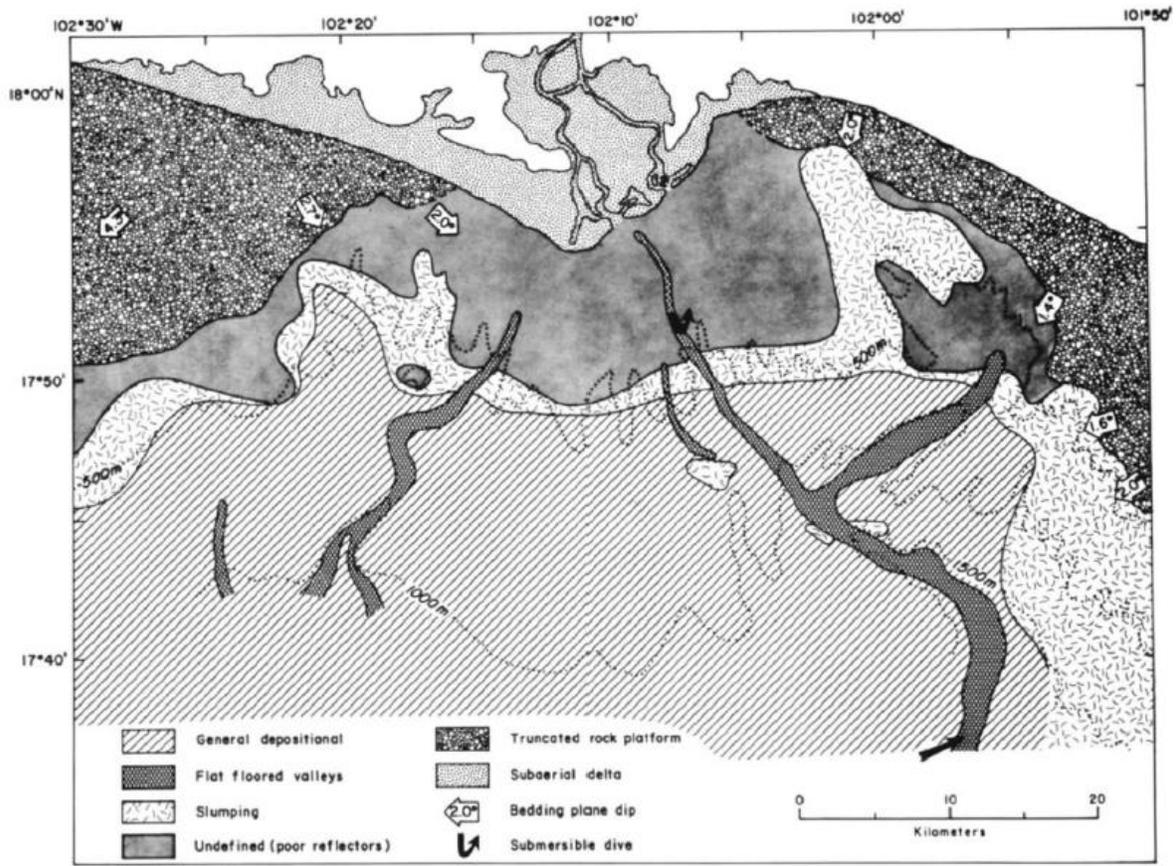


Figura 10. Provincias geológicas según Shepard y Reimnitz [1981]

La pendiente suave de la plataforma continental al este y al oeste del delta y el sistema de cañones se encuentra cubierta por una capa de sedimentos no consolidada de entre 10 a 30 metros de espesor, que recae de manera discordante sobre una sección gruesa de roca igualmente estratificada y con un echado suave [Figura 11]. El perfil sísmico de la figura 11 en el oeste muestra una plataforma de roca truncada debajo de los 10 a 20 metros de sedimento. La parte este es el límite entre la zona llamada indefinida y la zona que claramente muestra derrumbes [Figura 10], a esta zona Shepard y Reimnitz [1981] la nombran “plataforma de roca truncada”.

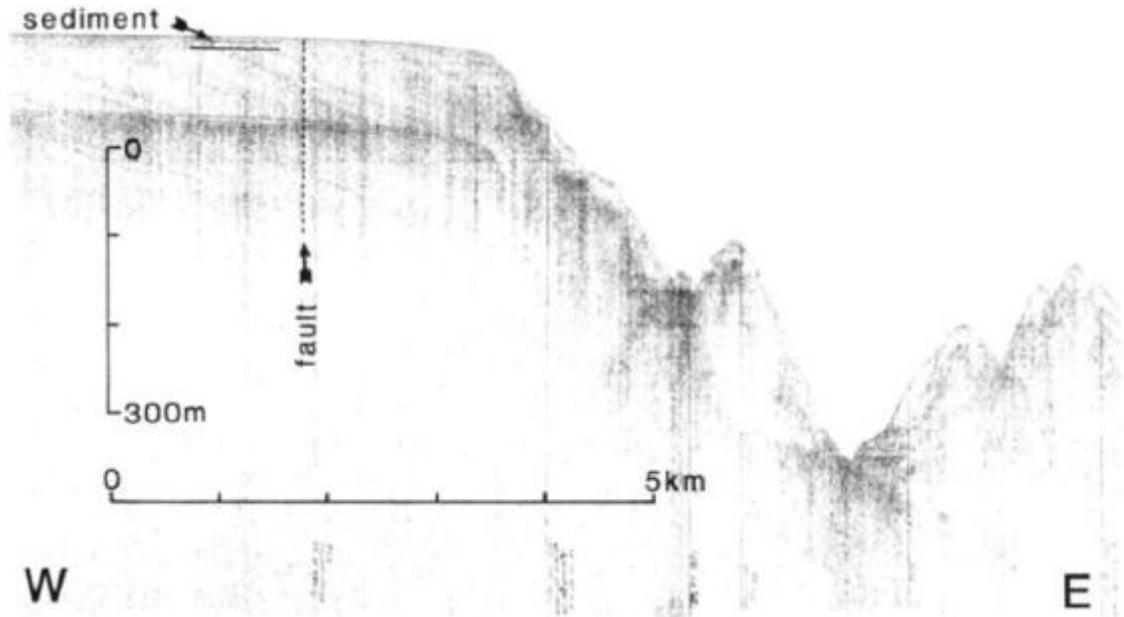


Figura 11. Perfil sísmico número 4 de Shepard y Reimnitz [1981].

Esta sección de roca truncada se encuentra en la delgada franja de la plataforma continental a los costados del delta submarino, probablemente correlacionada con una roca de echado suave entre sesenta a setenta metros, debajo del delta submarino a dos kilómetros mar adentro [Shepard y Reimnitz, 1981]. El material de esta zona puede provenir de ceniza volcánica litificada, río arriba de la desembocadura. Esta litología estratificada se encuentra marcada por fallas y en algunas áreas está completamente destruida. Esta área se encuentra alrededor del delta submarino Río Balsas. Esta área de derrumbes de sedimento no consolidado hace difícil o imposible distinguir en las secciones sísmicas la naturaleza de las rocas y sedimento en el lecho marino.

La segunda zona Shepard y Reimnitz [1981] que nombran “indefinida” [Figura 11] está localizada en el empinado talud continental, cortado por varios cañones

pequeños. Esta zona se extiende desde la desembocadura del Río Balsas hacia el oeste por todo el límite de la zona de “plataforma con roca truncada” y por el este hasta la curva cerrada que tiene la Bahía de Petacalco. Esta zona tiene una longitud promedio entre diez y doce kilómetros e incluye el área donde el delta submarino parece haber sido construido en la angosta plataforma continental y donde el talud, con sus valles irregulares, está en contacto casi directo con la costa, donde la descarga del río debe de estar llegando al talud.

El talud está caracterizado por numerosos cañones que Shepard y Reimnitz [1981] consideran que no son estables ya que están sujetos a frecuentes corrientes turbidíticas y derrumbes, presuntamente provocado por el avance de sedimentos desde los ríos. Así, uno puede asumir que en el talud del Río Balsas, está formado de una masa progradante de sedimento, a pesar de que los perfiles sísmicos de la zona carezcan de reflectores fuertes y coherentes.

Considerando la presencia de la roca de basamento en profundidades someras cerca de la costa del delta submarino, así como expuesta en las paredes y en el piso del Cañón de la Necesidad, a unos 500 metros de profundidad. Uno puede interpretar que esta zona se encuentra sobre roca de basamento a poca profundidad. [Shepard y Reimnitz, 1981]

Shepard y Reimnitz [1981] dicen que si gran parte de este terreno de relieve accidentado se encontrara sobre roca basamento, uno debería encontrar al menos paquetes de sedimento suave moderno cerca de la desembocadura del río en esta zona. Así que una interpretación alternativa de esta zona “indefinida” es que

representa rápida acumulación de sedimento muy inestable en el talud empinado que ha sido deformado y homogeneizado por un hundimiento generalizado y por esto no contiene buenos reflectores sísmicos [Figura 12]. La figura 12 es un perfil sísmico que atraviesa la zona “indefinida”. Aunque no presenta buenos reflectores, se aprecia un contacto entre dos formaciones probablemente entre sedimentos no consolidados sobre roca de Basamento [Shepard y Reimnitz, 1981]

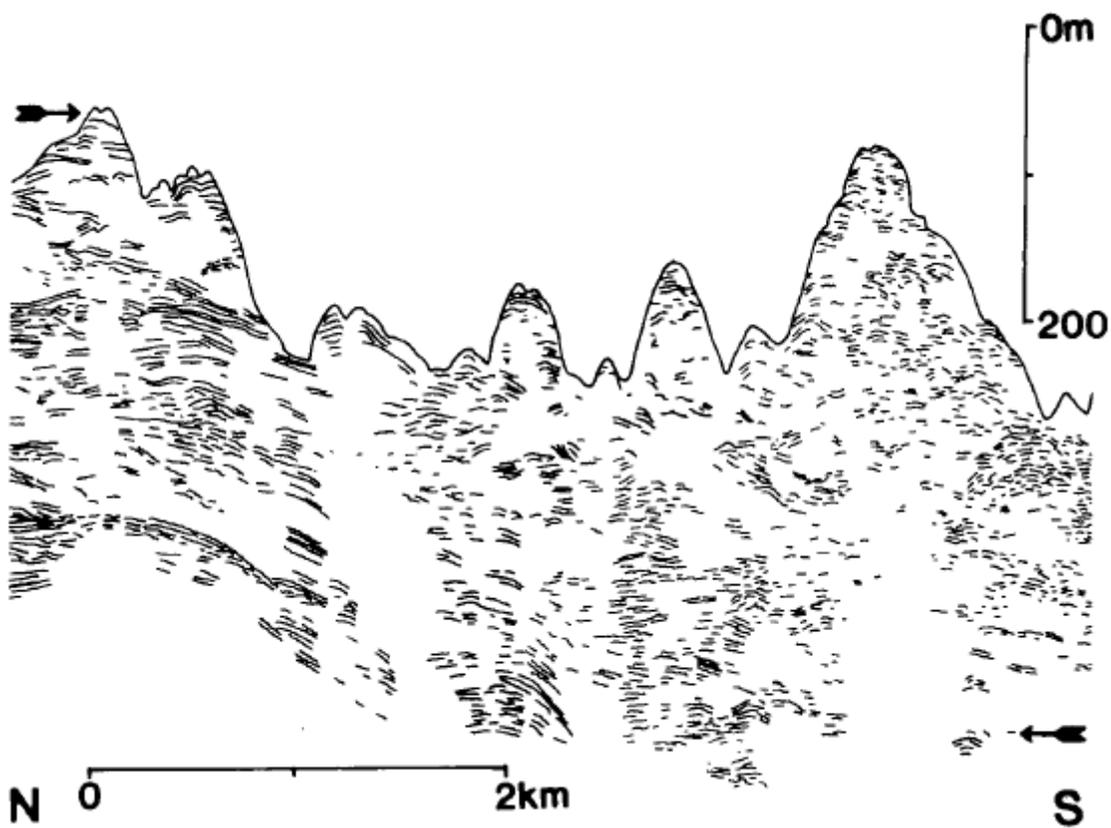


Figura 12. Perfil sísmico 5 de Shepard y Reimnitz [1981]

Otro indicador que el delta está progradando hacia el talud continental es la presencia de múltiples cañones someros a los costados del Cañón de la Necesidad [Shepard y Reimnitz, 1981].

Mar adentro más allá de esta segunda zona y localizada en los flancos empinados de los cañones a lo largo del contorno de 500 metros de profundidad aproximadamente, existe una zona que se encuentra afectada fuertemente por derrumbes [Figura 11] y a la cual Shepard y Reimnitz [1981] identifican a esta zona como “Slumping” [Figura 10].

Esta zona presenta las características de tener laderas extremadamente empinadas y escarpadas, carencia de reflectores sísmicos coherentes y continuos así como la presencia de reflectores irregulares, discontinuos y ocasionalmente hiperbólicos [Shepard y Reimnitz, 1981]. Una gran distancia entre áreas con material claramente observable como roca y en dirección hacia el mar, las laderas entre zona van cambiando ha pendiente más suaves, sostenidas por gruesas acumulaciones de sedimentos con estructuras geológicas de larga escala.

En la Figura 13, un perfil sísmico perpendicular al Cañón de Petacalco cruza desde la zona de Slumping hasta la zona de “plataforma de roca truncada”. Al oeste muestra cañones tributarios y al centro el piso plano del cañón es rellenado con material más grueso. Esta zona está más allá de la zona de quiebre, donde las laderas se vuelven más suaves, los perfiles sísmicos horizontales.

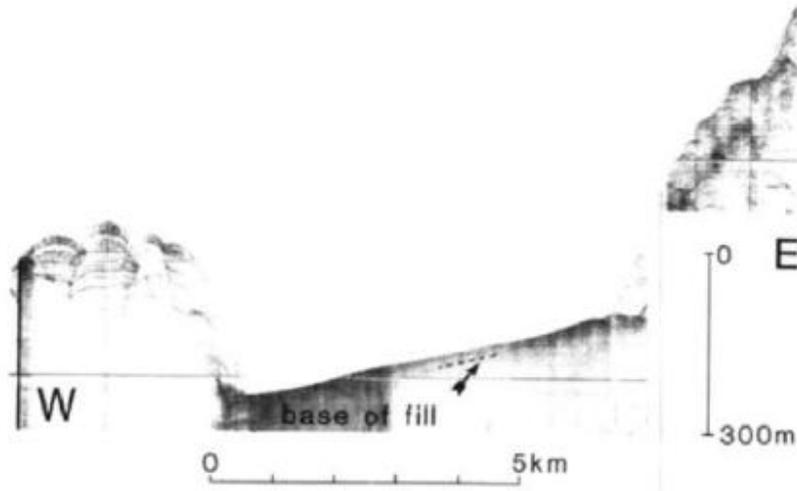


Figura 13. Perfil 6 de Shepard y Reimnitz [1981]

En esta área encontramos estratificación paralela a la pendiente de la superficie, con pendiente suave. Se puede observar estratificación bien definida que se extiende al sur a un área con una leve deformación [Figura 14], y estratificación cruzada debajo de los pequeños cañones en la Figura 15 que es un perfil sísmico que atraviesa el prodelta. Esta sección muestra estratificación cruzada y reflectores hiperbólicos [Shepard y Reimnitz, 1981].

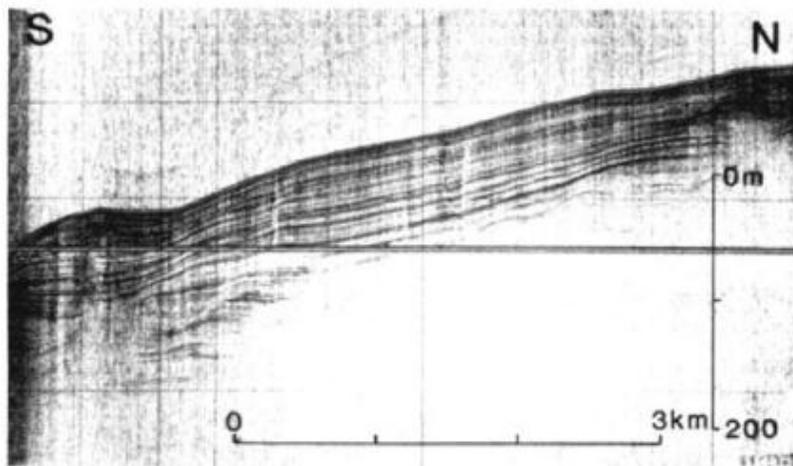


Figura 14. Perfil sísmico 7 de Shepard y Reimnitz [1981]

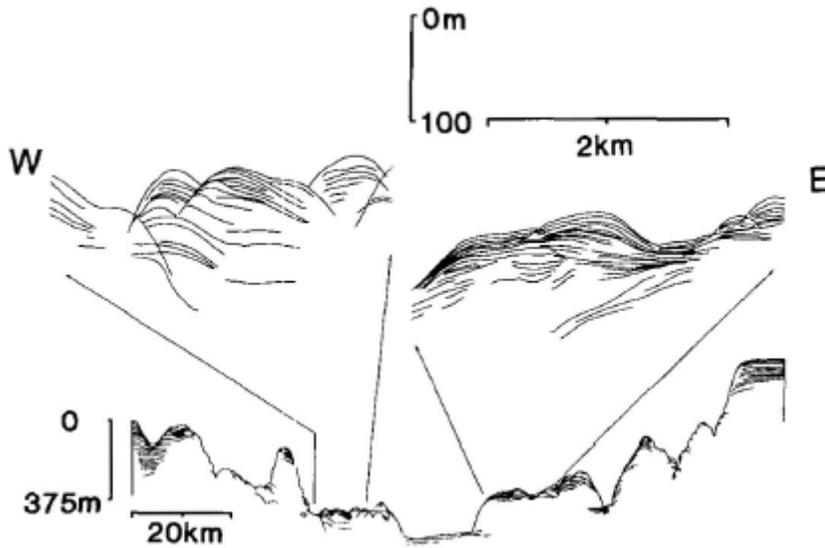


Figura 15. Perfil sísmico 8 de Shepard y Reimnitz [1981]

Los pequeños cañones que existen en esta zona son característicos de un prodelta de talud. Está claro que los canales representan las zonas de menos deposición en el talud progradante y eventualmente estos pequeños canales son rellenados y remplazados por nuevos, como podemos observar en las estructuras que se encuentran debajo. Aunque la mayoría de los pequeños cañones en la zona llamada “general depositional” tienen características sedimentarias, hay algunos que fueron formados por la combinación de deposición y erosión como podemos ver en la Figura 16, que es un perfil sísmico de un cañón pequeño, en donde los estratos en el fondo han sido erosionados mientras que en los bancos ha existido deposición [Shepard y Reimnitz, 1981].

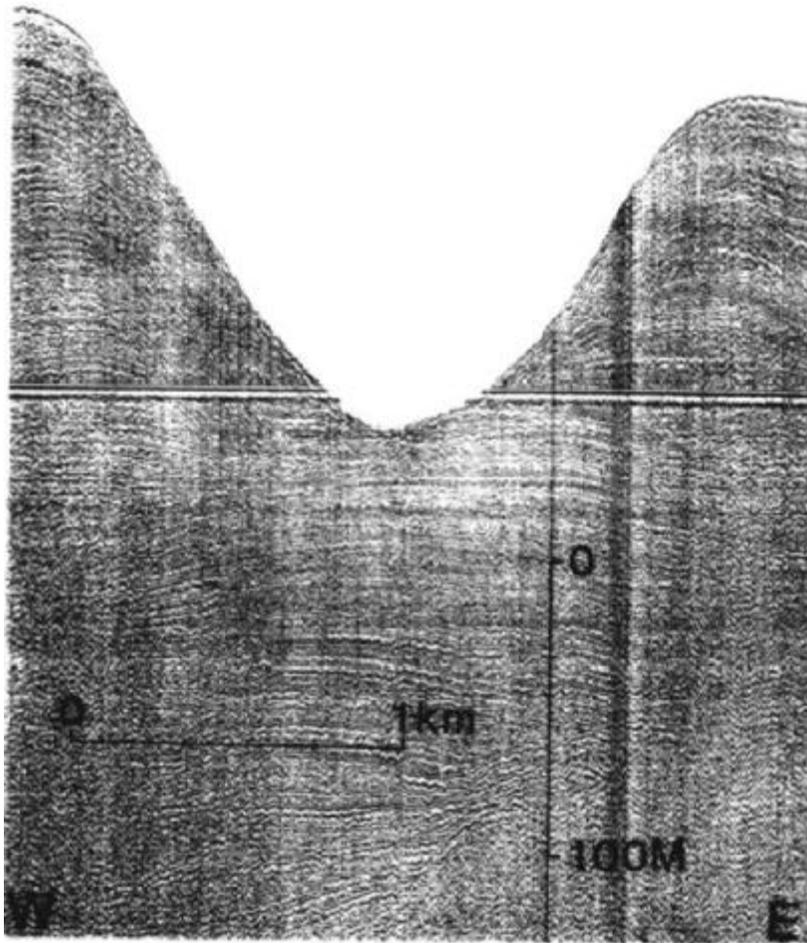


Figura 16. Perfil sísmico 11 de Shepard y Reimnitz [1981]

Los fondos planos en los Cañones Necesidad y Petacalco que se observan en los registros sísmicos son extensos y tanto el relieve como el subsuelo son difusos [Figura 13]. Esta característica sugiere un relleno de cañón arenoso y de grano grueso según Shepard y Reimnitz [1981]. Un submarino recorrió el piso plano del Cañón de la Necesidad [Dill et al., 1975] entre los 450 y 480 metros de profundidad. Se observó que el relleno consistía de arena con guijarros and cantos de alrededor de 20 cm de diámetro, incorporando material de plantas disperso como hojas de palmas y ramas de más de 15 centímetros de espesor. Las laderas

muestran evidencia de derrumbes así como de corrientes fuertes recientes y están cubiertas de una delgada capa de lodo. A la profundidad de 1800 metros, más allá de la confluencia de los Cañones de Petacalco y Necesidad, el relleno de talud consiste de arena con estratificaciones que sugieren fuertes corrientes.

Los reflectores sísmicos paralelos al lecho marino son raros en el ambiente sedimentario del ramal del Río Balsas, aunque un ejemplo se muestra en la Figura 14. La continuación hacia el sur de este perfil se muestra en la Figura 17 que es un perfil sísmico que muestra hundimiento leve en pendientes suaves, se muestra un hundimiento, que ocurre en un ambiente sedimentario esto es también muy raro y resulta en una topografía accidentada, altamente irregular y con estructuras internas incoherentes como en la zona de derrumbes que se encuentra al norte del talud.

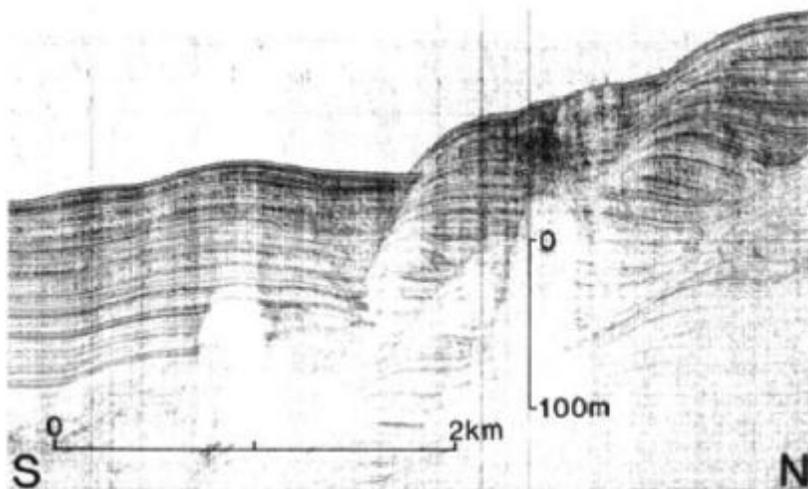


Figura 17. Perfil sísmico 12 de Shepard [Shepard, 1981].

III. DATOS Y METODOLOGÍA

En este capítulo se muestran las diferentes etapas de esta investigación. La metodología empleada consistió en la adquisición de datos, el procesamiento de los mismos hasta llegar al análisis de resultados. Los conceptos básicos de sísmica de reflexión en la exploración geofísica marina son explicados brevemente, así como la implementación de estos principios en los instrumentos utilizados para adquirir los datos en la Bahía de Petacalco.

3.1 Conceptos básicos de sísmica de reflexión

La exploración con sísmica de reflexión es uno de los métodos de prospección geofísica más viables y eficientes en la actualidad. Dicho método está basado en el registro de los frentes de ondas sísmicas reflejadas de las distintas interfaces del subsuelo. Estas interfaces horizontales son llamadas reflectores, que corresponden a contrastes de impedancia, producto de la diferencia de propiedades físicas entre las distintas capas geológicas. Los métodos sísmicos de exploración utilizan esta metodología para el estudio de las propiedades físicas de los estratos superiores en la corteza con fuentes controladas [Telford, 1990].

La exploración sísmica en el mar se diferencia de la exploración terrestre en el uso de la fuente de energía sísmica así como en la forma de registrar la llegada de las ondas elásticas que se reflejan en el subsuelo y viajan a través de la columna de agua.

Los perfiles sísmicos de este estudio fueron adquiridos utilizando el método de sísmica de reflexión de alta resolución mono canal. El sistema mono canal

consiste de una fuente y un receptor colocado debajo de la quilla del buque ubicados en el mismo lugar. Después de que la fuente de energía emite el pulso, el receptor se activa y recibe la señal a una distancia mayor posterior a la emisión.

[Figura 18]

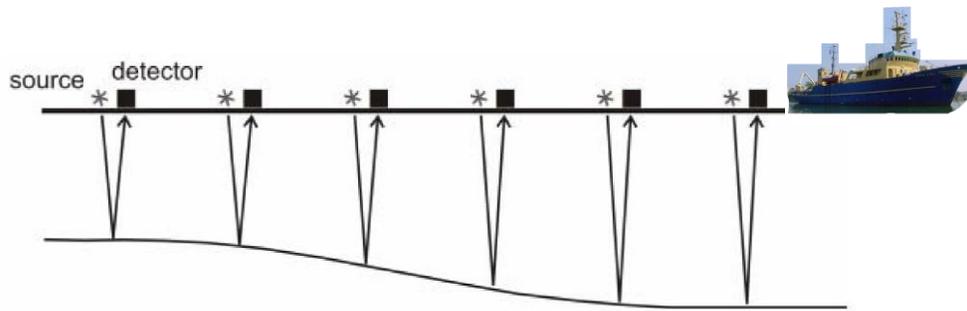


Figura 18. Esquema de la adquisición de datos sísmicos monocanal [Modificado de Jeff Gu, 2014]

El perfilador sísmico es un sistema basado en los anteriores conceptos para identificar las estructuras de las distintas capas de materiales y horizontes del subsuelo. Utilizamos un perfilador tipo Pinger que se caracteriza por tener como fuente energía acústica que emite a través de un transductor, un receptor, y una computadora de control para el registro de los datos (Figura 19).

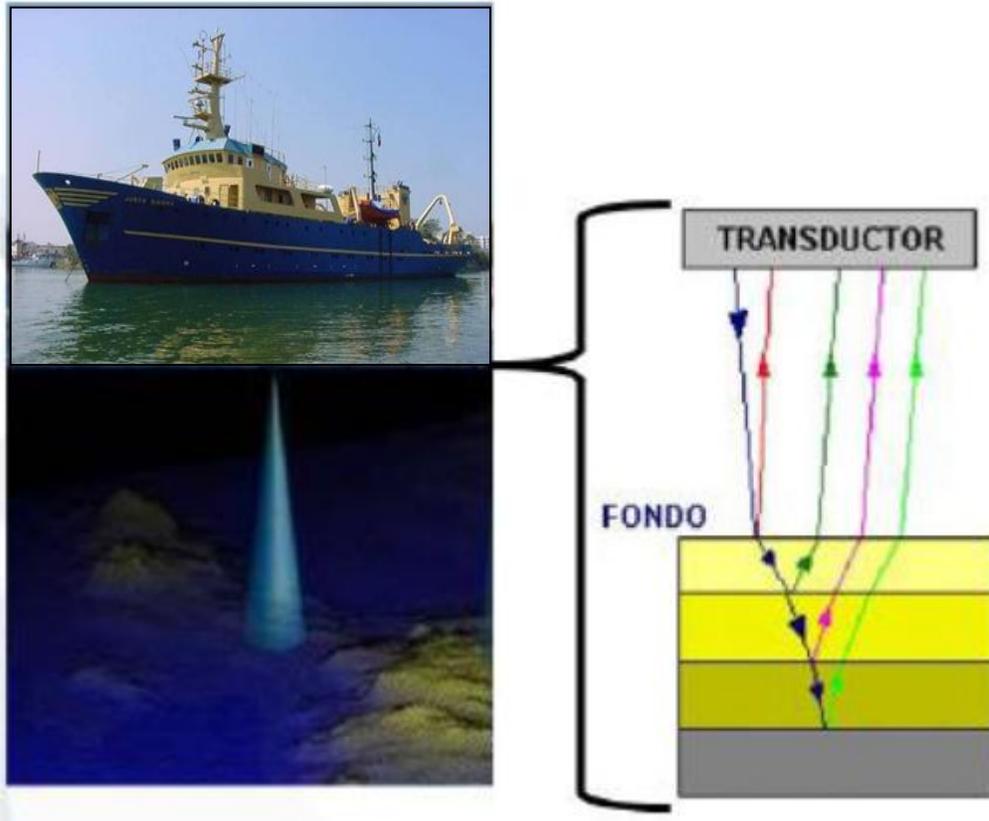


Figura 19. Perfilador. Consta de un transductor que emite la fuente de energía en forma de un pulso sísmico reflejándose en las interfaces del fondo marino [Modificada de BENTOS].

3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN

Los datos empleados para este estudio corresponden a datos de geofísica marina registrados durante dos campañas oceanográficas a bordo del Buque Oceanográfico El Puma en el año 2012 y 2013. La primera de ellas corresponde a la campaña MAMRIV12, y la segunda correspondiente a la campaña BAPET13, financiadas por la Universidad Nacional Autónoma de México.

La campaña MAMRIV12 se llevó a cabo a bordo del Buque Oceanográfico El Puma y se utilizaron sólo dos perfiles sísmicos de la Bahía de Petacalco [Figura 20]. El levantamiento fue realizado en dirección NW – SE para obtener perfiles ortogonales a los Cañones de la Necesidad y Petacalco, así como el cañón donde confluyen. Esta campaña fue encabezada por el Dr. Carlos Mortera de la UNAM. El objetivo principal de MAMRIV12 en la Bahía de Petacalco era levantar perfiles sísmicos para estudiar la deformación en la zona y de esta forma evaluar el riesgo geológico, debido a actividad sísmica que podría generar un tsunami en esta región de alta sismicidad y donde hay pocos datos.



Figura 20. Transectos realizados en la Bahía de Petacalco en la campaña MAMRIV12, que corresponden a los perfiles 4 y 5.

A partir de los datos obtenidos en MAMRIV12 surgió el interés en realizar una investigación más detallada de la región de la Bahía de Petacalco, que permitiera un mayor conocimiento de la deformación actual del lecho marino y el subsuelo. Durante BAPET13 se levantaron los seis perfiles sísmicos que son analizados en este trabajo [Figura 21].



Figura 21. Perfiles sísmicos obtenidos en BAPET13

El perfilador sísmico que utiliza el BO El Puma es una ecosonda de penetración o perfilador sísmico, TOPAS (Topographic Parametric Sonar) modelo PS18 de la empresa noruega Kongsberg [Figura 22]. Este perfilador permite caracterizar perfiles de sísmica de reflexión de alta resolución de las estructuras geológicas del subsuelo y lecho marino. La calidad de los datos del equipo depende de la resolución espacial del sistema (resolución angular y vertical), la velocidad del buque al momento de adquirir los datos, y del ángulo de incidencia de las ondas reflejadas provenientes del subsuelo.

La transmisión de la onda del TOPAS PS18 a través del transductor depende del tirante de agua. El pulso de los transductores es modificado con señales tipo Chirp o Ricker. Para aguas someras un pulso Ricker es generado y tiene mayor penetración pero poca resolución. El pulso Chirp es usado en aguas profundas,

generando una frecuencia modulada con respecto al tiempo. En los perfiles levantados en la Bahía de Petacalco se utilizó el pulso Chirp con límites de frecuencia entre 1 y 6 kHz, obteniendo la máxima resolución vertical en la imagen sísmica a 0.2 milisegundos. Este pulso viaja por la columna de agua y tocando el lecho marino según los principios de propagación de ondas en medios sólidos, más tarde al alcanzar un contrastante de impedancias acústicas entre interfaces, parte de la onda es transmitida al siguiente medio, y otra parte reflejada, y esto se repite al llegar a la siguiente interfaz. Registrándose el arribo de un tren de datos correspondiente a las interfaces de alternancias estratigráficas [Figura 23]. La calidad de los datos (penetración y resolución vertical) de los perfiles sísmicos dependerá de las características de rugosidad, morfología, litología del lecho marino y de la velocidad de navegación.

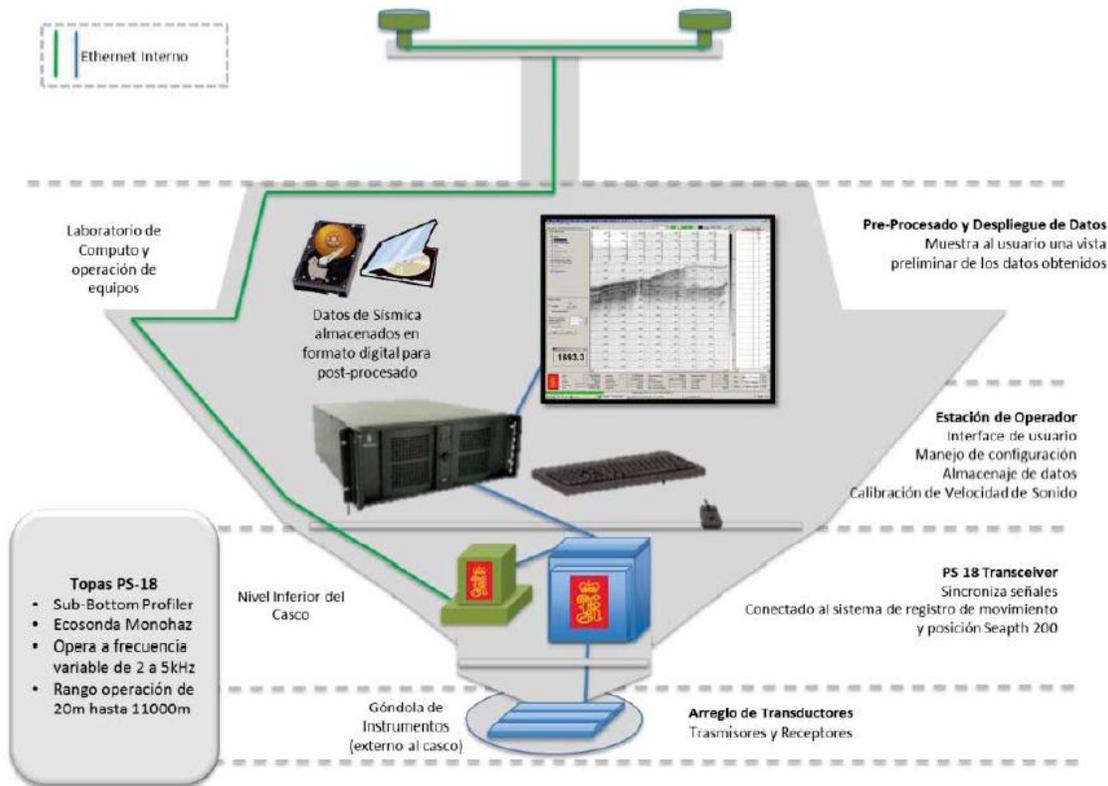


Figura 22. Esquema los elementos del perfilador del subsuelo TOPAS PS18. Integración de los sistemas de navegación y sondeo con el registro de los datos en sección transversal, sistema instalado en el BO El Puma. [Figuerola, 2013]

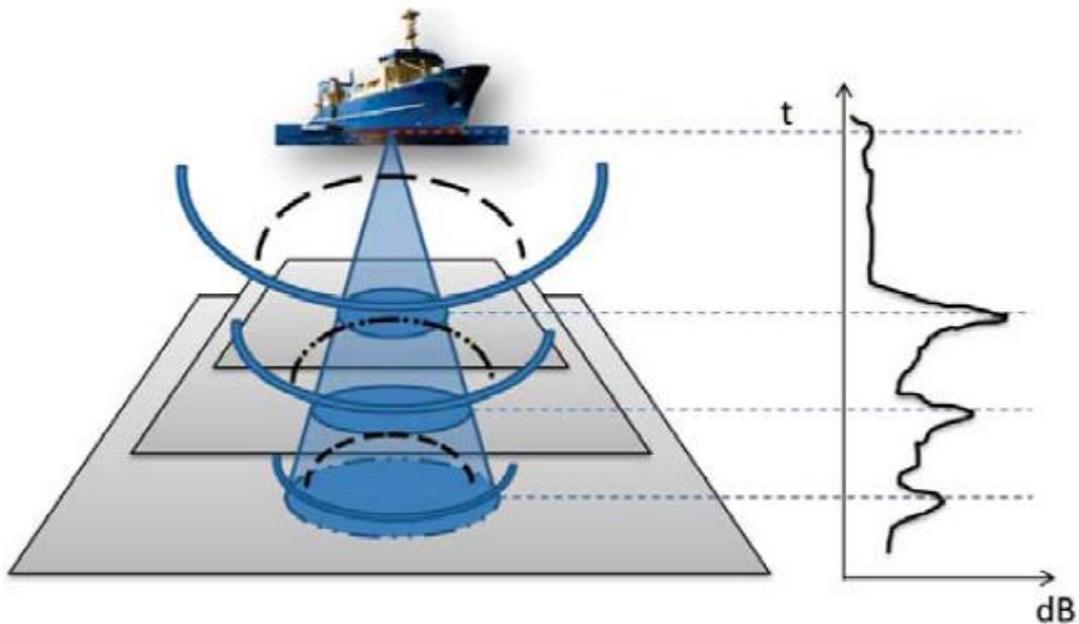


Figura 23. Ilustración de los principios de operación del perfilador de subsuelo TOPAS PS18 [Figuroa, 2013]

El perfilador sísmico consta de las siguientes partes:

1.- Transductor. De 8 x 16 canales, con dimensiones de 120 cm de ancho, 110 cm de largo y un espesor de 35 cm, que se encuentra debajo de la quilla del buque.

2.- Transceiver. Controla la transmisión de energía para generar el pulso acústico emitido y convirtiendo las ondículas acústicas recibidas de análogas a digitales, realizando las correcciones geométricas de los haces emitidos y recibidos. Esta parte se localiza dentro del buque y cerca del transductor. Estabiliza electrónicamente el haz emitido con base a los parámetros geométricos de cabeceo (pitch), balanceo (roll) y oleaje (heave) del buque [Figura 24] y además, por los cambios de dirección que el buque realiza por efectos de la corriente del mar y vientos.

3.- Consola de operación. Aquí se realiza el registro de los datos al momento de adquisición, así como las correcciones de las geometrías. En el BO El Puma esta consola se encuentra en la Central de Registros. Presenta un versátil control de los parámetros del pulso de transmisión mediante filtrado de señales registradas y el control de ganancia en la recepción de señal.

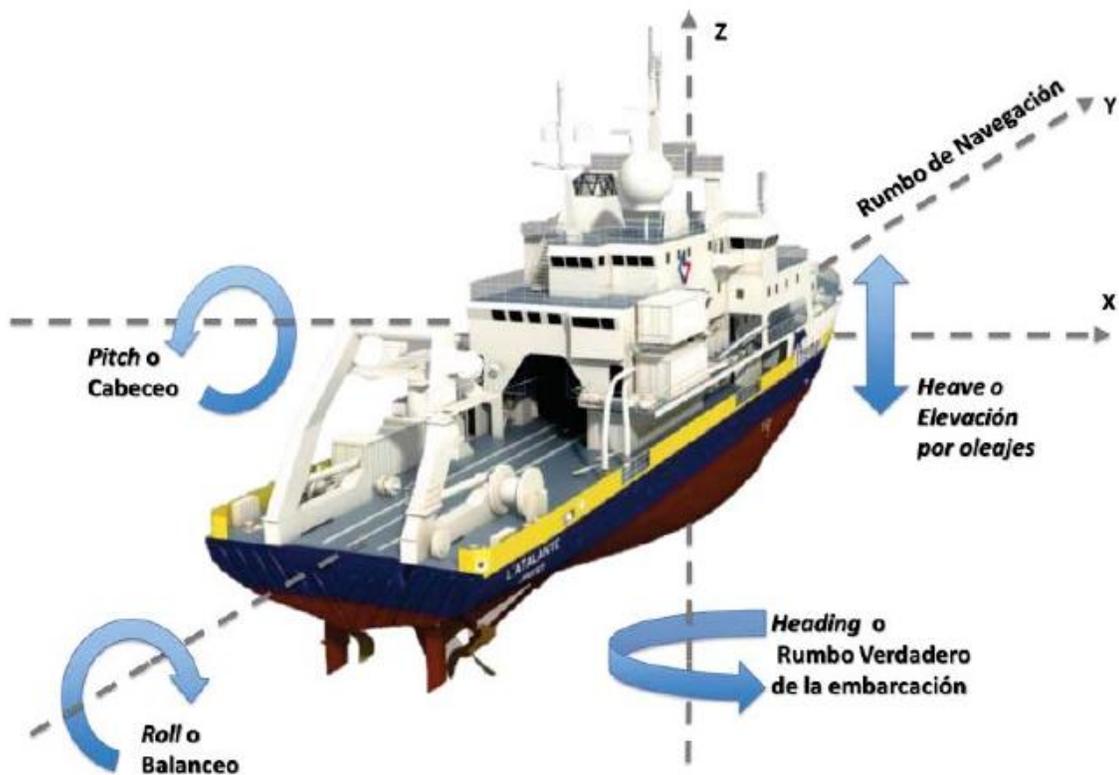


Figura 24. Movimientos de embarcación durante de navegación. Cabeceo (pitch), balanceo (roll), rumbo de la embarcación por deriva en dirección de navegación (heading), variaciones de altitud por consecuencia de oleaje (heave).

El ángulo del haz del TOPAS PS18 varía de 4 a 6 grados dependiendo de la frecuencia y el nivel máximo de energía de la fuente que puede llegar a ser de hasta 206 dB.

El TOPAS PS18 muestra las imágenes con la escala vertical más exagerada que la horizontal. El TOPAS PS 18 guarda los datos en formato .RAW. En cuanto a la operación del programa. TOPAS permite trabajar en tres modos dependiendo de la actividad que se va a realizar. El modo “Survey” se utiliza cuando se está realizando el levantamiento. El modo “Replay” se utiliza para correr y revisar los datos sísmicos y procesar la información, finalmente el modo “Repeat” se utiliza cuando se transfieren datos por red para ser desplegados en otra terminal. [García, 2015]

Para observar la geometría y magnitud real de las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio, es recomendable emplear una orientación de navegación ortogonal a dichas estructuras durante los muestreos sísmicos. Durante el levantamientos de MAMRIV12 y BAPET13, los perfiles están orientados en dirección NW – SE, para estudiar las estructuras en el cañón y sus laderas.

Durante las campañas, las coordenadas de navegación y la geo-referencia de los datos son provistos por el sistema de GPS y control de movimientos de la embarcación, del sistema Seapath 200 [Figura 25], que proporciona con alta precisión y en tiempo real las posiciones del buque y de los datos registrados, el rumbo de la embarcación, y los movimientos de navegación (pitch, roll, heave). La

alta tasa de datos de movimiento obtenidos de IMU, Unidad de Mediciones Inercial (Inertial Measurements Unit); y los datos precisos de posicionamiento, dados por la dupla de antenas GPS que conforman el sistema diferencial, son integrados en un filtro de Kalman dentro de la unidad de procesamiento Seapath. Estos datos son empleados para las mediciones realizadas por los ecosondas y el perfilador TOPAS PS18.

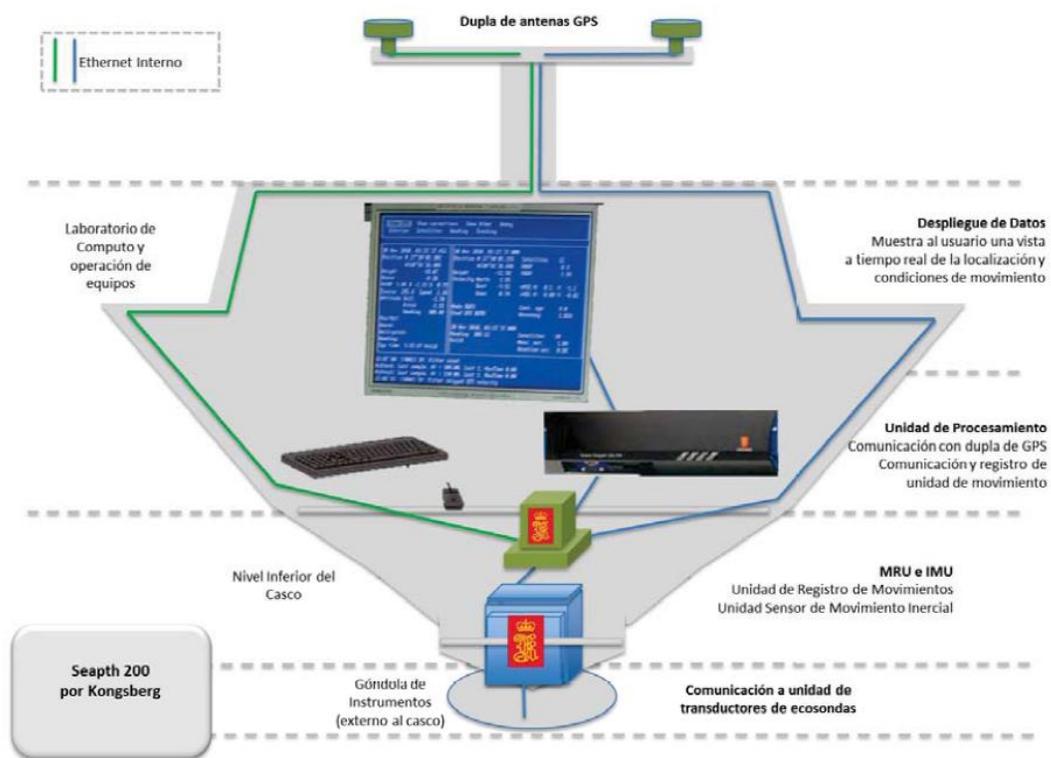


Figura 25. Sistema de navegación y movimiento Seapath 200. Esquema de instalación y funcionamiento de sistema de registro de movimiento, instalado en el BO El Puma [Kongsberg, Manual del Operador].

3.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN

Durante las campañas de MAMRIV12 y BAPET13, 9 perfiles de reflexión sísmica de alta resolución fueron registrados, empleando el perfilador TOPAS PS-18 en el talud continental frente a la Bahía de Petacalco. La Figura 26 muestra los 9 transectos de los perfiles sísmicos dirección NW – SE, ortogonal a los cañones de la zona. Cada transecto sísmico mantuvo un rumbo constante durante toda su extensión, salvo pequeñas variaciones como consecuencia del oleaje y viento. El registro continuo del perfilador se realizó solo a lo largo de los 9 perfiles y se detuvo el registro en el tránsito de un transecto a otro.



Figura 26. Perfiles sísmicos levantados durante MAMRIV12 y BAPET13

Una vez adquiridos y seleccionados los 9 archivos de perfiles sísmicos se le deben aplicar una serie de procesos para mejorar la calidad de la imagen, la relación señal-ruido y con esto observar mejor las estructuras. Estos, procesos son estándares y se hacen a través del programa TOPAS REPLAY de Kongsberg. Los procesos que se utilizaron para mejorar las imágenes sísmicas son los siguientes:

1.- Matched Filter: Se usa para incrementar la relación de la señal sobre el ruido existente con el fin de mejorar la calidad de la imagen.

2.- Filtro Pasa Bandas: Este filtro es aplicado en el dominio de frecuencias, dentro de una estrecha ventana de las frecuencias deseadas y definidas por el espectro de frecuencias de la señal recibida, para obtener una mejor relación señal-ruido.

3.- Ganancia de tiempo variable (TVG): Es la etapa del procesamiento de datos que modifica la amplitud de las trazas sísmicas. Este proceso amplifica las amplitudes de señal débil, mientras que las fuertes son atenuadas y de esta forma mejorar la imagen.

4.- Apilamiento de Trazas: Este proceso es utilizado para eliminar y reducir el ruido aleatorio registrado. Cada traza sísmica es una serie de valores de amplitud a lo largo del tiempo y representa el resultado del arribo de señales elásticas provenientes del reflejo de las interfaces del subsuelo como la estratificación.

5.- Bottom tracker: Este procesamiento ayuda a ir marcando el fondo marino.

6.- Otros procesos aplicados esporádicamente para reducir múltiplos de ecos en aguas someras (Dereverbation) y filtros en trenes de oleaje (Swell Filetering).

El color *ingrey* de la paleta de colores es seleccionado para inspeccionar las secciones sísmicas. Todas las secciones se reprodujeron a una velocidad de 30 milisegundos. La velocidad de reproducción establece un intervalo de tiempo mínimo entre la lectura y el ping de cada traza, a menor tiempo mayor será la velocidad de reproducción, pero disminuye la resolución horizontal de la sección sísmica.

IV. INTERPRETACIÓN

Una vez procesados los datos de ambas campañas oceanográficas con el software TOPAS REPLAY, las secciones sísmicas de los 9 perfiles [Figura 26] son integradas para mostrar la estratificación de los sedimentos someros en el subsuelo del margen.

Comenzando con el más cercano a la costa hasta llegar al más distante, todos los perfiles están orientados NW – SE estos perfiles a excepción de los perfiles 4 y 5 fueron adquiridos en la campaña BAPET13. Los perfiles 4 y 5 fueron adquiridos en la campaña MAMRIV12.

Después de haber procesado todas las secciones de los nueve perfiles en la zona de la Bahía de Petacalco se procedió con la interpretación de los mismos. Dos interfaces a lo largo de cada sección son marcadas: el relieve del fondo marino con una línea continua verde y el basamento acústico el cual determina la máxima penetración del perfilador sísmico con una línea punteada morada. Las fallas son marcadas con rojo, los múltiples son marcados con una línea punteada azul y las discordancias con una línea continua amarilla. Los perfiles muestran recuadros azules que marcan las secciones a mostrar a detalle.

Comenzando con el perfil 1 [Figura 27] que se encuentra a 11 kilómetros del Puerto de Lázaro Cárdenas, empezando al NW tiene una profundidad de 120 metro bajo el nivel del mar, cruza dos cañones pequeños correspondientes a ríos tributarios que alimentan al cañón principal. A mayor profundidad, entre los 400 y 500 metros de profundidad, existe escarpe y pequeños cañones de

aproximadamente un kilómetro de amplitud y 150 metros de profundidad. Hacia el SE está el gran Cañón de Petacalco, y su eje principal se encuentra en las coordenadas $17^{\circ} 49.531'$ N y $101^{\circ}56.281'$ W, teniendo una amplitud de 4.4 kilómetros entre sus bancos y alcanzando una profundidad de 1280 m.b.n.m. El cañón muestra fallas muy claras en las laderas que demuestran la inestabilidad de los sedimentos en la zona. Hacia el margen SE, se observan pequeños cañones con una amplitud de aproximadamente kilómetro y medio desde sus bancos y con una profundidad de trescientos metros desde ahí. El relieve continúa con una batimetría ascendente que llega a los doscientos metros de profundidad. El perfilador sísmico tuvo una penetración de alrededor de 30 metros en todo el perfil, mostrando roca consolidada en los bancos y sedimentos inestables en las laderas.

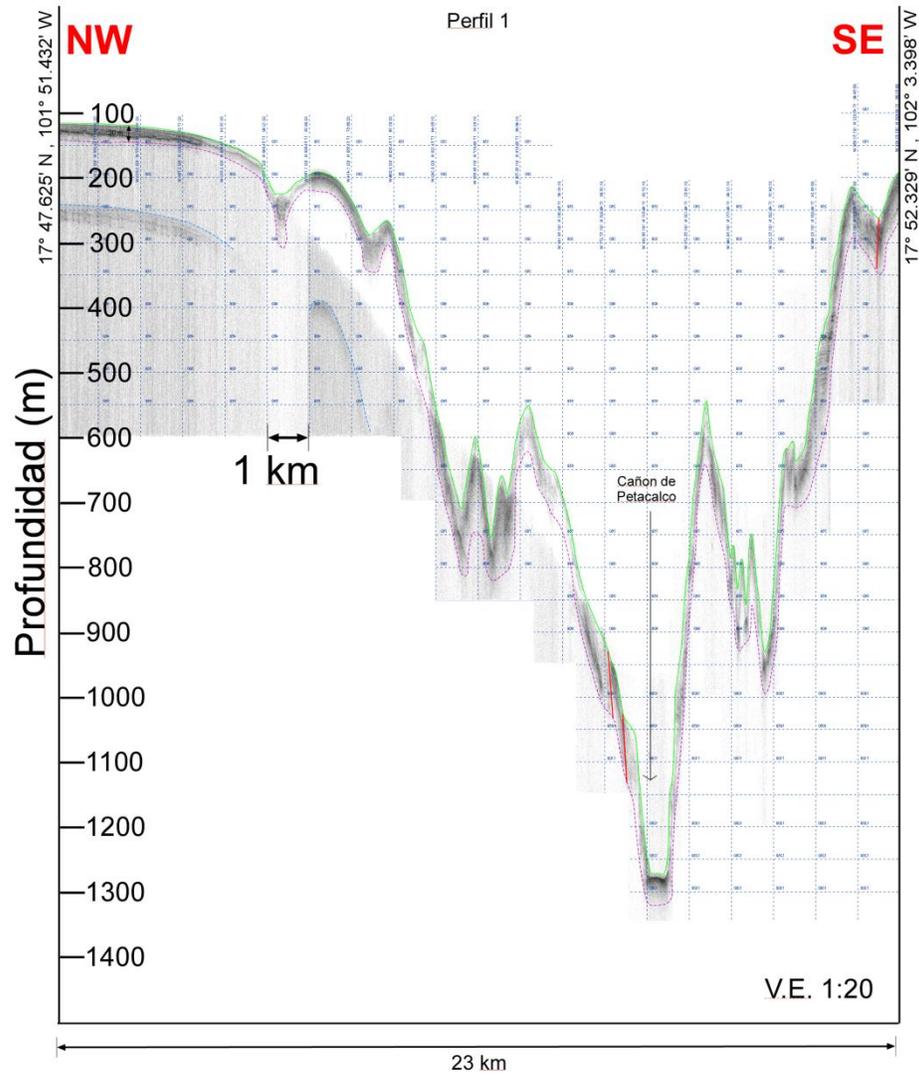


Figura 27. Perfil 1

El perfil 2 se encuentra a 7 kilómetros de Puerto de Lázaro Cárdenas, comienza a una profundidad de 300 m.b.n.m. y tiene una batimetría muy accidentada que comienza a descender rápidamente hacia dos pequeños cañones que tienen una amplitud de 3 kilómetros entre sus bancos y una profundidad de 275 metros desde el banco y alcanza una profundidad de 850 metros bajo el nivel del mar. Estos cañones parecen desembocar en el Cañón de Petacalco que se observa en la

parte central del perfil y tiene un eje con las coordenadas $17^{\circ} 47.566' N$ y $101^{\circ} 58.195' W$, tiene una amplitud de 15 kilómetros y alcanza una profundidad de 1500 metros bajo el nivel del mar. En la parte central presenta un valle casi plano de 3.5 kilómetros. En la ladera sureste del cañón se observa una zona de roca consolidada donde el perfilador registra un espesor de 80 metros aproximadamente, a diferencia del resto de las laderas que sólo se identifica un espesor de 30 metros. En el Sureste del perfil, el lecho marino alcanza una profundidad alrededor de los 300 metros bajo el nivel del mar [Figura 29].

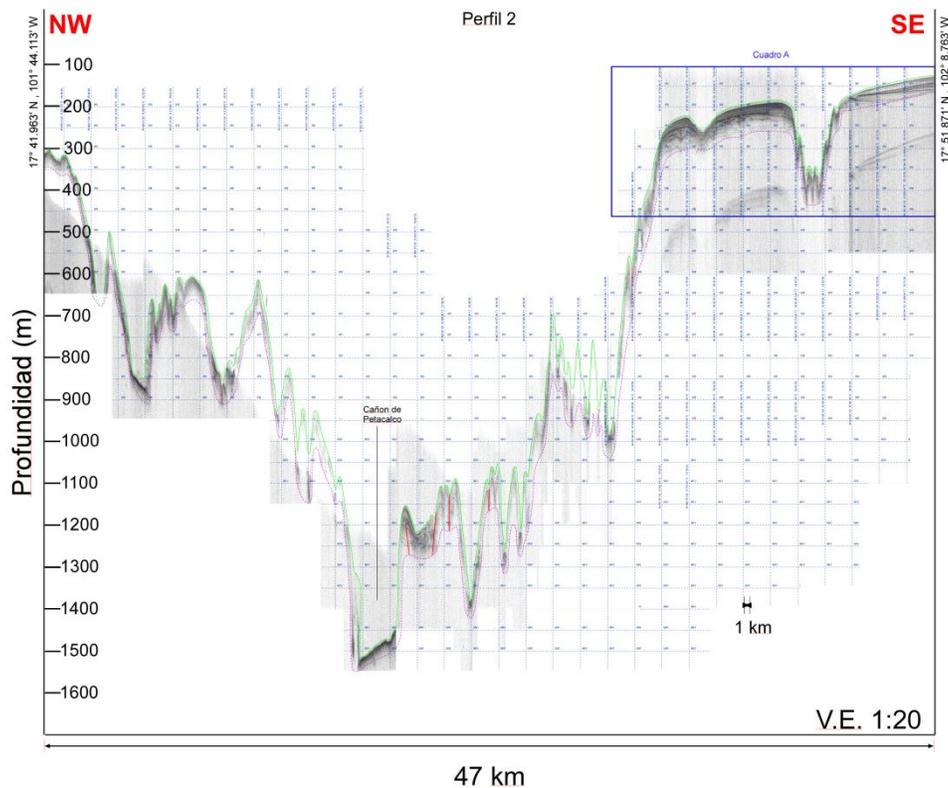


Figura 28. Perfil 2

En el cuadro A del perfil 2 se observa roca bien consolidada, teniendo una penetración sísmica de 80 metros aproximadamente. En la parte superior se tiene roca bien consolidada con estratificación paralela que sobreyace en una clara discordancia con una roca masiva con muchas fallas. Esta zona se encuentra interrumpida por un pequeño cañón de 1.4 kilómetros de amplitud y 160 metros de profundidad con fallas en las laderas que vuelven inestable los sedimentos ahí ubicados, razón por la cual sólo observamos un estrato de alrededor de 20 metros, puede ser que la roca con estratificación paralela que observamos a los costados de este cañón sea el banco natural de sedimentos posiblemente creado por el flujo turbidítico en este cañón. Múltiples son observados en la parte inferior de la sección.

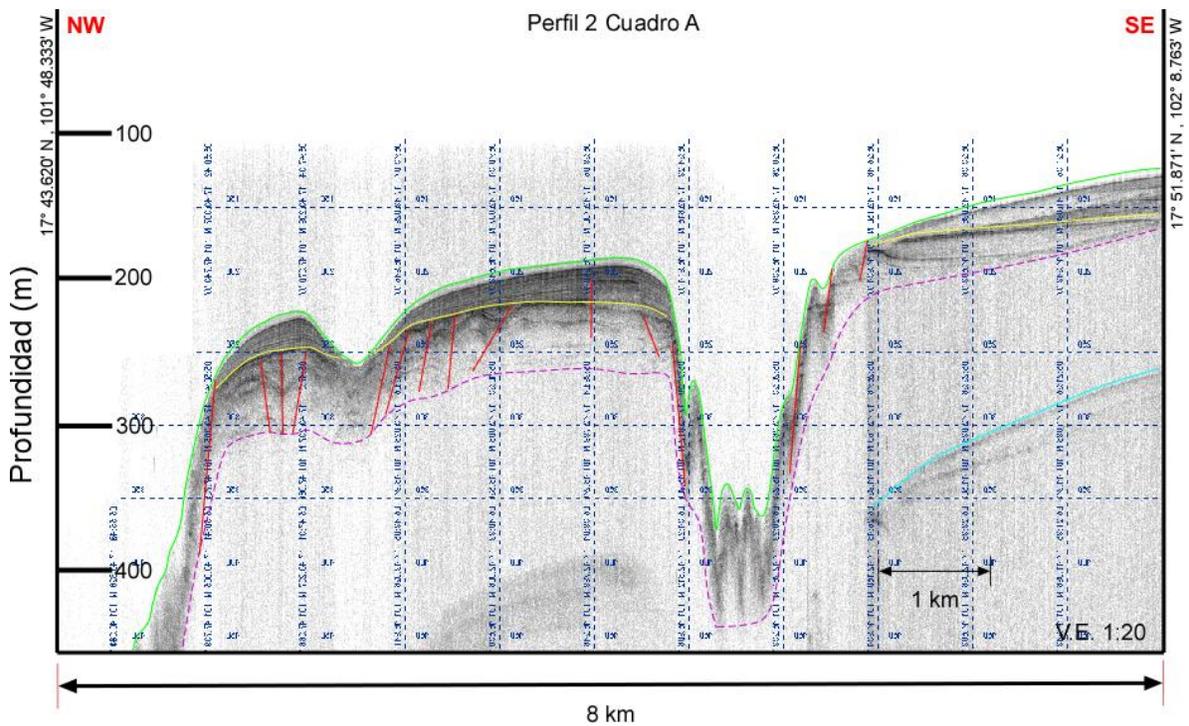


Figura 29. Cuadro A del perfil 2

El perfil 3 se encuentra a 8 kilómetros del Puerto de Lázaro Cárdenas, comienza a una profundidad de 600 metros bajo el nivel del mar. En el noroeste tiene una batimetría muy accidentada debido a la desembocadura del Río Balsas que en esta zona comienza el Cañón de la Necesidad que mencionan Shepard y Reimnitz [1981], pequeños cañones presentan roca bien consolidada pero sin estratificación, y son tributarios al Cañón de la Necesidad. Estos cañones menores tienen una amplitud de aproximadamente 200 metros de banco a banco y una profundidad de 250 metros desde el banco. El perfil continua con una geografía accidentada hasta llegar al centro del perfil donde se observa Cañón de Petacalco, que tiene su parte más profunda en las coordenadas $17^{\circ} 43.948N$, $101^{\circ}56.105'W$, con una amplitud de 41 kilómetros entre sus laderas y alcanza una profundidad de 1850 metros bajo el nivel del mar. En esta parte, el cañón presenta unas laderas empinadas con varias fallas que vuelven inestables a los sedimentos que ahí se encuentran, por lo que el perfilador no logra penetrar. En todo el perfil se tiene una penetración de 30 metros como máximo y presencia de roca bien consolidada a excepción de las laderas del Cañón de Petacalco, al sureste el cañón se vuelve a elevar hasta alcanzar una profundidad de casi 200 metros bajo el nivel del mar.

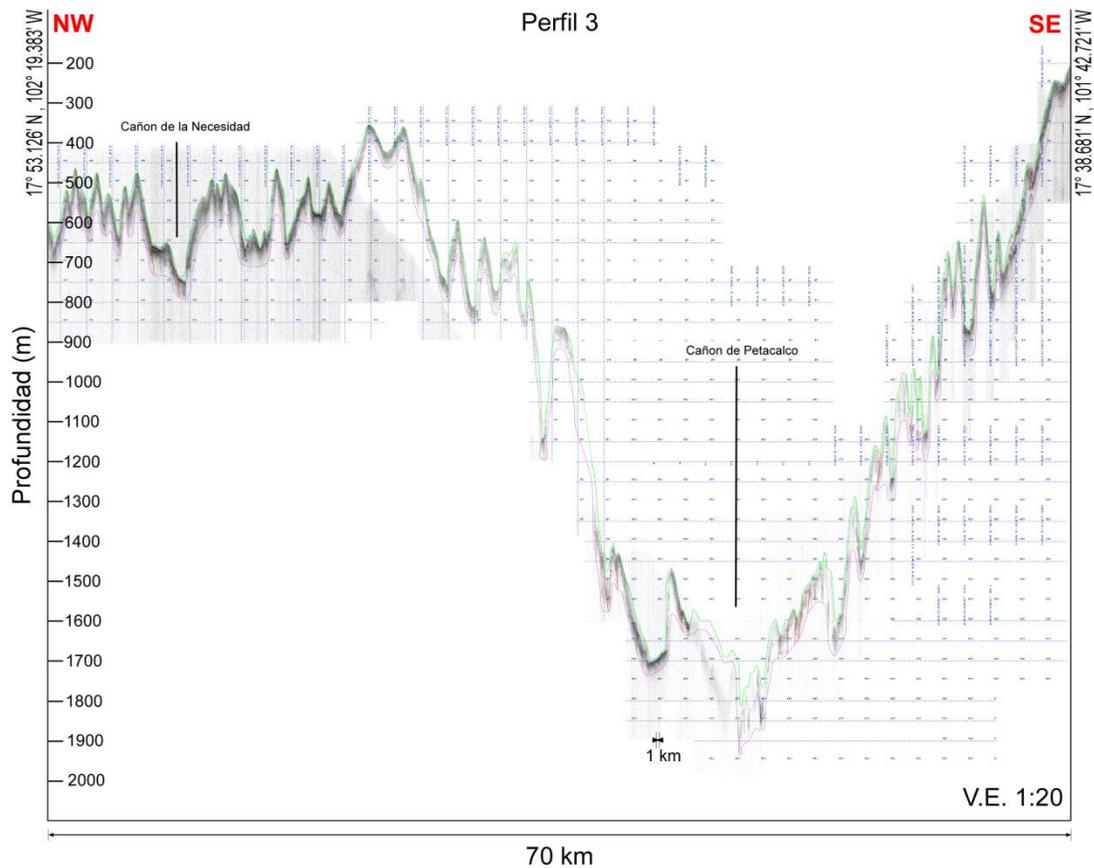


Figura 30. Perfil 3

El perfil 4 [Figura 31] se encuentra a 12 kilómetros del Puerto de Lázaro Cárdenas, comienza en el Noroeste a 500 metros de profundidad bajo el nivel del mar en zona donde se encuentra el sistema de drenaje del Cañón de la Necesidad, tiene una batimetría accidentada debido a varios ríos tributarios a este Cañón. En la parte Noroeste, como se observa en el cuadro A [Figura 32] del perfil se encuentra el Cañón de la Necesidad que mencionan Shepard y Reimnitz [1981] en las coordenadas 17° 49.290'N y 102°15.054'W, este muestra fallas en las laderas y en el fondo, se observa roca bien consolidada en el fondo mientras que en las laderas empinadas sedimentos inestables debido a presencia de las fallas. Hacia el

suroeste de la sección A se aprecian pequeños cañones tributarios al Cañón de Petacalco con una amplitud entre 2 y 6 kilómetros y profundidades de hasta 290 metros, desde el banco. Estos pequeños cañones al igual que el Cañón de la Necesidad en el fondo tienen una falla importante, por lo que se supone que estos cañones son formados en zonas de debilidad de la roca. En los bancos de los cañones se observa roca bien consolidada con estratificación paralela, con una penetración sísmica entre 80 y 100 metros. En el centro del perfil, se observa el Cañón de Petacalco con una amplitud de 42 kilómetros y una profundidad de 1.1 kilómetros desde el banco y con 1900 metros bajo el nivel del mar. En la ladera Noroeste del Cañón de Petacalco [Figura 33] que corresponde al cuadro B del perfil 4, se puede observar que se encuentran dos pequeños cañones, primero uno de 1.5 kilómetros de ancho y 230 metros de profundidad desde el banco y uno hacia el Sureste que es un cañón más grande, de 4.8 kilómetros de ancho y alcanza una profundidad de 280 metros desde el banco. Ambos cañones son tributarios al Cañón de Petacalco y al igual que los anteriores cañones de este perfil tanto en el fondo como en las laderas existen fallas por lo que se repite el patrón de que las corrientes buscan estas zonas de debilidad. También en el banco se encuentra roca bien consolidada con estratificación cruzada y hasta 80 metros de espesor, mientras que en las laderas sólo se observan sedimentos sin cohesión.

La parte más profunda del Cañón de Petacalco se encuentra en las coordenadas $17^{\circ}39.926'N$ y $101^{\circ}56.001'W$, el fondo es prácticamente plano y consiste en roca bien consolidada cubierta con sedimento. La ladera Sureste está compuesta por

pequeños cañones que al igual que en la ladera Noroeste su fondo corresponde a una falla y presentan bancos con roca consolidada bien estratificada de aproximadamente 50 metros de espesor.

Al sureste del perfil en el cuadro C se observa el banco del Cañón de Petacalco [Figura 34] una zona somera de este perfil. En este banco se observa una serie de pequeños bancos de menos de 20 metros de altura y alrededor de 200 metros de largo compuestos de roca consolidada con una estratificación definida en la parte superior que se encuentra en clara discordancia con la roca subyacente. En esta zona, el perfilador sísmico alcanzó una penetración de aproximadamente 80 metros. Finalmente al Sureste se observa un cañón de 4 kilómetros de ancho y 350 metros de profundidad, que por la distancia que se encuentra del Cañón de Petacalco y la configuración tectónica previa posiblemente pertenezca a un sistema de drenaje contiguo.

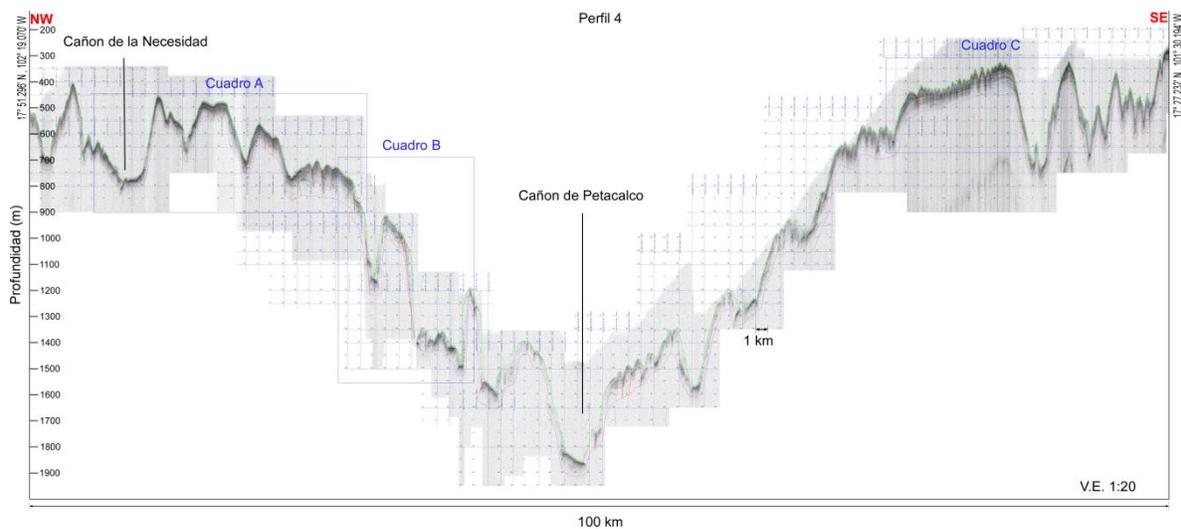


Figura 31. Perfil 4

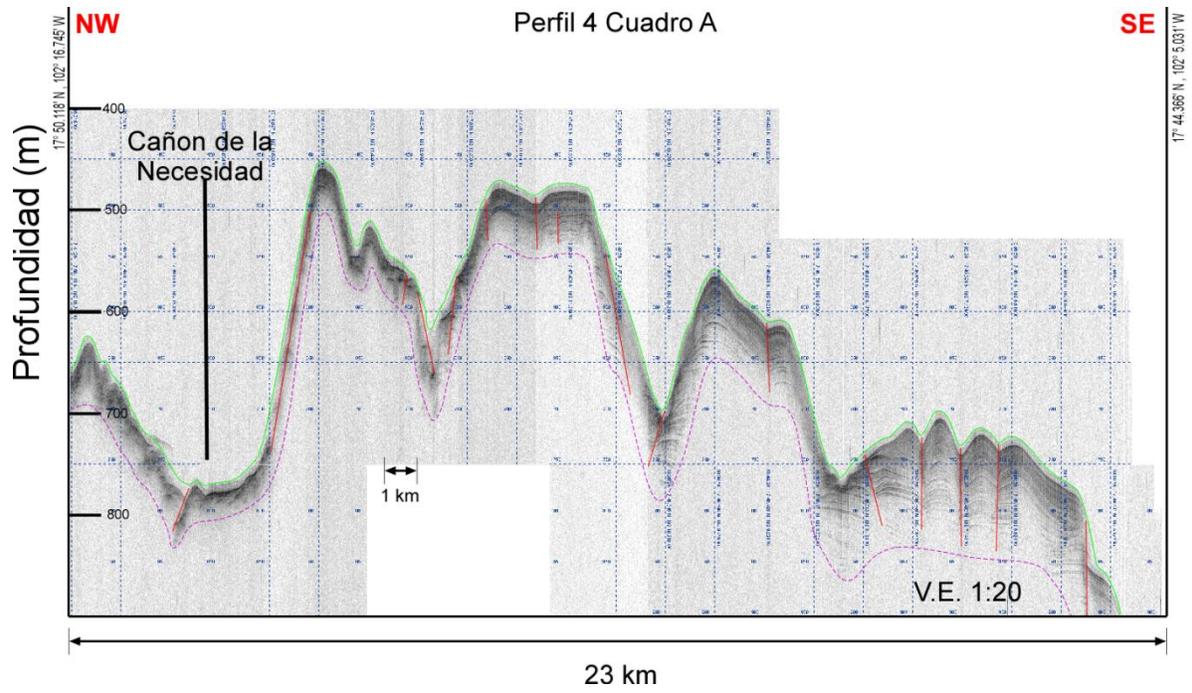


Figura 32. Cuadro A del perfil 4

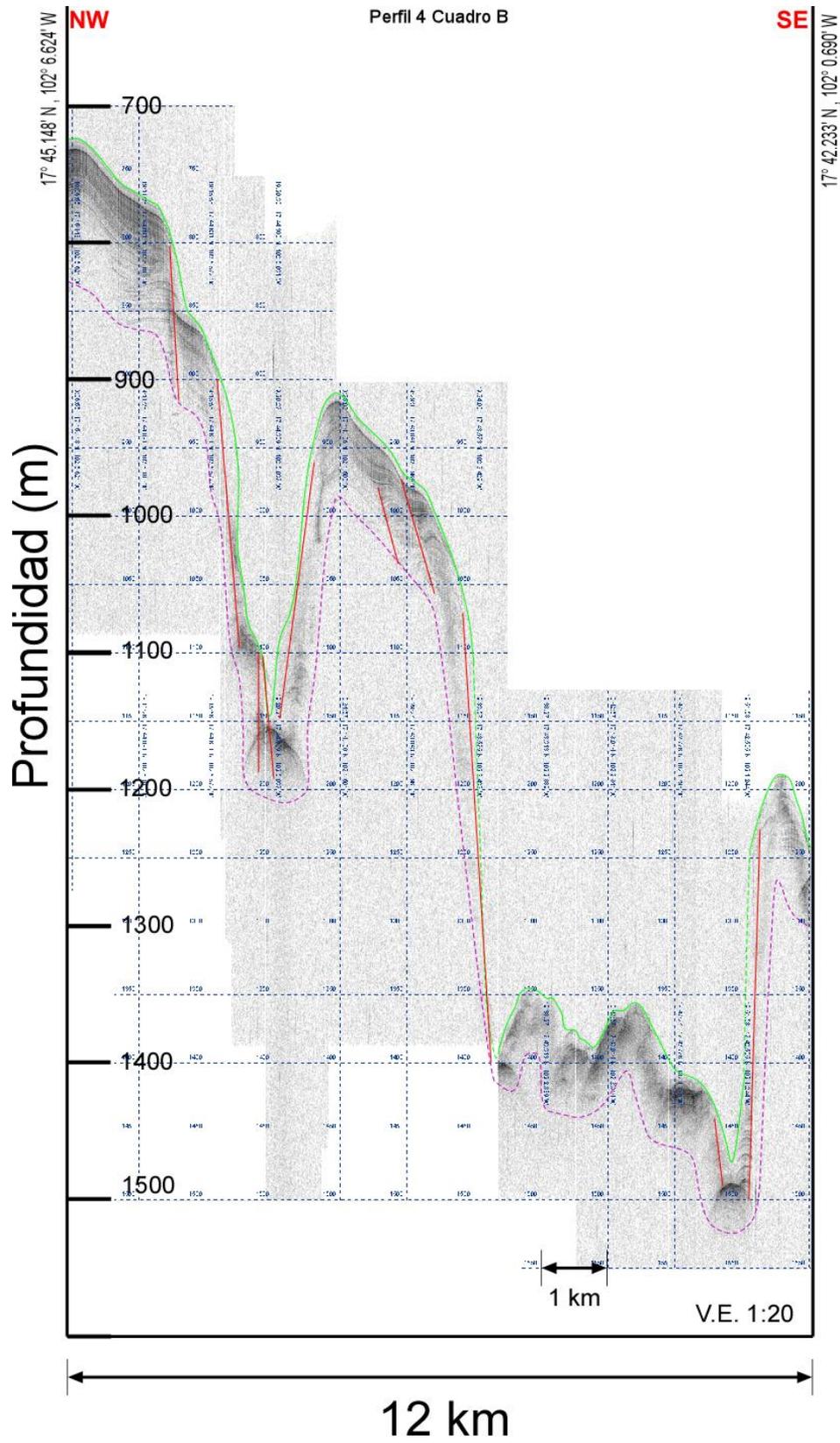


Figura 33. Cuadro B perfil 4

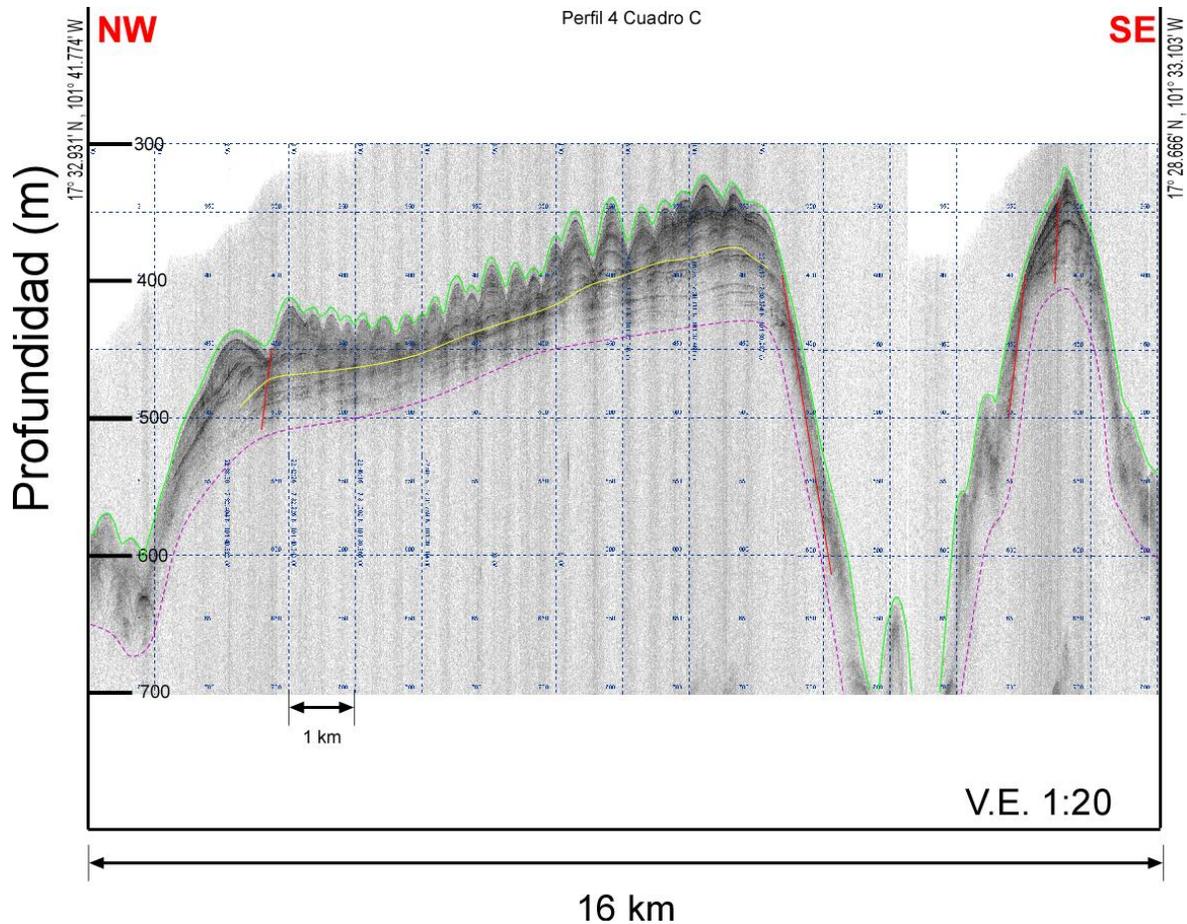


Figura 34. Cuadro C perfil 4

El perfil 5 se encuentra a una distancia de 17 kilómetros del Puerto de Lázaro Cárdenas [Figura 35] comienza a los 800 metros de profundidad y en el cuadro A [Figura 36] se observa los detalles de esta primera sección del perfil. En las coordenadas $17^{\circ} 47.752'N$ y $102^{\circ}17.952'W$ se encuentra un cañón de 2.8 kilómetros de ancho por 200 metros de profundidad desde sus bancos, por la posición se trata de el cañón de la Necesidad que menciona Shepard y Reimnitz [1981]. El cañón tiene un piso plano de 1 kilometro de amplitud donde el perfilador sísmico tuvo una penetración de aproximadamente 80 metros y se observa roca

bien consolidada. Las ladera presentan fallas y esto provoca que los sedimentos estén sueltos. Hacia el Sureste se observan una serie de pequeños cañones que forman un relieve accidentado, siendo el más amplio de 1.2 kilómetros y 100 metros de profundidad, estos cañones presentan una falla y concuerda con lo descrito en anteriores perfiles que sus cortes buscan zonas de debilidad para trazar su camino. Por otro lado los bancos de estos cañones presentan una estratificación paralela (continua por alrededor de 5 kilómetros) muy bien definida donde el perfilador sísmico tuvo una penetración entre 100 y 170 metros. Estos cañones parecen ser tributarios al Cañón de la Necesidad por su cercanía.

Al sureste de esta sección se aprecia una gran falla normal que marca el fin de la continuidad lateral de la estratificación en el banco y el inicio de la ladera hacia el Cañón de Petacalco. Esta ladera Noroeste del Cañón de Petacalco se observa a detalle en la Sección B [Figura 37], el terreno se encuentra afectado por una serie de fallas normales que tienen una dirección hacia el centro del cañón, esto demuestra que existe un movimiento de masas en esta zona, incluso se ve que el terreno entre cada falla normal es arrastrado hacia el fondo del cañón ya que cada falla termina con la continuidad lateral de la estratificación, esto se ve gracias a la penetración del perfilador sísmico en esta zona que alcanza los 150 metros. Posiblemente estos pequeños cañones formados por las fallas sean tributarios al cañón de Petacalco. En esta sección el terreno pasa de los 1050 metros hasta los 1350 metros bajo el nivel del mar, presentando una pendiente de aproximadamente 1.4 grados.

La Figura 38 corresponde al cuadro B del Perfil 5, aquí continua la ladera del cañón la zona donde termina el pie de la ladera Noroeste del Cañón de Petacalco. En la parte superior de la sección observamos un cañón con una amplitud de 1 kilometro en el que no se tiene una penetración sísmica pero ya que se observa un banco de sedimentos al sureste se puede suponer que se trata de un cañón tributario provocado por una falla ya que marca el inicio de una caída abrupta de la ladera. En la parte inferior de la sección se tiene una penetración de 60 metros y se observan tres importantes fallas que claramente provocan movimiento de masas hacia el Sureste. En esta sección el terreno comienza en los 1,350 metros y termina en los 1,750 metros bajo el nivel del mar, es decir que el terreno tiene una pendiente de alrededor de 2.5 grados.

En la parte central del perfil se encuentra el centro del Cañón de Petacalco en las coordenadas 17 37.208'N y 101 56.505'W, con una profundidad de 2.6 kilómetros bajo el nivel del mar y tiene un fondo plano de 2.8 kilómetros de ancho, en el cual hay una penetración de 20 metros y no se observa estratificación. La ladera Sureste del cañón es más empinada que la Noreste ya presentan una pendiente de 4 y 3.6 grados respectivamente. Debido a esta pendiente mayor, el perfilador sísmico no consigue mostrar detalles, por lo que solo en algunas zonas de esta ladera se ve roca bien estratificada y rastros de los que parece ser sedimentos, en lo que se supone debe ser una ladera inestable para el material que ahí se encuentra. En la parte sureste del perfil se observa dos cañones más pequeños uno de 3.7 kilómetros de ancho y 400 metros de profundidad desde su banco y otro de 2.8 kilómetros de amplitud y de 100 metros de profundidad desde su banco,

ambos son cañones correspondientes al sistema de drenaje contiguo cerca de las costas de Ixtapa.

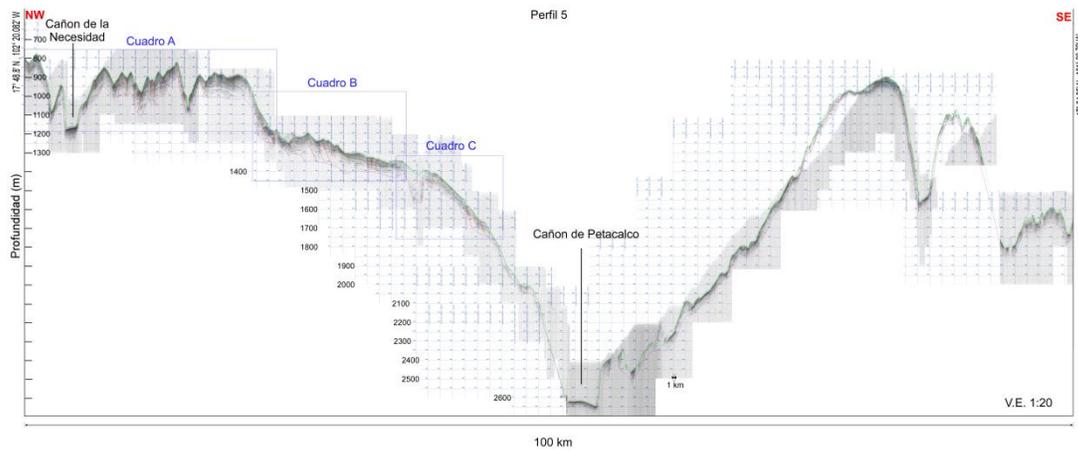


Figura 35. Perfil 5

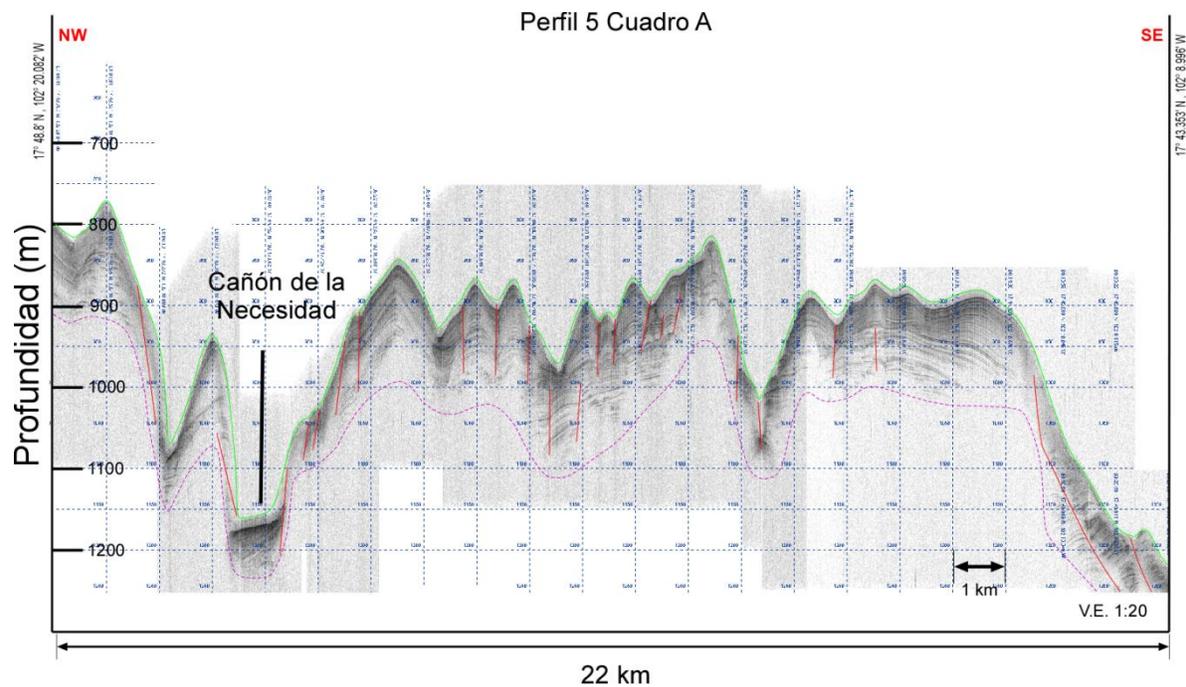


Figura 36. Cuadro A perfil 5

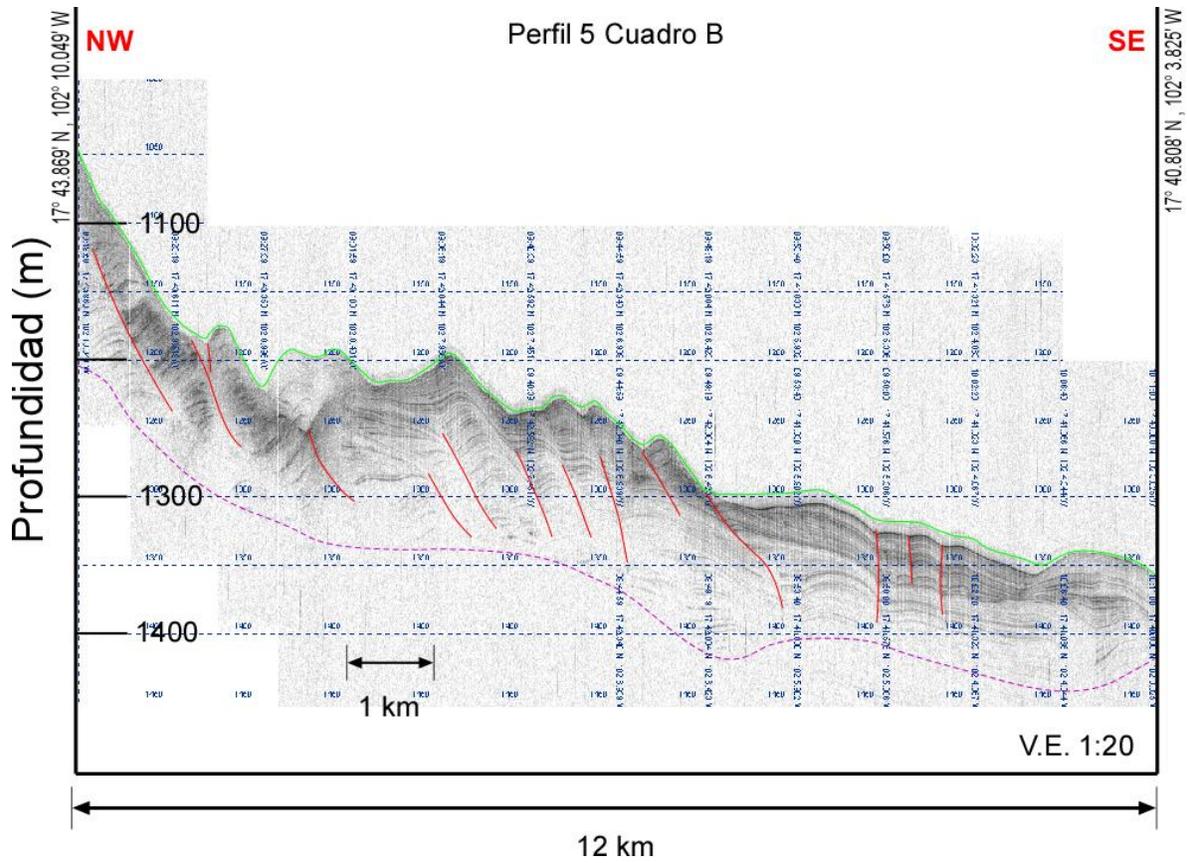


Figura 37. Cuadro B perfil 5

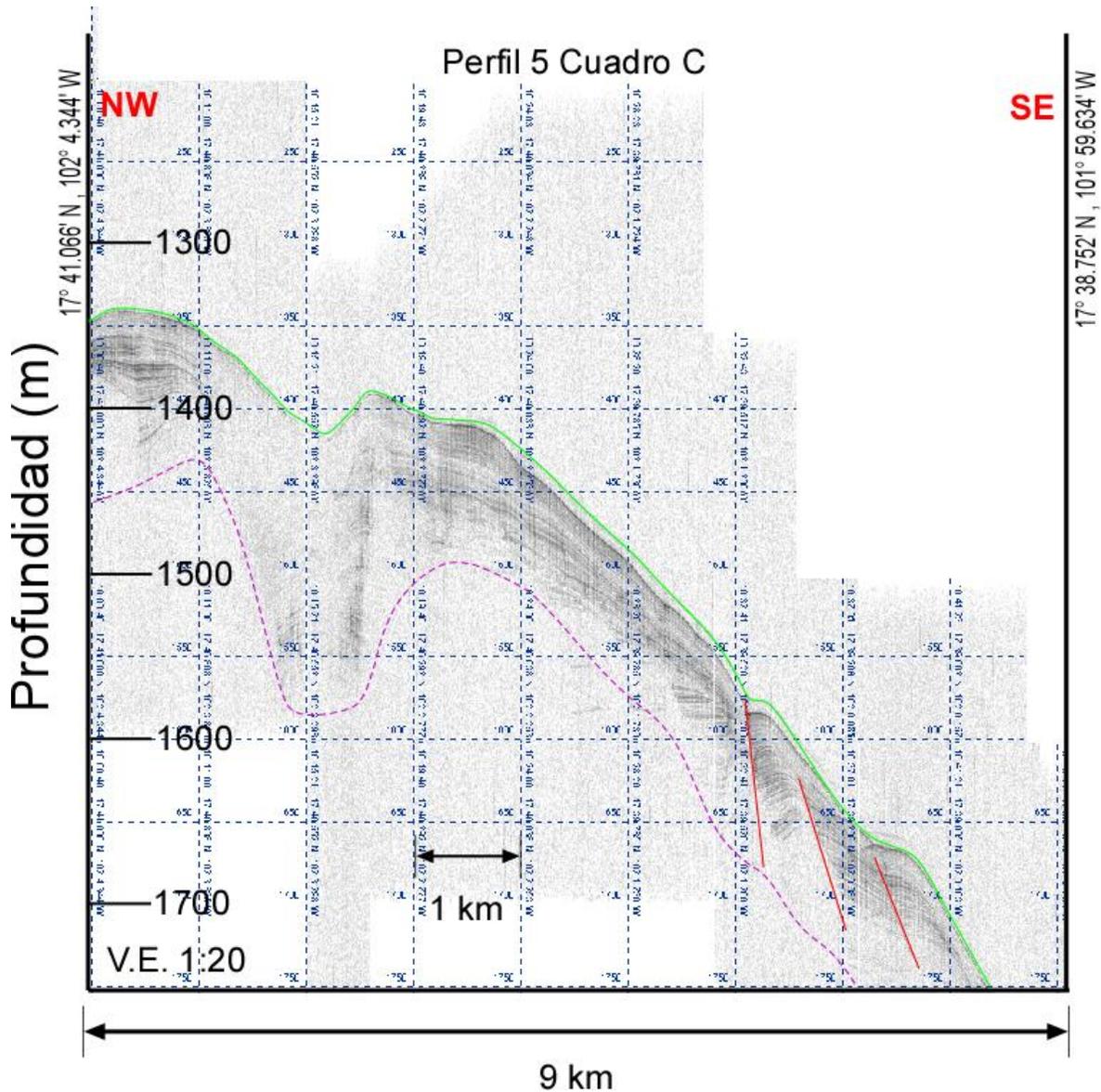


Figura 38. Cuadro C perfil 5

El perfil 6 de este estudio [Figura 39] se localiza a 28 kilómetros de distancia del Puerto de Lázaro Cárdenas. En el Noroeste el piso oceánico comienza a una profundidad de 1,050 metros bajo el nivel del mar exactamente en el banco del cañón de la Necesidad que presenta roca bien consolidada con una estratificación de 50 metros [Figura 40]. En esta ladera Noroeste, el piso oceánico en un lapso de 2.5 kilómetros pasa de 1050 metros a 1270 m.b.n.m. Este cañón tiene 5 kilómetros

de ancho por 220 metros de profundidad desde su banco. Este cañón en su ladera sureste en 2.5 kilómetros y con una pendiente de 5 grados alcanza los 1050 metros bajo el nivel del mar. En este banco se observa una buena estratificación donde el perfilador tuvo una penetración de aproximadamente 80 metros. Al sureste de este banco se observan un par de fallas normales que desplazan el material a una ladera de 5 grados que alcanza una profundidad de más de 1,350 m.b.n.m. La sección no muestra el fondo del cañón y después el piso se vuelve a elevar hasta los 1,100 m.b.n.m. Por las características similares y ya que el perfil va en una dirección NW-SE se va alejando de la costa, se trata del mismo cañón de la Necesidad que presenta un drenaje de meandros en esta zona y por eso se vuelve a observar. En el banco sureste de este cañón, se observan fallas normales con un echado al Noroeste. Esta zona tiene una batimetría accidentada afectada por muchas fallas y el material se aglutina debido a la depositación de sedimento por parte del flujo del Cañón de la Necesidad mostrando una estratificación de los sedimentos que se observa hasta los 50 metros de penetración. Más adelante esta una zona donde el fondo marino se encuentra estable [Figura 41]. La sección B de este perfil, en las coordenadas 17° 38.389'N y 102° 12.763'W las fallas tienen un echado hacia el Sureste y comienza la ladera del piso oceánico hacia el Cañón de Petacalco. En el centro de esta sección se observa una zona con pocas fallas y con una estratificación bien definida y con continuidad lateral. Al sureste del perfil la estratificación es deformada por el movimiento de masas hacia el fondo del cañón y marca el inicio de la parte más empinada de la ladera noroeste del cañón, la cual, como podemos ver en la Sección C del perfil [Figura 42]. La ladera se encuentra afectada por

muchas fallas que hacen que los sedimentos sean inestables. Esta ladera tiene una pendiente de 2.61 grados. El fondo del cañón de Petacalco se encuentra en las coordenadas $17^{\circ} 30.689' N$ y $101^{\circ} 56.772' W$, a una profundidad de 2,150 m.b.n.m. el piso oceánico es plano, con roca bien consolidada, sin estratificación y tiene una extensión de 1.5 kilómetros.

La ladera sureste del cañón es muy empinada desde el fondo a los 2,150 m.b.n.m. hasta los 1,750 m.b.n.m. donde hay una planicie de cinco kilómetros con roca consolidada y una estratificación de al menos 50 metros. Más adelante el piso continúa subiendo hasta alcanzar los 1,000 m.b.n.m. El piso se mantiene a esa profundidad durante 20 kilómetros para después descender hasta los 1800 m.b.n.m. en los próximos 10 kilómetros, con una pendiente de 4.6 grados. En el sureste del perfil se observa una depresión en el fondo marino [Figura 43]. En esta zona casi plana se observa roca bien consolidada y estratificación paralela a los 50 metros de profundidad a lo largo de 15 kilómetros, debido a la extensión de este terreno se supone que se trata de una cuenca de depósito del cañón frente a las costas de Ixtapa. Más adelante el lecho marino comienza a elevarse hasta los 1450 m.b.n.m.

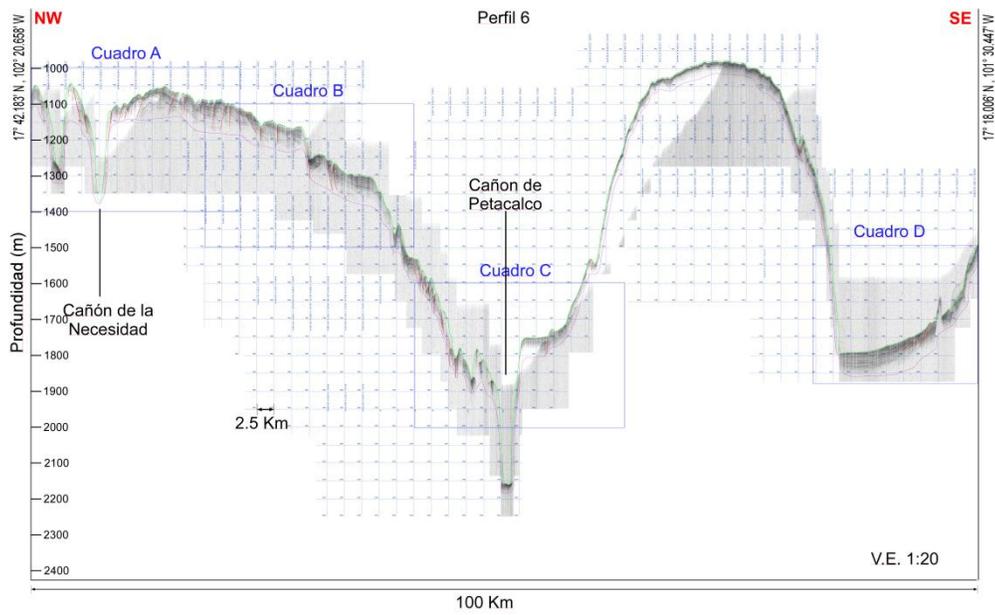


Figura 39. Perfil 6

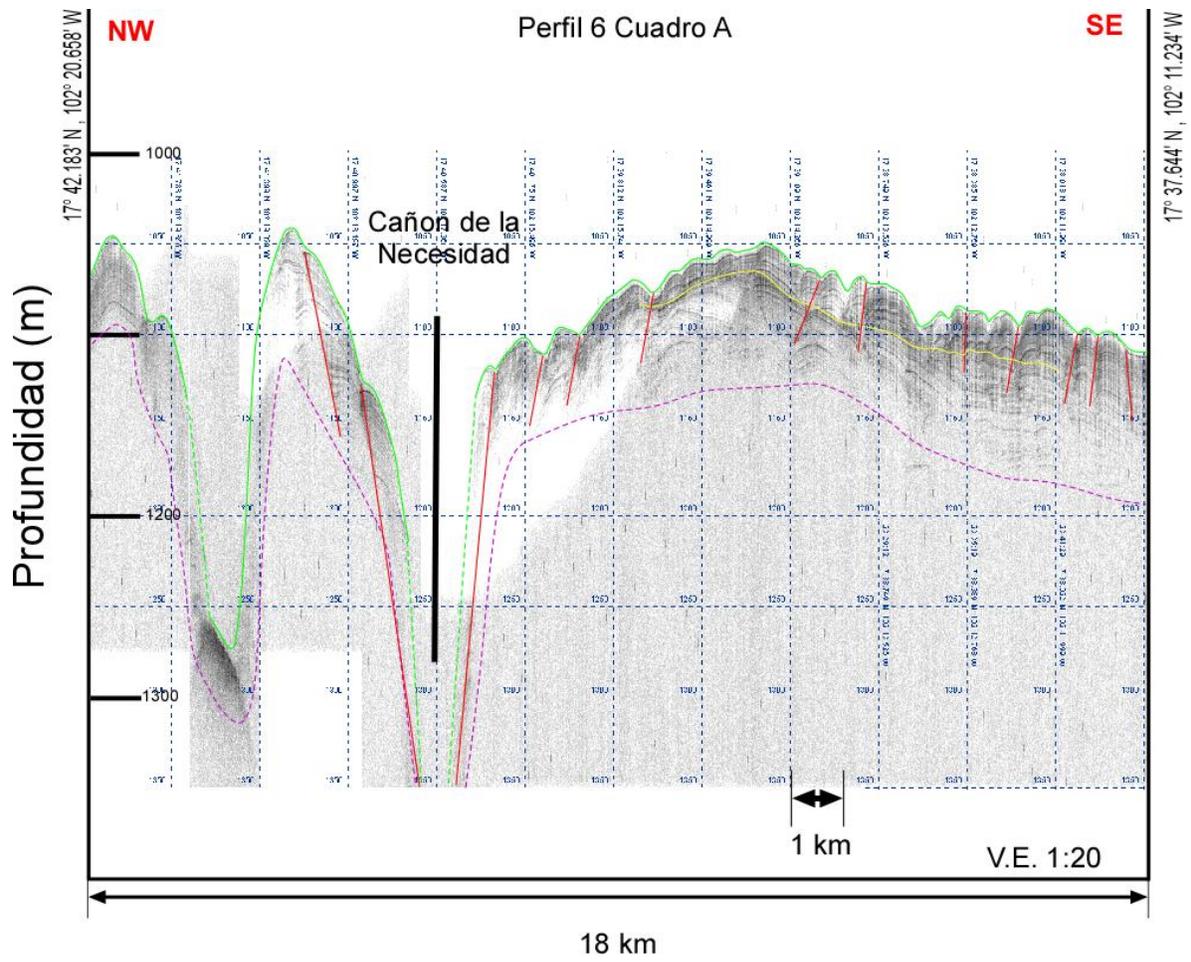


Figura 40. Cuadro A perfil 6

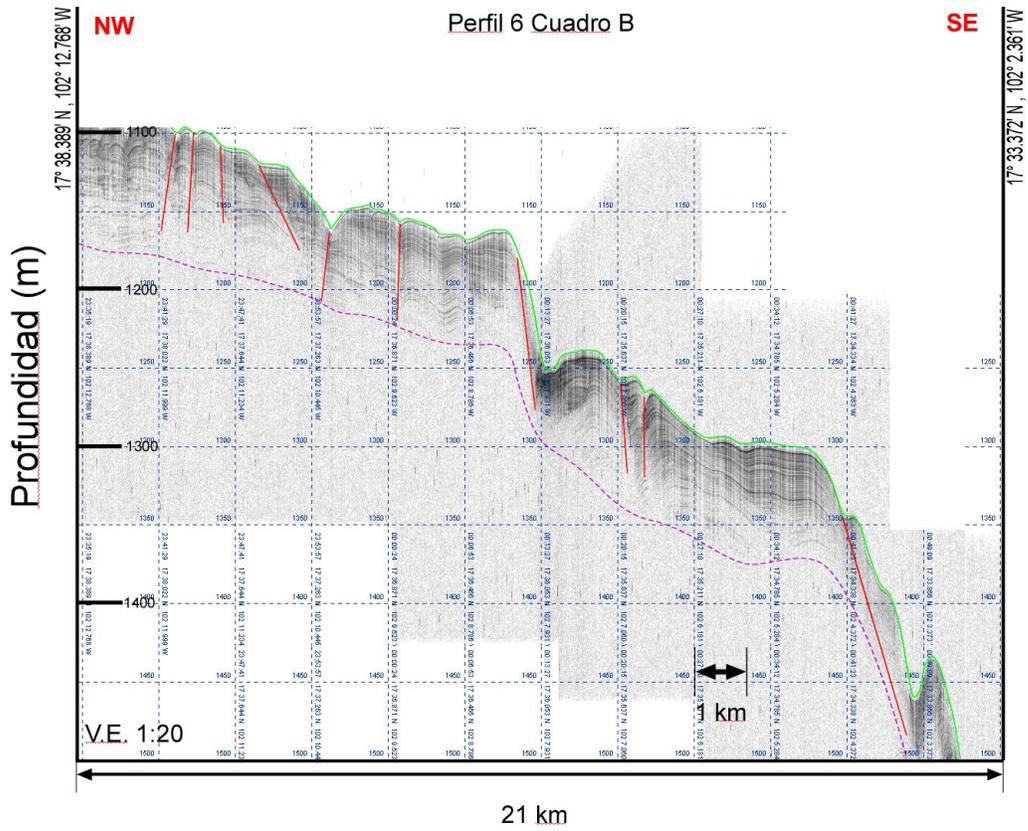


Figura 41. Cuadro B perfil 6

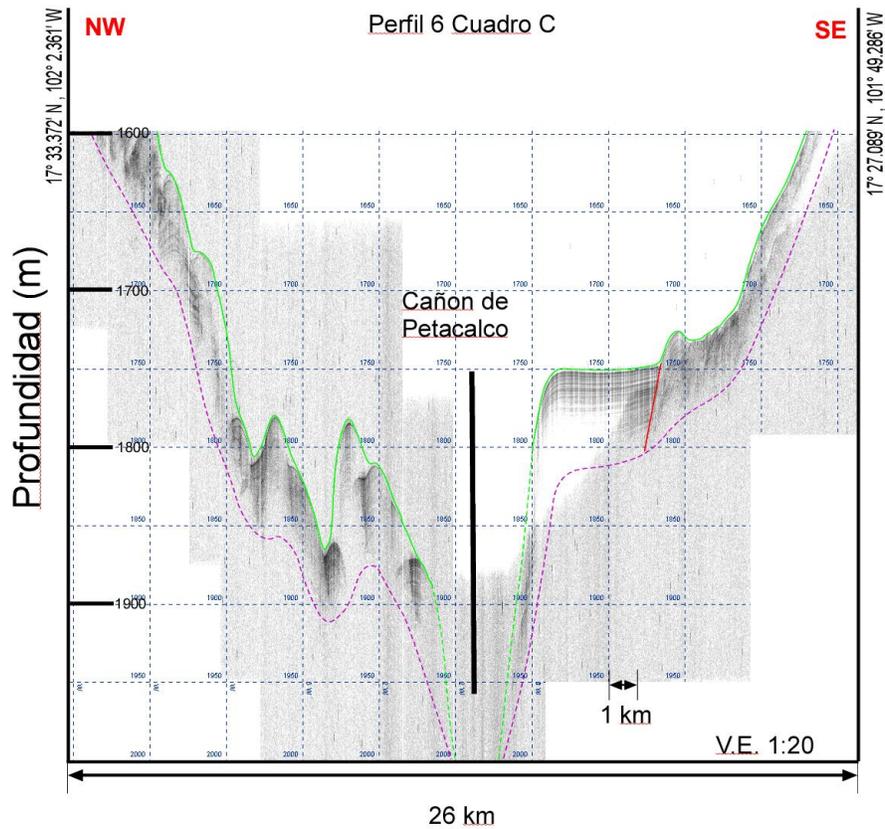


Figura 42. Cuadro C perfil 6

Este recuadro muestra la parte Sureste del perfil [Figura 43]. Observamos el fondo de un cañón ubicado enfrente de Zihuatanejo, con una profundidad de 1800 metros. Lo destacable es el fondo del cañón que gracias a la penetración de 50 metros del perfilador sísmico podemos observar una estratificación concordante y bien formada por 11 kilómetros.

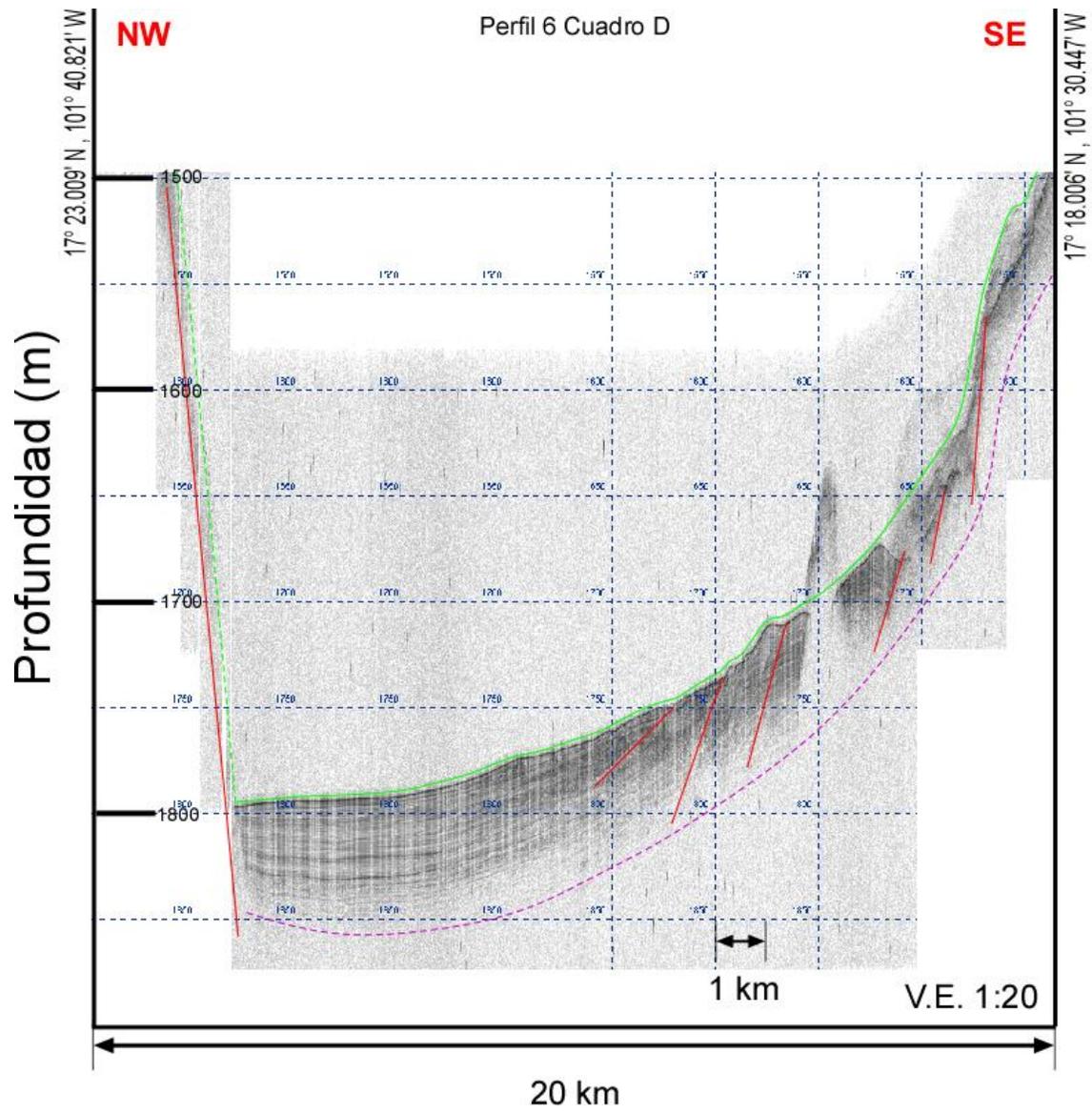


Figura 43. Cuadro D perfil 6

El perfil 7 [Figura 44] se encuentra a 28 kilómetros del puerto de Lázaro Cárdenas. El Perfil comienza al Noroeste a una profundidad de 1,230 m.b.n.m., justo en el banco Noroeste del Cañón de Petacalco, el piso desciende hasta los 1,750 m.b.n.m. en los próximos diez kilómetros hasta llegar al fondo del cañón, que tiene un ancho de 3 kilómetros y se observa roca bien consolidada sin estratificación. La ladera sureste del cañón alcanza los 1,200 m.b.n.m. en 10 kilómetros por lo que ambas laderas tienen una pendiente de aproximadamente 3 grados. Más adelante el lecho marino desciende hasta los 1,400 metros, y en esta el cuadro A [Figura 45] muestra una penetración de 50 metros, tiene una topografía muy accidentada debido a la presencia de varias fallas verticales que cortan la estratificación paralela que se observa. En la parte sureste de la sección, el fondo marino desciende hasta los 1,550 m.b.n.m. donde comienza la ladera del Cañón de Petacalco. La ladera Noroeste del Cañón de Petacalco tiene una pendiente de 4 grados llegando a los 2,250 m.b.n.m. en las coordenadas $17^{\circ} 28.686' N$ y $101^{\circ} 58.874' W$, en el fondo de 1.5 kilómetros de amplitud se observa roca bien consolidada a diferencia de las laderas donde se encuentran más sedimentos inestables. La ladera Sureste del cañón tiene una pendiente muy pronunciada al igual que la Noroeste, y no permitió registrar estratificación alguna. El Cañón de Petacalco a esta distancia de la costa tiene un ancho de 16 kilómetros de banco a banco y 660 metros de profundidad. En la parte Sureste del perfil, el cuadro B [Figura 46] muestra que es la cuenca de depósito del sistema de drenaje frente a las costas de Zihuatanejo que tiene un fondo plano de 10 kilómetros de ancho con una estratificación visible hasta los 60 metros de penetración. La estratificación es paralela en todo el perfil. Más adelante el piso comienza a elevarse con una

pendiente muy suave de roca solida y sin estratificación, hasta alcanzar los 1,220 m.b.n.m. donde termina el perfil.

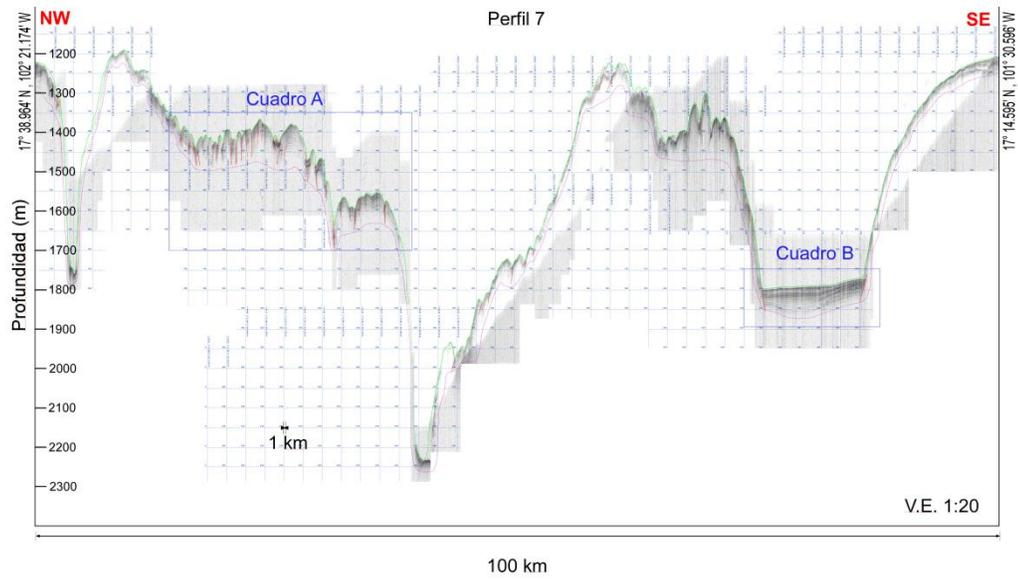


Figura 44. Perfil 7

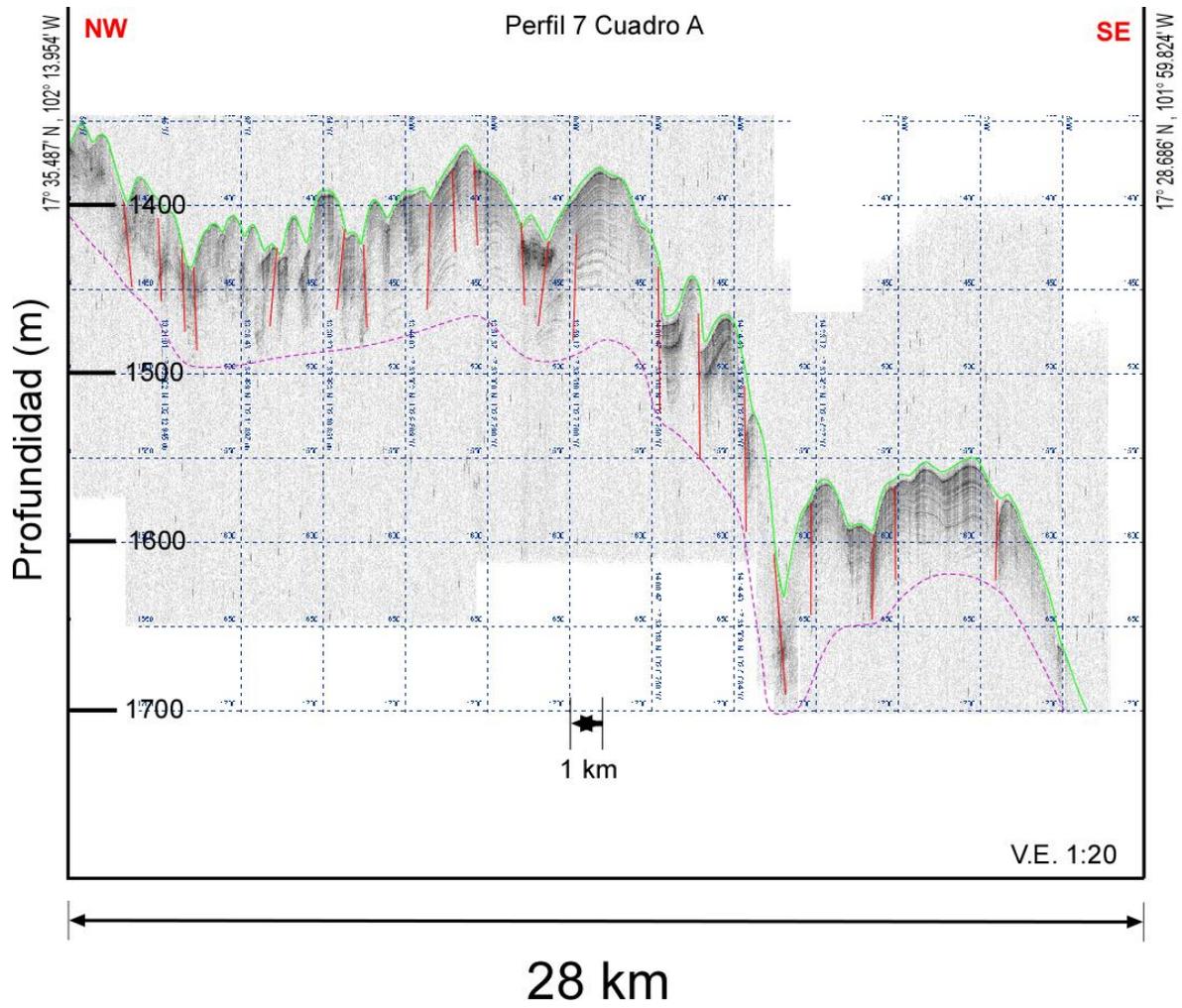


Figura 45. Cuadro A perfil 7

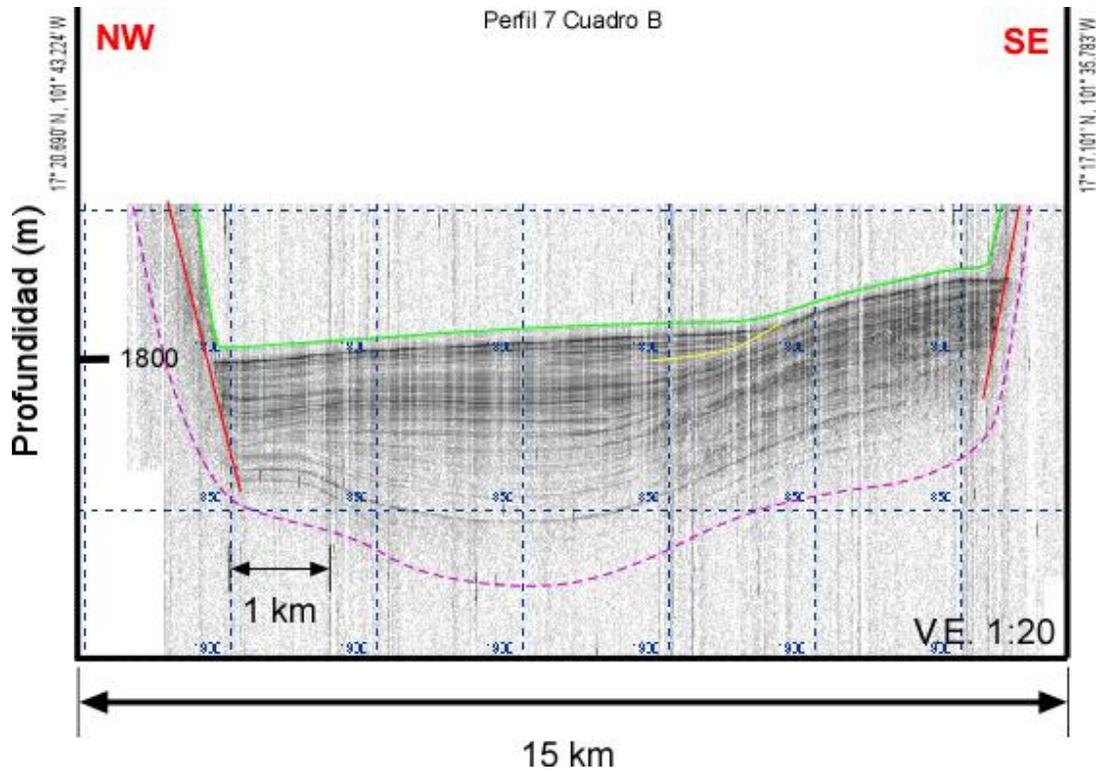


Figura 46. Cuadro B perfil 7

El perfil 8 se encuentra a 44 kilómetros del puerto de Lázaro Cárdenas. El piso oceánico inicia al noroeste en a los 1,900 metros bajo en nivel del mar. El piso desciende hasta alcanzar los 2,100 m.b.n.m., identificando como la ladera noroeste del Cañón de la Necesidad. La ladera está compuesta en la mayor parte de sedimento inestable, el fondo del cañón tiene un kilómetro de ancho, y presenta roca bien consolidada. La estratificación en la ladera sureste no logro ser registrada por el perfilador sísmico debido a su gran ángulo de inclinación y seguramente a que se encuentra compuesta de sedimentos inestables que no son buenos reflectores sísmicos. Más adelante el perfil tiene una batimetría muy accidentada debido a pequeños ríos que se encuentran entre el cauce del cañón

de la Necesidad y el cañón de Petacalco que desembocan en la Trinchera Mesoamericana.

A partir de las coordenadas $17^{\circ} 22.271'N$ y $101^{\circ} 58.808'W$ comienza la ladera Noroeste del Cañón de Petacalco a los 2,000 m.b.n.m. hasta los 2550 m.b.n.m. a una distancia de 17 kilómetros teniendo una pendiente de 1.8 grados y la sección muestra una gran acumulación de sedimentos no consolidados. La estratificación en la ladera sureste de la sección no muestra registro alguno, teniendo una pendiente igual a su contraparte e igual llega hasta los 2,000 m.b.n.m., donde se observa claramente los sedimentos en el banco con una longitud de 5 kilómetros y estratificación paralela teniendo 40 metros de espesor y es interrumpida por una falla que da inicio a la elevación del piso en la zona que se encuentra entre el cañón de Petacalco y la cuenca de depósito que se encuentra al sureste.

En el sureste del perfil se aprecia un cañón de 300 metros de profundidad y un fondo de un kilómetro de ancho perteneciente a la cuenca de depósito de Zihuatanejo, siendo una cuenca semi cerrada. Al último se eleva el piso hasta alcanzar los 1,150 m.b.n.m. continuando con una batimetría accidentada hasta su final.

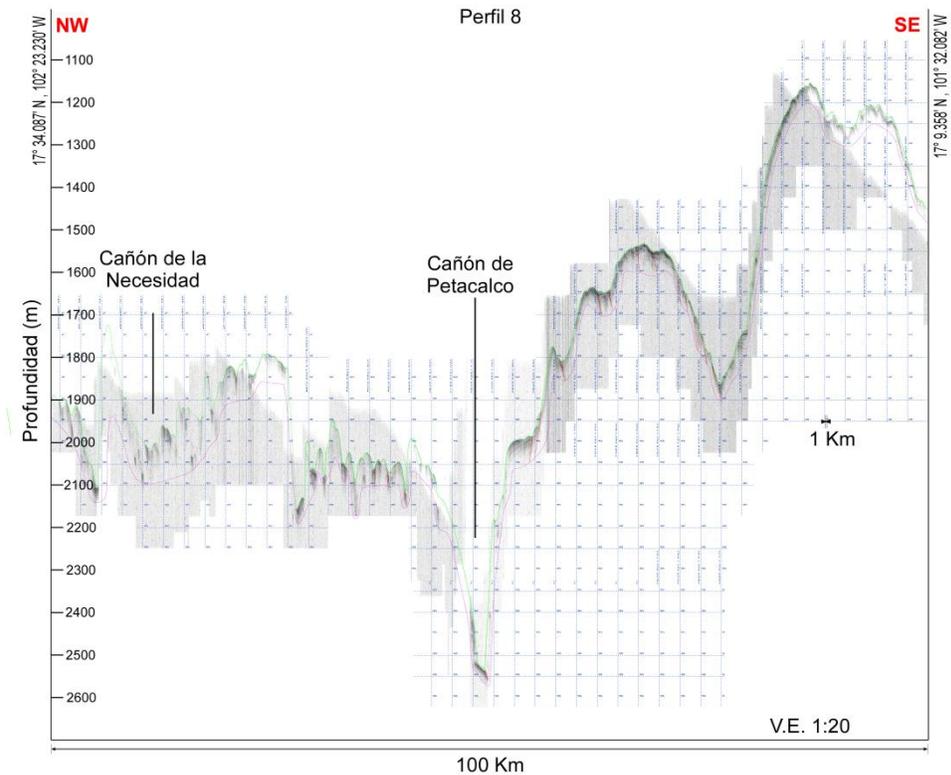


Figura 47. Perfil 8

El perfil 9 se encuentra a 50 kilómetros del puerto de Lázaro Cárdenas [Figura 48]. Inicia a los 2,130 metros de profundidad y en esta zona, dentro del Cuadro A [Figura 49], muestra estratificación paralela muy bien definida. Sus estratos son continuos a lo largo de nueve kilómetros, y la sección muestra penetración hasta de 70 metros en algunas partes. Por su localización se trata de una cuenca de depósito del Cañón de la Necesidad y los cañones tributarios que existen en el terreno que lo divide del Cañón de Petacalco. Más adelante el piso tiene una topografía accidentada y con sedimentos no consolidados. Esta zona es donde se comienzan a depositar los sedimentos que son traídos por todos los sistemas de

drenaje. Al centro del perfil se encuentra el Cañón de Petacalco en las coordenadas $17^{\circ} 16.285' N$ $101^{\circ} 54.178' W$, su ladera Noroeste solo muestra estratos en la cima del banco que tiene van desde los 2,250 m.b.n.m. hasta los 2,600 m.b.n.m. En el fondo se observan dos bancos debido a los meandros que forma el flujo en esta zona, entonces se observa que existe un sistema de canales adentro del cañón. La ladera sureste al igual que la noreste está conformada por sedimentos inestables que no son buenos reflectores sísmicos por lo que no hay registro alguno en la selección y el piso se eleva hasta los 1,700 m.b.n.m. El Cañón de Petacalco al sureste comunica una gran cuenca sedimentaria. Este cañón tiene una profundidad de 2,000 m.b.n.m. con un ancho de 11.5 kilómetros entre sus bancos y a 390 metros de profundidad desde dicha zona. En el piso se registra sedimentos no consolidados que vienen de la cuenca al norte y van hacia la Trinchera Mesoamericana. La ladera sureste se eleva hasta los 1,550 m.b.n.m. y continúa con una batimetría accidentada y una pendiente suave hasta terminar en los 1,800 m.b.n.m.

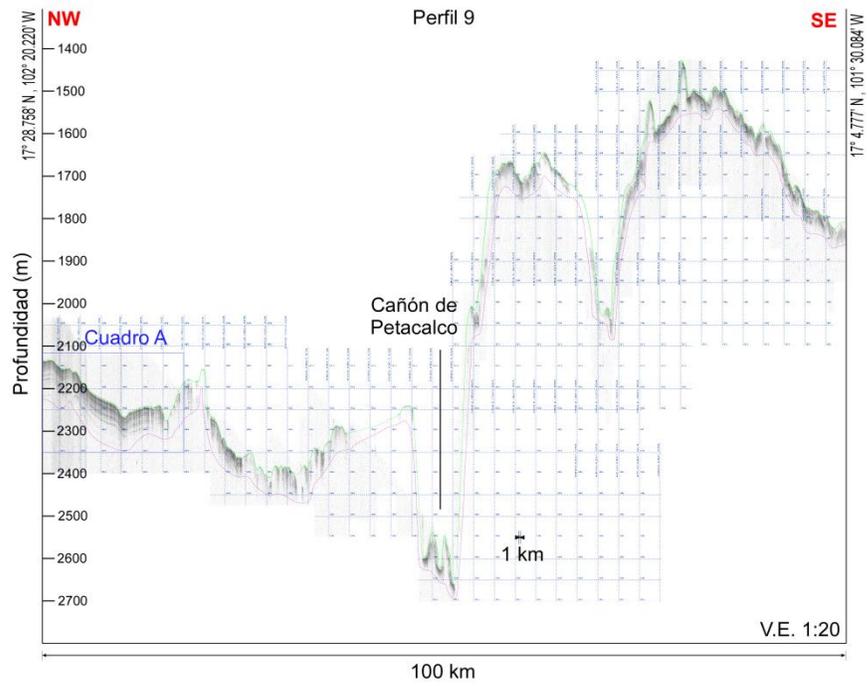


Figura 48. Perfil 9

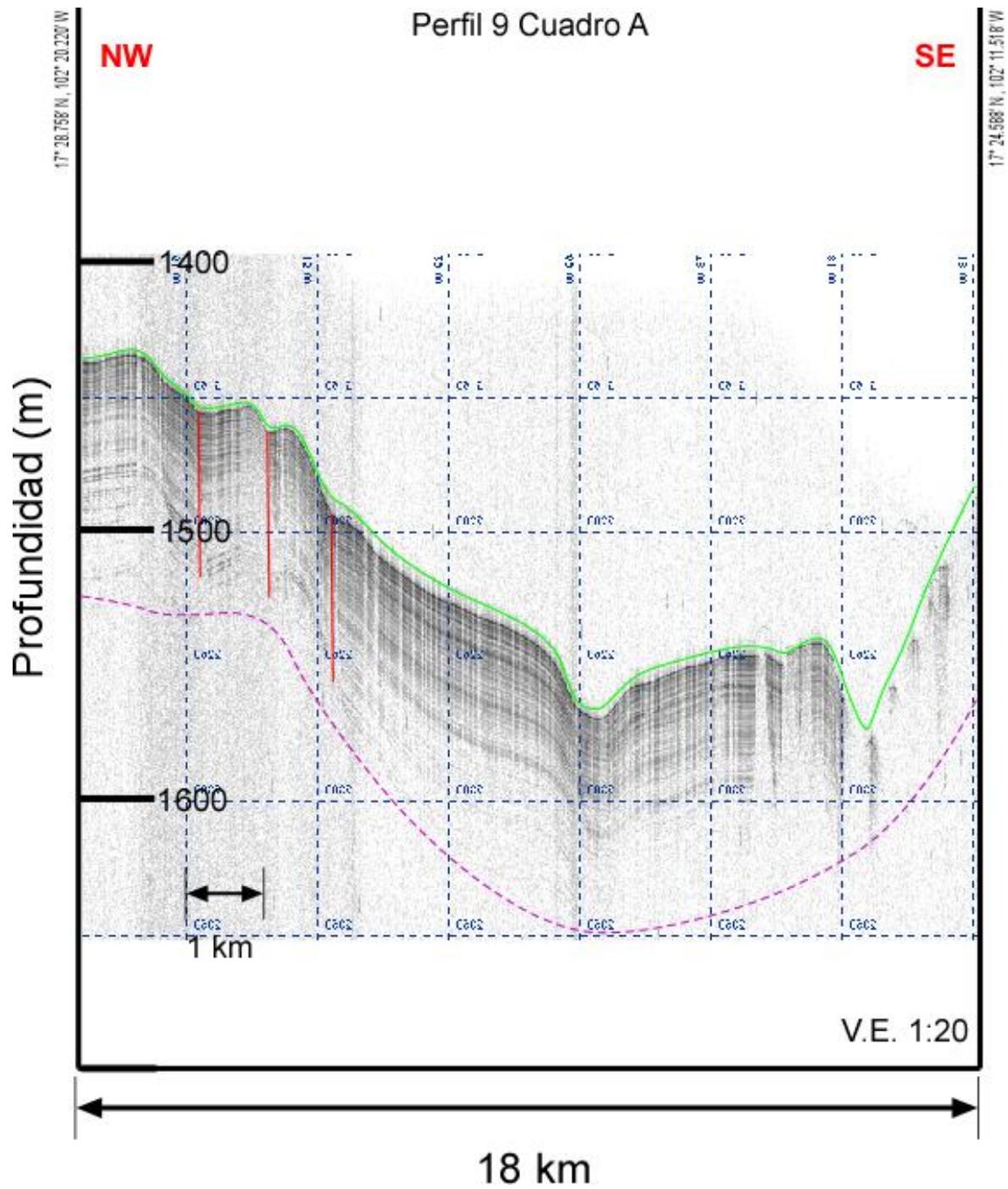


Figura 49. Cuadro A perfil 9

V. CONCLUSIONES

El Río Balsas forma un ramal en el talud continental formando cañones a su paso siendo el Cañón de la Necesidad y el Cañón de Petacalco los más importantes. Estos cañones llegan a alcanzar miles de metros de profundidad. Los perfiles sísmicos de alta resolución adquiridos en la Bahía de Petacalco muestran las estructuras geológicas presentes en el Cañón de la Necesidad y el Cañón de Petacalco. En la zona cercana a la costa, en los tres primeros perfiles, se observa que el Cañón de Petacalco es más ancho y profundo que el Cañón de la Necesidad. Casi en su totalidad el fondo marino tiene una batimetría accidentada debido a los pequeños cañones formados por el avance de sedimentos desde los ríos.

En los perfiles es observado que tanto el Cañón de Petacalco como el de la Necesidad se vuelven más amplios y profundos mar adentro. El Cañón de Petacalco tiene un fondo plano formado de roca consolidada que podemos inferir es la roca basamento, y alcanza su máxima profundidad a los 2,600 metros bajo el nivel del mar. Sólo en los bancos de los cañones se presentan reflectores fuertes y coherentes, en algunas partes se obtuvieron hasta 100 metros de penetración en el perfilador sísmico, y muestra estratificación paralela con continuidad lateral interrumpida por las fallas provocadas por el inicio de la ladera donde no existen buenos reflectores debido a que el material se encuentra inestable. Por lo que se infiere que estos cañones no son estables debido a las corrientes turbidíticas y derrumbes a los que están sujetos.

En los perfiles más alejados de la costa se observa que los cañones se vuelven más anchos hasta llegar a una zona donde al parecer confluyen. Se infiere que el talud está formado por una masa progradante de sedimentos que fluyen por los cañones y son arrastrados al parecer hasta la Trinchera Mesoamericana. Es pertinente realizar estudios más alejados de la costa para poder observar si efectivamente los cañones llegan hasta la Trinchera Mesoamericana o se terminan kilómetros antes de llegar creando una cuenca de depósito.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo-Camargo, E., Trápaga, R., 1996, Geodinámica de México y Minerales del Mar, Fondo de Cultura Económica de España, p. 26.

Álvarez, M. 1962, Jr. Bol. Soc. Geol. Mex. Provincias Fisiográficas de la República mexicana. p.p. 320-324.

Atwater, T., 1970, Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America Bull, Geological Society of America, Vol. 81, p.p. 3513-3536.

Atwater, T., 1989, Plate Tectonic History of the Northeast Pacific and Western P North America, Geological Society of America, Vol. N, p.p. 21-72.

Bentos Servicios y Equipos Marinos, 2014, Perfiladores Marinos de Subfondo BENTOS Ltda. Sitio web: www.bentos.cl/esp/archivo/SBP.pdf

Brand, D.D., 1958, Coastal Study of Southwest México 2. Dept. Geography Univ. of Texas, Austin, Texas. p. 279.

Dapples, E. C. y Hopkins, M. E., 1969, Geol. Soc. Amer., Environments of Coal Deposition. No. 114.

Davies, J. L., 1964, Zeit fur Geomorph. Sp. A Morphogenic Approach to World Shorelines, Num. 8, p.p. 27-42.

Dirección General de Obras Marítimas, 1963, Iniciación de Estudios Físicos en la Zona del Bajo Río Balsas Realizados en el año 1962. Secretaría de Marina Direcc. Gral. Obras. Marit., Depto. Est. Labs. Men. num. 3 p. 20.

Figueroa Albornoz, L. J. 2013, Estudio Tectono-estratigráfico de la Cuenca Transtensional en el Margen de Sonora frente al Rift de Guaymas, Golfo de California, México. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

García García, Alexis., 2015, Perfiles Sísmicos de Reflexión de Alta Resolución en el Sector Central de la Placa de Rivera, Tesis de Licenciatura, UNAM.

Guerra-Peña, F. 1976, XXXIII Cong. Geogr. Inter. Moscú URSS, Interpretación de la tectónica mexicana en las imágenes de satélite artificial "landsat1". Cetanal México, p. 19.

Gutiérrez Estrada, Mario Alfonso, 1990, Morfosedimentología del delta submarino del Río Balsas, Michoacán, México. Tesis de doctorado en Ciencias del Mar, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gutiérrez-Estrada, M. 1971, Fisiografía y Sedimentología del Delta del Río Balsas, Michoacán, México, Inst. De Geol. UNAM, Num.93.

Jeff Gu., 2014, Geophysical Exploration Techniques. 2015, University of Alberta, Sitio web: www.alberta.ca/ygu/courses/geoph224/syllabus2014.pdf

Kongsberg Maritime As., 2005 TOPAS PS 18 Parametric Sub-Bottom Profiler Manual, KONGSBERG.

Kongsberg Maritime As., 2007, TOPAS SW Replay and Processing Manual, KONGSBERG.

Kostoglodov, Vladimir y Pacheco, Francisco, 1999, Cien años de sismicidad en México.

Lugo-Hubp J., 1985, Bol. Inst. Geol. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano, UNAM, p. 9-39.

Márquez G. A. y Morales de la G. E., 1984, Tesis profesional. Sedimentología de la plataforma continental del estado de Guerrero, México. Facultad de Ingeniería UNAM.

Martín-Barajas A., 1980, VII Sem. Inter. Sobre exploración geológica minera, C.R.M. Distribución de minerales pesados en placeres de playa en una porción de litoral de los estados de Guerrero y Oaxaca, p.p.185-211.

Martínez B.A. y Javier C.C., 1982, Tesis profesional, Sedimentología litoral de los estados de Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guerrero, México, Facultad de Ingeniería UNAM.

Milliman, J. D. y Emery, K. O., 1968, Sea Levels during the past 35,000 years. Science, num. 162, p.p. 1121-1123.

Morales de la Garza, E. A. y Marquez-García A.Z, 1987, Distribución y evolución de sedimentos superficiales del delta del río balsas, Michoacán, México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, contribución no. 629.

Reimnitz, E. y Gutiérrez-Estrada M., 1970, Rapid Changes in the Head of the Rio Balsas Submarine Canyon System, Mexico, Marine Geology 8, Elsevier Publishing Company, p.p. 245-258.

Reimnitz, E., 1968, The Rio Balsas Submarine Canyons: Processes, History, and Origin. Inst. Geol., UNAM, Interim Rept., p.p. 72.

Selley, R. C., 1976, Medios sedimentarios antiguos. Hermann Blume Ediciones, p.251.

Shepard, F.P. and Reimnitz, Erk, 1981, Sedimentation Bordering the Rio Balsas Delta and Canyons, Western Mexico, Geological Society of America, Bolletin No. 6, Vol. 92, p.p. 395-403.

Shepard, F. P. and Dill, R. F., 1966. Submarine Canyons and other Sea Valleys. Rand McNally, Chicago, Ill., p. 381.

Stein, S., Wysession, M., 2003, An Introduction to Seismology Earthquakes and Earth Structure, Blackwell Publishing, USA.

Tamayo, J.L., 1970, Geografía moderna de México. Trillas S.A., 6 ed., p. 390.

Tamayo, J.L. and West, R. C., 1964, Handbook of Middle American Indians, J. Natural Environment and Early Cultures. The Hydrography of Middle America In:Rc. West (Ed.) Univ. of Texas. Press, Austin, Texas, p.p. 84-121.

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990, Applied Geophysics Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.