



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PERFILES SÍSMICOS DE REFLEXIÓN DE ALTA
RESOLUCIÓN EN EL SECTOR CENTRAL DE LA
PLACA DE RIVERA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOFÍSICO

P R E S E N T A:

ALEXIS GARCÍA GARCÍA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS ÁNGEL Q. MORTERA GUTIÉRREZ**

CD. UNIVERSITARIA

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme terminar esta grandiosa etapa llamada Universidad

A mi madre, Sonia García Rivero quien a pesar de la distancia, siempre me demostró su apoyo incondicional a toda hora y minuto.

A mi padre el Ing. José Luis García Beltrán, mi ejemplo a seguir como ingeniero, quien forja mi mente día a día para que alcance el éxito profesional y personal, así como la felicidad.

A mi hermana, Brenda Ariana, esa pequeña chispa idéntica a mí que me motiva a crecer como ser humano, profesionista y como hermano.

A toda mi familia, por haberme inspirado y apoyado en todas las etapas de mi vida como estudiante.

A mis hermanos de Ciudad del Carmen; Adal Olivas, Joaquín Estrada, Alfredo Sordo, Gaby Corral.

A Mitzi Sosa por el gran apoyo moral durante la realización de este trabajo y etapa de mi vida.

A mis compañeros del equipo de Geofísica Marina del Instituto de Geofísica: Pako Ponce, Dani Pérez, Sandra Valle, Carmen Millán, Enrique Arce, Diego Aguilar, César Emilio, Pablo Ortega, Eli Andrómeda, Ara, Omar, y Dr. Handsmausher (Dr. Ballena).

A todos mis grandes amigos que estuvieron conmigo a lo largo de toda la carrera: Alfonso Bustos, Enrique Arce, Pepe García, Juan Méndez, Marianna Lagunas, Andrés Manuel Cabrera, Sergio Aguilar, Geovani Martínez, Emmanuel Caballero, Armando Espíndola, Ketza, Esteban, Fernando Ahumada, Antonio Castillo, , Diana López, Luz Areli, Tania Osiris, Javier Abreu, Royer, Edgar, Dani Elizalde, Dani Vargas, los hermanos Kopelman, Michelle, Alex Mendieta, José Emilio Santamaría.

Al Ing. José Pablo Gálvez Beauregard, mi compañero en la Universidad y en la familia del 301, quien desde el cielo canta y ejerce la Ingeniería Geofísica y la Física como con nosotros siempre lo hacía. Descansa en paz Roomie.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermosa Alma Máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, cuna de grandes científicos, ingenieros, pensadores y humanistas que fortalecen esta gran nación, México.

A la Facultad de Ingeniería, así como a mis profesores que me previeron de todas las herramientas que necesité para mi formación ética y profesional.

Al Instituto de Geofísica, por darme la oportunidad de iniciarme a la ciencia e investigación.

Al Dr. Carlos Mortera Gutiérrez por su gran apoyo, orientación y dirección para la culminación de este trabajo. A su motivación por iniciarme en la exploración marina que ha contribuido a mi vocación y formación personal y profesional.

A los miembros del jurado por su orientación y comentarios para enriquecer este trabajo: Dr. Martín Cárdenas Soto, Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, Dr. William L. Bandy, y al M.C. Alfonso Reyes Pimentel.

Al financiamiento otorgado por los proyectos UNAM-DGAPA-PAPIIT números: IN102507, IN108110, IN104707, IN114410, IN115513 y IN115613 y al apoyo por parte del CONACYT con el proyecto con número 50235 con los que fue posible realizar esta investigación.

Al programa UNAM-CABO por el uso del B/O EL PUMA, así como toda la tripulación del buque, para la obtención de los datos de geofísica marina durante las siete campañas oceanográficas desde el 2006 y hasta el 2012. Estas campañas llevaron el nombre de BABRIP06, MAMRIV07, MAMRIV08, MORTIC08, GUAYRIV10, BATIBAJA11 y MAMRIV12. Como también a los Técnicos Académicos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ing. Francisco Ponce Núñez y al M.C. Arturo Ronquillo Arvizu, por su apoyo en la operación de los sistemas hidroacústicos a bordo del B/O EL PUMA. Además al técnico, M.C. Daniel A. Pérez Calderón, y a la Ing. María del Carmen Millán Motolinia del I. de Geofísica por su asistencia en el procesamiento de los datos sísmicos.

RESUMEN

La placa de Rivera es una microplaca oceánica ubicada en el Pacífico Oriental al occidente de México. Esta placa se encuentra rodeada entre las placas de Pacífico, Cocos y Norteamérica. La Dorsal del Pacífico Oriental bordea el margen occidental de la Placa de Rivera, teniendo un relieve de gran rugosidad en el flanco oriental de la dorsal Rivera Rise, además el relieve alejado de la dorsal contiene cadenas de montes submarinos y un relieve plano como resultado de la acumulación de sedimentos pelágicos con la edad.

En los últimos diez años, investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM realizaron siete campañas oceanográficas en el sector central de la Placa de Rivera para registrar atributos geofísicos marinos de las estructuras del piso oceánico y su subsuelo. Estos estudios marinos realizaron un detallado cubrimiento de la zona adquiriendo datos de magnetometría, batimetría multi-haz y reflexión sísmica de alta resolución a lo largo de transectos E-W o W-E en un área de estudio, comprendida entre 21°35' N y 20°30' N y entre 109° W y 107° W con el propósito de reconstruir la evolución tectónica del piso oceánico en los últimos 20 Ma.

En este trabajo se procesaron e interpretaron siete perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución que cruzaron todo el área de estudio con el fin de estimar los espesores de sedimentos que cubren la superficie de la corteza oceánica y su correspondiente tasa de sedimentación en la región.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1. Ubicación geográfica del estudio	4
2.2. Configuración tectónica.....	5
2.3. Estudios previos en el sector central de la placa de Rivera.....	12
III. METODOLOGÍA	23
3.1. Conceptos básicos de sísmica de reflexión.....	23
3.2. Adquisición de datos con el perfilador sísmico de alta resolución.....	27
3.3. Procesamiento de datos sísmicos de reflexión de alta resolución	31
3.4. Estimación de espesores de sedimentos	33
3.5. Datos en el sector central de la placa de Rivera	34
IV. PERFILES SÍSMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN	41
V. INTERPRETACIÓN	46
5.1. Interpretación de perfiles sísmicos	46
5.2. Espesores de sedimentos	68
VI. CONCLUSIONES	76
VII. BIBLIOGRAFÍA	78
VIII. ANEXOS	82
Anexo A	82
Anexo B	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa tectónico del Pacífico Mexicano Oriental. Muestra espacialmente como están ubicadas las placas tectónicas [Bandy, et al., 2010] (Mapa base de GeoMapApp: http://www.geomapapp.com)	2
Figura 2. Área de Trabajo en el sector central de la Placa de Rivera, [Google Earth, 2014].....	4
Figura 3. Mapa batimétrico y los transectos (líneas rojas) de las siete campañas oceanográficas en el sector central de la Placa de Rivera.....	5
Figura 4. Movimientos tectónicos entre fallas y fracturas de la dorsal a lo largo de la dorsal East Pacific Rise. Flechas muestran las direcciones y tasas de expansión oceánica que van desde los 60 mm/año en la fractura de Rivera hasta los 162 mm/año cercana a la microplaca Easter. [Mac Donald et al., 1989]	7
Figura 5. Sismicidad y placas actuales que conforman los límites orientales de la Placa del Pacífico [Atwater, 1989]	8
Figura 6. Límites tectónicos de la placa de Rivera. Al norte: Fractura de Tamayo; al este: la dorsal de Rivera Rise; al sur: la Transformada de Rivera y al oriente tenemos la Fosa Mesoamericana [Modificado de Michaud et al., 1996].....	9
Figura 7. Configuración Tectónica de la Placa de Rivera hace 5 millones de años [Modificado de Lonsdale, 1995]	10
Figura 8. Configuración tectónica de la placa de Rivera hace 3 millones de años [Modificado de Lonsdale, 1995]	11
Figura 9. Configuración tectónica actual de la placa de Rivera. La Transformada de Rivera es el límite entre placas de Rivera y Cocos, la microplaca del Matemático pasa a formar parte de la Placa del Pacífico [Modificado de Lonsdale, 1995]	12
Figura 10. Ubicación geográfica de los perfiles en los que se adquirieron los datos del Buque Oceanográfico Melville [Modificado de Lonsdale, 1989]	14
Figura 11. Interpretación sencilla de los perfiles adquirida por el Buque Oceanográfico Melville [Modificado de Lonsdale, 1989]	15
Figura 12. El sitio 473 de la campaña oceanográfica LEG63 perforó en la parte central de la Placa de Rivera [Google Earth, 2014]	16
Figura 13. Columna estratigráfica del pozo 473 de la campaña oceanográfica DSDP-LEG63 [Yeats et al., 1978].	17
Figura 14. Mapa global de los espesores de sedimentos marinos. a) Mapa de estimación de espesores de sedimentos en todos los océanos, b) Acercamiento de los espesores en la parte norte oriental del Océano Pacífico. [Modificado de Whitaker et al., 2013]	19
Figura 15. Batimetría del lecho marino en el sector central de la Placa de Rivera. La carta muestra las cadenas de los montes submarinos y las cimas de la dorsal Rivera-Pacífico,	

marcada por líneas solidas en azul. [Pérez-Calderón, 2015]	21
.....	
Figura 16. Imagen de retrodispersión acústica en el sector central de la Placa de Rivera [Pérez-Calderón, 2015]	21
.....	
Figura 17. Mapa de las isócronas magnéticas en el sector central de la Placa de Rivera. Líneas rojas marcan las isócronas con denominaciones definidas en la escala de edades geológicas con base a Cande y Kent [1992], los contornos en magenta marcan las posiciones de los montes submarinos y el eje de la dorsal RR esta delineado por líneas de divergencia en azul marino. [Modificado de Pérez-Calderón, 2015]	22
.....	
Figura 18. Un medio estratificado en donde cada capa posee diferentes propiedades que permiten la propagación o reflexión de la energía de las ondas elásticas [Stein et al., 2003]	24
.....	
Figura 19. Ley de Snell: Al momento de incidir un rayo en una superficie homogénea, este se reflejará con el mismo ángulo en la superficie y se refractará en otro medio con un ángulo diferente	25
.....	
Figura 20. Adquisición de datos sísmicos con un solo canal en el medio marino [Jeff Gu, 2014]	27
.....	
Figura 21. Perfilador Sísmico de tipo <i>Pinger</i> . Consta de un transductor que emite la fuente de energía en forma de un pulso sísmico reflejándose en las interfases del fondo marino. [Equipos Marinos Bentos, Chile]	28
.....	
Figura 22. Elementos del perfilador sísmico TOPAS PS 18. Consta de la unidad de Transceiver, el transductor (que emite el pulso sísmico), y la consola de operación donde se procesan los datos al momento de la adquisición. [Manual de Operación TOPAS PS 18]	29
.....	
Figura 23. Geometría del levantamiento de geofísica marina en el sector central de la Placa de Rivera.	34
.....	
Figura 24. Los transectos de la campaña BABRIP06, en la parte central del área de estudio en la Placa de Rivera	36
.....	
Figura 25. Los transectos de la campaña MAMRIV07 en la parte superior central del área de estudio en la placa de Rivera	36
.....	
Figura 26. Los transectos de la campaña MAMRIV08 en la parte oriental del área de estudio en la Placa de Rivera.	37
.....	
Figura 27. Los transectos de la campaña MORTIC08 en la parte central occidental del área de estudio.	38
.....	
Figura 28. Transectos de la campaña BATIBAJA 11. Los transectos se realizaron en dos sectores, uno en la esquina norte superior del área de estudio y otro sector en la parte sur del área de estudio.	39
.....	
Figura 29. Los transecto de la campaña MAMRIV12 en la parte occidental-sur del área de estudio.	40
.....	

Figura 30. Distribución espacial de los perfiles que se procesaron e interpretaron en el sector central de la Placa de Rivera [Modificado de Pérez-Calderón, 2015]	41
Figura 31. Sección 1A del Perfil 1. a) Sección 1A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°40' W y 108°30', dos pequeños espesores de sedimentos de 21.2 m y 27.62 m son observados respectivamente.	47
Figura 32. Sección 2A interpretada en el Perfil 2. Un pequeño espesor de sedimentos es visto al final de la sección en el flanco del montículo submarino.	48
Figura 33. Sección 2B en el Perfil 2. a) Sección 2B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 107°55' W y 107°30' W, se exhiben sedimentos continuos con espesores de hasta 123 metros. c) Acercamiento de la sección entre 107°36' W y 107°15' W, se exhibe una cuenca con espesor de 119 metros, al final de la sección continua la sedimentación con un espesor de 102 metros.	49
Figura 34. Sección 3A en el Perfil 3. a) Sección 3A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°45' W y 108°30' W con paquetes de sedimentos de hasta 60 metros.....	50
Figura 35. Sección 3B del Perfil 3. a) Sección 3B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°23' W y 108°16' W, se distinguen dos depósitos de sedimentos de hasta 106 metros de espesor. c) Acercamiento de la sección entre 108°10' W y 108°0' W, se observa que las capas de sedimentos continúan hacia el este.	52
Figura 36. Sección 3C interpretada en el Perfil 3C. Toda la sección presenta paquetes de sedimentación, el mayor espesor se encuentra entre 108° W y 107°50' W.	53
Figura 37. Sección 3D del Perfil 3. a) Sección 3D interpretada. b) Acercamiento en la sección entre 107°26' W y 107°17' W, en donde se distinguen claramente los mayores espesores de paquetes de sedimentos la sección.	54
Figura 38. Sección 3E interpretada en el Perfil 3. Se observan paquetes de sedimentación casi en todo el largo de la sección, a excepción del final de la sección donde no se distingue señal alguna.	55
Figura 39. Sección 4A del Perfil 4. a) Sección 4A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°47' W y 108°42' W exhibiendo solo un pequeño espesor de sedimentos de 34 metros.	56
Figura 40. Sección 4B del Perfil 4. a) Sección 4B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°27' W y 108°20' W , se observan paquetes de sedimentos de 46.7 metros y 63.5 metros respectivamente. c) Acercamiento de la sección entre 108°15' W y 108°10' W con paquetes de sedimentación de hasta 110 metros.	57
Figura 41. Perfil 4, Sección 4C. a) Sección 4C interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 107°51' W y 107°35' W donde se observa un paquete de sedimentación continua con hasta 110 metros. c) Acercamiento de la sección entre 107°26' W y 107°20' W, se observa el paquete de sedimentos de hasta 119 metros.	59
Figura 42. Sección 4D interpretada en el Perfil 4. Se observa paquetes de sedimentación continuos a lo largo de toda la sección.	59

Figura 43. Sección 5A del Perfil 5. a) Sección 5A interpretada. b) Acercamiento para mostrar los paquetes de sedimentos entre 108°37' W y 108°35' W.	60
Figura 44. Perfil 5, Sección 5B. a) Sección 5B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°15' W y 108°05' W donde se observa un paquete de sedimentos con espesores entre 40 y 82 metros.	61
Figura 45. Sección 5C en el Perfil 5. a) Sección 5C interpretada. b) Acercamiento a la sección entre 108°05' W y 107°51' W, se presentan paquetes de sedimentos con espesores entre 68 y 110 metros. c) Acercamiento de la sección entre 107°45' W hasta 107°20' W, se presentan paquetes de sedimentos de hasta 120 metros.	63
Figura 46. Sección 5D interpretada en el Perfil 5. Se presenta sedimentación a lo largo de toda la sección	63
Figura 47. Sección 6A interpretada en el Perfil 6. Se muestra una sección cubierta por muy pocos sedimentos.	64
Figura 48. Sección 6B en el Perfil 6. a) Sección 6B interpretada. b) Acercamiento de la sección en el paquete de sedimentos entre 108°25' W y 108°22' W. c) Acercamiento de la sección entre 108°16' W y 108° W para mostrar variabilidad de los espesores sedimentarios	65
Figura 49. Sección 6B en el Perfil 6. a) Sección 6C interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°0'W y 107°36' W. c) Acercamiento de la sección entre 107°36' W y 107°20' W. d) Acercamiento de la sección entre 107°20' W y 107°0' W. A lo largo de toda la sección se muestran espesores de sedimentos muy uniformes.	67
Figura 50. Sección 7A en el Perfil 7. a) Sección 7A interpretada. b) Paquete de sedimentos de 60 metros de espesor entre 108°39' W y 108°33' W. c) Acercamiento de la sección entre 108°27' W y 108°21' W, se muestra el paquete continuo de sedimentos con espesor de 60 metros.	68
Figura 51. Mapa de distribución de los espesores de sedimentos en las secciones sísmicas interpretadas. Las Isócronas magnéticas (Color rojo), los montes y montículos submarinos (contornos magenta), y los ejes de la dorsal Rivera-Pacífico [Modificado de Pérez-Calderón, 2015].	69
Figura 52. Mapa de contornos que indican la distribución de espesores de sedimentos en el área de estudio. La escala de colores corresponde a los espesores de sedimentos. Las cadenas de montes submarinos están indicadas en color gris.	70
Figura 53. Gráfica de espesores de sedimentos registrados en la Tabla 1. Se muestra la fila de Edad [Ma.] vs Espesor [m] registrado.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registro de espesores de paquetes de sedimentos a partir de la interpretación de la sísmica junto con sus respectivas edades aproximadas. Por cada dato se muestra el espesor en metros registrado, su edad en millones de años, el periodo correspondiente entre isócronas, y las coordenadas de cada registro.**71**

Tabla 2. Tasa de sedimentación en mm/año. La tasa se muestra en comparación con la edad en millones de años de la Placa de Rivera.**75**

I. INTRODUCCIÓN

La topografía de la República Mexicana es el resultado de múltiples procesos tectónicos que han actuado en gran magnitud a lo largo su margen occidental como consecuencia de la subducción de las placas oceánicas adyacentes. En el Océano Pacífico, el margen continental de México colinda con tres placas oceánicas: Pacífico, Rivera y Cocos, cuyos movimientos son tectónicamente causantes de la deformación cortical y formación del arco volcánico a lo largo del margen continental, tanto marino como terrestre. La interacción del relieve batimétrico y sus estructuras geológicas en estas tres placas oceánicas con este margen es de gran significancia en los procesos geodinámicos asociados a la subducción entre placas convergentes.

La placa oceánica de Rivera que se encuentra rodeada entre las placas del Pacífico, Cocos y Norteamérica, siendo de dimensiones mucho menor a las otras placas (Figura 1). Hacia el oriente, esta microplaca colisiona contra el margen continental (frente al archipiélago de las Islas Marías) de la placa de Norteamérica e inicia su subducción debajo de las costas de los estados de Nayarit, Jalisco hasta Colima (referida como TJ de Trinchera de Jalisco. Sus otros límites de placas tectónicas están constituidos por la dorsal oceánica de Rivera (RR, Rivera Rise, límite divergente con la placa del Pacífico) y la falla transformada de Rivera (TF, límite transcurrente entre Rivera y Pacífico) y una zona amplia de deformación de cizalla entre las placas de Cocos y Rivera [Bandy et al, 1995; Lonsdale, 1995; DeMets and Traylen, 2000]. Esta microplaca parece ser parte de la placa de Cocos sin embargo se tiene evidencias que su convergencia es diferente a la de

Cocos, y en consecuencia los procesos de subducción de la Placa de Rivera a lo largo de las costas de Nayarit-Jalisco-Colima difieren a los de Cocos [e.g. Atwater, 1979; Bandy et al., 1995; Bandy et al., 2011]. Estas diferencias existentes entre ambos procesos de subducción son evidenciadas geológicamente con los análisis de las características geoquímicas de las rocas, y gases asociados a la acreación del prisma del margen continental de Norteamérica en el Pacífico mexicano [e.g. Taran et al., 2011, Bandy et al., 2011].

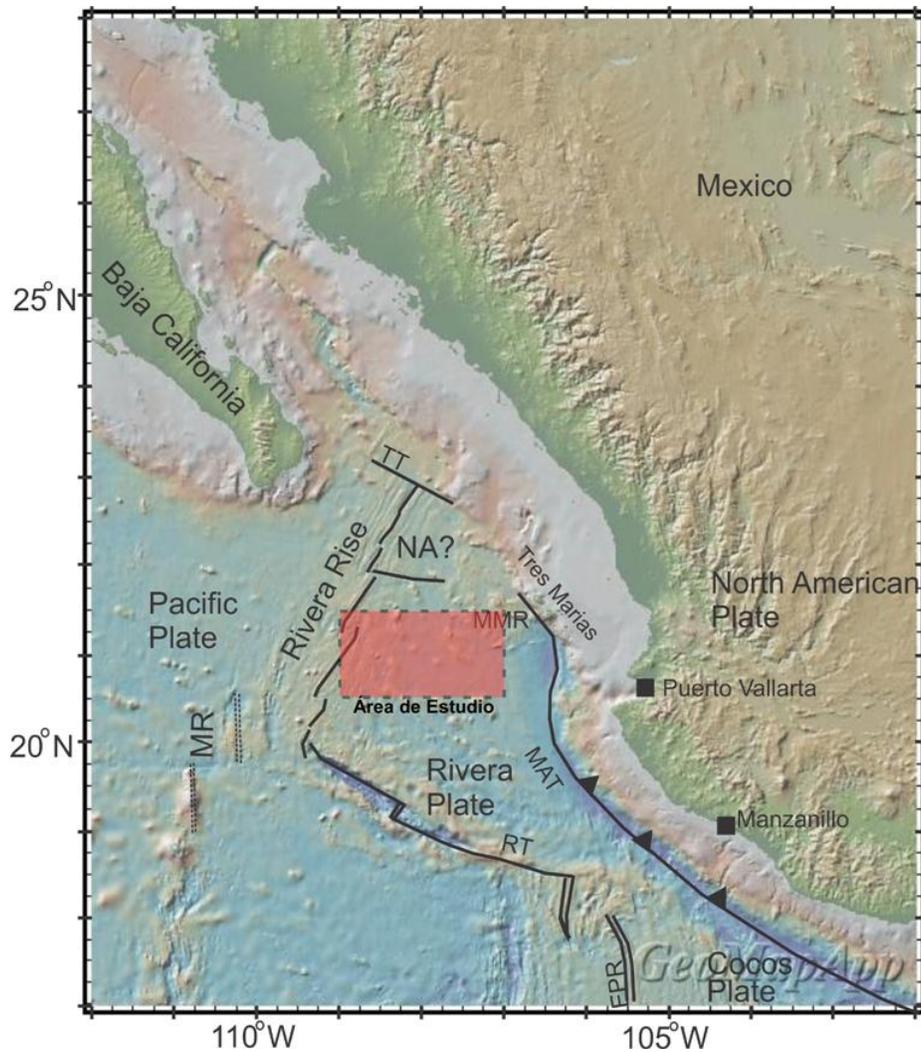


Figura 1. Mapa tectónico del Pacífico Mexicano Oriental. Muestra espacialmente cómo están ubicadas las placas tectónicas [Bandy et al., 2010] (Mapa base de GeoMapApp: <http://www.geomapapp.com>)

Dentro de estos procesos que constituyen el prisma de acreación en la zona de subducción, el volumen de sedimentos subducidos proveniente de las placas oceánicas son un factor esencial para entender la génesis de las rocas formadas en el arco volcánico y su asociación a los fenómenos sísmicos. Con esta inquietud de conocer el rol que tiene la convergencia de la placa de Rivera contra el margen continental de México y los sedimentos subducidos, investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM realizaron siete campañas oceanográficas, entre 2006 y 2012, a bordo del Buque Oceanográfico "El Puma" de la UNAM en el sector central de la placa de Rivera para caracterizar las estructuras geológicas del piso oceánico y en su subsuelo. Estos estudios marinos registraron continuamente datos de magnetometría, batimetría multi-haz y reflexión sísmica de alta resolución a lo largo de transectos Este a Oeste y viceversa. Estas campañas obtuvieron un cubrimiento del 100% del relieve batimétrico y de su litología superficial, como también un levantamiento sistemático de registros magnéticos y perfiles sísmicos de alta resolución a lo largo de cada uno de los trayectos del buque para estudiar la evolución tectónica del piso oceánico y su sedimentación en los últimos 20 Ma. Específicamente, este trabajo de tesis está enfocado a estimar los espesores mínimos de sedimentos depositados sobre la corteza oceánica y sus tasas correspondientes con el procesamiento, análisis e interpretación de siete perfiles sísmicos de alta resolución que cruzan el sector central de la placa de Rivera, desde los 109°W a 107°W, en el Pacífico Oriental.

II. ANTECEDENTES

2.1. Ubicación geográfica del estudio

La Placa de Rivera se localiza en el sector oriental del Océano Pacífico cerca de las costas mexicanas de los Estados de Jalisco, Colima y Nayarit, y al sur de la Península de Baja California. El área de estudio (Figura 2) abarca un bloque rectangular en el sector central de la Placa de Rivera entre las latitudes 20°30' N y 21°35' N y longitudes 107° W y 109° W. Los registros continuos de mediciones de geofísica marina se realizaron durante siete campañas oceanográficas a bordo del Buque Oceanográfico "El Puma" de la Universidad Nacional Autónoma de México (Figura 3).

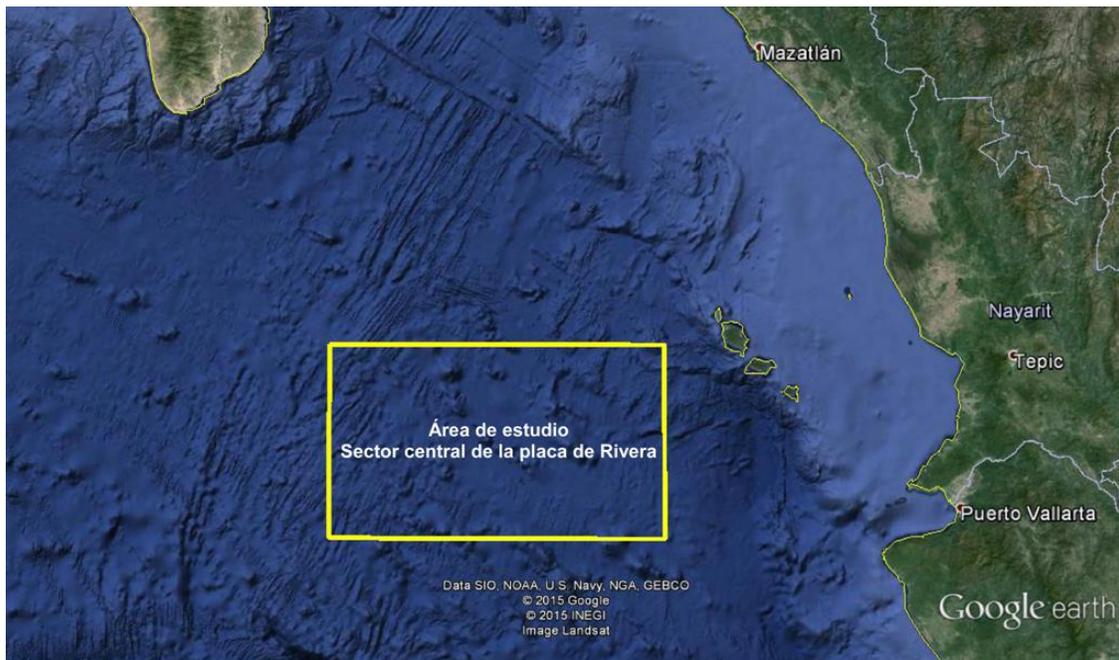


Figura 2. Área de Trabajo en el sector central de la Placa de Rivera, [Google Earth, 2014]

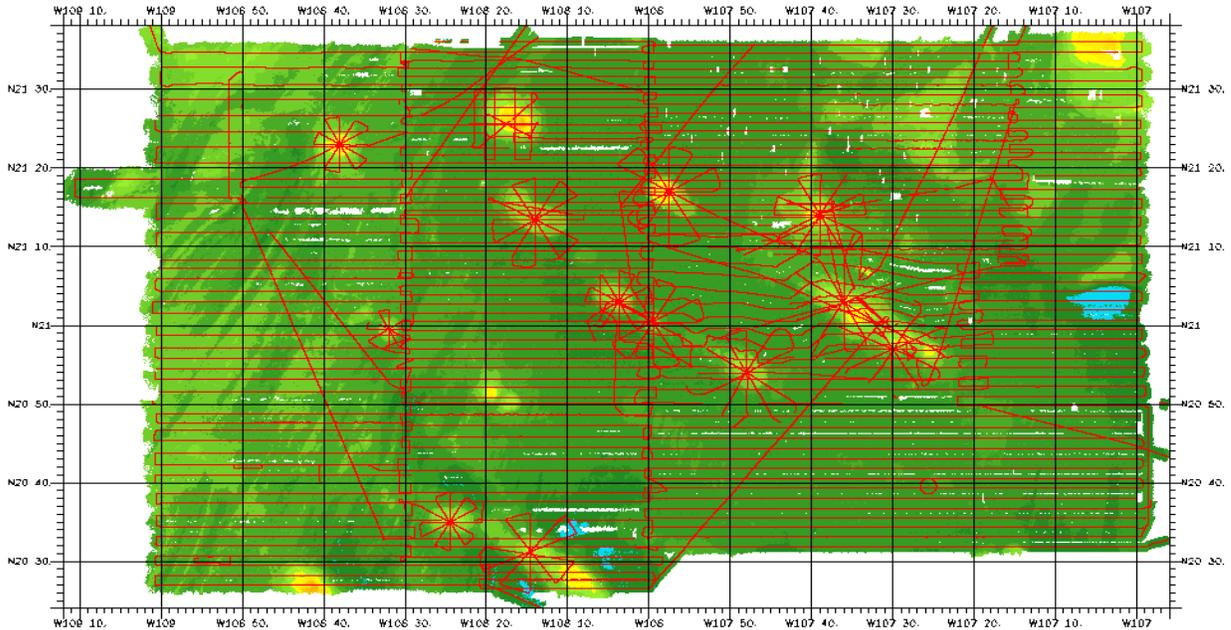


Figura 3. Mapa batimétrico y los transectos (líneas rojas) de las siete campañas oceanográficas en el sector central de la Placa de Rivera.

2.2. Configuración tectónica y geológica

La configuración tectónica oriental del Océano Pacífico es dominada por las estructuras en el fondo marino, formadas por varios centros de expansión (dorsales oceánicas) fallas, fracturas transformantes y zonas de subducción (fosas profundas como trincheras). Desde el Cenozoico, el lecho marino de la cuenca al occidente de la trinchera de subducción en Océano Pacífico ha quedado marcado por diversos segmentos de expansión que han estado cambiando y reorganizando con el tiempo, como resultado teniendo un reacomodo tectónico de los límites de placas produciendo pequeñas placas oceánicas que se están subduciendo debajo de la placa de Norte América al igual que las fracturas transformantes cambiando su configuración.

Una gran actividad tectónica entre las placas ocurre en el noreste del Océano Pacífico marcada por las reorganizaciones del segmento norte de la Dorsal Oceánica del Pacífico Oriental (referida como *East Pacific Rise* con sus siglas *EPR* en Inglés). El sistema de la Dorsal *EPR* en la parte oriental del Océano Pacífico se extiende desde la Antártida hasta el Golfo de California en México. Esta dorsal es el límite entre la mega-placa del Pacífico con tres placas que son las de Nazca, Cocos y Rivera.

A lo largo de la Dorsal *EPR* varios segmentos tienen tasas de expansión entre los 60 hasta los 162 milímetros por año, presentando menor esparcimiento oceánico en la parte norte de la Fractura de Rivera (Figura 4) [Mac Donald et al., 1989].

La sismicidad y tectónica en el margen noroeste de México son el resultado de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que entran debajo de la placa de Norteamérica a lo largo de la Trinchera Mesoamericana (referida como Trinchera Mesoamérica o en inglés *Middle American Trench*, *MAT*). Al norte de la Transformada de Rivera, los epicentros cerca de la costa mexicana indican que la Placa de Rivera actúa como una placa independiente. En el sentido opuesto a la de las manecillas del reloj, la Placa de Rivera es limitada por las Placas del Pacífico, Cocos y Norte América. Tanya Atwater en 1970 disertó que es probable que la placa de Rivera se esté moviendo conjuntamente con la Placa de Norte América, sin embargo, los terremotos, la topografía de la trinchera así como la orientación de las facturas pueden indicar que esta placa está siendo comprimida por las placas del Pacífico, Norte América y Cocos (Figura 5).

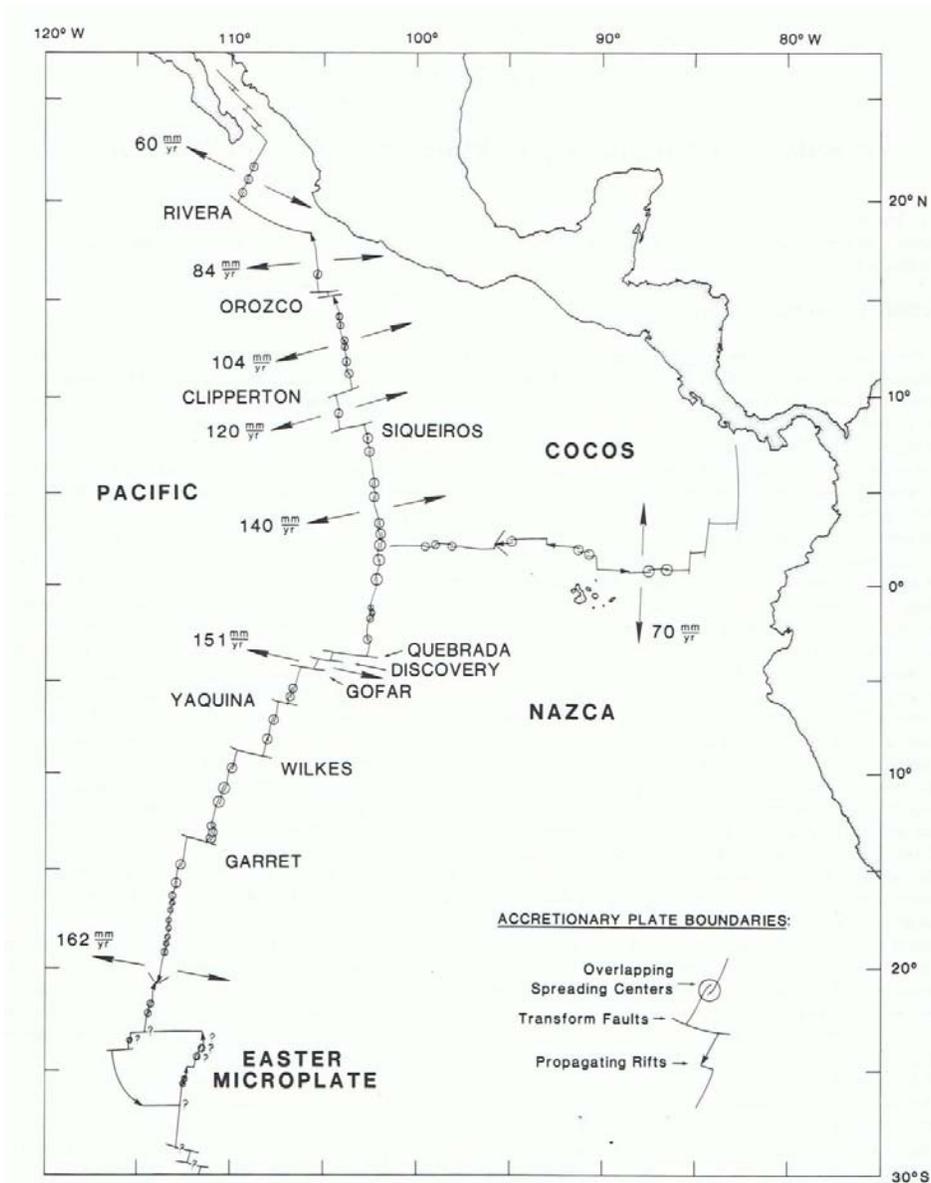


Figura 4. Sistemas de fallas transformantes, discontinuidades y propagadores a lo largo de la dorsal East Pacific Rise. Las flechas muestran las direcciones y tasas de expansión oceánica que van desde los 60 mm/año en la fractura de Rivera hasta los 162 mm/año cercana a la microplaca Easter [Mac Donald et al., 1989].

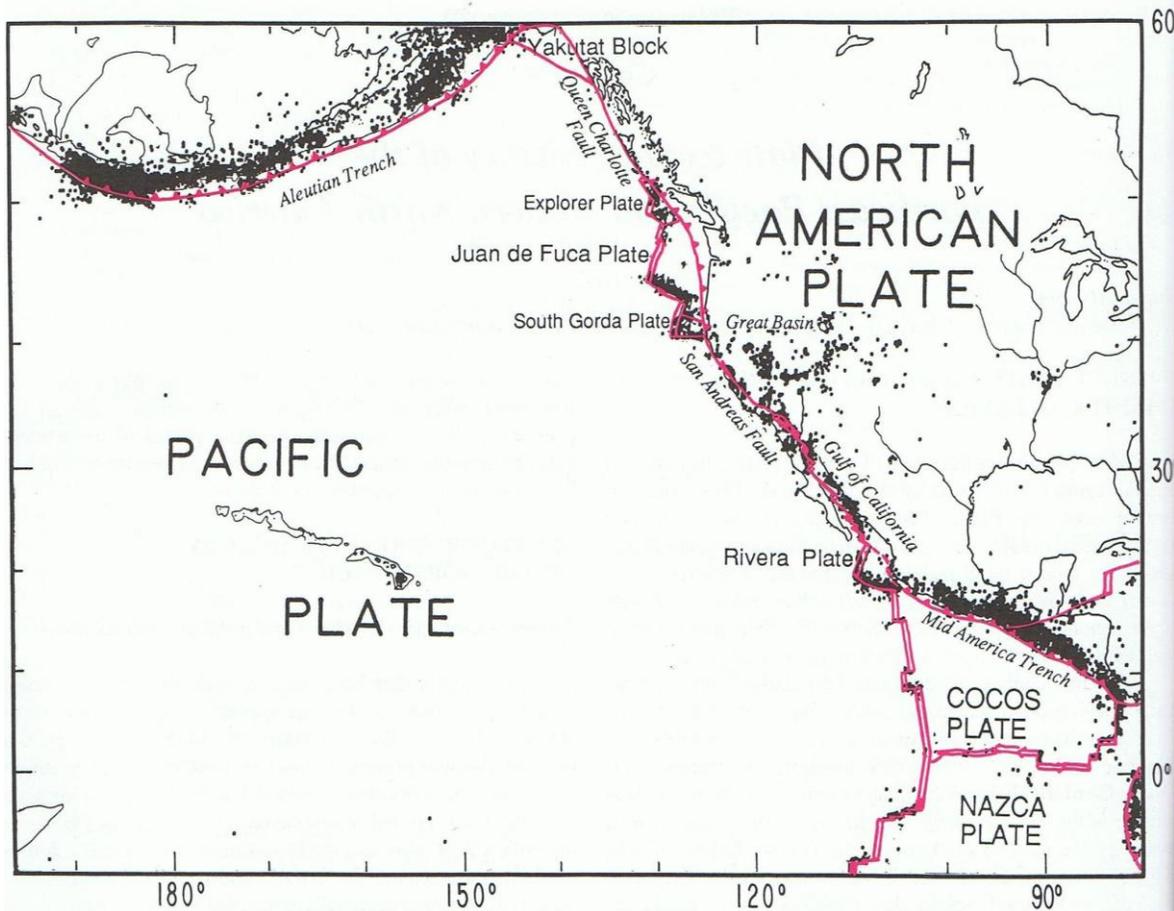


Figura 5. Sismicidad en los límites de placas en el Pacífico Oriental [Atwater, 1989]

Los límites de la Placa de Rivera lo conforman, al noroeste el segmento de la dorsal EPR referido como *Rivera Rise*, al noreste la Fractura de Tamayo se extiende hasta toparse con la Fosa Mesoamericana (Middle America Trench en inglés, MAT), formando los límites orientales de la Placa. El límite sur de la placa está delimitado por el sistema que conforma la zona de Fractura de Rivera, la Transformante de Rivera y una zona tectónicamente difusa que colinda con la fosa de MAT (Figura 6), formando este último segmento el límite con la Placa de Cocos. La transformante de Rivera difiere de otras fracturas entre placas; esta transformante presenta uno de los desplazamientos de cizalla más largos que

existen a lo largo de toda la Dorsal del Pacífico Oriental, así como una actividad sísmica más intensa comparada con otras fracturas en la Dorsal [Michaud et al., 1996, Bandy et al., 2010]. Esta larga transformante ha estado activa desde hace unos 2.5 millones de años. Mientras la placa de Rivera converge a la zona de subducción MAT con una tasa de 6 mm/año en sus límites del norte, muy cerca del archipiélago de las Islas Marías y aproximadamente de 20 mm/año en sus límites con la placa de Cocos, cercano al puerto de Manzanillo, Colima [Bandy et al., 2010].

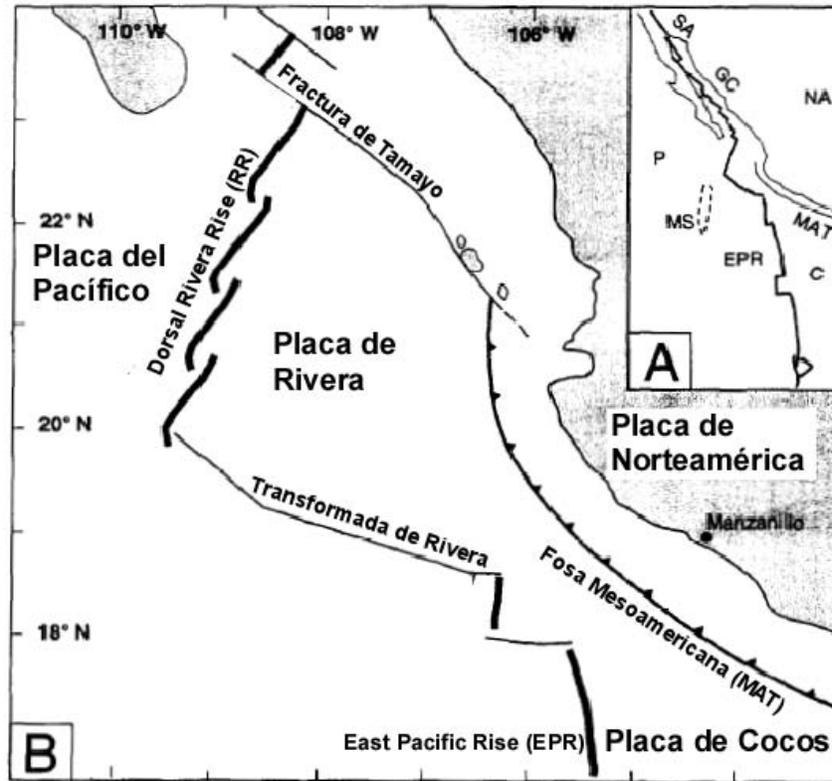


Figura 6. Límites tectónicos de la placa de Rivera. Al norte: Fractura de Tamayo; al este: la dorsal de Rivera Rise; al sur: la Transformada de Rivera y al oriente tenemos la Fosa Mesoamericana [Modificado de Michaud et al., 1996].

A partir de la interpretación de datos magnéticos marinos y batimétricos [e.g. Mammerrickx and Klitgord, 1982; Lonsdale, 1991], la microplaca de Rivera inició su formación aproximadamente hace 10 Ma cuando se separó de la Placa de Cocos a lo largo del extremo este de la Transformada de Clarión. Hace poco menos de 5 Ma, el segmento de la dorsal *Rivera Rise* se propagó hacia la corteza continental de la placa de Norte América, separando Dorsal de María Magdalena al occidente de Baja California, uniéndose por una zona de cizalla entre las placas del Pacífico y Norteamérica, mientras la Península de Baja California se anexaba gradualmente a la placa del Pacífico (Figura 7).

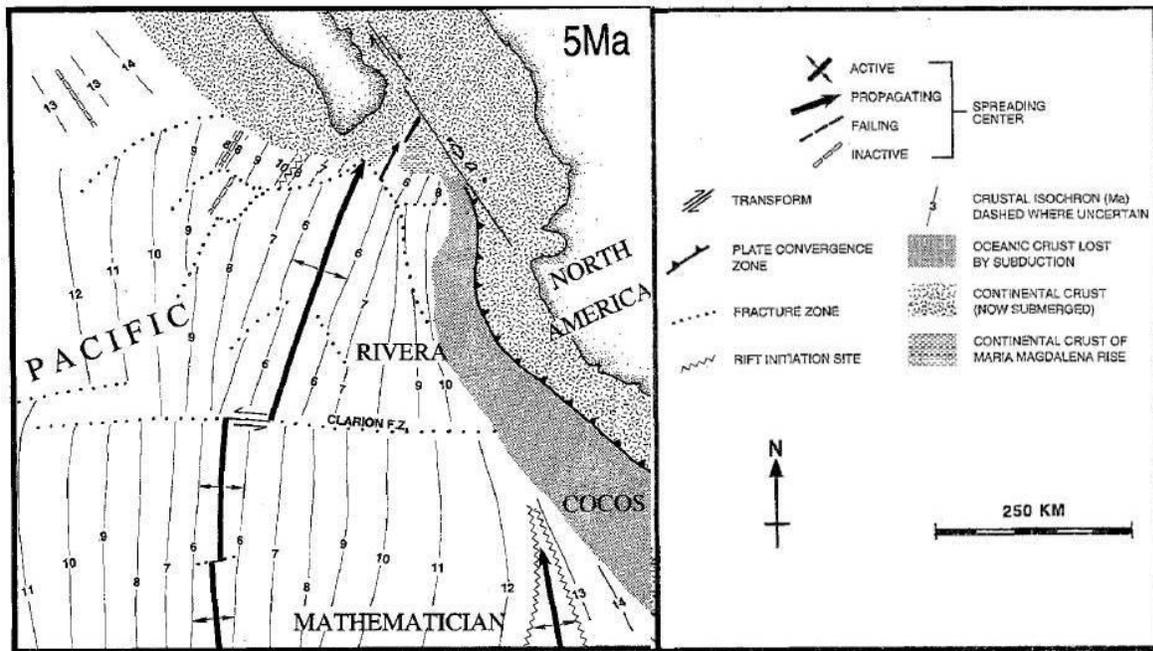


Figura 7. Configuración tectónica de la Placa de Rivera hace 5 millones de años [Modificado de Lonsdale, 1995].

Hace 3 millones de años, las dorsales al occidente de la península fueron abandonados, mientras que la dorsal *Rivera Rise* continuaba propagándose hacia el interior del Golfo de California, a la vez la Placa de Cocos continuaba desplazándose hacia el oriente en conjunto con la del Matemático. La parte Oeste de los límites de la placa de Rivera con la del Matemático estaba iniciando el límite que separaría la placa de Cocos de la placa de Rivera (Figura 8).

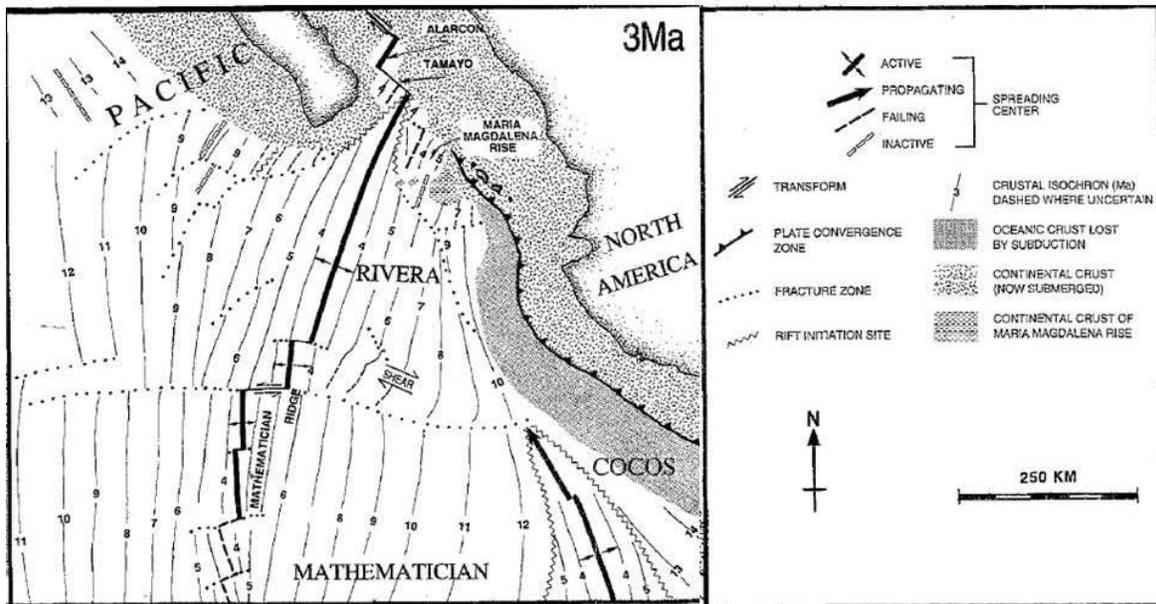


Figura 8. Configuración tectónica de la Placa de Rivera hace 3 millones de años [Modificado de Lonsdale, 1995].

Entre los 4 y 2 Ma de edad, la Dorsal de Rivera Rise se reorganizó y dio nacimiento a la Transformada de Rivera, haciendo que la microplaca del Matemático se incorporara a la Placa del Pacífico. Esta reorganización concretó los límites actuales de la Placa de Rivera (Figura 9) [Lonsdale, 1995].

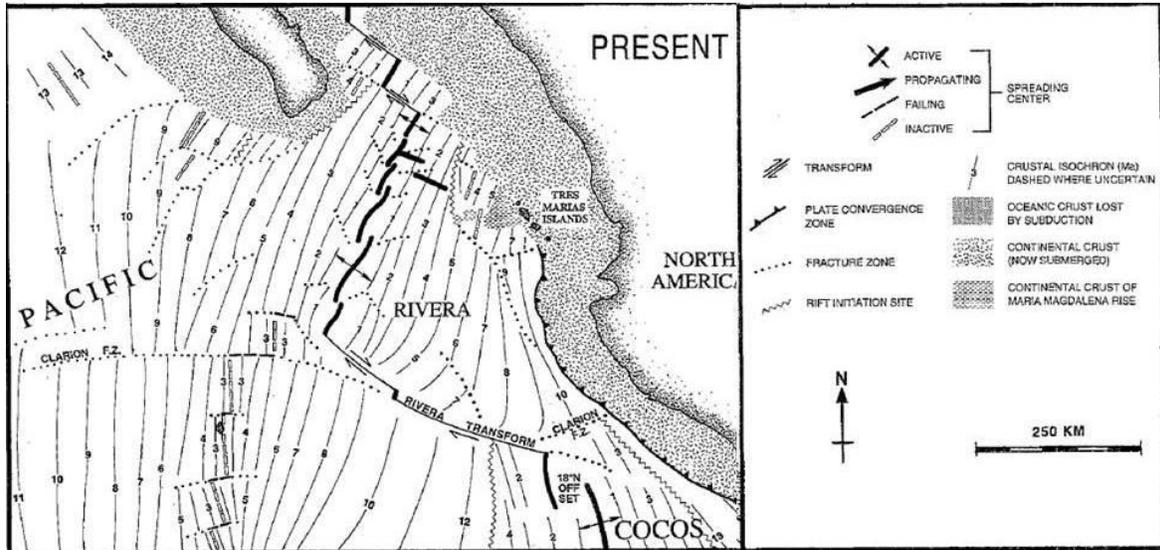


Figura 9. Configuración tectónica actual de la Placa de Rivera. La Transformada de Rivera es el límite entre placas de Rivera y Cocos, la microplaca del Matemático pasa a formar parte de la Placa del Pacífico [Modificado de Lonsdale, 1995]

2.3 Estudios previos en el sector central de la Placa de Rivera

Desde el descubrimiento de la Placa de Rivera, se han realizado diversas investigaciones en la región para entender la sismicidad, tectónica y su evolución geológica.

Perforaciones en la región norte de la Placa de Rivera muy próximo a la entrada del Golfo de California han encontrado sedimentos pelágicos con una edad de 4.5 millones de años. Frente a las costas de San José del Cabo en Baja California Sur, México, se encontraron depósitos de lodos hemipelágicos a consecuencias de un periodo de ambientes marinos someros que pudieron haber comenzado en el Mioceno Medio; similarmente en la parte del archipiélago de las Islas Marías también se encontraron lodos hemipelágicos [Lonsdale, 1989]. Estudios de

batimetría y magnetimetría antes de la década de los noventa determinaron que gran parte de la corteza oceánica en la Placa de Rivera es el resultado de la reorganización de la dorsal EPR antes de los 3.5 millones de años [Lonsdale, 1989]. El relieve está compuesto por bloques de fallas alineadas, así como cordilleras volcánicas por lo que es probable que en la planicie abisal de la placa de Rivera esté conformada por materia volcánica así como cubierta por lodos pelágicos y sedimentos terrígenos

En la década de los setenta y ochenta se realizaron largos perfiles de adquisición de información batimétrica, magnetométrica y sísmica a lo largo de la Placa de Rivera. En el buque oceanográfico RV Melville de la *Scripps Institution of Oceanography* se realizaron varios levantamientos entre 1973 y 1982 para compilar 4 perfiles, que atraviesan la parte Central de la Placa de Rivera de lo cual se derivó que en este sector el relieve del lecho marino estaba fragmentos continentales e ígneos, cubierto por sedimentación pelágica [Lonsdale 1989]. La Figura 10 muestra la ubicación geográfica de los perfiles y la Figura 11 muestra una interpretación de los datos batimétricos y magnéticos. Los perfiles A y B recorren de noroeste a sureste desde la entrada del Golfo de California hasta el Archipiélago de las Islas Marías, de los cuales su interpretación indica posibles fragmentos continentales. El perfil C de igual manera recorriendo de noroeste a sureste pero más al sur de los perfiles A y B, indica un depósito de sedimentos que cubre a estos fragmentos continentales. El perfil D es el más largo y lleva la misma dirección que los perfiles anteriores llegando hasta el inicio de la Fosa Mesoamericana, el cual muestra una cordillera volcánica así como cráteres de

volcanes, antes de empezar la Fosa Mesoamericana tenemos una zona de fractura la cual posiblemente funciona como límite entre las placas de Rivera y Cocos.

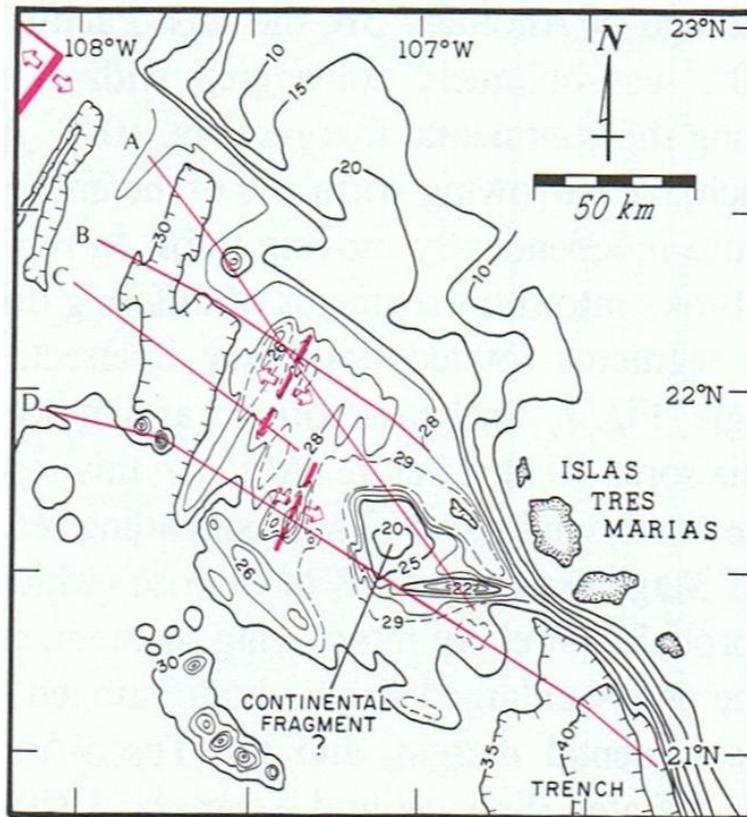


Figura 10. Ubicación geográfica de los perfiles en los que se adquirieron los datos del Buque Oceanográfico Melville [Modificado de Lonsdale, 1989].

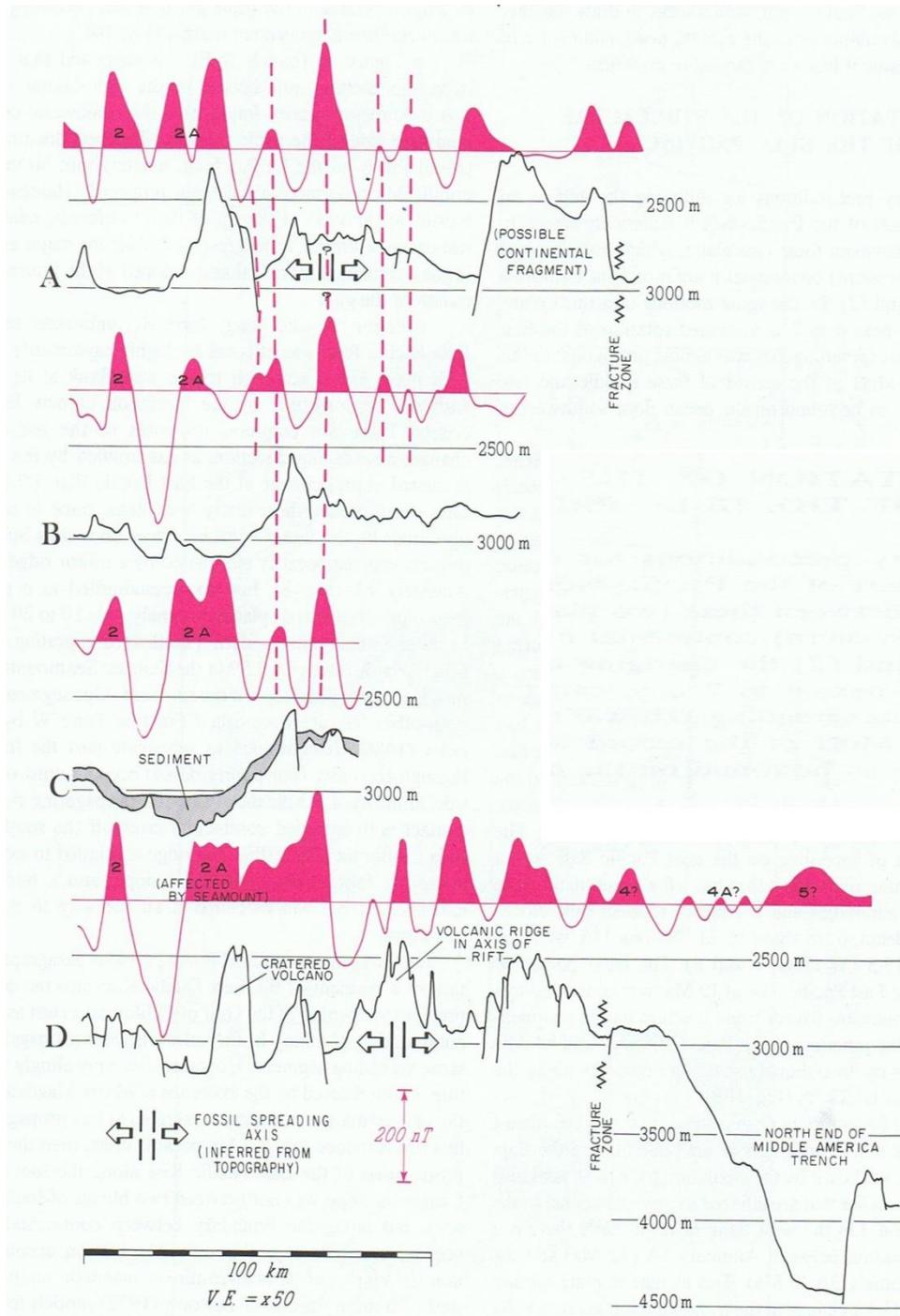


Figura 11. Interpretación sencilla de los perfiles adquirida por el Buque Oceanográfico Melville [Modificado de Lonsdale, 1989].

Otros estudios marinos dentro del programa internacional de perforaciones oceánicas: “Deep Sea Drilling Program) llevó a cabo una recuperación de núcleos de sedimentos marinos a bordo del buque *Glomar Challenger* durante el LEG 63 en 1978, alrededor del Golfo de California, para conocer las fluctuaciones y diagénesis de la materia orgánica en el mar, en los sedimentos y su relación tectónica en esta región, perforándose once pozos en siete sitios y recobrándose casi 3,600 metros de núcleos de sedimentos. De esas siete localizaciones, el sitio 473 fue perforado en la Placa de Rivera, con coordenadas $20^{\circ}57.92'$ N y $107^{\circ}.03.81'$ W, a una profundidad de 3,249 metros de la superficie, penetrando 287.5 metros por debajo del piso oceánico, obteniendo un total de 34 núcleos para obtener la columna estratigráfica en el sector central y extremo oriente de la Placa de Rivera (Figura 12) [Yeats et al., 1978].

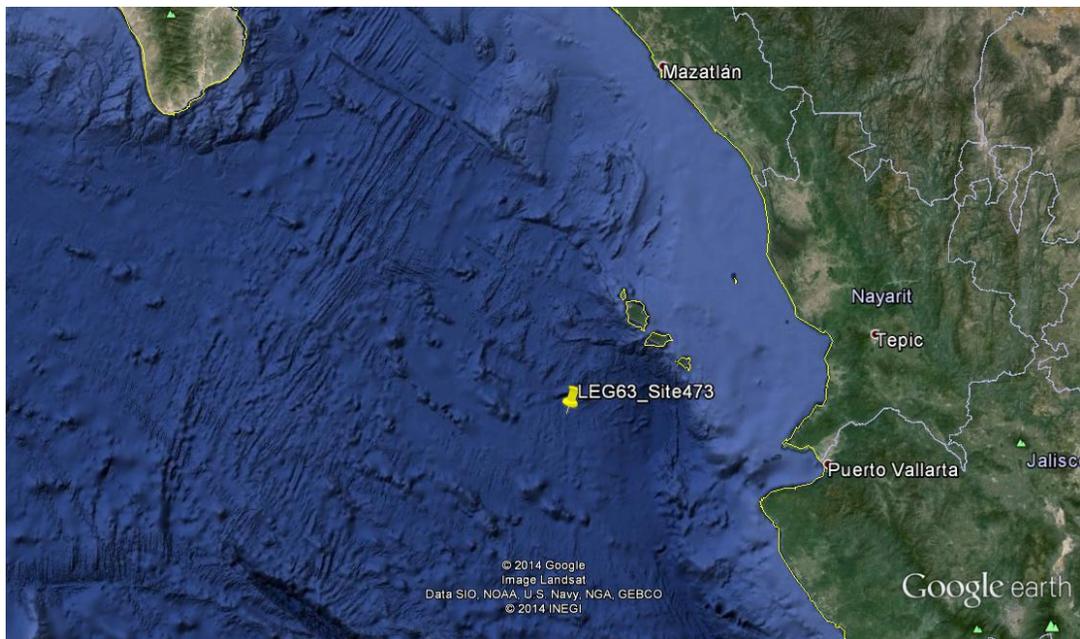


Figura 12. El sitio 473 de la campaña oceanográfica LEG63 perforó en la parte central de la Placa de Rivera [Google Earth, 2014].

El análisis petrológico de los núcleos determinó que la sedimentación marina tiene un espesor de 248.1 metros por debajo del fondo marino, encontrándose rocas arcillosas del Mioceno Superior y debajo de ellas, empezaba el basamento ígneo (Figura 13).

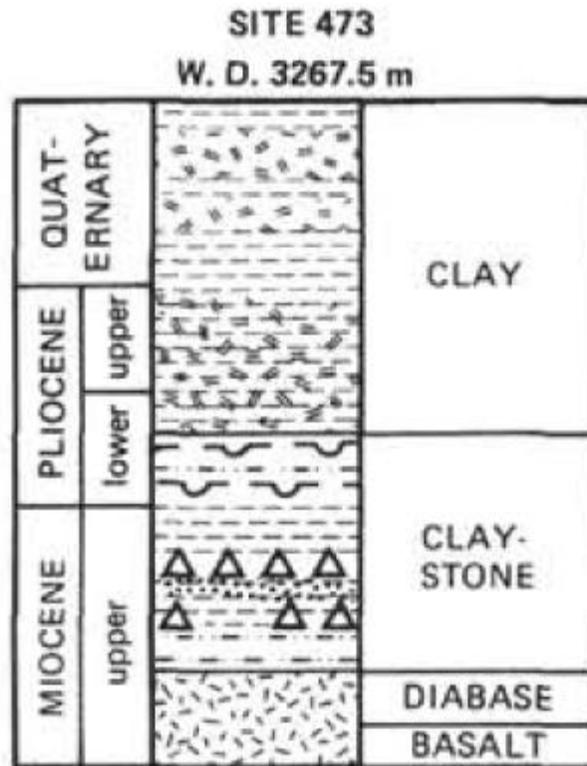
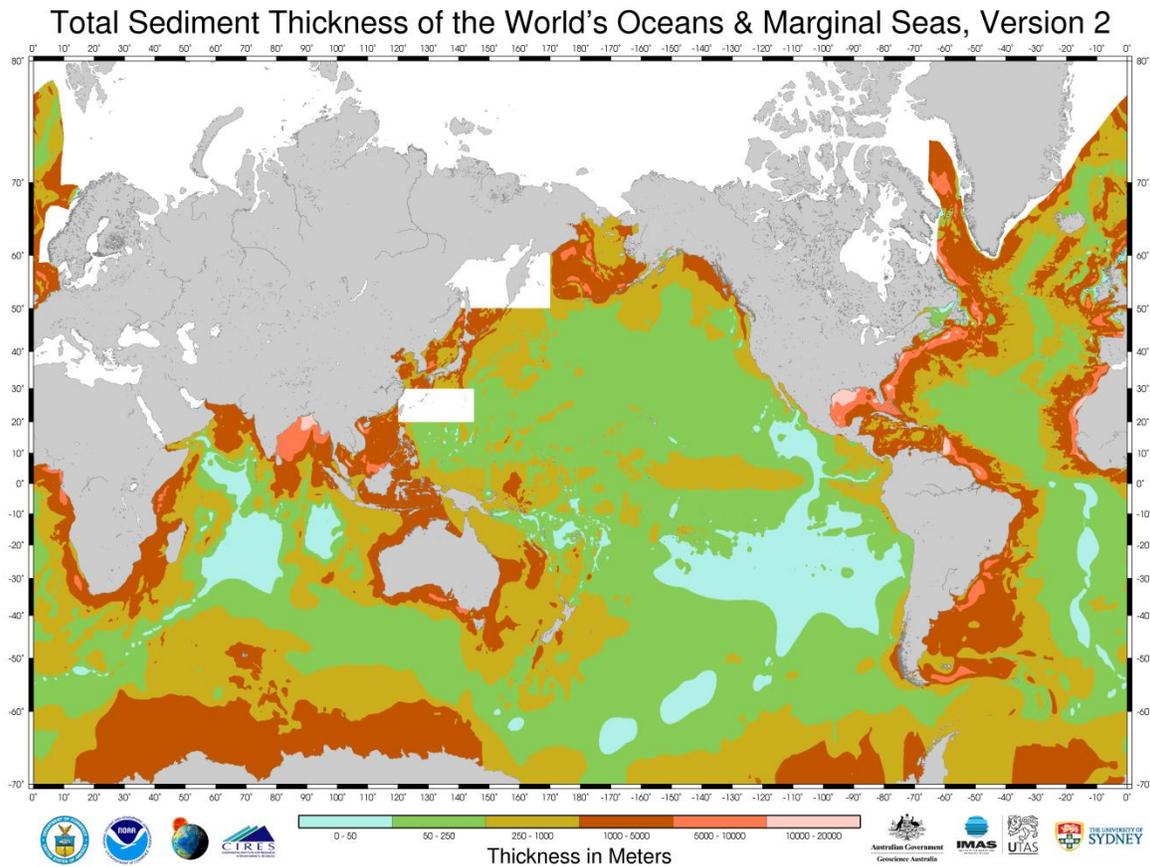


Figura 13. Columna estratigráfica del pozo 473 de la campaña oceanográfica DSDP-LEG63 [Yeats et al., 1978].

En 2013, el Centro Nacional de Información Geofísica (National Geophysical Data Center en Inglés) de la NOAA publicó un mapa mundial con de los espesores de sedimentos medidos en los lechos de los Océanos del Mundo, resultado de una recopilación de datos por Divins [2003], y complementado por

Whitaker et al. [2013] del Instituto de Estudios Marinos y Antárticos de Australia. Algunos de estos espesores son estimaciones a partir del procesamiento e interpretación de datos sísmicos de reflexión y refracción. En la región de la Placa de Rivera, estimaciones de espesores de sedimentos están entre 0 y 250 metros, cubriendo el piso oceánico de origen que fue formado en la dorsal (Figura 14).

a)



b)

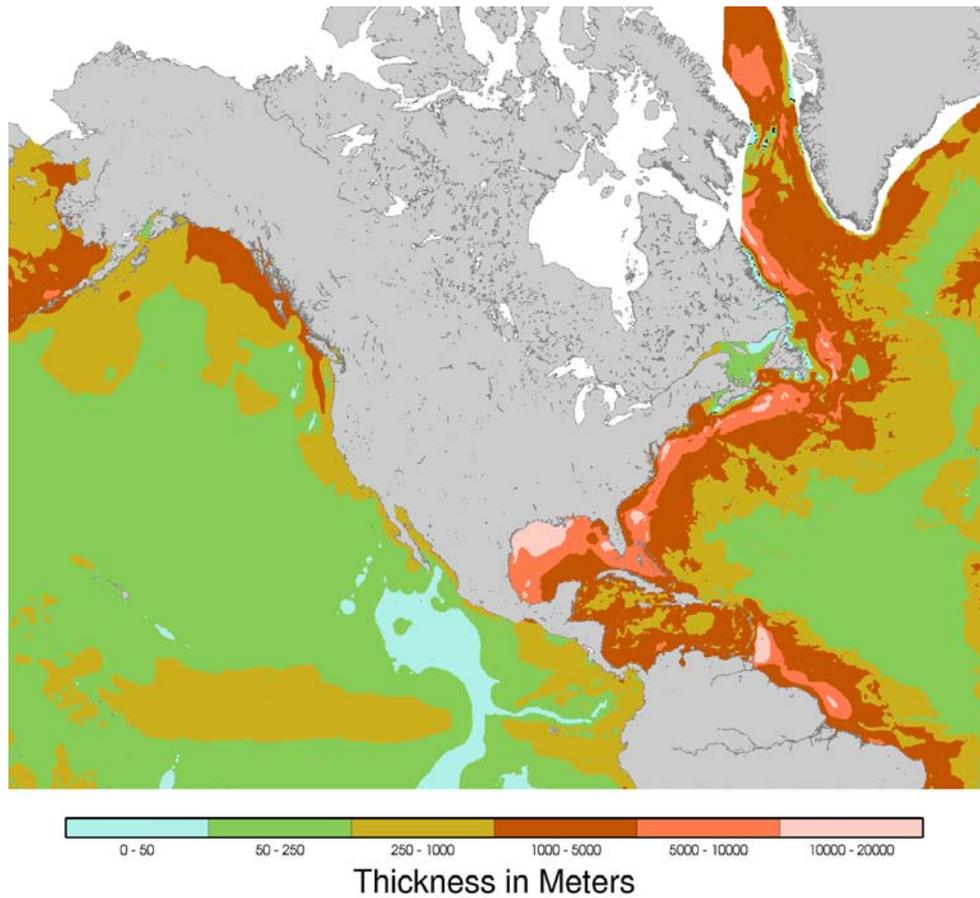


Figura 14. Mapa global de los espesores de sedimentos marinos. a) Mapa de estimación de espesores de sedimentos en todos los océanos, b) Acercamiento de los espesores en la parte norte oriental del Océano Pacífico. [Modificado de Whitaker et al., 2013].

Divins [2003] propone que la distribución de sedimentos está asociada a cinco factores principales: la edad de la corteza subyacente, la historia tectónica de la corteza oceánica, la tendencia estructural del basamento, la naturaleza de la fuente de los sedimentos, y la naturaleza de los procesos sedimentarios que depositan los sedimentos en las cuencas.

Las estimaciones de los espesores de sedimentos calculados por este trabajo son comparados con los resultados de las mediciones de batimetría multihaz, retro dispersión acústicas y de isócronas magnéticas del piso oceánico reportados en la tesis de Daniel Pérez Calderón [2015]. Su carta batimétrica del relieve del lecho oceánico en el sector central de la Placa de Rivera (Figura 15) muestra las variaciones de la profundidades que van de los 1600 metros (en las cimas de los montes submarinos) hasta los 3400 metros de profundidad. En la parte occidental de la carta (entre las longitudes 109° W y 108°20' W) se muestra la cima de la dorsal RR conformada por una provincia de gran rugosidad, donde el piso oceánico tiene una textura clara de las estructuras formadas por los aportes magmáticos de la dorsal. En la parte central de la carta, el relieve muestra cadenas de montes submarinos con formas de volcanes, rodeados por un relieve plano [Pérez-Calderón, 2015].

La imagen acústica de Backscatter o retro dispersión en el área de estudio (Figura 16) muestra la intensidad de la energía retrodispersada por la rugosidad y dureza del lecho marino; las zonas oscuras están asociadas a una gran rugosidad conformada por estructuras del piso oceánico, tal como se puede ver en la parte occidental del mapa, mientras que las zonas grises indican una batimetría de menor rugosidad y por zonas que el lecho que es plano como producto del aporte de la sedimentación, tal como se aprecia en la parte central y oriental de la imagen; la retrodispersión de los montes submarinos es caracterizada con colores más oscuros por la forma circular de sus estructuras y debido a la poca sedimentación que se acumuló en su cima y laderas.

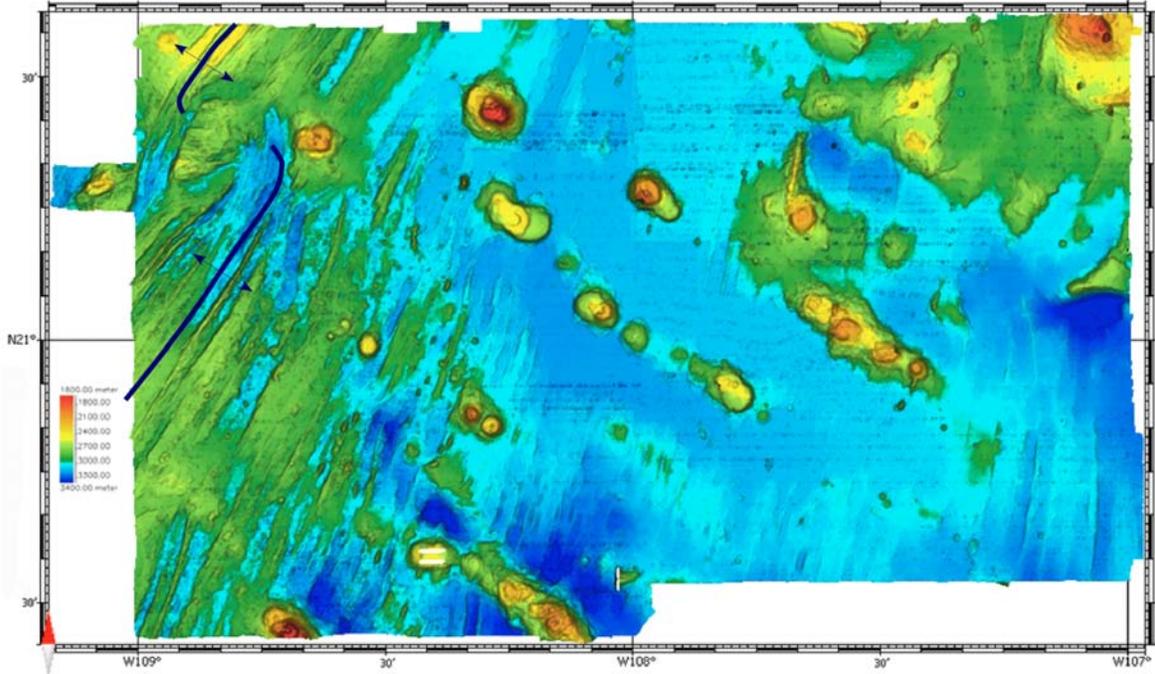


Figura 15. Batimetría del lecho marino en el sector central de la Placa de Rivera. La carta muestra las cadenas de los montes submarinos y las cimas de la dorsal Rivera-Pacífico, marcada por líneas solidas en azul [Pérez-Calderón, 2015].

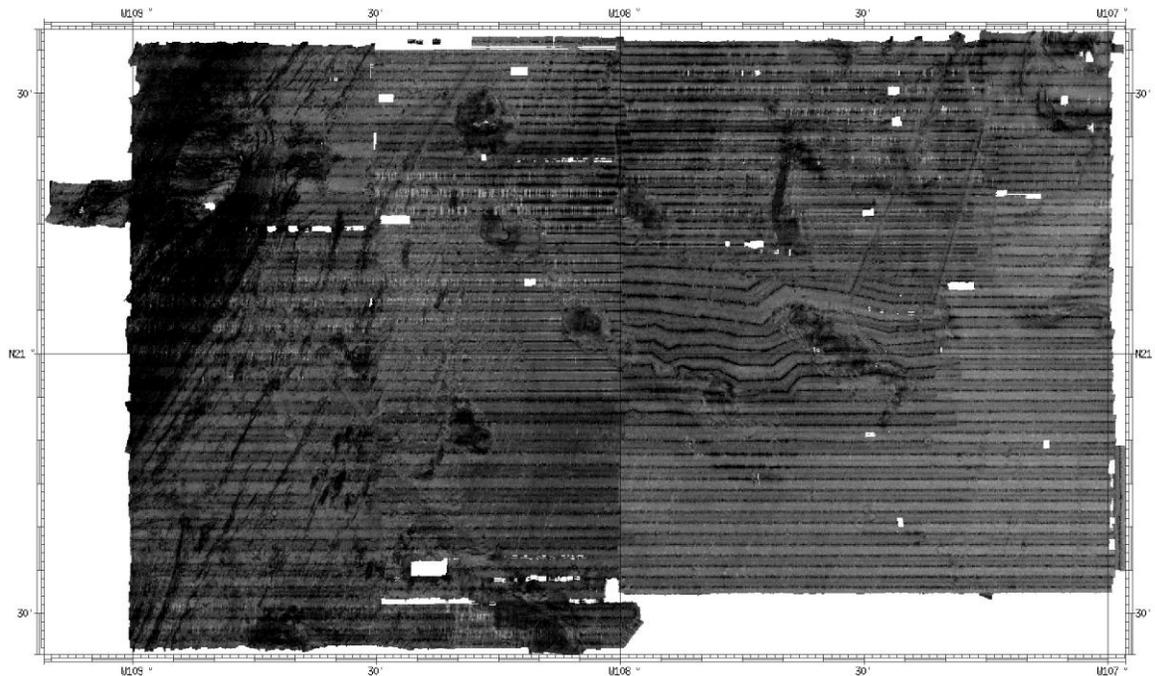


Figura 16. Imagen de retrodispersión acústica en el sector central de la Placa de Rivera [Pérez-Calderón, 2015].

Figura 17 muestra un mapa de las isócronas magnéticas con base a la escala de tiempo de polaridad geo-magnética de Cande and Kent [1992]. Además muestra los contornos de los montes submarinos, y el eje de la dorsal RR, que integró Pérez-Calderón [2015].

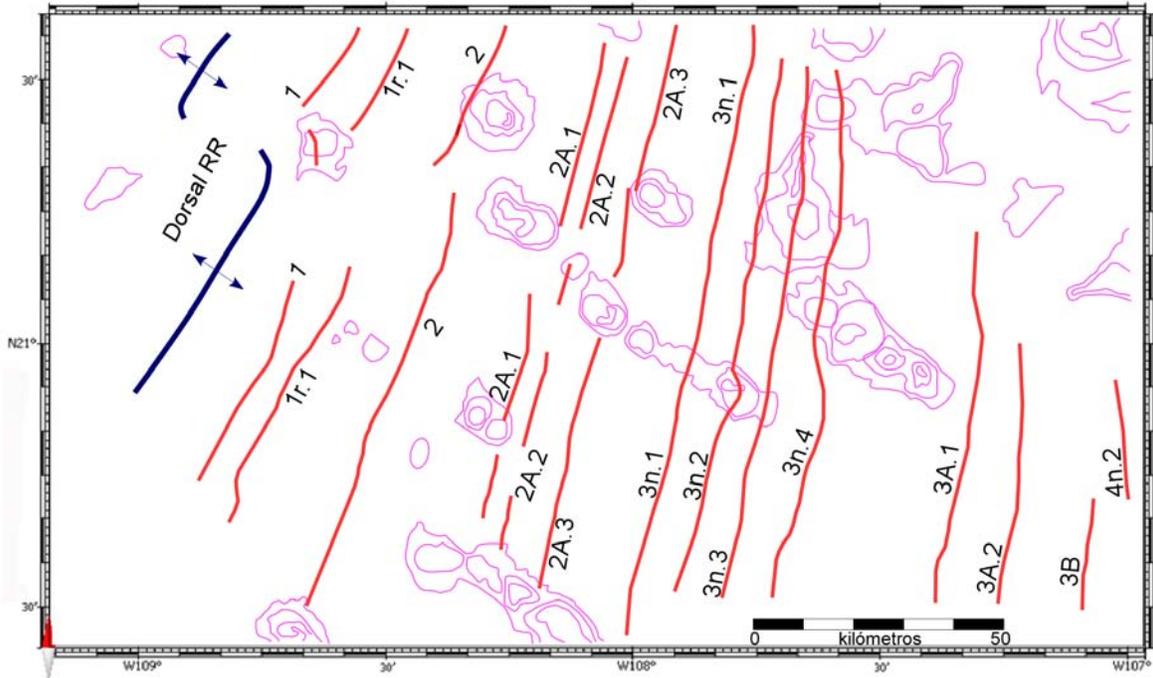


Figura 17. Mapa de las isócronas magnéticas en el sector central de la Placa de Rivera. Líneas rojas marcan las isócronas con denominaciones definidas en la escala de edades geológicas con base a Cande y Kent [1992], los contornos en magenta marcan las posiciones de los montes submarinos y el eje de la dorsal RR está delineado por líneas de divergencia en azul marino [Modificado de Pérez-Calderón, 2015].

III. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se exhiben los métodos para el desarrollo de la investigación donde se explican conceptos básicos de la sísmica de reflexión, así como su aplicación en la exploración en medio marino, el principio de medición del perfilador sísmico de alta resolución, la estimación de los espesores en las secciones sísmicas y los datos del sector central de la Placa de Rivera.

3.1. Conceptos básicos de sísmica de reflexión

La exploración sismológica es uno de los métodos de prospección geofísica más viables y eficientes en la actualidad, dicho método es una aplicación de los fundamentos en la sismología de terremotos. Los sismólogos utilizan datos registrados en sismógrafos en distintas localizaciones que capturan las ondas sísmicas originadas por una ruptura sísmica, y que se propagan a través de las rocas. 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 et al., 1990].

El método sísmico de reflexión está basado en el registro de los frentes de ondas sísmicas provenientes de la distintas interfaces del subsuelo. Estas interfaces son llamadas reflectores, que responden a contrastes de impedancia, producto de la diferencia de propiedades físicas entre las distintas capas geológicas (Figura 18).

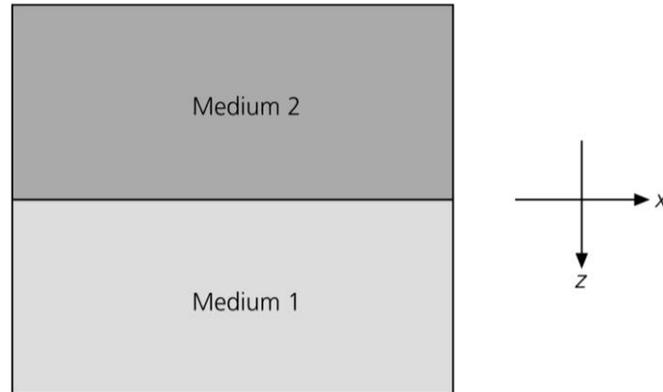


Figura 18. Un medio estratificado en donde cada capa posee diferentes propiedades que permiten la propagación o reflexión de la energía de las ondas elásticas [Stein et al., 2003].

El concepto de las reflexiones sísmicas está basado en la propagación de la onda sísmica en el medio, la cual se puede reflejar o refractar en un medio más profundo; este fundamento es de la primera Ley de Snell que dice que, si se considera una onda que se propaga en un material de velocidad uniforme V_1 , esa onda se reflejará con un determinado ángulo de incidencia i con respecto a la normal, y se refractará en un medio más profundo con una velocidad V_2 mayor que V_1 con un diferente ángulo de refracción r con respecto a la normal (Figura 19) [Stein et al., 2003]. La velocidad del segundo medio (V_2) en producto con el seno del ángulo de incidencia ($\text{sen } i$), es igual a la velocidad del primer medio (V_1) en producto con el seno del ángulo refractado ($\text{sen } r$) (Ecuación 3.1, Ecuación 3.2).

$$\frac{\text{Sen } i}{V_1} = \frac{\text{Sen } r}{V_2} \quad (3.1)$$

$$V_2 * \text{Sen } i = V_1 * \text{Sen } r \quad (3.2)$$

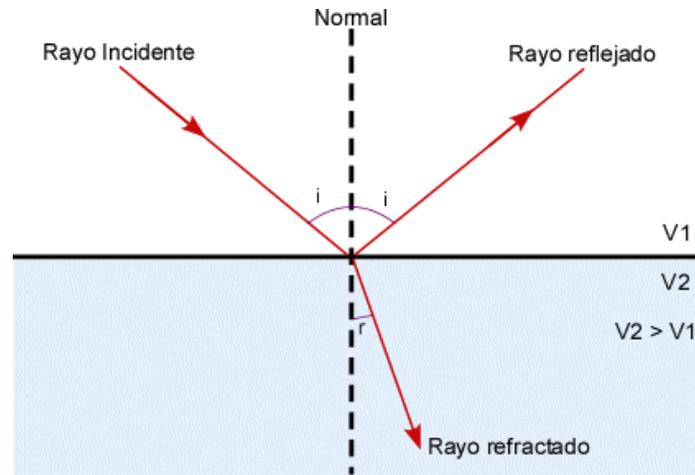


Figura 19. Ley de Snell: Al momento de incidir un rayo en una superficie homogénea, este se reflejará con el mismo ángulo en la superficie y se refractará en otro medio con un ángulo diferente.

Las interfaces del subsuelo definen una zona de contrastes entre determinadas propiedades litológicas y geofísicas. En la sismica de reflexión, cada uno de estos medios tiene una diferente velocidad de propagación. Las ondas de cuerpo pueden viajar largas distancias en las profundidades de la Tierra, estas ondas pueden ser ondas primarias (Ondas P), y las ondas de corte (Ondas S). Cada tipo de onda viaja con su respectiva velocidad y medio en el que puede propagarse. La velocidad de las ondas P depende del Módulo de incompresibilidad (k), el Módulo de corte (μ) y la densidad del medio en el que se propaga (ρ), siendo el movimiento de las partículas paralelo a la dirección de propagación.

$$V_p = \left(\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

La velocidad de las ondas S solamente depende del módulo de corte y de la densidad del medio, siendo una menor velocidad a la de las ondas P. Las partículas de movimiento de las ondas S viajan en una normal a la dirección de propagación.

$$V_s = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Dado que en la columna de agua no puede existir un módulo de corte, las ondas S no se pueden propagar en medio fluidos, por lo que, no se registran con los sensores del barco exploratorio.

La exploración sísmica en un medio marino varía al terrestre tanto en el uso de la fuente de energía sísmica, así como en el esquema de registrar la llegada de las ondas elásticas, viajando a través de la columna de agua y los estratos debajo del piso oceánico.

Las secciones sísmicas del presente trabajo son adquiridas utilizando el método de la sísmica de reflexión de alta resolución mono canal. La adquisición de datos con sísmica mono canal se lleva a cabo utilizando los perfiladores sísmicos de fondo marino (referidos en inglés como *Sub-Bottom Profilers*). Este sistema mono canal solamente tiene una fuente y un receptor 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 subsecuentemente recibe la señal a una distancia mayor posterior a la emisión (Figura 20). Este método proporciona una imagen rápida de la secuencia sedimentaria en el subsuelo del fondo marino.

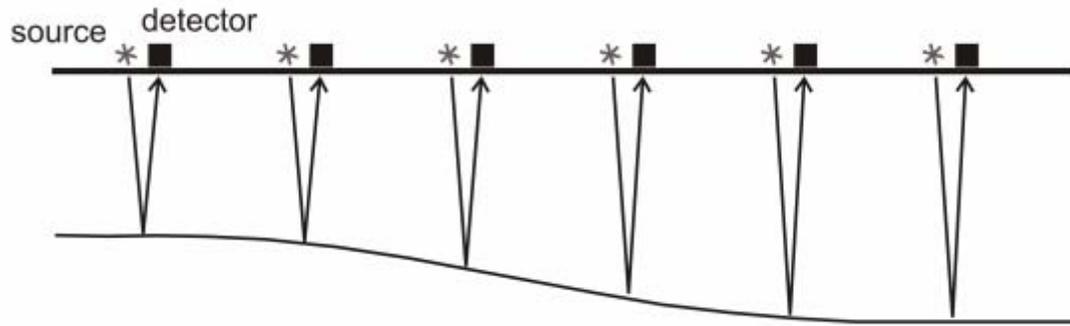


Figura 20. Adquisición de datos sísmicos con un solo canal en el medio marino [Jeff Gu, 2014].

3.2. Adquisición de datos con el perfilador sísmico de alta resolución

El perfilador sísmico (Sub-Bottom Profiler) es un sistema basado en los anteriores conceptos para caracterizar la geometría de las distintas capas de materiales y horizontes debajo del fondo marino.

Dependiendo de la fuente generadora y los receptores, los perfiladores sísmicos de fondo marino se pueden clasificar en *Boomer* o *Pinger*. Los perfiladores de tipo *Boomer* tienen como fuente una descarga de alto voltaje creando una implosión que es registrada con receptores arrastrados atrás del buque. Los perfiladores de tipo *Pinger* (Figura 21) utilizan como fuente energía acústica a través de un transductor, un receptor, y una computadora de control para el registro de datos. Los transductores permiten obtener altas frecuencias, pero su penetración es reducida. El pulso de los transductores es modificado con señales tipo Chirp o Ricker. Además, este perfilador sísmico mono canal despliega las trazas sísmicas

a distancias muy cerca de la posición emisora facilitando el procesamiento de datos sísmicos.

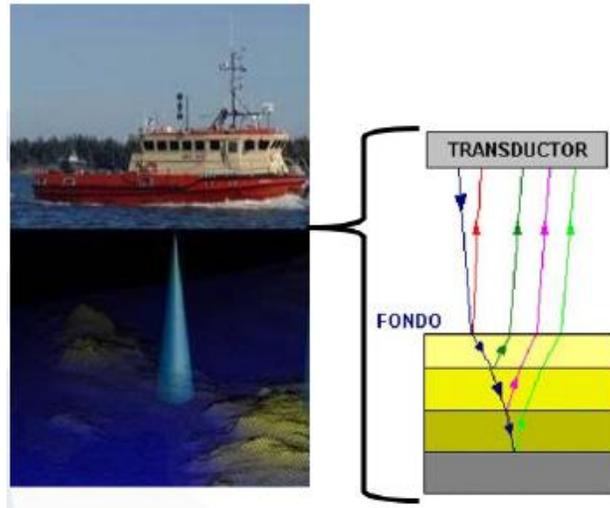


Figura 21. Perfilador Sísmico de tipo *Pinger*. Consta de un transductor que emite la fuente de energía en forma de un pulso sísmico reflejándose en las interfaces del fondo marino. [Equipos Marinos Bentos, Chile]

El equipo que utiliza el Buque Oceanográfico “El Puma” para adquirir datos sísmicos, es un perfilador sísmico TOPAS (Topographic Parametric Sonar) modelo PS 18 de la marca noruega Kongsberg. 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 PS 18 depende del tirante de agua. 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 todos los transectos que se

levantaron en el sector central de la Placa de Rivera 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. La Figura 22 muestra la configuración del perfilador TOPAS PS 18.

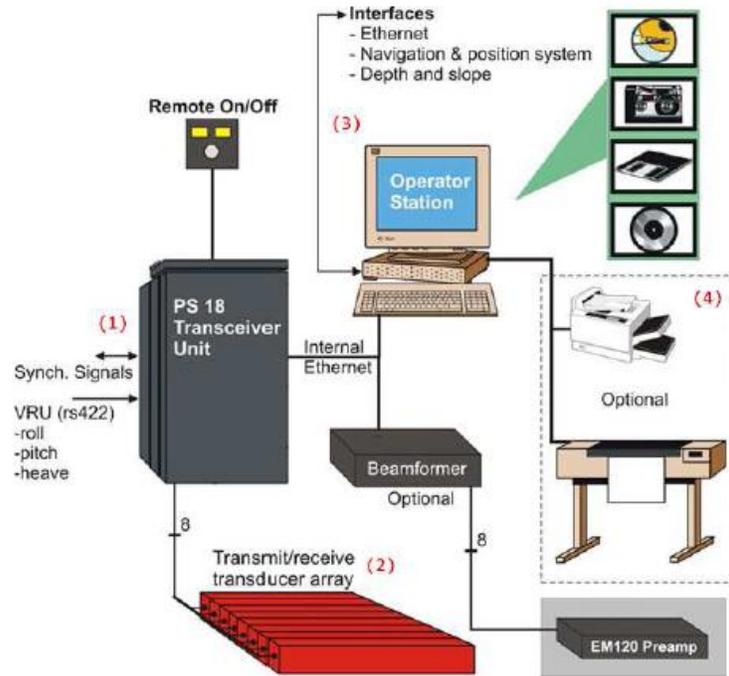


Figura 22. Elementos del perfilador sísmico TOPAS PS 18. Consta de la unidad de Transceiver, el transductor (que emite el pulso sísmico), y la consola de operación donde se procesan los datos al momento de la adquisición. [Manual de Operación TOPAS PS 18].

La configuración del perfilador consta de las siguientes partes:

1. Un 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. Un transceiver que 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 de la localización del transductor.
3. Una consola de operación donde se realiza el registro de los datos al momento de adquisición, así como las correcciones de las geometrías. En el buque "El Puma" esta consola se encuentra en la Central de Registros.

El ángulo del haz del TOPAS PS 18 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.

La emisión vertical del TOPAS PS 18 es estabilizada electrónicamente a través de los registros de cabeceo (*pitch*), balanceo (*roll*) y oleaje (*heave*) del buque y además, por los cambios de dirección que el buque realiza por efectos de la corriente del mar y vientos

Los datos registrados durante el levantamiento son desplegados en cuasi-tiempo real en las pantallas de la Central de Registros del buque. El principio de medición del TOPAS PS 18 muestra las imágenes con la escala horizontal (distancias) muy diferente a la vertical, debido a que es de alta resolución. La captura de los datos TOPAS puede ser en formato SEG Y, o en formato RAW de Kongsberg. En cuanto a la operación de los programas en los equipos, 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 desplegarlos en el programa de TOPAS para procesar la información. El modo “Repeat” se utiliza cuando se transfieren datos por red para ser desplegados en otra terminal.

3.3. Procesamiento de datos sísmicos de reflexión de alta resolución

El post-procesamiento de los datos del perfilador sísmico se realizó con el software TOPAS Replay de Kongsberg. Este software reproduce los archivos .RAW del perfilador que se encuentran en un formato Eco grama, propiedad de Kongsberg. Al inspeccionar de nuevo los registros el despliegado de los datos permite analizar con mayor detalle las secciones sísmicas a través de acercamientos y utilizando cambios de la paleta de colores para examinar el apilamiento de las trazas registradas. Todas las secciones sísmicas se reprodujeron a una velocidad de 30 milisegundos. La velocidad de reproducción establece el intervalo de tiempo mínimo entre la lectura y el ping de cada archivo, a menor tiempo mayor será la velocidad de reproducción, pero disminuye la resolución horizontal de la sección sísmica.

Los siguientes modos del TOPAS Replay se utilizaron para mejorar la relación señal-ruido y la calidad de la imagen:

Matched Filter: Este filtro nos ayuda a mejorar la resolución de la imagen comprimiendo la energía de la señal mejorando la relación señal-ruido de la imagen, está dado por la siguiente fórmula:

$$F(f) = W * (f) \quad (3.5)$$

Donde $W(f)$ es la transformada de Fourier compleja de la ondícula transmitida.

Control de la Ganancia: La ganancia es la etapa del procesamiento de datos que modifica la amplitud de las trazas sísmicas. Una opción del TOPAS Replay es el modificado automático y manual de la amplitud de las trazas. Las amplitudes débiles se amplifican y las fuertes se atenúan cambiando la imagen. Por ejemplo, si en la imagen sísmica la señal se ve muy débil debido a la profundidad, la señal tendría a perderse mucho, pero con este modo, la amplificación de la amplitud tiende a marcar mejor los reflectores.

Bottom Tracker. Esta parte del procesado nos ayuda a encontrar el fondo marino en milisegundos debido a que hay grandes cambios de profundidad en los perfiles. El *Bottom tracker* puede ser automático o manual, aunque lo recomendable es dejarlo en manual para llevar el control de lo que se quiere ver del perfil sísmico.

Apilamiento de Trazas: Es un proceso utilizado comúnmente para la sísmica multicanal, en los sistemas de un sólo canal como los datos con los que se trabajó, el apilamiento ayudó a reducir los ruidos aleatorios en los datos.

Filtrado de Pasa bandas: Con la finalidad de mejorar la relación señal-ruido, se aplica el filtrado Pasa-bandas, cuyo ancho de bandas está definido por el espectro de frecuencias de la señal recibida.

3.4. Estimación de espesores de sedimentos

Debido a que todas las secciones sísmicas se encuentran con profundidad en dominio del tiempo en milisegundos, se convirtieron las mediciones de los espesores de los paquetes de sedimentación a metros con base a la velocidad de propagación de ondas sísmicas en sedimentos del Océano Pacífico de 1,700 m/s [Yeats et al., 1978]. La conversión se realizó despejando la variable de distancia (espesor en metros de los sedimentos) en la ecuación de velocidad donde:

$$Velocidad \left[\frac{m}{s} \right] = \left(\frac{Espesor [m]}{Tiempo [s]} \right) \quad (3.6)$$

$$Espesor [m] = Velocidad \left[\frac{m}{s} \right] * Tiempo [s] \quad (3.7)$$

La trayectoria de viaje de la onda sísmica que emite el perfilador toca el fondo y regresa al receptor del barco, entonces es necesario dividir el tiempo entre dos para conocer solamente el espesor de una sola trayectoria. La información de tiempo desplegada en las secciones sísmicas se presenta en milisegundos por lo que se consideró la conversión de milisegundos a segundos para respetar las unidades métricas. (Ecuación 3.8).

$$E_s = \frac{\left(1700 \left[\frac{m}{s} \right] \right) (t_s [ms] / 1000)}{2} \quad (3.8)$$

Donde E_s es el espesor de los sedimentos en metros, 1700 (m/s) es la velocidad aproximada de propagación de ondas sísmicas en sedimentos marinos, y t_s es la lectura del espesor en milisegundos.

3.5. Datos en el sector central de la Placa de Rivera

La adquisición de los datos en el sector central de la Placa de Rivera empezó en el año 2006 y terminó hasta el 2012, involucrando siete campañas oceanográficas. Los levantamientos marinos adquirieron datos de magnetometría, batimetría multi-haz y reflexión sísmica de alta resolución. Las campañas Oceanográficas que trabajaron en la placa fueron BABRIP06 en 2006, MAMRIV07 en 2007, MAMRIV08 en 2008, MORTIC08 en 2009, GUAYRIV10 en 2010, BATIBAJA11 en 2011 y MAMRIV12 en 2012. La Figura 23 muestra la geometría de las siete campañas que dio un detallado cubrimiento del área.

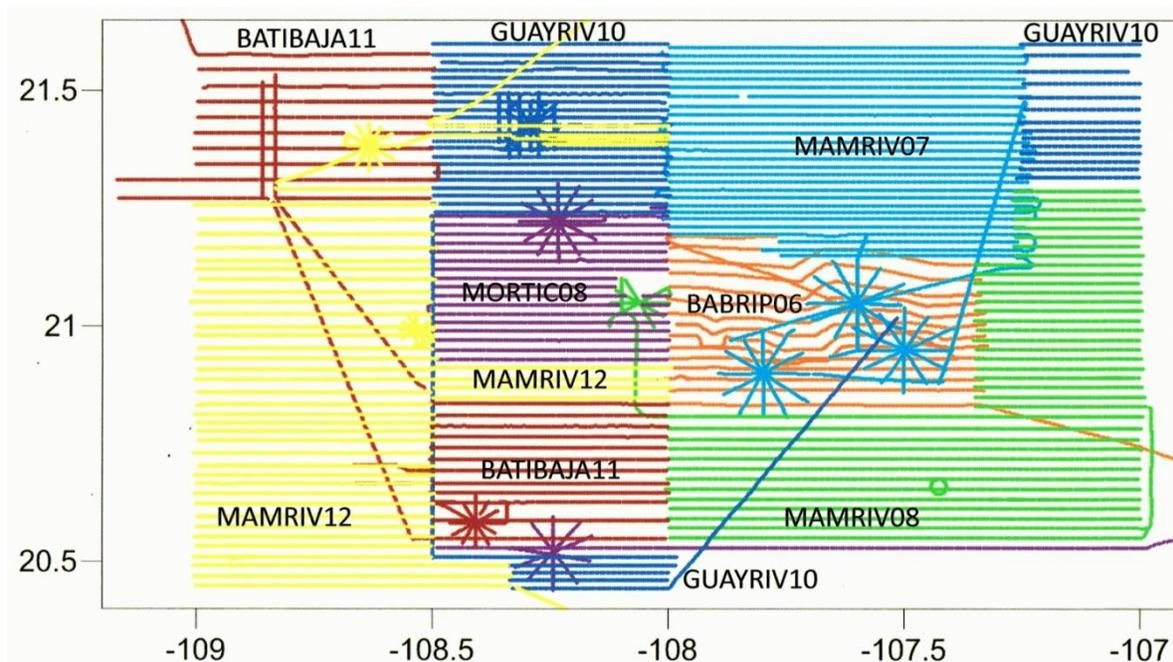


Figura 23. Geometría del levantamiento de geofísica marina en el sector central de la Placa de Rivera.

El área total del levantamiento abarcó 27,950 kilómetros cuadrados con un total de 204 secciones sísmicas adquiridas. Los siete levantamientos se realizaron con transectos de Oeste a Este y viceversa. Varias de estas campañas oceanográficas fueron hechas durante la primera o segunda etapa de las expediciones marinas. Este trabajo presentará información de todas las campañas, con excepción de la campaña GUAYRIV10, debido a la poca calidad en los datos registrados.

La primera campaña que se realizó como parte de este estudio fue BABRIP06, en la cual se emplearon 4 días desde el 8 hasta el 11 de octubre de 2006, adquiriendo un total de 15 secciones sísmicas. Los transectos de BABRIP06 tienen varias desviaciones en comparación con los transectos de las otras campañas que muestran una tendencia más lineal (Figura 24). El levantamiento de la campaña está definido por un sector que va desde 20.82° N hasta 21.18° N, y desde 108° W hasta 107.33° en longitud. La longitud de los transectos es de aproximadamente 70 km.

La campaña MAMRIV07, cubrió la zona del estudio por 11 días, desde el 12 hasta el 22 de diciembre de 2007, adquiriendo un total de 27 secciones sísmicas. El levantamiento de la campaña está definido entre 21.15° N y 21.6° N, y entre 108° W y 107.23° W (Figura 25). La longitud de los transectos alcanzó los 80 km.

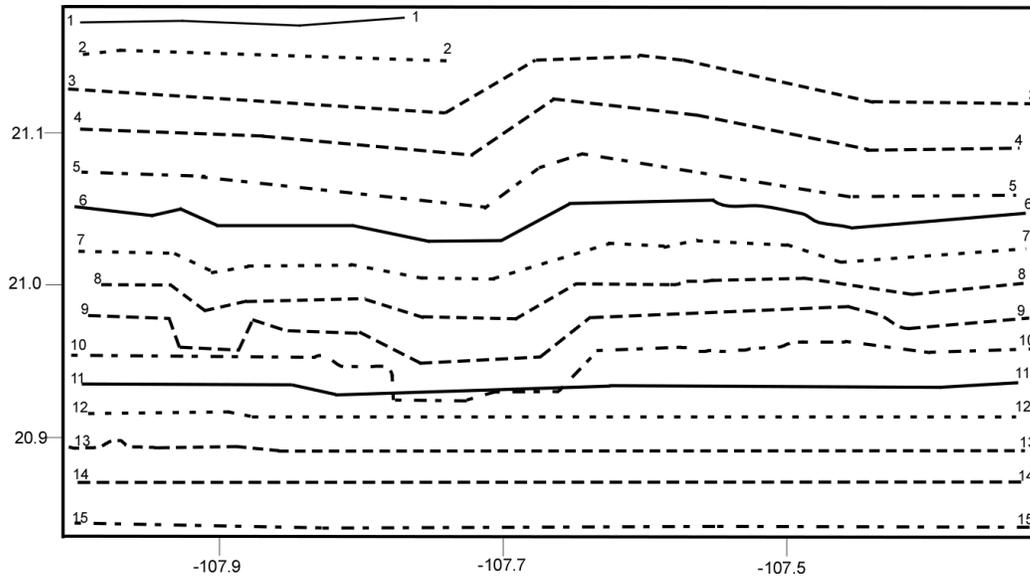


Figura 24. Los transectos de la campaña BABRIP06, en la parte central del área de estudio en la Placa de Rivera

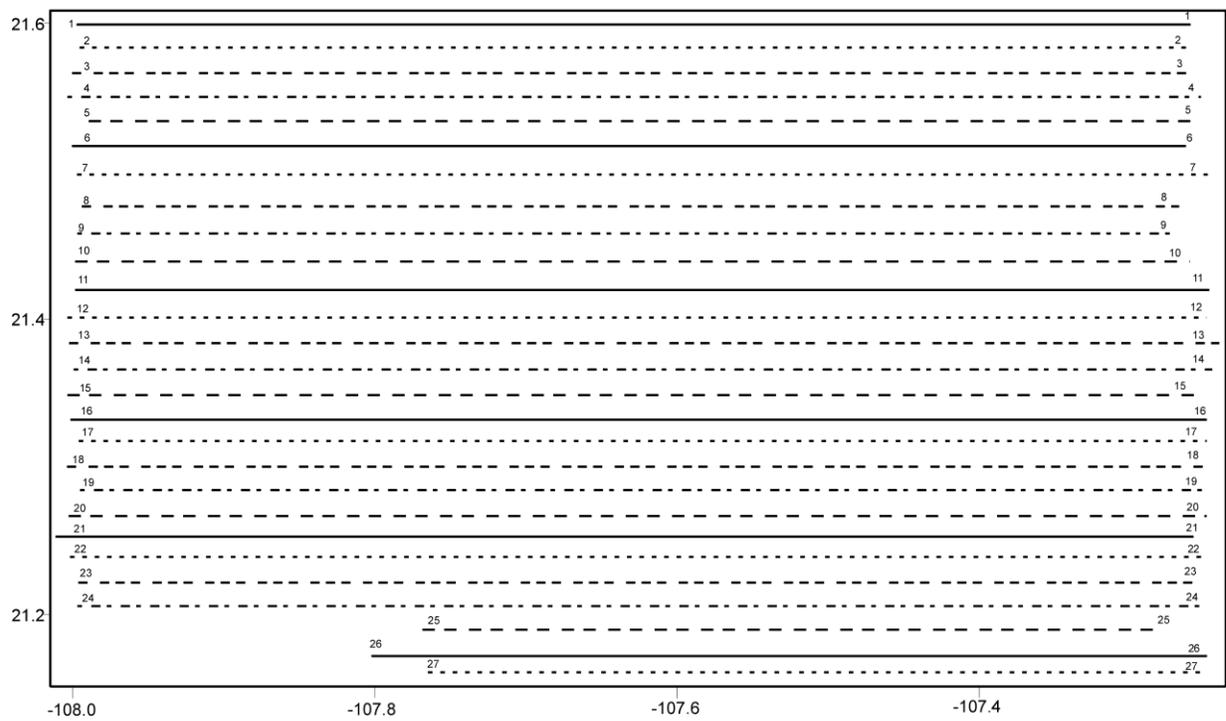


Figura 25. Los transectos de la campaña MAMRIV07 en la parte superior central del área de estudio en la placa de Rivera

La campaña MAMRIV08 adquirió datos por 8 días en el área de estudio, desde el 17 hasta el 24 de octubre de 2008, adquiriendo un total de 37 secciones sísmicas. El levantamiento de la campaña está definido entre 20.55°N y 21.3° N, y entre 108°W y 107° W (Figura 26). En la parte Norte del levantamiento en esta campaña, los transectos son más cortos, con longitudes de aproximadamente 35 km; en la parte Sur, los transectos son más largos, alcanzando 100 km de longitud, cubriendo desde 108°W hasta 107°W.

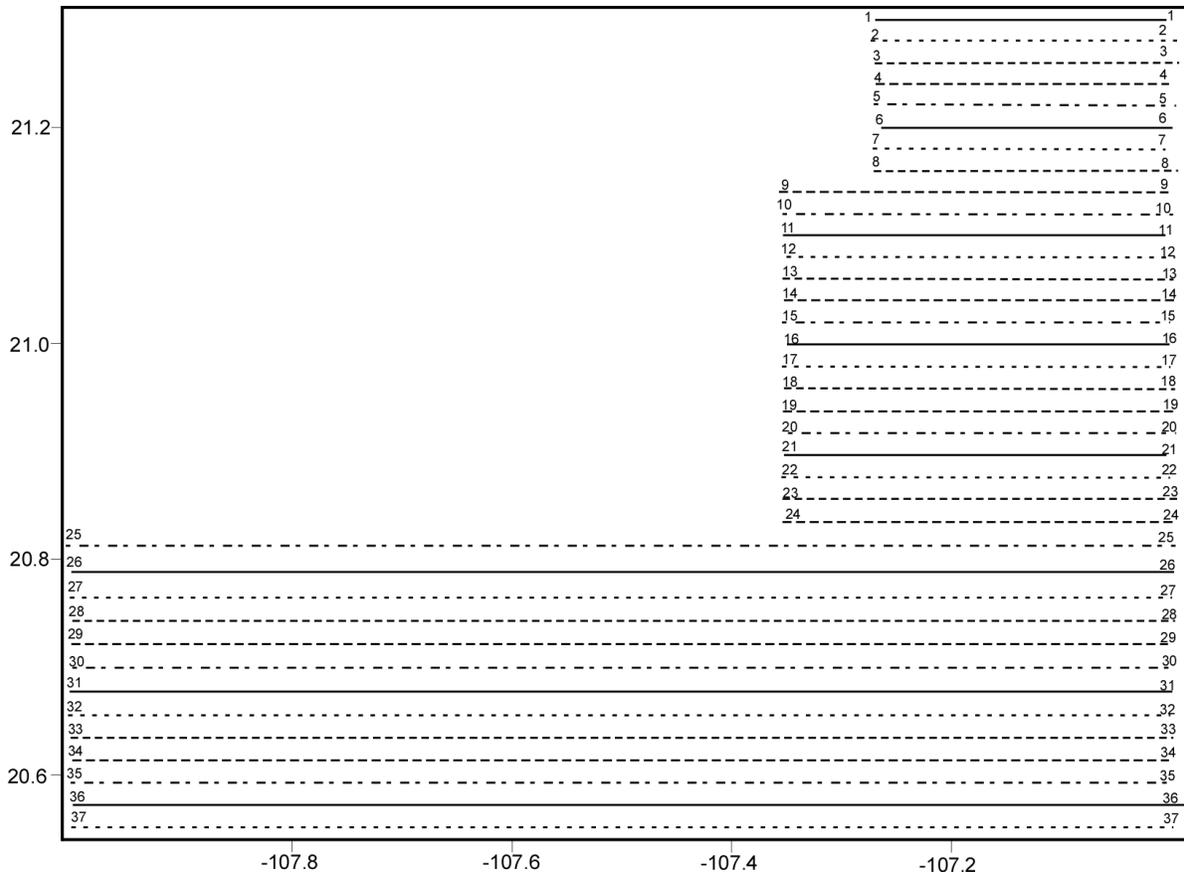


Figura 26. Los transectos de la campaña MAMRIV08 en la parte oriental del área de estudio en la Placa de Rivera.

La campaña MORTIC08 duró 5 días en la zona del estudio, desde el 18 hasta el 22 de 2009 (Figura 27) adquiriendo un total de 19 secciones sísmicas. Dieciocho transectos están comprendidos entre los 20.92°N y 21.24° N, y entre 108.5°W y 108°W, solo un transecto más largo fue hecho sobre 20.53°N entre 108.5°W y 107°W. La longitud de los 18 transectos es de aproximadamente 50 km.

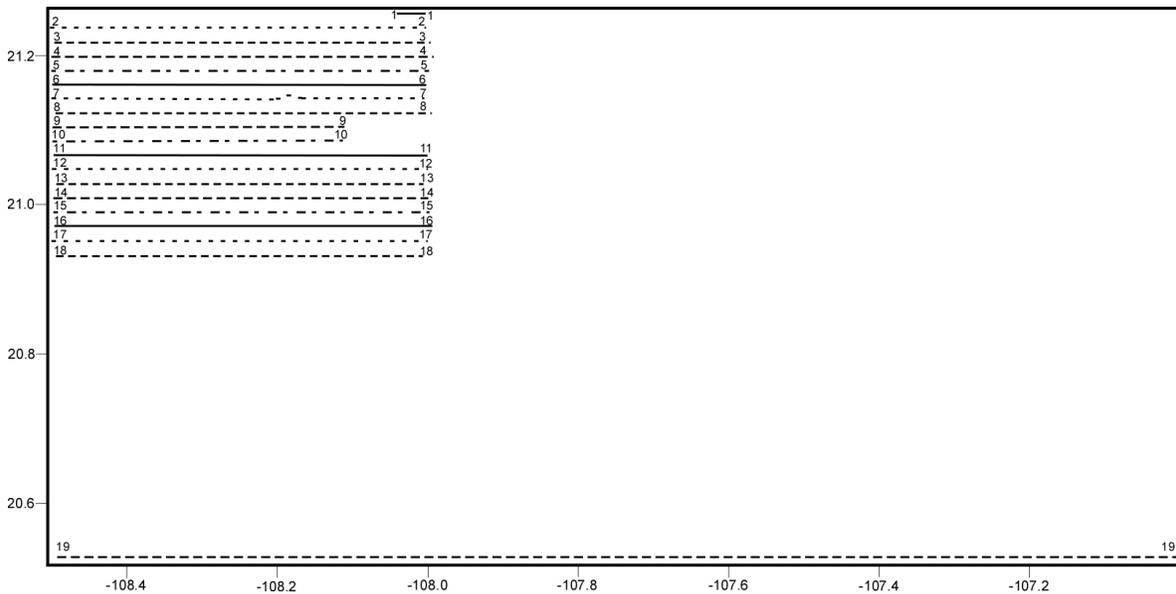


Figura 27. Los transectos de la campaña MORTIC08 en la parte central occidental del área de estudio.

La campaña BATIBAJA11 registró datos por 6 días en el área de estudio, desde el 8 hasta el 13 de septiembre de 2011, adquiriendo un total de 22 secciones sísmicas. En esta campaña se adquirieron datos en dos sectores del área de estudio: (1) en la esquina superior occidental, y (2) en la parte central-sur (Figura 28). El levantamiento en la esquina superior occidental está entre 21.2°N y 21.6°N, y entre 109°W y 108.5° W. El levantamiento de la parte central sur está

entre 20.5° N y 20.85°N, y entre 108.7°N y 108°W. La longitud aproximada de los transectos de BATIBAJA11 es de 50 km.

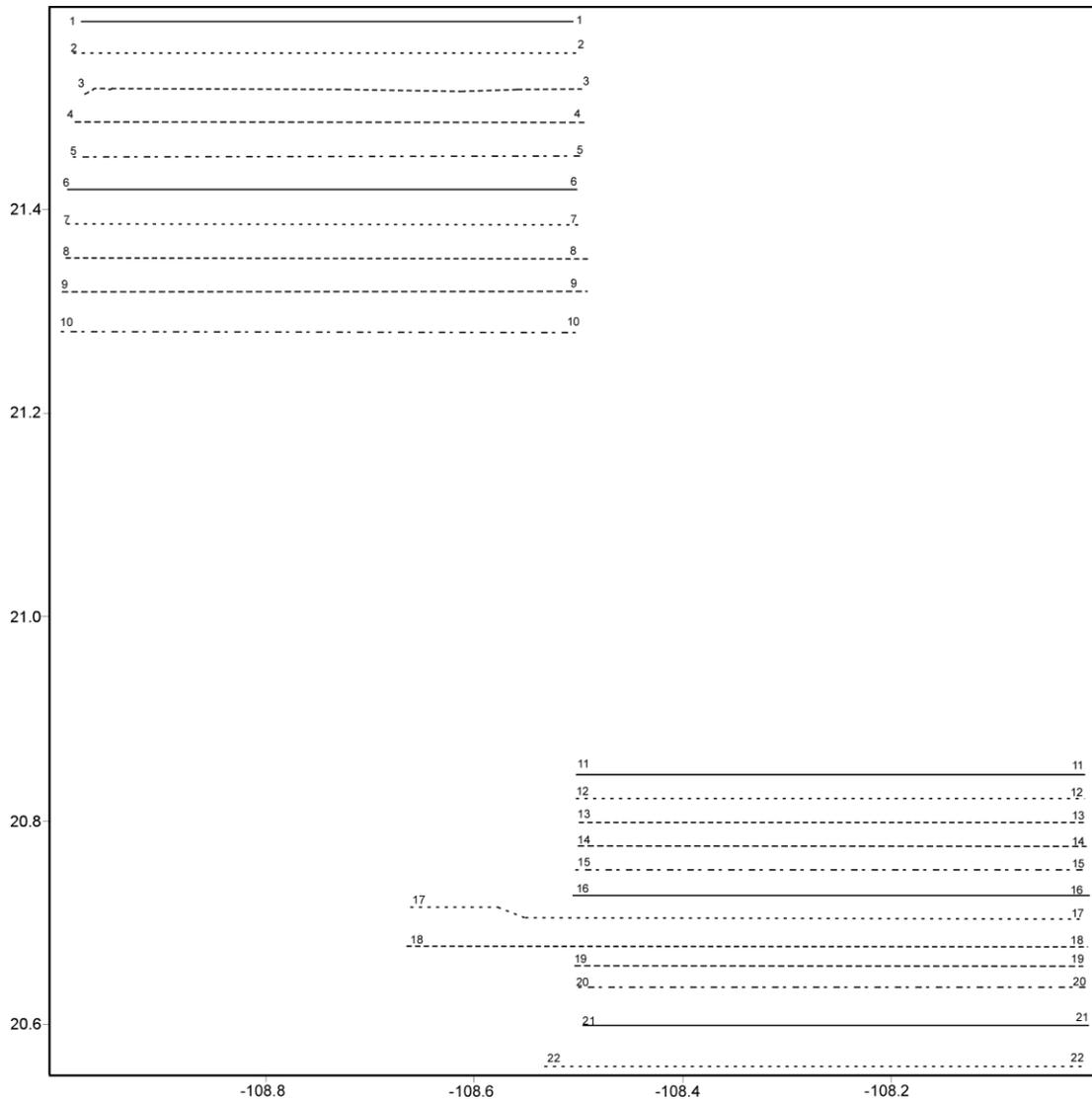


Figura 28. Transectos de la campaña BATIBAJA 11. Los transectos se realizaron en dos sectores, uno en la esquina norte superior del área de estudio y otro sector en la parte sur del área de estudio.

La última campaña que realizó en el sector central de la Placa de Rivera fue MAMRIV12, adquiriendo datos por 9 días desde el 23 de mayo hasta el 1 de junio de 2012. Esta campaña adquirió un total de 44 secciones sísmicas (Figura 29).

Para esta campaña, el levantamiento se llevó a cabo en la parte occidental del área de estudio, entre 20.5°N y 21.5°N, y entre 109°W y 108°W. La longitud aproximada de los transectos en MAMRIV12 alcanzó los 70 km.

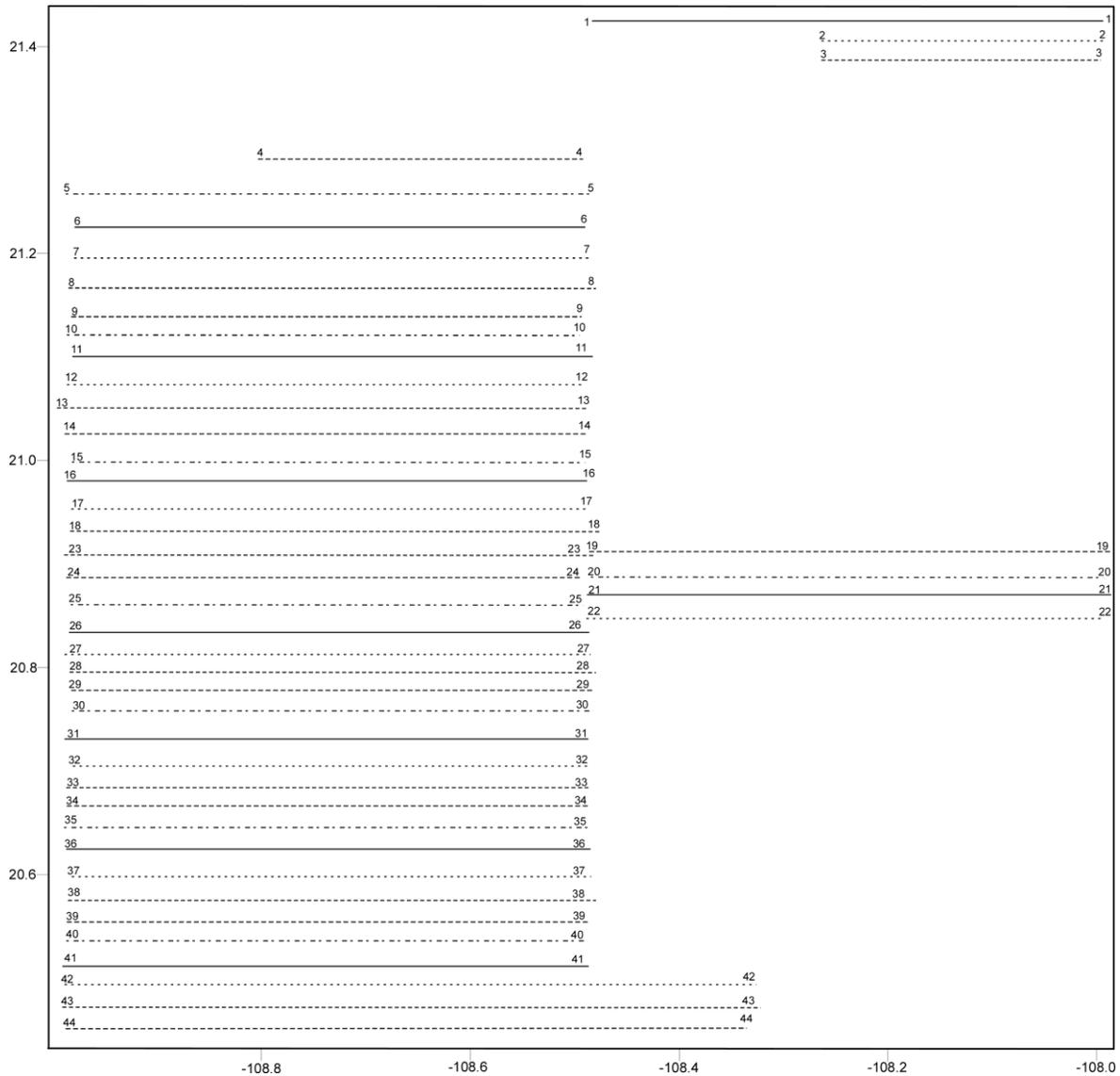


Figura 29. Los transecto de la campaña MAMRIV12 en la parte occidental-sur del área de estudio.

IV. PERFILES SÍSMICOS DE REFLEXIÓN ALTA RESOLUCIÓN

Para el análisis y posterior interpretación de la información sísmica, se seleccionaron 7 perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución adquiridos con el perfilador TOPAS PS18. El criterio para la selección de dichos perfiles se basó en la distribución espacial sobre el sector central de la Placa de Rivera, donde se realizaron los levantamientos de las campañas oceanográficas, la selección de los perfiles se inició norte a sur, y separados cada 10' en latitud. La Figura 30 muestra la distribución espacial de los perfiles, así como las secciones de cada perfil correspondientes a las siete campañas sobre la carta batimétrica del relieve del piso oceánico que integró Pérez-Calderón [2015].

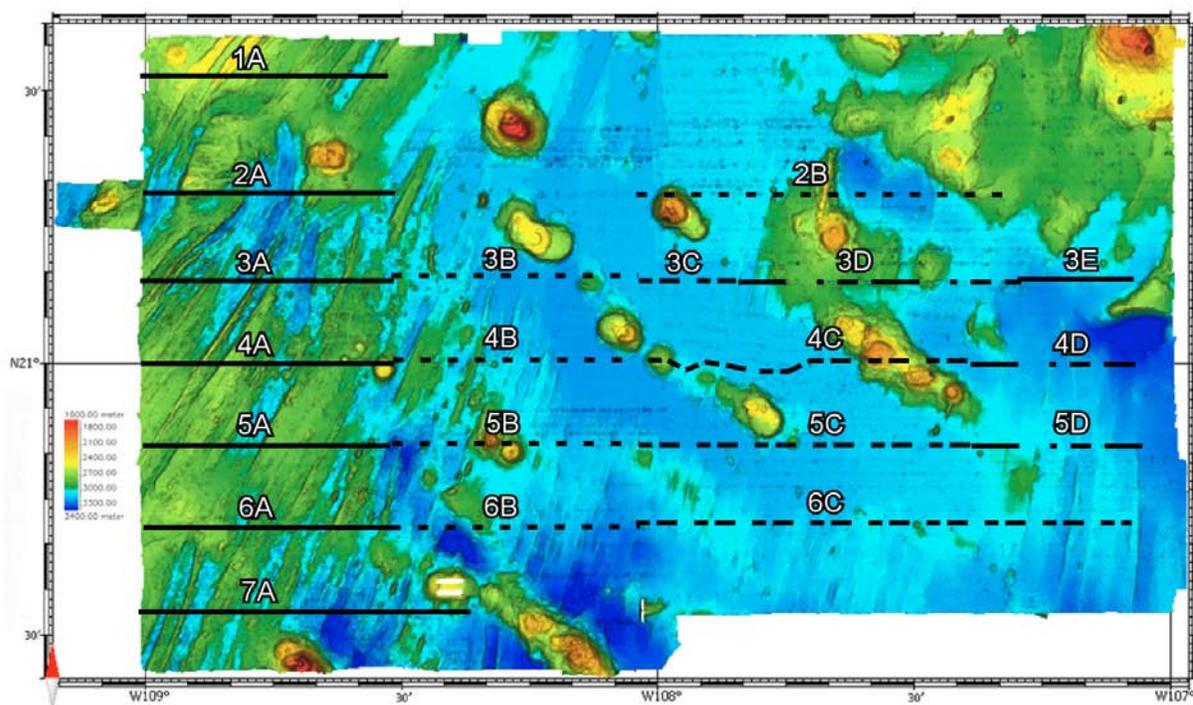


Figura 30. Distribución espacial de los perfiles que se procesaron e interpretaron en el sector central de la Placa de Rivera [Modificado de Pérez-Calderón, 2015]

La tendencia en mantener la latitud de las secciones en cada perfil varió muy poco, entre diferentes campañas. Las secciones seleccionadas en cada perfil son las más próximas a la latitud dentro del criterio establecido. Los transectos de las secciones variaron ligeramente según la navegación del barco, debido a las direcciones W-E (Oeste a Este) ó E-W (Este a Oeste). Todas las secciones sísmicas presentadas son muestreadas en dirección W-E.

La nomenclatura de los perfiles está establecida en orden decreciente desde el norte. Cada perfil está segmentado en uno o más secciones; las cuales se nombran en orden alfabético, en dirección Oeste a Este (por ejemplo: la primera sección del primer perfil es 1A, la segunda es 1B, etc.). La profundidad de las secciones sísmicas está mostrada en el dominio del tiempo (milisegundos) y son exhibidas en el Anexo A.

El perfil 1 corre a lo largo de $21^{\circ}34.5'$ N, es el perfil ubicado más al norte en el área de estudio, y está conformado solamente por la sección 1A. Esta sección corresponde al transecto 1 de la campaña BATIBAJA11 del día 8 de septiembre de 2011. La sección 1A inicia en $109^{\circ}0'$ W y termina en $108^{\circ}29.4'$ W, con una longitud aproximada de 53 km, y en dirección W-E.

El perfil 2 corre a lo largo de $21^{\circ}20'$ N, con una longitud total aproximada de 115 km, está compuesto por dos secciones. La sección 2A corresponde al transecto 8 de la campaña BATIBAJA11, adquirido el 9 de septiembre de 2011. Esta sección está en $21^{\circ}20.59'$ N, y entre $108^{\circ}59.23'$ W y $108^{\circ}33.08'$ W de 45 km de largo y dirección W-E. La sección 2B corresponde al transecto 15 de la campaña

MAMRIV07 y corre a lo largo de $21^{\circ}20.6' N$ desde $107^{\circ}55.34' W$ hasta $107^{\circ}15.0' W$ con una longitud aproximada de 70 km en dirección W-E.

El perfil 3 cuenta con 5 secciones y corre a lo largo de $21^{\circ}10' N$ con una extensión total aproximada de 211 km . La sección 3A corresponde al transecto 8 de la campaña MAMRIV12, el 25 de mayo de 2012; esta sección corre a lo largo de $21^{\circ}10.03' N$, entre $109^{\circ}0.3' W$ y $108^{\circ}30.01' W$, con una longitud de 52.5 km en dirección W-E. La sección 3B es el transecto 5 de la campaña MORTIC08 del 21 de mayo de 2009; esta sección corre a lo largo de $21^{\circ}10.55' N$ entre $108^{\circ}30.01' W$ y $108^{\circ}0.27' W$ teniendo una longitud de 52 km en sentido E-W. La sección 3C corresponde al transecto 2 de la campaña BABRIP06 del 10 de octubre de 2006, y corre a lo largo de $21^{\circ}09.16' N$, entre $108^{\circ}0.0' W$ y $107^{\circ}44.03' W$ con una extensión aproximada de 28 km en dirección W-E. La sección 3D se llevó a cabo a lo largo del transecto 25 del 14 de diciembre de 2007, a lo largo de $21^{\circ}10.8' N$, entre $107^{\circ}45.67' W$ y $107^{\circ}15.02' W$, con una extensión de 53 km en dirección W-E. La última sección del perfil 3, la sección 3E, corresponde al transecto 7 de la campaña MAMRIV08 del 24 de octubre de 2008, corriendo a lo largo de la latitud $21^{\circ}10.21' N$, entre $107^{\circ}15.0' W$ y $107^{\circ}0.1' W$, con una longitud aproximada de 26 km en sentido W-E.

El perfil 4 tiene cuatro secciones y corre a lo largo de $21^{\circ}00' N$, con una longitud máxima de 208 km . La sección 4A corresponde al transecto 15 de la campaña MAMRIV12 del 26 de mayo de 2012 , corriendo a lo largo de la latitud $20^{\circ}59.9' N$, entre $109^{\circ}0.146' W$ y $108^{\circ}31.9' W$, con una longitud de 49 km y en dirección E-W. La sección 4B es el transecto 14 de la camapaña MORTIC08 del 20 de mayo de

2009; esta sección corre a lo largo de $21^{\circ}0.4' N$ entre $108^{\circ}30' W$ y $107^{\circ}59.95' W$ con una longitud de 53 km en un sentido W-E. La sección 4C es el transecto 9 de la campaña BABRIP06 del 10 de octubre de 2006, sobre la latitud $20^{\circ}59.7' N$, entre $108^{\circ}0.24' W$ y $107^{\circ}19.53' W$ alcanzando una longitud de 70 km en dirección W-E. La última sección del perfil 4 es el transecto 16 de la campaña MAMRIV08 del 23 de octubre de 2008; esta sección corre a lo largo de $20^{\circ}59.3' N$, entre $107^{\circ}21.02' W$ y $107^{\circ}0.27' W$, con una longitud de 36 km en dirección E-W.

El perfil 5 tiene cuatro secciones que se desarrollan a lo largo de la latitud $21^{\circ}50' N$ con una extensión total aproximada de 210 km. La sección 5A fue adquirida en el transecto 26 de la campaña MAMRIV12, el 28 de mayo de 2012 corriendo a lo largo de $20^{\circ}49.99' N$, entre $109^{\circ}0.03' W$ y $108^{\circ}30.0' W$, y con una longitud de 52 km en un sentido W-E. La sección 5B corresponde al transecto 11 de la campaña BATIBAJA11 del 12 de septiembre de 2011 a lo largo de $20^{\circ}50.01' N$, entre $108^{\circ}30.03' W$ y $108^{\circ}0.0' W$, con una extensión de 52 km en dirección E-W. La sección 5C corresponde al transecto 15 de la campaña BABRIP06 del día 8 de octubre de 2006, variando entre $20^{\circ}50.17' N$ y $20^{\circ}49.79' N$, entre $108^{\circ}0.53' W$ y $107^{\circ}20.0' W$, con una extensión en dirección E-W. La última sección del perfil 5, es el transecto 24 de la campaña MAMRIV08 del 22 de octubre de 2008, a lo largo de $20^{\circ}49.8' N$, entre $107^{\circ}21.14' W$ y $107^{\circ}0.01' W$, con una extensión de 36 km en dirección E-W.

El perfil 6 tiene tres secciones que corren a lo largo de la latitud $20^{\circ}40' N$ con una longitud de 220 km. La sección 6A corresponde al transecto 34 de la campaña MAMRIV12 del día 30 de mayo de 2012, corriendo a lo largo de $20^{\circ}39.9' N$, entre

108°59.9' W y 108°29.92' W, alcanzando una longitud de 52 km en sentido W-E. La sección 6B es el transecto 18 de la campaña BATIBAJA11 del día 11 de septiembre de 2011 que corre a lo largo de 20°40.01' N, entre 108°40.03' W y 108°0.0' W, con una longitud de 70 km en dirección E-W. La última sección del perfil 6 es la 6C, correspondiente al transecto 31 de la campaña MAMRIV08 del 20 de octubre de 2008 que corre a lo largo de 20°40.57' N, entre 108°0.1' W y 107°0.3' W, siendo la sección más larga de todas las procesadas con 103 km de largo en un sentido W-E.

El perfil 7, es el último perfil del área de estudio y contiene solo una sección, la sección 7A que corresponde al transecto 42 de la campaña MAMRIV12 del 31 de mayo de 2012, corriendo a lo largo de 20°29.5' N, entre 109°0.0' W y 108°19.3' W, con una longitud de 70 km en dirección W-E.

V. INTERPRETACIÓN

5.1. Interpretación de perfiles sísmicos

Después del procesamiento de las secciones sísmicas para los siete perfiles que cruzan el sector central de la Placa de Rivera se procedió a la interpretación de los datos. Dos interfases a lo largo de cada sección son marcadas: el relieve del fondo marino es marcado con verde, mientras que el basamento acústico el cuál determina la máxima penetración del perfilador sísmico es marcado con morado. Los contornos de los paquetes de sedimentos son marcados con rojo, además el espesor de los más visibles es dado con números. Las estructuras son señaladas a lo largo de las secciones, donde cruza el eje de la dorsal RR y las isócronas magnéticas indicadas en la carta magnética de la tesis de Pérez-Calderón [2015].

Empezando por la sección 1A del Perfil 1 (Figura 31), un relieve rugoso formado de rocas consolidadas es observado. El eje de la dorsal RR cruza por $108^{\circ}50' W$. Dos pequeños paquetes de sedimentos de 21.2 metros y 27.62 metros son vistos entre $108^{\circ}32' W$ y $108^{\circ}32.1' W$, respectivamente. La isócrona 1 cruza la sección en $108^{\circ}36'W$.

a)



b)

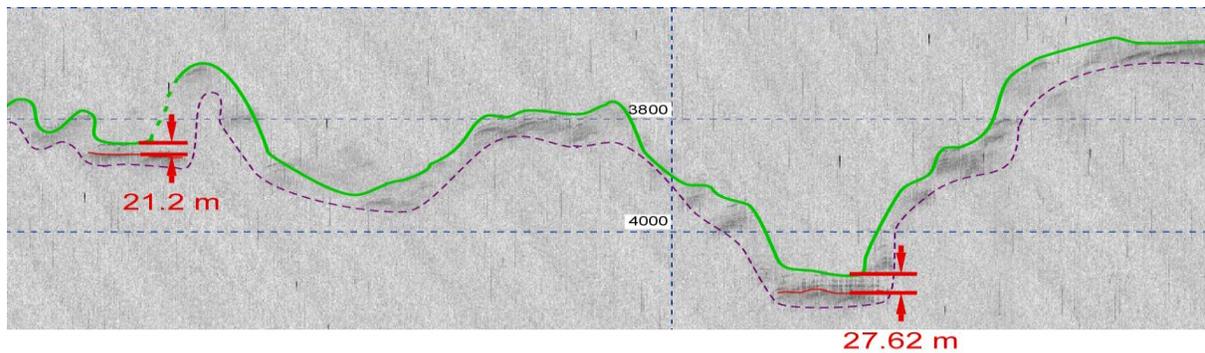


Figura 31. Sección 1A del Perfil 1. a) Sección 1A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°40' W y 108°30', dos pequeños espesores de sedimentos de 21.2 m y 27.62 m son observados respectivamente.

La sección 2A en el Perfil 2 muestra un relieve que presenta rocas consolidadas en casi la totalidad de la sección (Figura 32). El eje de la dorsal RR cruza por 108°43' W. Un pequeño paquete de sedimentos con espesor de 29.7 metros es visto en el flanco de un montículo submarino en 108°34' W.

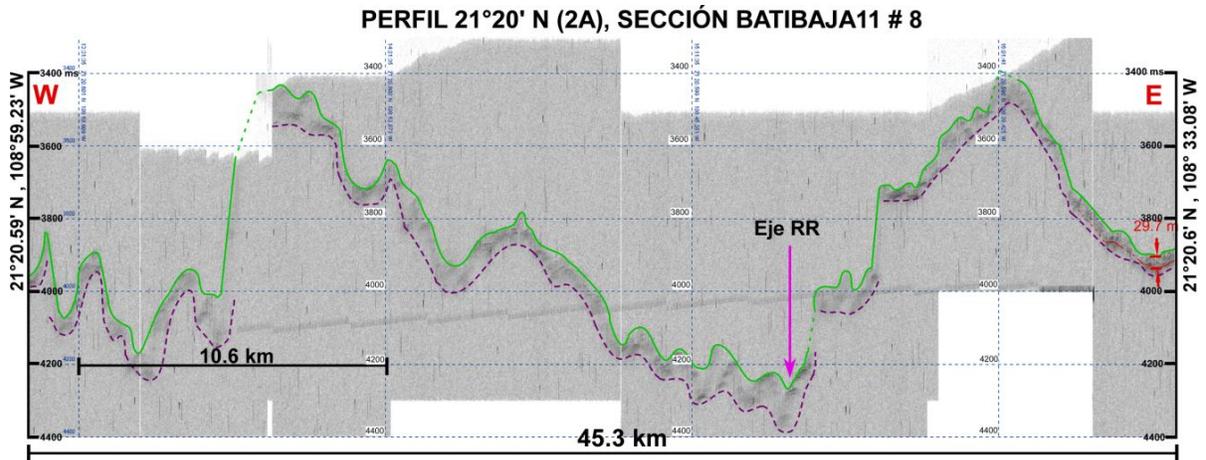


Figura 32. Sección 2A interpretada en el Perfil 2. Un pequeño espesor de sedimentos es visto al final de la sección en el flanco del montículo submarino.

La sección 2B en el Perfil 2 (Figura 33) exhibe un relieve que cruza partes de dos montes submarinos y también cuencas con depósitos de sedimentos en varios segmentos. El primero va desde 107°55' W hasta 107°30' W, teniendo espesores de 85 metros máximo, adelante se encuentra una cuenca de depósito de sedimentos desde 107°36' W hasta 107°32' W, con espesores de hasta 120 metros. El último paquete de sedimentos se localiza entre 107°20' W y hasta el final de la sección en 107°15' W, mostrando un espesor de casi 102 metros. Las isócronas 3n.1, 3n.2, 3n.3, 3n.4 cruzan esta sección sísmica en 107°49' W, 107°44' W, 107°39' W y 107°35' W respectivamente.

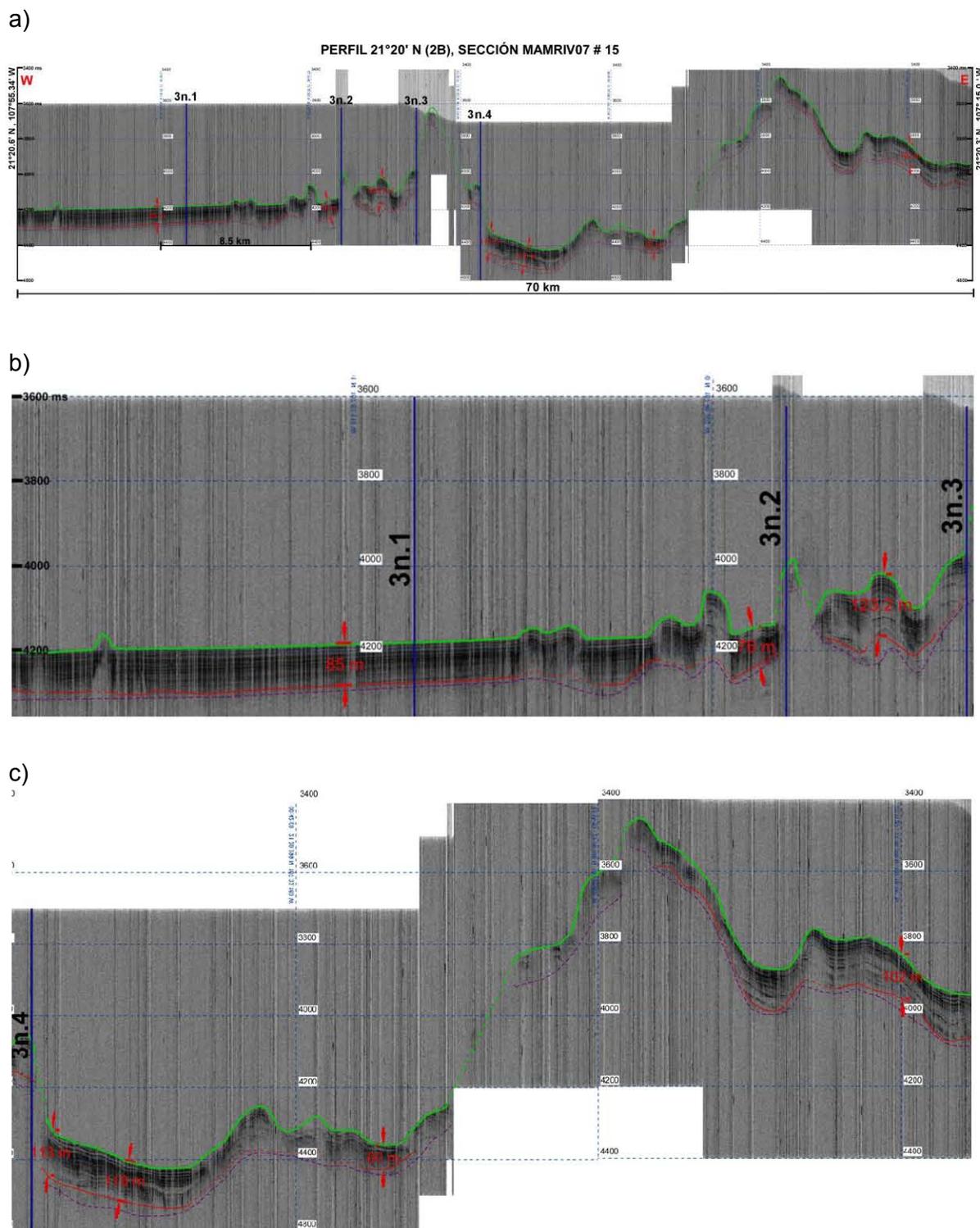


Figura 33. Sección 2B en el Perfil 2. a) Sección 2B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $107^{\circ}55'$ W y $107^{\circ}30'$ W, se exhiben sedimentos continuos con espesores de hasta 123 metros. c) Acercamiento de la sección entre $107^{\circ}36'$ W y $107^{\circ}15'$ W, se exhibe una cuenca con espesor de 119 metros, al final de la sección continua la sedimentación con un espesor de 102 metros.

La sección 3A en el Perfil 3 (Figura 34) muestra un relieve sinuoso producto de rocas consolidadas al igual que las otras secciones del sector Oeste del área de estudio. Una pequeña cuenca con sedimentos con un espesor máximo de 34 metros es observada entre $108^{\circ}43' W$ hasta $108^{\circ}40'$. Adelante un paquete de sedimentos más grande es observado al final de la sección junto con rocas ígneas. Sus espesores son de hasta 60 metros y se encuentran entre $108^{\circ}34' W$ y $108^{\circ}30' W$. El eje de la dorsal RR cruza la sección en $108^{\circ}58' W$.

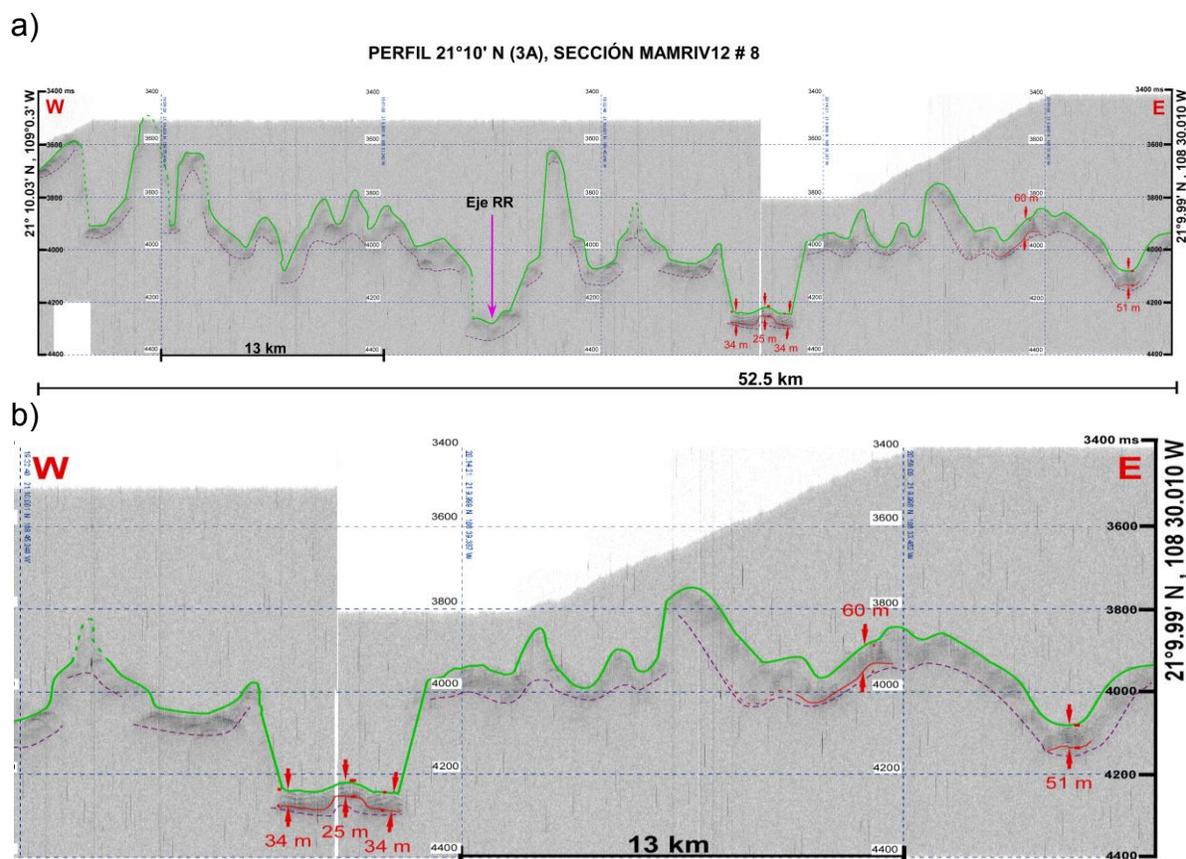
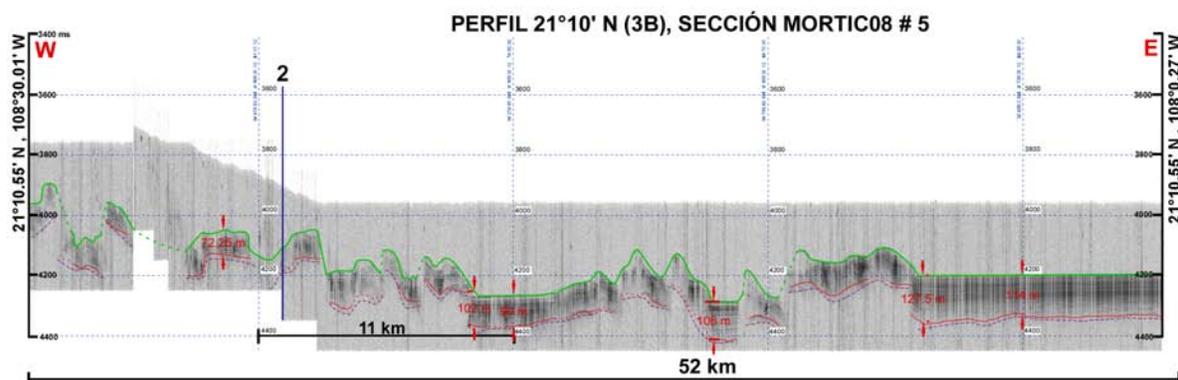


Figura 34. Sección 3A en el Perfil 3. a) Sección 3A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}45' W$ y $108^{\circ}30' W$ con paquetes de sedimentos de hasta 60 metros.

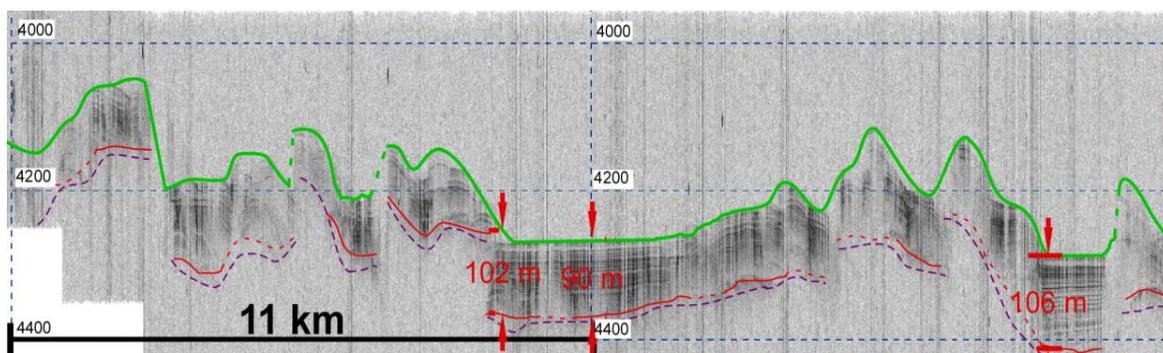
La sección 3B en el Perfil 3 (Figura 35) muestra cuencas sedimentarias con espesores de hasta 128 metros. La sección muestra una pequeña cuenca en

108°16' W con un espesor de sedimentos de 102 metros; más adelante, otra pequeña cuenca en 108°10' tiene un espesor de promedio 106 metros. Al final de esta sección, los espesores de sedimentos desde 108°5' W hasta 108°27' W, son mayores alcanzando hasta 127 metros. Es probable que continúen estos espesores al este de esta sección. La isócrona 2 cruza esta sección en 108°22' W.

a)



b)



c)

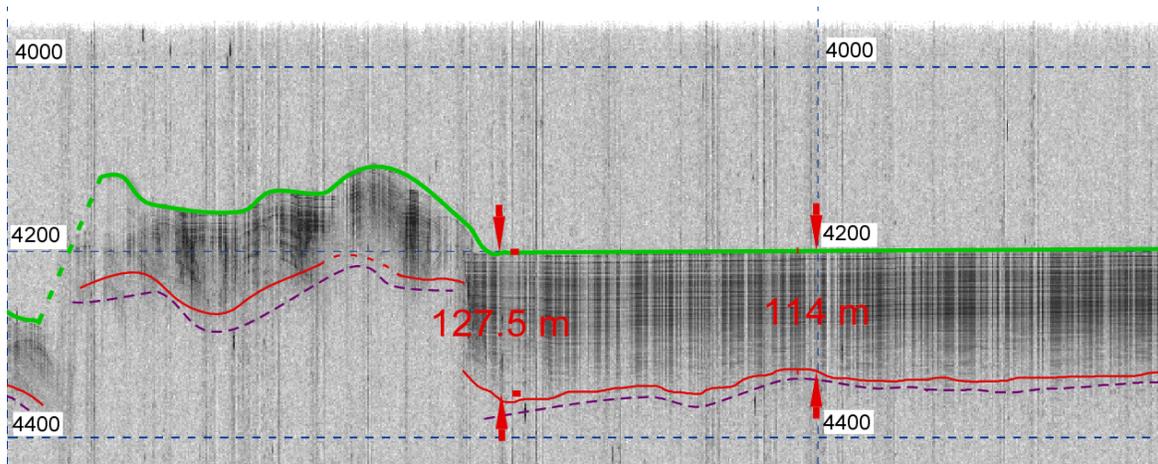


Figura 35. Sección 3B del Perfil 3. a) Sección 3B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}23' W$ y $108^{\circ}16' W$, se distinguen dos depósitos de sedimentos de hasta 106 metros de espesor. c) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}10' W$ y $108^{\circ}0' W$, se observa que las capas de sedimentos continúan hacia el este.

La sección 3C en el Perfil 3 (Figura 36) presenta una sedimentación continua con espesores mínimos de hasta 127 metros entre $108^{\circ} W$ y $107^{\circ}50' W$. Más adelante, el relieve en la sección comienza a elevarse debido a su aproximación a un pequeño monte submarino. La isócrona 2A.3 cruza esta sección en $107^{\circ}58' W$.

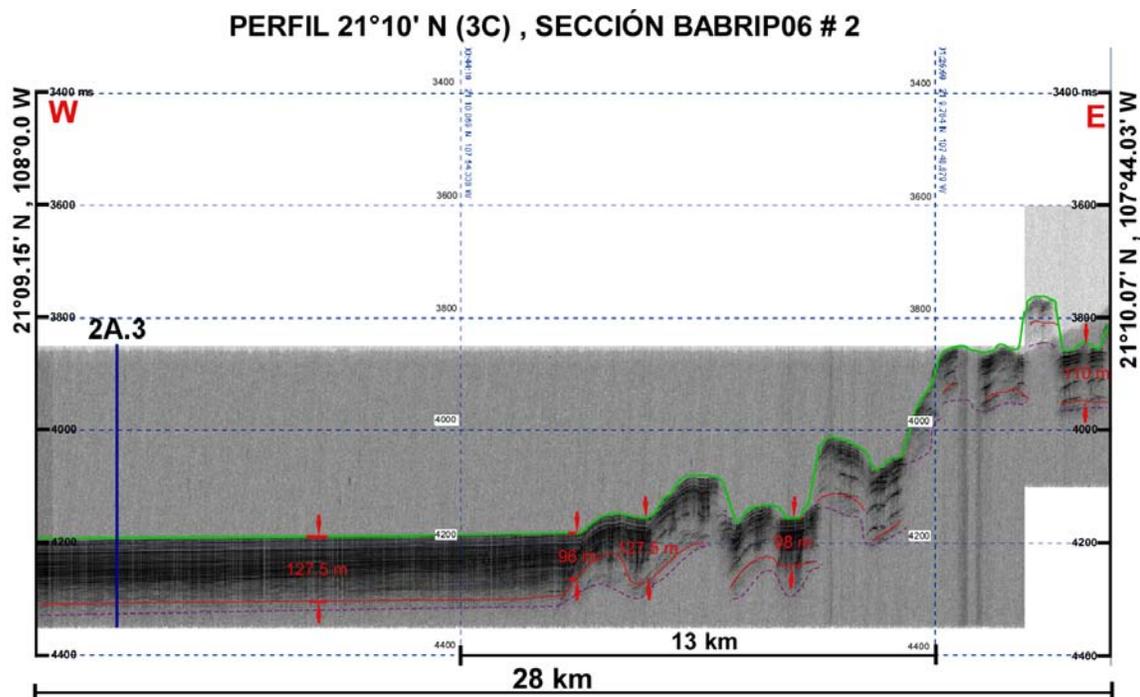
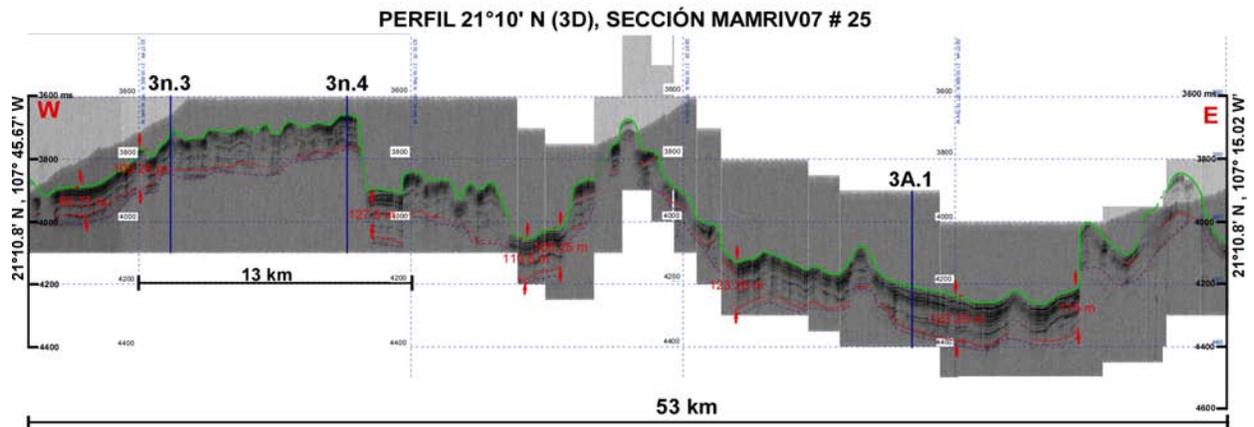


Figura 36. Sección 3C interpretada en el Perfil 3C. Toda la sección presenta paquetes de sedimentación, el mayor espesor se encuentra entre 108° W y 107°50' W.

La sección 3D en el Perfil 3 cruza por dos montes submarinos, y tiene un paquete de sedimentación continua a lo largo de casi todo el relieve, y de menor espesor en la cima de los montes (Figura 37). Los espesores van desde 80 hasta 130 metros. Los mayores espesores identificados están entre 107°26' W y 107°17' W, debajo del monte submarino central. Las isócronas 3n.3, 3n.4 y 3A.1 cruzan la sección en 107°41' W, 107°36' W y 107°19' W, respectivamente.

a)



b)

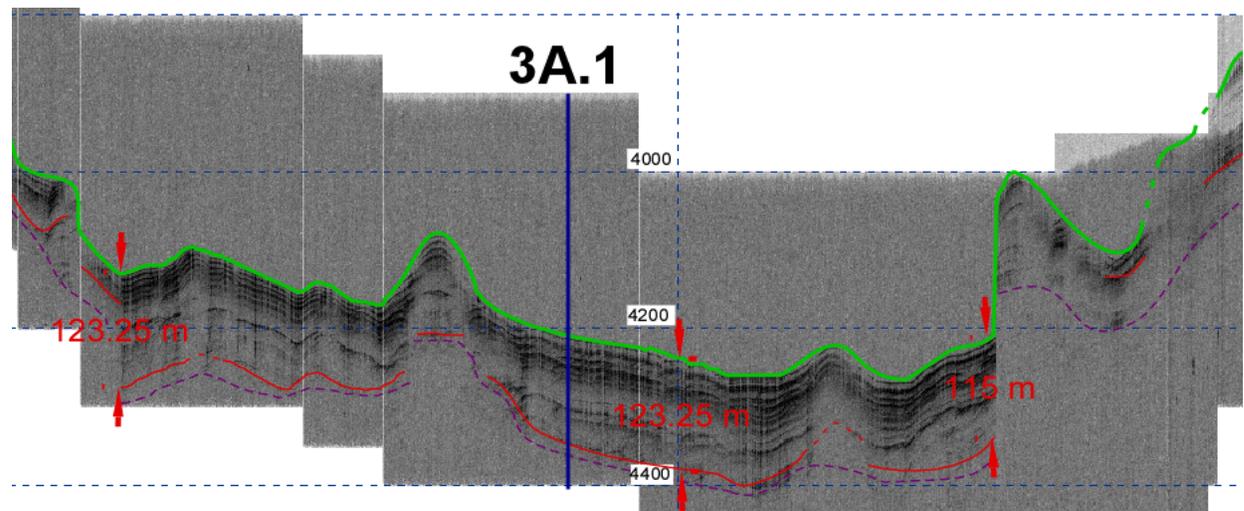


Figura 37. Sección 3D del Perfil 3. a) Sección 3D interpretada. b) Acercamiento en la sección entre 107°26' W y 107°17' W, en donde se distinguen claramente los mayores espesores de paquetes de sedimentos la sección.

En la sección 3E del Perfil 3 hay un paquete de sedimentación continua casi en todo lo largo de la sección, a excepción del pequeño monte submarino, donde se observa rugosidad en la superficie (Figura 38). Los espesores en esta sección van desde 42 hasta 85 metros (Figura 38).

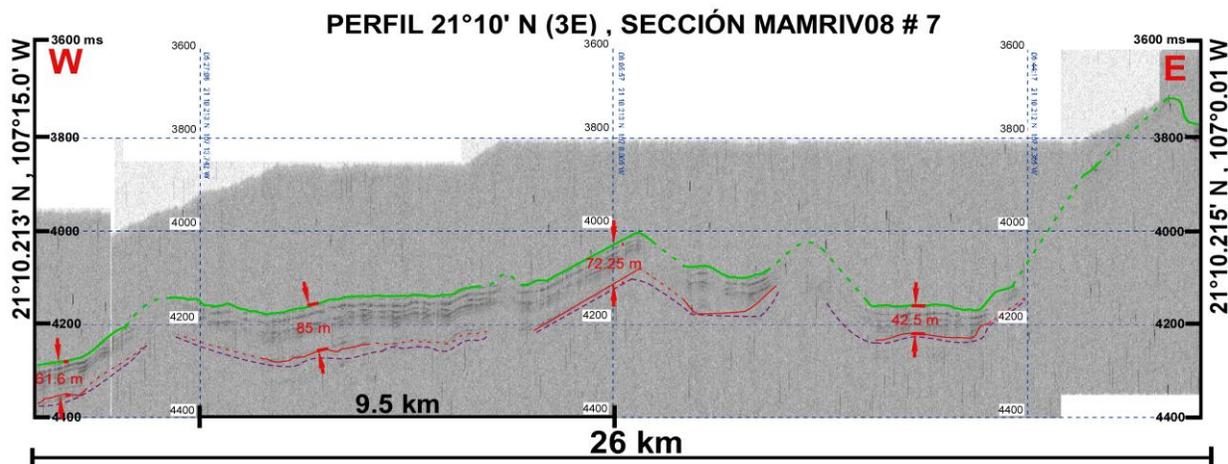
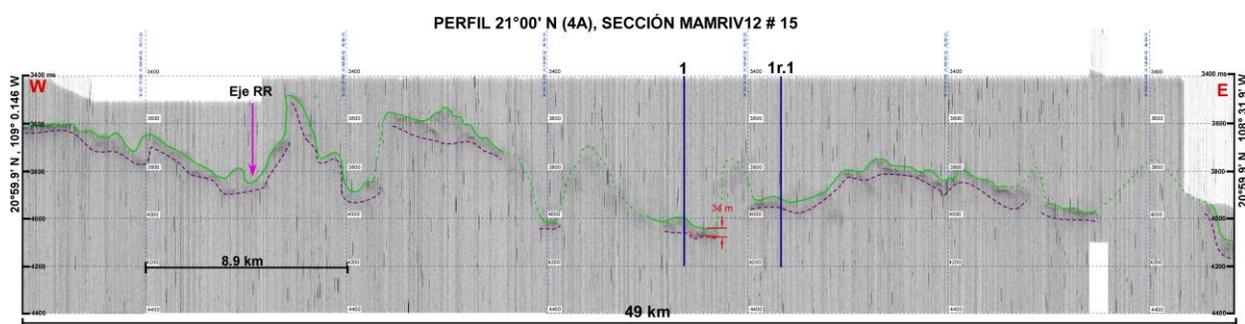


Figura 38. Sección 3E interpretada en el Perfil 3. Se observan paquetes de sedimentación casi en todo el largo de la sección, a excepción del final de la sección donde no se distingue señal alguna.

En el perfil 4, La sección 4A en el Perfil 4 (Figura 39) presenta un relieve rugoso con muy pocos sedimentos sobre el basamento oceánico. En 108°43' W se tiene un paquete de sedimentos de 34 metros. El eje de la dorsal cruza la sección en 108°55' W y las isócronas 1 y 1r.1 cruzan la sección en 108°44' W y 108°40' W, respectivamente.

a)



b)

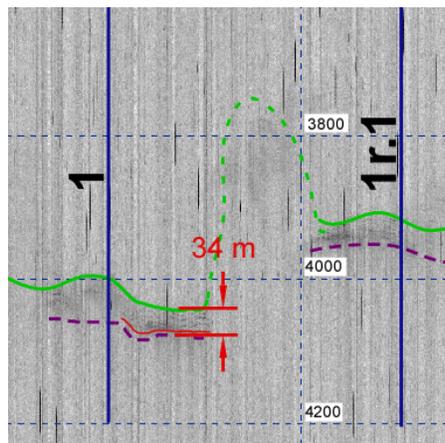
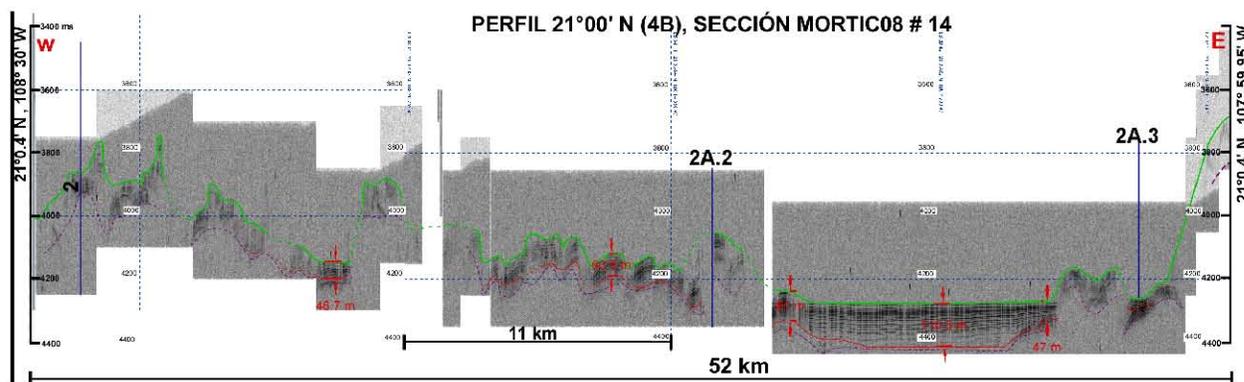


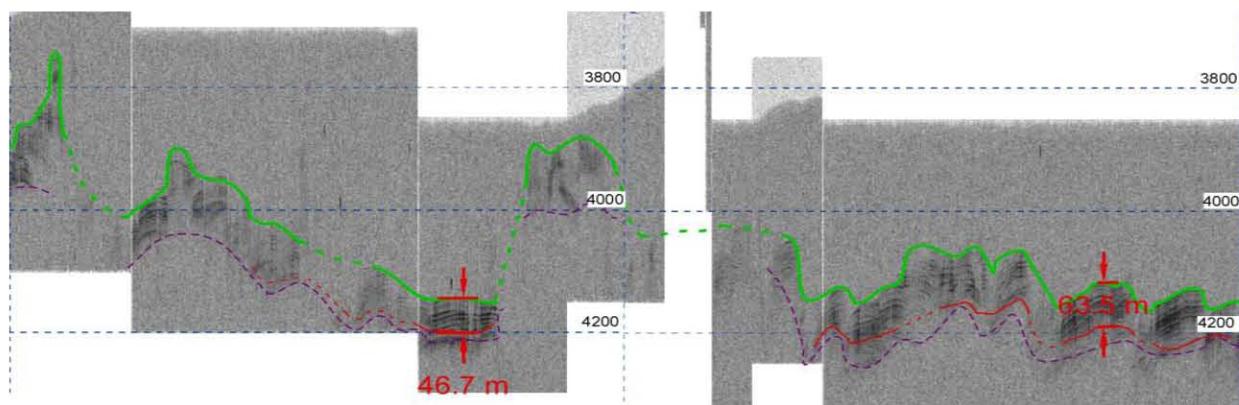
Figura 39. Sección 4A del Perfil 4. a) Sección 4A interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}47' W$ y $108^{\circ}42' W$ exhibiendo solo un pequeño espesor de sedimentos de 34 metros.

La sección 4B del Perfil 4 (Figura 40) presenta hacia el occidente, un relieve rugoso y los paquetes de sedimentos sobre la roca consolidada son observados hacia el oriente. El primero es de 46.7 metros en $108^{\circ}23' W$; el paquete de sedimentación es continuo entre $108^{\circ}14' W$ y $108^{\circ}10' W$, alcanzando un espesor promedio de 63 metros. El paquete más grande de sedimentos está entre $108^{\circ}15' W$ y $108^{\circ}10' W$, con espesores de hasta 110 metros. Las isócronas 2, 2A.2 y 2A.3 cruzan esta sección en $108^{\circ}29' W$, $108^{\circ}13' W$ y $108^{\circ}5' W$, respectivamente.

a)



b)



c)

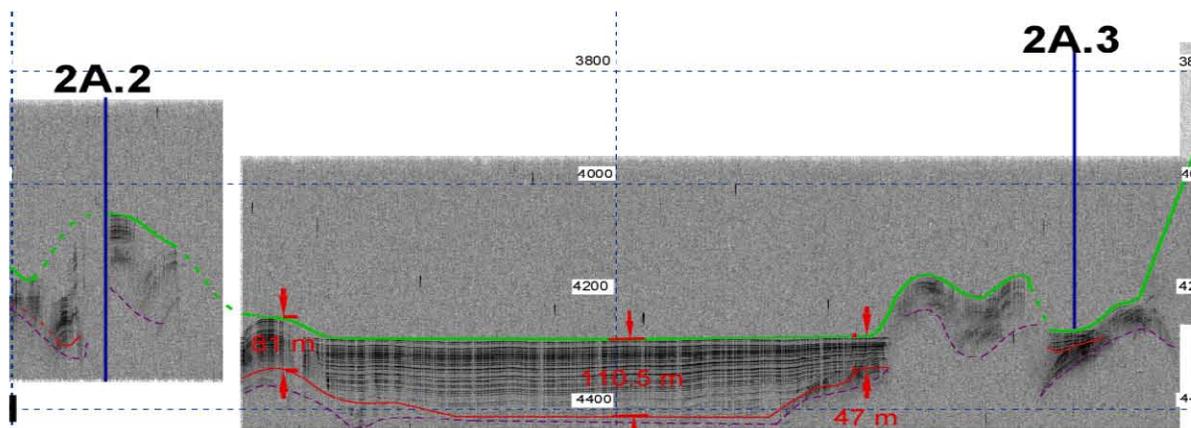
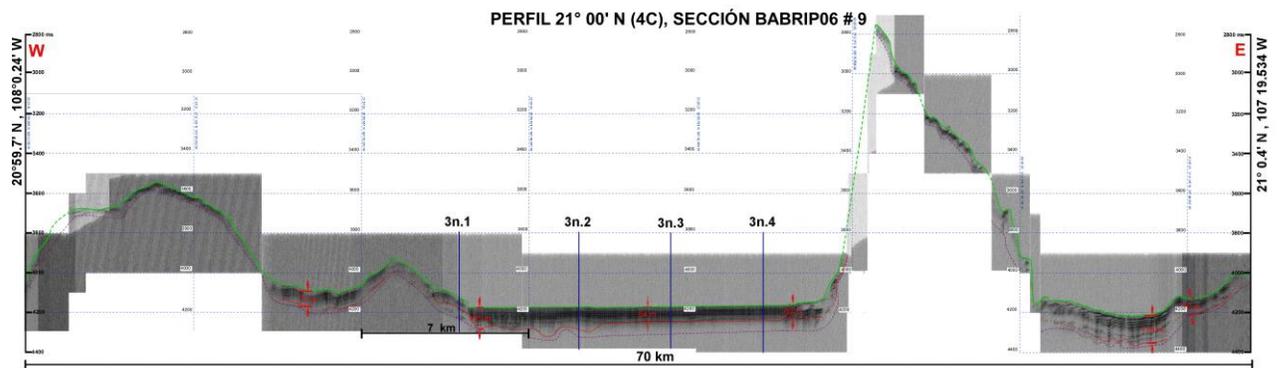


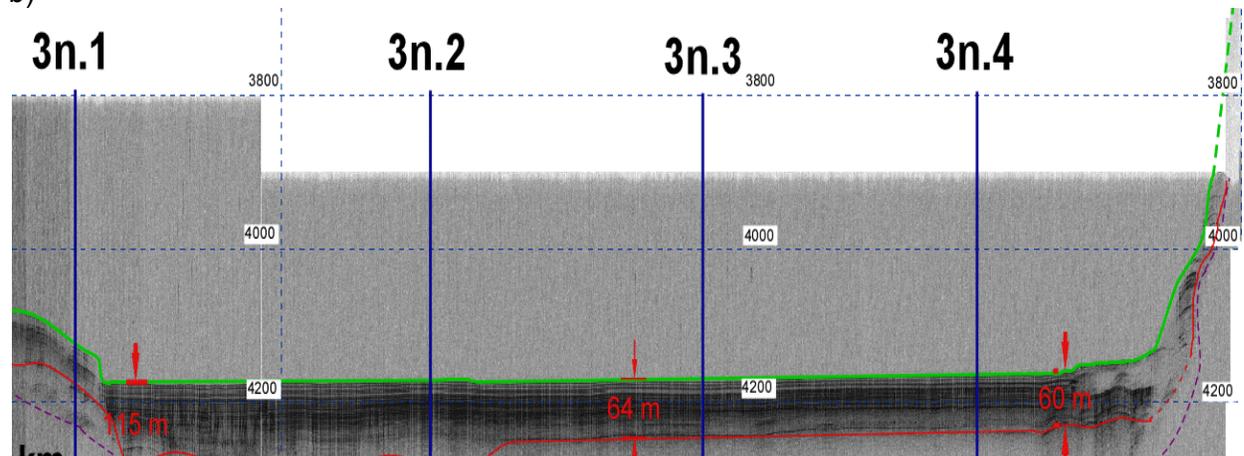
Figura 40. Sección 4B del Perfil 4. a) Sección 4B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°27' W y 108°20' W , se observan paquetes de sedimentos de 46.7 metros y 63.5 metros respectivamente. c) Acercamiento de la sección entre 108°15' W y 108°10' W con paquetes de sedimentación de hasta 110 metros.

La sección 4C en el Perfil 4 (Figura 41), cruza parte de un monte submarino, presenta sedimentación entre $108^{\circ} W$ y $107^{\circ} 55' W$, con un espesor promedio de 72 metros, y entre $107^{\circ} 51' W$ y $107^{\circ} 35' W$ con un espesor promedio de hasta 110 metros. Después del monte submarino, la sección (en dirección W-E), muestra un paquete de sedimentos de hasta 120 metros entre $107^{\circ} 26' W$ y $107^{\circ} 20' W$. Las isócronas 3n.1, 3n.2, 3n.3 y 3n.4 cruzan la sección en $107^{\circ} 51' W$, $107^{\circ} 47' W$, $107^{\circ} 43' W$ y $107^{\circ} 38' W$ respectivamente.

a)



b)



c)

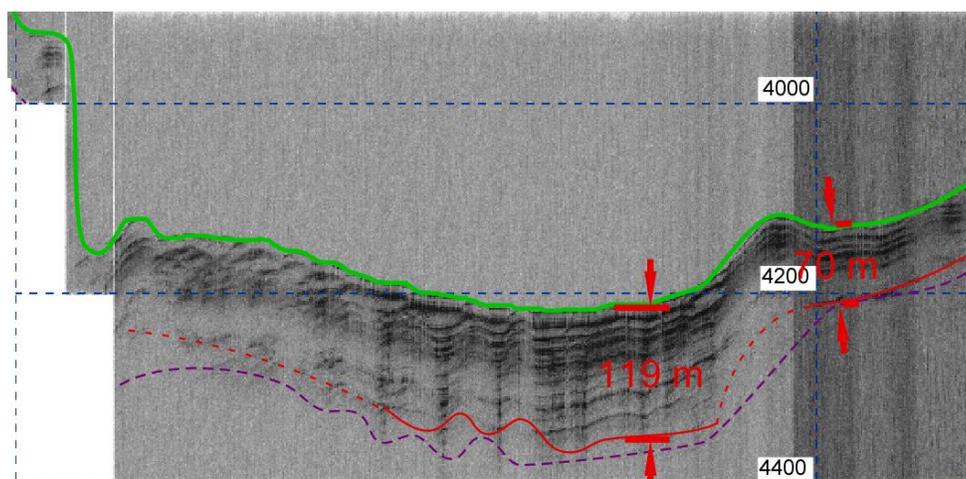


Figura 41. Perfil 4, Sección 4C. a) Sección 4C interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $107^{\circ}51'$ W y $107^{\circ}35'$ W donde se observa un paquete de sedimentación continua con hasta 110 metros. c) Acercamiento de la sección entre $107^{\circ}26'$ W y $107^{\circ}20'$ W, se observa el paquete de sedimentos de hasta 119 metros.

La sección 4D en el Perfil 4 (Figura 42) presenta sedimentación a lo largo de toda la sección, desde 60 metros hasta 106 metros de espesor. Las isócronas 3A.1 y 3A.2 cruzan esta sección en $107^{\circ}18'$ W y $107^{\circ}14'$ W.

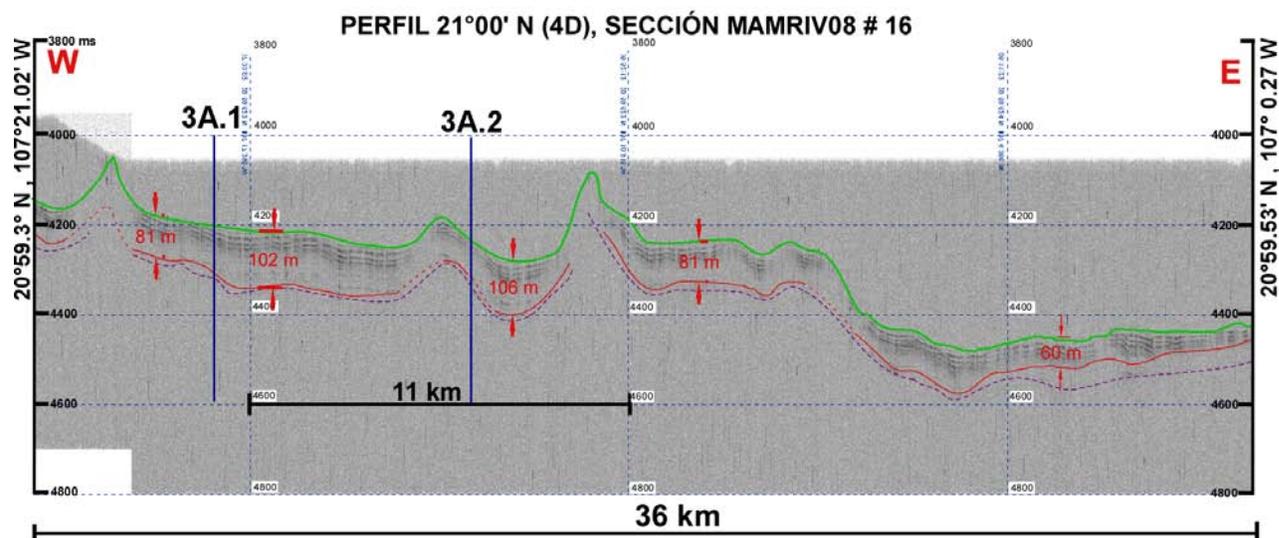
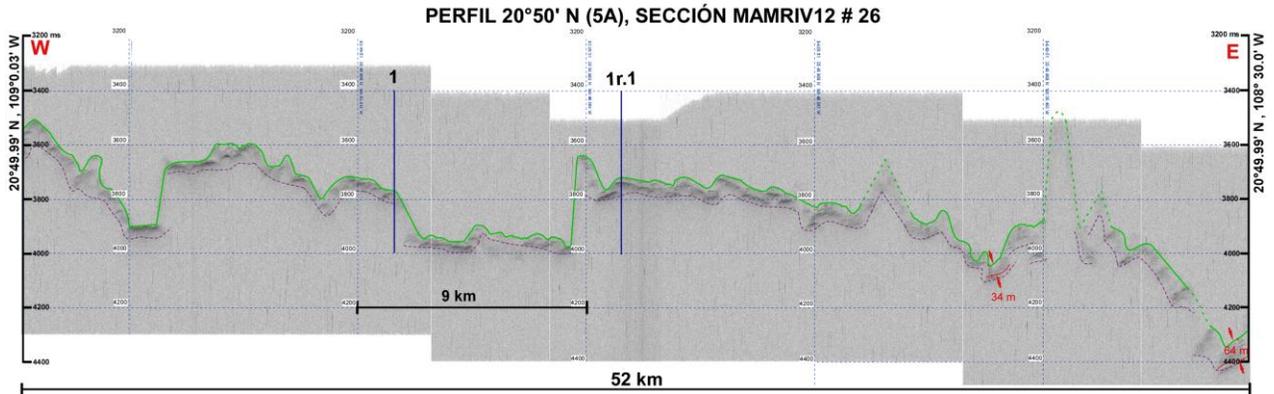


Figura 42. Sección 4D interpretada en el Perfil 4. Se observa paquetes de sedimentación continuos a lo largo de toda la sección.

La sección 5A en el Perfil 5 en la Figura 43, presenta un relieve rugoso de roca consolidada. Entre $108^{\circ}37' W$ y $108^{\circ}35' W$ se muestran dos pequeños paquetes de sedimentos de 34 y 64 metros. Las isócronas 1 y 1r.1 cruzan la sección en $108^{\circ}50' W$ y $108^{\circ}45' W$ respectivamente.

a)



b)

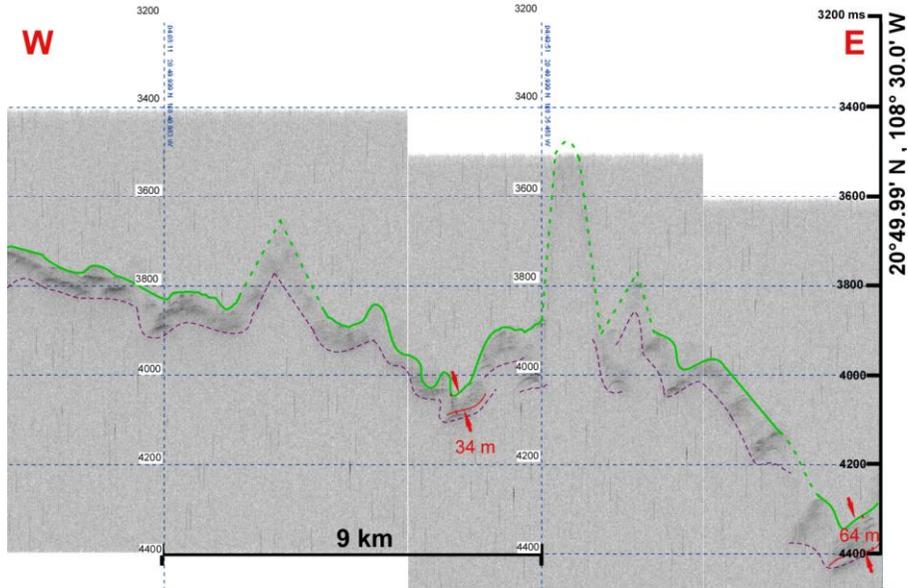
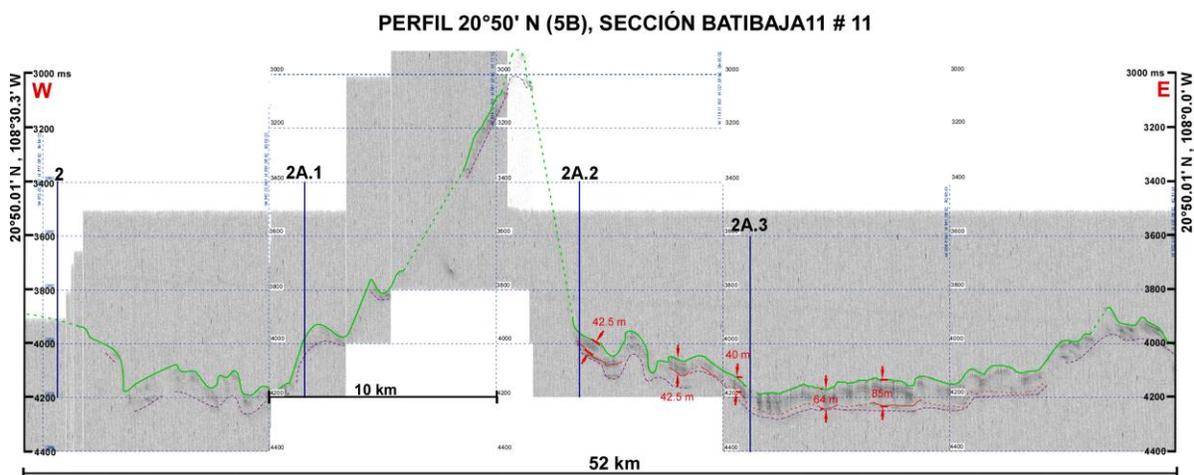


Figura 43. Sección 5A del Perfil 5. a) Sección 5A interpretada. b) Acercamiento para mostrar los paquetes de sedimentos entre $108^{\circ}37' W$ y $108^{\circ}35' W$.

La sección 5B del Perfil 5 (Figura 44) cruza un monte submarino, donde en su flanco este se observa un paquete de sedimentos con espesores entre 40 y 82 metros entre $108^{\circ}15' W$ y $108^{\circ}05' W$. Las isócronas 2, 2A.1, 2A.2 y 2A.3 cruzan la sección en $108^{\circ}29' W$, $108^{\circ}28' W$, $108^{\circ}17' W$, $108^{\circ}10' W$, respectivamente.

a)



b)

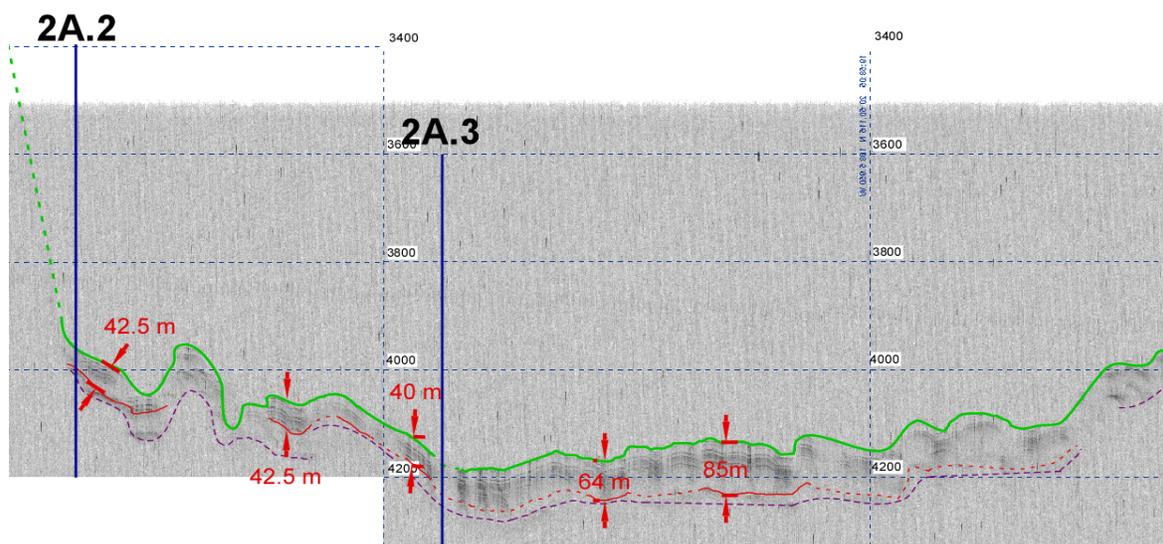
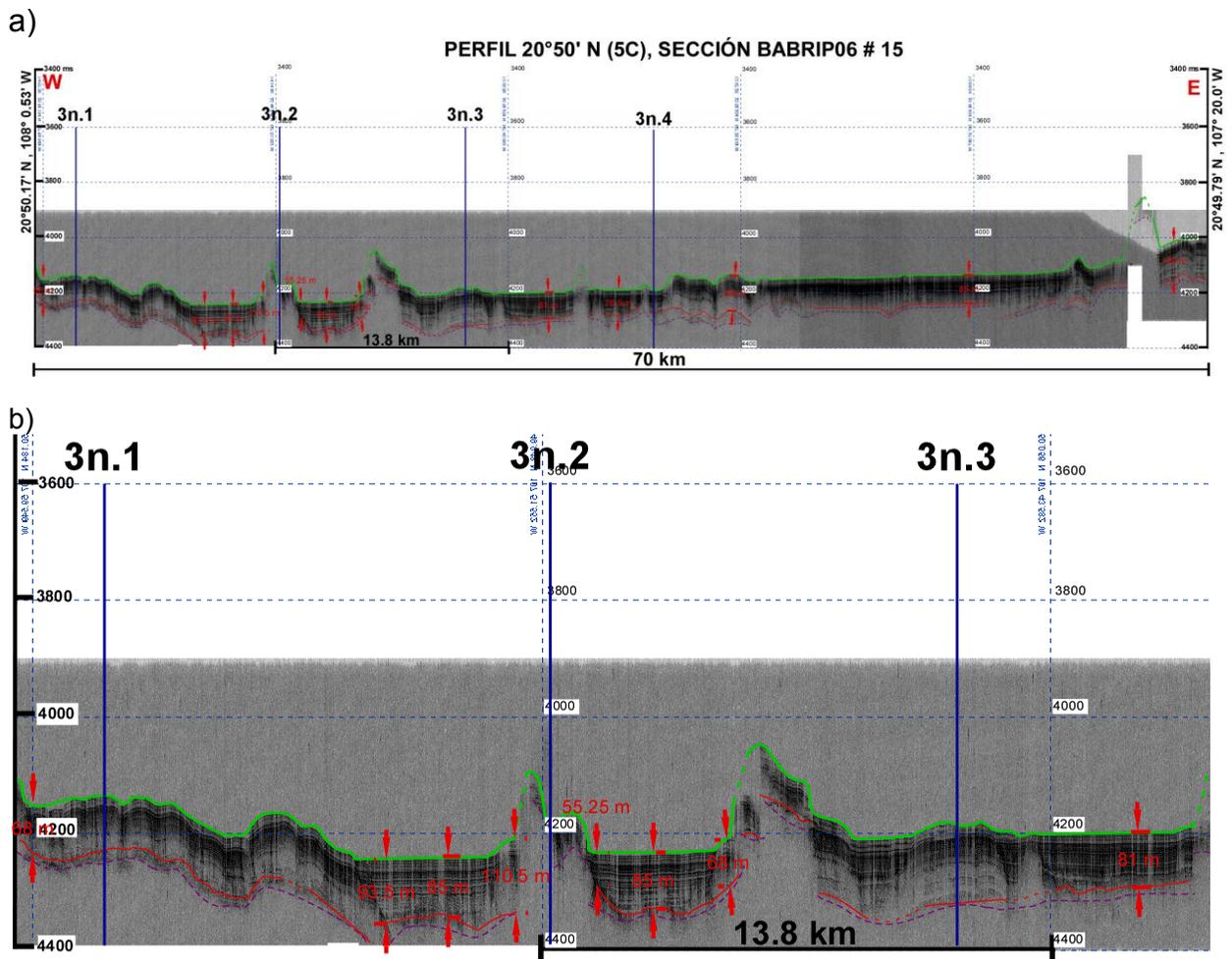


Figura 44. Perfil 5, Sección 5B. a) Sección 5B interpretada. b) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}15' W$ y $108^{\circ}05' W$ donde se observa un paquete de sedimentos con espesores entre 40 y 82 metros.

La sección 5C en el Perfil 5 (Figura 45) presenta un relieve plano con sedimentos en casi la totalidad de la sección. Varios paquetes de sedimentos son exhibidos; el primero se extiende desde el inicio de la sección entre $108^{\circ}05'$ W y $107^{\circ}51'$ W con espesores entre 68 y 110 metros, interrumpido por un pequeño montículo submarino, después presenta más hacia al este, un paquete de sedimentos con un espesor promedio de 85 metros en $107^{\circ}49'$ W, y se extiende un paquete de sedimentos con espesores de hasta 106 metros, desde $107^{\circ}45'$ W hasta $107^{\circ}20'$ W. Las isócronas 3n.1, 3n.2, 3n.3 y 3n.4 cruzan la sección en $107^{\circ}55'$ W, $107^{\circ}40'$ W, $107^{\circ}45'$ W, y $107^{\circ}39'$ W respectivamente.



c)

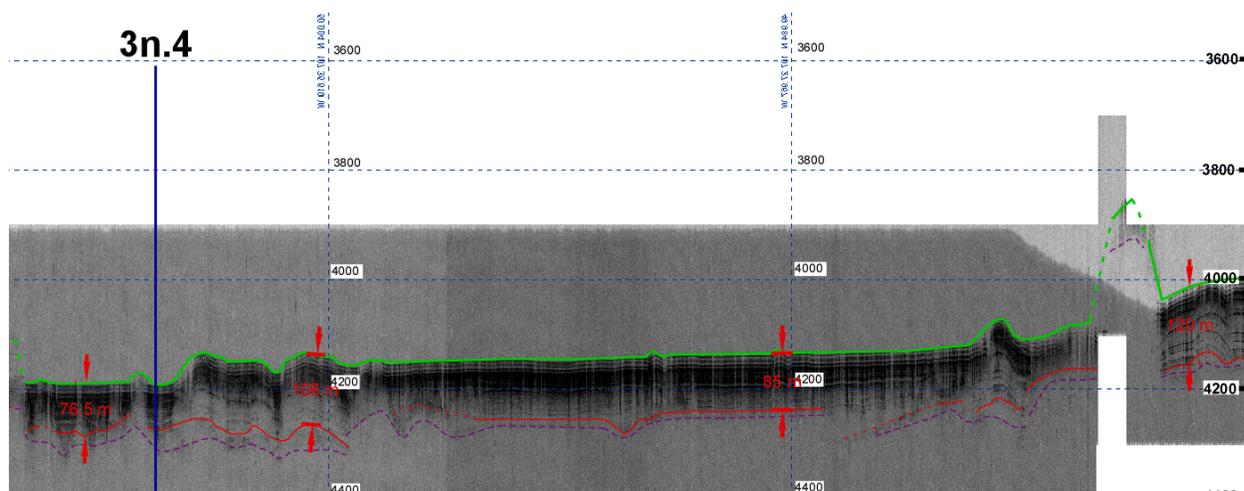


Figura 45. Sección 5C en el Perfil5. a) Sección 5C interpretada. b) Acercamiento a la sección entre $108^{\circ}05' W$ y $107^{\circ}51' W$, se presentan paquetes de sedimentos con espesores entre 68 y 110 metros. c) Acercamiento de la sección entre $107^{\circ}45' W$ hasta $107^{\circ}20' W$, se presentan paquetes de sedimentos de hasta 120 metros.

La sección 5D en el Perfil 5 (Figura 46) presenta sedimentación a lo largo de toda la sección sobre un relieve poco sinuoso, con espesores desde 50 hasta 106 metros. Las isócronas 3A.1 y 3A.2 cruzan la sección en $107^{\circ}20' W$ y $107^{\circ}13' W$ respectivamente.

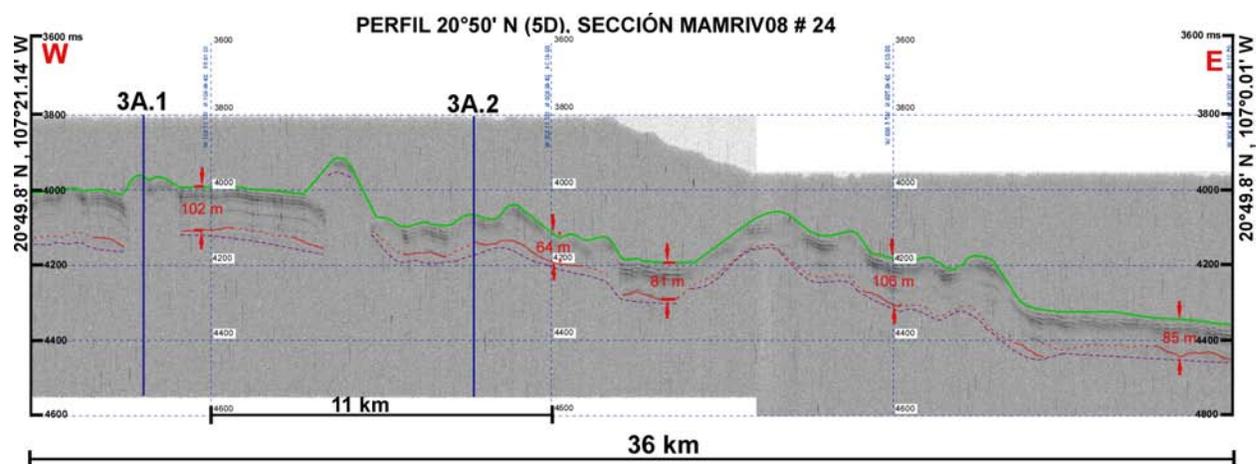


Figura 46. Sección 5D interpretada en el Perfil 5. Se presenta sedimentación a lo largo de toda la sección

En el perfil 6, la sección 6A (Figura 47) muestra un relieve sinuoso, conformado principalmente por rocas consolidadas, y cubierto por muy pocos sedimentos. Las isócronas 1r.1 y 2 cruzan la sección en $108^{\circ}48' W$ y $108^{\circ}35' W$ respectivamente.

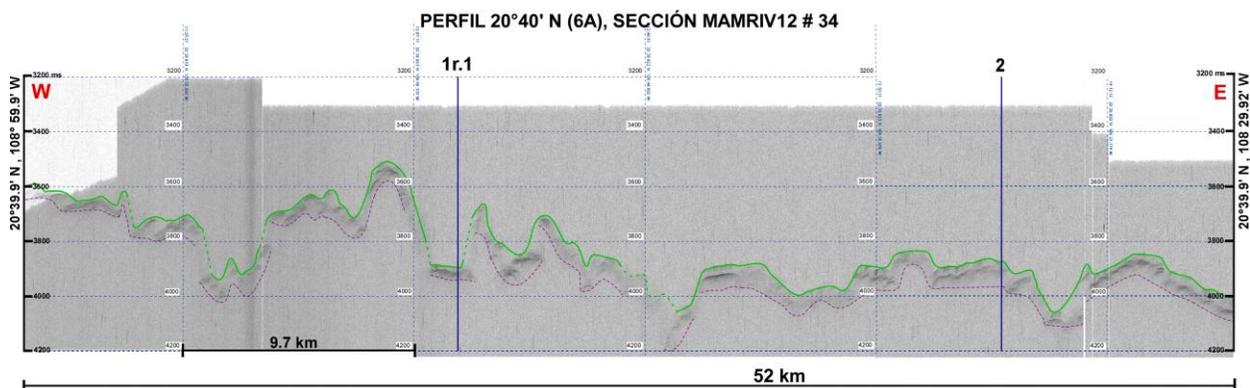
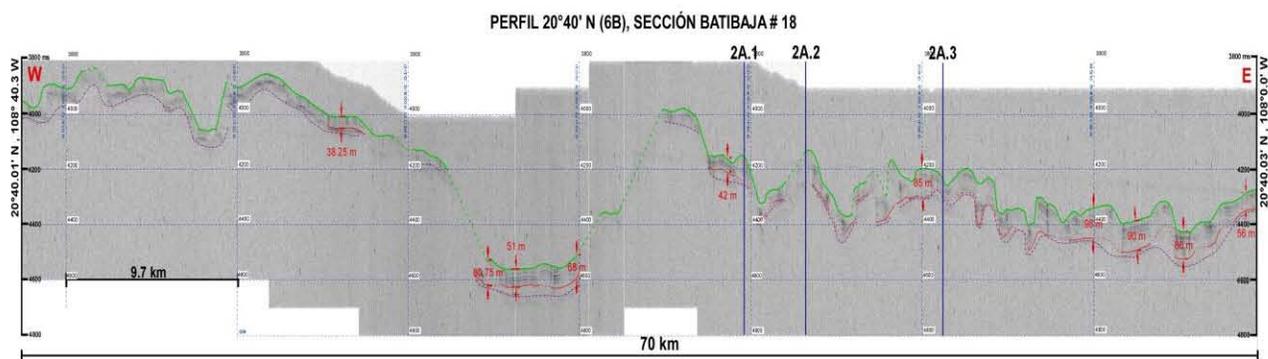


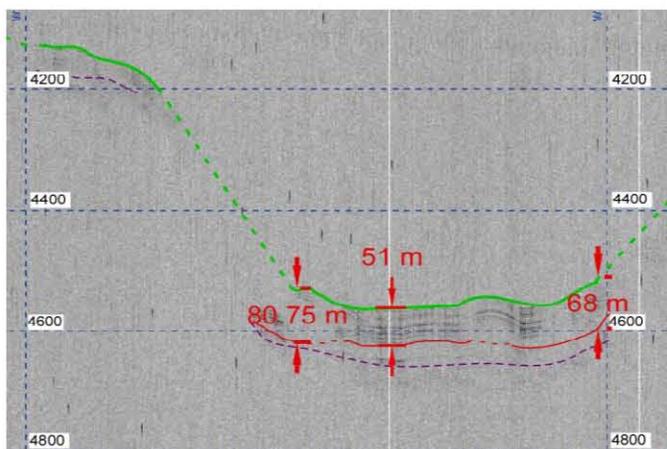
Figura 47. Sección 6A interpretada en el Perfil 6. Se muestra una sección cubierta por muy pocos sedimentos.

La sección 6B en el Perfil 6 (Figura 48) presenta un relieve sinuoso con espesores de sedimentación variable. Entre $108^{\circ}25' W$ y $108^{\circ}22' W$, la sección muestra un paquete de sedimentos con un espesor de aproximadamente 51 metros sin extenderse a otros sectores de la sección. Entre $108^{\circ}16' W$ y $108^{\circ} W$, el paquete de sedimentos es continuo con un espesor promedio de 85 metros. Las isócronas 2A.1, 2A.2, y 2A.3 cruzan esta sección en $108^{\circ}18' W$, $108^{\circ}15' W$ y $108^{\circ}10' W$ respectivamente.

a)



b)



c)

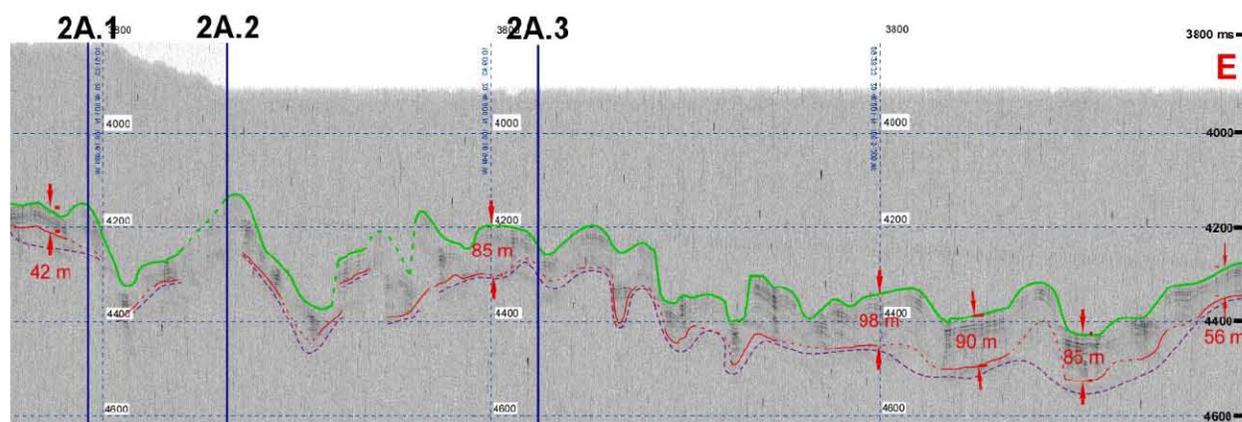
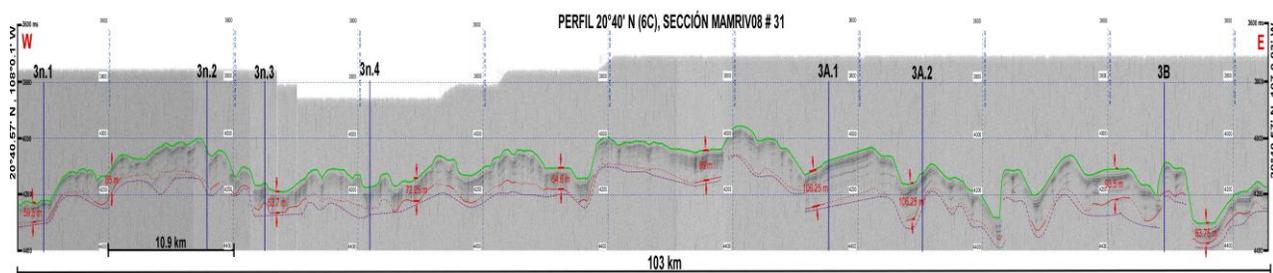


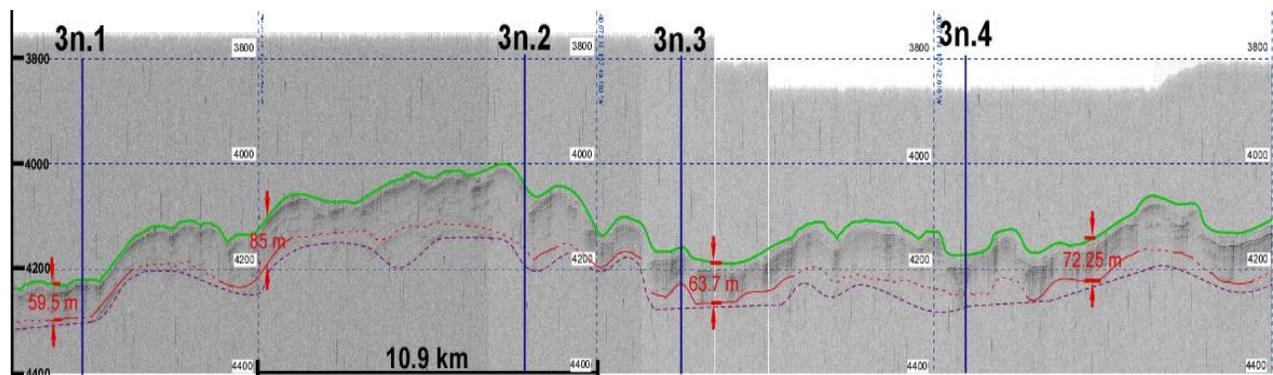
Figura 48. Sección 6B en el Perfil 6. a) Sección 6B interpretada. b) Acercamiento de la sección en el paquete de sedimentos entre 108°25' W y 108°22' W. c) Acercamiento de la sección entre 108°16' W y 108° W para mostrar variabilidad de los espesores sedimentarios.

La sección 6C en el Perfil 6 (Figura 49), presenta un relieve muy poco sinuoso con sedimentos a lo largo de sus 103 kilómetros de longitud, teniendo espesores muy uniformes entre 60 y 106 metros. Las isócronas 3n.1, 3n.2, 3n.3, 3n.4, 3A.1, 3A.2 y 3B cruzan la sección en $107^{\circ}58' W$, $107^{\circ}52' W$, $107^{\circ}47' W$, $107^{\circ}40' W$, $107^{\circ}21' W$, $107^{\circ}15' W$, $107^{\circ}5' W$, respectivamente.

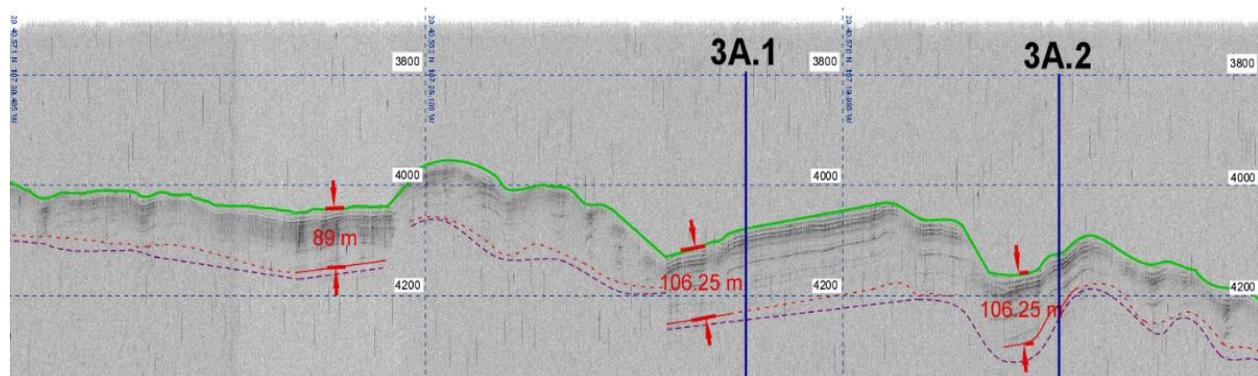
a)



b)



c)



d)

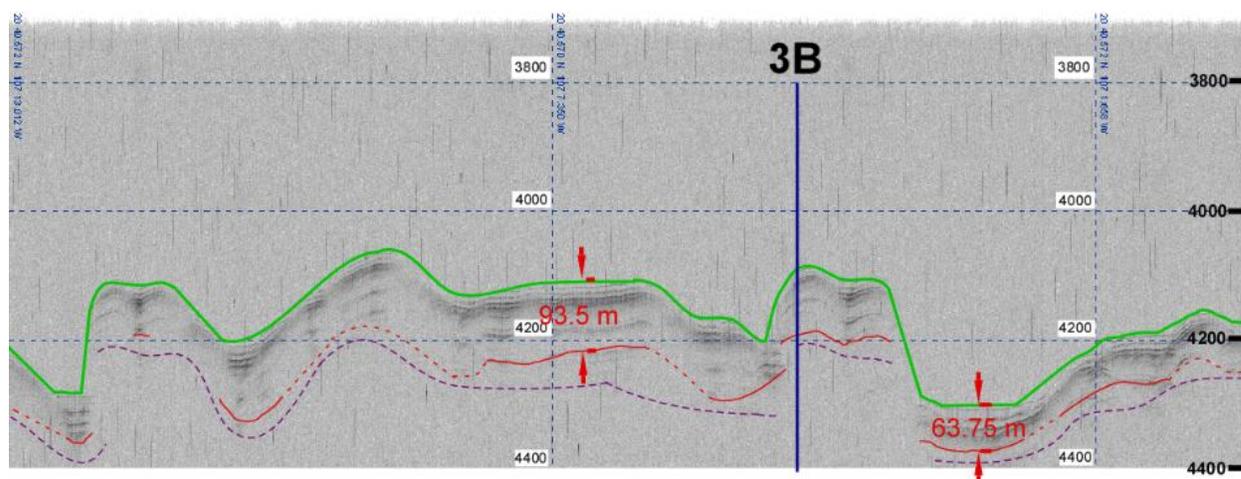
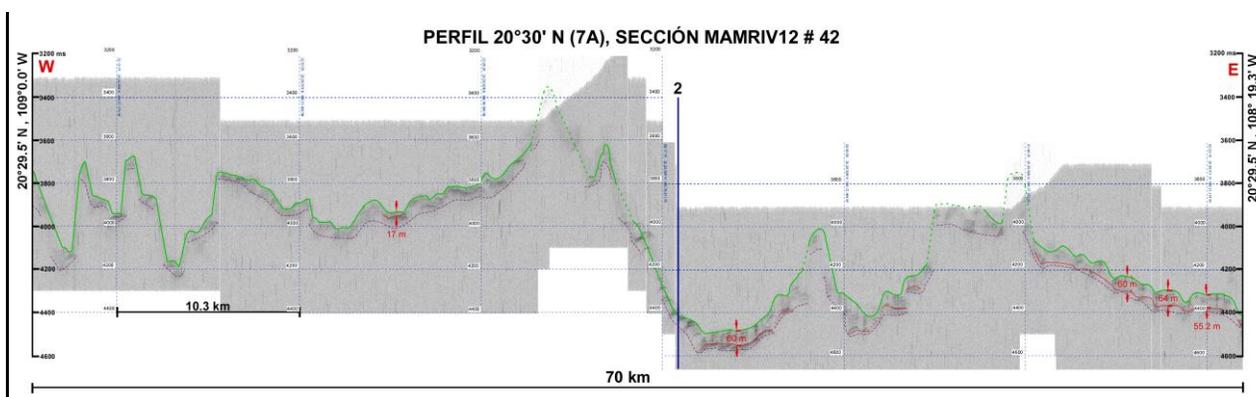


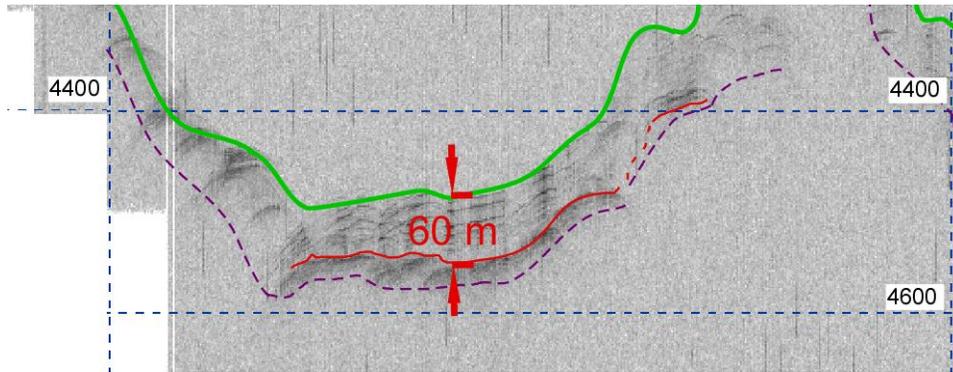
Figura 49. Sección 6B en el Perfil 6. a) Sección 6C interpretada. b) Acercamiento de la sección entre 108°0'W y 107°36' W. c) Acercamiento de la sección entre 107°36' W y 107°20' W. d) Acercamiento de la sección entre 107°20' W y 107°0' W. A lo largo de toda la sección se muestran espesores de sedimentos muy uniformes.

La sección 7A en el Perfil 7 (Figura 50) presenta un relieve rugoso con rocas consolidadas. Entre 108°39' W y 108°33' W un paquete de sedimentos es exhibido con un espesor promedio de 60 metros. En el extremo oriente de la sección, un paquete continuo de pequeña dimensión con 60 metros promedio entre 108°27' W y 108°21' W. La isócrona 2 cruza la sección en 108°47' W.

a)



b)



c)

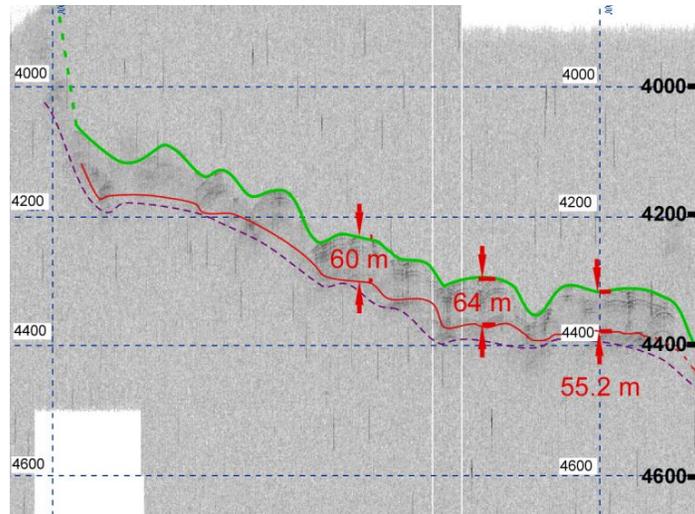


Figura 50. Sección 7A en el Perfil 7. a) Sección 7A interpretada. b) Paquete de sedimentos de 60 metros de espesor entre $108^{\circ}39'$ W y $108^{\circ}33'$ W. c) Acercamiento de la sección entre $108^{\circ}27'$ W y $108^{\circ}21'$ W, se muestra el paquete continuo de sedimentos con espesor de 60 metros.

5.2 Espesores de sedimentos

Después de la interpretación de las secciones sísmicas, se procede a estimar la tasa de sedimentación ocuriente en el sector central de la Placa de Rivera a través del registro de los espesores de la sedimentación observados a lo largo de los siete perfiles correlacionados con las correspondientes isócronas magnéticas. El mapa de la Figura 51 muestra las isócronas magnéticas de Pérez-Calderón

(2015), en donde sus edades están correlacionadas con la escala de tiempo de polaridad magnética de Cande and Kent (1992). Además, este mapa muestra la localidad de los montes y montículos submarinos derivados del levantamiento batimétrico multi-haz en este sector de la placa y con los espesores de sedimentos observados a lo largo de estos siete perfiles.

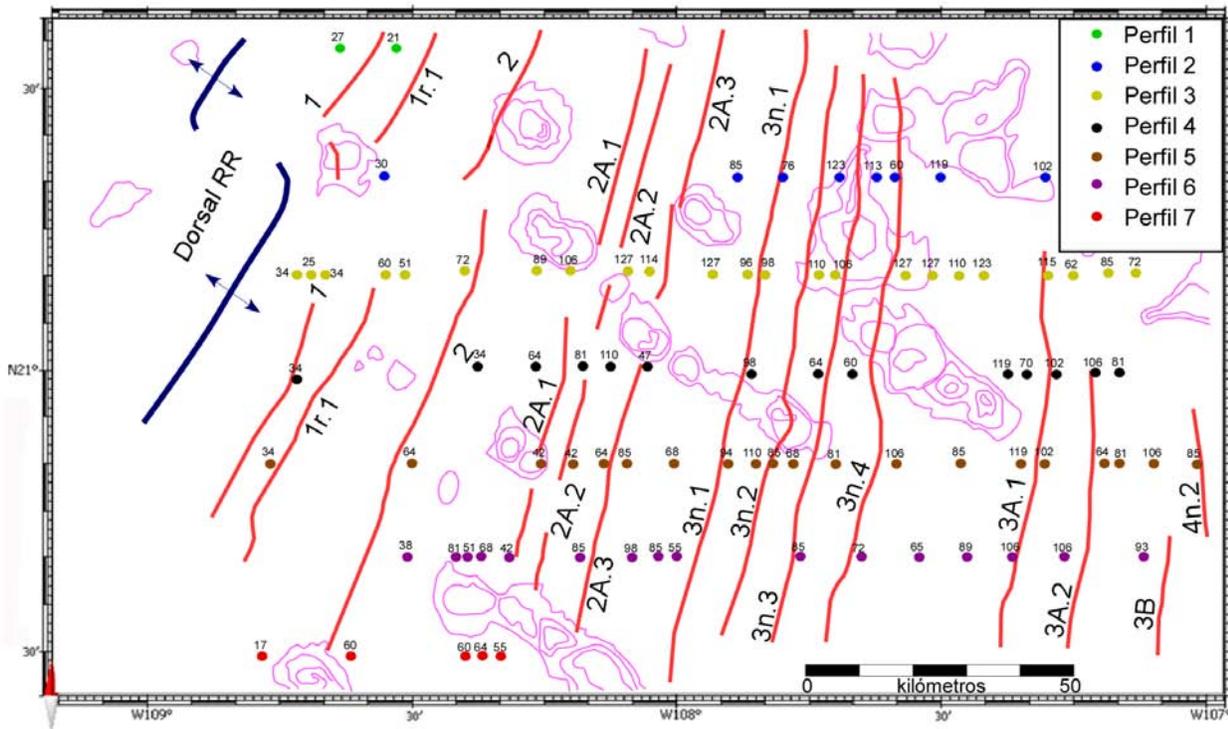


Figura 51. Mapa de distribución de los espesores de sedimentos en las secciones sísmicas interpretadas. Las Isócronas magnéticas (Color rojo), los montes y montículos submarinos (contornos magenta), y los ejes de la dorsal Rivera-Pacífico [Modificado de Pérez-Calderón, 2015].

El mayor volumen de la sedimentación está ubicado en la parte central y oriental del área de estudio, teniendo espesores desde 50 hasta 130 metros en donde se observa muy poco relieve oceánico y con tendencia plana, resultado de una continua acumulación de sedimentos pelágicos. Mientras que la parte occidental presenta muy poca sedimentación en los grábenes, con espesores menores a los 50 metros. Cercano al eje de la Dorsal RR, muy poco sedimento conforma el

nuevo piso oceánico que cubre las rocas ígneas. La discontinuidad de sedimentación en el registro de los perfiles 2, 3 y 4 se debe a la existencia de las dos cadenas de montes submarinos.

La Figura 52 muestra un mapa de contornos de los espesores de sedimentos; estos contornos son calculados utilizando una interpolación Krigging. Los mayores espesores se encuentran concentrados entre las cadenas de montes submarinos y en los sectores que el piso oceánico es de batimetría plana. El margen occidental del mapa presenta colores claros como resultado de la poca acumulación de sedimentos, lo cual el piso oceánico presenta una mayor rugosidad en la zona de la dorsal.

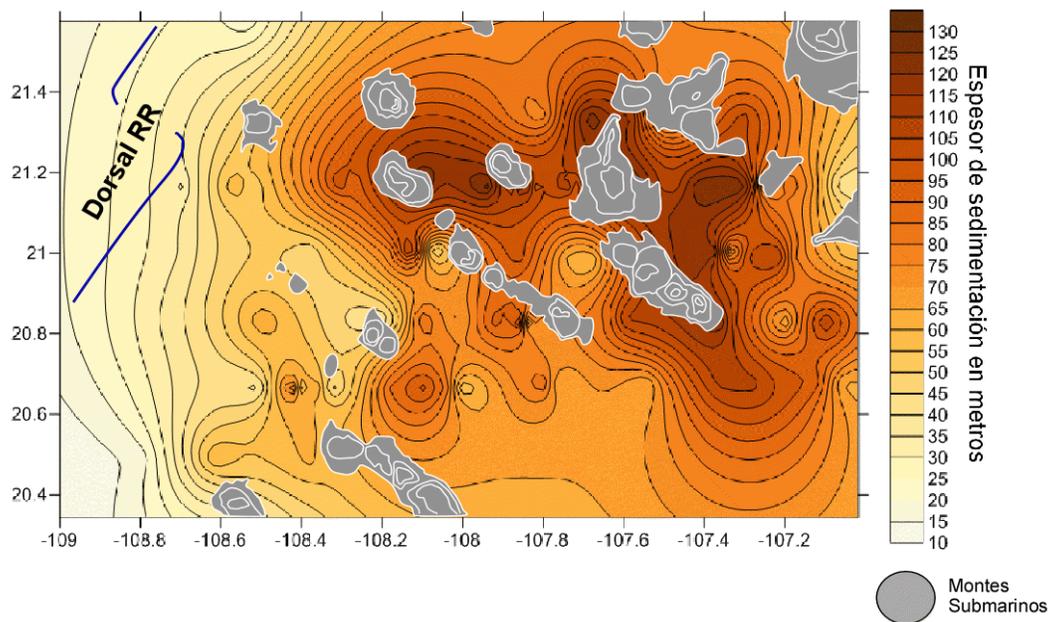


Figura 52. Mapa de contornos que indican la distribución de espesores de sedimentos en el área de estudio. La escala de colores corresponde a los espesores de sedimentos. Las cadenas de montes submarinos están indicadas en color gris.

Cada registro de espesor se correlacionó a la edad entre isócronas según su ubicación en el mapa (Figura 51). Los espesores observados, sus edades y correspondientes coordenadas son señalados en la Tabla 1. Con estos datos se calculó el comportamiento lineal de los espesores con la edad en millones de años (Figura 53).

Tabla 1. Registro de espesores de sedimentos y sus respectivas edades. Por cada medición se muestra el espesor en metros registrados, sus edades en millones de años, el periodo correspondiente entre isócronas magnéticas y sus coordenadas.

Espesor [m]	Edad Espesor [Ma]	Periodo Isócrona	Latitud [N]	Longitud [W]
27.62	0.7818	0-1	21°34.60'	108°38.68'
34	0.7818	0-1	21°10.01'	108°43.00'
25.50	0.7818	0-1	21°10.01'	108°42.50'
34	0.7929	1-1r.1	20°59.90'	108°43.00'
34	0.8071	1-1r.1	21°10.01'	108°41.10'
21.25	0.9067	1-1r.1	21°34.60'	108°32.10'
106.25	0.9094	2-2A.1	21°10.55'	108°11.92'
34	1.0040	1-1r.1	20°49.99'	108°46.00'
51	1.0978	1r.1-2	21°10.01'	108°31.45'
59.50	1.1551	1r.1-2	21°10.01'	108°33.90'
29.75	1.3374	1r.1-2	20°20.60'	108°33.90'
17	1.5134	1r.1-2	20°29.51'	108°47.93'
72.25	1.8503	1r.1-2	21°10.55'	108°24.55'
63.75	2.0943	2-2A.1	20°49.99'	108°30.00'
59.50	2.1275	2-2A.1	20°29.51'	108°37.10'
102	2.1353	2-2A.1	21°10.55'	108°18.01'
46.75	2.2473	2-2A.1	21°00.49'	108°22.70'
38.25	2.2604	2-2A.1	20°40.00'	108°30.50'
89.25	2.2718	2-2A.1	21°10.55'	108°16.97'
80.75	2.6014	2-2A.1	20°40.00'	108°25.10'
51	2.6696	2-2A.1	20°40.00'	108°24.30'
63.75	2.7509	2-2A.1	21°00.46'	108°16.33'
68	2.7719	2-2A.1	20°40.00'	108°22.08'
59.50	2.9620	2-2A.1	20°29.50'	108°24.26'
63.75	2.9940	2-2A.1	20°29.50'	108°22.34'
42.50	3.0105	2-2A.1	20°40.00'	108°19.48'
42.50	3.0448	2A.1-2A.2	20°50.10'	108°15.45'

Espesor [m]	Edad Espesor [Ma]	Periodo Isócrona	Latitud [N]	Longitud [W]
42.50	3.2953	2A.2-2A.3	20°50.10'	108°12.20'
127.50	3.3218	2A.2-2A.3	21°10.55'	108°05.42'
40.80	3.3341	2A.2-2A.3	20°50.10'	108°11.60'
110.50	3.4045	2A.2-2A.3	21°00.46'	108°07.74'
114.75	3.4872	2A.2-2A.3	21°10.55'	108°03.58'
85	3.5253	2A.2-2A.3	20°40.00'	108°10.94'
63.75	3.5501	2A.2-2A.3	20°50.10'	108°08.33'
46.75	3.6123	2A.3-3n.1	21°00.46'	108°04.24'
85	3.6507	2A.3-3n.1	20°50.10'	108°06.30'
97.75	3.8756	2A.3-3n.1	20°40.00'	108°05.31'
89.25	3.9455	2A.3-3n.1	20°40.00'	108°04.35'
85	3.9575	2A.3-3n.1	21°20.30'	107°53.12'
127.50	3.9751	2A.3-3n.1	21°10.06'	107°56.33'
85	4.0362	2A.3-3n.1	20°40.00'	108°02.53'
68	4.1004	2A.3-3n.1	20°50.17'	108°00.53'
55.25	4.1968	2A.3-3n.1	20°40.00'	108°00.10'
95.62	4.2225	2A.3-3n.1	21°10.07'	107°52.77'
127.50	4.2323	2A.3-3n.1	21°10.07'	107°50.94'
76.50	4.2932	3n.1-3n.2	21°20.30'	107°48.20'
93.50	4.3582	3n.1-3n.2	20°49.84'	107°55.18'
97.75	4.3584	3n.1-3n.2	20°59.50'	107°51.56'
85	4.5214	3n.1-3n.2	20°49.99'	107°53.00'
110.50	4.5581	3n.1-3n.2	20°49.99'	107°51.56'
55.25	4.5677	3n.1-3n.2	20°49.99'	107°50.30'
97.75	4.6193	3n.1-3n.2	21°10.01'	107°49.50'
85	4.6500	3n.2-3n.3	20°50.17'	107°49.00'
110.50	4.7230	3n.2-3n.3	20°10.07'	107°44.01'
123.25	4.7576	3n.2-3n.3	21°20.30'	107°41.30'
68	4.8037	3n.2-3n.3	20°50.17'	107°47.33'
106.25	4.8267	3n.2-3n.3	21°10.80'	107°42.69'
85	4.9111	3n.3-3n.4	20°40.57'	107°46.42'
63.75	4.9985	3n.3-3n.4	20°40.57'	107°47.18'
80.75	5.0423	3n.3-3n.4	20°50.05'	107°42.00'
112.62	5.0477	3n.3-3n.4	21°20.30'	107°37.00'
59.50	5.1009	3n.3-3n.4	20°58.98'	107°40.84'
59.50	5.1616	3n.3-3n.4	21°20.30'	107°30.00'
72.25	5.3124	3n.4-3A.1	20°40.57'	107°39.31'
127.50	5.3426	3n.4-3A.1	21°10.80'	107°34.90'

Espesor [m]	Edad Espesor [Ma]	Periodo Isócrona	Latitud [N]	Longitud [W]
106.25	5.3659	3n.4-3A.1	20°50.04'	107°35.61'
110.50	5.4753	3n.4-3A.1	21°10.80'	107°30.90'
106.25	5.5281	3n.4-3A.1	21°10.80'	107°28.59'
119	5.5325	3n.4-3A.1	21°20.30'	107°35.10'
64.60	5.6118	3n.4-3A.1	20°40.57'	107°32.70'
85	5.7251	3n.4-3A.1	20°49.88'	107°27.90'
123.25	5.7916	3n.4-3A.1	21°10.80'	107°24.99'
89.25	5.8862	3n.4-3A.1	20°40.57'	107°27.30'
119	5.9054	3n.4-3A.1	21°00.20'	107°22.50'
70.12	5.9976	3n.4-3A.1	21°00.14'	107°20.92'
80.75	6.001	3n.4-3A.1	20°59.52'	107°19.59'
119	6.0587	3n.4-3A.1	20°49.79'	107°21.00'
102	6.1084	3n.4-3A.1	21°20.38'	107°18.14'
106.25	6.1107	3n.4-3A.1	20°40.57'	107°21.82'
123.25	6.1357	3A.1-3A.2	21°10.80'	107°18.70'
102	6.1485	3A.1-3A.2	20°59.52'	107°17.29'
114.75	6.1843	3A.1-3A.2	21°10.80'	107°17.00'
102	6.2381	3A.1-3A.2	20°49.80'	107°19.90'
106.25	6.4277	3A.1-3A.2	20°40.57'	107°16.42'
106.25	6.6011	3A.2-3A.B	20°59.52'	107°12.70'
106.25	6.6195	3A2-4n.2	20°49.80'	107°05.91'
85	6.7088	3A2-3B	21°10.21'	107°11.50'
63.75	6.7178	3A2-4n.2	20°49.80'	107°11.83'
80.75	6.7376	3A.2-3A.B	20°59.52'	107°10.81'
80.75	6.7755	3A2-4n.2	20°49.80'	107°10.30'
72.25	6.8444	3A2-3B	21°10.21'	107°08.00'
93.50	6.9399	3A.2-3B	20°40.57'	107°07.30'

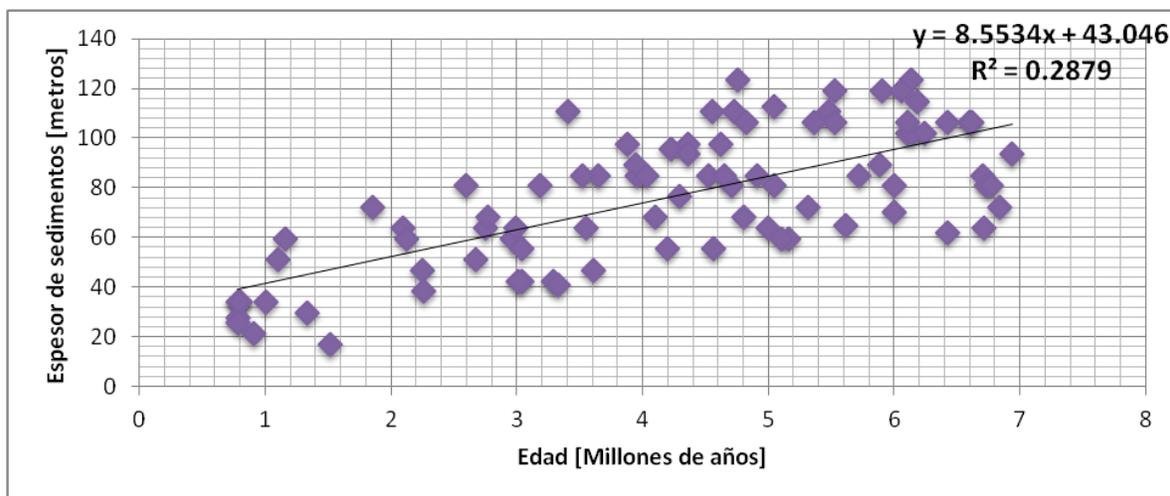


Figura 53. Gráfica de espesores de sedimentos registrados en la Tabla 1. Se muestra la fila de Edad [Ma.] vs Espesor [m] registrado.

El comportamiento lineal de los espesores vs la edad, está expresado en la siguiente ecuación:

$$\text{Espesor (metros)} = 8.5534 (\text{Edad}) + 43.046 \quad (5.1)$$

Con un R^2 de 0.2879

Esta ecuación indica que los espesores de la sedimentación incrementan con respecto a la edad, casi triplicados después de 6Ma.

Para obtener la tasa de sedimentación en el sector central de la Placa de Rivera, se procede a evaluar la ecuación 5.1, para cada edad en millones de años, con el fin de obtener el valor del espesor en metros según la tendencia lineal. Cada valor obtenido en metros, se convirtió a milímetros y se dividió entre la edad en años para conocer el incremento del espesor de los sedimentos por año. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tasa de sedimentación en mm/año. La tasa se muestra en comparación con la edad en millones de años de la Placa de Rivera.

Edad [Ma]	Espesor [m]	Espesor [mm]	Tasa de sedimentación [mm/año]
1	51.6	51,600	0.051
2	60.15	60,150	0.030
3	68.7	68,700	0.023
4	77.26	77,260	0.019
5	85.81	85,810	0.017
6	94.36	94,360	0.015
7	102.92	102,920	0.014

La tasa de sedimentación muestra un incremento lineal de sedimentación durante los 7 millones de años. La variación de la tasa de sedimentación es muy poca, con un máximo de 0.051 mm/año y un mínimo de 0.014 mm/año. Probablemente el incremento continuo se deba a que poco varió la sedimentación pelágica durante este periodo. Sin embargo esta estimación de la tasa de sedimentación, es un mínimo esperado debido a la limitante en penetración de energía acústica debajo del lecho oceánico y es de esperarse que los espesores sean mayores a los observados en las secciones sísmicas de los siete perfiles de este estudio.

VI. CONCLUSIONES

Las secciones sísmicas del sector central de la Placa de Rivera que cruzaron desde la dorsal hasta la isócrona más vieja (4n.2, con una edad de 7 Ma.) muestran capas de sedimentos que cubren la corteza oceánica formada en esta región.

Estas secciones sísmicas penetraron hasta 140 metros por debajo del piso oceánico, en las cuales se pudieron diferenciar en varias regiones alejadas de la dorsal oceánica RR, presentando un aporte mayor de sedimentos. Las regiones cercanas a la dorsal su relieve batimétrico está dominado por la rugosidad de las formaciones ígneas que carecen de sedimentos o que tienen muy pocos sedimentos sobre el piso oceánico.

La región por donde cruza el eje de la dorsal RR en el área de estudio presenta gran rugosidad en el relieve y con pocos sedimentos pelágicos acumulados en pequeñas depresiones.

Fuera de la región de la dorsal RR, los espesores sedimentarios se van incrementando, mientras más distante son de la dorsal, y en donde se observa una batimetría plana es donde se encuentran los mayores espesores.

Los mayores espesores de sedimentos de toda el área de estudio, están entre las cadenas de montes submarinos. Efectivamente, la columna sedimentaria del pozo 473 del Deep Sea Drilling Program [Yeats et al., 1978], y la recopilación de datos en el mapa global de espesores [Whitaker et al., 2013] muestran que los máximos espesores de sedimentos son de 250 m aproximadamente.

Por esto, es muy probable que los espesores reales correspondientes a las secciones sísmicas de este estudio sean mayores; probablemente la penetración del perfilador no alcanzó la interfase de sedimento-corteza oceánica, limitando la estimación de los espesores a un mínimo.

El aporte de sedimentos en el área de estudio proviene de la acumulación de material pelágico que se va depositando con la edad. Esta relación lineal de espesores de sedimentos-edad, indica que en este sector no hubo un aporte terrígeno de sedimentos a consecuencia de las barreras estructurales que presentan los límites de la Placa de Rivera.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo-Camargo, E., Trápaga, R., 1996, *Geodinámica de México y minerales del mar*, Fondo de Cultura Económica de España, pp. 26.

Atwater, T., 1970, *Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of Western North America Bull*, Geological Society of America, Vol. 81, pp. 3513-3536.

Atwater, T., 1989, *Plate tectonic history of the northeast Pacific and western North America*, Geological Society of America, Vol. N, pp. 21-72.

Bandy, W.L., Taran, Y., Gutiérrez, C.M., Kostoglodov, V., 2011, *Geodynamics of the Mexican Pacific Margin*, Birkhauser Geoscience.

Bandy W.L., Michaud, F. Mortera Gutiérrez, C.M., Dymant, J., Bourgois, J., 2010, *The Mid-Rivera-Transform Discordance: Morphology and Tectonic Development*, Pure Applied Geophysics, N. 168, pp. 1391-1413

BENTOS Servicios y Equipos Marinos, 2014, *Perfiladores Marinos de Subfondo*. BENTOS Ltda. Sitio web: <http://www.bentos.cl/esp/archivos/SBP.pdf>

Cande, S., Kent, D.V., 1992, *A New Geomagnetic Polarity Time Scale for the Late Cretaceous and Cenozoic*, Journal of Geophysical Research, Vol. 97, pp. 13,917-13,951

DeMets, C., Traylen, S., 2000, *Motion of the Rivera Plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle*, Tectonophysics Vol. 318.

Divins, D.L., 2003, *Total Sediment Thickness of the World's Oceans & Marginal Seas*, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO,

Jeff Gu., 2014, *Geophysical Exploration Techniques. 2015*, University of Alberta, Sitio web: <http://www.ualberta.ca/~ygu/courses/geoph224/syllabus2014.pdf>

Jones, E.J.W., 1999, *Marine Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd.

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

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

Macdonald, K.C., in **Winterer, E.L., D.M. Hussong, Decker, R.W.**, 1989, *Tectonic and magmatic processes on the East Pacific Rise*, in *The Geology of North America: The Eastern Pacific Ocean and Hawaii*, Vol. N, Geological Society of America, Boulder, pp. 93-110.

Mammerickx, J., Klitgord, K.D., 1982, Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. B.P. to the present. *Journal of Geophysical Research* 87.

Michaud, F., Royer, J.Y., Bourgois, J., Mercier de Lepinay, B., 1996, *The Rivera Fracture Zone Revisited*, *Marine Geology*, **137**, pp. 207-225.

Lamont-Doherty Earth Observatory, 2013, *Mapping the Galicia Rift off Spain*. *Columbia University*,

<https://www.ldeo.columbia.edu/aggregator/sources/39>

Lonsdale, P., 1989, *Geology and Tectonic History of the Gulf of California*, in *The Geology of North America: The Eastern Pacific Ocean and Hawaii*, Vol. N, Geological Society of America, pp. 499-521.

Lonsdale, P., 1995, *Segmentation and Disruption of the East Pacific Rise in the Mouth of the Gulf of California*, *Marine Geophysics Researches*, **17**, pp. 323-359.

Lonsdale, P., 1991, *Structural Patterns of the Pacific Floor Offshore of the Peninsular California*, *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, **47**, pp. 87-125.

Pérez-Calderón, D.A., 2015, *Evolución Tectónica de la Parte Central de la Placa de Rivera con Datos Magnéticos y Batimetría Multi-haz*, Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, Cambridge UK.

Siebe, C., Macías, J.L., Aguirre Díaz, G., 2006, *Neogene-Quaternary continental margin volcanism: A perspective from México*, Geological Society of America, Colorado, USA, pp. 8-10

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

Winterer, E.L., Hussong, D.M., Decker, R.W., 1990, *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii Vol. 2*, Geological Society of America

Whittaker, J. Goncharov, A., Williams, S., Müller, R.D., Leitchenkov, G., 2013
Global sediment thickness dataset updated for the Australian-Antarctic Southern Ocean, Geochemistry, Geophysics, Geosystems

Yeats, R.S., Haq, B.U., Pisicotto K.A., 1978, *Introduction and Explanatory Notes, Deep Sea Drilling Project LEG 63.* Woods Hole Oceanographic Institution and Scripps Institution of Oceanography

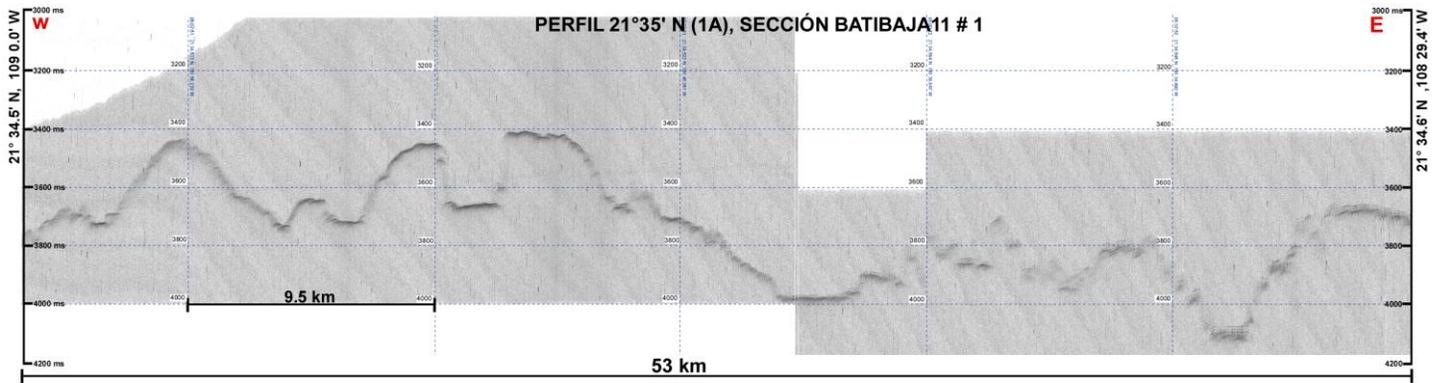
VIII. ANEXOS

ANEXO A: Secciones sísmicas procesadas

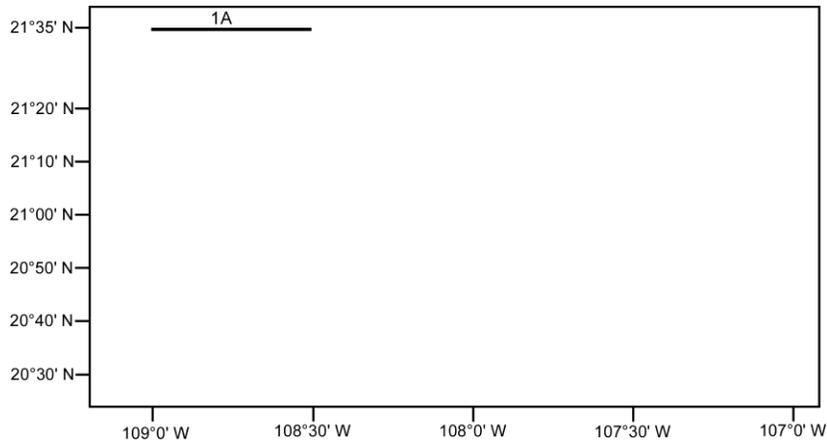
CONTENIDO

- Perfil 1, sección 1A. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 8 de septiembre de 2011, con una extensión de 53 km orientado W-E.
- Perfil 2, sección 2A. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 9 de septiembre de 2011 con una extensión de 45.3 km orientado W-E.
- Perfil 2, sección 2B. Obtenido en la campaña MAMRIV07 el 15 de diciembre de 2007 con una extensión de 70 km orientado W-E.
- Perfil 3, sección 3A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 25 de mayo de 2012 con una extensión de 52.5 km orientado W-E.
- Perfil 3, sección 3B. Obtenido en la campaña MORTIC08 el 21 de marzo de 2009 con una extensión de 52 km orientado W-E.
- Perfil 3, sección 3C. Obtenido el campaña BABRIP06 el 10 de octubre de 2006 con una extensión de 28 km orientado W-E.
- Perfil 3, sección 3D. Obtenido en la campaña MAMRIV07 el 14 de diciembre de 2007 con una extensión de 53 km orientado W-E.
- Perfil 3, sección 3E. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 24 de octubre de 2014 con una extensión de 26 km orientado W-E.
- Perfil 4, sección 4A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 26 de mayo de 2012 con una extensión de 49 km orientado W-E.
- Perfil 4, sección 4B. Obtenido en la campaña MORTIC08 el 20 de mayo de 2009 con una extensión de 52 km orientado W-E.
- Perfil 4, sección 4C. Obtenido en la campaña BABRIP06 el 10 de octubre de 2006 con una extensión de 51 km orientado W-E.
- Perfil 4, sección 4D. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 23 de octubre de 2008 con una extensión de 36 km orientado W-E.
- Perfil 5, sección 5A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 28 de mayo de 2012 con una extensión de 52 km orientado W-E..
- Perfil 5, sección 5B. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 12 de septiembre de 2011 con una extensión de 52 km orientado W-E.

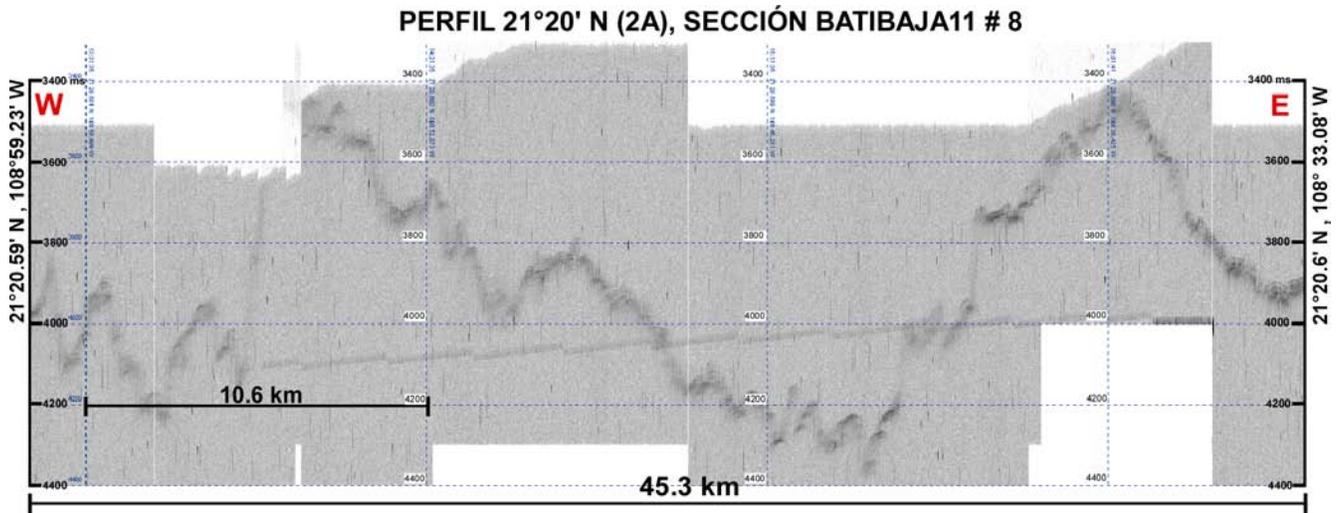
- Perfil 5, sección 5C. Obtenido en la campaña BABRIP06 el 8 de octubre de 2006 con una extensión de 70 km orientado W-E.
- Perfil 5, sección 5D. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 22 de octubre de 2008 con una extensión de 36 km orientado W-E.
- Perfil 6, sección 6A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 30 de mayo de 2012 con una extensión de 52 km orientado W-E.
- Perfil 6, sección 6B. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 11 de septiembre de 2011 con una extensión de 70 km orientado W-E.
- Perfil 6, sección 6C. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 20 de octubre de 2008 con una extensión de 103 km orientado W-E.
- Perfil 7, sección 7A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 31 de mayo de 2012 con una extensión de 70 km orientado W-E.



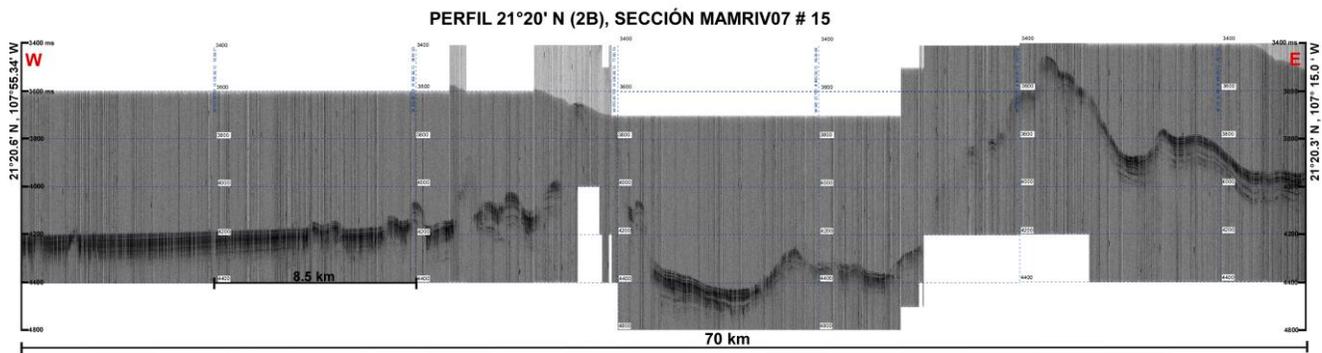
Perfil 1, sección 1A. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 8 de septiembre de 2011, con una extensión de 53 km orientado W-E.



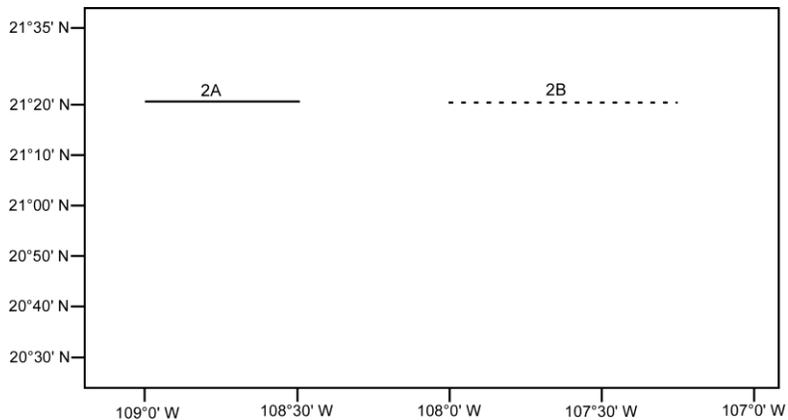
Ubicación de secciones en el perfil 1



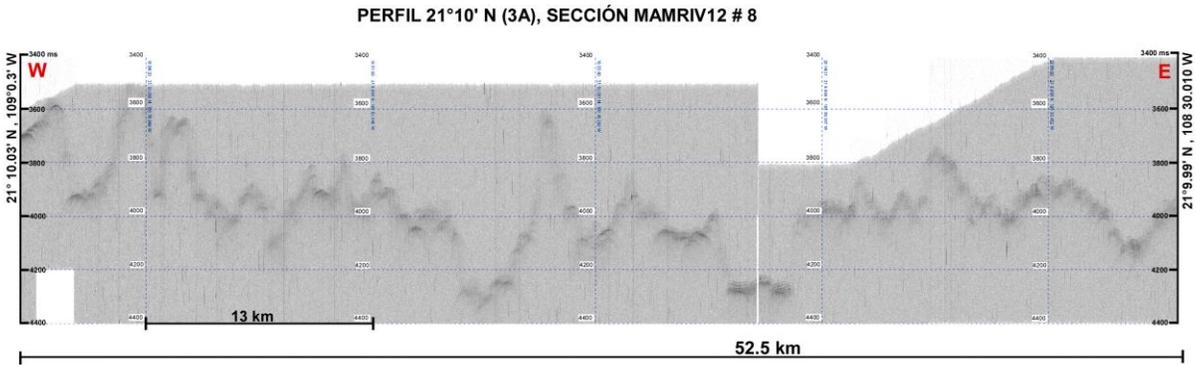
Perfil 2, sección 2A, Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 9 de septiembre de 2011 con una extensión de 45.3 km orientado W-E.



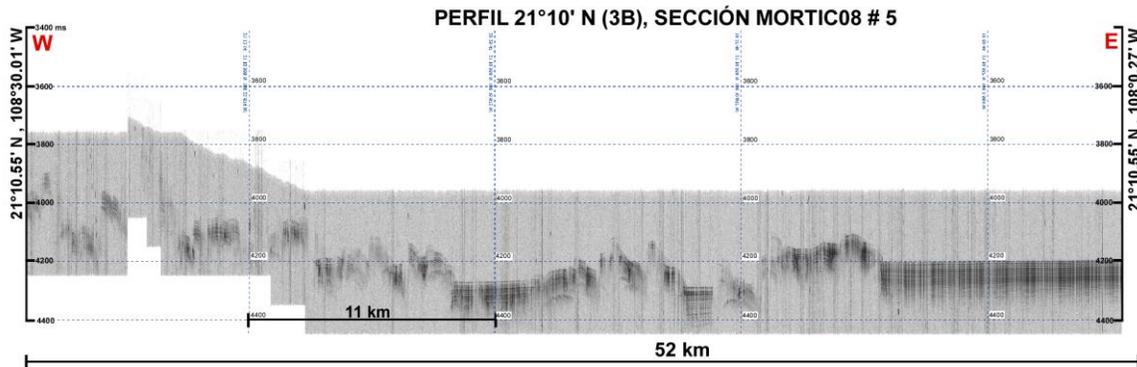
Perfil 2, sección 2B, Obtenido en la campaña MAMRIV07 el 15 de diciembre de 2007 con una extensión de 70 km orientado W-E.



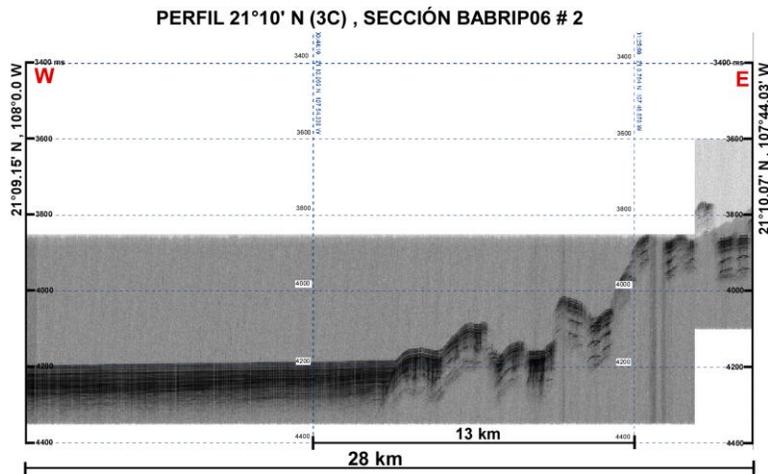
Ubicación de secciones en el perfil 2



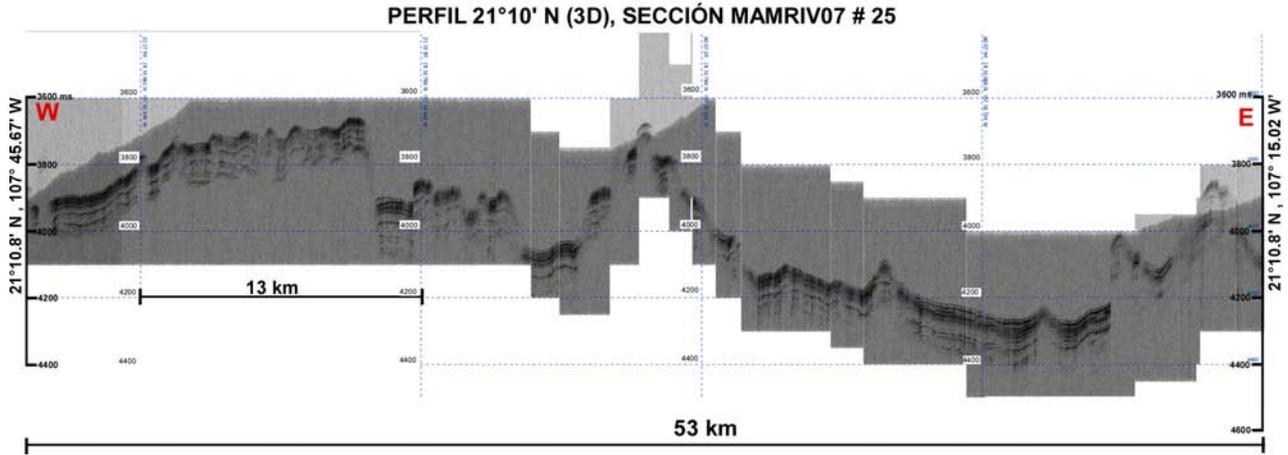
Perfil 3, sección 3A, Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 25 de mayo de 2012 con una extensión de 52.5 km orientado W-E.



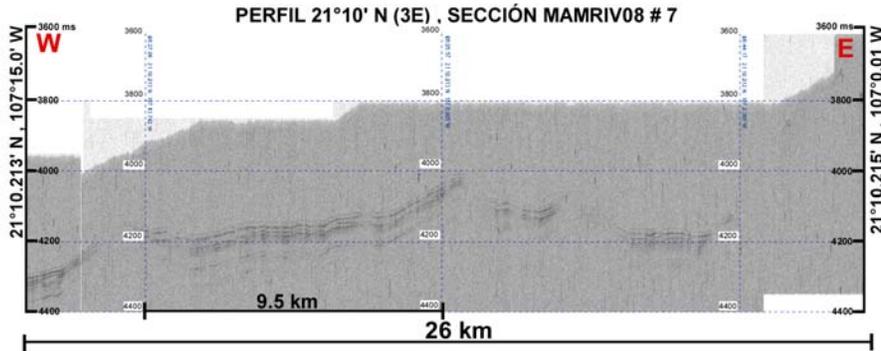
Perfil 3, sección 3B, Obtenido en la campaña MORTIC08 el 21 de marzo de 2009 con una extensión de 52 km orientado W-E.



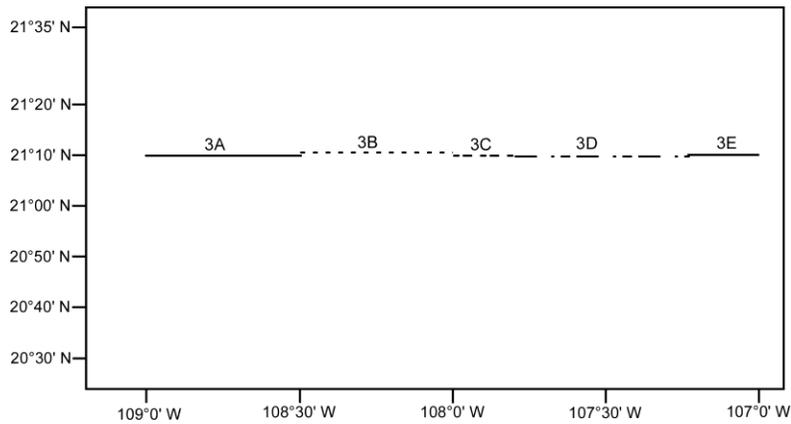
Perfil 3, sección 3C, Obtenido en la campaña BABRIP06 el 10 de octubre de 2006 con una extensión de 28 km orientado W-E.



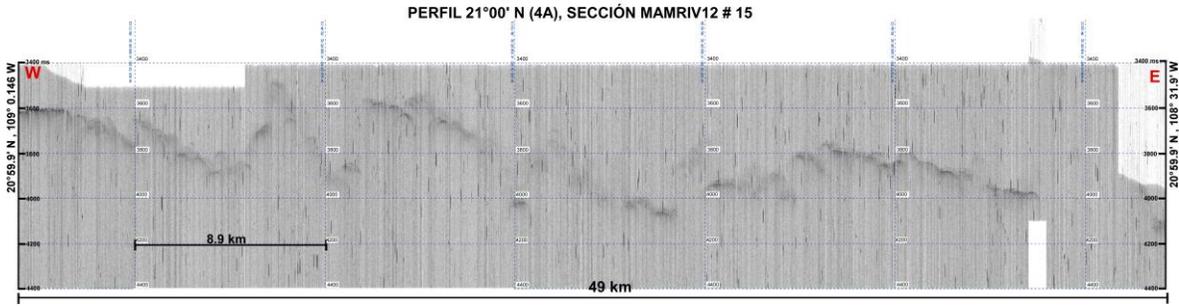
Perfil 3, sección 3D, Obtenido en la campaña MAMRIV07 el 14 de diciembre de 2007 con una extensión de 53 km orientado W-E.



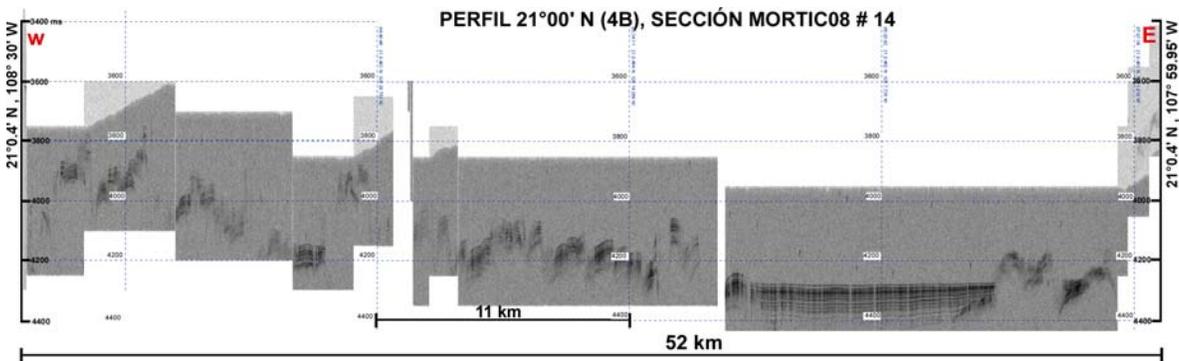
Perfil 3, sección 3E, Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 24 de octubre de 2014 con una extensión de 26 km orientado W-E.



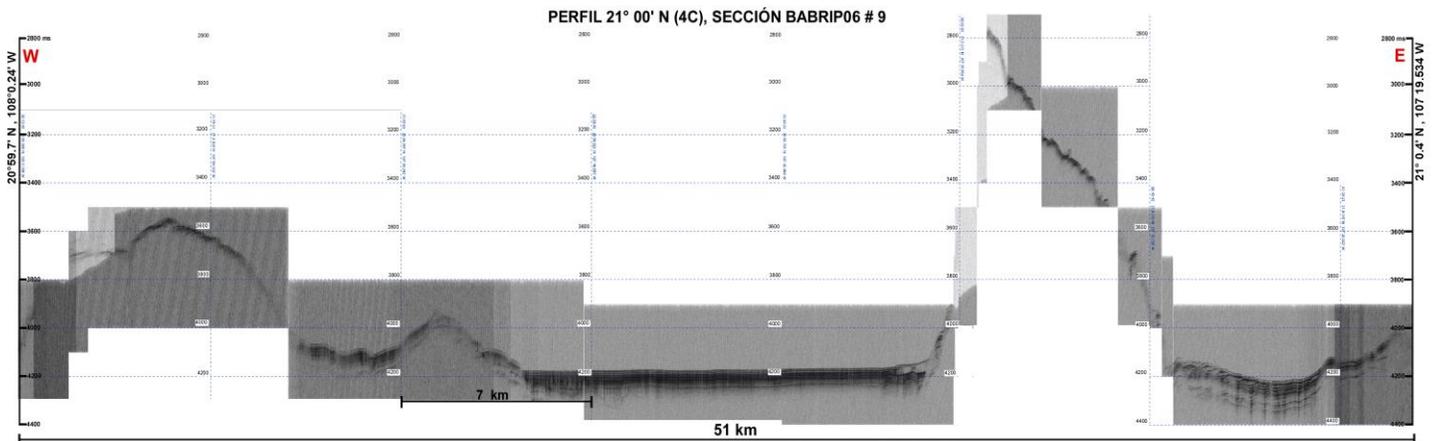
Ubicación de secciones en el perfil 3



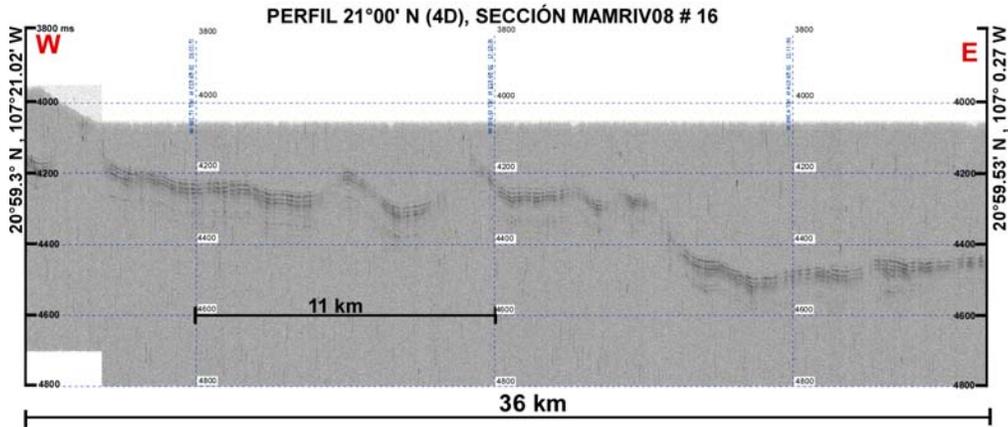
Perfil 4, sección 4A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 26 de mayo de 2012 con una extensión de 49 km orientado W-E.



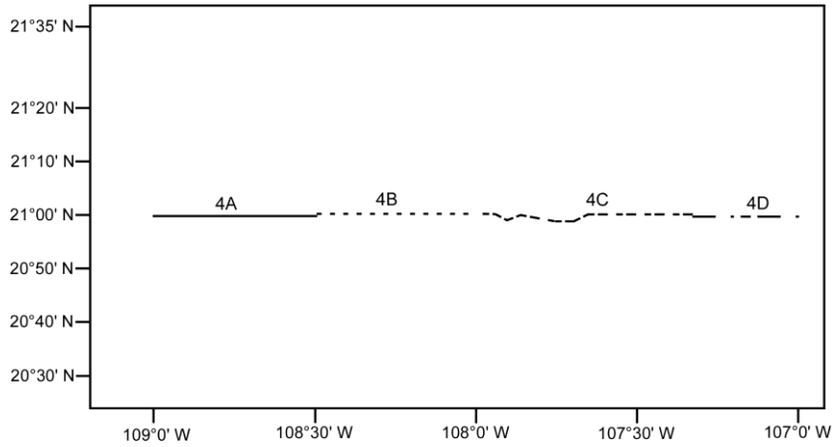
Perfil 4, sección 4B. Obtenido en la campaña MORTIC08 el 20 de mayo de 2009 con una extensión de 52 km orientado W-E.



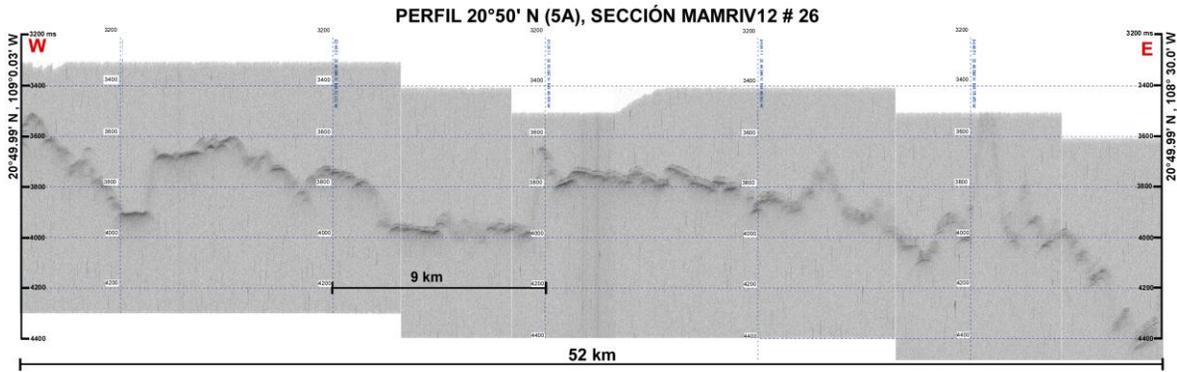
Perfil 4 ,sección 4C. Obtenido en la campaña BABRIP06 el 10 de octubre de 2006 con una extensión de 51 km orientado W-E.



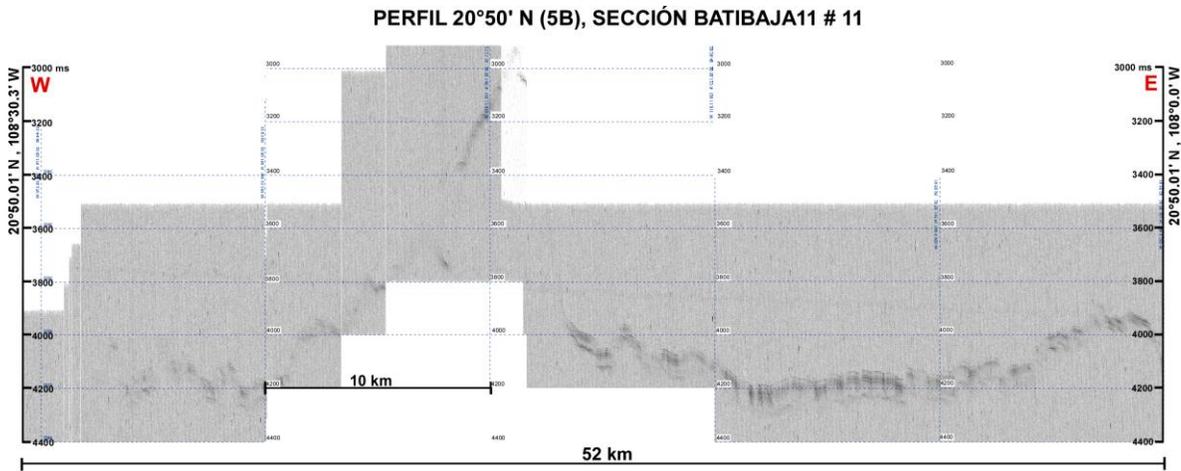
Perfil 4 ,sección 4D. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 23 de octubre de 2008 con una extensión de 36 km orientado W-E.



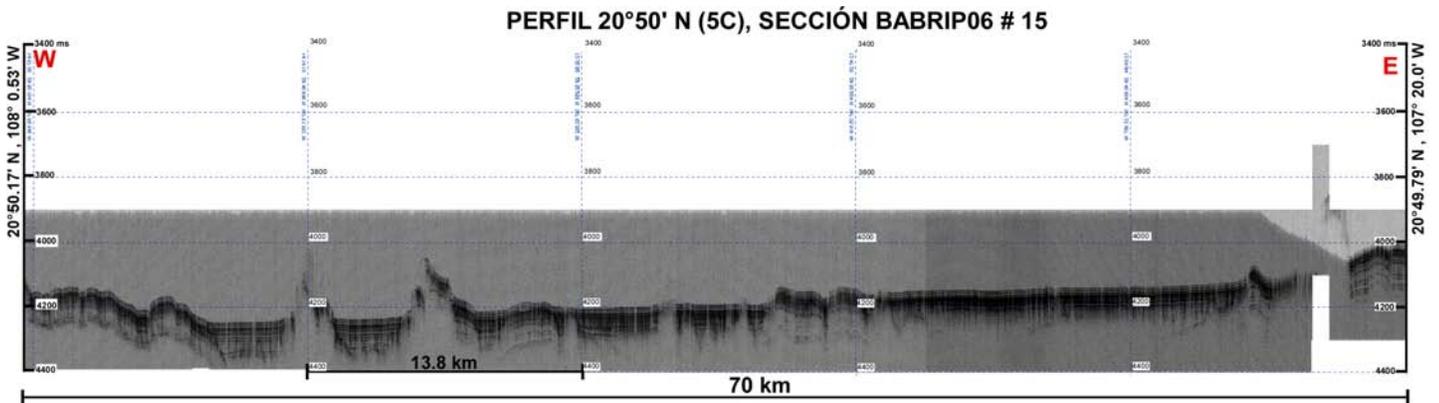
Ubicación de secciones en el perfil 4



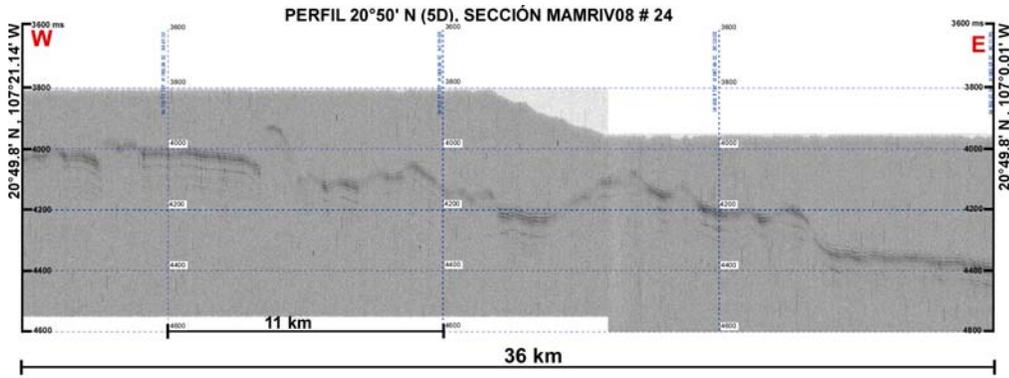
Perfil 5, sección 5A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 28 de mayo de 2012 con una extensión de 52 km orientado W-E..



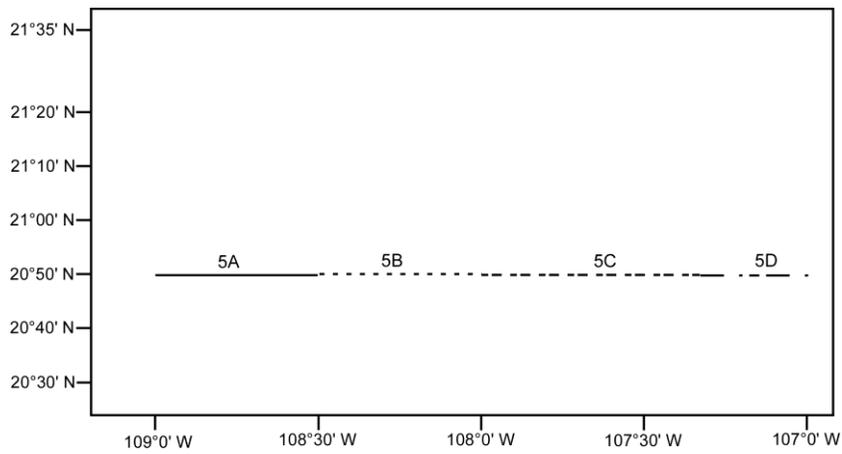
Perfil 5, sección 5B. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 12 de septiembre de 2011 con una extensión de 52 km orientado W-E.



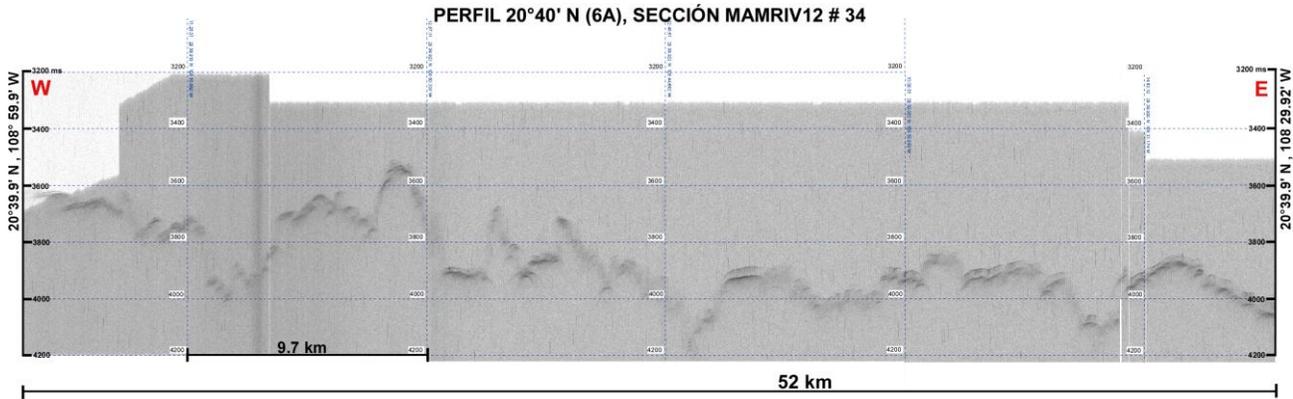
Perfil 5, sección 5C. Obtenido en la campaña BABRIP06 el 8 de octubre de 2006 con una extensión de 70 km orientado W-E.



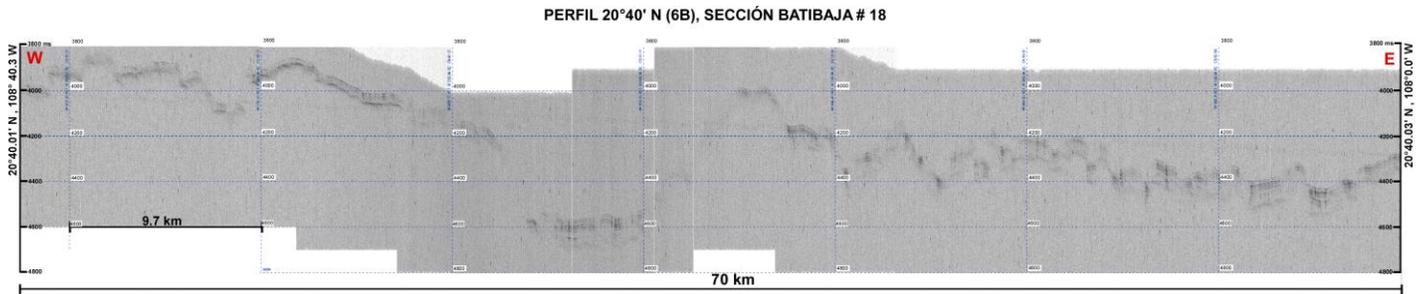
Perfil 5, sección 5D. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 22 de octubre de 2008 con una extensión de 36 km orientado W-E.



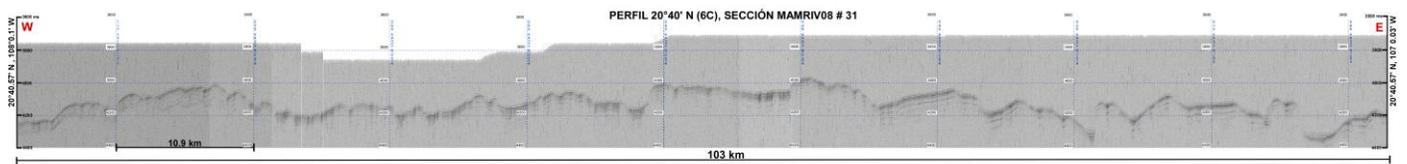
Ubicación de secciones en el perfil 5



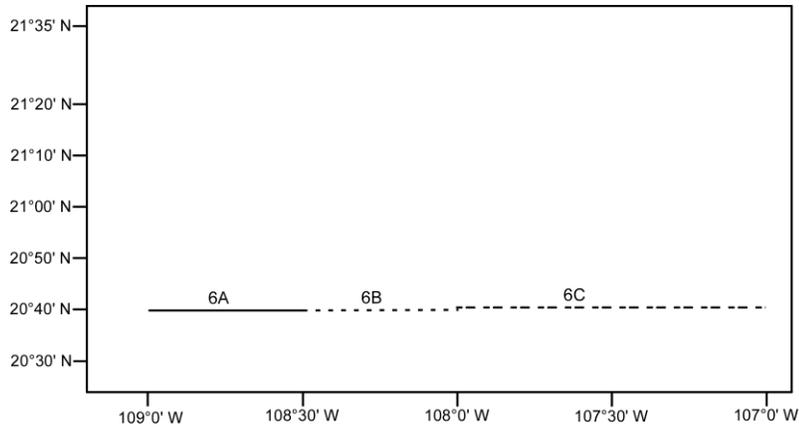
Perfil 6, sección 6A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 30 de mayo de 2012 con una extensión de 52 km orientado W-E.



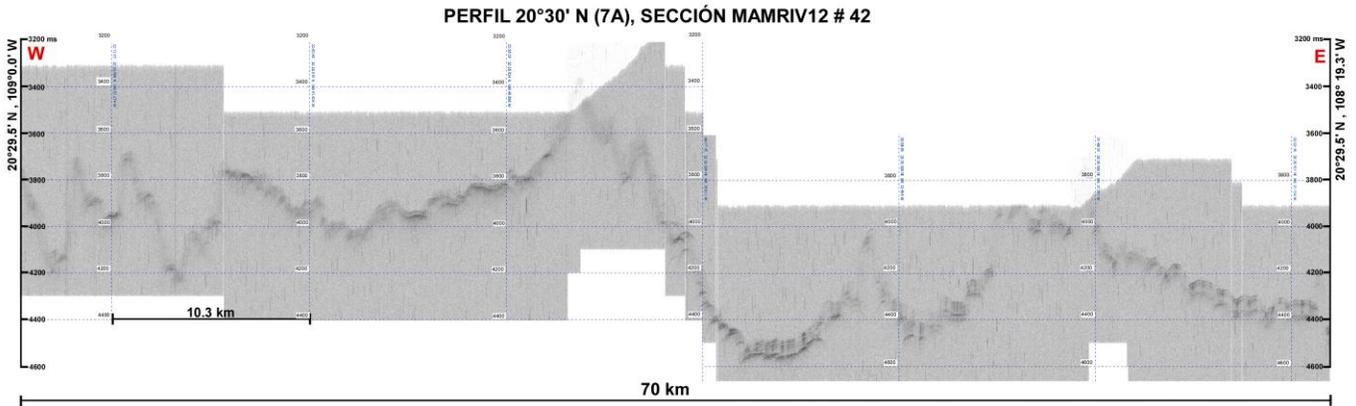
Perfil 6, sección 6B. Obtenido en la campaña BATIBAJA11 el 11 de septiembre de 2011 con una extensión de 70 km orientado W-E



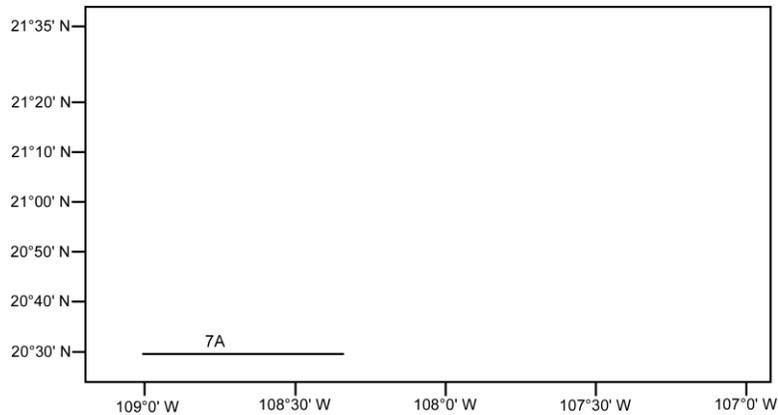
Perfil 6, sección 6C. Obtenido en la campaña MAMRIV08 el 20 de octubre de 2008 con una extensión de 103 km orientado W-E.



Ubicación de secciones en el perfil 6



Perfil 7, sección 7A. Obtenido en la campaña MAMRIV12 el 31 de mayo de 2012 con una extensión de 70 km orientado W-E.



Ubicación de secciones en el perfil 7

ANEXO B

Tabla Anexo B: Registro de espesores de paquetes de sedimentos a partir de la interpretación de la sísmica. Por cada dato se muestra el perfil, sección, campaña, transecto, latitud, longitud, espesor en metros, el periodo de Isócrona [Cande y Kent, 1992], la edad de la isócrona, y la edad del espesor interpolada.

Perfil	Sección	Campaña	Transecto	Latitud	Longitud	Espesor Metros	Periodo Isócrona	Edad Isócrona	Edad Espesor
1	A	BATIBAJA11	1	21 34.6 N	108 38.677 W	27.625	0-1	0.7818	0.7818
1	A	BATIBAJA11	1	21 34.6	108 32.1 W	21.25	1-1r.1	1.0733	0.9067
2	A	BATIBAJA11	8	20 20.6 N	108 33.9 W	29.75	1r.1-2	1.9535	1.33736
2	B	MAMRIV07	15	21 20.301 N	107 53.118 W	85	2A.3-3n.1	4.2932	3.9575
2	B	MAMRIV07	15	21 20.3 N	107 48.203 W	76.5	3n.1-3n.2	4.6193	4.2932
2	B	MAMRIV07	15	21 20.3 N	107 41.302 W	123.25	3n.2-3n.3	4.8959	4.7576
2	B	MAMRIV07	15	21 20.3 N	107 37.00 W	112.625	3n.3-3n.4	5.2376	5.0477
2	B	MAMRIV07	15	21 20.3	107 30 W	59.5	3n.3-3n.4	5.2376	5.1616
2	B	MAMRIV07	15	21 20.3 N	107 35.1 W	119	3n.4-3A.1	6.1357	5.5325
2	B	MAMRIV07	15	21 20.38 N	107 18.141 W	102	3n.4-3A.1	6.1357	6.10848
3	A	MAMRIV12	8	21 10.01 N	108 43 W	34	0-1	0.7818	0.7818
3	A	MAMRIV12	8	21 10.01 N	108 42.5 W	25.5	0-1	0.7818	0.7818
3	A	MAMRIV12	8	21 10.01 N	108 41.1 W	34	1-1r.1	1.0733	0.8071
3	A	MAMRIV12	8	21 10.01 N	108 33.9 W	59.5	1r.1-2	1.9535	1.1551
3	A	MAMRIV12	8	21 10.01 N	108 31.45 W	51	1r.1-2	1.9535	1.0978
3	B	MORTIC08	5	21 10.556 N	108 24.555 W	72.25	1r.1-2	1.9535	1.8503
3	B	MORTIC08	5	21 10.55 N	108 18.01 W	102	2-2A.1	3.0448	2.1353
3	B	MORTIC08	5	21 10.55 N	108 16.972 W	89.25	2-2A.1	3.0448	2.2718
3	B	MORTIC08	5	21 10.55 N	108 11.92 W	106.25	2-2A.1	3.0448	0.9094
3	B	MORTIC08	5	21 10.55 N	108 5.42 W	127.5	2A.2-2A.3	3.5865	3.3218
3	B	MORTIC08	5	21 10.55 N	108 3.58 W	114.75	2A.2-2A.3	3.5865	3.4872
3	C	BABRIP06	2	21 10.06 N	107 56.33 W	127.5	2A.3-3n.1	4.2932	3.9751
3	C	BABRIP06	2	21 10.07 N	107 52.77 W	95.625	2A.3-3n.1	4.2932	4.22253
3	C	BABRIP06	2	21 10.07 N	107 50.94 W	127.5	2A.3-3n.1	4.2932	4.2323
3	C	BABRIP06	2	21 10.01 N	107 49.5 W	97.75	3n.1-3n.2	4.6193	4.6193
3	C	BABRIP06	2	21 10.07 N	107 44.01 W	110.5	3n.2-3n.3	4.8959	4.723
3	D	MAMRIV07	25	21 10.802 N	107 42.686 W	106.25	3n.2-3n.3	4.8959	4.82675
3	D	MAMRIV07	25	21 10.8 N	107 34.9 W	127.5	3n.4-3A.1	6.1357	5.3426
3	D	MAMRIV07	25	21 10.8 N	107 30.9 W	110.5	3n.4-3A.1	6.1357	5.4753
3	D	MAMRIV07	25	21 10.8 N	107 28.59 W	106.25	3n.4-3A.1	6.1357	5.52816
3	D	MAMRIV07	25	21 10.8 N	107 24.99 W	123.25	3n.4-3A.1	6.1357	5.7916
3	D	MAMRIV07	25	21 10.8 N	107 18.7 W	123.25	3A.1-3A.2	6.5738	6.1357

3	D	MAMRIV07	25	21 10.8	107 17 W	114.75	3A.1-3A.2	6.5738	6.1843
3	E	MAMRIV08	7	21 10.21 N	107 11.5 W	85	3A2-3B	7.0925	6.7088
3	E	MAMRIV08	7	21 10.21 N	107 8 W	72.25	3A2-3B	7.0925	6.8444
4	A	MAMRIV12	15	20 59.898 N	108 43.0 W	34	1-1r.1	1.0733	0.7929
4	B	MORCITO8	14	21 0.483 N	108 22.7 W	46.75	2-2A.1	3.0448	2.2473
4	B	MORCITO8	14	21 0.464 N	108 16.33 W	63.75	2-2A.1	3.0448	2.7509
4	B	MORTIC08	14	21 0.462 N	108 10.55 W	80.75	2A.1-2A.2	3.2226	3.18224
4	B	MORTIC08	14	21 0.462 N	108 7.738 W	110.5	2A.2-2A.3	3.5865	3.40455
4	B	MORTIC08	14	21 0.462 N	108 4.245 W	46.75	2A.3-3n.1	4.2932	3.6123
4	C	BABRIP06	9	20 59.5 N	107 51.557 W	97.75	3n.1-3n.2	4.6193	4.35842
4	C	BABRIP06	9	20 58.981 N	107 40.84 W	59.5	3n.3-3n.4	5.2376	5.1009
4	C	BABRIP06	9	21 0.2 N	107 22.5 W	119	3n.4-3A.1	6.1357	5.9054
4	C	BABRIP06	9	21 0.147 N	107 20.923 W	70.125	3n.4-3A.1	6.1357	5.9976
4	D	MAMRIV08	16	20 59.523 N	107 19.587 W	80.75	3n.4-3A.1	6.1357	6.001
4	D	MAMRIV08	16	20 59.523 N	107 17.286 W	102	3A.1-3A.2	6.5738	6.1485
4	D	MAMRIV08	16	20 59.522	107 12.7 W	106.25	3A.2-3A.B	7.0925	6.6011
4	D	MAMRIV08	16	20 59.522 N	107 10.81 W	80.75	3A.2-3A.B	7.0925	6.7376
5	A	MAMRIV12	26	20 49.999N	108 46.0 W	34	1-1r.1	1.0733	1.004
5	A	MAMRIV12	26	20 49.999 N	108 30.0 W	63.75	2-2A.1	3.0448	2.0943
5	B	BATIBAJA11	11	20 50.1 N	108 15.45 W	42.5	2A.1-2A.2	3.2226	3.0448
5	B	BATIBAJA11	11	20 50.1 N	108 12.2 W	42.5	2A.2-2A.3	3.5865	3.29538
5	B	BATIBAJA11	11	20 50.1 N	108 11.6 W	40.8	2A.2-2A.3	3.5865	3.3341
5	B	BATIBAJA11	11	20 50.1 N	108 8.33 W	63.75	2A.2-2A.3	3.5865	3.5501
5	B	BATIBAJA11	11	20 50.1 N	108 6.3 w	85	2A.3-3n.1	4.2932	3.6507
5	C	BABRIP06	15	20 50.17	108 0.53 W	68	2A.3-3n.1	4.2932	4.1004
5	C	BABRIP06	15	20 49.84 N	107 55.18 W	93.5	3n.1-3n.2	4.6193	4.3582
5	C	BABRIP06	15	20 49.984 N	107 53 W	85	3n.1-3n.2	4.6193	4.5214
5	C	BABRIP06	15	20 49.984 N	107 51.557 W	110.5	3n.1-3n.2	4.6193	4.5581
5	C	BABRIP06	15	20 49.984	107 50.3 W	55.25	3n.1-3n.2	4.6193	4.5677
5	C	BABRIP06	15	20 50.17 N	107 49 W	85	3n.2-3n.3	4.8959	4.65
5	C	BABRIP06	15	20 50.17 N	107 47.33 W	68	3n.2-3n.3	4.8959	4.8037
5	C	BABRIP06	15	20 50.05 N	107 42 W	80.75	3n.3-3n.4	5.2376	5.0423
5	C	BABRIP06	15	20 50.04 N	107 35.616 W	106.25	3n.4-3A.1	6.1357	5.3659
5	C	BABRIP06	15	20 49.884 N	107 27.9 W	85	3n.4-3A.1	6.1357	5.7251
5	C	BABRIP06	15	20 49 79 N	107 21 W	119	3n.4-3A.1	6.1357	6.0587
5	D	MAMRIV08	24	20 49.8 N	107 19.9 W	102	3A.1-3A.2	6.5738	6.2381
5	D	MAMRIV08	24	20 49.8 N	107 11.825 W	63.75	3A2-4n.2	N/A	6.7178

5	D	MAMRIV08	24	20 49.8 N	107 10.3 W	80.75	3A2-4n.2	N/A	6.7755
5	D	MAMRIV08	24	20 49.8 N	107 5.909 W	106.25	3A2-4n.2	N/A	6.61956
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108°30.5 W	38.25	2-2A.1	3.0448	2.2604
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108°25.1' W	80.75	2-2A.1	3.0448	2.6014
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108°24.3' W	51	2-2A.1	3.0448	2.6696
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108°22.08' W	68	2-2A.1	3.0448	2.7719
6	B	BATIBAJA11	18	20 40° N	108°19.480W	42.5	2-2A.1	3.0448	3.0105
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108 10.949 W	85	2A.2-2A.3	3.5865	3.5253
6	B	BATIBAJA11	18	20 40.0 N	108 5.308 W	97.75	2A.3-3n.1	4.2932	3.8756
6	B	BATIBAJA11	18	20°40' N	108° 4.35' W	89.25	2A.3-3n.1	4.2932	3.9455
6	B	BATIBAJA11	18	20 40.0 N	108 2.53 W	85	2A.3-3n.1	4.2932	4.0362
6	B	BATIBAJA11	18	20 40.0 N	108 0.1 W	55.25	2A.3-3n.1	4.2932	4.1968
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 46.42 W	85	3n.3-3n.4	5.2376	4.9111
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 47.18 W	63.75	3n.3-3n.4	5.2376	4.9985
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57	107 39.31 W	72.25	3n.4-3A.1	6.1357	5.3124
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 32.7 W	64.6	3n.4-3A.1	6.1357	5.6118
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 27.3 W	89.25	3n.4-3A.1	6.1357	5.8862
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 21.82	106.25	3n.4-3A.1	6.1357	6.1107
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57 N	107 16.42 W	106.25	3A.1-3A.2	6.5738	6.4277
6	C	MAMRIV08	31	20 40.57	107 7.3 W	93.5	3A.2-3B	7.0925	6.9399
7	A	MAMRIV12	42	20 29.515 N	108 47.93 W	17	1r.1-2	1.9535	1.5134
7	A	MAMRIV12	42	20 29.509 N	108 37.1 W	59.5	2-2A.1	3.0448	2.1275
7	A	MAMRIV12	42	20 29.508 N	108 24.26 W	59.5	2-2A.1	3.0448	2.962
7	A	MAMRIV12	42	20 29.508	108 22.34 W	63.75	2-2A.1	3.0448	2.994
7	A	MAMRIV12	42	20 29.511 N	108 21.134 W	55.25	2-2A.1	3.0448	3.0448