



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA DE FALLAS CORTICALES PRESENTES EN EL CENTRO – SUR DE CHILE (32.5° – 47.5° S) Y SU RELACIÓN CON EL CICLO DE TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN

Memoria para optar al Título de Geólogo

Karim Andrei Guerstein Lucas

Profesor Patrocinante: Dr. Joaquín Cortés Aranda
Profesores Comisión: Dra. Fernanda Álvarez Amado
Dr. Andrés Tassara Oddo

Concepción, 2023

ÍNDICE

Página

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivos Generales	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. UBICACIÓN	3
1.5. METODOLOGÍA	7
1.5.1. Definición del área de estudio y selección de los sitios de interés	7
1.5.2. Confección de mapas e imágenes representativas de evidencias	8
1.5.3. Confección de modelos de desplazamiento	8
1.6. TRABAJOS ANTERIORES	13
1.7. AGRADECIMIENTOS	15
2. ANTECEDENTES	16
2.1. MARCO SISMOTECTÓNICO	16
2.2. MARCO GEOTECTÓNICO	20
2.3. UNIDADES FISIOGRAFICAS	24
2.3.1. Cordillera de la Costa	24
2.3.2. Valle Central	25
2.3.3. Cordillera Principal	26
2.3.4. Cordillera Patagónica	26
2.4. FALLAS CORTICALES EN CHILE	27
2.5. MARCO CLIMÁTICO	28
3. EVIDENCIAS NEOTECTÓNICAS DE CHILE CENTRAL Y SUR	31
3.1. CHILE CENTRAL (32.8° – 36.2°S)	31
3.1.1. Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla	31
3.1.2. Falla Topocalma	36
3.1.3. Falla Pichilemu	39
3.1.4. Falla El Yolki	40
3.1.5. Falla El Arrayán	43
3.1.6. Falla San Ramón	44
3.1.7. Falla Mesamávida	47
3.2. CHILE CENTRO – SUR (36.2° – 38.3°S)	50
3.2.1. Sistema de Fallas Santa María	51
3.2.2. Falla Morguilla	54
3.2.3. Falla Lanahue	56
3.2.4. Sistema de Fallas Lago Laja	57
3.2.5. Sistema de Fallas El Barco	60
3.2.6. Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui	61
3.3. CHILE SUR (38.3° – 47.5°S)	62
3.3.1. Parte septentrional (38.3° – 42.1°S)	67

3.3.2. Parte meridional (42.1° – 47.5°S)	71
3.4. SÍNTESIS DEL ESTILO CINEMÁTICO DE LA DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA	75
4. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN	80
4.1. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE VALDIVIA (1960)	80
4.2. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DEL MAULE (2010)	82
4.3. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE ILLAPEL (2015)	83
4.4. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE MELINKA (2016)	85
4.5. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE VALPARAÍSO (2017)	86
4.6. MODELOS DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADOS A TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN SINTÉTICOS	88
4.6.1. Ruptura sintética 1 (RS1; 32.5° – 35.5°S)	88
4.6.2. Ruptura sintética 2 (RS2; 39° – 42°S)	89
4.6.3. Ruptura sintética 3 (RS3; 42° – 47°S)	90
5. DISCUSIÓN	92
5.1. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN	92
5.2. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y PROCESOS GEOLÓGICOS DE LARGO PLAZO EN LOS ANDES CHILENOS (32.8° – 47.5°S)	100
5.2.1. Plataforma continental – Cordillera de la Costa	100
5.2.2. Depresión Central – Cordillera Principal	102
5.2.3. Cordillera Principal	103
5.3. LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS A FUTURO	106
6. CONCLUSIONES	108
7. REFERENCIAS	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Mapa de sitios de interés localizados en Chile central	4
1. 2. Mapa de sitios de interés localizados en Chile centro – sur	5
1. 3. Mapa de sitios de interés localizados en Chile sur	6
1. 4. Ejemplo de archivo de entrada para Coulomb 3.3	11
2. 1. Fuentes sismogénicas del margen de subducción chileno	16
2. 2. Zona de ruptura de megaterremotos que han afectado a Chile centro – sur	18
2. 3. Zona de ruptura de megaterremotos que han afectado Chile sur	19
2. 4. Perfil esquemático del margen andino durante el Jurásico	20
2. 5. Perfiles esquemáticos del margen andino durante el Cretácico	21
2. 6. Configuración de las placas tectónicas del margen de subducción Sudamericano	24
2. 7. Compilación de fallas corticales conocidas en Chile	28

2.	8.	Tasa de precipitación anual y espesor de sedimento en la fosa del margen occidental de Sudamérica	30
3.	1.	Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile central	32
3.	2.	Modelo de elevación digital con fallas pertenecientes al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla	33
3.	3.	Niveles de terrazas de abrasión marina asociadas al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla	34
3.	4.	Rol de la Falla Marga–Marga en el control de la sinuosidad Estero Marga–Marga	35
3.	5.	Facetas triangulares en las cercanías de la localidad de Laguna Verde	36
3.	6.	Facetas triangulares cubiertas en las cercanías de la localidad de Quintay	36
3.	7.	Mapa geológico de la zona de Pichilemu y sus alrededores	37
3.	8.	Mapa de elevación digital de las cercanías de la localidad de Topocalma	38
3.	9.	Disposición de unidades geológicas en el sector de Punta Topocalma	39
3.	10.	Mapa geológico y estructural simplificado de la zona alrededor de Constitución	41
3.	11.	Modelo de elevación digital para la localidad de El Yolki	42
3.	12.	Vista inclinada del escarpe San Ramón	45
3.	13.	Modelo de elevación digital del escarpe San Ramón	47
3.	14.	Vista inclinada del escarpe Mesamávida	48
3.	15.	Modelo de elevación digital de la vista inclinada del escarpe Mesamávida	50
3.	16.	Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile centro – sur	51
3.	17.	Relieve sombreado del Golfo de Arauco y alrededores	52
3.	18.	Modelo de elevación digital de la terraza Cañete	54
3.	19.	Modelo de elevación digital de la traza de la Falla Morguilla	55
3.	20.	Mapa geológico y estructural simplificado del Lago Laja	57
3.	21.	Evidencias neotectónicas asociadas al Lago Laja	59
3.	22.	Imagen satelital del sector que comprende el sistema extensional El Barco	60
3.	23.	Evidencias neotectónicas en cuerpos de agua bajo los 38°S	62
3.	24.	Contexto tectónico del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui	63
3.	25.	Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile sur entre los 38° y 42°S	64
3.	26.	Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile sur entre los 42° y 48°S	65
3.	27.	Evidencias de actividad neotectónica en las cercanías de Lonquimay	68
3.	28.	Evidencias de actividad neotectónica en las cercanías de Liquiñe	69
3.	29.	Evidencias de actividad neotectónica en la Región de los Ríos	69
3.	30.	Evidencias de actividad neotectónica en el Lago Todos Los Santos	70
3.	31.	Evidencias de actividad neotectónica al sur de la localidad de Hornopirén	70
3.	32.	Evidencias de actividad neotectónica en el valle glaciar del Cirque Huemul ..	72
3.	33.	Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile central	76
3.	34.	Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile centro–sur	77
3.	35.	Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile sur	79
4.	1.	Diagramas asociados al terremoto de Valdivia (1960)	81
4.	2.	Diagramas asociados al terremoto del Maule (2010)	83

4.	3.	Diagramas asociados al terremoto de Illapel (2015)	84
4.	4.	Diagramas asociados al terremoto de Melinka (2016)	86
4.	5.	Diagramas asociados al terremoto de Valparaíso (2017)	87
4.	6.	Diagramas asociados al primer escenario ficticio	88
4.	7.	Diagramas asociados al segundo escenario ficticio	90
4.	8.	Diagramas asociados al tercer escenario ficticio	91
5.	1.	Modelo de segmentación tectónica del antearco chileno	94
5.	2.	Dominios de ruptura de los terremotos de subducción	95
5.	3.	Modelo cortical propuesto para la zona de antearco del Golfo de Arauco	97
5.	4.	Representación esquemática de la zona de subducción en un modelo de dislocación elástico	99
5.	5.	Esquemas de la estructura cortical a lo largo del margen de subducción del centro y sur de Chile	101
5.	6.	Perfiles de reflexión sísmica de los sedimentos del Lago Laja	104
5.	7.	Modelo tectónico propuesto para el sur de Chile continental	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página	
3. 1.	Resumen de características de las estructuras neotectónicas abordadas	73
3. 2.	Resumen de evidencias neotectónicas	74

RESUMEN

Al interior de la placa Sudamericana, considerando la disposición de Chile sobre la misma, se exhibe un grupo importante de fallas corticales. En particular, aquellas distribuidas en los siguientes dominios: Chile central ($32.8^{\circ} - 36.2^{\circ}\text{S}$), Chile centro – sur ($36.2^{\circ} - 38.3^{\circ}\text{S}$) y Chile sur ($38.3^{\circ} - 47.5^{\circ}\text{S}$), se caracterizan por la amplia diversidad cinemática (normal, inversa, transcurrente y mixta) y evidencias de actividad neotectónica pobremente preservadas debido a la acción conjunta del clima y la vegetación. A través de la recopilación de dichas evidencias presentes en publicaciones, artículos e imágenes satelitales, se definen cinco dominios con estilos de deformación característicos en función de la orientación y la cinemática de las fallas presentes al interior de los mismos. Asumiendo que los terremotos de subducción controlan, al menos en parte, la actividad de estas fallas corticales y que además estas fallas son capaces de provocar sismos Mw 7.0 o superiores, se calculan campos de deformación cosísmicos, inducidos por terremotos reales y ficticios, con el fin de discutir: (1) la distribución de los mismos respecto a los campos de deformación neotectónicos derivados a partir de las fallas corticales y (2) la posibilidad de estas fallas de experimentar reactivación en función de su disposición, perpendicular u oblicua, respecto a la dirección de los vectores de desplazamiento inducidos por un terremoto de subducción en particular. Los resultados indican que la ocurrencia de terremotos de subducción, por sí sola, puede explicar en parte la actividad (reactivación) de fallas normales en el antearco de los dominios neotectónicos definidos, pero a su vez, no es capaz de explicar la reactivación de fallas inversas y transcurrentes, especialmente aquellas localizadas en las zonas más internas. Al considerar otros procesos geológicos que pueden actuar en conjunto a los terremotos de subducción, tales como la erosión tectónica, cambios en la convergencia entre las placas y la migración de un bloque perteneciente a la placa Sudamericana (micro placa de Chiloé), en dirección paralela a la disposición del margen continental, se puede explicar la actividad neotectónica de fallas al interior de los campos de deformación, especialmente a los pies y al interior de la Cordillera Principal. Este trabajo se considera una contribución respecto al entendimiento del vínculo entre los procesos derivados en un margen de subducción y la actividad manifestada en fallas corticales.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El margen de subducción chileno se caracteriza por la rápida tasa de convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana (Pardo–Casas & Molnar, 1987; DeMets y otros, 1990). Uno de los fenómenos derivados de esta convergencia son los denominados terremotos de subducción: movimientos sísmicos de gran magnitud, considerados el principal peligro sísmico de Chile, debido al potencial daño económico, social e infraestructural que conllevan (Santibáñez y otros, 2019). Algunos ejemplos de este tipo de movimientos incluyen los siguientes: Valdivia 1960 Mw 9.5 (Moreno y otros, 2009), Maule 2010 Mw 8.8 (Moreno y otros, 2012) e Illapel 2015 Mw 8.3 (Shrivastava y otros, 2016).

Para la zona de subducción chilena, así como para otras alrededor del mundo, los terremotos interplaca se suceden según el denominado ciclo de subducción (*e.g.*, Reid, 1910). Dentro de este ciclo se han identificado dos fases principales: la fase intersísmica, durante la cual una zona de acople o bloqueo entre las placas acumula deformación elástica de manera lenta y continua por décadas o siglos; y la fase cosísmica, durante la cual se gatilla un movimiento súbito, opuesto al sentido de la convergencia, en respuesta a la liberación abrupta de las placas (*e.g.*, Koseluk & Bischke, 1981; Corbi y otros, 2013). La deformación elástica inducida entre las placas se balancea en gran medida entre las etapas intersísmica y cosísmica del ciclo. No obstante, una fracción de la misma es transferida de manera permanente hacia la placa superior, la que termina siendo acomodada por diferentes fallas (*e.g.*, Allmendinger & González, 2010) presentes en la corteza. Estas fallas tienen el potencial de desencadenar sismos de magnitudes moderadas (Mw ~ 6.0 – 7.0) entre los 0 y 30 km de la corteza (*e.g.*, Legrand y otros, 2010; Farías y otros, 2011) por lo que comúnmente son objeto de estudio asociado al peligro sísmico que acarrearán (*e.g.*, Pérez y otros, 2014; Philippi & Garrido, 2016). En líneas generales, se ha propuesto que la actividad de este tipo de fallas (reactivación), en Chile y en otras zonas de subducción, está estrechamente vinculada con la ocurrencia de terremotos interplaca (*e.g.*, Gomberg & Sherrod, 2014).

Para los Andes chilenos, diversos estudios geológicos llevados a cabo durante los últimos 20 años han permitido identificar evidencias de actividad a lo largo de estructuras corticales desde el periodo Neógeno hasta la actualidad (actividad neotectónica), las cuales han dejado su huella en el relieve local chileno y han permitido, entre otros aspectos, inferir su cinemática y discutir su

potencial sismogénico. Estas evidencias de deformación cortical permanente se encuentran preservadas en las principales unidades fisiográficas. Ejemplos de lo anterior incluyen: la Cordillera de la Costa entre los 18° y 23°S (*e.g.*, Delouis y otros, 1998; Allmendiger y otros, 2010; Cortés–Aranda y otros, 2012, 2021), el límite entre la Depresión Central y la Cordillera Principal entre los 33° y 35°S (*e.g.*, Armijo y otros, 2010; Vargas & Rebolledo, 2012; Vargas y otros, 2014; Araya y otros, 2021), la Cordillera Principal entre los 37° y 43°S (*e.g.*, Lara y otros, 2006; Melnick y otros, 2006; Vargas y otros, 2013; Sagripanti y otros, 2015; Astudillo–Sotomayor y otros, 2021), entre otros. Las diferencias en la orientación y cinemática de estas estructuras a lo largo de los Andes chilenos permiten definir campos de deformación neotectónicos, correspondientes a regiones corticales controladas por un estilo de deformación característico (extensión o acortamiento).

En la zona de subducción chilena se han desencadenado varios casos de terremotos interplaca con magnitudes variables entre Mw 7.0 y 8.0, pero también existen eventos que superan los Mw 8.0 y los Mw 9.0, este último caso exclusivo para el terremoto de Valdivia del año 1960. En la última década, al menos tres terremotos interplaca que han superado los Mw 8.0 se han documentado frente a las costas chilenas (*e.g.*, Métois y otros, 2016), dos de los cuales tienen su epicentro al sur de los 30°S.

En esta memoria, en base a una recopilación de datos relativos a la actividad post–neógena de fallas corticales de los Andes chilenos entre los 32.8° y 47.5°S, se pretende diferenciar, tomando en cuenta la orientación y la cinemática de fallas reportadas, campos neotectónicos de deformación. Adicionalmente, se pretende analizar el posible vínculo entre los estilos cinemáticos diferenciados y la etapa cosísmica del ciclo de terremotos de subducción, utilizando modelos de desplazamiento invertidos y sintéticos confeccionados digitalmente. Finalmente, se discute, de manera tangencial, el rol de procesos de largo plazo para explicar los estilos de deformación definidos. Con todo lo anterior, se apunta a contribuir al entendimiento de la interacción entre procesos tectónicos profundos, ligados a la subducción Nazca–Sudamericana, y la deformación somera que ocurre en la placa superior para Chile centro – sur.

1.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Para la porción continental de los Andes chilenos comprendida entre los 32.8° y 47.5°S, las fallas corticales presentes exhiben orientaciones y cinemáticas variables que permiten definir

campos de deformación característicos. Se plantea que la actividad de estas fallas, que es parcialmente sismogénica, estaría regulada por la etapa cosísmica de los terremotos de subducción.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos Generales

- Diferenciar los principales campos de deformación neotectónicos que ocurren en los Andes chilenos entre los 32.5° y 47.5° de latitud.
- Analizar el posible vínculo entre los campos de deformación neotectónicos diferenciados y los terremotos de subducción.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el estilo de deformación neotectónico para cada uno de los sitios clave.
- Organizar gráficamente la evidencia neotectónica disponible para las fallas corticales dentro del área de estudio.
- Contrastar latitudinal y longitudinalmente los distintos campos neotectónicos.
- Contrastar la orientación de los campos de desplazamiento inducidos por terremotos de subducción y los estilos de deformación neotectónicos.

1.4. UBICACIÓN

A modo de simplificación, se propone la división del “área de estudio” en tres sitios geográficos acorde a rangos de latitud: Zona central, distribuida aproximadamente entre los 32.5° y 36.5° de latitud (Fig. 1.1.); Zona centro – sur, distribuida aproximadamente entre los 36.5° y 38° de latitud (Fig. 1.2.) y Zona sur, distribuida aproximadamente entre los 38° y 47.5° de latitud (Fig. 1.3).

El área de estudio no comprende una zona en particular, más bien, comprende diversos sitios específicos o de interés, repartidos a lo largo y ancho del antearco e intrarco de Chile continental, específicamente en las zonas geográficas centro y sur. Cada sitio de interés es independiente de los demás, salvo en el caso de las estructuras que conforman un sistema de fallas (Valparaíso–Melipilla, El Barco, Santa María, Liquiñe–Ofqui).

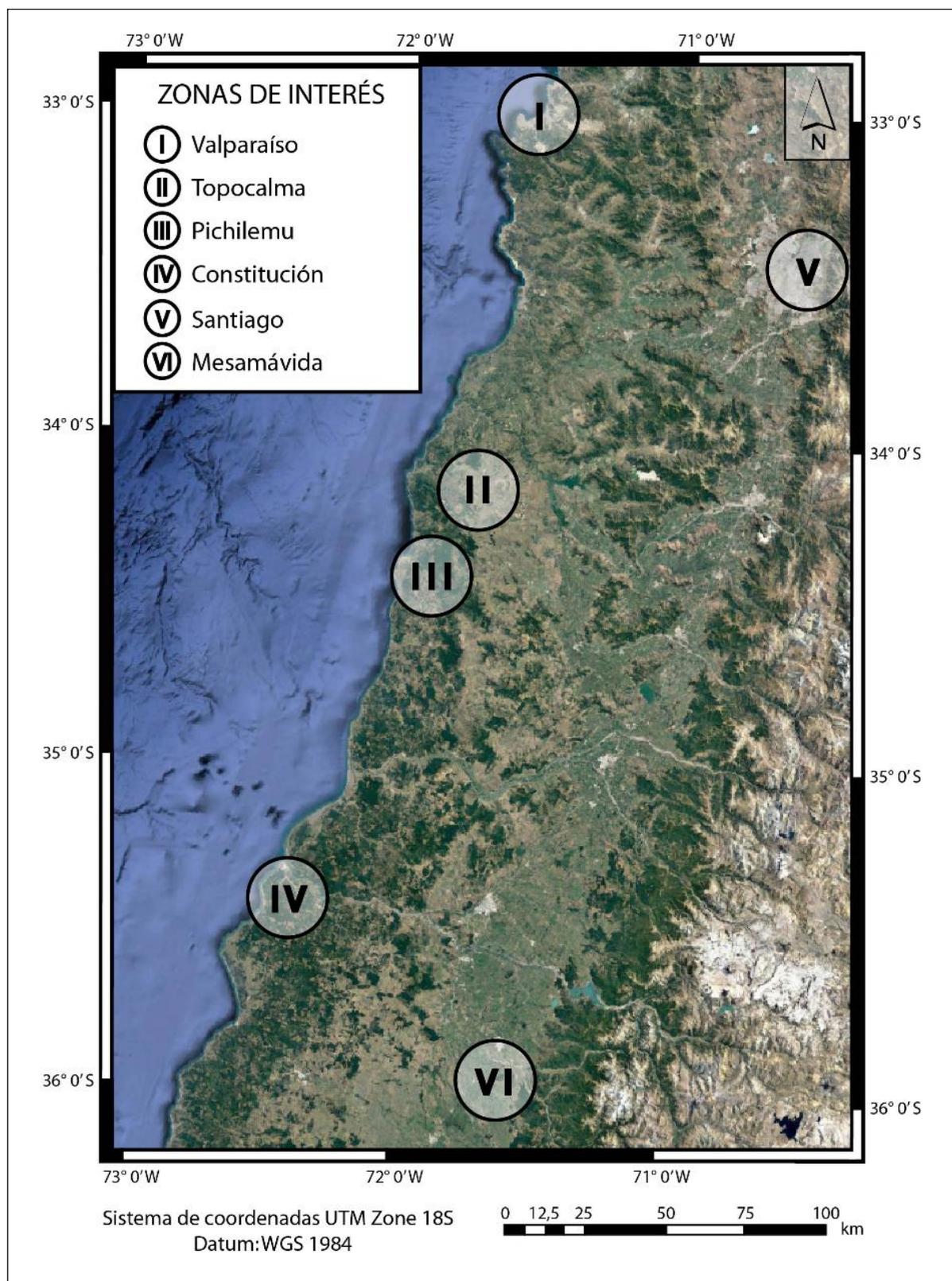


Fig. 1.1. Mapa de sitios de interés localizados en Chile central. Los círculos blancos señalan aproximadamente el área de las zonas de interés.

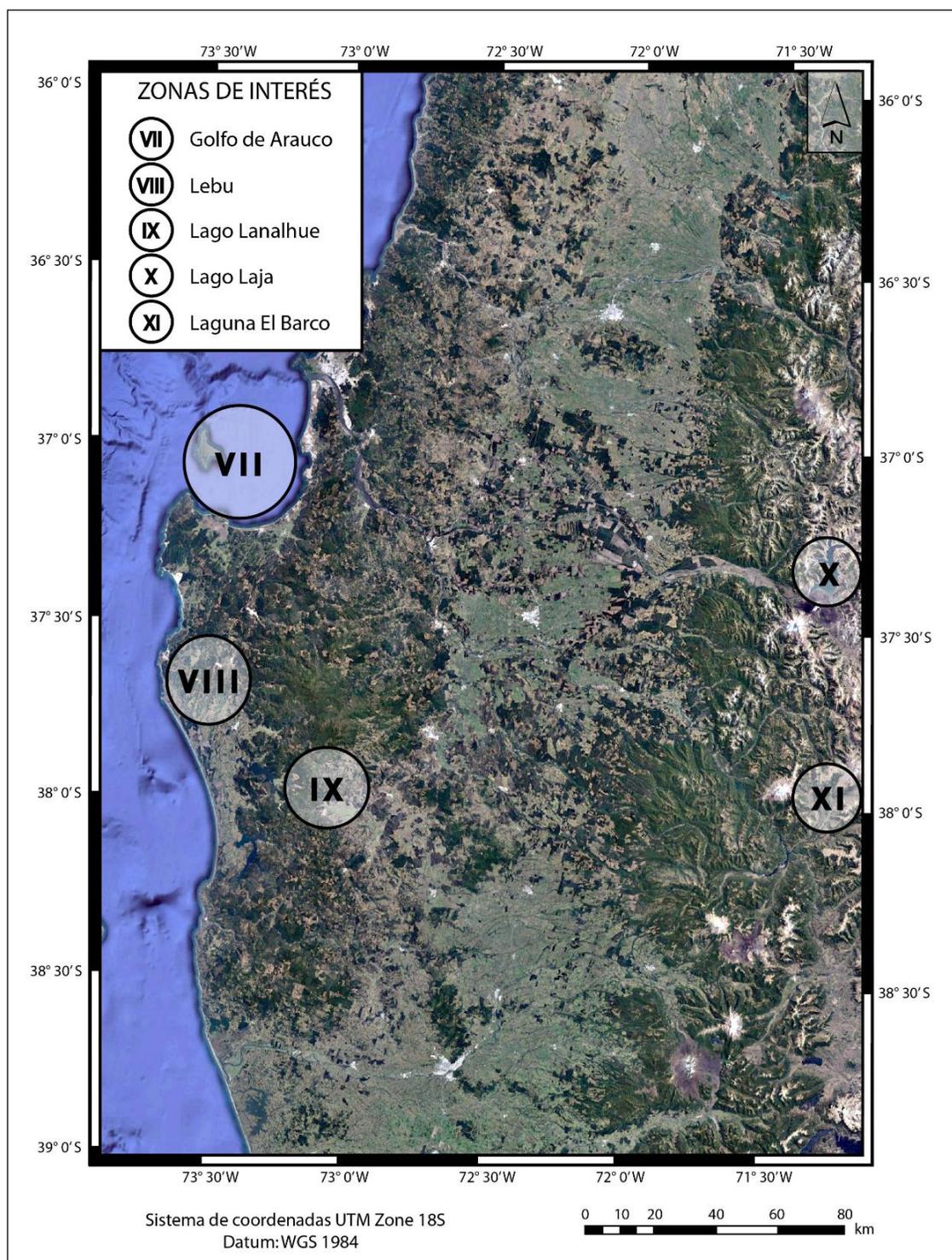


Fig. 1.2. Mapa de sitios de interés localizados en Chile centro – sur. Los círculos blancos señalan aproximadamente el área de las zonas de interés.

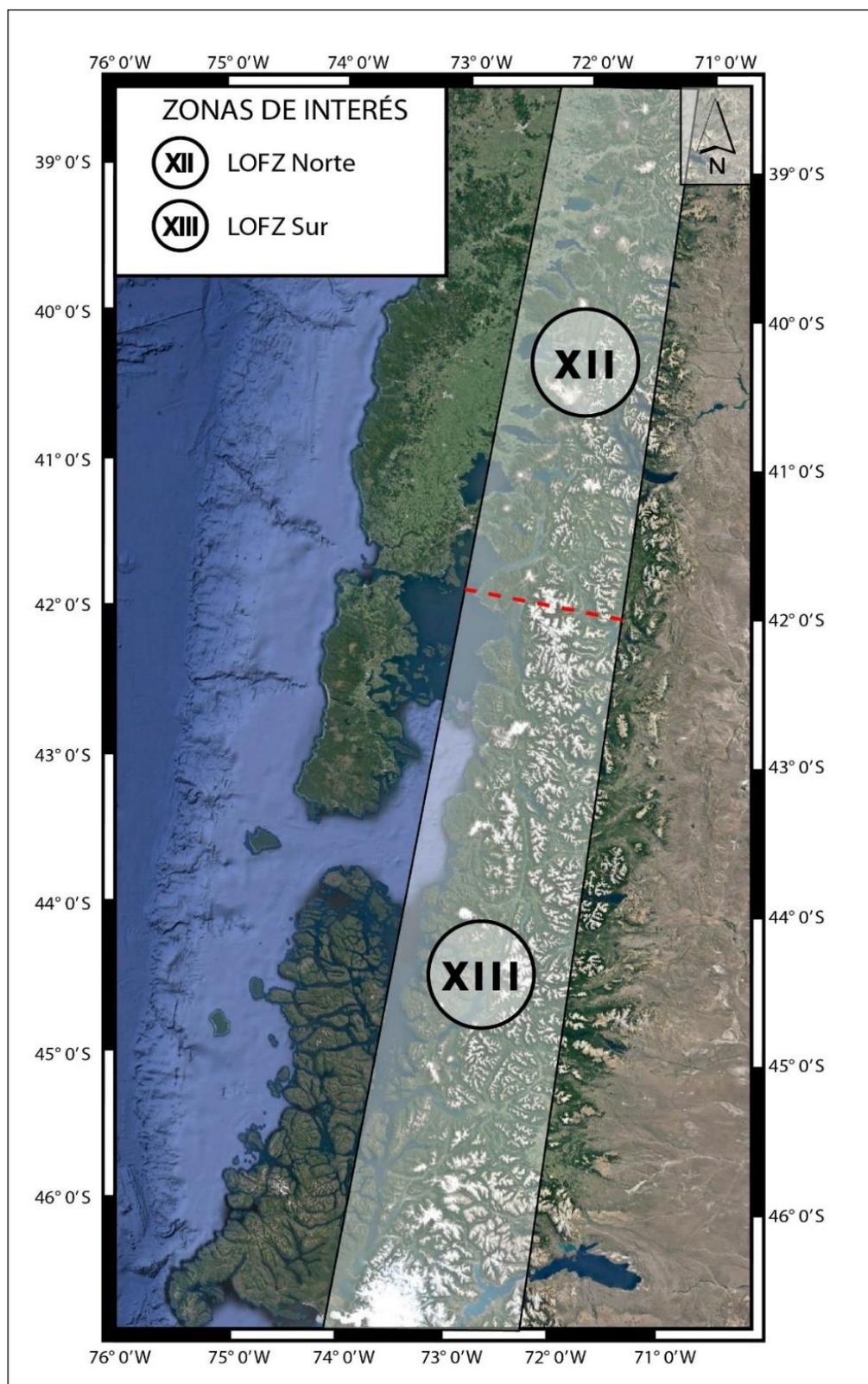


Fig. 1.3. Mapa de sitios de interés localizados en Chile sur. El polígono blanco indica la extensión aproximada de la zona de interés. La línea segmentada señala un límite arbitrario que subdivide dicha zona.

La visualización de los sitios presentes a través de las imágenes proporcionadas es esencialmente esquemática, al menos para este capítulo, reservándose una mejor representación y mayor profundidad para el capítulo 3 de la presente memoria.

1.5. METODOLOGÍA

1.5.1. Definición del área de estudio y selección de los sitios de interés

Para obtener un listado inicial de estructuras corticales se utilizó como referencia la base de datos de estructuras geológicas potencialmente activas de Chile (CHAF) propuesta por Maldonado y otros (2021). Siendo el tiempo designado para la confección de este trabajo una variable limitante, se optó por un enfoque exclusivo de las estructuras localizadas en el centro y sur de Chile. Posteriormente, se definieron las tres zonas geográficas delimitadas por rangos de latitud en función de la distribución de las estructuras corticales y la segmentación longitudinal de los Andes chilenos (*e.g.*, Tassara & Yáñez, 2003); la única excepción corresponde a la zona adicional, creada aproximadamente a los 42°S, debido a las dimensiones de la falla cortical predominante en la zona.

Para la selección de los sitios de interés, se compiló, revisó y analizó la información neotectónica provista por diferentes publicaciones, mapas y diagramas de las diferentes estructuras presentes en las zonas geográficas previamente definidas. Se le dio especial importancia a publicaciones de autores reconocidos tales como Rolando Armijo (*e.g.*, Armijo y otros, 2010, 2015), Felipe Aron (*e.g.*, Aron y otros, 2012, 2013, 2015a, 2015b), Julius Jara-Muñoz (*e.g.*, Jara-Muñoz y otros, 2015, 2017, 2020) y Daniel Melnick (*e.g.*, Melnick, 2007; Melnick y otros, 2003, 2009, 2012, 2019), así como a trabajos compilatorios anteriores a esta memoria (*e.g.*, Cembrano y otros, 2007; Maldonado y otros, 2021). Publicaciones de autores tales como Joaquín Cortés-Aranda (*e.g.*, Cortés-Aranda y otros, 2012, 2021), Bertrand Delouis (*e.g.*, Delouis y otros, 1998) y John Loveless (*e.g.*, Loveless y otros, 2010) que se enfocan en estructuras neotectónicas del norte de Chile también fueron revisadas con el fin enriquecer la discusión. Se obtuvo información de las siguientes fallas: Marga-Marga, Laguna Verde, Quintay, El Arrayán, San Ramón, Topocalma, Pichilemu, El Yolki, Mesamávida, Lago Laja, Sistema de Falla Santa María, Morgüilla, Lanalhue y una de las grandes zonas de fallas en el sur de Chile, la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, constituyendo así los diferentes sitios de interés.

Finalmente, se confeccionaron mapas, imágenes representativas y modelos de desplazamiento vectoriales, utilizando diferentes programas digitales para acompañar la información recopilada.

1.5.2. Confección de mapas e imágenes representativas de evidencias

Las ilustraciones que acompañan los diferentes capítulos y subcapítulos de esta memoria fueron proporcionadas en su mayoría por el *software* Google Earth y modificadas mediante el *software* de edición Adobe Illustrator CS6. Para el caso de las imágenes que incluyen información topográfica digital, se utilizaron las siguientes fuentes: modelos de elevación digital (DEM) derivados de ALOS PALSAR, con resolución de 12.5 m x 12.5 m, y modelos de la Misión topográfica Radar Shuttle (SRTM) con resolución de 30 m, ambos tipos de imágenes obtenidas gratuitamente a través de plataformas digitales en formato GeoTIFF y que fueron posteriormente editadas en el *software* ArcGIS 10.5.

Se destaca también el uso del *software* Global Mapper 22.0, programa que fue utilizado principalmente para la confección de los mapas de elevación digital que acompañan las evidencias neotectónicas. También se utilizó este *software* para unir varios archivos GeoTIFF en un solo archivo de topografía digital, para exportar la información de dicho archivo hacia Google Earth, y también es responsable de los rangos altimétricos de la leyenda gráfica que se visualiza junto a los diferentes modelos DEM. Algunos detalles, esencialmente de formato, fueron corregidos mediante el *software* Adobe Illustrator CS6.

Finalmente, los perfiles *Swath* que acompañan a algunas de las vistas de Google Earth fueron confeccionados mediante la herramienta *Swath Profiler*, una extensión para el *software* ArcGIS diseñada por Pérez–Peña y otros (2007), requiriendo además de un modelo DEM correspondiente para la zona en cuestión. Algunos detalles, esencialmente de formato, fueron corregidos mediante el *software* Adobe Illustrator CS6.

1.5.3. Confección de modelos de desplazamiento

Los modelos que involucran los vectores de desplazamiento cosísmicos para los segmentos de subducción espacialmente asociados a cada uno de los sitios de interés fueron elaborados a través del *software* Coulomb 3.3, programa diseñado por investigadores del Servicio Geológico de

los Estados Unidos (USGS) y que requiere, a su vez, del *software* MatLab para su correcto funcionamiento (Lin & Stein, 2004; Toda y otros, 2005). La versión de MatLab utilizada para ejecutar Coulomb 3.3 fue la versión 2016a. El *software* Coulomb 3.3 está diseñado para calcular desplazamientos estáticos, deformaciones y variaciones en los esfuerzos causados por deslizamiento de fallas, intrusiones magmáticas o expansión de diques (Lin & Stein, 2004; Toda y otros, 2005), asumiendo un medio elástico y homogéneo (corteza). Para efectos de esta memoria, solo se calculan desplazamientos inducidos por terremotos de subducción.

En un modelo generado por este *software*, el desplazamiento horizontal desencadenado en una zona en particular se representa explícitamente en forma de vectores en diferentes direcciones. Cada vector simula una cantidad finita de desplazamiento, representada por el tamaño del vector, que sigue generalmente un gradiente de magnitud, disminuyendo paulatinamente en una dirección. Dependiendo de la dirección de los vectores y el gradiente, se puede especificar que en la zona considerada actúan fuerzas de extensión (vectores apuntan hacia la izquierda) o acortamiento (vectores apuntan hacia la derecha). En algunos casos, cuando el gradiente no es tan pronunciado, se puede corroborar con un archivo de salida, generado por el mismo programa, donde se puede visualizar de manera cuantitativa cada uno de los desplazamientos.

La base de datos que requirió Coulomb 3.3 para modelar los campos de desplazamiento fue la siguiente: (1) líneas de costa, las cuales fueron extraídas mediante el *software* Coastline Extractor, programa de acceso gratuito del Centro Nacional de Información Ambiental (NCEI) y (2) archivos de entrada, con información relacionada a grandes sismos ocurridos en la zona de subducción chilena. Un ejemplo de archivo de entrada puede ser visualizado en la Fig. 1.4 gracias al *software* de edición de texto *Notepad++*. Sin contar las 2 primeras filas del archivo (texto libre), estos archivos se construyen de manera estructurada, respetando rigurosamente la separación entre los diferentes bloques de texto, filas y columnas. Siguiendo el ejemplo de la Fig. 1.4, un archivo de entrada se puede dividir en tres secciones:

A. Parámetros elásticos, de fricción y del campo de esfuerzos:

- **#reg 1** y **#reg 2:** Número de fallamientos de las regiones 1 y 2 respectivamente. Ambos son parámetros obsoletos heredados de los archivos de entrada de Coulomb 1.0, por lo que su valor es fijo de 0 (Lin & Stein, 2004; Toda y otros, 2005).

- **#fixed:** Número de fallas totales. Debe ser igual al número de fallas presentes en la sección B.
- **sym:** Parámetro obsoleto heredado de los archivos de entrada de Coulomb 1.0 (Lin & Stein, 2004; Toda y otros, 2005). Valor fijo de 1.
- **PR1 y PR2:** Radios de *Poisson*. Puede variar entre -1 y 0.5, pero 0.25 es el valor más utilizado. Adimensional.
- **DEPTH:** Profundidad a la que ocurre la ruptura. Se expresa en km.
- **E1 y E2:** Módulos de *Young* para las regiones 1 y 2 respectivamente. El valor típicamente utilizado es 8×10^5 bares.
- **XSVM y VSVM:** Parámetros obsoletos heredados de los archivos de entrada de Coulomb 1.0, por lo que su valor es fijo de 0 (Lin & Stein, 2004; Toda y otros, 2005).
- **FRIC:** Coeficiente de fricción aparente. El valor más utilizado normalmente es 0.4. Adimensional.
- **SXDR, SXDP y SXGD:** Parámetros del tensor de esfuerzos regional.

B. Parámetros de las fallas involucradas:

- **#:** Parámetro para ordenar numéricamente las fallas. Debe tener el mismo número de filas que el valor de *#fixed* (Sección A).
- **X-start e Y-start:** Componentes horizontal y vertical iniciales de la falla respecto a la grilla (Sección C).
- **X-fin e Y-fin:** Componentes horizontal y vertical de la falla respecto a la grilla (Sección C).
- **kode:** Parámetro que utiliza Coulomb 3.3 para calcular datos en relación a la geometría de la ruptura. A mayor valor, mayor curvatura de la ruptura. Valor de 100 para rupturas lineales.
- **rt. lat y reverse:** Componentes (ángulo y energía) del deslizamiento asociados a la ruptura. A veces son reemplazados por los nombres *rake* y *net slip*.
- **dip angle:** Ángulo de la placa subductada sobre la cual se produce la ruptura.
- **top y bot:** Rangos de profundidad, expresadas en km, de las superficies superior e inferior de la ruptura.

```

1 header line 1
2 header line 2
3 #reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 27 sym= 1
4 PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 7.500
5 E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05
6 XSYM= .000 YSYM= .000
7 FRIC= 0.400
8 S1DR= 19.000 S1DP= -0.010 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000
9 S2DR= 89.990 S2DP= 89.990 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000
10 S3DR= 109.000 S3DP= -0.010 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000
11
12 # X-start Y-start X-fin Y-fin Kode rt.lat reverse dip angle top bot
13 xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx
14 1 -120.9772 -745.0060 -108.7903 -645.7514 100 0.7900 2.9500 20.0000 0.0000 13.7677
15 1 -83.4328 -749.6159 -71.2459 -650.3612 100 4.4200 16.5100 20.0000 13.7677 27.5353
16 1 -45.8884 -754.2257 -33.7015 -654.9711 100 0.5800 2.1800 20.0000 27.5353 41.3030
17 1 -108.7903 -645.7514 -96.6033 -546.4968 100 3.3000 12.3300 20.0000 0.0000 13.7677
18 1 -71.2459 -650.3612 -59.0589 -551.1066 100 4.6900 17.5000 20.0000 13.7677 27.5353
19 1 -33.7015 -654.9711 -21.5145 -555.7165 100 1.1800 4.3900 20.0000 27.5353 41.3030
20 1 -96.6033 -546.4968 -84.4164 -447.2422 100 5.5400 20.6900 20.0000 0.0000 13.7677
21 1 -59.0589 -551.1066 -46.8720 -451.8520 100 3.8300 14.3100 20.0000 13.7677 27.5353
22 1 -21.5145 -555.7165 -9.3276 -456.4619 100 1.3300 4.9600 20.0000 27.5353 41.3030
23 1 -84.4164 -447.2422 -72.2295 -347.9875 100 1.6800 6.2600 20.0000 0.0000 13.7677
24 1 -46.8720 -451.8520 -34.6851 -352.5974 100 7.0900 26.4500 20.0000 13.7677 27.5353
25 1 -9.3276 -456.4619 2.8593 -357.2073 100 1.4300 5.3200 20.0000 27.5353 41.3030
26 1 -72.2295 -347.9875 -60.0425 -248.7329 100 1.0600 3.9700 20.0000 0.0000 13.7677
27 1 -34.6851 -352.5974 -22.4981 -253.3428 100 6.3900 23.8500 20.0000 13.7677 27.5353
28 1 2.8593 -357.2073 15.0463 -257.9527 100 2.4800 9.2600 20.0000 27.5353 41.3030
29 1 -60.0425 -248.7329 -47.8556 -149.4783 100 0.6100 2.2600 20.0000 0.0000 13.7677
30 1 -22.4981 -253.3428 -10.3112 -154.0882 100 6.7100 25.0500 20.0000 13.7677 27.5353
31 1 15.0463 -257.9527 27.2332 -158.6981 100 2.4400 9.0900 20.0000 27.5353 41.3030
32 1 -47.8556 -149.4783 -35.6687 -50.2237 100 1.4300 5.3500 20.0000 0.0000 13.7677
33 1 -10.3112 -154.0882 1.8757 -54.8336 100 7.7800 29.0500 20.0000 13.7677 27.5353
34 1 27.2332 -158.6981 39.4201 -59.4435 100 4.4500 16.9300 20.0000 27.5353 41.3030
35 1 -35.6687 -50.2237 -23.4817 49.0309 100 1.0800 4.0200 20.0000 0.0000 13.7677
36 1 1.8757 -54.8336 14.0627 44.4210 100 2.7800 10.3900 20.0000 13.7677 27.5353
37 1 39.4201 -59.4435 51.6071 39.8112 100 0.2600 0.9700 20.0000 27.5353 41.3030
38 1 -23.4817 49.0309 -11.2948 148.2855 100 0.2000 0.7300 20.0000 0.0000 13.7677
39 1 14.0627 44.4210 26.2496 143.6756 100 0.3000 1.1000 20.0000 13.7677 27.5353
40 1 51.6071 39.8112 63.7940 139.0658 100 0.4700 1.7700 20.0000 27.5353 41.3030
41
42 Grid Parameters
43 1 ----- Start-x = -302.4327698
44 2 ----- Start-y = -833.9619751
45 3 ----- Finish-x = 388.8265076
46 4 ----- Finish-y = 722.7670288
47 5 ----- x-increment = 8.6407413
48 6 ----- y-increment = 11.1194925
49
50 Size Parameters
51 1 ----- Plot size = 2.0000000
52 2 ----- Shade/Color increment = 1.0000000
53 3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.0000000
54
55 Cross section default
56 1 ----- Start-x = -74.6850903
57 2 ----- Start-y = -74.2916056
58 3 ----- Finish-x = -38.6438911
59 4 ----- Finish-y = -38.2661761
60 5 ----- Distant-increment = 1.0000000
61 6 ----- Z-depth = -30.0000000
62 7 ----- Z-increment = 1.0000000
63
64 Map info
65 1 ----- min. lon = -78.0000000
66 2 ----- max. lon = -70.0000000
67 3 ----- zero lon = -74.5000000
68 4 ----- min. lat = -46.0000000
69 5 ----- max. lat = -32.0000000
70 6 ----- zero lat = -38.5000000

```

Fig. 1.4. Ejemplo de archivo de entrada para Coulomb 3.3. (a) Parámetros elásticos, de fricción y del campo de esfuerzos. (b) Parámetros de las fallas involucradas. (c) Parámetros de la grilla y mapeado. Cortesía del trabajo de Fuji & Satake (2013).

C. Parámetros de la grilla y mapeado:

- **X-start** e **Y-start**: Componentes horizontal y vertical iniciales que abarca la grilla o la sección transversal. Para el caso de la grilla, se opta por rangos numéricos que varían desde un valor negativo hasta uno positivo, siendo el 0 el punto medio del mismo. Para el caso de la sección transversal, se opta por rangos de longitud condicionados por los rangos de longitud del mapeado.

- ***finish-X*** y ***finish-y***: Componentes horizontal y verticales finales que abarca la grilla o la sección transversal. Mismas consideraciones que las mencionadas en el punto anterior, salvo en la sección transversal donde en vez de rangos de longitud, se usan rangos de latitud.
- ***X-increment*** e ***Y-increment***: Razón de incremento de los valores horizontales y verticales de los puntos del mapa.
- ***Plot size***, ***Shade/color increment*** y ***exaggeration***: Parámetros que controlan las dimensiones del mapa, grosor de líneas/colores y tamaño de los puntos.
- ***Z-depth***: Parámetro que determina la profundidad, en km, donde se lleva a cabo el perfil transversal.
- ***Z-increment***: Razón de incremento de los valores que componen el perfil transversal.
- ***min, max, zero lon/lat***: Valores de longitud/latitud que abarca el mapeado (mínimo, centro, máximo)

Para efectos de esta memoria se utilizaron dos tipos de archivos de entrada: (1) descargados gratuitamente del sitio web del USGS y del trabajo de Fuji & Satake (2013), este último para un sismo en particular, con información validada por expertos para los terremotos históricos; (2) confeccionados artificialmente para representar potenciales sismos a futuro. Estos últimos fueron elaborados para poder evaluar desplazamientos en rangos de latitud donde no había información real disponible asociada a rupturas recientes. Se confeccionaron en total tres archivos de entrada, siguiendo el formato provisto en los archivos con información de terremotos históricos, aunque con menor cantidad de información, considerando características tales como el contexto sísmico de diferentes zonas a lo largo del margen de subducción (lagunas sísmicas) y el grado de bloqueo intersísmico presente en ellas (*e.g.*, Moreno y otros, 2011). Se intentó reproducir con estos una ruptura cuyos parámetros (longitud, magnitud) fuesen similares a aquellos del sismo del Maule (2010), debido a que es el terremoto de subducción de mayor magnitud reportado en la última década. La información que contienen tanto los archivos de entrada descargados como aquellos confeccionados artificialmente se muestra en el apartado de anexos al final de esta memoria.

Para cada evento sísmico se realizaron simulaciones a 5 y 20 km de profundidad, valores definidos arbitrariamente para visualizar el comportamiento de los vectores de desplazamiento en

la placa subductante y no incurrir en las profundidades de la placa subductada. Complementando lo anterior, dichos valores toman como referencia trabajos previos dedicados al tema (*e.g.*, Cortés-Aranda y otros, 2021) donde se consideran rangos de profundidad similares, delimitados por las dimensiones de las fallas en la corteza. Hubo una excepción donde se tuvo que recurrir a un escenario de 10 km de profundidad debido a las características del sismo en sí. El producto final de dichas simulaciones, correspondiente a modelos representativos del campo de desplazamiento asociado a cada evento sísmico, fueron posteriormente editados con el *software* Adobe Illustrator CS6 para corregir detalles de formato.

1.6. TRABAJOS ANTERIORES

Uno de los documentos más antiguos enfocado en la actividad neotectónica de Chile centro y sur corresponde al de Lavenu & Cembrano (1999), el que incluye un marco geológico con las principales divisiones morfoestructurales y evidencias de actividad pliocena – pleistocena en diferentes juegos de fallas a lo largo de los 33° y 46° de latitud, acompañados por las principales direcciones de esfuerzos durante tales periodos e ilustraciones del tensor de esfuerzos, explicando la relación entre la deformación neógena – cuaternaria, la dirección de esfuerzos principales y observaciones vistas en terreno.

Un par de años más tarde, Rosenau (2004) en el capítulo *Neotectonics* perteneciente a su memoria de título, añade más evidencias a la base de actividad neotectónica existente hasta la fecha. Sus hallazgos incluyen cuatro tipos de señales mediante la observación de imágenes satelitales: (1) lineamientos estructurales a lo largo de la Cordillera Principal entre los 37° – 42° de latitud sur; (2) patrones de drenaje y anomalías de los mismos acotados entre los 37° – 40° de latitud sur, (3) morfología y disposición espacial de los edificios volcánicos de la Zona Volcánica Sur de los Andes (SVZ); y (4) escarpes de falla presentes en dichas imágenes satelitales, entre los 37° – 42° de latitud sur, junto a sus interpretaciones y algunos diagramas esquemáticos.

Lavenu (2006) amplía la base de evidencias neotectónicas, incluyendo información de países aledaños a Chile tales como Bolivia y Ecuador. Cada uno de dichos países es introducido con un breve marco tectónico junto a algunas estructuras importantes y la dirección principal de esfuerzos, mientras que para el caso de Chile el formato incluye un marco más elaborado de los Andes Centrales junto a evidencias en el norte (Península de Mejillones) y centro – sur de Chile,

separando evidencias pleistocenas de extensión y compresión/transpresión en el antearco, cada sección con sus zonas claves detalladas con la dirección de esfuerzos y acompañadas de imágenes satelitales, de terreno o esquemas. En el mismo año, Melnick y otros (2006) incluyen una descripción detallada de la actividad neotectónica presente en la Región del Biobío, incluyendo varios sistemas de fallas: Santa María, Lago Laja y la terminación septentrional del Sistema de Fallas de Liquiñe–Ofqui. Cada lugar es presentado por su respectiva información geográfica, marco estructural y las diferentes evidencias apoyadas por fotografías de terreno y esquemas representativos.

Cembrano y otros (2007) realizan una compilación masiva de la información neotectónica hasta la fecha en el capítulo *Neotectonics* del libro *The Geology of Chile*. Estos autores hacen una marcada división entre las evidencias de Chile norte y Chile centro – sur siguiendo un formato similar a aquel presentado por Lavenu & Cembrano (1999). Ellos introducen un pequeño párrafo con la información, el cual acompañan por ilustraciones del tensor de esfuerzos y/o fotografías en blanco y negro extraídas de otros artículos.

Durante la década que abarca los años 2010 – 2019, numerosos artículos estructurales surgen en respuesta al sismo del Maule del año 2010 y de sus réplicas, por lo que el número de publicaciones individuales aumentó considerablemente, no así la existencia de otro trabajo compilatorio a gran escala. Esto último cambiaría cuando Santibáñez y otros (2019) publican un estudio de las principales estructuras corticales que representan una potencial fuente de peligro sísmico para la población, donde se incluye un capítulo dedicado a las estructuras neotectónicas con evidencias sólidas hasta la fecha, cada de ellas introducida mediante una serie de párrafos con sus principales características que respaldan su actividad reciente.

Maldonado (2020), en su tesis de memoria, analiza el potencial sismogénico de las fallas corticales activas y potencialmente activas a lo largo de Chile continental. Esto es acompañado por ilustraciones y modelos que serían presentados formalmente un año después bajo la forma de una base de datos de estructuras geológicas potencialmente activas de Chile (CHAF) a escala 1:25000 (Maldonado y otros, 2021). Esta base de datos es, hasta la fecha, la compilación de evidencias neotectónicas más completa para Chile e incluye la información de aproximadamente 960 estructuras, ocupando cada una de ellas un lugar relevante producto de un análisis exhaustivo de

numerosos artículos, que pueden ser visualizadas digitalmente tras su conversión a un formato que puede ser representado en *softwares* tales como ArcGIS y Google Earth.

1.7. AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, al docente Joaquín Cortés Aranda por aceptarme como alumno memorista, por ser un profesor guía atento y paciente. Valoro inmensamente su apoyo en el desarrollo de este trabajo. Reconozco, en conjunto, las enseñanzas del resto de docentes y funcionarios del Departamento Ciencias de la Tierra que me acompañaron a lo largo de la carrera.

Agradezco también a los compañeros y amigos que conocí a lo largo de este proceso formativo, especialmente a Martín, Ricardo, Victoria, Nicolás y Thania, con los cuales compartí muchos momentos que siempre los atesoraré como buenos recuerdos de mi historia de vida.

Finalmente, agradezco el apoyo incondicional de mi madre y mi abuela Catalina, por escucharme siempre en los momentos buenos y malos, por inculcarme sabiduría, humildad y paciencia para afrontar diferentes situaciones en la vida, por brindarme el suficiente amor para poder desarrollarme en un hombre de bien y convertirme en la persona que soy ahora.

2. ANTECEDENTES

2.1. MARCO SISMOTECTÓNICO

El margen convergente del continente sudamericano se caracteriza por la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana bajo una tasa de convergencia estimada en ~ 68 mm/yr (*e.g.*, Somoza & Ghidella, 2005), característica principal responsable de la actividad sísmica que se desencadena en casi todo el borde occidental del continente (Leyton y otros, 2010). La elevada tasa de convergencia entre estas placas también favorece la ocurrencia de sismos de gran magnitud ($M_w > 7.5$), uno cada 10 años en promedio en el continente chileno (Métois y otros, 2016), aunque en el periodo de tiempo que abarca los años 2010 – 2020 se han desencadenado varios eventos de tales magnitudes (*e.g.*, Métois y otros, 2016, Ruiz & Madariaga, 2018).

El margen chileno es considerado un sitio clave para estudiar el ciclo de los terremotos de subducción, así como también la interacción entre dicho ciclo y las fallas corticales de la placa superior (Métois y otros, 2016), debido a que abarca la mayor parte de la zona de subducción entre dichas placas (~ 3000 km). Por lo anterior, gran parte de los movimientos sísmicos, en especial los megaterremotos ($M_w > 8.0$), pueden ser agrupados dentro de la categoría de sismos interplaca o sismos de subducción (Madariaga, 1998), el tipo más común y de mayor peligrosidad sísmica en Chile continental (Santibáñez y otros, 2019). No obstante, en un margen de subducción existen en total cuatro fuentes sismogénicas: sismicidad interplaca, sismicidad *outer-rise*, sismicidad intraplaca profunda y sismicidad cortical (Fig. 2.1.), cada una con sus características y efectos particulares sobre las estructuras corticales (Leyton y otros, 2010).

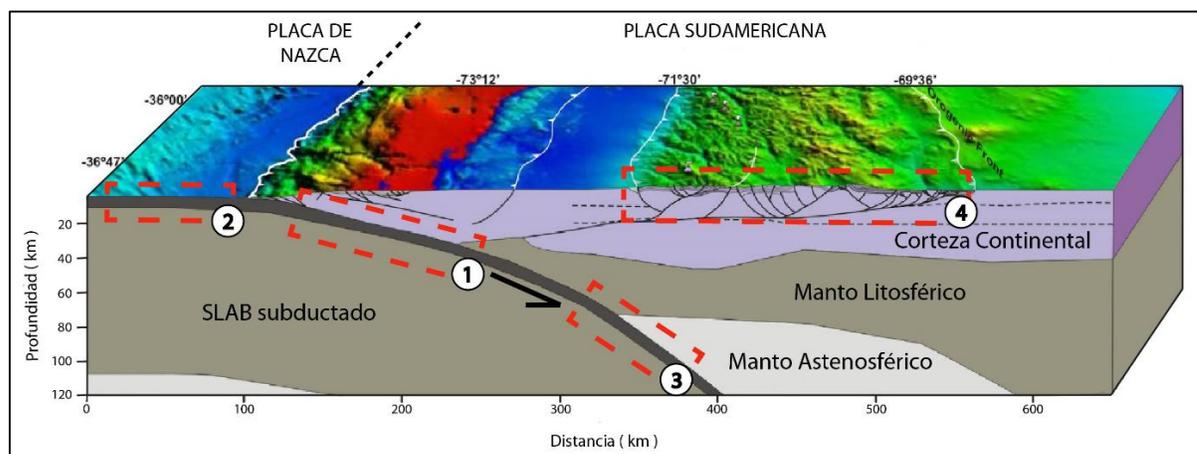


Fig. 2.1. Fuentes sismogénicas del margen de subducción chileno. (1) Sismicidad interplaca (2) Sismicidad *outer-rise* (3) Sismicidad intraplaca profunda (4) Sismicidad cortical. Modificado de Rojas–Vera y otros (2014).

1. **Sismos interplaca:** Desencadenados en la zona de acople entre la placa de Nazca y Sudamericana entre 15 – 50 km de profundidad a lo largo de todo el margen chileno (Leyton y otros, 2009). La mayoría de este tipo de sismos poseen un mecanismo inverso con un plano de falla de bajo ángulo (Madariaga, 1998). Algunos ejemplos incluyen a los sismos de Valparaíso (1730), Concepción (1835), Valdivia (1960), Maule (2010), Chiloé (2016), entre otros (*e.g.*, Métois y otros, 2016; Ruiz & Madariaga, 2018).

2. **Sismos *outer – rise*:** Desencadenados en la zona de la fosa producto de un leve plegamiento, o flexura, de la placa de Nazca justo antes de entrar al canal de subducción, a distancias mayores de 150 km respecto de la costa (Leyton y otros, 2010). Estos sismos se producen en respuesta a ciclos de carga y descarga de la zona de acoplamiento entre placas, en algunos casos de carácter compresivo y en otros casos de carácter extensional (Astiz & Kanamori, 1986 en Madariaga, 1998). Un par de ejemplos de este tipo de sismo incluyen los sismos de Valparaíso (1981; 2001) y el sismo de la Isla Mocha (2004) (*e.g.*, Ruiz & Contreras-Reyes, 2015).

3. **Sismos intraplaca profunda:** Desencadenados en la placa de Nazca a profundidades superiores a 50 km, pero inferiores a 200 km. Son el tipo de sismo más común después de los sismos interplaca y, al igual que estos, representan una importante fuente de peligro sísmico (Leyton y otros, 2009; Leyton y otros, 2010). Algunos ejemplos incluyen los sismos de Chillán (1939), Santiago (1945), La Ligua (1965), entre otros (*e.g.*, Leyton y otros, 2010, Ruiz & Madariaga, 2018).

4. **Sismos corticales:** Desencadenados en la placa Sudamericana a menos de 30 km de profundidad principalmente en las zonas montañosas de Chile. Antecedentes históricos documentan que este tipo de sismos no han superado los 7.0 grados de magnitud, aunque se tienen estimaciones de algunas fallas en Chile Central que podrían llegar a desencadenar un sismo de hasta $M_w \sim 7.4$ (Leyton y otros, 2010). Algunos ejemplos incluyen los sismos de Las Melosas (1958), Aysén (2007), Pichilemu (2011), entre otros (*e.g.*, Ruiz & Madariaga, 2018).

Las zonas de ruptura documentadas en los últimos 500 años de la historia de Chile se han interpretado de diferentes formas, acorde a la antigüedad de los sismos: para aquellos sismos de mayor antigüedad, se ha optado por estudios paleosismológicos disponibles, tamaño de los tsunamis y crónicas escritas; mientras que para los sismos más recientes, se ha optado por la información proporcionada por el Centro Sismológico Nacional (Ruiz & Madariaga, 2018). La extensión de la ruptura de dichos eventos se muestra a continuación para el caso de Chile central (Fig. 2.2) y Chile sur (Fig. 2.3) respectivamente.

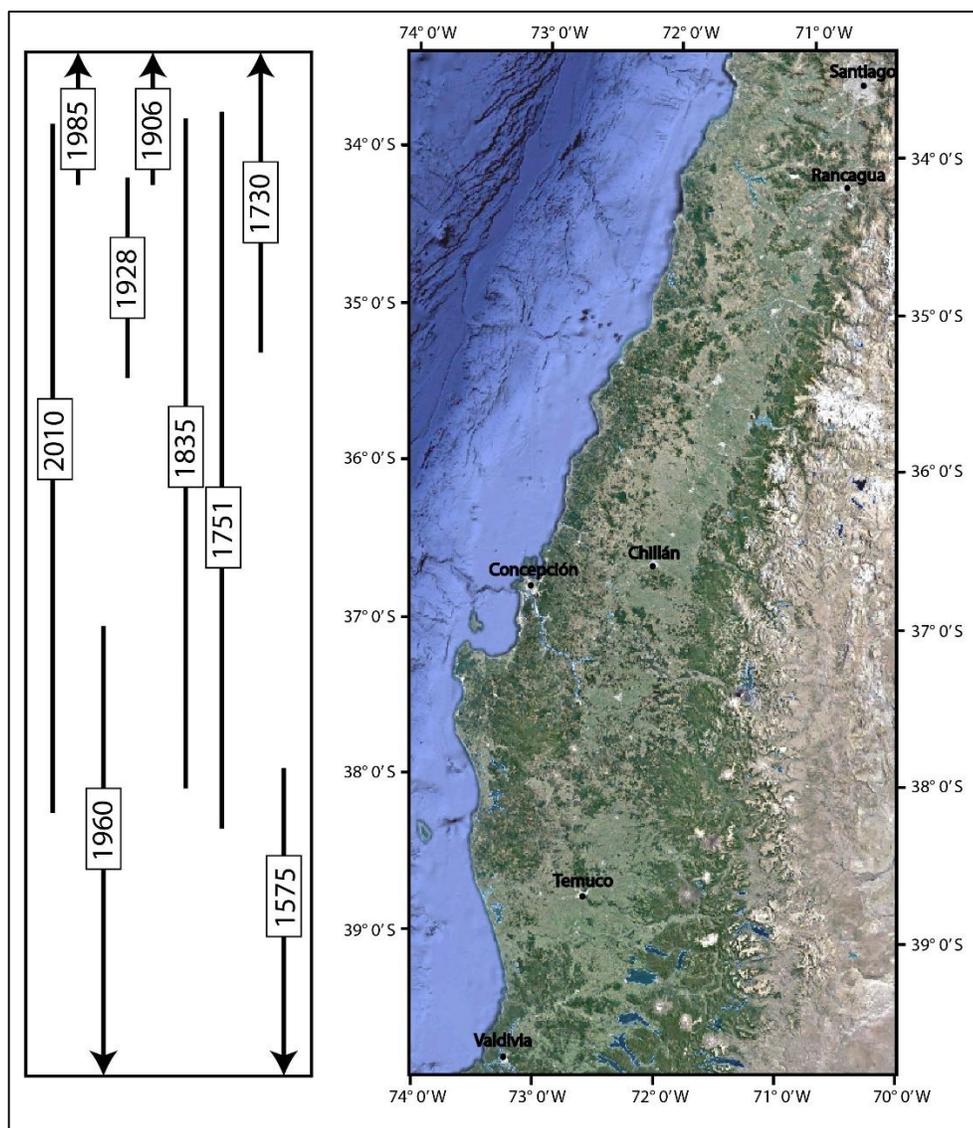


Fig. 2.2. Zona de ruptura de megaterremotos que han afectado a Chile centro – sur. Las barras indican la extensión aproximada de la zona de ruptura, mientras que los bloques indican el año en que tuvo lugar el movimiento sísmico. Las flechas señalan que el área de extensión continúa más allá de los límites de la imagen. Compilado de Melnick y otros (2009), Métois y otros (2016) y Ruiz & Madariaga (2018).

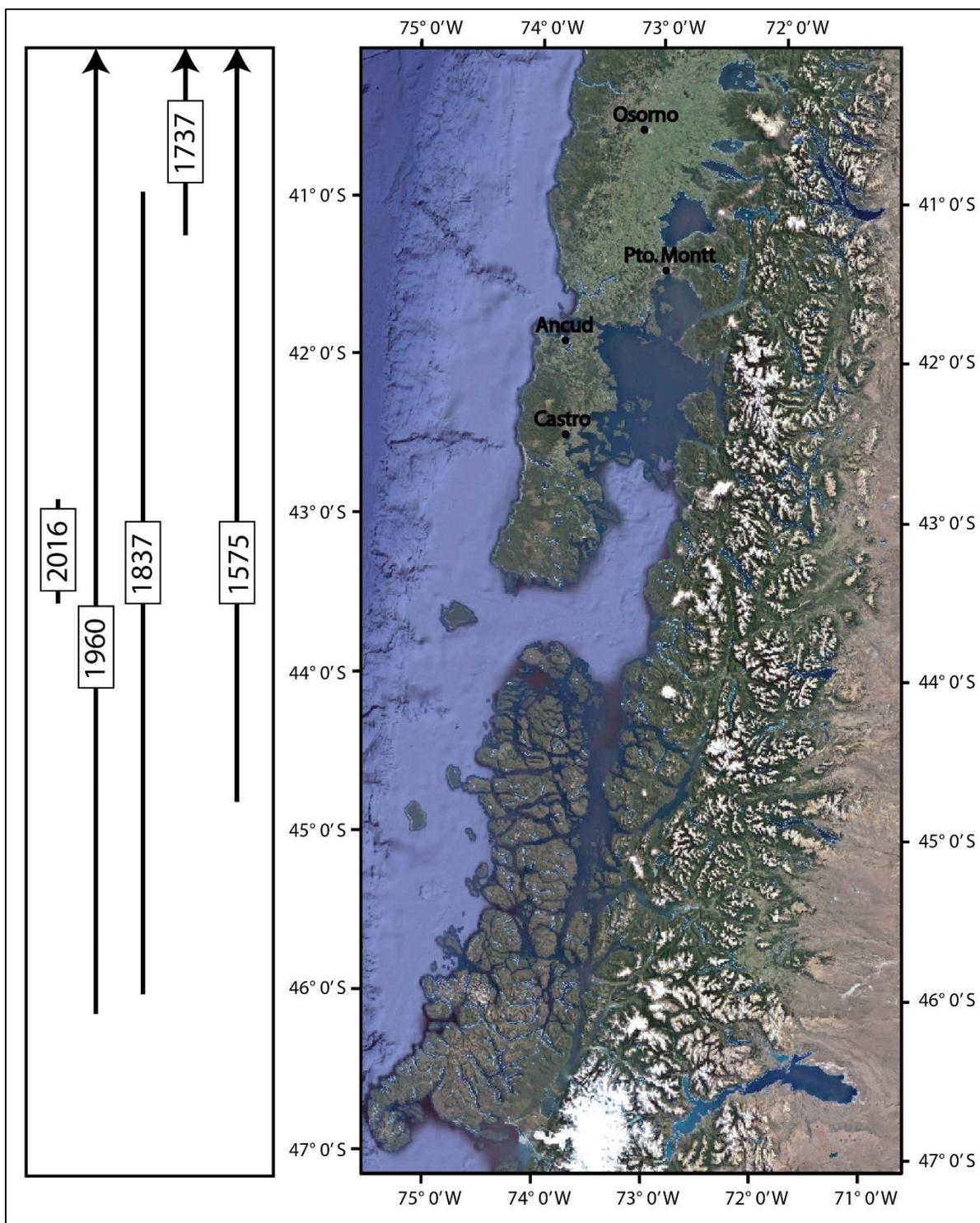


Fig. 2.3. Zona de ruptura de megaterremotos que han afectado Chile sur. Las barras indican la extensión aproximada de la zona de ruptura, mientras que los bloques indican el año en que tuvo lugar el movimiento sísmico. Las flechas señalan que el área de extensión continúa más allá de los límites de la imagen. Compilado de Melnick y otros (2009), Métois y otros (2016) y Ruiz & Madariaga (2018).

2.2. MARCO GEOTECTÓNICO

En el continente sudamericano se encuentra uno de los orógenos más importantes de la Tierra, la Cordillera de los Andes, una cadena montañosa que recorre la totalidad del borde occidental de Sudamérica hasta la zona austral de Tierra del Fuego (*e.g.*, Ramos, 2010). El orógeno andino es el resultado final de un ciclo tectónico puesto en marcha por la subducción de las placas del Océano Pacífico (Farallón y Nazca) bajo la placa Sudamericana, proceso que ha configurado el margen de Chile continental a lo largo del tiempo.

El ciclo tectónico andino comienza en el Jurásico Inferior, aproximadamente hace 200 ± 20 Ma (Sepúlveda y otros, 2013), con la subducción de la placa Farallón bajo la placa Sudamericana (*e.g.*, Seton y otros, 2012). Predomina un elevado ángulo de subducción, creando un régimen tectónico de extensión y subsidencia en el trasarco, lo que provoca adelgazamiento cortical, el desarrollo de un arco magmático relativamente oblicuo al margen continental y una cuenca de trasarco (Fig. 2.4.) que se mantiene por debajo del nivel del mar (Mpodozis & Ramos, 1989; Charrier y otros, 2007, 2015; Sepúlveda y otros, 2013; Armijo y otros, 2015).

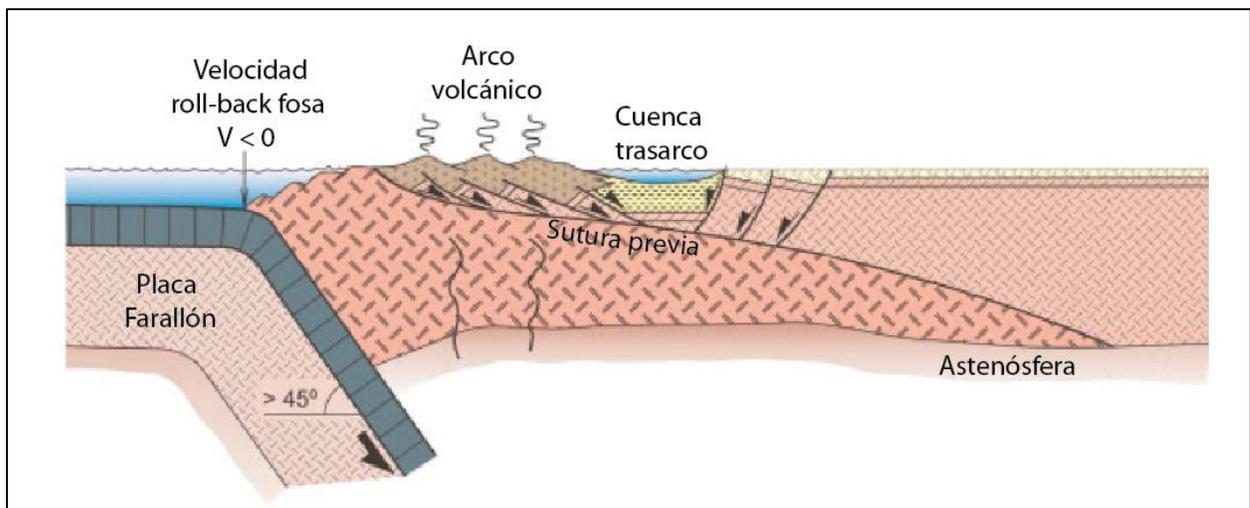


Fig. 2.4. Perfil esquemático del margen andino durante el Jurásico. Subducción de alto ángulo (tipo Mariana) domina en este periodo. Imagen extraída y modificada de Ramos (2010).

Durante la totalidad del Jurásico, tanto en el norte como en el centro de Chile, el arco se mantiene en lo que en la actualidad es la Cordillera de la Costa, mientras que en Chile sur y austral, este se desarrolla en la zona de antearco paleozoica (Mpodozis & Ramos, 1989; Armijo y otros, 2015; Charrier y otros, 2015).

El Cretácico temprano es un periodo donde se mantiene el régimen extensional producto de la subducción, evidenciando intenso volcanismo a lo largo del margen y permitiendo el emplazamiento del Batolito Patagónico principal en Chile sur (Charrier y otros, 2007; Sepúlveda y otros, 2013). La posición del arco y las cuencas de trasarco asociadas se mantiene (Fig. 2.5a) hasta comienzos del Cretácico tardío (Mpodozis & Ramos, 1989; Charrier y otros, 2015), donde se desencadena un importante evento que pone fin a la tectónica de extensión.

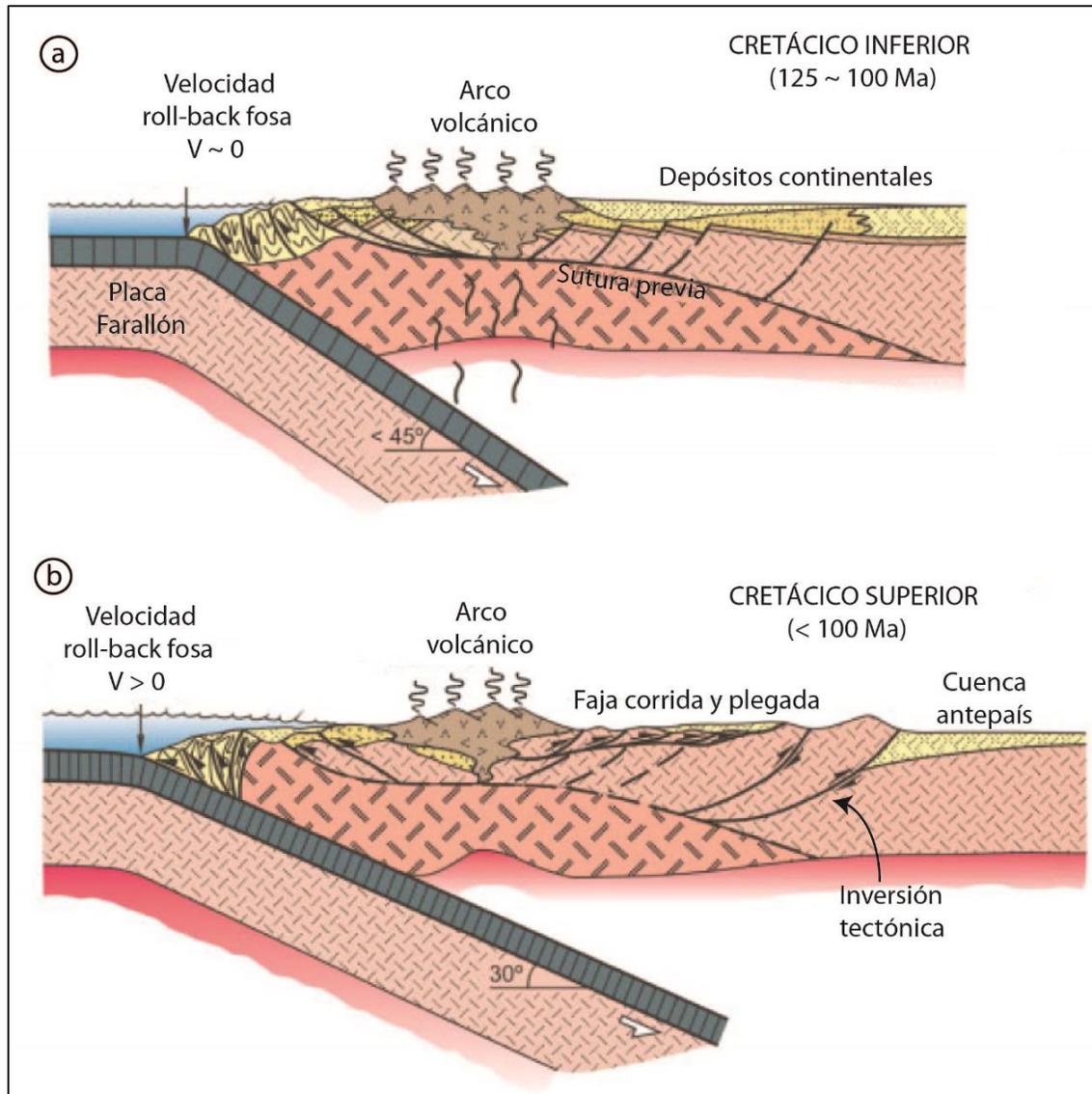


Fig. 2.5. Perfiles esquemáticos del margen andino durante el Cretácico. (a) Estado transicional a finales del Cretácico tardío previo a la orogenia Peruana. **(b)** Resultado tras la fase Peruana. Figura extraída y modificada de Ramos (2010).

Dicho evento, la fase tectónica Peruana, surge como respuesta a un fuerte acoplamiento entre la placas Farallón y Sudamericana, producto de la separación progresiva de Sudamérica y

África, la apertura del Océano Atlántico y la deriva del continente Sudamericano hacia el oeste (Sepúlveda y otros, 2013; Armijo y otros, 2015), trayendo como consecuencia una disminución del ángulo de subducción (Fig. 2.5b.) convirtiendo el margen de subducción a uno de tipo Chileno sin modificar oblicuidad ni dirección de convergencia. El arco magmático empieza a migrar hacia el este, lo que favorece el desarrollo de una extensa zona de antearco y provoca que las cuencas de trasarco sean reemplazadas gradualmente por cuencas de antepaís (*e.g.*, Mpodozis & Ramos, 1989; Charrier y otros, 2015). En Chile central comienza el desarrollo de una faja corrida y plegada (Fig. 2.5b.) con deformación controlada localmente por zonas de fracturas en la corteza y cambios en el régimen termal (Ramos, 2010), dando como resultado la formación de la primera cadena montañosa de los Andes (Charrier y otros, 2007, 2015). Tras la Orogenia Peruana, comienza la exhumación de la Cordillera de la Costa y se retoma el régimen extensional producto de una disminución en la convergencia entre placas (Charrier y otros, 2007).

A finales del Cretácico y durante el Paleoceno ocurren transgresiones marinas que depositan sedimentos cenozoicos a lo largo del margen, pero que en zonas específicas del antearco de Chile (Antofagasta, Illapel, Concepción) se depositan discordantemente sobre depósitos cretácicos, implicando la existencia de un evento deformacional compresivo de corta duración asociada a la fase K – T (Charrier y otros, 2007, 2015). El arco continúa migrando hacia el este y en el caso del sur de Chile, se forma una extensa zona de magmatismo producto de la actividad y desplazamiento paulatino de la dorsal Farallón–Antártica (Figs. 2.6a y 2.6b) hacia el sur (Cande & Leslie, 1986; Seton y otros, 2012; Gianni y otros, 2018).

En el Eoceno temprano el volcanismo cesa abruptamente producto de un segundo evento tectónico importante, la fase Incaica, coincidiendo con un incremento considerable de la velocidad de convergencia, pero también una disminución de la oblicuidad de convergencia entre las placas Farallón y Sudamericana (Sepúlveda y otros, 2013; Charrier y otros, 2015). Ocurre acortamiento perpendicular al margen continental por esfuerzos compresivos, inversión tectónica de las estructuras desarrolladas en el arco, engrosamiento cortical y exhumación de al menos 4 – 5 km de rocas del basamento durante los 50 y 30 Ma, dando origen a un importante relieve durante el Eoceno medio que se extiende desde el sur del Perú hasta Chile central (Cembrano y otros, 2007; Charrier y otros, 2009; Sepúlveda y otros, 2013; Armijo y otros, 2015).

Tras la Orogenia Incaica, en el Oligoceno, se retoma el régimen extensional en el margen lo que trae de vuelta la actividad volcánica en el arco. En la transición Oligoceno – Mioceno, alrededor de los 25 Ma, ocurre la fragmentación de la placa Farallón en las placas Nazca y Cocos (Fig. 2.6c), evento que coincide con el desarrollo de centros de expansión (Seton y otros, 2012) tales como la dorsal de Cocos y la dorsal de Chile en el sur (Fig. 2.6c). La velocidad de convergencia aumenta drásticamente entre las placas Nazca y Sudamericana lo que desencadena varios pulsos de deformación compresiva hasta finales del Mioceno, reactivando fallas a escala regional en el trasarco del norte de Chile y el intrarco del sur (Mpodozis & Ramos, 1989; Charrier y otros, 2009; Sepúlveda y otros, 2013). A finales del Mioceno también ocurre la subducción de la dorsal de Chile (Fig. 2.6d), trayendo como consecuencia ausencia de volcanismo desde los 46° de latitud hacia el sur (Stern y otros, 1976 en Ramos, 1999a) y el alzamiento de la Cordillera Patagónica (Lagabrielle y otros, 2004; Ramos & Ghiglione, 2008).

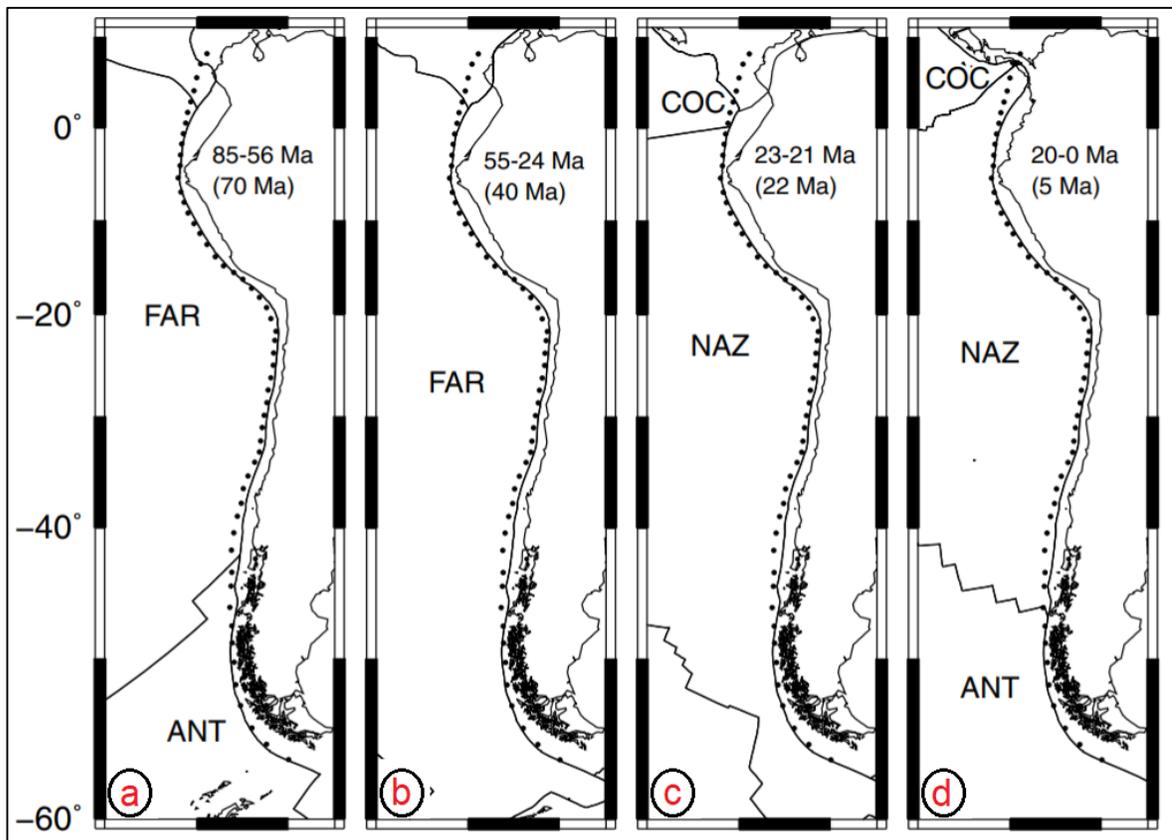


Fig. 2.6. Configuración de las placas tectónicas del margen de subducción Sudamericano. (a) Cretácico – Paleógeno, (b) Paleógeno, (c) Oligoceno, (d) Neógeno – Cuaternario. Imagen extraída y modificada de Maloney y otros (2013). FAR: Placa Farallón, ANT: Placa Antártica, COC: Placa de Cocos, NAZ: Placa de Nazca.

Del mismo modo, también subducta la dorsal Juan Fernández lo que permite la configuración del segmento de Chile central ubicado entre los 27° – 33°S y el desarrollo de la zona de *flat slab* tras la subducción de esta dorsal (Cembrano y otros, 2007; Charrier y otros, 2009).

En la transición Mioceno – Plioceno la convergencia entre las placas disminuye paulatinamente y comienza la configuración del relieve de los Andes actuales, provocada por la incisión de cursos de agua provenientes de la cordillera (Charrier y otros, 2009). El magmatismo avanza hacia la posición actual del arco y en el centro de Chile ocurren deformaciones en el flanco occidental de la Cordillera Principal (Charrier y otros, 2009). El régimen tectónico del antearco durante este periodo, para el caso de Chile central y sur, se caracteriza por ser compresivo en una dirección E – W a lo largo de la cadena de los Andes hasta comienzos del Pleistoceno (*e.g.*, Lavenu & Cembrano, 1999; Cembrano y otros, 2007; Melnick, 2007).

Durante el Pleistoceno – Holoceno el arco volcánico se emplaza en su posición actual y se reconocen dos eventos tectónicos: una compresión NNE – SSW en el antearco desde los 33° hasta los 37°S y un evento transpresivo NE – SW para la zona del intrarco entre los 37° y los 46°S, este último debido a la acción de un sistema de fallas a gran escala responsable de acomodar la deformación (Lavenu & Cembrano, 1999; Lavenu, 2006). El arco se emplaza en su posición actual y la compresión tectónica continúa sin perturbaciones, traducándose en un mayor alzamiento y una rápida exhumación, características de la Cordillera de los Andes en la actualidad (Charrier y otros, 2009).

2.3. UNIDADES FISIAGRÁFICAS

2.3.1. Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa corresponde a la porción emergida del antearco externo de los Andes centrales, ubicada sobre la zona de acoplamiento entre las placas Nazca y Sudamericana (Allmendinger, 2005 en Carrizo y otros, 2008). Se extiende de manera continua, paralelo al flanco occidental del margen chileno hasta el canal de Chacao, un estrecho marino entre Chile continental y la Isla Grande de Chiloé (Cembrano y otros, 2007; Encinas y otros, 2020), donde desaparece parcialmente. Al sur de esta localidad, reaparece de manera discontinua en forma de bloques independientes desplazados unos de otros, desde la Isla Grande de Chiloé hasta la Península de

Taitao (*e.g.*, Lavenu & Cembrano, 1999; Santibáñez y otros, 2019), donde se sumerge en el Océano Pacífico desapareciendo completamente.

Limita con la plataforma litoral por el occidente y con el Valle Central por el oriente, constituyendo una barrera geográfica para los sedimentos de su flanco oriental y aquellos del Valle Central, protegiéndolos de la influencia de las corrientes marinas del Pacífico (Melnick, 2007; Muñoz y otros, 2007). Su elevación varía a lo largo del margen continental, disminuyendo progresivamente hacia el sur de Chile hasta desaparecer bajo el Océano Pacífico (Marchant y otros, 2007; Encinas y otros, 2020), encontrándose valores de hasta 1500 m en Chile central y valores promedio de 300 m en Chile sur.

En el centro – sur de Chile, entre los 33° y 46°S, la Cordillera de la Costa es una unidad compuesta mayoritariamente por rocas volcanosedimentarias mesozoicas, intruidas por cuerpos plutónicos coetáneos, junto a rocas metamórficas de edad Paleozoico – Jurásico que representan el basamento sobre el cual los Andes han sido construidos (Hervé, 1987 en Cembrano y otros, 2007). En su flanco occidental, a lo largo de la costa, se aprecian superficies planas de diferentes elevaciones correspondientes a terrazas marinas (Encinas y otros, 2020) y algunas rocas sedimentarias de edad Cenozoica en las cercanías de Navidad (33°S) y la Bahía de Arauco (37°S).

2.3.2. Valle Central

El Valle Central, o Depresión Central, es una morfoestructura de orientación N – S que recorre gran parte del centro – sur de Chile entre los 33° y 46°S, dispuesta entre la Cordillera de la Costa por el oeste y la Cordillera Principal por el este (Cembrano y otros, 2007). Corresponde a una zona de bajo relieve, sumergida al sur de los 42°S (Tassara & Yáñez, 2003; Encinas y otros, 2020), con una extensión que no supera los 75 km de ancho y que alberga la mayoría de los asentamientos urbanos en Chile. Esta morfoestructura, interpretada como una cuenca de antearco (Encinas y otros, 2020), fue descrita originalmente como un graben. No obstante, su geometría actual y la cinemática de sus límites no coinciden con las de un juego de fallas normales, por el contrario, los rasgos geomorfológicos desarrollados durante el Neógeno bajo una tectónica extensional, permiten clasificarla como un *hemigraben* (Lavenu & Cembrano, 1999).

Se encuentra rellena de sedimentos continentales de edad Oligoceno – Reciente junto a sedimentos aluviales y volcánicos de edad Pleistoceno – Holoceno que alcanzan fácilmente 1000

m de espesor y ocultan la topografía subyacente (Cembrano y otros, 2007; Marchant y otros, 2007; Mosolf y otros, 2018; Sepúlveda, 2019). Dichos sedimentos incluyen tufitas, limolitas, areniscas y conglomerados aluviales y fluviales que forman parte de diferentes formaciones del centro – sur de Chile (Encinas y otros, 2020). Ocasionalmente, se evidencian cerros aislados (o islas) que exponen rocas metamórficas del basamento, a veces cubiertos por rocas volcánicas cenozoicas, cuya altura no supera los 650 m (Mosolf y otros, 2018; Sepúlveda y otros, 2019).

2.3.3. Cordillera Principal

La Cordillera Principal es la unidad morfotectónica característica del intrarco y corresponde al flanco occidental de los Andes (Riesner y otros, 2017; Riesner y otros, 2018). Se extiende de manera continua a lo largo del margen continental hasta aproximadamente los $\sim 39^\circ$ de latitud sur, en el lago Aluminé, donde la aparición de cuerpos plutónicos marcan la transición hacia la Cordillera Patagónica (Ramos, 1999b). Posee en promedio 80 – 100 km de ancho (Cembrano y otros, 2007) y, al igual que la Cordillera de la Costa, su elevación disminuye hacia el sur, encontrándose valores desde 4000 m en la parte más septentrional y hasta 1500 m en aquella más meridional (Tassara & Yáñez, 2003).

Entre los 33° y 39°S la Cordillera Principal se caracteriza por unidades volcanosedimentarias meso–cenozoicas, intruidas por cuerpos plutónicos de edad Mioceno – Plioceno y rocas del arco volcánico actual (Cembrano y otros, 2007; Astaburuaga y otros, 2012; Riesner y otros, 2017; Riesner y otros, 2018). A grandes rasgos, en el centro – sur de Chile las rocas que conforman esta unidad presentan un elevado grado de deformación producto del desarrollo de la Faja Corrida y Plegada de los Andes Occidentales (WATFB), de vergencia hacia el oeste, y que se extiende hacia el trasarco argentino (Cembrano y otros, 2007; Riesner y otros, 2017; Mosolf y otros, 2018).

2.3.4. Cordillera Patagónica

La Cordillera Patagónica es la unidad característica de los Andes del sur, una estructura topográficamente continua localizada bajo los 39°S que se extiende hasta Cabo de Hornos ($\sim 56^\circ\text{S}$) en el continente chileno, aunque también lo hace hacia territorio argentino en Tierra del Fuego (Ramos, 1999b; Lagabrielle y otros, 2004; Ramos & Ghiglione, 2008).

La unidad geológica de mayor extensión corresponde al Batolito Patagónico, una amalgamación de cuerpos plutónicos meso–cenozoicos emplazados por la Zona de Falla Liquiñe–Ofqui, extendiéndose de manera continua en dirección N – S a lo largo del flanco occidental de esta morfoestructura (Tassara & Yáñez, 2003; Pankhrust & Hervé, 2007). Está conformado por rocas plutónicas de composición intermedia a ácida, tales como: dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos de hornblenda y biotita que intruyen rocas del Basamento Metamórfico y algunas secuencias sedimentarias cenozoicas (Ramos & Ghigione, 2008). Salvo estos cuerpos intrusivos, existe ausencia de rocas volcánicas entre la zona del Punto Triple de Chile (~46°S) y el volcán Lautaro (~49°S). Al sur de esta latitud, la actividad volcánica se acota el Cuaternario con diferentes estructuras volcánicas aisladas a lo largo de la zona austral (Ramos & Ghigione, 2008).

2.4. FALLAS CORTICALES EN CHILE

La zona de subducción Nazca – Sudamericana se encuentra fuertemente segmentada longitudinalmente, debido a diversos factores: la cinemática de las placas en juego, la subducción de dorsales activas y/o pasivas, presencia de zonas de fractura, edad de la placa que subducta en la fosa, dirección del flujo mantélico, espesor de la corteza continental y aspectos climáticos (Cembrano y otros, 2007; Ramos, 2010; Santibáñez y otros, 2019). Para el caso de Chile central y sur esta segmentación se puede asociar directamente a las principales unidades fisiográficas de los Andes chilenos: la Cordillera de la Costa, el Valle Central y Cordillera Principal/Cordillera Patagónica respectivamente.

Dentro de cada unidad fisiográfica presente a lo largo de los Andes se impone un estilo deformacional el cual queda representado por diferentes fallas corticales de orientación, geometría y cinemática definida (*e.g.*, Maldonado y otros, 2021). Estas fallas, distribuidas a lo largo del antearco exterior e intrarco chileno (Fig. 2.7.), son una de las principales fuentes sismogénicas en Chile (Leyton y otros, 2010) capaces de desencadenar eventos sísmicos cuya magnitud, en general, no supera los Mw 7.0 con recurrencias que varían entre 1.000 a 10.000 años (Slemmons y DePolo, 1986), pero que son potencialmente peligrosos cuando existen lugares habitados en las zonas adyacentes.

En la última década, al menos tres sismos de subducción cuya magnitud ha superado los 7.5° de magnitud (*e.g.*, Métois y otros, 2016; Ruiz & Madariaga, 2018) se han desencadenado en territorio chileno, trayendo repercusiones en algunas de las estructuras corticales conocidas y, en

casos puntuales, permitiendo el descubrimiento de nuevas estructuras a lo largo del antearco exterior (*e.g.*, Melnick y otros, 2019). Se reservan las evidencias de esta actividad neotectónica en fallas corticales para el capítulo siguiente de la presente memoria.

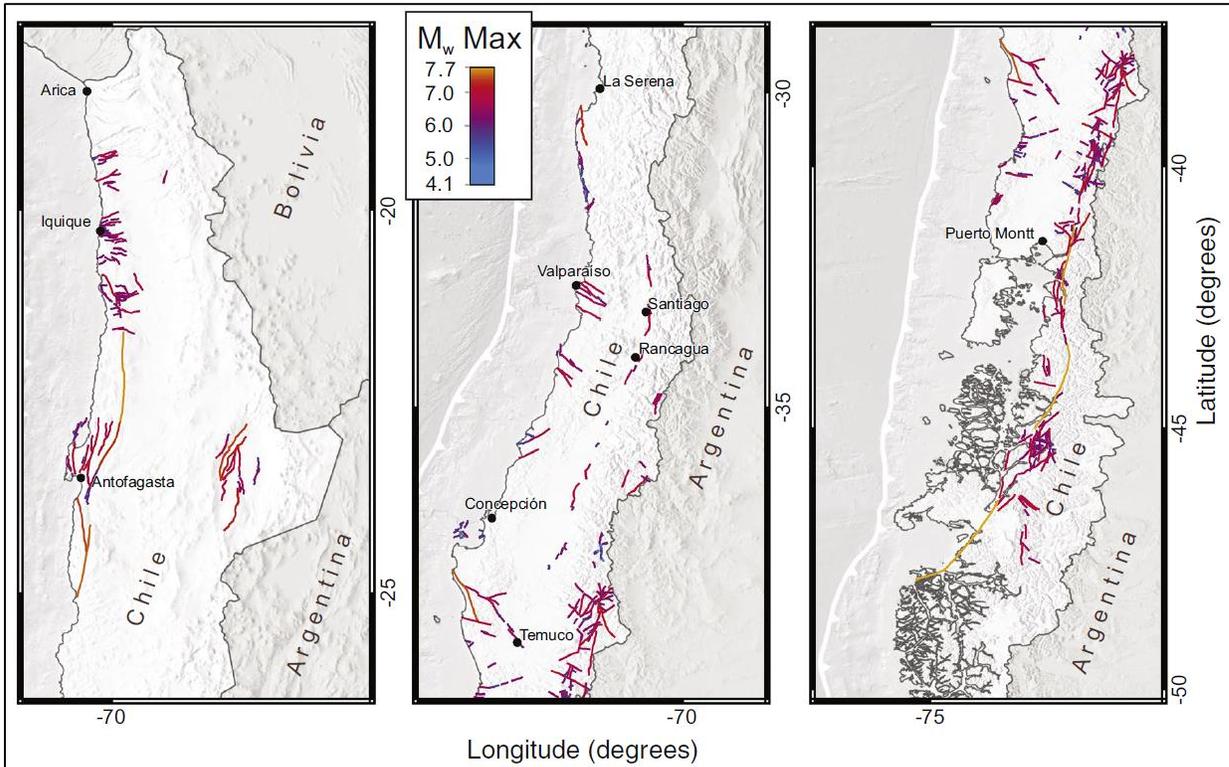


Fig. 2.7. Compilación de fallas corticales conocidas en Chile. Los colores aluden a la máxima magnitud esperada para cada una de ellas, esto último calculado utilizando relaciones empíricas. Figura extraída de Maldonado y otros (2021).

2.5. MARCO CLIMÁTICO

Junto a procesos derivados de la tectónica de placas, existen variaciones en el clima a lo largo y ancho del margen chileno que influyen en la evolución geológica y la segmentación de la corteza continental. El clima ha jugado un rol importante en la preservación y destrucción de estructuras, especialmente durante el Neógeno, periodo donde el continente sudamericano adquiere una posición estable (*e.g.*, Seton y otros, 2012), la que se ha mantenido con ligeras variaciones hasta la actualidad.

Durante este periodo, la costa occidental de Sudamérica ya se encuentra bajo la influencia de sistemas de circulación oceánico: la corriente de Humboldt en el norte (Zachos y otros, 2001 en Strecker y otros, 2007) y la corriente circumpolar Antártica en el sur lo que, sumado al continuo

alzamiento del Orógeno Andino, provocan diferencias en las tasas de precipitación y evaporación a lo largo del margen, principalmente en el norte de Chile. La temperatura del planeta, durante el Neógeno, sufre una disminución global alrededor de los ~15 Ma, permitiendo la ocurrencia de las primeras glaciaciones en Chile sur y austral (*e.g.*, Melnick y otros, 2007; Ramos & Ghiglione, 2008) y, por consiguiente, el avance de grandes glaciares, los que se intensifican durante el Cuaternario (~2 Ma), modelando el relieve de las zonas cordilleranas (Clapperton, 1994).

En la actualidad, las características climáticas de Chile son controladas por varios factores: su gran extensión latitudinal, presencia de cadenas montañosas, influencia de corrientes oceánicas, diferencias de altitud, entre otras, todas las cuales crean diferencias contrastantes entre el clima del norte y el sur del país. La cantidad de precipitaciones es considerado el factor más crítico en estas variaciones climáticas, debido a la gran diferencia en las condiciones hidrológicas presentes a lo largo del continente, estas últimas controladas por la morfología de las montañas, la presencia de grandes cuencas y la influencia del océano en las corrientes oceánicas y masas de aire (Muñoz y otros, 2007).

La zona de bajas precipitaciones, que incluye al Norte Grande y Norte Chico (Muñoz y otros, 2007), se sitúa en una región subtropical de alta presión provocada por la acción del anticiclón del Pacífico Sur (Strecker y otros, 2007). En esta zona, la distribución y elevación de la Cordillera de la Costa y el Orógeno Andino actúan como barreras orográficas para el ingreso de corrientes húmedas provenientes del océano y/o cordillera hasta aproximadamente los 31°S (Fig. 2.8), favoreciendo el desarrollo de un clima extremadamente árido, escasas a nulas precipitaciones y poco sedimento transportado hacia la fosa (Marchant y otros, 2007; Melnick, 2007; Muñoz y otros, 2007; Strecker y otros, 2007). En contraste, la zona de altas precipitaciones (el resto de Chile) se encuentra en zonas de menor presión donde la elevación de las estructuras anteriormente mencionadas no es impedimento para el ingreso de masas de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico, con influencia de la corriente circumpolar Antártica (Cerveny, 1998 en Marchant y otros, 2007), favoreciendo la meteorización, erosión y transporte de sedimentos hacia la fosa (Fig. 2.10) bajo climas húmedos y más fríos a medida que se avanza hacia Chile austral y la corriente circumpolar Antártica adquiere mayor predominancia.

Este clima húmedo, característico de la zona sur de Chile, permite el desarrollo de vegetación abundante que obstaculiza y, en algunos casos, destruye las evidencias de deformación

neotectónica preservadas en el relieve a tales latitudes en contraste a la aridez y clima seco del norte de Chile, donde el menor desarrollo de vegetación se traduce en un menor grado de destrucción/obstrucción y mejor preservación de dichas evidencias.

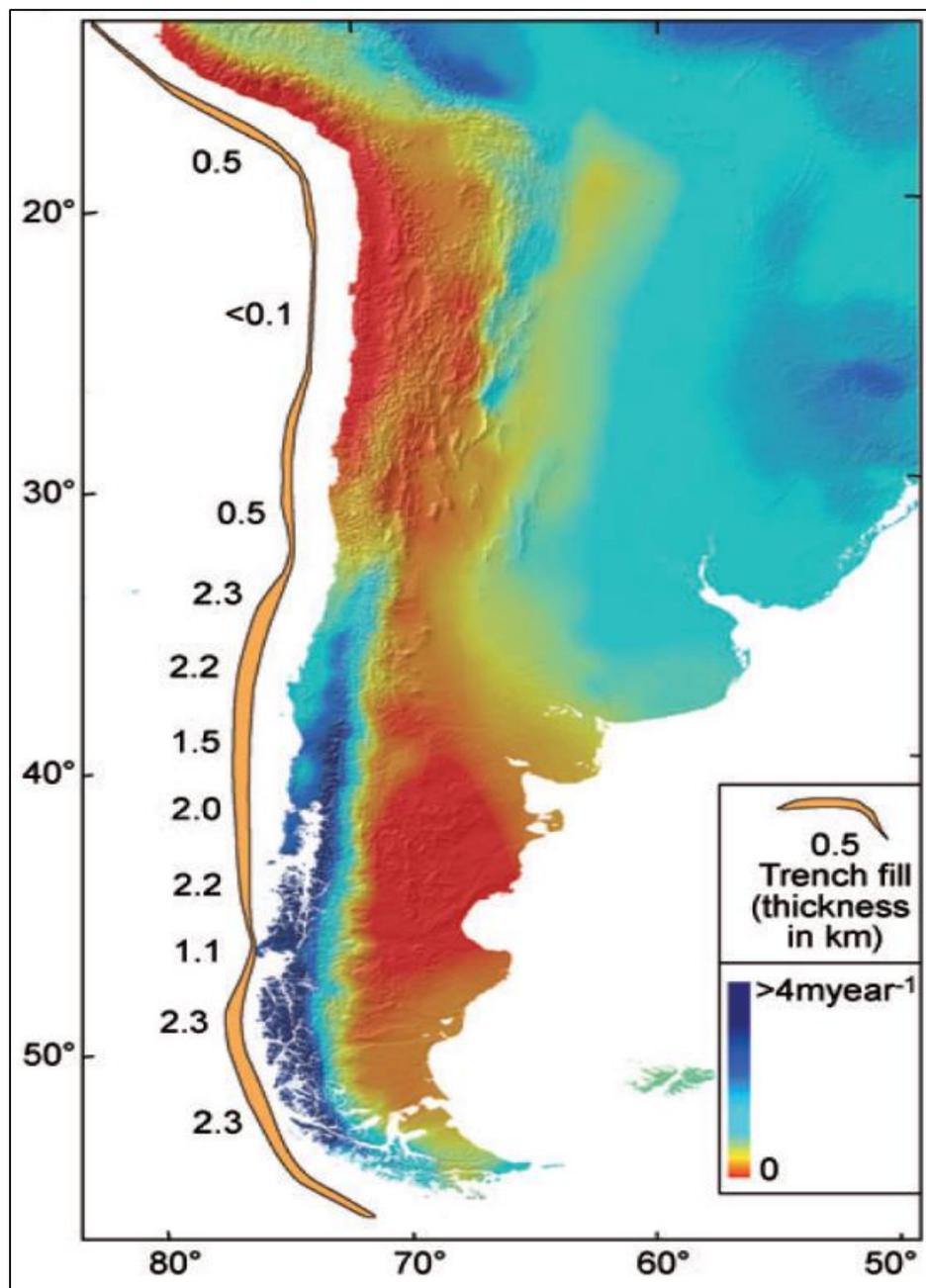


Fig. 2.8. Tasa de precipitación anual y espesor de sedimento en la fosa del margen occidental de Sudamérica. La intensidad de precipitaciones varía acorde a una escala de colores que van desde los rojos (sequías) hasta los azules (aguaceros). Imagen extraída de Strecken y otros (2007). Los polígonos alargados de tonalidad anaranjada representan la fosa y los números adyacentes a cada polígono indican el espesor de sedimento en km.

3. EVIDENCIAS NEOTECTÓNICAS DE CHILE CENTRAL Y SUR

En este capítulo se presentarán y describirán evidencias de deformación neotectónica comprendidas entre los 32.5°S y 47.5°S a lo largo de Chile continental. Dada la extensión del área de estudio, se considerarán tres zonas geográficas: Chile central (32.8° – 36.2°S), Chile centro – sur (36.2° – 38.3°S) y Chile sur (38.3° – 47.5°S), dentro de las cuales serán introducidas, de norte a sur y desde la costa hacia el interior del continente, las evidencias neotectónicas presentes.

3.1. CHILE CENTRAL (32.8° – 36.2°S)

En esta zona las evidencias de deformación se concentran tanto en el antearco exterior, desde la zona litoral hasta la Cordillera de la Costa, como en el límite entre el Valle Central y el flanco occidental de la Cordillera Principal (Fig. 3.1). En el sector litoral predominan las fallas de cinemática normal, mayoritariamente en dirección NW – SE, afectando rocas de formaciones cenozoicas y sedimentos marinos (*e.g.*, SERNAGEOMIN, 2003; Farías y otros, 2011; Valdivia, 2020), mientras que en el sector cordillerano predominan las fallas de cinemática inversa de dirección NE – SW pertenecientes al Cabalgamiento Andino Occidental (WATF), el rasgo estructural más importante en este rango de latitud, las cuales separan depósitos aluviales cuaternarios de rocas meso–cenozoicas (*e.g.*, SERNAGEOMIN, 2003; Riesner y otros, 2018).

3.1.1. Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla

En la zona de antearco entre los 32.8° y 33.5° de latitud, una serie de estructuras correspondientes a las fallas Marga–Marga, Valparaíso, Laguna Verde y Quintay (Fig. 3.2) forman parte del Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla (SFVM), un sistema estructural al que se le ha atribuido un origen sismogénico (Thorson, 1999 en Valdivia, 2020), está orientado en dirección NW – SE y se ha estudiado a lo largo de los años mediante observaciones en terreno, datos estructurales y análisis derivados de la geofísica (Valdivia, 2020).

La evidencia de actividad neotectónica característica corresponde a un set de terrazas marinas pliocenas – cuaternarias, deformadas por actividad de las fallas del sistema, distribuidas a lo largo de la línea de costa (Fig. 3.3) y asociadas a una tasa de alzamiento cuyos valores varían entre 0.1 y 0.4 mm/año (Sáez y otros, FONDEF D10E1027 Project, 2018 en Valdivia, 2020). Adicionalmente, pero a una escala más pequeña, se reportan evidencias geomorfológicas que se mencionarán en los siguientes párrafos.

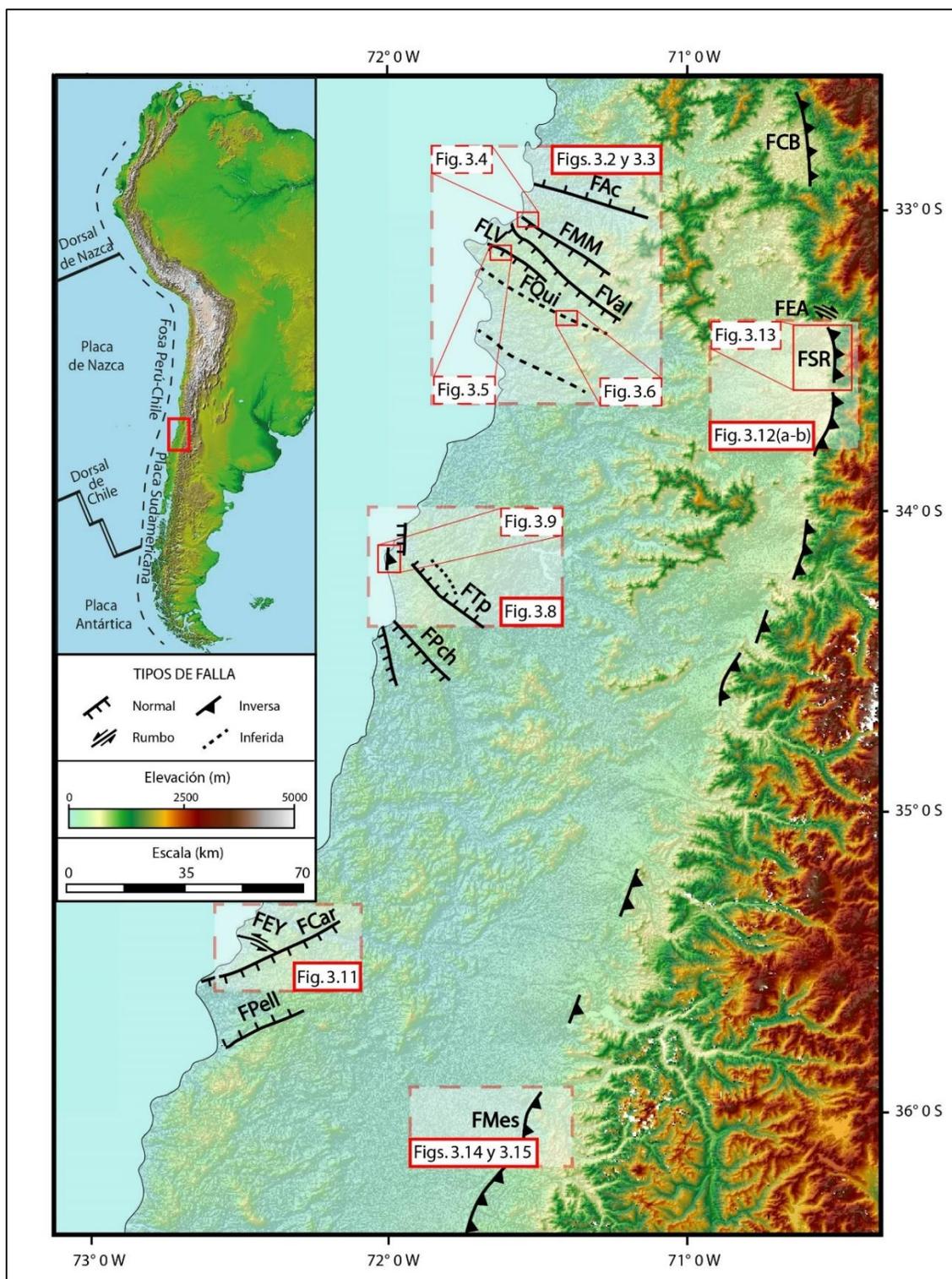


Fig. 3.1. Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile central. El mapa se ha confeccionado compilando información de fuentes tales como SERNAGEOMIN (2003), Jara–Muñoz (2015), Valdivia (2020) y Maldonado y otros (2021). **FCB**: Falla Cariño Botado; **FAc**: Falla Aconcagua; **FMM**: Falla Marga–Marga; **FVal**: Falla Valparaíso; **FLV**: Falla Laguna Verde; **FQui**: Falla Quintay; **FEA**: Falla El Arrayán; **FSR**: Falla San Ramón; **FTp**: Falla Topocalma; **FPch**: Falla Pichilemu; **FEY**: Falla El Arrayán; **FCar**: Falla Carranza; **FPell**: Falla Pelluhue; **FMes**: Falla Mesamávida.

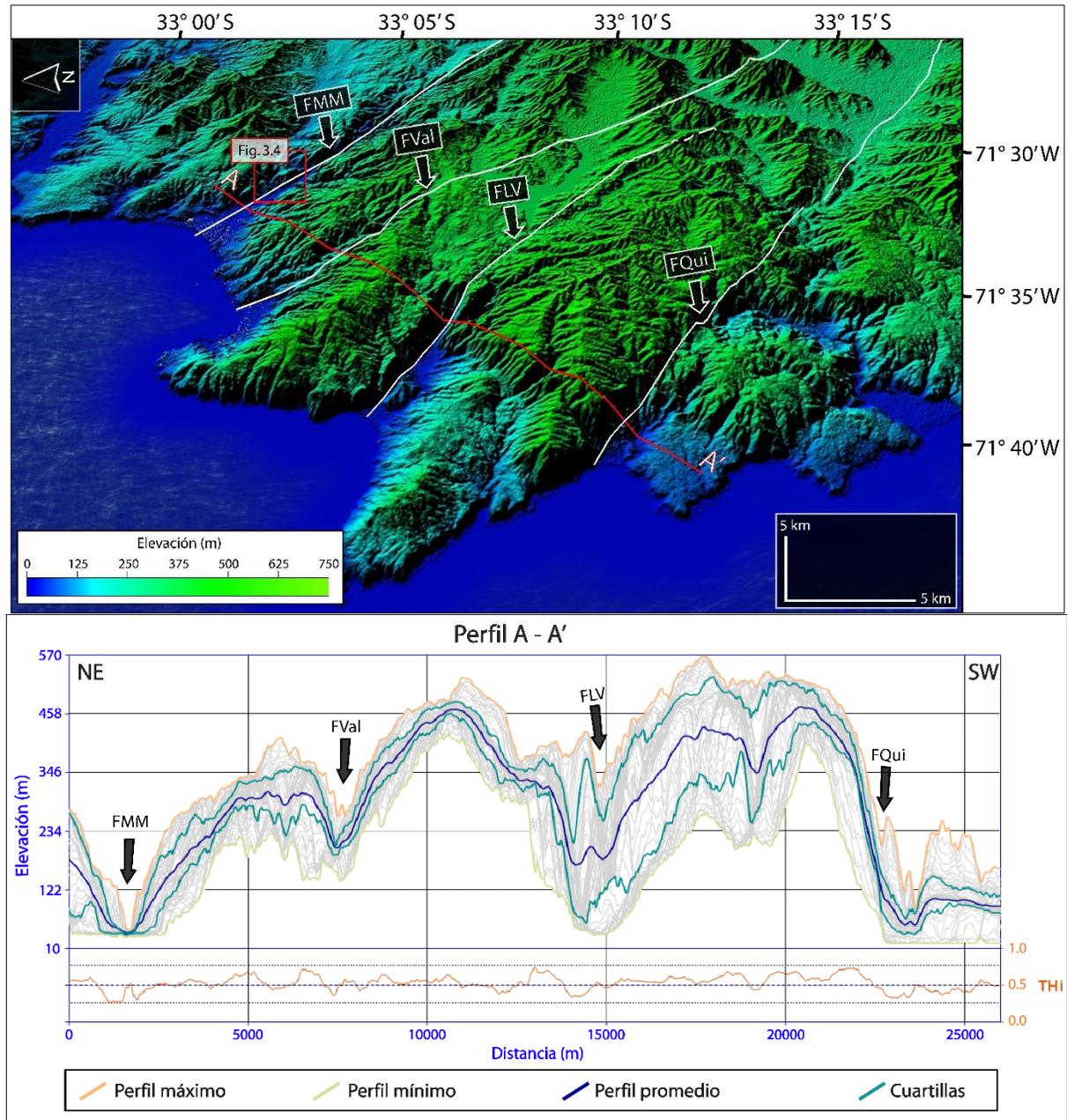


Fig. 3.2. Modelo de elevación digital con fallas pertenecientes al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla. El perfil Swath que acompaña al modelo de imagen satelital se ha confeccionado utilizando el *software* Swath Profiler de Pérez–Peña y otros (2017). **FMM**: Falla Marga–Marga; **FVal**: Falla Valparaíso; **FLV**: Falla Laguna Verde; **FQui**: Falla Quintay.

En primer lugar se encuentra la Falla Marga–Marga, debido al peligro sísmico que presenta para la ciudad de Viña del Mar al encontrarse parte de esta sobre la traza de falla (Philippi & Garrido, 2016). Modelos sísmicos predicen que esta estructura sería capaz de desencadenar un evento sísmico de hasta Mw 7.0, tomando en consideración su comportamiento normal y, además, un posible comportamiento transcurrente (Maldonado, 2020; Valdivia, 2020). Thorson (1999) fue

el primero en presentar un estudio detallado de esta estructura con evidencias que sugieren desplazamiento en el rumbo de la estructura, lo que concuerda con observaciones en terreno tras eventos sísmicos importantes combinados con antecedentes históricos, resultando en leves modificaciones de la traza de falla (*e.g.*, Muñoz y otros, 2012), pero que en general mantiene la dirección NW – SE, característica del sistema al que pertenece.

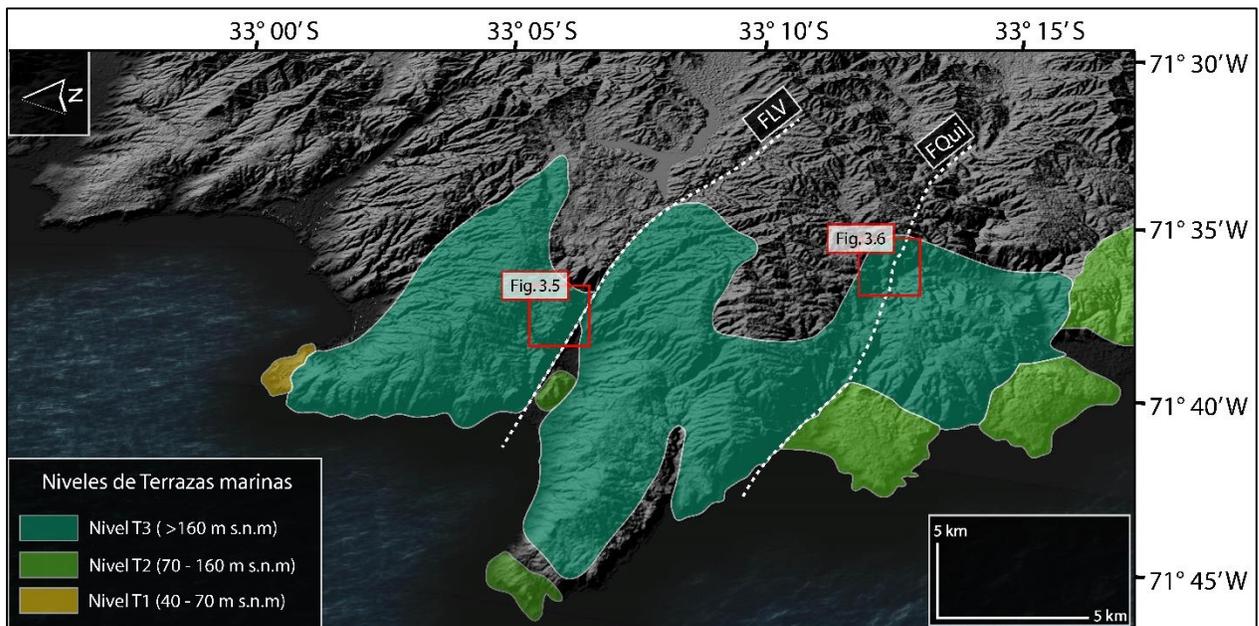


Fig. 3.3. Niveles de terrazas de abrasión marina asociadas al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla. Basado en la información de Rodríguez (2008). Las líneas segmentadas corresponden a trazas de fallas propuestas por Maldonado y otros (2021). **FLV**: Falla Laguna Verde; **FQui**: Falla Quintay.

En la actualidad, con ayuda de modelos de elevación digital (DEM) se puede confirmar la presencia de una estructura semi-paralela a la desembocadura del Estero Marga–Marga correspondiente a la expresión superficial de esta falla, posición que es concordante con aquellas reportadas por otros autores en años anteriores (*e.g.*, Muñoz y otros, 2012). Su actividad reciente queda en manifiesto a través de planos de fractura y daños estructurales, sobre la traza de falla y paralelos a esta, desplazamientos centimétricos en depósitos aluviales cuaternarios y zonas brechizadas aledañas al Estero Marga–Marga (Muñoz y otros, 2012; Maldonado, 2020), aunque también tiene cierto control morfológico sobre la sinuosidad del estero (Fig. 3.4) y los depósitos fluviales que se acumulan en sus riveras (Ramos & Villar, 2018). Si bien no se han reportado deslizamientos en masa recientes a lo largo de esta estructura, se ha demostrado que junto a la Falla Aconcagua, más al norte, (Fig. 3.1) ambas tienen el potencial de desencadenarlos, asumiendo la ocurrencia de un terremoto Mw 7.0 en el área (Valdivia, 2020).



Fig. 3.4. Rol de la Falla Marga–Marga en el control de la sinuosidad Estero Marga–Marga. Vista en Google Earth de la desembocadura del Estero Marga–Marga apreciándose una disminución en la sinuosidad del mismo al acercarse a la ciudad de Viña del Mar.

Las estructuras restantes para esta área corresponden a las fallas Laguna Verde y Quintay, ambas localizadas un poco más al sur respecto a la Falla Marga–Marga (Fig. 3.2). Uno de los documentos más antiguos, donde hacen aparición ambas, corresponde al mapa geológico del área de Valparaíso–Curacaví (Gana & Tosdal, 1996) donde ya se puede inferir la extensión de las mismas y la orientación semi–paralela al resto de fallas del SFVM, aunque en ese entonces solamente la cinemática de la sección adyacente al margen continental de la Falla Laguna Verde se encontraba definida. Con el paso de los años aquellos segmentos restantes sin cinemática adquirieron un comportamiento normal sin modificar la extensión propuesta por Gana & Tosdal (1996), lo que recientemente se ha confirmado gracias a rasgos geomorfológicos visualizados en trabajo de campo y que corresponden a escarpes de fallas aparentes con facetas triangulares cubiertas por vegetación en las cercanías de las localidades homónimas (Del Valle y otros, 2018). Para el caso de la localidad de Laguna Verde, estos rasgos se aprecian con mayor claridad en las cercanías del Estero El Sauce (Fig. 3.5), permitiendo a Del Valle y otros (2018) determinar la altura del escarpe en *c. a.* 100 m en esta posición. Para la localidad de Quintay, en cambio, las facetas se encuentran cubiertas por extensa vegetación (Fig. 3.6) a lo largo de toda la traza, lo que ha impedido la determinación de la altura del escarpe.

Otro rasgo que evidencia actividad neotectónica, aunque asociado exclusivamente a actividad de la Falla Laguna Verde, se localiza en el sector costero de la zona donde existen grupos de terrazas marinas pliocenas – cuaternarias afectadas por dicha falla. Los estudios llevados a cabo por Del Valle y otros (2018) demostraron que existen diferencias de altura entre aquellas terrazas al norte de la traza (más elevadas) y aquellas dispuestas al sur (menos elevadas), las que se explican por tasas de deslizamiento asociadas a actividad de la falla durante el Cuaternario.

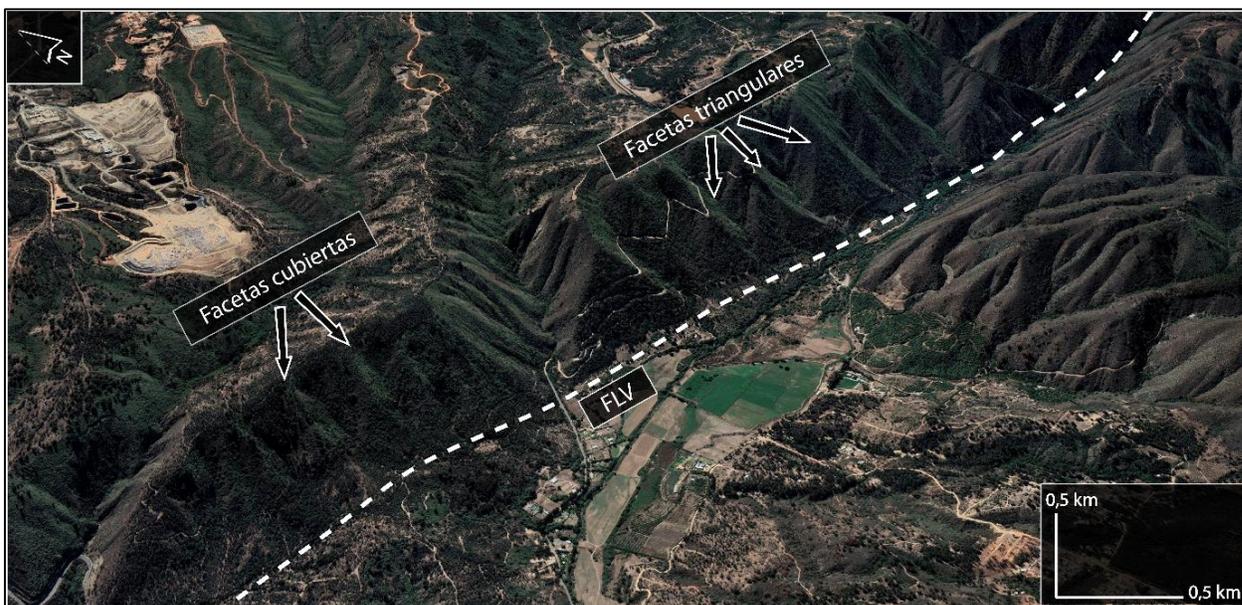


Fig. 3.5. Facetas triangulares en las cercanías de la localidad de Laguna Verde. Las flechas señalan la posición de las mismas mientras que la línea segmentada indica la posición de la traza de falla propuesta por Maldonado y otros (2021). Elaboración propia. **FLV:** Falla Laguna Verde.



Fig. 3.6. Facetas triangulares cubiertas en las cercanías de la localidad de Quintay. Las flechas señalan la posición de las mismas mientras que la línea segmentada indica la posición de la traza de falla propuesta por Maldonado y otros (2021). Elaboración propia. **FQui:** Falla Quintay.

3.1.2. Falla Topocalma

Al sur del VMFS bajo los 34° de latitud, hacia el interior de la Cordillera de la Costa, se encuentra la Falla Topocalma, una estructura oblicua al margen continental de aproximadamente

13 km de extensión en dirección NW – SE (e.g., Farías y otros, 2011; Jara–Muñoz y otros, 2015; Maldonado y otros, 2021), cinemática normal y manteo en sentido SW, que pone en contacto rocas y sedimentos marinos miocenos – pliocenos correspondientes a la Formación Navidad (Lavenu & Encinas, 2005) con rocas intrusivas del Basamento Paleozoico (Fig. 3.7).

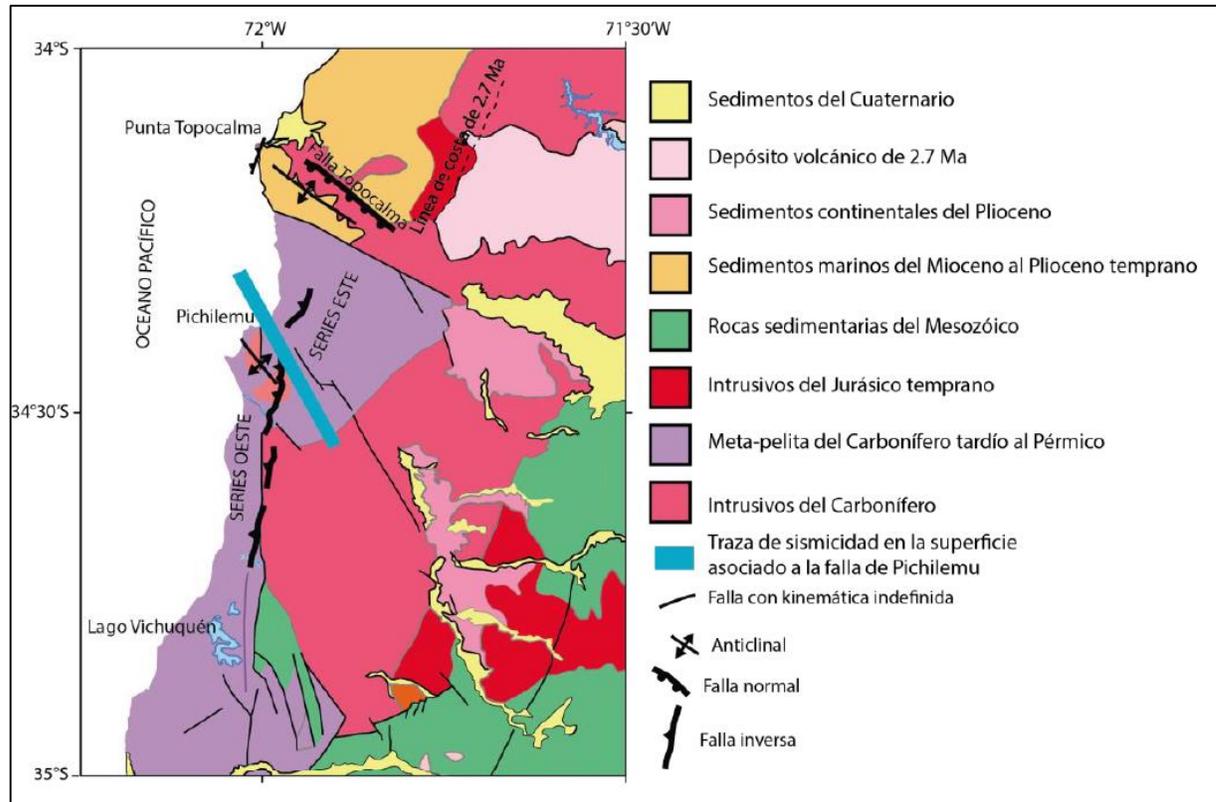


Fig. 3.7. Mapa geológico de la zona de Pichilemu y sus alrededores. Figura extraída y modificada de Calle–Gardella (2018).

Previo al evento sísmico del Maule en 2010, la existencia de esta falla era desconocida, esto ya que no aparece en los mapas geológicos previos a ese año como, por ejemplo, en el mapa a escala 1:1000000 de Chile (SERNAGEOMIN, 2003). La primera representación de la Falla Topocalma junto a otras estructuras de las cercanías se da en un mapa de estructuras neotectónicas confeccionado por Farías y otros (2011), que se convierte en la base para futuras modificaciones/interpretaciones a medida que se obtiene mayor información con el pasar de los años.

La actividad neotectónica de esta estructura se evidencia bajo la forma de un rasgo linear regional, coincidente con la dirección de la traza de falla, provocado por la fuerte incisión sobre los sedimentos cuaternarios de la Cordillera de la Costa (Fig. 3.8) y que es aprovechado por el

cauce del Estero Quebrada Honda para la formación de un valle fluvial en la zona. Adicionalmente, Aron y otros (2012) mencionan la existencia de brechas de falla parcialmente cubiertas por vegetación al norte de la traza de falla, corroborando la presencia de una estructura de deformación activa en la zona.

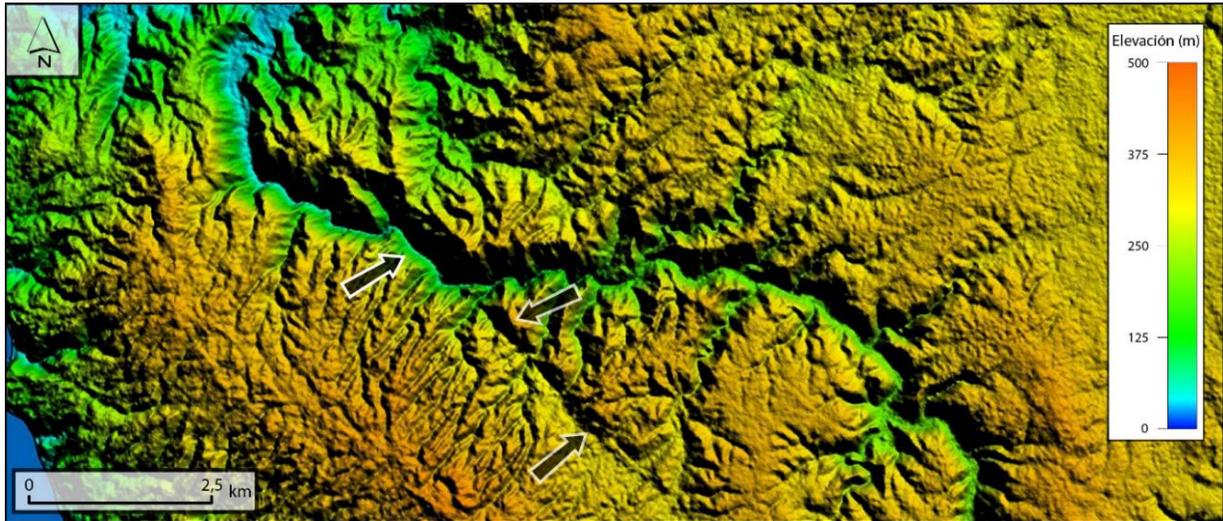


Fig. 3.8. Mapa de elevación digital de las cercanías de la localidad de Topocalma. Las flechas señalan la extensión e impacto de la Falla Topocalma en la Cordillera de la Costa. Elaboración propia.

Evidencias adicionales, pero a escalas más locales, se registran entre las localidades de Navidad y Punta Topocalma las que incluyen pliegues sinsedimentarios en rocas de la Formación Navidad (Lavenu & Encinas, 2005), algunas unidades miocenas desplazadas por fallas normales y estratos del Miembro Navidad (Mioceno – Plioceno) desplazados y localmente verticalizados por acción de fallas normales reactivadas y orientadas en dirección N – S, potencialmente atribuidas a ramificaciones de la Falla Topocalma (*e.g.*, Maldonado y otros, 2021). De este último grupo, en la localidad de Punta Topocalma se dispone una estructura que pone en contacto rocas cenozoicas con granodioritas del Basamento Paleozoico, dando la impresión de una falla normal vista en imágenes satelitales (Fig. 3.9), aunque Lavenu & Encinas (2005) reportan evidencias que sustentan una cinemática inversa producto de esfuerzos compresivos desencadenados en el área a finales del Plioceno.

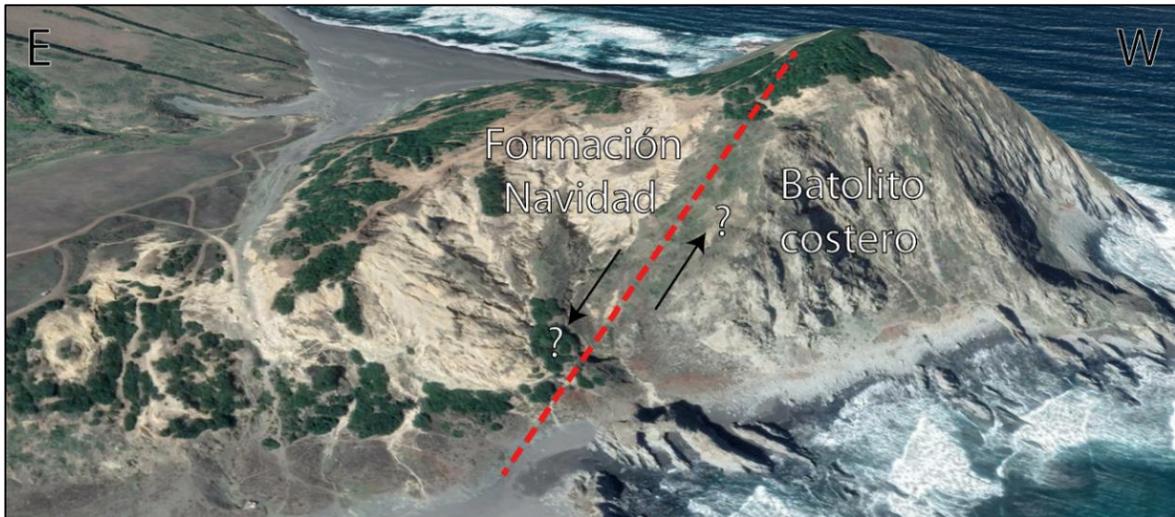


Fig. 3.9. Disposición de unidades geológicas en el sector de Punta Topocalma. La línea segmentada de color rojo correspondería a la traza de la falla que pone en contacto dichas unidades.

3.1.3. Falla Pichilemu

Un poco más al sur, cerca de la localidad de Pichilemu (Fig. 3.1) en la Cordillera de la Costa de la Región de O'Higgins, una estructura oblicua al margen de subducción (*e.g.*, Calle–Gardella, 2018, 2021), denominada Falla de Pichilemu, afecta rocas costeras y metapelitas del Complejo Metamórfico Pichilemu (Fig. 3.7). De cinemática normal y manteo en sentido SW, no es apreciable fácilmente en superficie por la presencia de vegetación y suelo alterado (Farías y otros, 2011) aunque con datos sísmicos se han reconocido dos trazas sintéticas, probablemente conectadas en profundidad (Ryder y otros, 2012). Aron y otros (2015a) mencionan que cerca de la traza principal y, a ambos lados de esta, se aprecia un juego de fallas normales antitéticas subsidiarias a la estructura principal.

Su primera representación se encuentra en el mapa de estructuras neotectónicas llevado a cabo por Aron y otros (2012), debido al creciente interés geológico tras la ocurrencia de varios sismos corticales, los primeros de esta clase en la zona, gatillados por el terremoto del Maule en el año 2010 (Calle–Gardella, 2018; Melnick y otros, 2019; Maldonado, 2020). En la actualidad es considerada una estructura activa debido a reportes de actividad sísmica menor a lo largo de la expresión superficial de la Falla Pichilemu, así como en sus alrededores y al noreste de la localidad de Vichuquén (Calle–Gardella, 2018).

La actividad neotectónica de esta estructura se infiere a partir de un juego de terrazas marinas, tanto al norte como al sur de la traza de falla, que poseen variaciones en su elevación

respecto al nivel del mar. Al norte de la traza de falla seis diferentes unidades sedimentarias conforman varias terrazas que alcanzan entre 50 y 170 m de elevación, cada una de ellas correspondiente a un ciclo de regresión marina, que se pueden asociar directamente a las etapas de isótopos marinos (MIS) 5e, 7, 9, 11, 15 y 19 según dataciones llevadas a cabo en los sedimentos marinos que las cubren (Jara–Muñoz y otros, 2020). En contraste, al sur de la traza de falla se reconocen solo cuatro unidades sedimentarias asociadas a las etapas 9, 11, 15 y 19, que alcanzan en promedio 100 m de elevación y se encuentran cubiertas parcialmente por sedimentos marinos y eólicos (Jara–Muñoz y otros, 2020). Tomando en consideración la diferencia en elevación del mismo juego de terrazas, la edad que se atribuye a los sedimentos de las mismas (MIS) y el hecho de que la plataforma de paleoabrasión para esta zona fuealzada durante el Neógeno (Encinas y otros, 2006 en Farías y otros, 2011), todo parece indicar una posible actividad de la falla durante el Cuaternario.

3.1.4. Falla El Yolki

La última estructura neotectónica del antearco incluida en esta sección se localiza al sur de la ciudad de Constitución, alrededor de los 35° de latitud (Fig. 3.1.) en la Cordillera de la Costa de la Región del Maule, afectando rocas del Basamento Metamórfico, areniscas silíceas pleistocenas y sedimentos de terrazas marinas (Melnick y otros, 2019). Conocida bajo el nombre de Falla El Yolki, es la única estructura del antearco de Chile central que posee, además de una cinemática normal, un desplazamiento sinestral en el rumbo, esto último basado en niveles de terrazas desplazados y cambios en el espesor de secuencias de arenas silíceas a lo largo de la traza de falla, aunque mantiene una orientación y sentido de manteo similar a aquella de la Falla Pichilemu más al norte (*e.g.*, Melnick y otros, 2019).

Con ayuda de imágenes LiDAR se ha podido identificar que la traza de falla en superficie consiste en varias series de estructuras *en echelon* dispuestas en dirección NW – SE que se ramifican, aparentemente, de otra estructura cortical de la zona denominada Falla Carranza (Fig. 3.10). Estas series alcanzan una extensión aproximada de 10 km en dirección a la costa hasta desaparecer en la planicie litoral, aunque se ha sugerido que la traza continúa en la plataforma continental (Melnick y otros, 2019).

Con apoyo de imágenes satelitales es posible confirmar la orientación de las fallas Carranza y El Yolki junto a la Falla Pelluhue (Fig. 3.11), las tres estructuras corticales de mayor importancia

asociadas a la zona de Constitución. Fueron reconocidas y mapeadas por primera vez tras un sondeo regional de terrazas marinas y fallas cuaternarias a lo largo del segmento de ruptura del terremoto del Maule del 2010 (Jara–Muñoz y otros, 2015), no obstante, no se reportan evidencias de deformación producto de la reactivación de la Falla El Yolki durante o posterior al terremoto del Maule en la región donde se localiza (Melnick y otros, 2019), por lo que no se puede determinar con certeza si es que en la actualidad puede o no desencadenar un evento de gran magnitud.

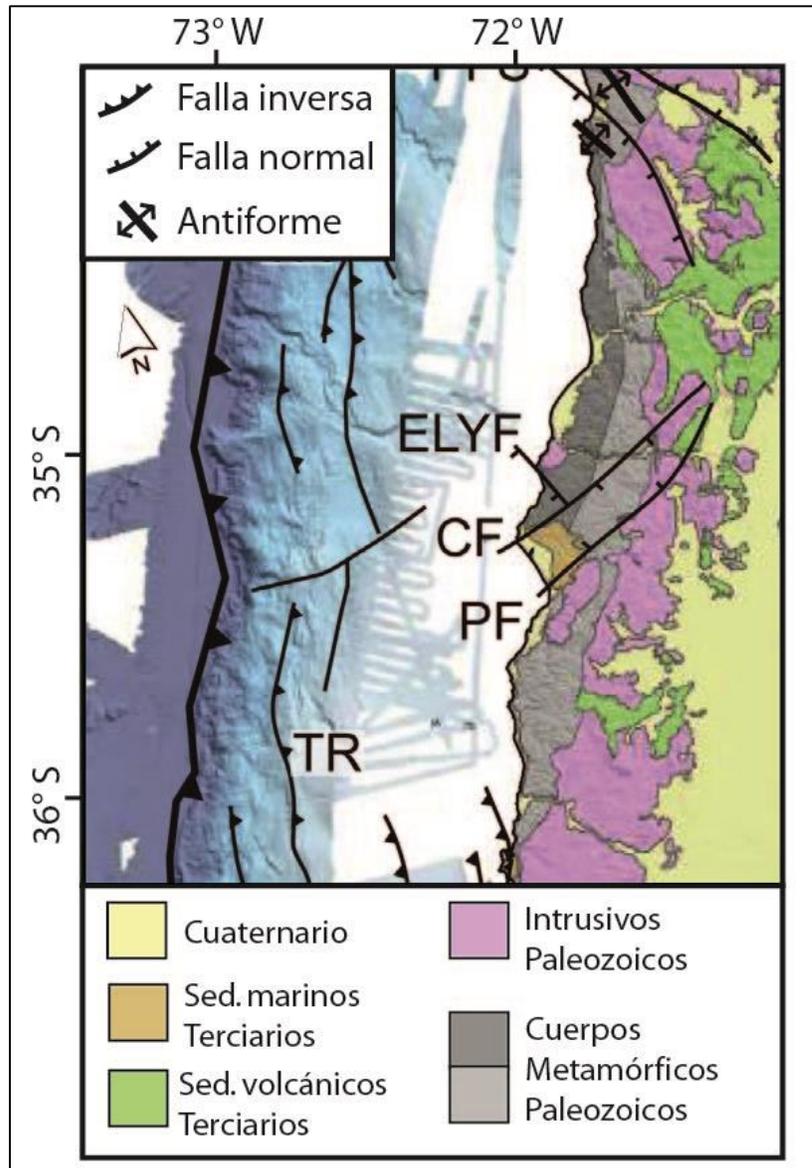


Fig. 3.10. Mapa geológico y estructural simplificado de la zona alrededor de Constitución. Las líneas representan estructuras corticales activas. Modificado de Jara–Muñoz y otros (2015). **TR:** Dorsal de empuje; **ELYF:** Falla El Yolki; **CF:** Falla Carranza; **PF:** Falla Pelluhue.

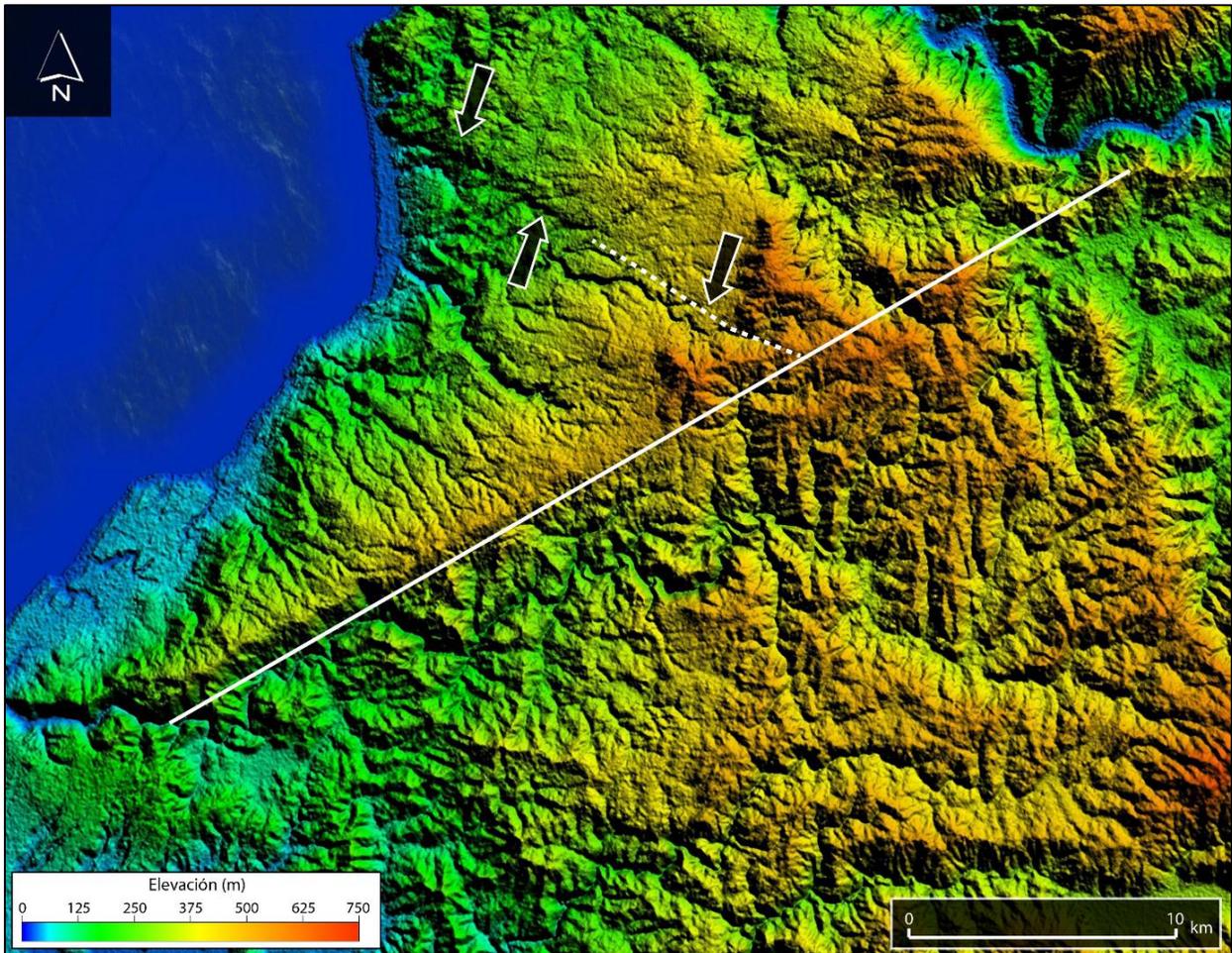


Fig. 3.11. Modelo de elevación digital para la localidad de El Yolki. Las flechas señalan la extensión de ruptura asociada a la Falla El Yolki. La línea continua representa la Falla Carranza de la cual se desprende la Falla El Yolki representando la ramificación a través de la línea segmentada.

La actividad neotectónica asociada a esta falla se evidencia en desplazamientos verticales de la planicie litoral holocena, durante el último periodo interglaciario, permitiendo el desarrollo de terrazas marinas (Jara–Muñoz y otros, 2015; Melnick y otros, 2019) cuyos sedimentos pueden ser correlacionados con la etapa de isótopos marinos 5 (MIS5) (Melnick y otros, 2019). Dichas terrazas, de una manera análoga a aquellas presentes para la Falla Pichilemu, se alcanzan con menores elevaciones al sur de la traza de falla, sugiriendo actividad normal de la estructura durante el Cuaternario. Adicionalmente, la planicie litoral que separa las terrazas del mar disminuye su extensión hacia el norte de la traza de falla producto del acercamiento de las mismas a la costa, lo que permite sugerir el comportamiento sinistral anteriormente mencionado. En búsqueda de más evidencias de deformación holocena en los alrededores de la falla, se realizaron pozos de exploración y trincheras en zonas de transición entre depósitos costeros y las terrazas marinas,

encontrándose sedimentos intermareales y supramareales de la planicie litoral datados en ~ 4.0 ka en la trinchera principal. Estos preservan una secuencia de cinco escarpes de falla erosivos formados por cambios discretos en el nivel relativo del mar asociado, posiblemente, a un levantamiento cosísmico producto de varios sismos corticales a lo largo de esta estructura durante el Holoceno (Melnick y otros, 2019).

3.1.5. Falla El Arrayán

A los 33° de latitud, en las cercanías del Orógeno Andino, en el sector nororiental de la Región Metropolitana (Fig. 3.1), una estructura cortical sinistral–inversa junto a pequeñas ramificaciones, bajo la forma de estructuras *en echelon* discontinuas producto de la urbanización, deforman rocas de la Formación Abanico (Eoceno – Mioceno) y depósitos cuaternarios específicamente dentro de la comuna de Lo Barnechea (Araya, 2020; Araya y otros, 2021). Denominada bajo el nombre de “Falla El Arrayán”, se extiende en superficie por aproximadamente 13 km en dirección WNW – ESE, manteando en sentido NNE con alto ángulo ($\sim 77^\circ$), características que junto a su posición, geometría y cinemática se pueden asociar al Cabalgamiento Andino Occidental (WATS), el sistema tectónico de mayor importancia a escala regional en esta latitud (Araya y otros, 2021).

Si bien se han estudiado fallas de la Cordillera Principal en los alrededores de Santiago, especialmente en el sector oriental por el peligro sísmico que estas representan, la Falla El Arrayán no está presente en la hoja Santiago (Thiele, 1978), en el mapa geológico de Chile escala 1:1000000 (SERNAGEOMIN, 2003) ni es mencionada en otros trabajos que mencionan al WATS. Fue descubierta y mapeada recientemente por un equipo geológico de investigación que buscaba determinar potenciales fallas activas en el sector urbano de Santiago, objetivo que fue cumplido tras observar planos de falla en el sector del Arrayán dentro de la comuna de Lo Barnechea (Araya y otros, 2021).

El mejor ejemplo de actividad neotectónica para esta falla se evidencia en planos y rocas de falla (cataclasitas, brechas y salbanda de falla) presentes en el vecindario El Arrayán, cercano al arroyo del mismo nombre, donde afloran rocas de la Formación Abanico. Dichas rocas constituyen el núcleo de la estructura con abundante salbanda de falla en planos de deslizamientos y cataclasitas cerca de la traza principal que presentan ligeras desviaciones verticales producto de fallas inversas pequeñas que mantean en sentido NE. En otros puntos de la comuna de Lo

Barnechea se repiten estas rocas de fallas, afectando rocas volcánicas de la Formación Abanico con ligeras variaciones en los planos de falla producto de la urbanización. Otras evidencias que sugieren actividad neotectónica de esta estructura, se infieren a partir de cambios en la geomorfología del sector El Arrayán: ríos desviados, escarpes de fallas, valles alineados y estructuras desplazadas, todas evidencias de configuración geomorfológica durante el Cuaternario tardío y que coinciden, o más bien, se disponen en la misma orientación que el plano principal de esta estructura (Araya y otros, 2021). Adicionalmente, se han reportado deslizamientos en masa cerca del plano principal lo que sugiere actividad contemporánea de esta falla. Considerando su mecanismo, la extensión superficial y comparando con eventos tectónicos desencadenados por estructuras de similares características, el potencial sísmico de esta estructura no es despreciable, habiéndose estimado un evento sísmico de al menos Mw 6.4 (Araya y otros, 2021).

3.1.6. Falla San Ramón

Siguiendo a los pies de la Cordillera Principal, aunque algo más al sur, una estructura paralela al margen continental recorre una parte importante del sector oriental de un grupo de comunas de la ciudad de Santiago (La Reina, Peñalolén y La Florida), acomodando gran parte de la deformación compresiva de este sector de Los Andes (Armijo y otros, 2010; Vargas y otros, 2014; Estay y otros, 2016; Araya y otros, 2021). Denominada bajo el nombre de “Falla San Ramón”, debido a que la traza de falla aflora a los pies del Cerro San Ramón, se extiende en superficie por aproximadamente 35 kilómetros en dirección N – S a NNW – SSE cortando las rocas de la Formación Abanico (Eoceno – Mioceno), Formación Farellones (Mioceno) y los depósitos cuaternarios entre los ríos Mapocho y Maipo (Fig. 3.12a). En profundidad se extiende por aproximadamente 15 km con un elevado ángulo de manteo ($\sim 65^\circ$) en sentido SE (Armijo y otros, 2010).

Varios estudios estructurales se han llevado a cabo en esta falla, definiendo un mecanismo inverso y vergencia al oeste para la misma, lo que ha llevado a algunos autores a considerarla como la expresión más occidental del Cabalgamiento Andino Occidental (WATS), (*e.g.*, Rauld y otros, 2006; Vargas & Rebolledo, 2012; Riesner y otros, 2017). También ha sido el foco de estudio de diversas publicaciones y artículos, principalmente de peligros sísmicos (*e.g.*, Pérez y otros, 2014; Estay y otros, 2016), debido a su ubicación respecto al área urbana, geometría y cinemática (Armijo

y otros, 2010), aunque también ha sido protagonista de estudios paleosismológicos (*e.g.*, Vargas y otros, 2014) y cinemáticos (*e.g.*, Riesner y otros, 2017; Riesner y otros, 2018).

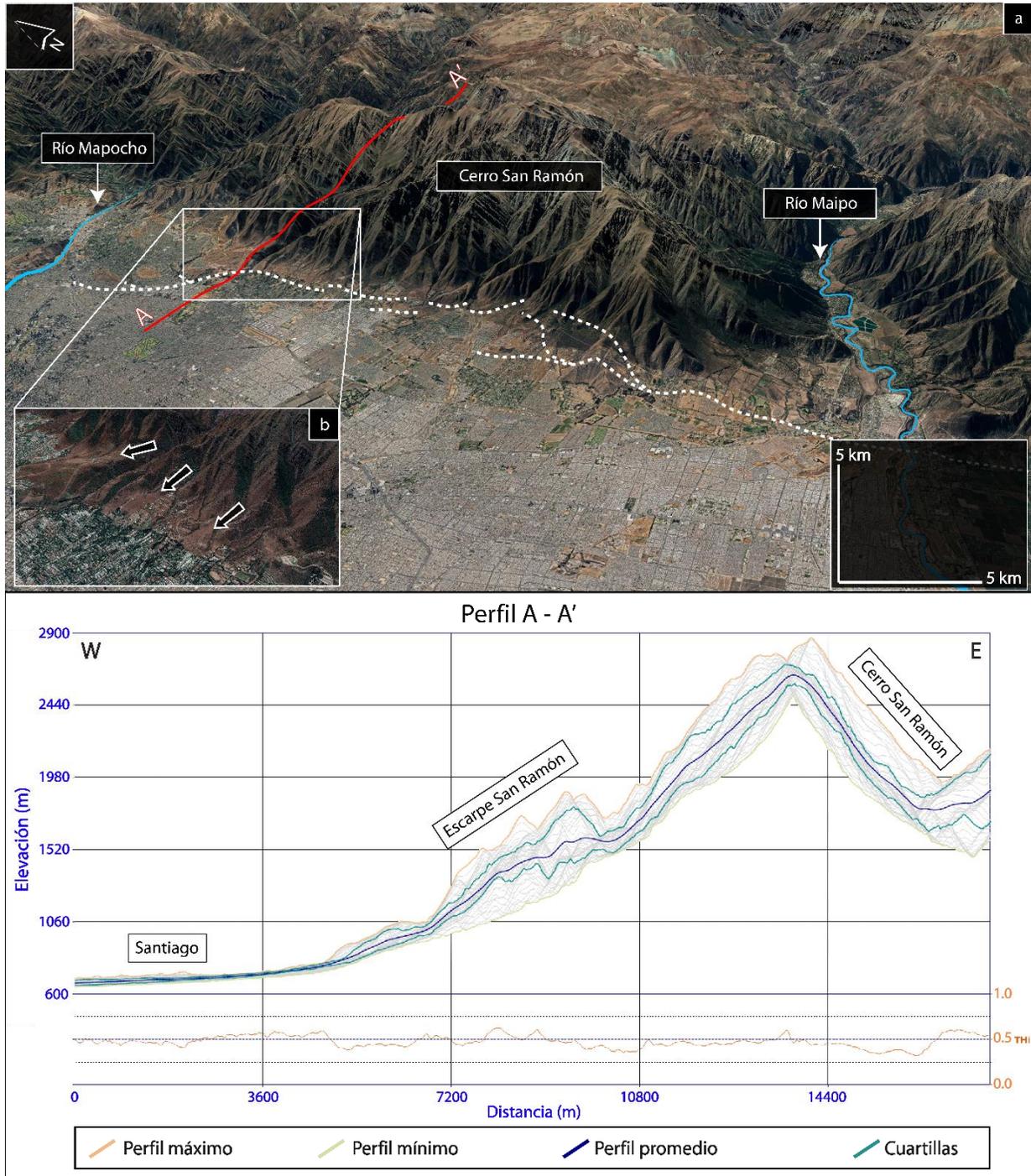


Fig. 3.12. Vista inclinada del escarpe San Ramón. (a) Vista en Google Earth del contraste en relieve entre el Cerro San Ramón y la ciudad de Santiago. La línea segmentada corresponde a la traza propuesta para la Falla San Ramón (Maldonado y otros, 2021). El perfil Swath que acompaña al modelo de imagen satelital se ha confeccionado utilizando el *software* Swath Profiler de Pérez-Peña y otros (2017). (b) Depósitos aluviales provenientes de la actividad contemporánea de la Falla San Ramón.

Se le ha calculado una tasa de deslizamiento con valores que varían entre 0.1 hasta 0.5 mm/año (*e.g.*, Armijo y otros, 2010; Riesner y otros, 2017; Riesner y otros, 2018; Sepúlveda, 2019) en función de relieves pleistocenos y holocenos desplazados por esta estructura confirmando su actividad en el pasado. Estay y otros (2016) documentan que la falla es sísmicamente activa en la actualidad, corroborado por un estudio sísmico mediante el cual identificaron alrededor de 5 sismos naturales, en profundidad, a lo largo de esta estructura en un lapso correspondiente a un año. Adicionalmente, se ha reportado evidencia geofísica y geomorfológica que sugiere segmentación en profundidad de la estructura principal (Estay y otros, 2016). En función de lo anterior, análisis topográficos en escarpes jóvenes estiman un evento sísmico de hasta Mw 7.5 a lo largo de esta estructura (Armijo y otros, 2010; Vargas y otros, 2014).

La evidencia más clara de la actividad neotectónica de esta falla se aprecia en la base de su prominente escarpe mediante la aparición de depósitos aluviales (Fig. 3.12b), provocados por el alzamiento de la Cordillera Principal respecto del Valle Central, separando sedimentos cuaternarios sobre los cuales está construida la ciudad de Santiago y las rocas alzadas de la Formación Abanico. Asociado al levantamiento de la Cordillera, en el frente de montaña y piedemonte se han reportado plegamientos a gran escala en las rocas de las formaciones Abanico y Farellones que se explican por un modelo de fajas corridas y plegadas, controladas por una serie de fallas inversas en profundidad asociadas a la Falla San Ramón (*e.g.*, Armijo y otros, 2010; Riesner y otros, 2017). Otra evidencia de actividad cuaternaria se encuentra respaldada por un estudio paleosismológico en una trinchera (Fig. 3.13) cerca de la Quebrada de Macul (Vargas y otros, 2014), junto a estudios cinemáticos que dan señales de acortamiento y alzamiento cortical desde los 25 Ma (*e.g.*, Armijo y otros, 2010; Riesner y otros, 2017; Yáñez y otros, 2020) en escarpes que afectan abanicos aluviales pleistocenos y holocenos de la Cordillera Principal, terrazas aluviales del río Maipo (*e.g.*, Rauld y otros, 2006; Cembrano y otros, 2007; Pérez y otros, 2014) y un escarpe de piedemonte en el Cerro Calán (Armijo y otros, 2010).

El frente de acortamiento y alzamiento cortical ha quedado grabado en varias de las secuencias cenozoicas y ha favorecido la evolución geomorfológica del sector, controlando la migración de cuerpos de agua y su efecto sobre la superficie a lo largo de los años, provocando incisión y construcción de cañones profundos que en la actualidad se pueden observar tras el Cerro

San Ramón y rodeando al Plateau Farellones, este último situado al este del escarpe San Ramón (Armijo y otros, 2010).

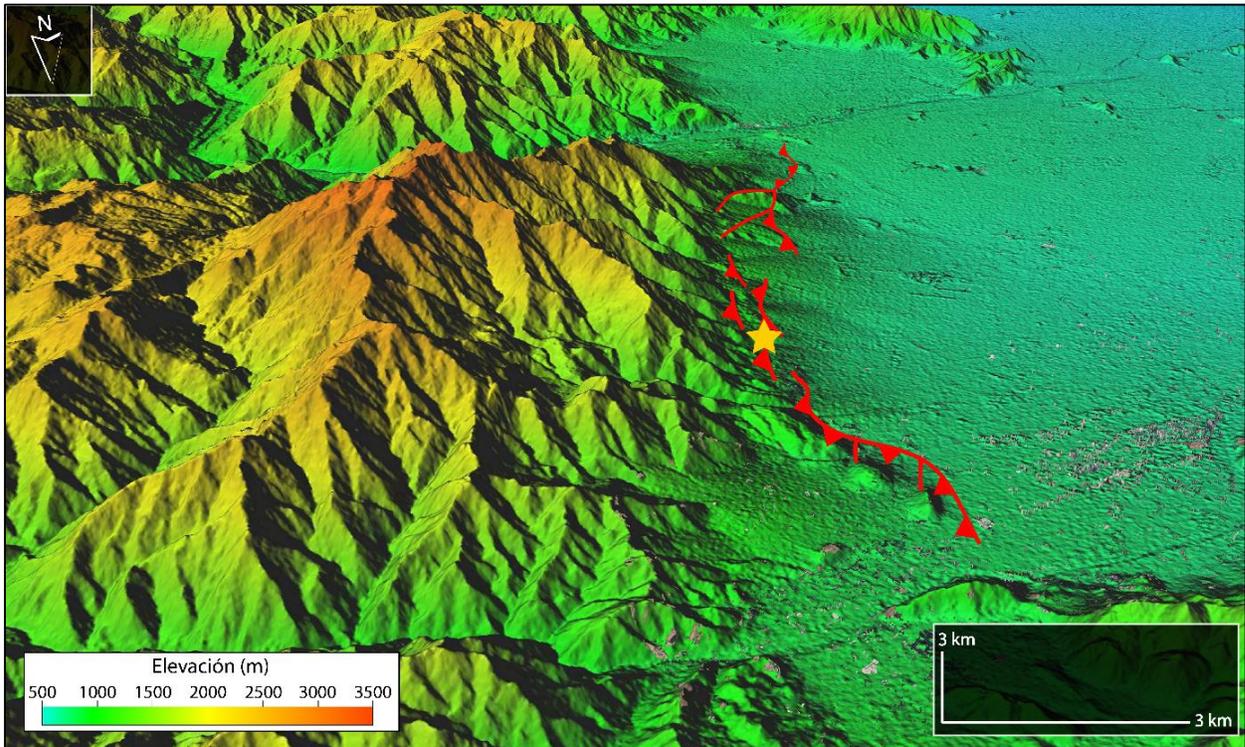


Fig. 3.13. Modelo de elevación digital del escarpe San Ramón. Los segmentos en color rojo representan la traza de Falla San Ramón (Maldonado y otros, 2021). La estrella indica la posición de la trinchera paleosismológica (Vargas y otros, 2014).

3.1.7. Falla Mesamávida

En las cercanías de la localidad de Mesamávida, alrededor de los 36° de latitud (Fig. 3.1), se localiza una estructura cortical de mecanismo inverso y vergencia al oeste que afecta a depósitos fluvio–aluviales semiconsolidados pleistocenos de la Formación La Montaña (Vega, 2021). Denominada bajo el nombre de “Falla Mesamávida”, por la cercanía a la localidad homónima en el Valle Central (Fig. 3.14), la expresión superficial de esta falla corresponde a la de una estructura curva (Vega, 2021) producto de un cambio en la dirección del rumbo: el segmento principal posee una extensión de aproximadamente 12 km en dirección NE – SW, desde el sector de Lomas de Polcura hasta el valle del Río Ancoa, y está asociado directamente al desarrollo del escarpe Mesamávida, en contraste al segmento secundario que posee una extensión aproximada de 13 km en orientación N – S desde el sector Lomas de Polcura y no se involucra con el desarrollo de dicho escarpe ni otra estructura del relieve (*e.g.*, Maldonado y otros, 2021).

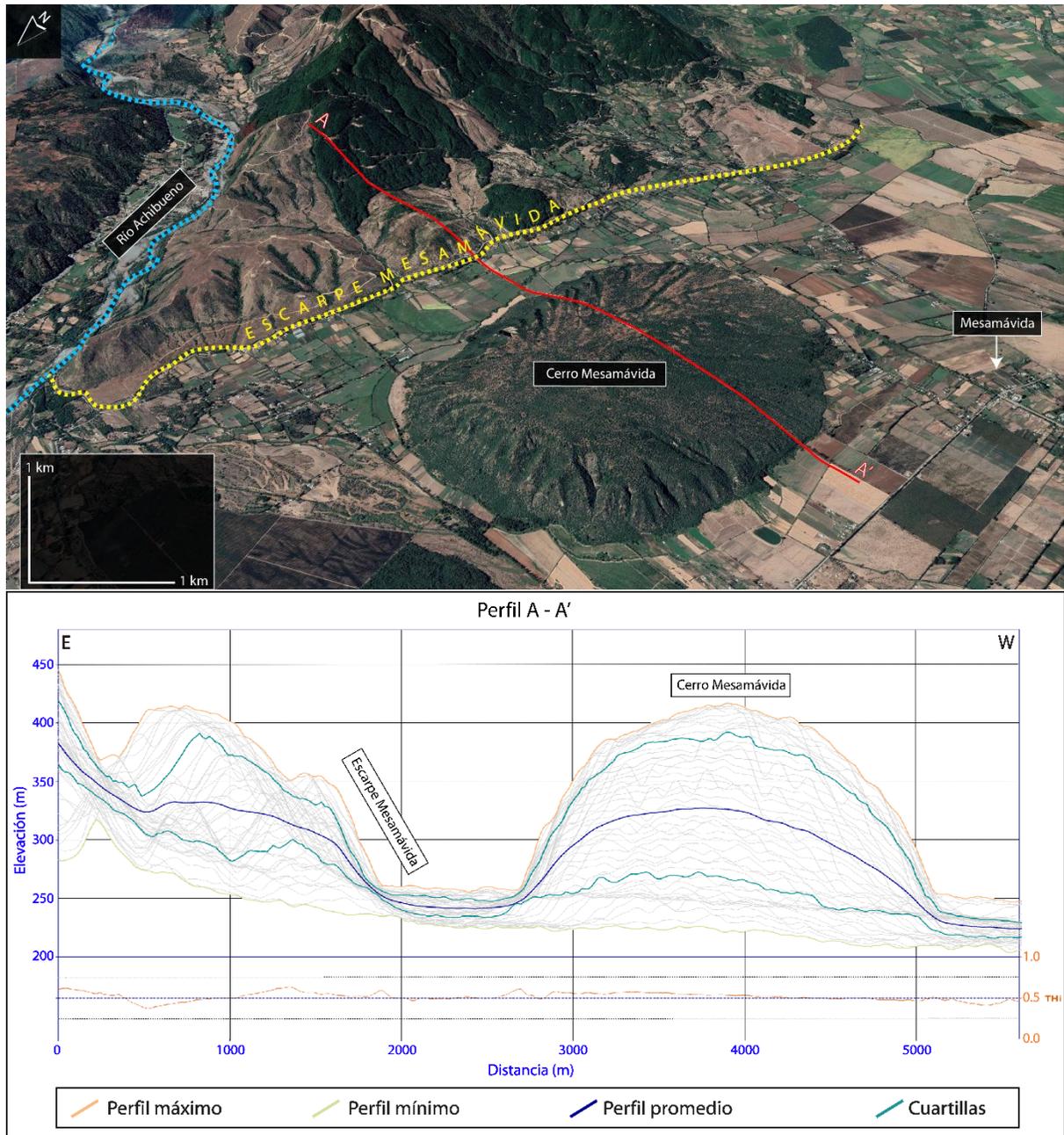


Fig. 3.14. Vista inclinada del escarpe Mesamávida. Vista en Google Earth de la expresión natural del escarpe Mesamávida. El perfil Swath que acompaña la vista natural se ha confeccionado utilizando el *software* Swath Profiler de Pérez-Peña y otros (2017).

La falla posee bajos ángulos de manto en sentido SE, aunque pueden existir manteos anómalos que superan los 45° (Sepúlveda, 2019, Maldonado y otros, 2021). Debido a su posición respecto de las unidades morfoestructurales anteriormente mencionadas, algunos autores consideran que representa actividad local del WATS en la Región del Maule (Sepúlveda, 2019; Maldonado y otros, 2021).

En publicaciones de años anteriores, especialmente la carta geológica Laguna del Maule (Muñoz & Niemeyer, 1984) y el mapa geológico de Chile a escala 1:1000000 (SERNAGEOMIN, 2003), no se mencionan ni observan estructuras en las cercanías de la localidad de Mesamávida. La Falla Mesamávida fue identificada y mapeada recientemente como un método para así explicar el desarrollo del escarpe del mismo nombre (*e.g.*, Sepúlveda, 2019).

Estudios recientes demuestran que es una estructura activa con evidencias de sismicidad y microsismicidad en los niveles más someros de la corteza (Riedel, 2021) y en lo que respecta a posible actividad en el pasado, estudios paleosismológicos demuestran que tuvo actividad durante el Holoceno (Vega, 2021). Al combinar estos estudios con ecuaciones empíricas que relacionan paleomagnitudes con rasgos particulares de la estructura, se sugiere que esta falla es capaz de provocar sismos de magnitud sobre Mw 6, con un máximo de Mw ~6.7 (Sepúlveda, 2019), asumiendo que posee tasas de deformación similares a aquellas de la Falla San Ramón, puesto que hoy en día se desconocen (Sepúlveda, 2019).

Actividad neotectónica asociada a esta falla se acota al límite entre el Valle Central y la Cordillera Principal en el anteriormente mencionado escarpe Mesamávida, un escarpe métrico que se extiende por aproximadamente 8 km paralelo al frente de montaña (Sepúlveda, 2019; Maldonado, 2020), formado producto de paleosismos de magnitud Mw ~6.5 (Vega, 2021). Trincheras paleosismológicas situadas perpendiculares al escarpe (Fig. 3.15) confirman actividad a lo largo de esta estructura durante el Holoceno: la existencia de varias fallas inversas secundarias, con vergencia al oeste y ángulos de manto que varían desde ~ 20° hasta ~56° en sentido SE (Sepúlveda, 2019; Vega, 2021), deforman los sedimentos entre el centro de las trincheras hasta el bloque colgante de la falla, desplazando verticalmente la estratigrafía, formando una matriz de clastos fracturados cercanos a las trazas y plegando aquellos sedimentos no consolidados (Vega, 2021). Otro ejemplo de actividad reciente incluye la configuración de las redes de drenaje situadas al este del Escarpe Mesamávida, donde Sepúlveda (2019) ha reconocido anomalías topográficas en cuencas hidrográficas que forman lineamientos concordantes con la orientación de la falla en superficie, lo que combinado con otros factores morfofométricos indican un control tectónico de las mismas.

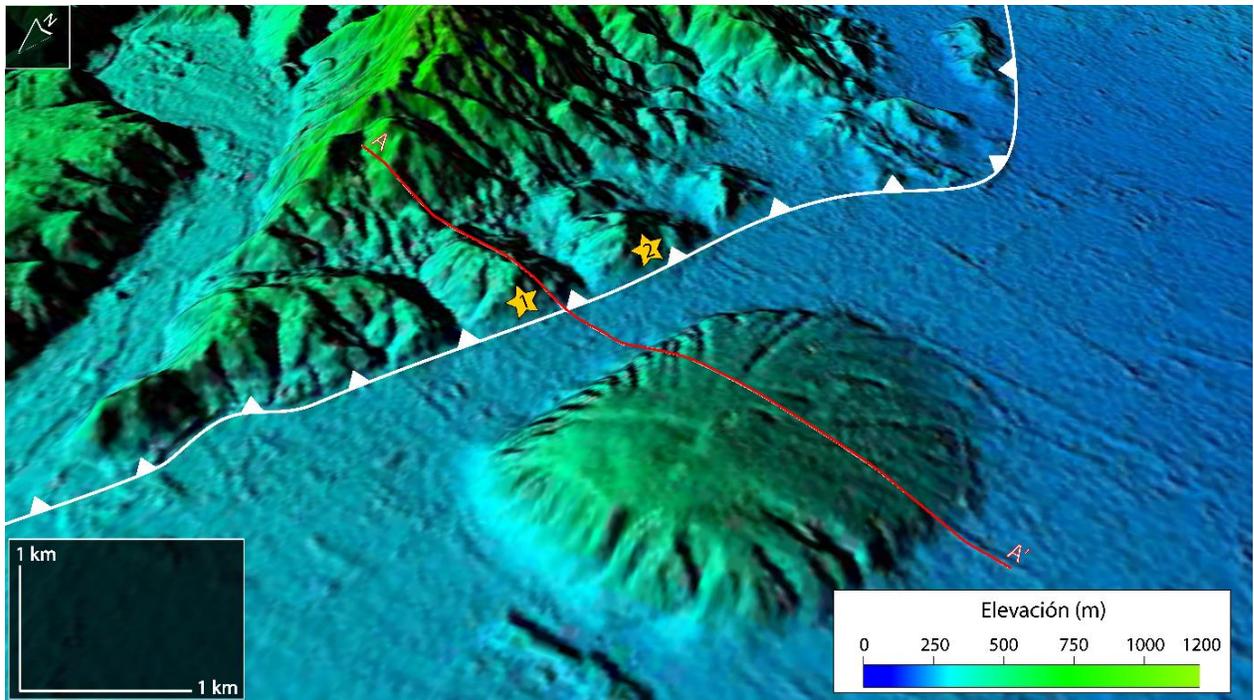


Fig. 3.15. Modelo de elevación digital de la vista inclinada del escarpe Mesamávida. El segmento de color blanco representa la traza de la Falla San Ramón (Maldonado y otros, 2021). Los símbolos de estrella señalan la posición de las trincheras paleosismológicas (1: Vega, 2021; 2: Sepúlveda, 2019).

3.2. CHILE CENTRO – SUR (36.2° – 38.3° S)

Para esta zona geográfica, las evidencias están presentes tanto en el antearco como en la Cordillera Principal, al interior de las mismas (Fig. 3.16). La actividad neotectónica no se limita solamente a evidencias visibles en superficie, sino que además existen registros que documentan deformación asociada a fallas normales en los sedimentos del fondo de grandes cuerpos de agua (*e.g.*, Melnick y otros, 2003) y del fondo marino (*e.g.*, Melnick y otros, 2012). Para el caso de las evidencias en superficie, en el antearco exterior, las estructuras que les dan origen se disponen mayoritariamente en dirección NW – SE con ligeras variaciones, bajo un comportamiento inverso y, en algunos casos, con movimiento transcurrente lo que afecta a rocas de formaciones cenozoicas y del Basamento Metamórfico, siendo este último caso exclusivo de una estructura reportada entre la Cordillera de la Costa y el Valle Central (*e.g.*, SERNAGEOMIN, 2003; Melnick y otros, 2009). Para el sector cordillerano, las estructuras presentes corresponden a fallas normales que afectan rocas de formaciones oligo–miocenas y canalizan cuerpos de agua importantes. No obstante, aproximadamente a los 38° S y hacia el sur de este, las fallas normales son reemplazadas paulatinamente por fallas de rumbo con una distribución más irregular.

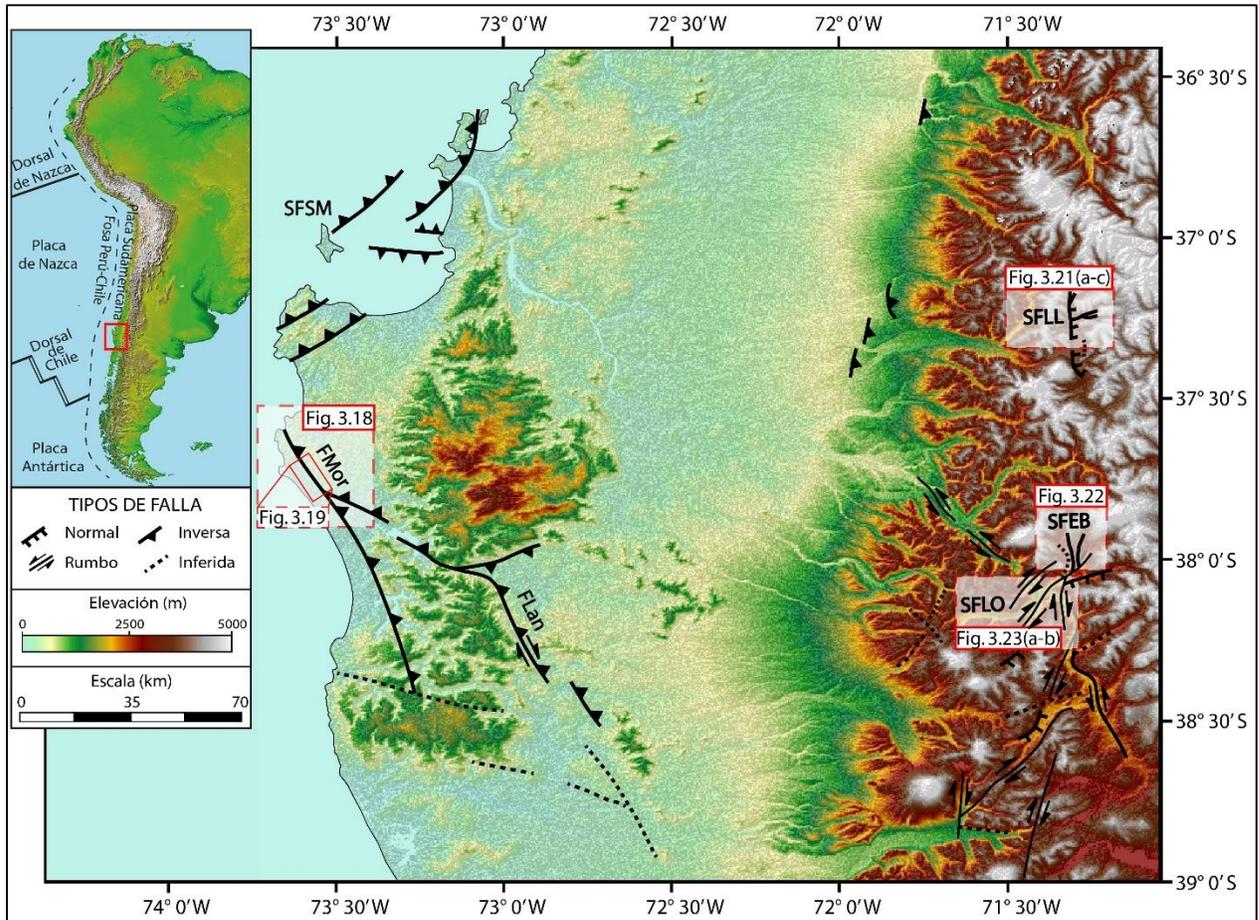


Fig. 3.16. Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile centro – sur. El mapa se ha confeccionado compilando información de fuentes tales como SERNAGEOMIN (2003), Melnick y otros (2006), (2009), (2012) y Maldonado y otros (2021). **SFMS**: Sistema de Fallas Santa María; **FMor**: Falla Morguilla; **FLan**: Falla Lanahue; **SFL**: Sistema de Fallas Lago Laja; **SFEB**: Sistema de Fallas El Barco; **SFLO**: Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui.

3.2.1. Sistema de Fallas Santa María

En el antearco de la Región del Biobío, alrededor de los 37° de latitud (Fig. 3.16), evidencias de deformación cuaternaria pueden ser encontradas en el Golfo de Arauco. Gracias a información proporcionada por perfiles de reflexión sísmica, batimetría y geodesia, se reconoce la acción de un sistema tectónico marino profundo denominado “Sistema de Falla Santa María” (SMFS), que afecta principalmente a los alrededores de la Isla Santa María (Fig. 3.17), además de las penínsulas de Arauco, Tumbes y Hualpén (Melnick y otros, 2003, 2012; Maldonado, 2020). En dichos perfiles se aprecia que, en los primeros 5 km de profundidad, esta estructura manifiesta una cinemática inversa y fallas subsidiarias, con orientación predominantemente NE – SW que controlan la depositación de unidades sedimentarias de edad Plioceno – Cuaternario y permiten el desarrollo de

pliegues por propagación de fallas (Melnick y otros, 2009, 2012). Por lo anterior, algunos autores definen este sistema como la expresión de una falla inversa ciega enraizada en el límite de subducción de placas Nazca–Sudamericana denominado “*splay* Santa María” (Fig. 3.17), por sobre la cual se desarrollaría un pliegue anticlinal de gran escala (Melnick y otros, 2012; Maldonado, 2020).

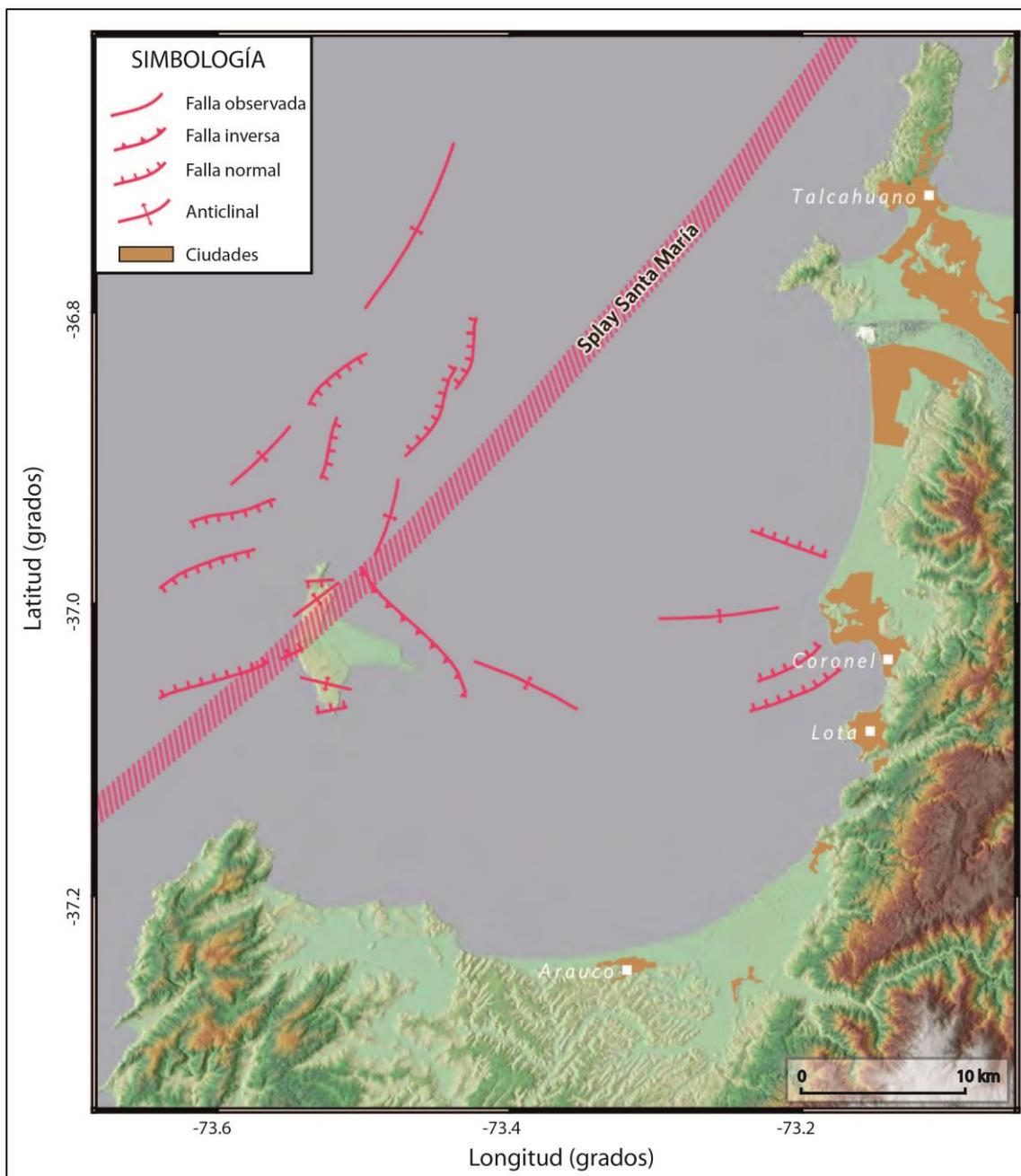


Fig. 3.17. Relieve sombreado del Golfo de Arauco y alrededores. Los diferentes trazos corresponden a fallas identificadas en el fondo marino. Modificado de Maldonado y otros (2020).

Para la mayoría de las fallas se asume que su expresión superficial es representativa de su geometría en profundidad (Maldonado, 2020), pero para el caso del SMFS (Fig. 3.16), cuya expresión superficial consiste en juegos de fallas normales que se registran exclusivamente en acantilados costeros de la Isla Santa María desde el año 2004 (Melnick y otros, 2012), las estructuras no coinciden con la información de los perfiles sísmicos, abriendo la posibilidad de una reactivación tectónica producto del sismo del Maule del año 2010. Evidencias que respaldan esta hipótesis incluyen observaciones de terreno junto a técnicas de teledetección (GPS, InSAR), demostrando que la Isla Santa María fue alzada aproximadamente 2 m en respuesta a deformación cosísmica, provocando una ligera inclinación de la isla hacia el norte, una separación horizontal de ~ 5 m respecto de la fosa y varias rupturas superficiales asociadas a una componente transcurrente del SMFS (Melnick y otros, 2012; Jara–Muñoz y otros, 2017; Maldonado, 2020). Expresiones adicionales de la actividad de dicho sismo incluyen deslizamientos de material en el acantilado costero de la isla y escape de fluidos hacia el Lagoon Pajonal, situado en la parte septentrional de la isla. En ambos casos la actividad es identificable al comparar imágenes satelitales de dichos sitios de años previos al sismo y posteriores a él (Melnick y otros, 2012).

Para el caso de la Península de Arauco, una zona elevada situada al oeste de la Cordillera de la Costa, su rápida y anómala tasa de alzamiento calculada en >1 mm/yr (Melnick y otros, 2009) estaría asociada al desarrollo de un pliegue antiformal de gran escala delimitado por estructuras corticales inversas de dirección NNE – SSW durante el Cuaternario (Melnick y otros, 2003, 2009; Jara–Muñoz y otros, 2017). Bosques densos y accesos restringidos limitan la cantidad de estudios estructurales en el área (Cembrano y otros, 2007), aunque se cuenta con un par de registros que mencionan estructuras al interior de la península que conservan evidencia de deformación extensional producto de fallas normales tras el Plioceno (Melnick y otros, 2005; Lavenu, 2006). Estas evidencias incluyen una cuenca mio–pliocena, delimitada por fallas normales de orientación NNE – SSW, que forman parte de una estructura de *graben* (Cembrano y otros, 2007) y un juego de terrazas marinas pleistocenas también presentes en los alrededores de la Península de Arauco y la Bahía de Arauco (*e.g.*, Cembrano y otros, 2007; Jara–Muñoz y otros, 2015; Jara–Muñoz y otros, 2017), denominadas colectivamente bajo el nombre de “Superficie Cañete” (Kaizuka y otros, 1973), que conservan rasgos lineales en dirección NNE – SSW apreciables a través de imágenes satelitales (Fig. 3.18).

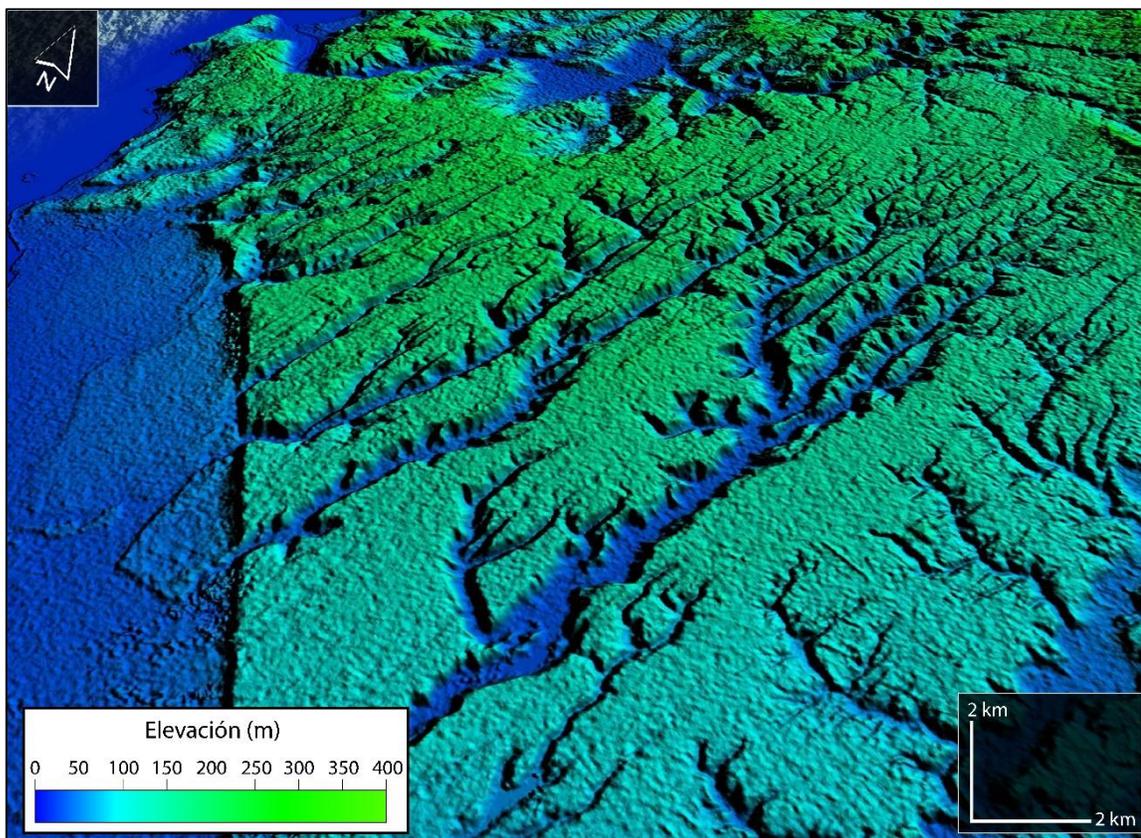


Fig. 3.18. Modelo de elevación digital de la terraza Cañete. Se puede apreciar como el relieve de la misma está cortada por rasgos lineares paralelos entre sí.

3.2.2. Falla Morguilla

Un poco más al sur se encuentra una estructura cortical que recorre la Cordillera de la Costa, de manera paralela al margen, en las cercanías de la localidad de Lebu. Está orientada en dirección NW – SE y afecta al mismo juego de terrazas mencionada en la sección anterior, generando una separación entre estas y los sedimentos que conforman la planicie litoral actual (*e.g.*, SERNAGEOMIN, 2003). Denominada bajo el nombre de Falla Morguilla, se extiende desde la parte meridional de la Península de Arauco hacia el sur, siguiendo la morfología de la planicie litoral hasta desaparecer tras el Lago Lleulleu, uno de los dos grandes cuerpos de agua presentes en la Cordillera de la Costa a esta latitud, al entrar en contacto con otra estructura cortical oblicua al margen continental (Melnick y otros, 2009). No hay suficiente evidencia de campo que permita verificar la cinemática de esta estructura, aunque Melnick y otros (2009) la definen como una falla inversa con manteo en sentido NE en función de la edad y disposición de terrazas marinas deformadas, mecanismos focales y líneas sísmicas de reflexión.

Se cree que es una de varias estructuras profundas asociadas a un mismo *cluster* de sismicidad cortical que controla el alzamiento y plegamiento de la parte inferior de la Península de Arauco (Melnick y otros, 2009). A su vez, es la estructura que da origen al denominado Escarpe Morguilla (Fig. 3.19), la expresión superficial de la falla, un rasgo cortical de aproximadamente 150 m de altura situado directamente al sur de la comuna de Lebu y que separa los sedimentos del techo de la Formación Cañete (Pleistoceno) de aquellos que conforman la planicie litoral actual.

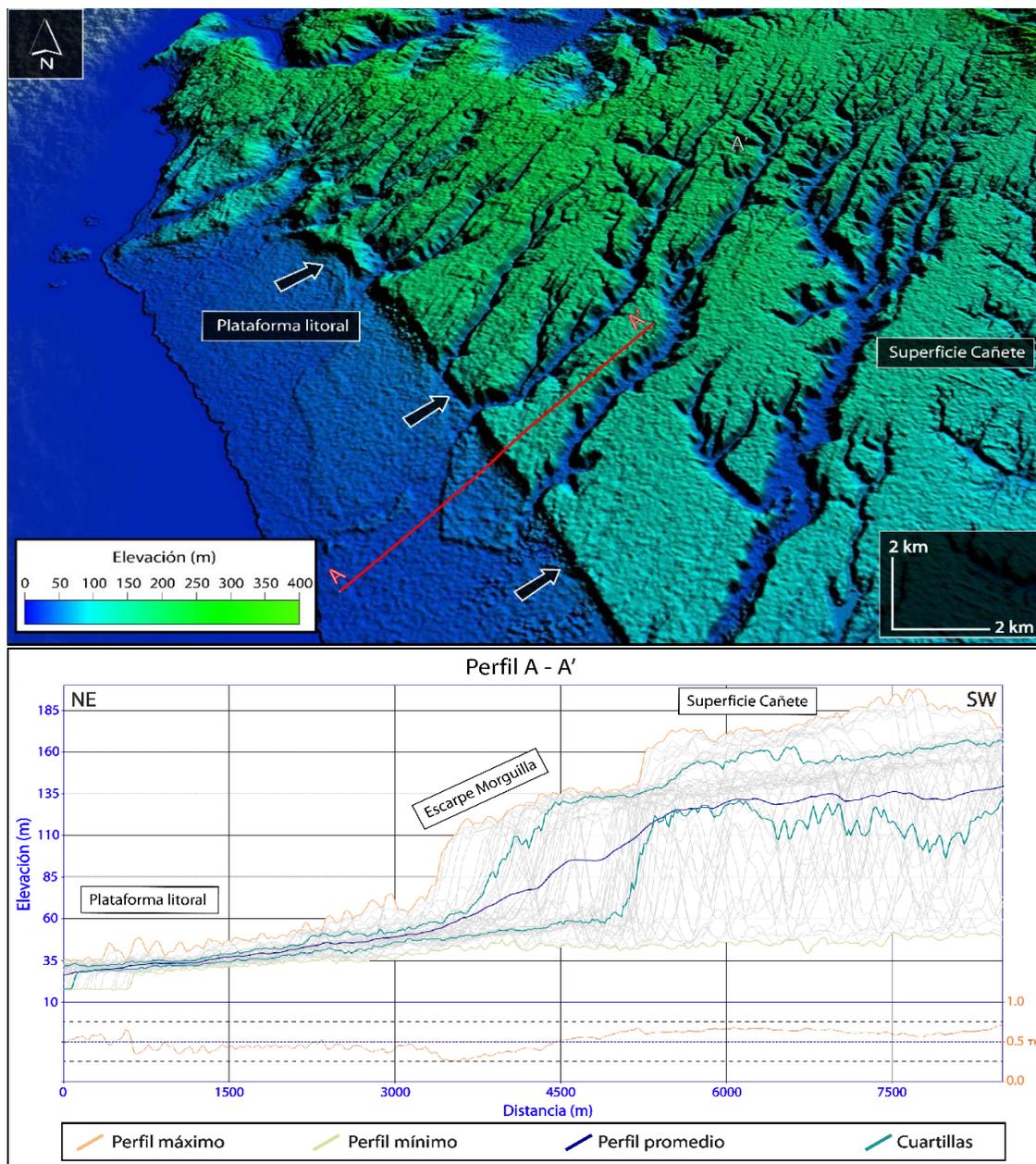


Fig. 3.19. Modelo de elevación digital de la traza de la Falla Morguilla. Las flechas señalan la posición del escarpe Morguilla. El perfil Swath que acompaña al modelo de imagen satelital se ha confeccionado utilizando el *software* Swath Profiler de Pérez-Peña y otros (2017).

El escarpe ha sido afectado por erosión costera y cubierto por sedimentos eólicos recientes, razón por la cual desaparece hacia el sur donde los depósitos eólicos, más concretamente los campos de dunas, se vuelven abundantes (Melnick y otros, 2009; Stefer, 2010). En los últimos años se ha reportado sismicidad cortical poco profunda a lo largo de la traza de falla expuesta y en segmentos cubiertos por los campos de dunas, por lo que se puede considerar una estructura activa capaz de acomodar deformación (Melnick y otros, 2009).

3.2.3. Falla Lanalhue

Otra estructura cortical de la zona corresponde a la Falla Lanalhue, que recorre el flanco meridional de la Cordillera de Nahuelbuta (Melnick y otros, 2009) desde el sur hacia la costa, dando origen al Lago Lanalhue en el proceso y separando las rocas de los dos cinturones metamórficos, Serie Occidental y Serie Oriental, hacia el interior de la Cordillera de la Costa (*e.g.*, Glodny y otros, 2008). En imágenes satelitales es apreciable bajo la forma de un lineamiento regional con la misma orientación y sentido de manteo que la Falla Morguilla, interceptando a esta última en las cercanías del escarpe homónimo al oeste del Lago Lanalhue, donde varios cuerpos pequeños de agua se encuentran alineados con la traza de falla (Melnick & Echtler, 2006). La cinemática inferida de esta estructura se considera transcurrente dextral, debido a que surge de una ramificación de la Falla Liquiñe–Ofqui más al sur (*e.g.*, Stefer, 2010); no obstante, tasas de alzamiento calculadas para el Lago Lanalhue permiten inferir que también posee una cinemática inversa, al menos, en las cercanías del mismo (Stefer, 2010).

Actividad neotectónica para esta estructura es reportada por Glodny y otros (2008), según los cuales representa un control tectónico en el patrón sedimentario Cuaternario de pequeñas cuencas miocenas al sur de la Península de Arauco. Melnick y otros (2009) añaden que en la transición entre la Cordillera de la Costa y el Valle Central, en las cercanías de la ciudad de Galvarino, esta estructura desplaza terrazas aluviales y fluviales de la Formación Malleco (Plioceno – Pleistoceno), aunque en la actualidad con el grado de vegetación e intervención antrópica del sector no es posible corroborarlo. También se cuenta con reportes de sismicidad cortical a lo largo de la traza de falla entre 1 y 22 km de profundidad por lo que en la actualidad se puede considerar una estructura activa (Melnick y otros, 2009).

3.2.4. Sistema de Fallas Lago Laja

Al interior de la Cordillera Principal alrededor de los 37° de latitud (Fig. 3.16), específicamente en las cercanías del Volcán Antuco y el Lago Laja, observaciones en terreno, batimetría y perfiles sísmicos llevados a cabo en el fondo del lago revelan un sistema de fallas normales dispuestas paralelas al arco volcánico, cortando rocas de la Formación Cura–Mallín (Oligoceno – Mioceno), Formación Trapa–Trapa (Oligoceno – Mioceno), depósitos volcánicos pleistocenos y abanicos aluviales holocenos (Fig. 3.20) (Melnick y otros, 2006).

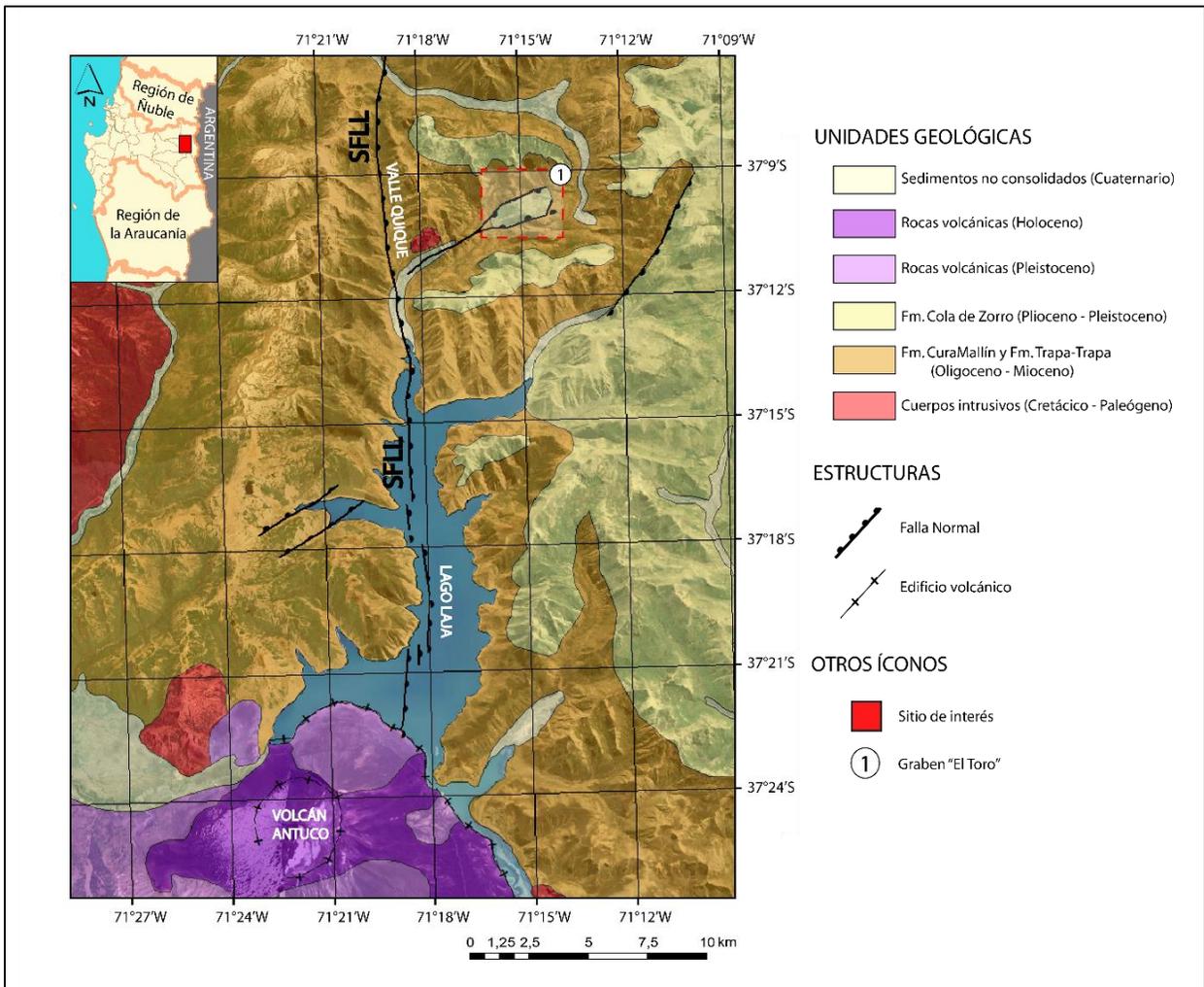


Fig. 3.20. Mapa geológico y estructural simplificado del Lago Laja. Se ha utilizado el mapa geológico de Melnick y otros (2006) de base y se ha modificado acorde a la topografía actual. Los rasgos estructurales se han tomado de Maldonado y otros (2021). **SFLL:** Sistema de Fallas Lago Laja.

Denominado bajo el nombre de “Sistema de Fallas Lago Laja” (Fig. 3.20), se propone la subdivisión del sistema en tres segmentos en función de la magnitud de los desplazamientos: 1) El

segmento norte, desde el extremo septentrional del sistema hasta la aparición del Lago Laja; 2) El segmento central que abarca el Lago Laja en su totalidad; y 3) El segmento sur, desde la parte sur del lago hasta el extremo meridional del sistema (Melnick y otros, 2006). La traza de falla principal del sistema, visible en superficie dentro del segmento norte, posee una orientación relativamente N – S y manto hacia el este (Fig. 3.20), extendiéndose por aproximadamente 60 km a lo largo del Lago Laja y los valles Quique y Águila, mientras que fallas secundarias, dentro del segmento central y cerca de los extremos del sistema, poseen orientaciones NW – SE y NE – SW (Melnick, 2007; Maldonado y otros, 2021).

Las evidencias de actividad neotectónica, visibles en superficie, se concentran exclusivamente en el segmento norte, puesto que los segmentos central y sur del sistema se encuentran mayoritariamente cubiertos, ya sea por la masa de agua del lago o los depósitos volcánicos del Volcán Antuco (Melnick y otros, 2006). La traza de falla es visible a través de imágenes satelitales, extendiéndose en dirección N – S (Fig. 3.21a), creando una zona de debilidad sobre las rocas de la Formación Cura–Mallín, la cual es aprovechada por el cauce del río Quique para la construcción del Valle Quique con una disposición paralela a la traza de falla. Adicionalmente, las variaciones de este cuerpo de agua favorecen el desarrollo de vegetación que cubren la zona de ruptura (Fig. 3.21b) y, en algunos casos, se alinean con la dirección de la traza de falla (Fig. 3.21c). Desde el Valle Quique hacia el este, siguiendo el Estero Pichilaja en una ramificación del sistema principal, Melnick y otros (2006) reportan la existencia de una estructura *graben* denominada “Graben El Toro” (Fig. 3.20) que afecta a rocas de la Formación Cura – Mallín y sedimentos de la Formación Cola de Zorro (Plioceno – Pleistoceno), aunque en la actualidad se encuentra cubierto por abundante vegetación.

Otras evidencias neotectónicas visibles en superficie incluyen diversas estructuras alrededor del Lago Laja: la formación de dos pequeños valles profundos al final de uno de los brazos alargados en la ribera izquierda del lago Laja, en el segmento central, son concordantes con dos trazas de falla en dirección NE – SW, definidas por Niemeyer & Muñoz (1983), que afectan a rocas de la Formación Cura–Mallín (Fig. 3.20); en un corte de carretera en la ladera del río Polcura, al norte del Lago Laja, depósitos de tefra pleistocenos – holocenos del Volcán Chillán (datados con ^{14}C) se encuentran deformados por una serie de fallas normales formando una estructura de *horst* y *graben* asimétrica (Melnick y otros, 2003); terrazas fluviales de topografía asimétrica en el Valle

Quique se asocian a actividad post-glaciar a lo largo de este sistema (Melnick y otros, 2003); al sureste del Lago Laja, a lo largo del río Pinos, incisiones fluviales exponen una secuencia de sedimentos glaciolacustres pleistocenos cortados y deformados por una serie de fallas normales (Melnick y otros, 2006; Melnick, 2007); y en varios cortes de terreno a lo largo del camino desde el Volcán Antuco hacia el oeste, se documenta una serie de fallas normales y fallas *riedel* conjugadas en depósitos aluviales pleistocenos, asociadas a actividad sintectónica (Melnick y otros, 2003).

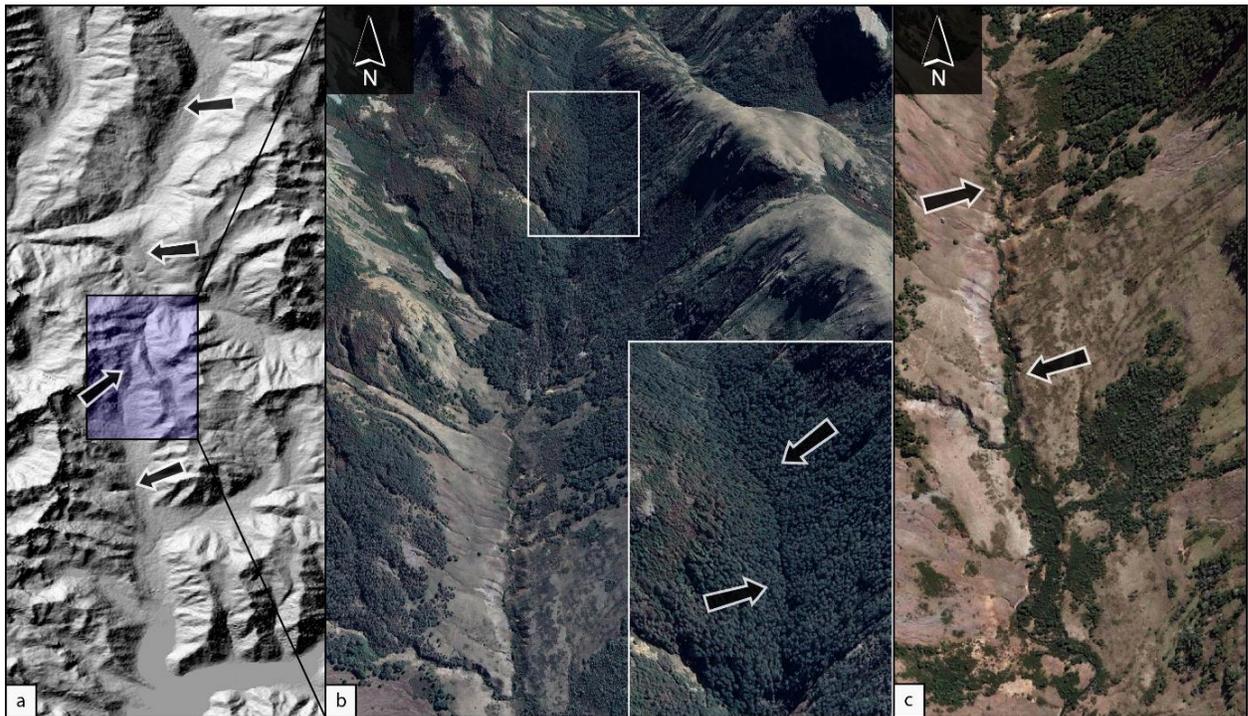


Fig. 3.21. Evidencias neotectónicas asociadas al Lago Laja. (a) Hillshade del Segmento norte del sistema. Las flechas señalan la posición de la traza de falla principal; (b) Vista inclinada en Google Earth del Valle Quique. La traza de falla es apreciable en vista natural y está cubierta por vegetación. (c) Parches de vegetación alineados paralelos a la traza de falla.

También se cuenta con evidencias neotectónicas no visibles en superficie para el segmento central del sistema, obtenidas gracias a perfiles de reflexión sísmica en los sedimentos del fondo del lago. Estas revelan estructuras tipo *horst* y *graben* junto a un nivel discordante erosivo atribuido al colapso de la caldera del Volcán Antuco, ambos eventos desencadenados durante el Holoceno (Melnick y otros, 2006).

3.2.5. Sistema de Fallas El Barco

Un poco más al sur, cerca de los 38° de latitud (Fig. 3.16), varias estructuras corticales deforman cuerpos de roca en las cercanías de la Laguna El Barco (Fig. 3.22), una depresión alargada en dirección N – S situada entre los volcanes Callaqui y Copahue (Folguera & Ramos, 2004; Melnick y otros, 2006). Similar a la Falla Lanalhue, la estructura que recorre los alrededores de este cuerpo de agua se considera una ramificación del Sistema de Falla Liquiñe–Ofqui, más al sur (Folguera & Ramos, 2004; Melnick y otros, 2006), aunque en este caso no recibe un nombre en particular, más bien, se le define como una estructura terminal de dicho sistema dada su expresión bajo la forma de un *horsetail*, o cola de caballo, visible con facilidad a partir de imágenes satelitales (Fig. 3.22). Las ramificaciones próximas al Volcán Callaqui presentan una morfología curva en superficie orientada en dirección NNW – SSE, mientras que las ramificaciones cercanas al Volcán Copahue son algo más rectilíneas orientadas en dirección ENE – WSW, en ambos casos poseen una cinemática normal que modifica el patrón de drenaje y la forma de los valles por donde se manifiesta su traza (Melnick y otros, 2006; Rosenau y otros, 2006).

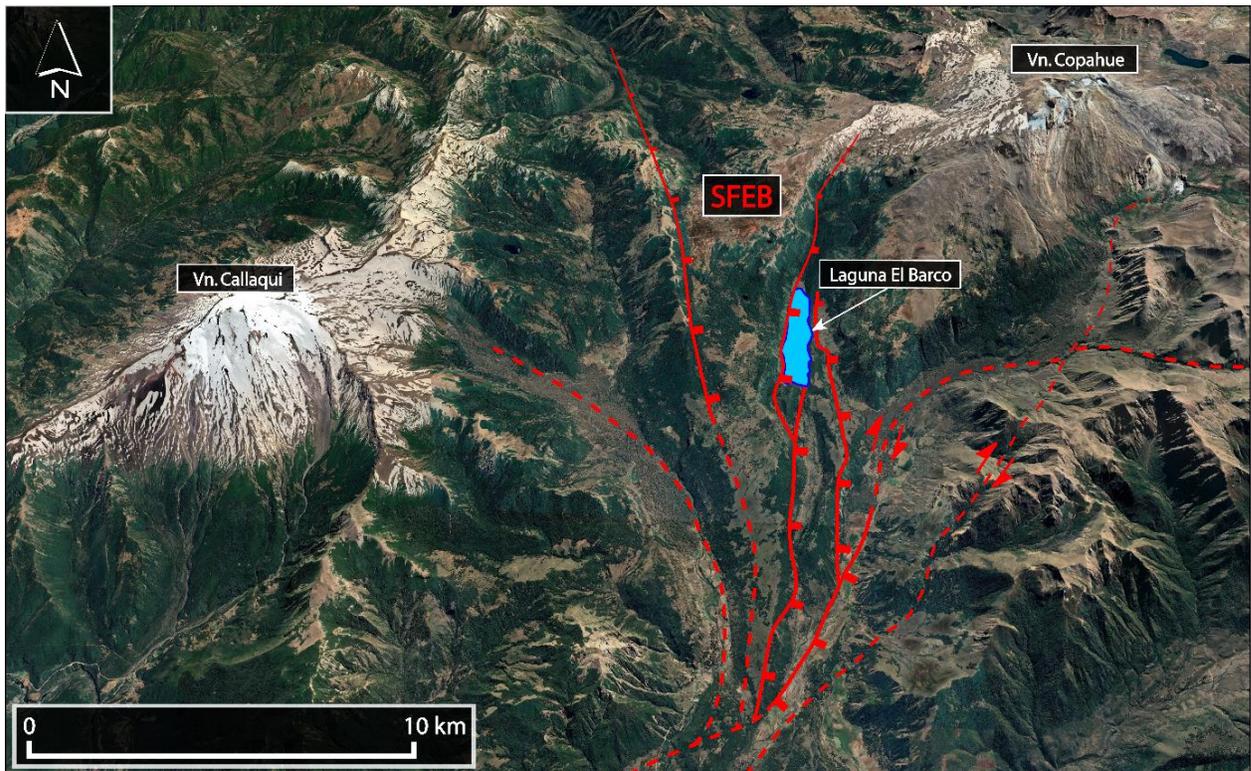


Fig. 3.22. Imagen satelital del sector que comprende el sistema extensional El Barco. Las líneas rojas representan fallas inferidas (segmentadas), transcurrentes (con flechas) y normales (con bloques) obtenidas tras compilar información de Folguera & Ramos (2004); Melnick y otros (2006) y Maldonado y otros (2021). **SFEB:** Sistema de Fallas El Barco.

Las evidencias neotectónicas para la zona incluyen: un escarpe de falla asociado a la ramificación adyacente a la ribera occidental de la Laguna El Barco, donde se tiene registro de una serie de sedimentos cuaternarios desplazados verticalmente por aproximadamente 300 m (Folguera & Ramos, 2004); una estructura tipo dominó (Fig. 3.22) situada al sur de la Laguna El Barco, compuesta por una serie de escarpes extensionales formados por la acción de fallas normales que afectan sedimentos volcánicos pliocenos y flujos de lava cuaternarios (Folguera & Ramos, 2004); y una serie de valles estrechos y alargados producto de incisión fluvio-glacial pleistocena–cuaternaria a lo largo de las zonas de debilidad estructural en la zona (Melnick y otros, 2006).

3.2.6. Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui

Las últimas evidencias para esta zona se aprecian desde los 38° de latitud hacia el sur (Fig. 3.16), en el límite entre las regiones del Biobío y la Araucanía, lugar donde el Sistema de Falla Liquiñe–Ofqui controla la morfología del principal cuerpo de agua del sector y desplaza rocas oligo–miocenas (*e.g.*, SERNAGEOMIN, 2003). Esto último se corrobora a través de la observación en terreno de una serie de planos de fallas con estrías y vetillas rellenas de calcita en rocas situadas en las cercanías de las localidades de Troyo, Ralco y Lolco (*e.g.*, Pérez–Flores y otros, 2016).

En medio de estas rocas oligo–miocenas cubiertas por vegetación, el cauce del río Biobío proveniente desde la Región de la Araucanía hacia la Región del Biobío, en sentido NW, sufre importantes desviaciones perpendiculares a la dirección del curso de agua (Fig. 3.23a) tras su encuentro con las trazas asociadas a ramificaciones del Sistema de Falla Liquiñe–Ofqui y, de manera más local, con la falla maestra (Fig. 3.23b). En el primer caso, el comportamiento transcurrente de las trazas desplazan el cauce, permitiendo que este último adquiera una disposición paralela a estas, o bien, cuando no son lo suficientemente capaces de modificar la dirección del mismo, crean zonas de debilidad alterando la morfología de las riberas a través de la aparición de brazos alargados que no alcanzan un tamaño y extensión muy prominente (Fig. 3.23a). En el segundo caso, la intersección del curso con la traza principal produce una desviación tan pronunciada que da origen a nuevos cuerpos de agua, como es el caso del río Lolco frente a la localidad homónima y el río Villucura (Fig. 3.23a), al mismo tiempo que es responsable del ensanchamiento de la desembocadura del río Lomín hacia el río Biobío.

La influencia del Sistema de Falla Liquiñe–Ofqui en la geomorfología de la Cordillera Principal y evidencias adicionales de su comportamiento neotectónico sobre la misma serán

abarcadas con mayor detalle en el subcapítulo a continuación, puesto que es el sistema estructural de mayor importancia para el sur de Chile continental.

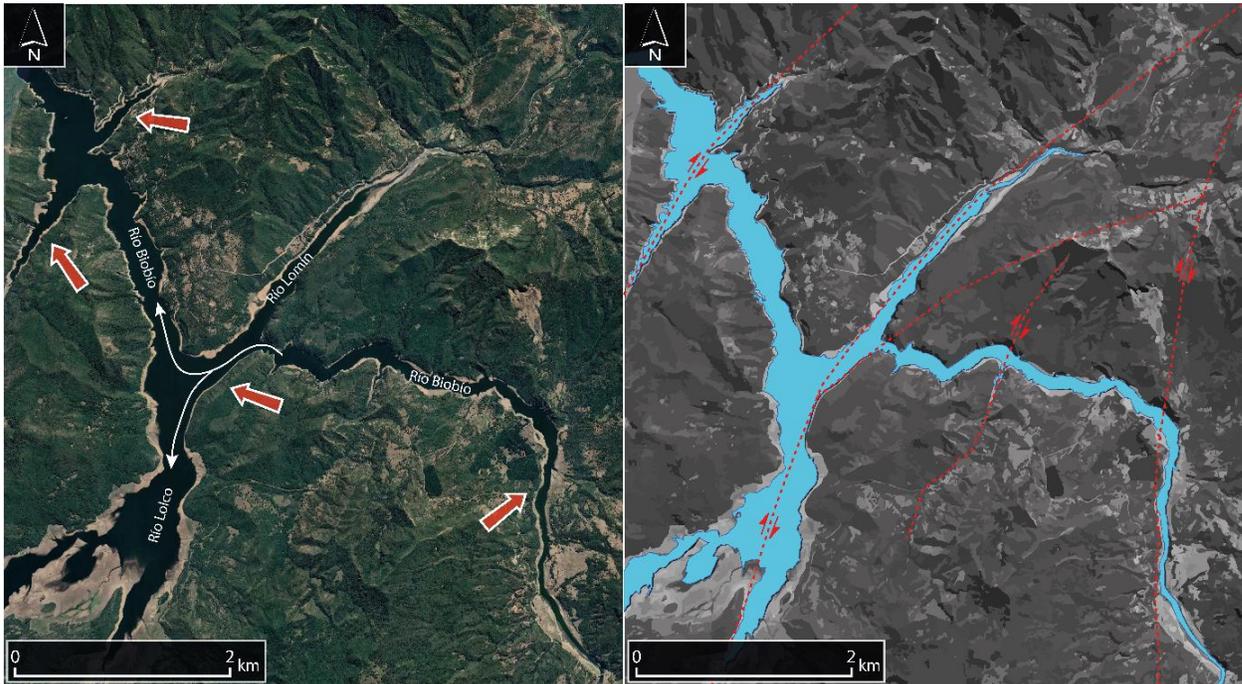


Fig. 3.23. Evidencias neotectónicas en cuerpos de agua bajo los 38°S. (a) Vista en Google Earth de los cuerpos de agua presentes en el límite entre regiones. Las flechas indican los cambios inducidos por el Sistema de Falla Liquiñe–Ofqui; (b) Misma vista en Google Earth, pero en escala de grises y resaltando los cuerpos de agua, con las trazas de falla propuestas por Maldonado y otros (2021) superpuestas.

3.3 CHILE SUR (38.3° – 47.5°S)

En esta zona geográfica, las evidencias de actividad neotectónica derivan del contexto tectónico presente (Fig. 3.24) y se concentran exclusivamente al interior de la Cordillera Principal (Figs. 3.25 y 3.26), aunque también existen algunas menciones en el antearco exterior correspondientes a rasgos lineales sin nombre (*e.g.*, Maldonado y otros, 2021), debido a la acción de un sistema tectónico que controla el emplazamiento de diversos edificios volcánicos y conos monogenéticos en el sur de Chile continental.

Conocido bajo el nombre de Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui (SFLO), mencionado brevemente en el subcapítulo anterior, es un rasgo cortical regional que se extiende por aproximadamente 1200 km desde el Volcán Copahue (~37.5°S) hasta el Golfo de Penas (~47°S), este último situado bajo el Punto Triple de Chile, acomodando la deformación asociada a la

subducción de la Dorsal de Chile y parte de la oblicuidad entre las placas Nazca y Sudamericana (Rosenau y otros, 2006; Melnick, 2007).

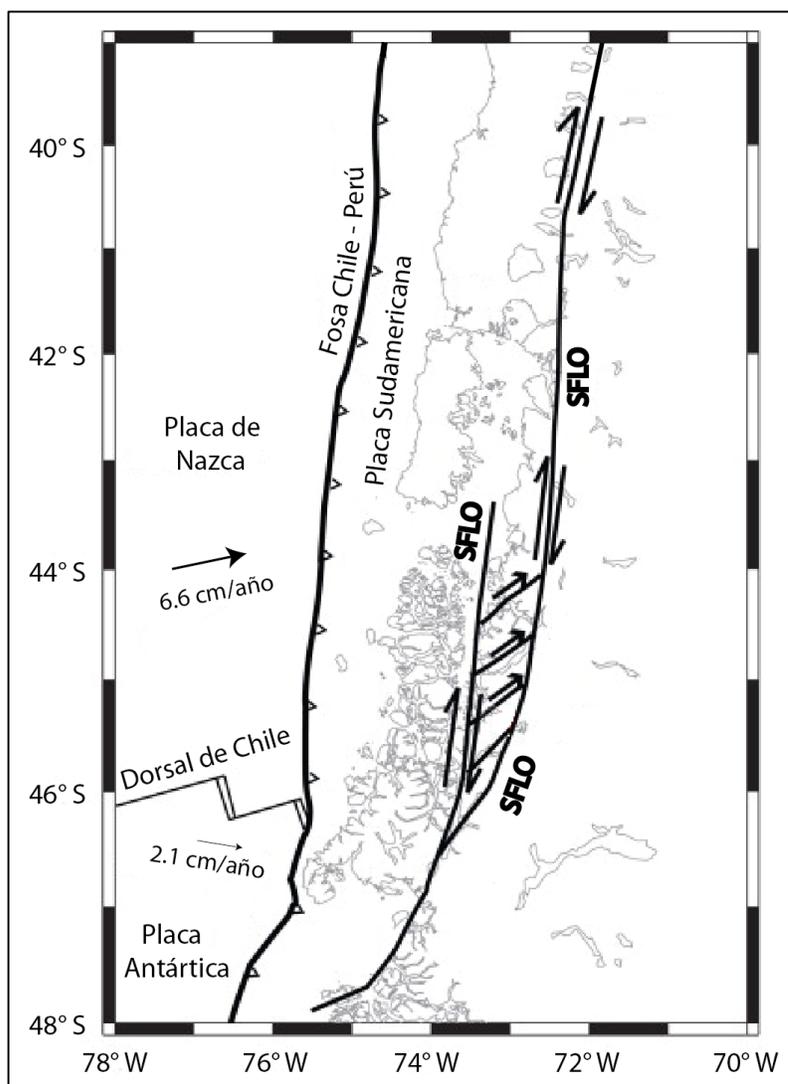


Fig. 3.24. Contexto tectónico del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui. Imagen extraída y modificada de Legrand y otros (2010). **SFLO:** Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui.

El SFLO es una estructura compleja compuesta por una serie de fallas maestras subverticales superpuestas en dirección NNE – SSW (*e.g.*, Maldonado y otros, 2021), con mecanismo transcurrente dextral (*e.g.*, Pérez–Flores y otros, 2016), junto a una serie de fallas secundarias sintéticas de orientación NE – SW y estructuras en *echelon* (Rosenau y otros, 2006; Hernández–Moreno y otros, 2014) que deforman una gran cantidad de rocas ígneas mio–pliocenas del arco volcánico del sur de Chile, producto de la coincidencia de este sistema con reservorios

geotérmicos, volcanes activos y sistemas de conos monogénéticos alineados (Cembrano y otros, 2007; Lara y otros, 2008; Pérez–Flores y otros, 2016; Santibáñez y otros, 2019; Maldonado, 2020).

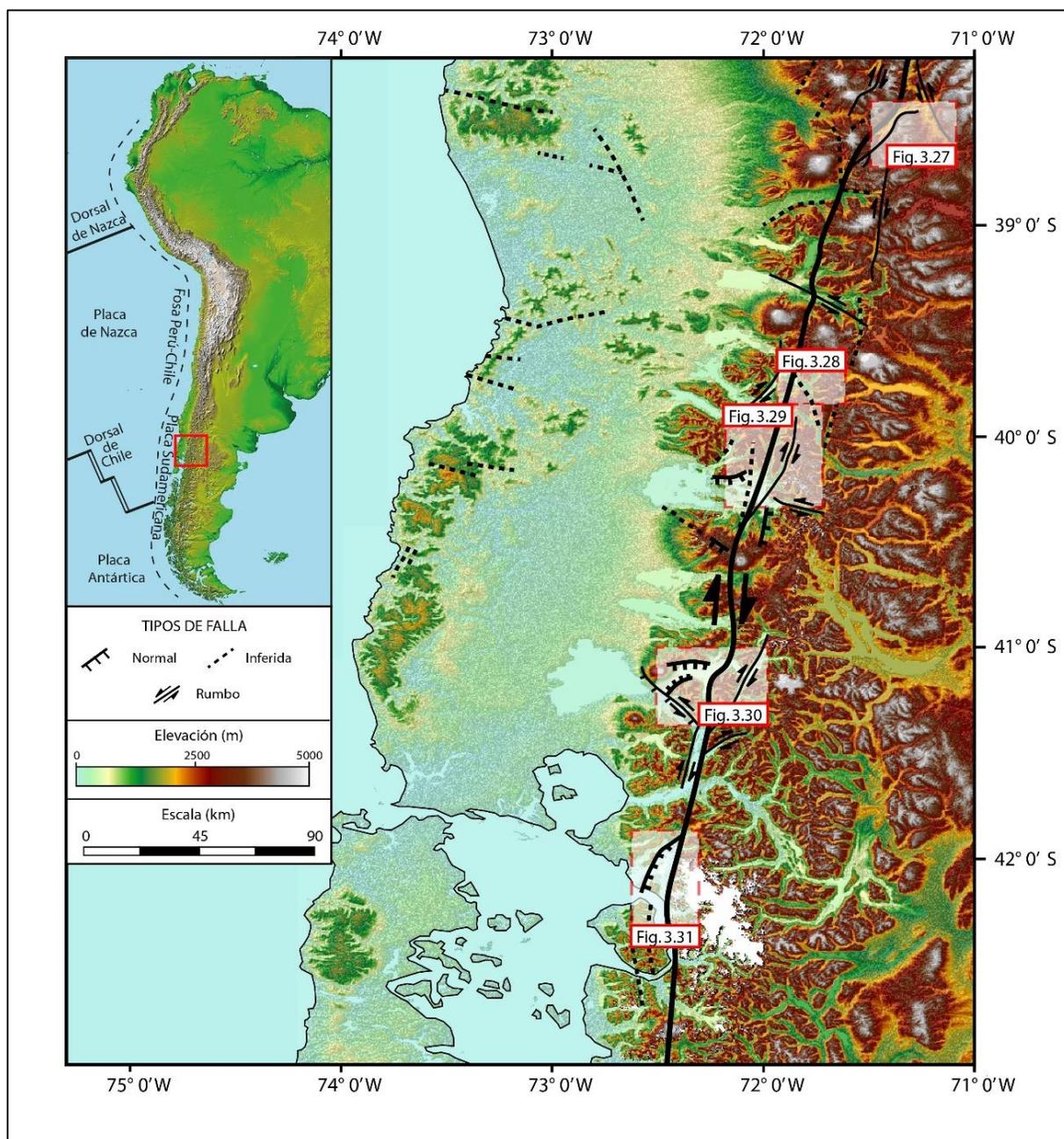


Fig. 3.25. Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile sur entre los 38° y 42°S. El mapa se ha confeccionado compilando información de fuentes tales como SERNAGEOMIN (2003), Sánchez y otros (2013), Pérez–Flores y otros (2016) y Maldonado y otros (2021).

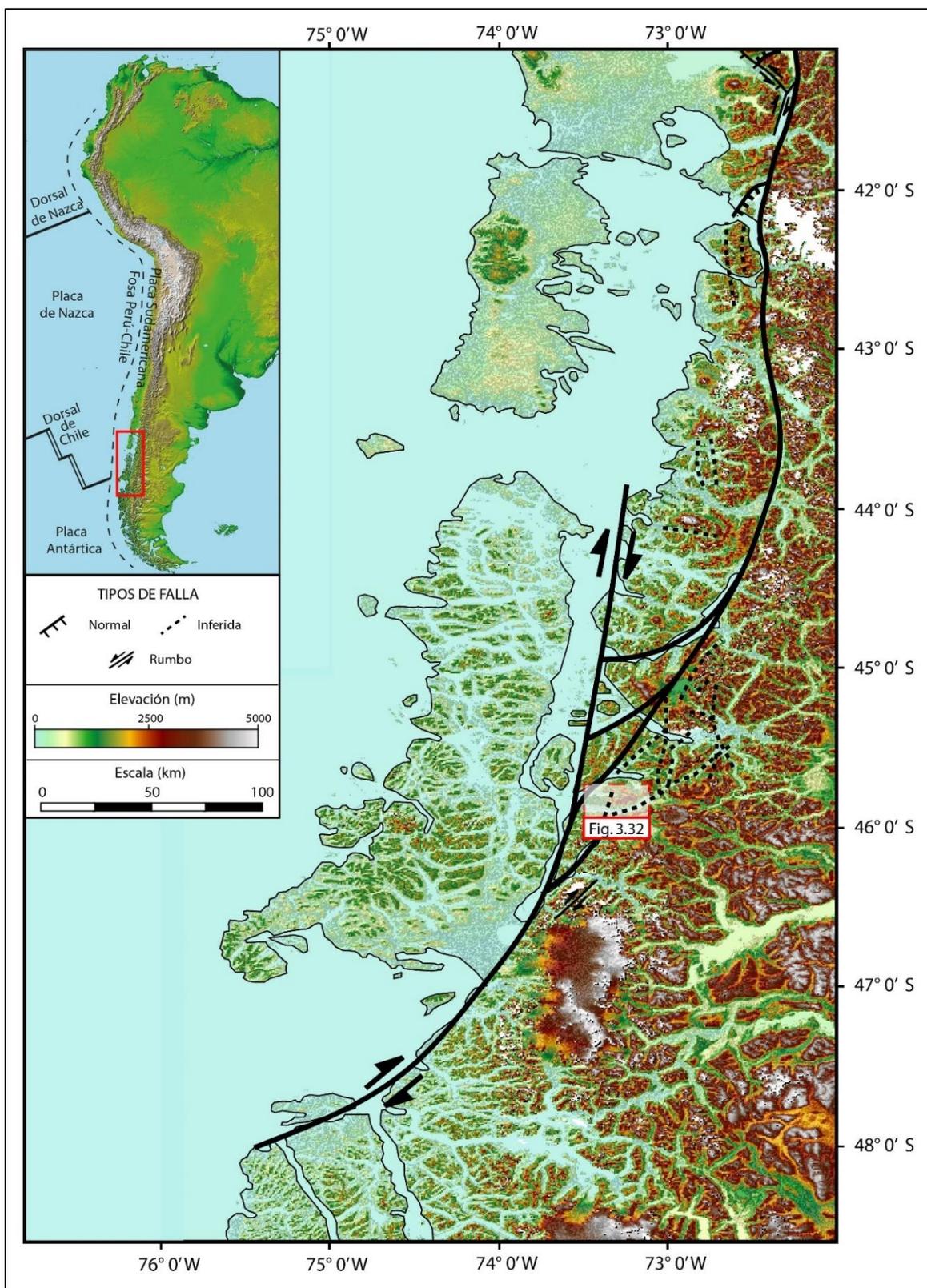


Fig. 3.26. Distribución de estructuras de deformación neotectónicas a lo largo de Chile sur entre los 42° y 48° S. El mapa se ha confeccionado compilando información de fuentes tales como SERNAGEOMIN (2003), Sánchez y otros (2013), Pérez-Flores y otros (2016) y Maldonado y otros (2021).

Las trazas de las fallas del sistema forman importantes lineamientos estructurales demarcados por el efecto de la incisión glacial y fluvial en las rocas, principalmente aquellas del Batolito Patagónico, formando valles relativamente estrechos y elongados (Maldonado, 2020). Estructuras dúplex, colas de caballo y bloques desplazados en sentido vertical son algunas de las particularidades presentes en este sistema, tanto a escala local como regional, producto de esfuerzos transpresivos y transtensivos (Astudillo–Sotomayor y otros, 2021).

El registro más antiguo que hace alusión a este sistema remonta al año 1900 cuando, por encargo del Gobierno de Chile, se llevaron a cabo una serie de expediciones en la zona patagónica que revelaron la existencia de “surcos tectónicos” que controlaban las emisiones de los principales centros volcánicos (Hauser, 1991). Más de 70 años transcurrieron desde esta documentación para que otros investigadores realizaran observaciones estructurales en la zona entre los años 1975 y 1979, acuñando el nombre de “Falla Liquiñe–Ofqui” para el megalineamiento entre las termas de Liquiñe y el Istmo de Ofqui (Hervé y otros, 1979 en Hauser, 1991).

Estudios de campo combinados con análisis Ar/Ar y termocronología con trazas de fisión demuestran que este sistema ha estado activo desde *c.* 7 Ma (Melnick, 2007), actuando como zona transpresiva relacionada a la subducción de la Dorsal de Chile. Adicionalmente, estudios similares demostraron un evento principal de deformación dúctil transpresivo a *c.* 4 Ma, seguido de un evento frágil compresivo alrededor de los 1.6 Ma (Cembrano y otros, 2007; Pérez–Flores y otros, 2016). Información telesísmica y datos de redes sísmicas locales demuestran que el sistema se encuentra activo en la actualidad, debido a actividad sísmica descubierta repentinamente, producto de una serie de sismos ocurridos en el Fiordo de Aysén durante el primer semestre del año 2007 que trajeron como consecuencia deslizamientos en masa y algunos tsunamis (Hervé y otros, 2015; Santibáñez y otros, 2019; Villalobos y otros, 2020). Adicionalmente se ha reportado sismicidad cortical de magnitud moderada ($M_w \sim 3.8$) a leve ($M_w \sim 0.6$) a lo largo del sistema (*e.g.*, Lange y otros, 2008; Sielfield y otros, 2019), los que se asocian a deslizamientos intrínsecos del sistema (Lange y otros, 2008), o bien, a actividad magmática en profundidad de algunos edificios volcánicos.

Dada la extensión del sistema, para efectos de esta memoria se dividirá en dos secciones: septentrional ($38.3^\circ - 42.1^\circ\text{S}$) y meridional ($42.1^\circ - 47.5^\circ\text{S}$), presentando las evidencias de acuerdo al rango de latitud acotado para cada uno de ellos.

3.3.1. Parte septentrional (38.3° – 42.1°S)

En el caso de la Región del Biobío y la Araucanía, estructuras *en echelon* que derivan de la falla maestra cortan flujos de lava holocenos y a una serie de *grabens* y *hemigrabens* transtensionales de edad cuaternaria (Melnick y otros, 2006). Dichas ramificaciones se han interpretado como parte de una estructura “cola de caballo” activa a gran escala, orientada N30° – 40°E, que libera parte de la deformación a lo largo de este sistema (Rosenau y otros, 2006).

Las fallas maestras acomodan la deformación modelando el relieve de la corteza, evidencia que queda al descubierto a través de una serie de escarpes erodados, inclinados levemente hacia el oeste (Lara y otros, 2008), que han sido documentados a lo largo de la traza de falla desde el extremo norte del sistema (~38.5°) hasta las cercanías del valle del río Nilahue (~40°S), cortando flujos de lavas pleistocenas (Lara y otros, 2008). Las fallas secundarias son las responsables del alineamiento de los principales estratovolcanes (Lonquimay, Llaima, Villarrica, Quetrupillán, Mocho–Choshuenco, Puyehue) de edad Pleistoceno – Holoceno, jugando un rol clave en el ascenso de magmas y la formación de la estructura volcánica, así como de algunos conos monogenéticos y conos de escoria basáltica, estos últimos muy abundantes dentro de los 38° y 42°S (Lara y otros, 2006; Sánchez y otros, 2013). Similar a las fallas maestras, estas estructuras también afectan a: (1) flujos de lava pleistocenos – holocenos, como es el caso de los depósitos del Volcán Lonquimay (~38° S); y (2) grupos de rocas ígneas neógenas–cuaternarias, como lo son un grupo de rocas graníticas de edad miocena (Sepúlveda y otros, 2005 en Lara y otros, 2006) que se encuentran cortadas por fallas de escala métrica en las cercanías del Volcán Puyehue (~40° S) y el Complejo Volcánico Cordón Caulle, al este del río Contrafuerte (Lara y otros, 2006; Melnick y otros, 2006).

También existen evidencias neotectónicas asociadas a la geomorfología y control de cuerpos de agua, incluyendo el desplazamiento y alineamiento de estos con las trazas de fallas del sistema (*e.g.*, Rosenau, 2004). Tanto para los cuerpos de agua menores (tales como ríos, canales y esteros) como para los cuerpos de agua mayores (tales como lagos y lagunas), el desplazamiento y modificación abrupta del curso es el indicador principal de la influencia de las estructuras, generalmente de las fallas secundarias del sistema, en algunos casos incluso favoreciendo cauces rectilíneos por segmentos cortos antes de retomar el sentido original nuevamente. Ejemplos de estos desplazamientos se pueden observar en las cercanías de Lonquimay (Fig. 3.27), en canales tributarios que alimentan al río Lonquimay (*e.g.*, Melnick 2007); en el Lago Caburgua, cuyas

riberas, especialmente la oriental, se alinean con las trazas de fallas secundarias; en las cercanías de Liquiñe, donde el cauce del río homónimo es desplazado levemente producto de una falla secundaria (Fig. 3.28), de igual forma que al norte de Liquiñe se puede observar un cuerpo tributario del río Reyehueico desplazado de la misma manera (*e.g.*, Astudillo–Sotomayor y otros, 2021); en las riberas de los lagos Pirihueco y Maihue, cuyas morfologías se ven modificadas por la traza de una de las fallas maestras (Fig. 3.29; en el Lago Todos Los Santos, situación similar a la de los lagos anteriormente mencionada, pero en este caso la modificación en la ribera sur producto de la traza de falla (Fig. 3.30), origina otro cuerpo de agua: el Estero Relongaví, también controlado y acomodado por la misma; y el Fiordo Hornopirén junto al Canal Cholgo, ambos situados al sur de la localidad de Hornopirén, cuya morfología rectilínea también coincide con la traza propuesta de la falla (Fig. 3.31).

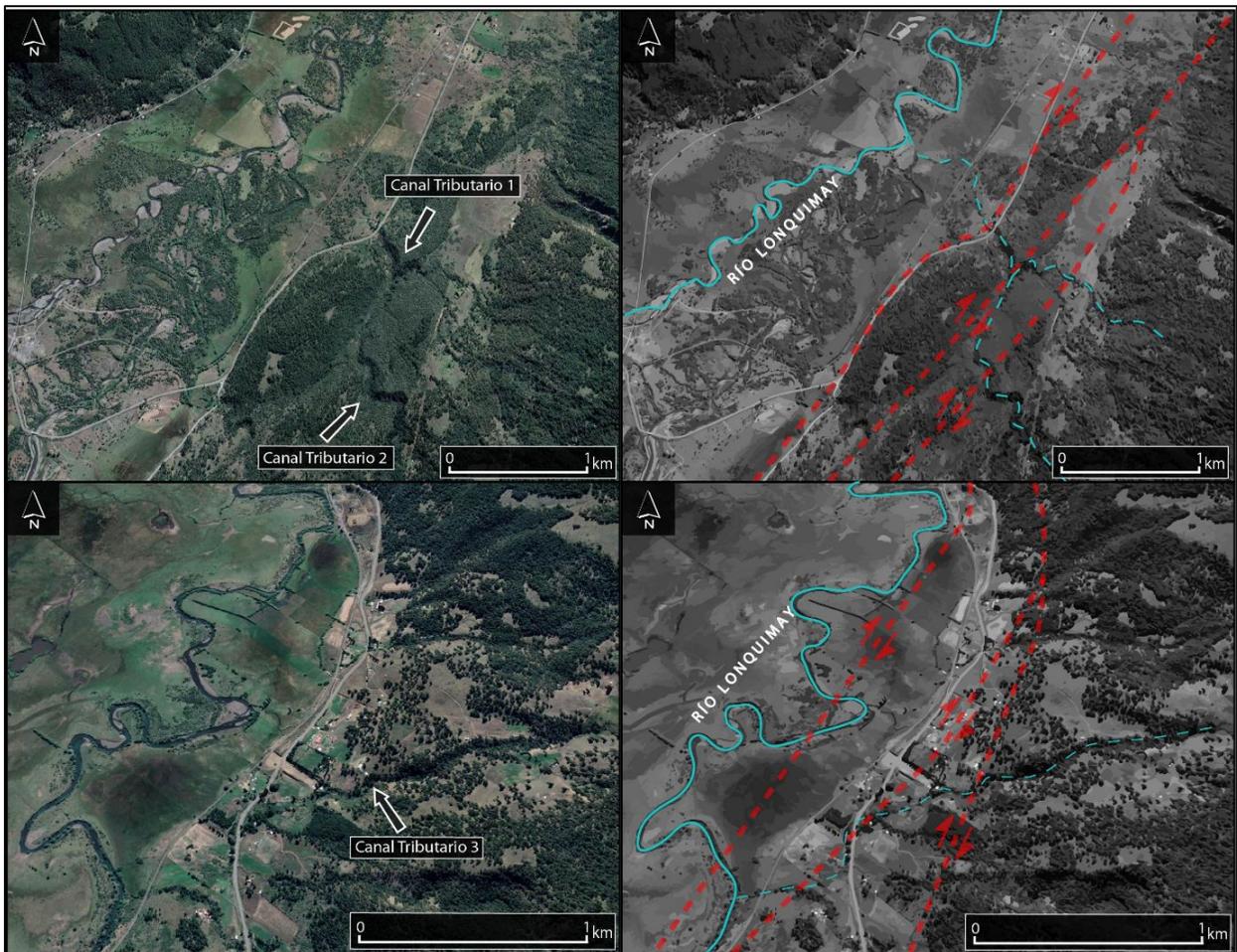


Fig. 3.27. Evidencias de actividad neotectónica en las cercanías de Lonquimay. A la izquierda se ve la imagen natural provista por Google Earth. Las flechas resaltan la zona donde el curso es desplazado. A la derecha, la misma imagen en tonos de grises, resaltando los cursos de agua y las trazas del LOFS provistas por Maldonado y otros (2021).

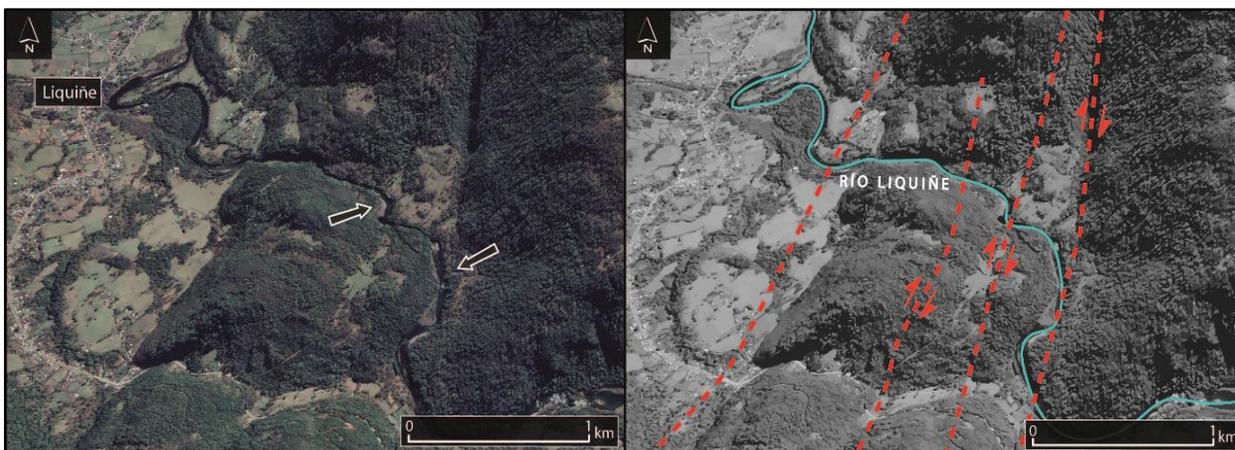


Fig. 3.28. Evidencias de actividad neotectónica en las cercanías de Lique. A la izquierda se ve la imagen natural provista por Google Earth. Las flechas resaltan la zona donde el curso es desplazado. A la derecha, la misma imagen en tonos de grises, resaltando el curso de agua y las trazas del LOFS provistas por Maldonado y otros (2021).

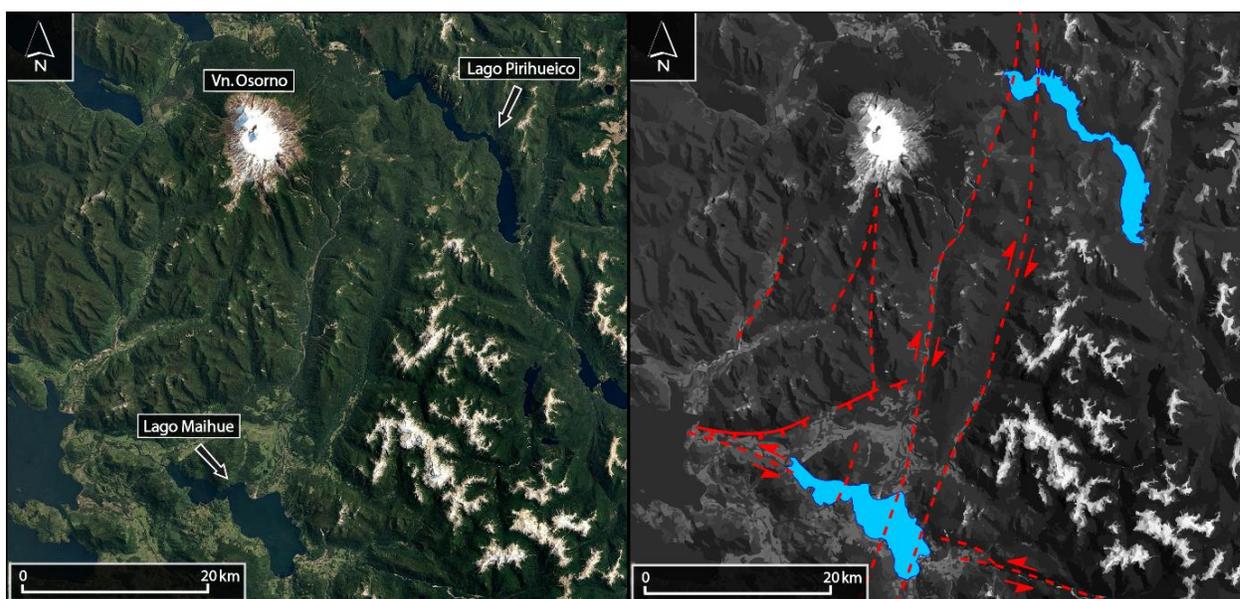


Fig. 3.29. Evidencias de actividad neotectónica en la Región de los Ríos. A la izquierda se ve la imagen natural provista por Google Earth. Las flechas resaltan los cuerpos de agua mencionados en el texto. A la derecha, la misma imagen en tonos de grises, resaltando dichos cuerpos de agua y las trazas del SFLO provistas por Maldonado y otros (2021).

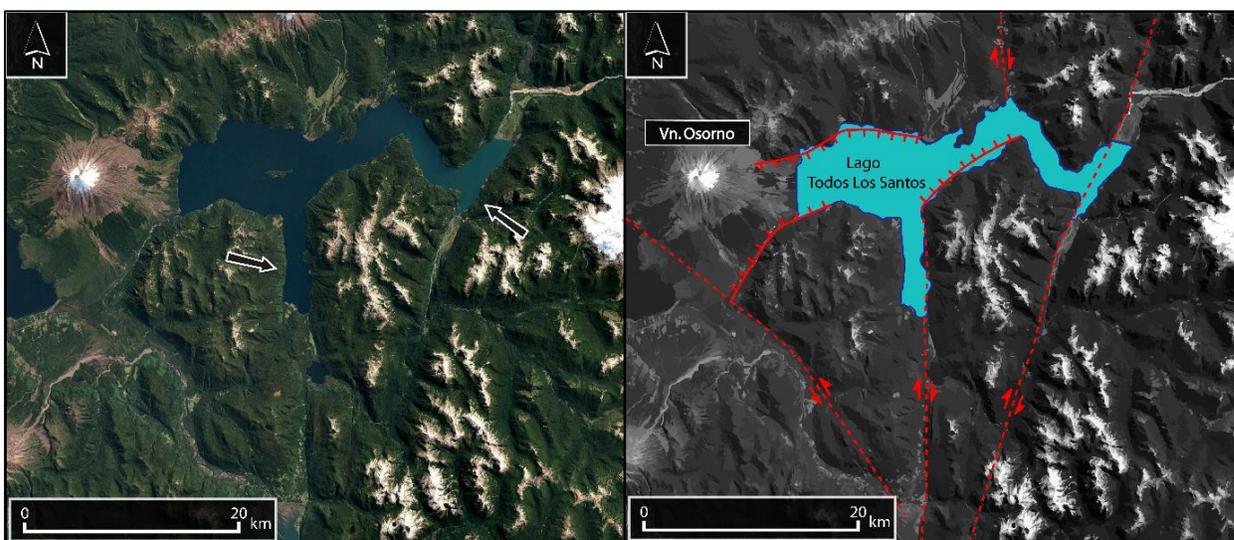


Fig. 3.30. Evidencias de actividad neotectónica en el Lago Todos Los Santos. A la izquierda se ve la imagen natural provista por Google Earth. Las flechas resaltan la zona donde el curso es desplazado. A la derecha, la misma imagen en tonos de grises, resaltando el curso de agua y las trazas del SFLO provistas por Maldonado y otros (2021).

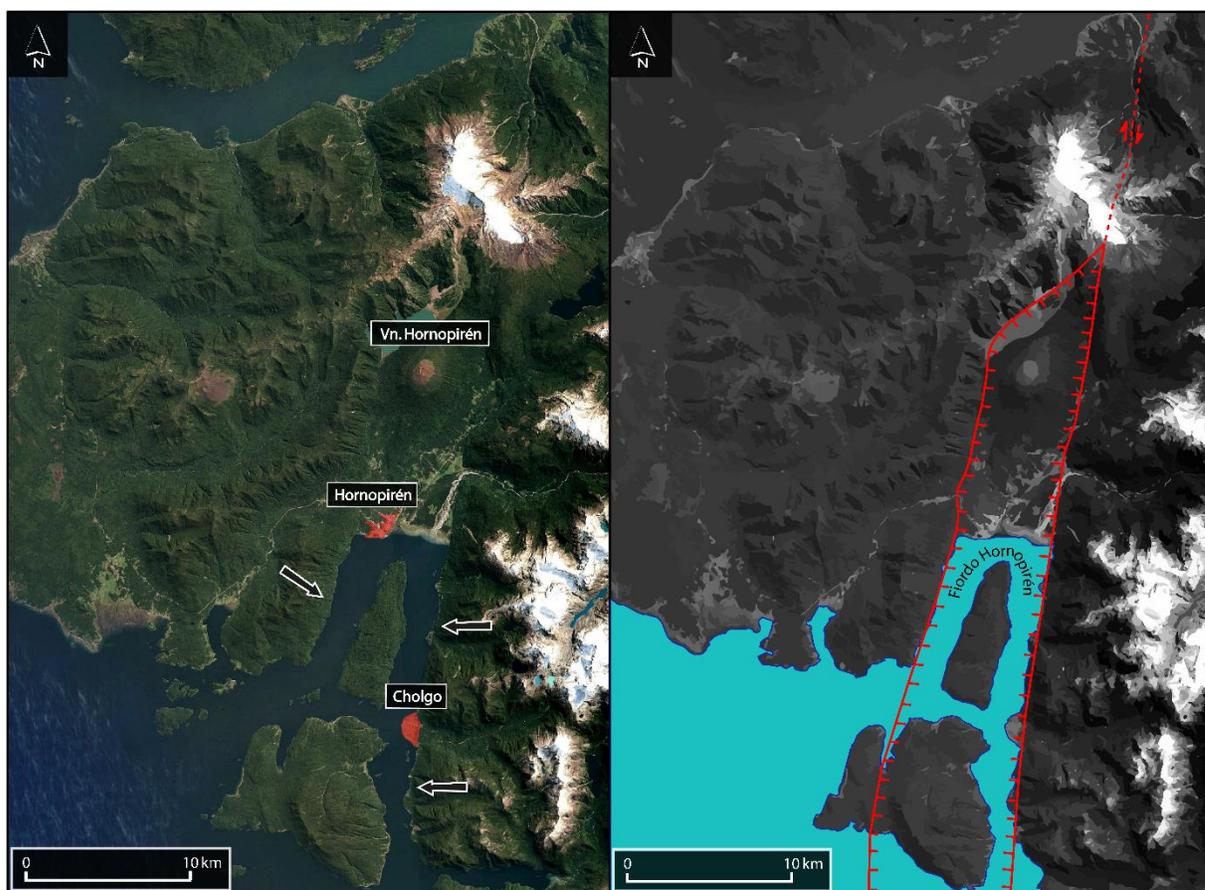


Fig. 3.31. Evidencias de actividad neotectónica al sur de la localidad de Hornopirén. A la izquierda se ve la imagen natural provista por Google Earth. Las flechas resaltan las zonas donde el curso de agua se alinea con las trazas del SFLO. A la derecha, la misma imagen en tonos de grises, resaltando los cuerpos de agua y las trazas del SFLO provistas por Maldonado y otros (2021).

Estudios de campo llevados a cabo en las cercanías de la localidad de Liquiñe, al interior de la Región de Los Ríos, revelan una serie de terrazas fluviales de edad holocena que han sido desplazadas producto de una estructura que forma parte del SFLO. Se estimó una tasa de alzamiento de 18.8 ± 2.0 mm/yr (Astudillo–Sotomayor y otros, 2021), un valor elevado para una estructura que históricamente no ha desencadenado un sismo de magnitud 6.5° o superior, aunque la escasez de estudios paleosismológicos, principalmente derivados por la dificultad de acceso a la parte meridional del sistema, junto a la falta de afloramientos de deformación reciente y marcadores geomorfológicos indicativos de desplazamientos absolutos, han impedido una evaluación más detallada de la historia de desplazamiento holocena de las fallas que integran el SFLO, limitando una descripción precisa del potencial sismogénico para el sistema (Hervé y otros, 2015; Santibáñez y otros, 2019; Maldonado y otros, 2020).

3.3.2. Parte meridional ($42.1^\circ - 47.5^\circ\text{S}$)

A diferencia de la parte septentrional, las evidencias dentro de este rango de latitud son escasas debido a la combinación de tres factores: el clima (precipitaciones/nieve), la dificultad de acceso a los afloramientos y la extensión de las masas de hielo. Gran parte de las evidencias reportadas son de estudios en terreno, llevados a cabo hace más de una década. Evidencias restantes incluyen estudio y análisis de imágenes satelitales.

Entre los 42° y 44° de latitud, una extensa zona de deformación frágil – dúctil, asociada a las fallas maestras y secundarias, afecta a rocas miocenas del Batolito Patagónico. La presencia de rocas de falla (cataclasitas, milonitas) forman una unidad deformacional que posee alrededor de 5 km de extensión, desde la costa hacia el interior, y cuyo origen está asociado a la actividad de la Falla Liquiñe–Ofqui durante el Mioceno – Plioceno (Thomson, 2002). Estudios cinemáticos llevados a cabo en las rocas del batolito adyacentes a esta unidad deformacional permitieron obtener información relevante a los tensores de esfuerzos en diferentes zonas de cizalle y en varios casos se pudo apreciar que $\sigma_2 = \text{vertical}$ y que los esfuerzos σ_1 y σ_3 eran subhorizontales, características que reflejan un régimen de rumbo característica del sistema (Arancibia y otros, 1999; Cembrano y otros, 2007).

Desde los 45°S y siguiendo hacia el sur, DePascale y otros (2021) mencionan que las fallas maestras parecen acomodar la mayor parte de la deformación cortical, a diferencia de la zona ubicada más al norte, donde las fallas secundarias tienen predominancia, debido a la morfología

inferida de la estructura a partir de imágenes satelitales (Fig. 3.18). Algunos ejemplos que sustentan lo anterior incluyen la existencia de escarpes de fallas submarinos que afectan el relleno sedimentario de las cuencas del Fiordo de Aysén ($\sim 45^{\circ}\text{S}$), evento asociado a la actividad sísmica local ocurrida el año 2007 en la zona y acomodada por estas fallas; planos de falla y planos de estrías en afloramientos situados tanto al norte como al sur del fiordo, también derivados de la actividad sísmica local del año 2007, y que en su mayoría coinciden con la dirección predominante de las fallas secundarias del sistema; y una serie de conos monogénicos, presentes inmediatamente bajo el Fiordo de Aysén, dispuestos en dirección NNE – SSW, sugiriendo alineamiento con las trazas de las fallas maestras (Vargas y otros, 2013).

Cerca de los 46°S y hacia el extremo final de la SFLO, la actividad neotectónica reportada incluye deslizamientos laterales holocenos de sistemas de drenaje (Vargas y otros, 2013), aunque en la actualidad esto no se puede corroborar mediante imágenes satelitales debido a la abundante vegetación, e incisiones profundas en rocas miocenas como es el caso del valle glaciar asociado al Cirque Huemul (Fig. 3.32), este último desplazado por aproximadamente 400 m en dirección N – S (DePascale y otros, 2021), producto de la actividad de una de las fallas maestras, acompañado por lineamiento de vegetación a lo largo de la traza de falla y modificación de las redes de drenaje del valle adyacente.

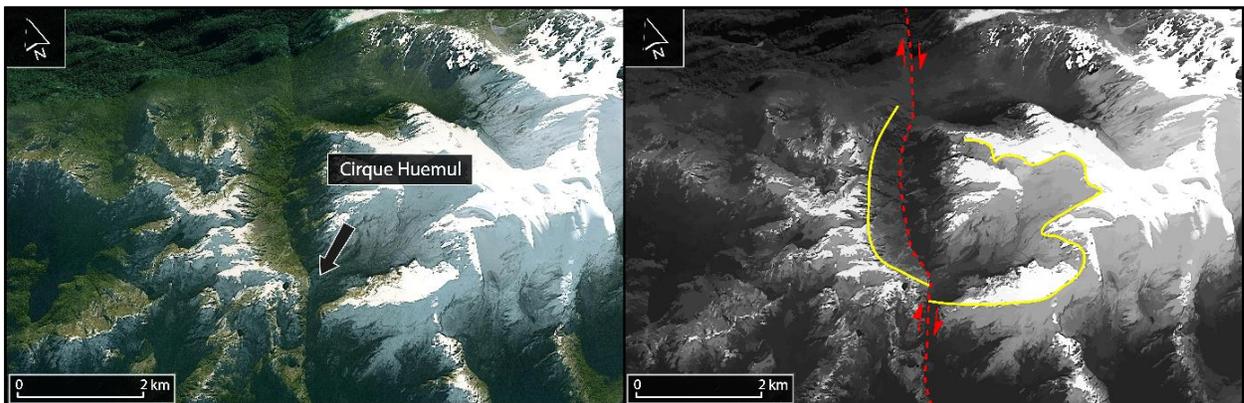


Fig. 3.32. Evidencias de actividad neotectónica en el valle glaciar del Cirque Huemul. La flecha indica la sección del valle que es desplazada por una de las ramas secundarias del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui representada por la línea segmentada en la imagen de la derecha. En amarillo se resalta la geometría y extensión del valle glaciar.

Para finalizar esta sección, se presentan a continuación dos tablas con algunas características y las evidencias de actividad neotectónica de las estructuras abordadas. Se incluye la zona geográfica a la cual pertenecen para un mejor entendimiento del lector.

ZONA GEOGRÁFICA	ESTRUCTURAS NEOTECTÓNICAS		DISPOSICIÓN RESPECTO A LAS UNIDADES FISIAGRÁFICAS	RUMBO	CINEMÁTICA
CHILE CENTRAL	Sistema de Fallas Valparaíso-Melipilla	Falla Marga-Marga	Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Normal
		Falla Laguna Verde	Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Normal
		Falla Quintay	Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Normal
	Falla Topocalma		Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Normal
	Falla Pichilemu		Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Normal
	Falla El Yolki		Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Transcurrente sinistral
	Falla El Arrayán		Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Transcurrente sinistral
	Falla San Ramón		A los pies de la Cordillera Principal	N - S	Inversa
	Falla Mesamávida		A los pies de la Cordillera Principal	NE - SW	Inversa
CHILE CENTRO - SUR	Sistema de Fallas Santa María		Al interior de la Cordillera de la Costa	Predominante NE - SW	Mixta
	Falla Morguilla		Al interior de la Cordillera de la Costa	NW - SE	Inversa
	Falla Lanahue		En el límite de la Cordillera de la Costa y el Valle Central	NW - SE	Mixta
	Sistema de Fallas Lago Laja		Al interior de la Cordillera Principal	N - S	Normal
	Sistema de Fallas El Barco		Al interior de la Cordillera Principal	Predominante N - S	Normal
	Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui		Al interior de la Cordillera Principal	Predominante NNE - SSW	Transcurrente dextral
CHILE SUR	Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui	Parte septentrional	Al interior de la Cordillera Principal	NNE - SSW	Predomina Transcurrente dextral
		Parte meridional	Al interior de la Cordillera Patagónica	NE - SW	Predomina Transcurrente dextral

Tabla 3.1. Resumen de características de las estructuras neotectónicas abordadas. Los recuadros con fondo rojizo representan estructuras del antearco, mientras que los recuadros con fondo azul representan estructuras al interior o en las cercanías del intrarco. Elaboración propia.

ZONA GEOGRÁFICA	ESTRUCTURAS NEOTECTÓNICAS		EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA
CHILE CENTRAL	Sistema de Fallas Valparaíso-Melipilla	Falla Marga-Marga	Desplazamientos en depósitos aluviales cuaternarios. Daños estructurales recientes en zonas aledañas a la traza de falla.
		Falla Laguna Verde	Escarpes de fallas con facetas triangulares y diferencias de elevación en terrazas marinas pleistocenas.
		Falla Quintay	Escarpes con facetas triangulares cubiertas por vegetación.
	Falla Topocalma		Rasgo linear, coincidente con la traza de falla, formado por incisión fluvial en sedimentos cuaternarios.
	Falla Pichilemu		Diferencias de elevación en terrazas marinas pleistocenas. Actividad sísmica menor reportada recientemente.
	Falla El Yolki		Variaciones en la extensión de la planicie litoral holocena. Diferencias de elevación de terrazas marinas pleistocenas.
	Falla El Arrayán		Planos y rocas de falla presentes en el vecindario El Arrayán. Rasgos geomorfológicos: ríos desviados y valles alineados.
	Falla San Ramón		Depósitos aluviales asociados al escarpe San Ramón. Actividad paleosísmica documentada y sísmica reportada.
CHILE CENTRO - SUR	Falla Mesamávida		Alzamiento del escarpe Mesamávida. Actividad sísmica reciente. Redes de drenaje localmente alineadas.
	Sistema de Fallas Santa María		Alzamiento de la Isla Santa María. Rasgos lineales en dirección NNE - SSW en terrazas marinas pleistocenas.
	Falla Morguilla		Alzamiento del escarpe Morguilla. Actividad sísmica menor reportada recientemente.
	Falla Lanalhue		Terrazas fluviales y aluviales plio-pleistocenas desplazadas. Actividad sísmica menor reportada recientemente.
	Sistema de Fallas Lago Laja		Depósitos aluviales y de trefa pleistocenos deformados por fallas normales. Asimetría en terrazas fluviales pleistocenas.
	Sistema de Fallas El Barco		Sedimentos cuaternarios desplazados. Sedimentos volcánicos pliocenos deformados por fallas normales.
CHILE SUR	Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui	Parte septentrional	Flujos de lava holocenos y <i>grabens</i> cuaternarios afectados por estructura <i>horsetail</i> . Alineamiento de los principales conos de estratovolcanes pleistocenos. Rasgos geomorfológicos: desplazamiento y alineamiento local de cuerpos de agua importantes. Variaciones en la elevación de terrazas fluviales holocenas en las cercanías de Liquiñe. Actividad sísmica menor reportada recientemente.
		Parte meridional	Alineamiento de conos monogenéticos en las cercanías del Fiordo de Aysén. Actividad sísmica menor reportada recientemente.

Tabla 3.2. Resumen de evidencias neotectónicas. Elaboración propia.

3.4. SÍNTESIS DEL ESTILO CINEMÁTICO DE LA DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA

Tras haber presentado una gran variedad de evidencias para el área de estudio, se da a conocer en esta sección una síntesis que apunta a determinar los estilos de deformación predominantes en las tres zonas geográficas delimitadas con anterioridad: Chile central (32.8° – 36.2° S), Chile centro – sur (36.2° – 38.3° S) y Chile sur (38.3° – 47.5° S).

En base a las evidencias reportadas para la zona de antearco entre los 32.8° y 34.5° S predominan las fallas normales orientadas en dirección NW – SE y manteo al SW, correspondientes al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla (Fig. 3.33a), la Falla Topocalma y la Falla Pichilemu (Fig. 3.33b). En función del rumbo y la cinemática de dichas estructuras se puede interpretar que en este rango de latitud existe un campo de deformación extensional con esfuerzos orientados en dirección NE – SW. Alrededor de los 35° S aparece otra estructura de cinemática normal, la Falla Carranza, pero pese a que se ha reconocido como una falla normal no ha reportado evidencias de actividad reciente. Por el contrario, la estructura transcurrente que la acompaña (Fig. 3.33c) sí ha dado indicios que reflejan el comportamiento de una falla normal en tiempos antiguos (escarpes erosivos, terrazas marinas), lo que sumado a su disposición concordante al resto de fallas normales situadas al norte de la misma, sugieren que en esta sección del margen se mantiene el campo de deformación extensional mencionado anteriormente, aunque con una componente transcurrente subordinada.

Alrededor de los 37° S se mencionan las evidencias provistas para el Sistema de Fallas Santa María (SFSM), en su mayoría fallas inversas reactivadas en profundidad con variaciones importantes en el rumbo de las estructuras (*e.g.*, Melnick y otros 2012). No obstante, se puede apreciar un juego de fallas inversas orientadas en dirección NE – SW y manteo hacia el NW (Fig. 3.34a), lo que permite definir un régimen de acortamiento en dirección NW – SE, contrastando con el régimen de extensión mencionado en el párrafo anterior. Un poco más al sur, la aparición de las fallas Morguilla y Lanalhue (Fig. 3.34b), ambas estructuras de cinemática inversa orientadas en dirección NW – SE y manteo hacia el NE, consolidan la presencia de un campo de deformación de acortamiento en el sector pese a que la orientación de las mismas no concuerde con aquellas estructuras del SFSM mencionadas anteriormente. Adicionalmente, pero de manera muy localizada al sur de los 38° S, la Falla Lanalhue adquiere un comportamiento transcurrente dextral dada su

relación con el Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui (*e.g.*, Stefer, 2010), por lo que también estaría presente, aunque de manera muy localizada, un régimen transpresivo para esta estructura.

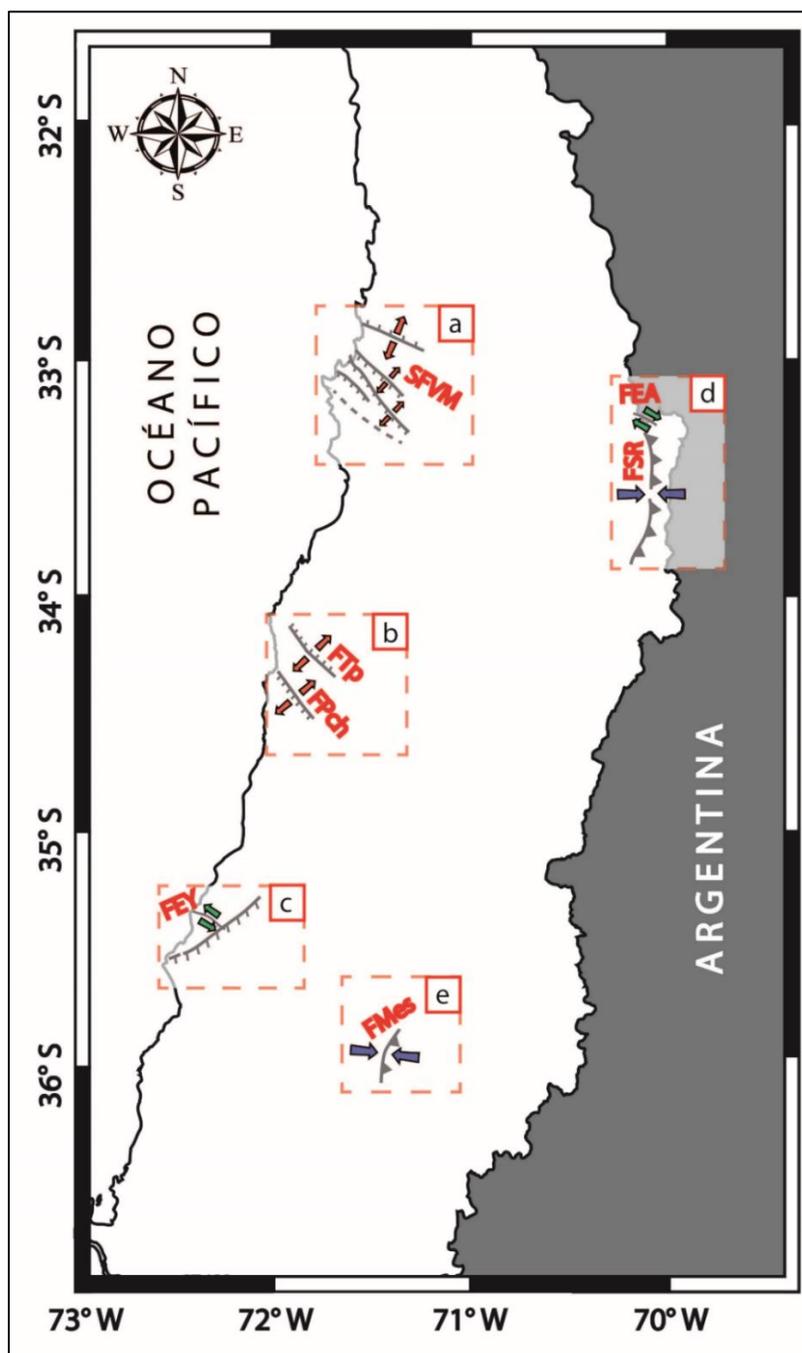


Fig. 3.33. Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile central. Se resaltan las estructuras más importantes, construyendo zonas de deformación que son explicadas el texto. Cada una de dichas estructuras va acompañada de un juego de flechas que representa el régimen tectónico predominante. **SFVM**: Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla; **FTp**: Falla Topocalma; **FPch**: Falla Pichilemu; **FEY**: Falla El Yolki; **FEA**: Falla El Arrayán; **FSR**: Falla San Ramón; **FMes**: Falla Mesamávida.

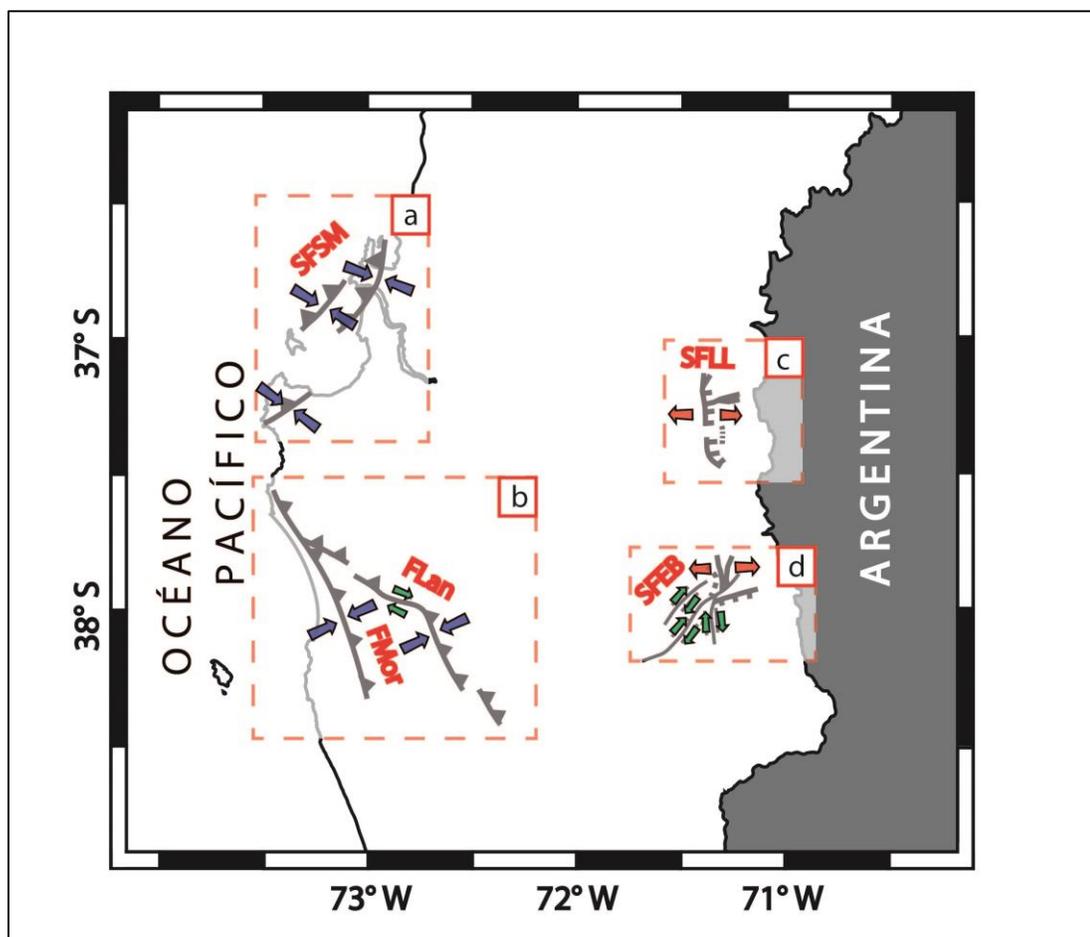


Fig. 3.34. Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile centro-sur. Se resaltan las estructuras más importantes, construyendo zonas de deformación que son explicadas el texto. Cada una de dichas estructuras va acompañada de un juego de flechas que representa el régimen tectónico predominante. **SFSM**: Sistema de Fallas Santa María; **FLan**: Falla Lanalhue; **FMor**: Falla Morguilla; **SFL**: Sistema de Fallas Lago Laja; **SFEB**: Sistema de Fallas El Barco.

Desde los 38.3°S hasta los 47°S el antearco carece de evidencias neotectónicas certeras, puesto que la única fuente de información confiable, correspondiente a la base de datos digital de las Fallas Activas de Chile (CHAF), le asocia un par de estructuras orientadas mayoritariamente en dirección E – W sin estilo de deformación definido; por consiguiente, no se puede saber el estilo cinemático dominante en dicho rango de latitud.

En base a las evidencias presentadas al interior del continente, específicamente en la transición Depresión Central – Cordillera Principal, la aparición de fallas inversas desde los 33° hasta los 37°S aproximadamente señalan que, a diferencia de lo que ocurre en el antearco, la tectónica compresiva es dominante. De todas las fallas inversas presentes en la Fig. 3.1, al comienzo de este capítulo, solamente las fallas San Ramón (Fig. 3.33d) y Mesamávida (Fig. 3.33e)

adquieren relevancia en este segmento puesto que ambas cuentan con evidencias de actividad sísmica contemporánea, las que han sido mencionadas en sus respectivas secciones. Acorde a la distribución de ambas fallas: N – S para la Falla San Ramón y NNE – SSW para la Falla Mesamávida, se puede generalizar un campo de deformación de acortamiento en este sector con esfuerzos orientados en dirección E – W. Adicionalmente, la aparición de la Falla El Arrayán (Fig. 3.33e), en las cercanías de la Falla San Ramón, cuenta con evidencias que respaldan actividad transcurrente contemporánea y presencia de fallas inversas a pequeña escala, por lo que en este caso también existiría un régimen transpresivo muy localizado.

Para el caso de las evidencias presentadas al interior de la Cordillera Principal, entre los 37° y 37.5°S, y de manera análoga a lo visto en el párrafo anterior, el Sistema de Fallas Lago Laja (Fig. 3.34c) presenta evidencias que difieren del estilo cinemático visto en el antearco para el mismo rango de latitud, en este caso señalando la presencia de un campo de deformación extensional con esfuerzos orientados en dirección E – W. Adicionalmente, este campo extensional difiere del campo mencionado en el párrafo anterior para las estructuras corticales de la zona de transición Depresión Central – Cordillera Principal de Chile central, pese a que la orientación de esfuerzos y la distribución de las estructuras principales se mantienen prácticamente iguales. El estilo de deformación si bien se mantiene extensional en gran parte de este segmento de la Cordillera Principal, al sur de los 38°S gradualmente es reemplazado por un comportamiento transtensivo dextral derivado de las evidencias mencionadas para el Sistema de Fallas El Barco (Fig. 3.34d), especialmente la cola de caballo (*horsetail*), que son asociadas a la terminación septentrional del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui (Melnick y otros, 2006).

Al sur de los 38°S y hasta el final del área de estudio (~47°S), las estructuras presentes en el intrarco se encuentran dominadas en su totalidad por el Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui (Fig. 3.35), ya sea por alguna de las ramas principales o por las fallas secundarias asociadas, lo que queda demostrado por la abundante evidencia presentada en la sección correspondiente, especialmente en el segmento septentrional de la misma. El comportamiento transcurrente dextral, característico de este sistema, puede ser apreciado en planos de fallas subverticales pertenecientes a las fallas principales del sistema, al igual que en planos de fallas de las ramas secundarias, estas últimas con menor grado de exposición. Adicionalmente, de manera subordinada se reportan fallas normales

adyacentes a conos volcánicos del sector (Osorno, Hornopirén), por lo que en su conjunto este dominio se encuentra afectado por un campo transtensivo dextral.

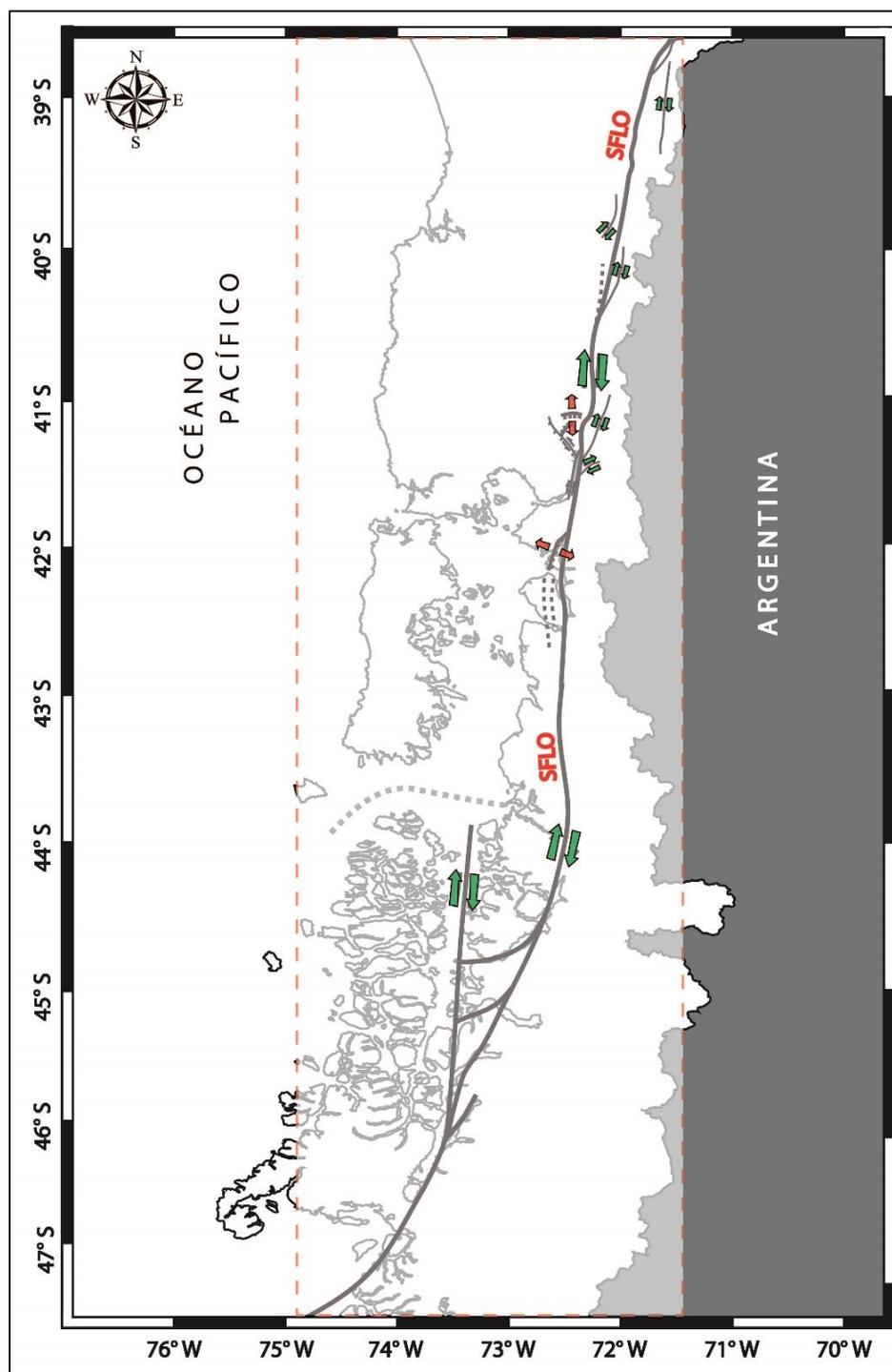


Fig. 3.35. Síntesis del estilo de deformación neotectónica para Chile sur. Se resalta la estructura de mayor relevancia a escala regional, la que es acompañada de un juego de flechas que representa el régimen tectónico predominante. **SFLO:** Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui.

4. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN

En este capítulo se calculan los campos de deformación producidos por terremotos de subducción, recientes y sintéticos, que han afectado el margen chileno entre los 31° y 46°S. Los terremotos recientes corresponden a rupturas que han ocurrido en alguna parte del planeta, cuya información sísmica, registrada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), puede ser plasmada en un modelo de deslizamiento, mediante la inversión de ondas telesísmicas o mediante el uso de datos geodésicos, para representar el historial de deslizamiento. Los terremotos sintéticos son rupturas simples, hipotéticas, que consideran las principales características geométricas y mecánicas de la zona interplaca, simulando escenarios capaces de generar extensión o acortamiento, factibles de ocurrir bajo ciertas condiciones y, al igual que los terremotos recientes, pueden ser representados en modelos de deslizamiento.

En este trabajo de memoria se consideran los siguientes terremotos recientes: Valdivia (1960), Maule (2010), Illapel (2015), Chiloé (2016) y Valparaíso (2017). También se consideran tres terremotos sintéticos los cuales buscan representar situaciones similares a aquellas de terremotos conocidos en las zonas correspondientes. Los tres terremotos sintéticos ocurren, respectivamente, entre los 32.5° – 35.5°S, 39° – 42°S y 42° – 47°S de latitud y la magnitud estimada para los mismos se ha fijado en torno a los Mw 8.5. La información y modelos asociados serán abordados a continuación.

4.1. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE VALDIVIA (1960)

De los cinco terremotos históricos mencionados anteriormente, la ruptura del terremoto de Valdivia es la de mayor dimensión, abarcando aproximadamente 1000 km de longitud (Moreno y otros, 2009) entre los 37° y 45°S (Fig. 4.1a). La zona de ruptura concentra deslizamientos de manera heterogénea a lo largo de este rango de latitud, encontrándose valores de *slip* sobre los 30 m en dos puntos específicos al norte y al sur de la localidad de Valdivia (Fig. 4.1a). *Peaks* de *slip* ocurren también entre los 43°S y 45°S.

Con el fin de visualizar campos de desplazamiento horizontales se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, resultando dos conjuntos de vectores representados por diferentes colores en la Fig. 4.1b. En ambos casos los vectores de deslizamiento se orientan en dirección NNE – SSW a

lo largo de la zona de ruptura, localmente en dirección E – W, esta última favorecida hacia el interior del continente.

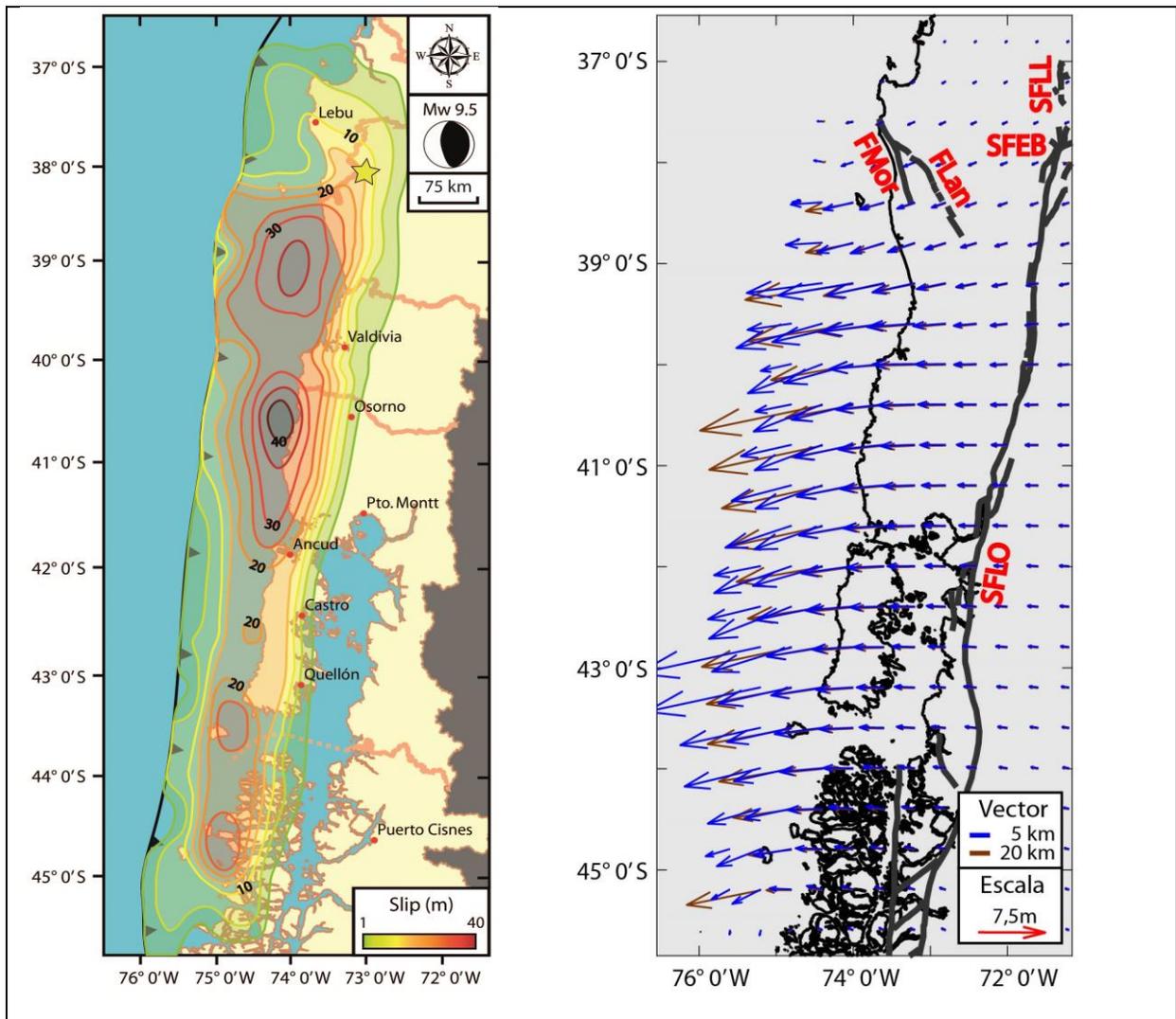


Fig. 4.1. Diagramas asociados al terremoto de Valdivia (1960). (a) Desplazamiento cosísmico y contornos de slip a 5 m (Moreno y otros, 2009) asociados al movimiento sísmico. La estrella señala el epicentro; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **FMor**: Falla Morguilla; **FLan**: Falla Lanalhue; **SFLL**: Sistema de Fallas Lago Laja; **SFEB**: Sistema de Fallas El Barco; **SFLO**: Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui.

En la zona de antearco la magnitud de los vectores varía notoriamente de norte a sur, alcanzando valores entre 4 y 10 m en la plataforma continental; entre 1.5 y 3.5 m aproximadamente en zonas costeras y la Isla Grande de Chiloé; y valores inferiores a 1 m al alejarse de la zona de ruptura, especialmente en las cercanías de los 37° y 45°S. Hacia el interior del continente, en cambio, la magnitud de los vectores es relativamente homogénea, pero de menor valor en comparación a aquellos de la zona de antearco con valores entre 1.5 y 2 m aproximadamente en la

Depresión Central y valores inferiores a 1.5 m en la transición entre esta y la Cordillera Principal (Fig. 4.1b). Al contrastar las magnitudes entre los vectores resultantes a 5 y 20 km de profundidad, existen pequeñas variaciones en la zona de ruptura, resaltando aquellos vectores obtenidos a 5 km de profundidad por sobre aquellos obtenidos a 20 km, diferencia que es imperceptible en el resto de la zona considerada entre los 37° y 46°S de latitud y 72° y 76°W de longitud.

El campo de deformación inducido por este terremoto generó, en líneas generales, extensión en la placa superior. En este sentido, se puede advertir que ocurrió extensión ortogonal al rumbo de las fallas Morguilla y Lanalhue. Hacia el interior del continente, si bien la extensión es muy reducida entre los 37° y 38°S, esta ocurre de manera oblicua, tanto para la estructura principal del Sistema de Fallas Lago Laja como para la estructura *horsetail* del Sistema de Fallas El Barco. Hacia el sur, en la zona de transición Depresión Central – Cordillera Principal, la disposición del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui revela que la extensión ocurre de manera ortogonal en relación a sus ramas principales, pero de manera oblicua para las estructuras secundarias a estas (Fig. 4.1b).

4.2. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DEL MAULE (2010)

La ruptura del terremoto del Maule es la segunda más grande que ha afectado el área, abarcando aproximadamente 500 km (Melnick y otros, 2019) de longitud entre los 34° y 38.5°S. La zona de ruptura concentra deformación a lo largo de tres zonas de deslizamiento, dos de las cuales alcanzan valores de *slip* cercanos a 10 m al sur del epicentro, mientras que la tercera, al norte de este, lo hace con valores sobre los 14 m (Fig. 4.2a).

Con el fin de visualizar campos de desplazamiento horizontales se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, resultando dos conjuntos de vectores representados por diferentes colores en la Fig. 4.2b. En ambos casos, los vectores de desplazamiento se orientan mayoritariamente en dirección E – W, localmente en direcciones NNE – SSW y NNW – SSE, con valores que varían aproximadamente entre 1 y 2 m en zonas costeras; entre 3 y 10 m en la plataforma continental; y valores inferiores a 1 m al alejarse de la zona de ruptura, especialmente cerca de los 34° y 38° de latitud. Hacia el interior del continente, tanto en la Depresión Central como en la transición entre esta y la Cordillera Principal, la magnitud de los vectores es relativamente homogénea, pero de menor valor en comparación a aquellos de la zona de antearco, con valores que varían aproximadamente entre 0.4 y 1.3 m aproximadamente en la Depresión Central, y entre 0.3 y 1.1 m

aproximadamente en la zona de transición (Fig. 4.2b). Al contrastar las magnitudes entre los vectores resultantes a 5 y 20 km de profundidad, estos presentan prácticamente los mismos valores con la única excepción de la zona que concentra los mayores desplazamientos (Fig. 4.2a), donde los vectores calculados a 5 km de profundidad son ligeramente más prominentes que aquellos calculados a 20 km (Fig. 4.2b).

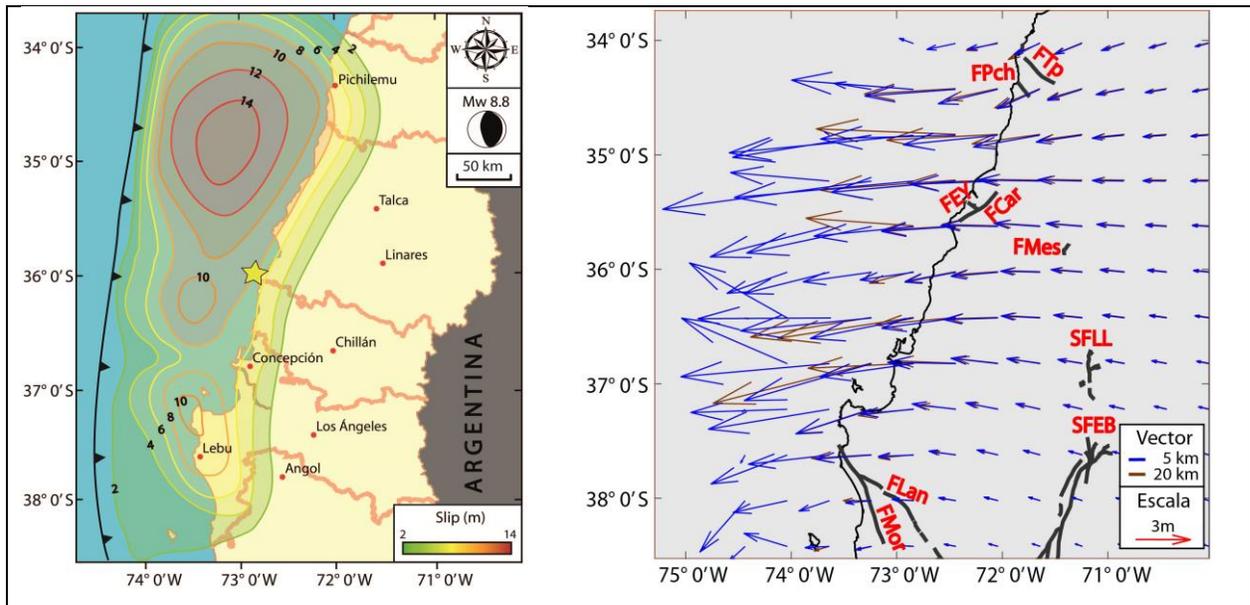


Fig. 4.2. Diagramas asociados al terremoto del Maule (2010). (a) Desplazamiento cosísmico y contornos de slip a 2 m (Moreno y otros, 2012) asociados al movimiento sísmico. La estrella señala el epicentro; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **FTp**: Falla Topocalma; **FPch**: Falla Pichilemu; **FEY**: Falla El Yolki; **FCar**: Falla Carranza; **FMes**: Falla Mesamávida; **FLan**: Falla Lanalhue; **FMor**: Falla Morguilla; **SFLl**: Sistema de Fallas Lago Laja; **SFEB**: Sistema de Fallas El Barco.

El campo de deformación inducido por este terremoto generó extensión en la totalidad de la zona de antearco y también hacia el interior del continente. En este sentido, se puede visualizar extensión ortogonal al rumbo de las fallas Topocalma y Pichilemu, mientras que para el caso de las fallas El Yolki, Carranza, Lanalhue y Morguilla, la extensión ocurre de manera oblicua al rumbo de las mismas. Por su parte, hacia el este, en la zona de transición Depresión Central – Cordillera Principal, se aprecia extensión de manera oblicua a la falla Mesamávida, la estructura principal del Sistema de Fallas Lago Laja y la estructura *horsetail* del Sistema de Fallas El Barco (Fig. 4.2b).

4.3. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE ILLAPEL (2015)

Un poco más al norte, entre los 30° y 32.5° de latitud, se localiza la ruptura del terremoto de Illapel estimada en 200 km de longitud aproximadamente (Ruiz y otros, 2016). La zona de

ruptura distribuye la deformación de manera homogénea, alcanzando valores de *slip* sobre 7 m adyacentes al epicentro en la zona interplaca bajo la plataforma continental cerca de los 31° de latitud, los cuales disminuyen de manera paulatina en todas las direcciones (Fig. 4.3a).

Con el fin de visualizar campos de desplazamiento horizontales se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, resultando dos conjuntos de vectores representados por diferentes colores en la Fig. 4.3b. En ambos casos, los vectores de desplazamiento se orientan en dirección E – W, localmente en direcciones NNE – SSW y NNW – SSE, con valores aproximados entre 0.3 y 0.8 m en zonas costeras; entre 0.3 y 1.3 m en los alrededores de la zona de ruptura; y valores inferiores a 0.3 m, tanto al interior del continente como en las proximidades de los 30° y 33° de latitud (Fig. 4.3b). En líneas generales, no existe una variación significativa en la magnitud de los vectores de desplazamiento vistos desde el norte hacia el sur con excepción de la zona comprendida entre los 31° y 32° de latitud y 72° y 72.5° de longitud, rango coincidente con los valores *peak* de desplazamiento (Fig 4.3a). Al contrastar las magnitudes entre los vectores resultantes a 5 y 20 km de profundidad, se puede apreciar que prácticamente no hay diferencia entre ellos, excepto en la zona donde se concentran los mayores desplazamientos, en la cual los vectores calculados a 5 km de profundidad resaltan ligeramente por sobre aquellos calculados a 20 km (Fig. 4.3b).

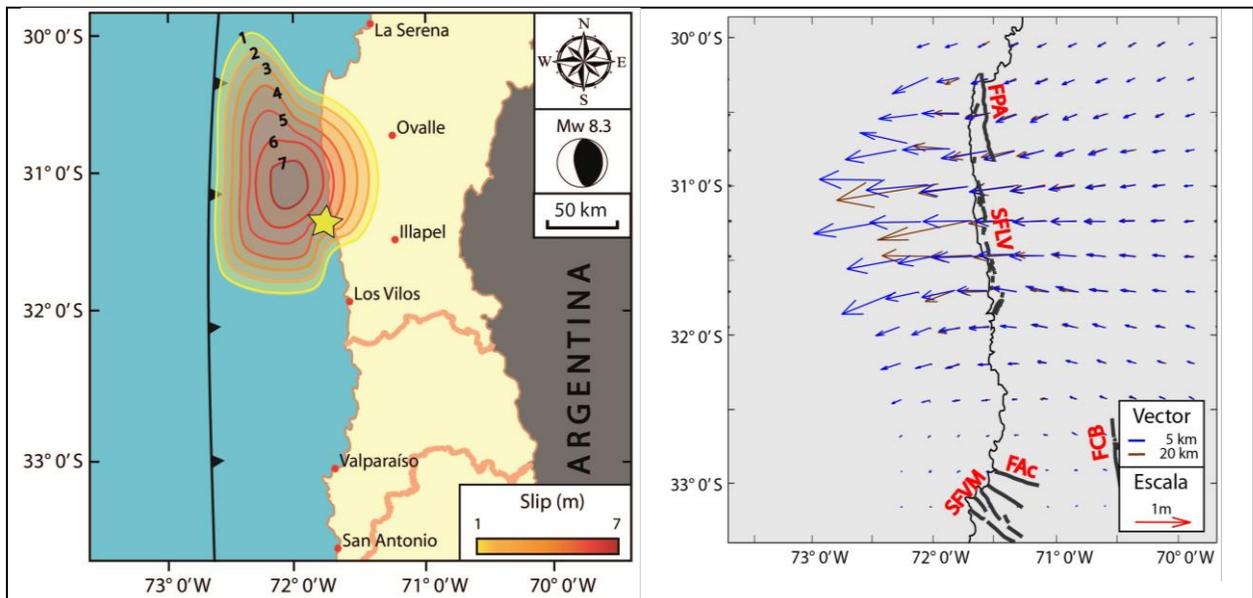


Fig. 4.3. Diagramas asociados al terremoto de Illapel (2015). (a) Desplazamiento cósmico y contornos de slip a 1 m (Shrivastava y otros, 2016) asociados al movimiento sísmico. La estrella señala el epicentro; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **FPA:** Falla Puerto Aldea; **SFLV:** Sistema de Fallas Los Vilos; **FAC:** Falla Aconcagua; **SFVM:** Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla; **FCB:** Falla Cariño Botado.

Similar a los casos anteriormente mencionados, el campo de deformación inducido por este terremoto generó extensión en la placa superior. Adicionalmente, debido a que este movimiento se desencadenó un poco más al norte del rango de latitud considerado para esta memoria (32.5° – 46.5° S), para el caso particular de esta ruptura se representan algunas estructuras que, si bien no fueron consideradas en la compilación de evidencias neotectónicas, se encuentran en áreas donde el terremoto de Illapel generó desplazamientos significativos (Fig. 4.3a). Por lo anterior, al analizar el mapa de vectores de desplazamiento junto a las estructuras presentes en el área, se puede apreciar que para el caso del antearco, la extensión ocurre de manera ortogonal al rumbo de la Falla Puerto Aldea y a las estructuras que forman parte del Sistema de Fallas Los Vilos (Fig. 4.3b). Para el resto de estructuras presentes en el mapa, la extensión es demasiado reducida para poder realizar un análisis significativo.

4.4. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE MELINKA (2016)

Bajo la Isla Grande de Chiloé, entre los 43° y 44° de latitud, está localizada la ruptura del terremoto de Melinka. El área afectada no alcanza los 100 km de longitud y los desplazamientos se presentan localizados en zonas puntuales, alrededor del epicentro, con valores de *slip* que alcanzan hasta 4 m en las cercanías del mismo (Fig. 4.4a).

Con el fin de visualizar campos de desplazamiento horizontales se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, resultando dos conjuntos de vectores representados por diferentes colores en la Fig. 4.4b. En líneas generales, los desplazamientos ocurren en dirección E – W y no existen mayores diferencias en la magnitud de los vectores, a excepción de la zona comprendida entre la Isla Grande de Chiloé y el resto de islas más pequeñas al sur. Se alcanzan valores *peak* cercanos al metro bajo la Isla de Chiloé en los 43.5° de latitud; valores que varían entre 0.2 y 0.6 aproximadamente hacia el interior del continente; y valores insignificantes en el resto de la zona considerada entre los 42.5° y 45° S de latitud y 72.5° y 75° W de longitud (Fig. 4.4b). Al contrastar los vectores obtenidos a 5 y 20 km de profundidad, como se mencionó anteriormente, no hay diferencia entre ellos, excepto en la zona que abarca los mayores desplazamientos (Fig. 4.4a), donde los vectores obtenidos a 20 km de profundidad sobresalen por sobre aquellos obtenidos a 5 km.

Similar a los terremotos presentados anteriormente, el campo de deformación asociado a este movimiento generó extensión, aunque de manera muy reducida, en la Cordillera Patagónica. Se puede visualizar que dicha extensión ocurre de manera ortogonal al rumbo de una de las fallas maestras del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui, aunque acotado exclusivamente en los 43.5° de latitud, mientras que en el resto del dominio esta ocurre de manera oblicua. La segunda falla maestra cuyo rumbo es N – S, que puede ser visualizada entre los 44° y 45° de latitud y 73.5° de longitud, no es receptora de ningún vector de desplazamiento (Fig. 4.4b).

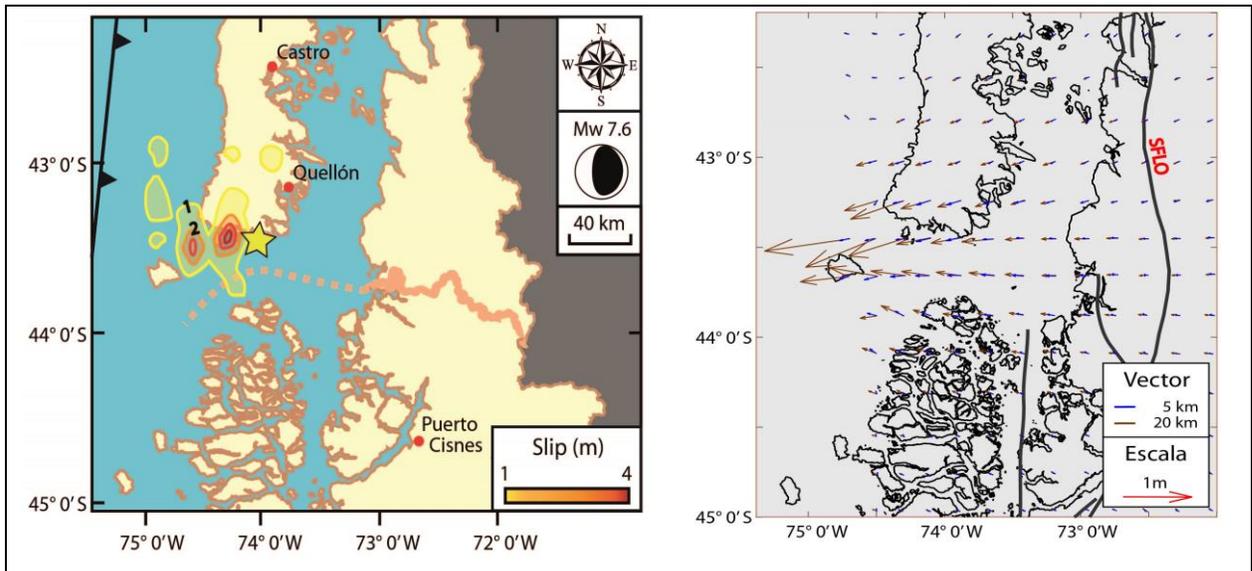


Fig. 4.4. Diagramas asociados al terremoto de Melinka (2016). (a) Desplazamiento cosísmico y contornos de slip a 1 m (Dietrich y otros, 2018) asociados al movimiento sísmico. La estrella señala el epicentro; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **SFLO**: Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui.

4.5. MODELO DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADO AL TERREMOTO DE VALPARAÍSO (2017)

El último evento, acotado a los 33° S, correspondiente al terremoto de Valparaíso, difiere un poco de los anteriores por dos razones: la primera, porque no se dispone de la información relativa a los contornos de *slip* por parte del USGS o artículos dedicados, solo se cuenta con la información asociada al *cluster* de sismicidad previo al sismo (Fig. 4.5a); y la segunda, porque es un movimiento sísmico inferior a Mw 7.0.

A diferencia del resto de terremotos presentados, para este caso en particular se hacen cálculos a 10 y 20 km de profundidad, debido a que al computar el campo de desplazamiento a 5

km de profundidad la información es tan escasa que prácticamente no se puede realizar un análisis. En líneas generales, los desplazamientos se orientan en dirección E – W y presentan valores significativamente menores en comparación a los sismos anteriormente mencionados, puesto que los vectores solo son apreciables en la zona de ruptura, con valores promedio de 0.3 m y un valor *peak* de 0.5 m; en el resto del área considerada, los desplazamientos son prácticamente inexistentes (Fig. 4.5b). Al contrastar la magnitud de los valores obtenidos a 10 y 20 km de profundidad, estos solo presentan diferencias en la zona que concentra la sismicidad (Fig. 4.5a) y aquí los vectores obtenidos a 20 km sobresalen por sobre aquellos obtenidos a 10 km (Fig. 4.5b).

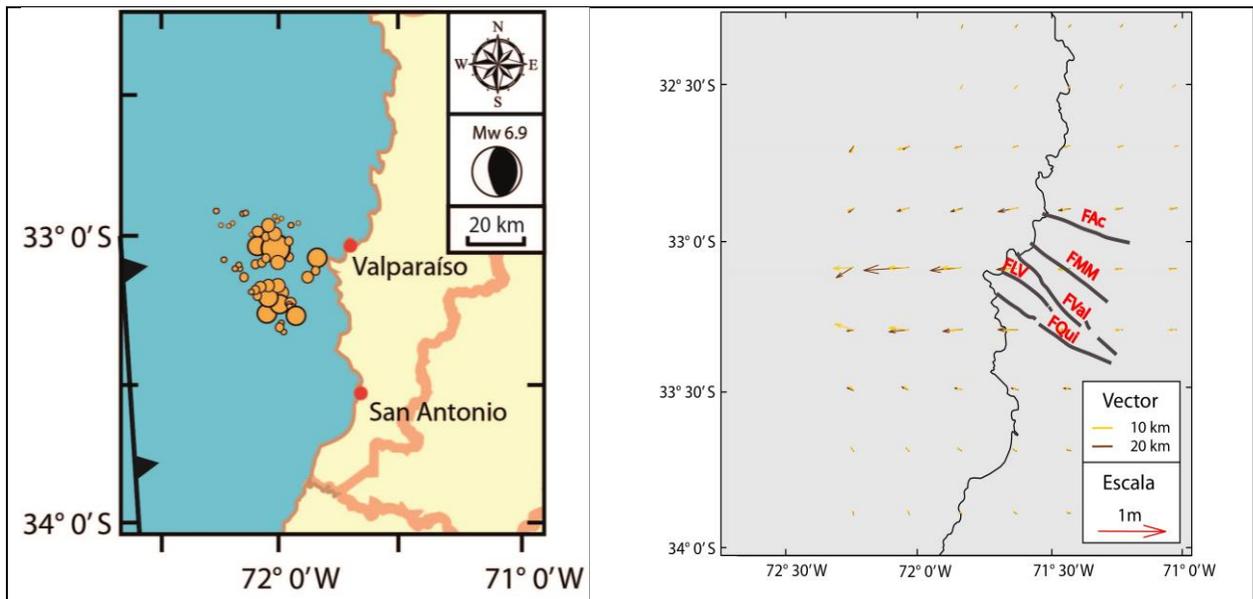


Fig. 4.5. Diagramas asociados al terremoto de Valparaíso (2017). (a) Localización de los epicentros del evento sísmico (Nealy y otros, 2017). El tamaño de los círculos representa cualitativamente la magnitud de los mismos; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **FAC:** Falla Aconcagua; **FMM:** Falla Marga–Marga; **FVal:** Falla Valparaíso; **FLV:** Falla Laguna Verde; **FQui:** Falla Quintay.

El campo de deformación inducido por este movimiento generó extensión en una porción acotada de la zona de antearco, específicamente en torno a los 33° de latitud como se puede apreciar en la Fig. 4.5b. Dicha extensión ocurre de manera oblicua a cada una de las fallas que conforman el Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla, al igual que a la Falla Aconcagua, las únicas estructuras neotectónicas presentes en esta zona (Fig. 4.5b).

4.6. MODELOS DE DESPLAZAMIENTO ASOCIADOS A TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN SINTÉTICOS

En adición a las simulaciones de terremotos conocidos, tal como se mencionó al inicio de este capítulo, se han construido y evaluado tres situaciones hipotéticas dentro del rango de latitud del área de estudio.

4.6.1. Ruptura sintética 1 (RS1; 32.5° – 35.5°S)

El primer escenario ficticio busca simular un movimiento sísmico de magnitud Mw 8.6. La zona de ruptura abarca aproximadamente una longitud de aproximadamente 350 km (Fig. 4.6a) entre los 32.5° y 35.5° de latitud. Para efectos de la simulación, se asume una distribución homogénea de los deslizamientos y un *slip* cosísmico igual a 10 m a lo largo de la zona de ruptura.

Con el fin de visualizar campos de desplazamientos, análogos a aquellos de los terremotos conocidos, se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad los cuales quedan representados por diferentes colores en la Fig. 4.6b.

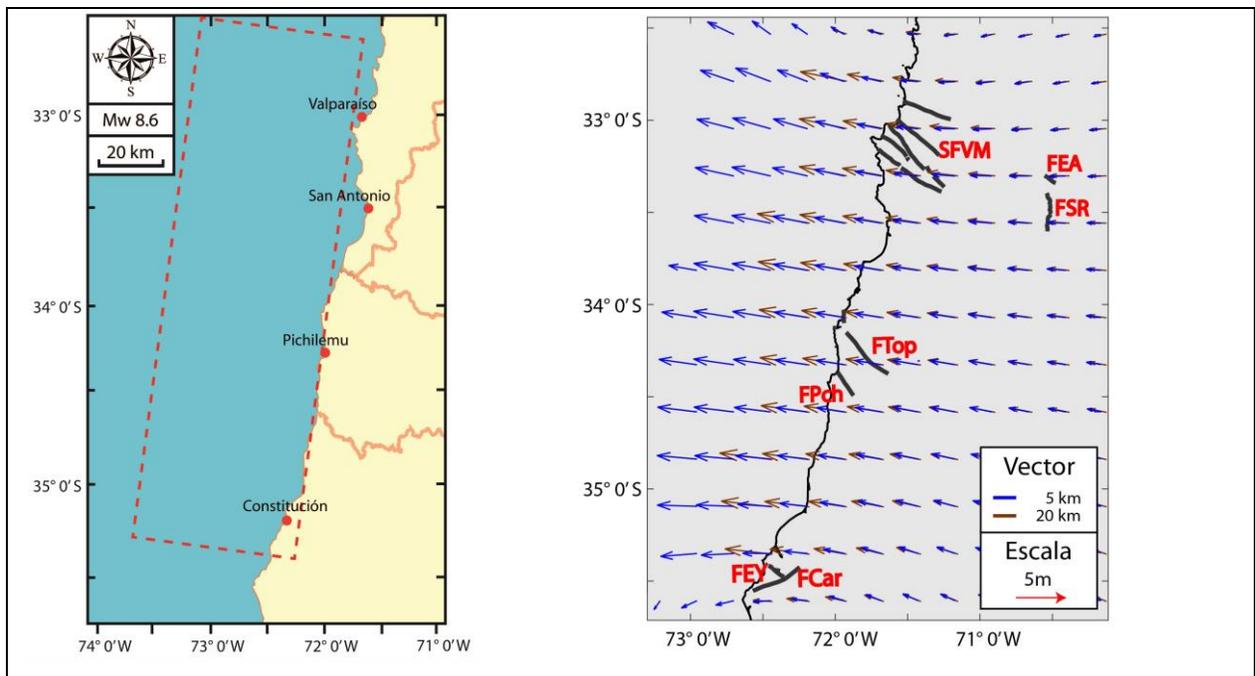


Fig. 4.6. Diagramas asociados al primer escenario ficticio. (a) Localización aproximada del área afectada en el primer escenario considerado. El polígono en línea segmentada corresponde a la zona de ruptura; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **SFVM**: Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla; **FEA**: Falla El Arrayán; **FSR**: Falla San Ramón; **FTop**: Falla Topocalma; **FPch**: Falla Pichilemu; **FEY**: Falla El Yolki; **FCar**: Falla Carranza.

En ambos casos, y en líneas generales, la distribución de los vectores es homogénea de norte a sur, estando estos orientados en dirección E – W, localmente NNW – SSE, con valores promedio que alcanzan aproximadamente 3 ~ 4 m en la parte más externa del antearco; 2 m en la zona comprendida por la Depresión Central; 1 ~ 2 m en la Cordillera Principal; y valores inferiores en el resto del área considerada entre los 32.5° y 35.5°S de latitud y 70.5° y 73°W de longitud (Fig. 4.6b). Al contrastar la magnitud de los vectores obtenidos a 5 y 20 km de profundidad, en la zona de antearco sobresalen mayoritariamente aquellos vectores obtenidos a 5 km por sobre los de 20 km, mientras que hacia el interior del continente la diferencia entre ambos es imperceptible.

Este movimiento, de manera muy generalizada, provoca extensión en el antearco. En relación a las estructuras neotectónicas presentes, para el caso de las fallas pertenecientes al Sistema de Fallas Valparaíso–Melipilla (SFVM), además de las fallas Topocalma, Pichilemu, Carranza y El Yolki, la extensión ocurre de manera oblicua sin excepciones a los rumbos de todas las fallas anteriormente mencionadas. Para la zona comprendida por la transición Depresión Central – Cordillera Principal, en cambio, la extensión ocurre de manera ortogonal al rumbo de la falla San Ramón (SR) y de manera oblicua al rumbo de la Falla El Arrayán (EA) (Fig. 4.6b).

4.6.2. Ruptura sintética 2 (RS2; 39° – 42°S)

El segundo escenario ficticio trata de simular un movimiento sísmico de magnitud Mw 8.7. La ruptura asociada a este movimiento comprende una longitud aproximada de 330 km (Fig. 4.7a) entre los 39° y 42° de latitud. Para efectos de la simulación, se asume una distribución homogénea de los desplazamientos y un *slip* cosísmico de 20 m a lo largo de la zona de ruptura.

Con el fin de visualizar campos de desplazamientos análogos a aquellos de los terremotos conocidos, se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, representados por diferentes colores en la Fig. 4.7b. En ambos casos, la distribución de los vectores es homogénea de norte a sur y la orientación de los mismos ocurre en dirección E – W, localmente NNW – SSE, alcanzando valores promedio de 4 m a lo largo de la línea de costa, los cuales disminuyen hacia el interior del continente y son prácticamente inexistentes a la altura de la Cordillera Principal (Fig. 4.7b). En líneas generales, al contrastar la magnitud de los vectores obtenidos a 5 y 20 km de profundidad, aquellos obtenidos a 5 km resaltan más que aquellos obtenidos a 20 km de profundidad,

especialmente en la zona de antearco, donde la diferencia se vuelve más notoria a medida que se avanza en dirección al mar.

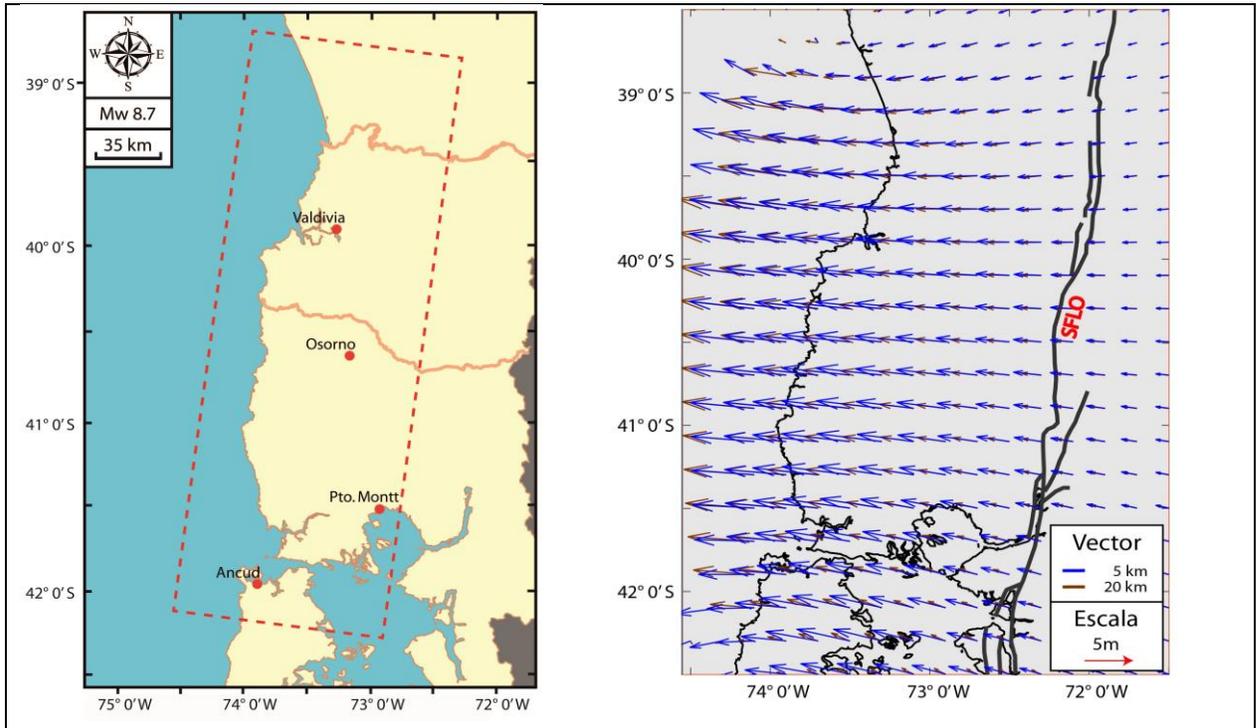


Fig. 4.7. Diagramas asociados al segundo escenario ficticio. (a) Localización aproximada del área afectada en el segundo escenario considerado. El polígono en línea segmentada corresponde a la zona de ruptura; (b) Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. SFLO: Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui.

De manera muy generalizada, este movimiento provoca extensión en la Cordillera Patagónica. La estructura neotectónica principal presente en este rango de latitud corresponde a la sección septentrional del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (SFLO), respecto de la cual dicha extensión ocurre de manera ortogonal, tanto a la traza principal como a aquellas secundarias a esta, con una excepción alrededor de los 39°S donde ocurre de manera oblicua.

4.6.3. Ruptura sintética 3 (RS3; 42° – 47°S)

El último escenario ficticio simula un movimiento sísmico de magnitud Mw 8.5. La ruptura asociada a este movimiento comprende una longitud aproximada de 500 km (Fig. 4.8a) entre los 42° y 47° de latitud. Para efectos de la simulación, se asume una distribución homogénea de los desplazamientos y un *slip* cosísmico de 10 m a lo largo de la zona de ruptura, esto último tomando en consideración la distribución de *slip* del terremoto de Valdivia (Fig. 4.1b).

Con el fin de visualizar campos de desplazamientos análogos a aquellos de los terremotos conocidos, se hacen cálculos a 5 y 20 km de profundidad, representados por diferentes colores en la Fig. 4.8b.

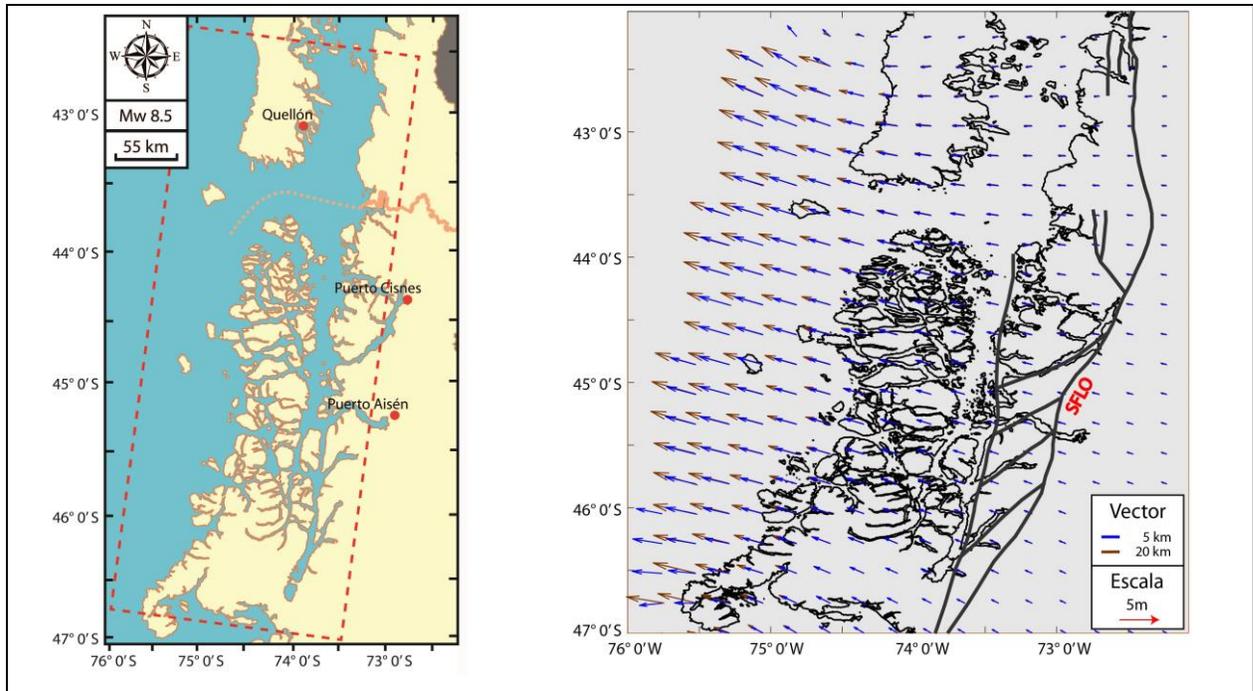


Fig. 4.8. Diagramas asociados al tercer escenario ficticio. (a) Localización aproximada del área afectada en el tercer escenario considerado. El polígono en línea segmentada corresponde a la zona de ruptura; **(b)** Magnitud y sentido de los vectores de desplazamiento a diferentes profundidades. **SFLO:** Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui.

En ambos casos, la distribución de los vectores es homogénea de norte a sur y la orientación de los mismos ocurre en dirección NNW – SSE, localmente E – W, tanto en el antearco como al interior del continente (Fig. 4.8b). La magnitud de los vectores alcanza en promedio 3 m en la zona de ruptura; aproximadamente 1 m en la zona de antearco; y valores inferiores a 1 m en la zona de la Cordillera Patagónica. En líneas generales, al contrastar la magnitud de los vectores obtenidos a 5 y 20 km de profundidad no existen mayores diferencias, a excepción de la zona comprendida desde los 42° hasta los 47° de latitud y desde los 75° hasta los 76° de longitud, donde se puede apreciar que los vectores obtenidos a 20 km de profundidad destacan por sobre aquellos obtenidos a 5 km (Fig. 4.8b).

Similar al caso anterior, la única estructura presente en este rango de latitud es la sección meridional del SFLO, y respecto a esta, ocurre extensión de manera ortogonal a las ramas principales y de manera oblicua a las ramas secundarias (Fig. 4.8b).

5. DISCUSIÓN

5.1. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y TERREMOTOS DE SUBDUCCIÓN

Los terremotos desencadenados en la zona de subducción pueden ser considerados procesos geológicos capaces de acomodar deformación a corto plazo en un sector determinado, por consiguiente, la etapa cosísmica del ciclo de los terremotos de subducción puede jugar un factor preponderante en la reactivación de estructuras (*e.g.*, Gomberg & Sherrod, 2014). Si bien la relación entre el ciclo de los terremotos de subducción y la actividad sísmica en estructuras corticales jóvenes (reactivación) no está completamente definida, diversos artículos y publicaciones reportan que dicha relación existe en diferentes zonas de antearco a lo largo del planeta (*e.g.*, Chlieh y otros, 2007; Nicol & Wallace, 2007; Kodaira y otros, 2012), incluyendo dentro de estas al antearco chileno y que son respaldadas por las evidencias presentadas en la presente memoria (*e.g.*, Delouis y otros, 1998; Farías y otros, 2011; Moreno y otros, 2011; 2012; Aron y otros, 2012, 2015b; Melnick y otros, 2012; Lieser y otros, 2014; González y otros, 2015; Cortés–Aranda y otros, 2021). Siguiendo esta premisa, hay dos ideas claves pertinentes a la reactivación de fallas corticales: (1) la disposición de las estructuras corticales debe orientarse favorablemente respecto al campo de deformación inducido por el terremoto de subducción (*e.g.*, Aron y otros 2013, 2015b); (2) el *peak* de deslizamiento (*slip*) de un terremoto de subducción debe ocurrir en las cercanías de una falla cortical dada (*e.g.*, Aron y otros, 2015b). En los siguientes párrafos se discute cómo se distribuyen los campos de desplazamiento, inducidos por los terremotos de subducción modelados, con respecto a los campos de deformación neotectónicos definidos en base a la distribución y cinemática de fallas corticales en el área de estudio. Además, en base a lo anterior, y bajo la premisa de que las fallas corticales son capaces de generar terremotos de magnitud igual o superior a M_w 7.0, se discute cuáles de estas estructuras serían más susceptibles de experimentar reactivación de manera contemporánea con los terremotos de subducción considerados.

Acorde a la información provista al final del capítulo 3 de la presente memoria, se generalizó una tectónica extensional en dirección NE – SW (Fig. 3.33) para las estructuras corticales de Chile central (32.8° – 36.2° S) distribuidas entre la Plataforma Continental y la Cordillera de la Costa. Dentro de este rango de latitud, acorde a la información provista en el capítulo 4, se proponen las rupturas de los terremotos de Maule (2010), Valparaíso (2017) y uno

de los escenarios ficticios (RS1) como fuentes potenciales de actividad sísmica (Figs. 4.2a y 4.5a). Analizando la disposición de los vectores de desplazamiento (inducidos por los terremotos anteriormente mencionados) respecto a la disposición (rumbo) de las principales estructuras, el campo de deformación inducido por el terremoto del Maule es, en líneas generales, oblicuo a la dirección de las fallas neotectónicas presentes en Chile central, con la única excepción del sector comprendido en los alrededores de las fallas Pichilemu y Topocalma (Fig. 4.2b) donde es ortogonal a la dirección de las mismas. Para el caso del terremoto del año 2017 no se generó un campo de deformación dada su naturaleza de secuencia sísmica intensa (Nealy y otros, 2017). En el caso del escenario ficticio, el campo de deformación inducido es oblicuo a la dirección de las fallas sin excepciones (Fig. 4.6b). Por consiguiente, al no disponer de un campo de deformación, el movimiento sísmico del año 2017 difícilmente puede favorecer la reactivación de estructuras corticales. El campo de deformación atribuido al terremoto del Maule, por el contrario, sí puede favorecer reactivación para determinadas estructuras corticales considerando la zona donde la orientación de los vectores del campo de deformación coincide con la dirección de los esfuerzos generalizados para las fallas Pichilemu y Topocalma (Fig. 3.33). El terremoto sintético, pese a que no muestra concordancias entre la orientación de los vectores del campo de deformación y la dirección de esfuerzos de las fallas neotectónicas, resalta una característica que no cumplen los terremotos mencionados anteriormente: una zona de ruptura que abarca la totalidad de la zona de Chile central. Acorde a la segmentación tectónica (Fig. 5.1) propuesta por Molina y otros (2021), en Chile central priman los segmentos tectónicos de Valparaíso y Maule, separados por una barrera sísmica a la altura de Pichilemu, no obstante, el terremoto del año 1730 fue capaz de atravesar dicha barrera sísmica y afectar por completo Chile central, algo que esta ruptura sintética buscó reproducir aunque con menor magnitud. Si hubiese que generalizar, se propone que reiterados terremotos con las dimensiones longitudinales del escenario sintético y una profundidad y magnitud similar al del Maule podrían explicar el estilo de deformación presente en Chile central en su totalidad debido a que no existe diferencia en la orientación y estilo de deformación entre las fallas corticales al norte (SFVM) y sur (fallas Pichilemu y Topocalma) de la barrera sísmica mencionada. Se considera exclusivamente el terremoto del Maule por dos razones: (1) es el único terremoto posterior al de Valparaíso (1730) que ha traspasado por completo la barrera sísmica (*e.g.*, Molina y otros, 2021); (2) se cuenta con indicios de reactivación sísmica por parte de la Falla Pichilemu tras el sismo (Farías y otros, 2011; Aron y otros, 2015b).

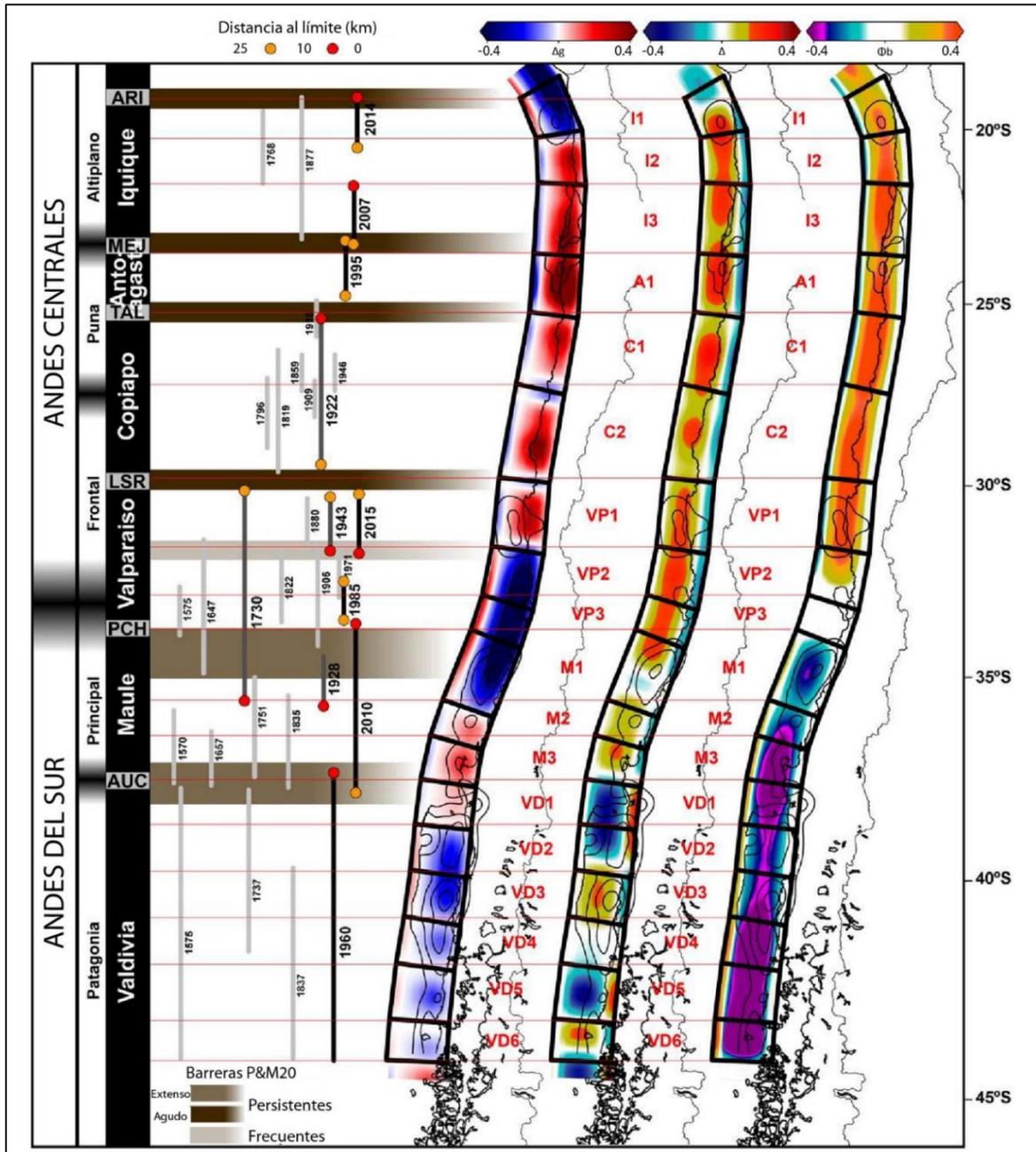


Fig. 5.1. Modelo de segmentación tectónica del antearco chileno. Los segmentos quedan delimitados por polígonos negros localizados a la derecha de la figura y que van acompañados por un acrónimo derivado del sismo que les da origen. El modelo contempla tres tipos de información: anomalía residual de gravedad (Δg), grado de bloqueo intersísmico (Δ) y fricción basal (Φb). A la izquierda de la imagen se representa la zona de ruptura de grandes sismos junto a las subdivisiones de la segmentación orogénica propuesta por Tassara & Yáñez (2003). Figura extraída y modificada de Molina y otros (2021).

En lo que respecta a la profundidad promedio de todos los terremotos considerados: 23 km para el sismo del Maule, 28 km para el sismo de Valparaíso (2017) y 40 km para el escenario ficticio (RS1), se pueden definir dos clases de terremotos en base a la clasificación por dominio de

ruptura (Fig. 5.2) de Lay y otros (2012) para Chile central: terremotos tipo B (Valparaíso 2017 y Maule) y terremotos tipo C (RS1). Incluyendo esta información con la discusión en curso se puede concluir que reiterados movimientos sísmicos clase B con una longitud de ruptura similar a la propuesta en el escenario sintético serían más factibles de explicar el estilo de deformación presente en Chile central y la actividad neotectónica de las fallas corticales en el antearco.

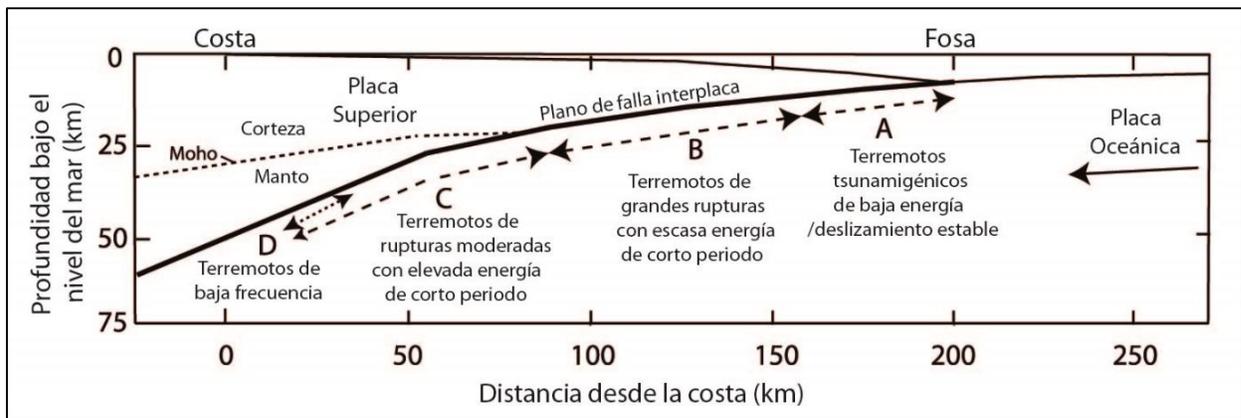


Fig. 5.2. Dominios de ruptura de los terremotos de subducción. (a) Dominio cercano a la fosa caracterizado por deformación anelástica y terremotos tsunamigénicos, (b) Dominio central caracterizado por grandes movimientos sísmicos, (c) Dominio subyacente caracterizado por sismos de intensidad moderada, (d) Dominio de transición caracterizado por sismos de baja frecuencia, temblores sísmicos y deslizamientos lentos. Figura extraída y modificada de Lay y otros (2012).

Para las estructuras corticales de Chile centro – sur ($36.2^{\circ} - 38.3^{\circ}\text{S}$), distribuidas entre la Plataforma Continental y la Cordillera de la Costa, se generalizó una tectónica de acortamiento en dirección NE – SW (Fig. 3.34). Dentro de este rango de latitud, acorde a la información provista en el capítulo 4, se proponen la ruptura del terremoto de Valdivia (1960) y Maule (2010) como fuentes de actividad sísmica dentro del sector (Figs. 4.1a y 4.2a). No se confeccionaron escenarios sintéticos para esta zona en particular debido a que el terremoto del Maule liberó gran parte de la energía elástica acumulada desde el terremoto de Concepción (1835), cerrando la laguna sísmica presente en el sector (Moreno y otros, 2011). El campo de deformación inducido por el sismo de Valdivia es ortogonal a la dirección de las fallas neotectónicas en las cercanías de las fallas Morguilla y Lanalhue (Fig. 4.1b), mientras que el campo de deformación inducido por el sismo del Maule es, de manera generalizada, oblicuo a la dirección de las estructuras (Fig. 4.2b) salvo en los alrededores de la Falla Morguilla donde es ortogonal. Similar a lo que ocurre para la zona de Chile central, existen dos dominios tectónicos separados por una barrera sísmica acorde a la segmentación de Molina y otros (2021), en este caso a la altura de Arauco (Fig. 5.1), una zona que

se caracteriza por una compleja tectónica (*e.g.*, Melnick y otros, 2006). Se sabe por parte de artículos y publicaciones que solamente una parte del Sistema de Fallas Santa María tuvo actividad en el denominado *splay* Santa María, durante y momentos posteriores al terremoto del Maule (Melnick y otros, 2012), con actividad de fallas normales en superficie y en fondo marino; en lo que concierne al sismo de Valdivia, no se cuenta con documentación que afirme actividad en estructuras corticales cercanas pese a la concordancia entre el campo de deformación y la dirección de los esfuerzos en las fallas neotectónicas anteriormente mencionadas. Pese a lo anterior, se sabe por parte de Melnick y otros (2009) que las fallas Morguilla y Lanalhue experimentaron microsismicidad años previos al sismo del Maule. En lo que concierne a la actividad del *splay* Santa María, Melnick y otros (2012) asocian las rupturas anteriormente mencionadas al crecimiento de un pliegue anticlinal situado sobre una falla inversa ciega en profundidad (Fig. 5.3), por lo que, técnicamente, se podría considerar que el terremoto del Maule favoreció la reactivación cortical en esta porción del antearco, no obstante, debido a la complejidad en la disposición de estructuras del Sistema de Fallas Santa María (Fig. 3.17), sumado a que la orientación de los vectores de desplazamiento no es concordante con la dirección de los esfuerzos generalizados para la Isla Santa María (Fig. 3.34), no se puede validar con certeza esta hipótesis. Con todo lo anterior, se cuestiona entonces si efectivamente esta disposición ortogonal entre la orientación de los vectores del campo de deformación y la orientación de las estructuras neotectónicas puede considerarse como el único factor que determina reactivación cortical en estructuras ya que ambos terremotos tienen una estructura en común, la Falla Morguilla, sobre la cual existe esta concordancia, pero no hay evidencias de reactivación por parte de la misma.

Un dato interesante pertinente a las estructuras corticales del antearco, tanto en el norte como en el centro de Chile, es que predomina la tectónica extensional por sobre la de acortamiento siendo el caso de Chile centro – sur la excepción a la regla. En este sentido, Aron y otros (2015b) reportan que en la mayoría de las rupturas cosísmicas la tectónica resultante en la zona de antearco es de carácter extensional, relegando las tectónicas compresivas y transcurrentes, que ocurren con mayor frecuencia en la etapa intersísmica, a la cuña interior del antearco. Esto podría utilizarse como argumento para explicar la nula actividad de las fallas inversas posterior al sismo de Valdivia, pero también contradice la actividad reportada por Melnick y otros (2012) en el Golfo de Arauco posterior al terremoto del Maule. Una posible explicación a esto último puede encontrarse en los argumentos de Li y otros (2014) donde la tectónica de acortamiento resultante en los sistemas tipo

splay, como el que afecta a los alrededores de la Isla Santa María (e.g., Maldonado y otros, 2020), es consecuencia directa de la ocurrencia del terremoto de subducción en niveles más profundos respecto de la estructura en cuestión, característica que se cumple tanto para este caso (e.g., Melnick y otros, 2012, Fig. 1c) como para otros a nivel mundial. Dado que el SFMS es el único caso con este tipo de tectónica en el antearco chileno, puede entonces concluirse que, pese a lo que mencionan Aron y otros (2015b), en la zona de antearco también puede desarrollarse acortamiento acorde al contexto tectónico de la región, aunque muy condicionada y relegada a la parte más externa del mismo.

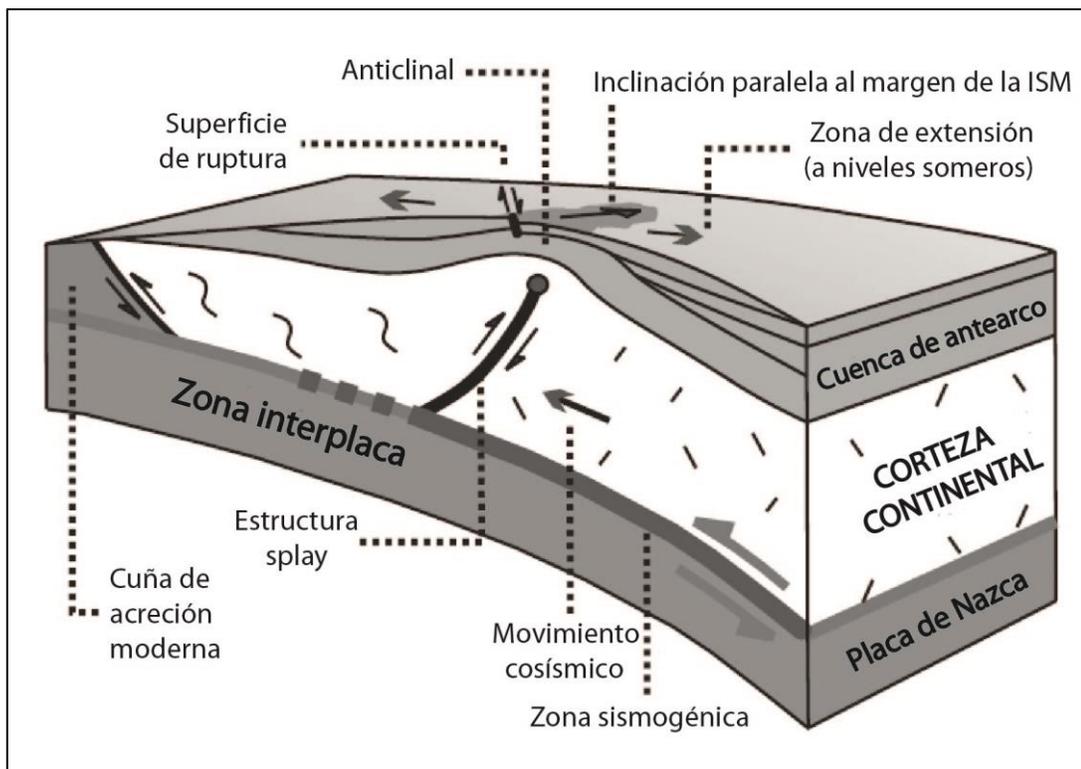


Fig. 5.3. Modelo cortical propuesto para la zona de antearco del Golfo de Arauco. ISM: Isla Santa María. Modificado de Melnick y otros (2012).

Para el caso de las estructuras situadas en el límite Depresión Central – Cordillera Principal, así como de aquellas al interior de esta última, todos los terremotos mencionados en los párrafos anteriores son considerados fuentes potenciales de reactivación sísmica, aunque se incluyen también a los terremotos de Melinka y los dos escenarios sintéticos restantes (RS2) y (RS3) debido a su influencia en Chile sur (Figs. 4.4, 4.7 y 4.8). En el caso de Chile central, la dirección de esfuerzos generalizada (Fig. 3.33) es coincidente con la dirección de los vectores del campo de deformación inducido por dos terremotos: en primer lugar el del Maule (Fig. 4.2b) para la falla

Mesamávida y en segundo lugar el del primer escenario sintético (Fig. 4.6b) para los alrededores de la falla San Ramón. Para Chile centro – sur, los terremotos de Valdivia y Maule son los únicos cuyos campos de deformación afectan a las estructuras del interior de la Cordillera Principal (Figs. 4.1b y 4.2b), pero en el primer caso no existe concordancia entre la orientación de los vectores y la dirección de los esfuerzos, mientras que en el segundo se puede argumentar coincidencia para los alrededores del Sistema de Fallas Lago Laja debido a que la variación es muy pequeña (Fig. 4.2b). En Chile sur, cuatro de los terremotos considerados (Valdivia, Melinka, RS2 y RS3) producen campos de deformación capaces de afectar a las ramas principales del Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui, pero la magnitud de los vectores es muy pequeña y no hay coincidencias con el campo de deformación. Una particularidad que contrasta las estructuras de estas “zonas internas” con aquellas presentes en el antearco es la distancia existente entre el epicentro del sismo y la localización de las estructuras de interés, rasgo que se ve reflejado en una disminución significativa de la magnitud de los vectores de deformación en los diferentes campos inducidos. Por lo anterior, se cuestiona si la influencia de procesos geológicos a corto plazo (terremotos de subducción) es un factor relevante en la reactivación de estas estructuras corticales. Un argumento en base a lo anterior se sustenta en la nula actividad cosísmica por parte de las estructuras a los pies de la Cordillera Principal (fallas San Ramón y Mesamávida) y aquellas paralelas al arco volcánico (Sistemas de fallas Lago Laja y El Barco) presentes en Chile centro y centro – sur tras los terremotos de subducción más recientes, lo que concuerda con lo mencionado por Klotz y otros (2006) respecto a las características de esta zona frente a la etapa cosísmica del ciclo (Fig. 5.4).

La Falla San Ramón, por ejemplo, tiene un historial de estudios asociados a su potencial sismogénico (*e.g.*, Armijo y otros, 2010, Pérez y otros, 2014) y se ha reconocido como una estructura activa en la actualidad, pero no manifestó actividad sísmica tras la ruptura del terremoto del Valparaíso (1985), o al menos no está documentada, y definitivamente no está dentro del área de deformación de la ruptura del sismo del Maule (2010), el segundo evento sísmico de mayor magnitud reportado hasta la fecha; similarmente, las estructuras del Sistema de Fallas Lago Laja no experimentaron actividad tras el sismo del Maule y estas se encuentran dentro del área de deformación del mismo. Se puede afirmar entonces que la distancia entre la estructura receptora y el epicentro es un factor clave en la reactivación de estructuras. Algunos trabajos enfocados en los cambios de estrés (*e.g.*, Klotz y otros, 2006; Aron y otros, 2013, 2015b; Cortés–Aranda y otros, 2021) parecen indicar que, pese a la distancia entre la fuente y la estructura receptora, existe una

perturbación en el campo de estrés asociado a las fallas corticales por lo que, posiblemente, podrían experimentar reactivación con el paso del tiempo independiente de la distancia. Se puede concluir entonces que para este tipo de estructuras, la posibilidad de reactivación cosísmica es incierta, pero al mismo tiempo no improbable.

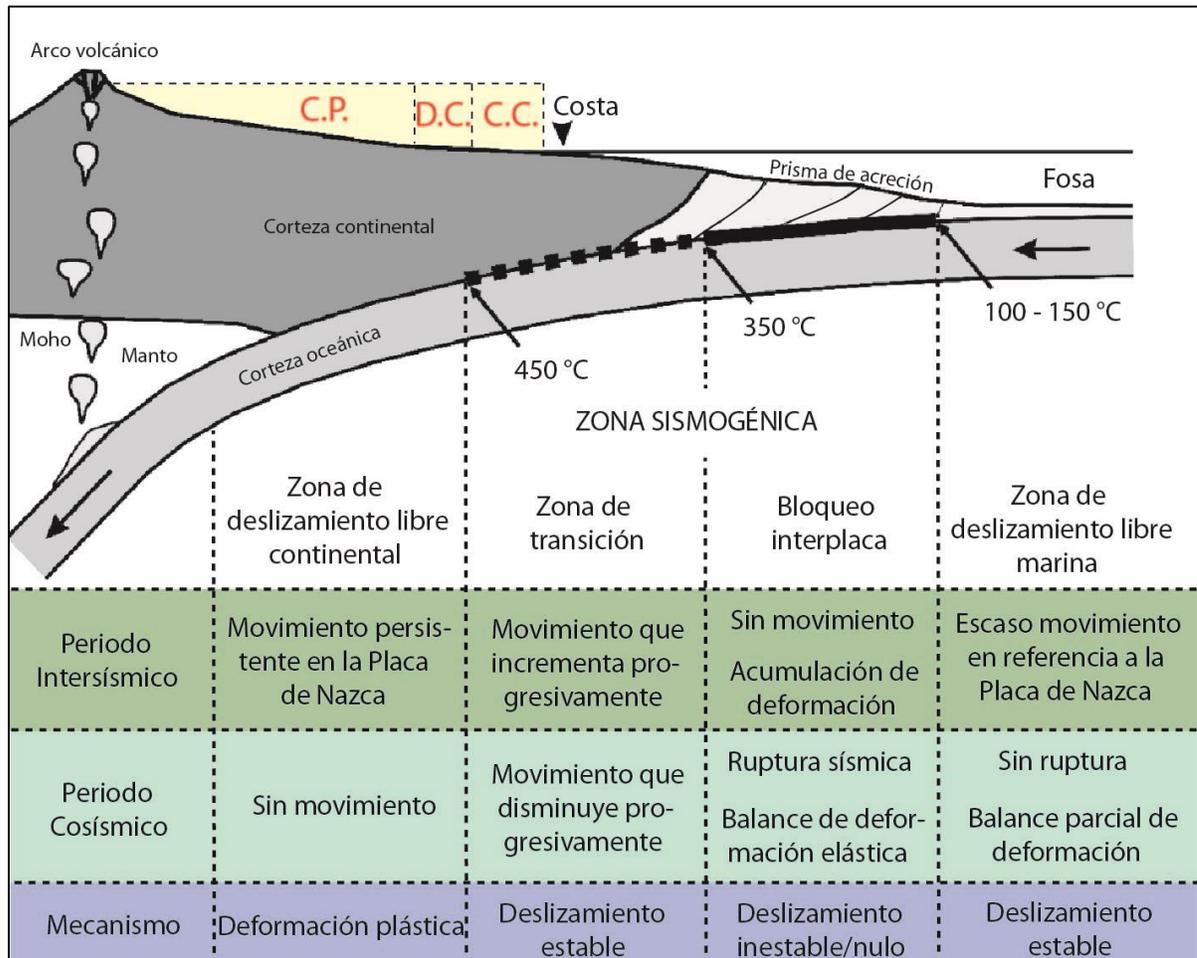


Fig. 5.4. Representación esquemática de la zona de subducción en un modelo de dislocación elástica. Se reconocen cuatro zonas desde la fosa hacia el interior del continente, y algunas de sus propiedades respecto al ciclo de los terremotos de subducción se resumen en la tabla. **C.C.:** Cordillera de la Costa; **D.C.:** Depresión Central; **C.P.:** Cordillera Principal. Figura extraída y modificada de Klotz y otros (2006).

Con toda la información discutida hasta el momento, a pesar de que en las tres zonas (centro, centro – sur y sur) existen casos donde hay concordancia entre la orientación de los vectores y la dirección de los esfuerzos dentro de un dominio generalizado, la realidad es que la discrepancia entre ellos es el resultado más común y más representativo. No hay situaciones donde la concordancia vaya más allá de sitios puntuales en los alrededores de un par de estructuras, lo que sumado al rol crítico de la distancia entre la fuente y la falla receptora, especialmente para las

estructuras corticales internas, dan pie a la idea de que en conjunto a este tipo de procesos hay otros factores involucrados. Ejemplos de lo anterior podrían incluir: las condiciones presentes en la etapa intersísmica del ciclo de los terremotos de subducción y/o procesos geológicos de largo plazo que puedan contribuir a la explicación de la actividad de las fallas que definen dominios de deformación. La integración de la etapa intersísmica escapa a los objetivos de esta memoria, pero se puede discutir acerca de los procesos geológicos de largo plazo en los siguientes párrafos.

5.2. DEFORMACIÓN NEOTECTÓNICA Y PROCESOS GEOLÓGICOS DE LARGO PLAZO EN LOS ANDES CHILENOS (32.8° – 47.5°S)

5.2.1. Plataforma continental – Cordillera de la Costa

En los mapas que complementan la síntesis de los estilos de deformación neotectónica al final del capítulo 3, se puede reconocer que gran parte del antearco chileno está gobernado por una tectónica de extensión (Figs. 3.33 y 3.34), mientras que en el resto del mismo, especialmente en el segmento correspondiente a Chile centro – sur, esta es reemplazada por una tectónica de acortamiento que gradualmente desaparece hacia el sur (Fig. 3.35).

Algunos autores sugieren el mecanismo de erosión por subducción, o erosión tectónica, y *underplating* como alternativas para explicar la tectónica de extensión y la distribución de fallas normales en el antearco del norte de Chile continental (*e.g.*, Armijo & Thiele, 1990; Delouis y otros, 1998; von Huene & Ranero, 2003). Acorde a Delouis y otros (1998), este mecanismo consiste en la remoción de material basal perteneciente a la placa sobreyacente (Sudamericana) en el canal de subducción, lo que desencadena colapso gravitacional y subsidencia del margen continental situado por encima de este, al mismo tiempo que se desarrolla una tectónica de extensión próxima a la superficie en consecuencia de la acreción basal (*underplating*) de dicho material removido. En el caso de los segmentos contemplados en esta memoria, para Chile central, algunos autores reconocen fases episódicas de acreción y erosión tectónica, esta última presente en los últimos 20 Ma, siguiendo una tasa de erosión equivalente o ligeramente menor a aquellas calculadas para el margen chileno al norte de la Dorsal de Juan Fernández (Kay y otros, 2005; Kuwoski & Oncken, 2006; Contreras–Reyes y otros, 2010). Adicionalmente, la existencia de trabajos enfocados en la naturaleza de la cuña de subducción y la detección de anomalías o “fragmentos de corteza” acrecionados (*e.g.*, Comte y otros, 2019; Navarro–Aránguiz y otros, 2022) que permiten inferir *underplating*, constituyen evidencias sólidas de la presencia de este

mecanismo en el segmento. En Chile centro – sur, acorde a Kuwoski & Oncken (2006), este proceso no actúa en el margen debido a procesos de desglaciación a comienzos del Cuaternario, causantes de la transformación del margen de todo el segmento, y también hacia el sur, lo que permitió el desarrollo de un pequeño prisma de acreción (Fig. 5.5).

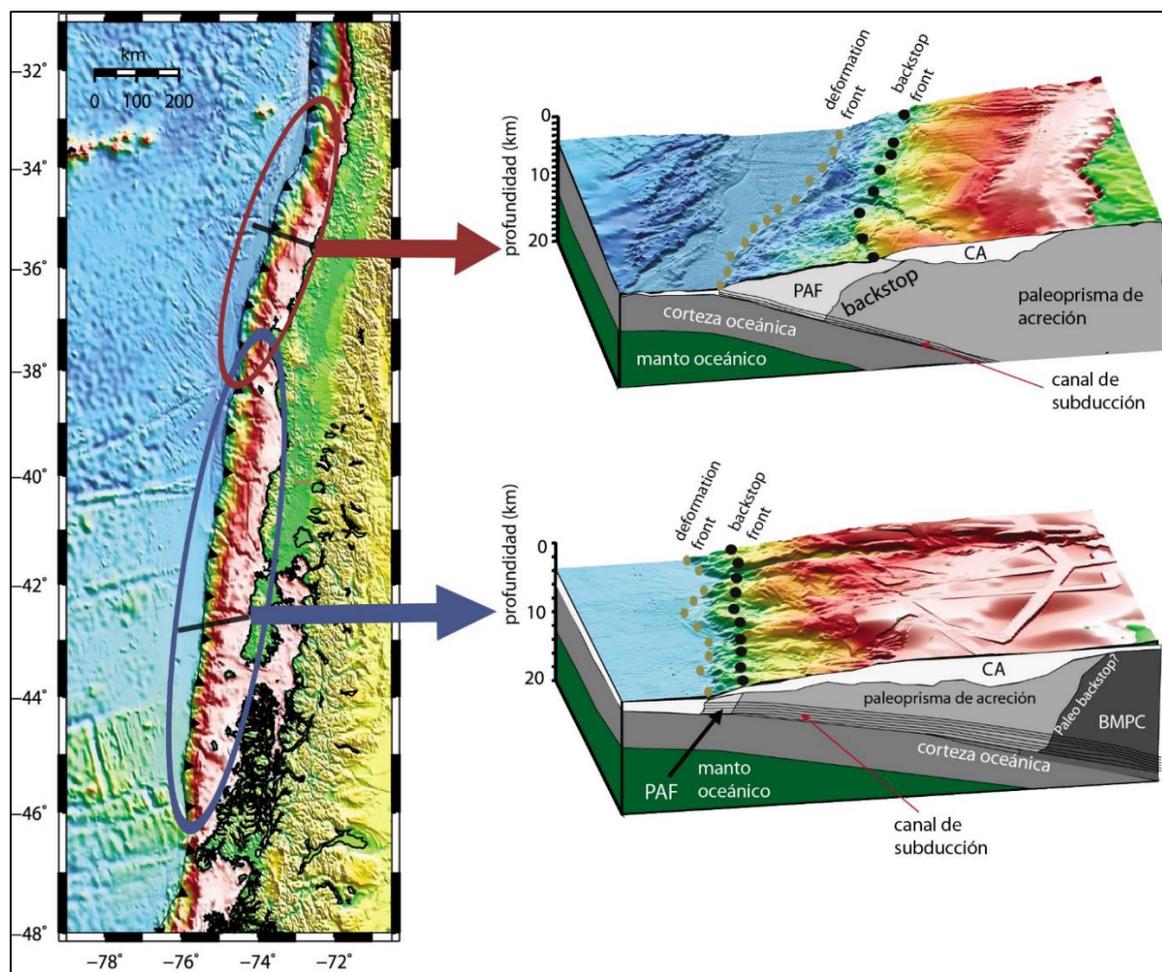


Fig. 5.5. Esquemas de la estructura cortical a lo largo del margen de subducción del centro y sur de Chile. En el bloque superior se representa la estructura cortical propuesta para Chile centro – sur, mientras que en bloque inferior se representa la estructura cortical propuesta para Chile sur. Figura extraída y modificada de Contreras-Reyes y otros (2010). **PAF:** Prisma de acreción frontal; **CA:** Cuenca de antearco; **BMPC:** Basamento Metamórfico Paleozoico cortical.

La compleja tectónica alrededor de los 37°S, específicamente en el Golfo de Arauco, se atribuye a dos factores: acortamiento persistente en la zona y una elevada tasa de alzamiento cuaternaria (Melnick y otros, 2009), consecuencia de un cambio en la convergencia de placas durante el Plioceno (*e.g.*, Cembrano y otros, 2007, Charrier y otros, 2009); y colapso gravitacional local y plegamiento de la zona por el actuar de fallas inversas en profundidad (Melnick y otros,

2006; 2012). El alzamiento de la zona de antearco continental y marina, derivado del juego de terrazas marinas plegadas por actividad de estas estructuras en profundidad (*e.g.*, Melnick y otros, 2009), constituyen evidencias del acortamiento persistente anteriormente mencionado, lo que sumado a trabajos estratigráficos y estructurales en la zona de Arauco que confirman la inversión de la denominada “Cuenca de Arauco” y la rápida exhumación de la Cordillera de Nahuelbuta aproximadamente 4 Ma atrás (*e.g.*, Melnick y otros, 2006, 2009), consolidan el actuar de este proceso para Chile centro – sur.

Se puede concluir entonces que los procesos tectónicos de extensión de las estructuras corticales presentes a lo largo de la Plataforma Continental y la Cordillera de la Costa, en Chile central, pueden explicarse debido a procesos de largo plazo por erosión tectónica y *underplating*, mientras que los procesos tectónicos de acortamiento, asociados exclusivamente al antearco de Chile centro – sur, pueden explicarse por la sostenida tasa de alzamiento derivada del reajuste en la convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana.

5.2.2. Depresión Central – Cordillera Principal

En la síntesis de los estilos de deformación y los mapas que la acompañan se puede apreciar que para la zona de transición entre la Depresión Central y la Cordillera Principal predomina una tectónica de acortamiento (Fig. 3.33) con un caso aislado asociado a tectónica transcurrente.

Yáñez & Cembrano (2004) mencionan que la deformación en las zonas al interior del continente en un margen de subducción está controlada por dos factores: la velocidad absoluta de la placa continental y el grado de acoplamiento entre las placas en juego. Respecto a esta última variable, se sabe que existe un elevado grado de acoplamiento entre las placas Nazca y Sudamericana, causante del engrosamiento cortical y acortamiento en los últimos 25 Ma (*e.g.*, Mpodozis y Ramos, 1989; Charrier y otros, 2009). Para el caso de las estructuras a los pies de la Cordillera de los Andes presentes entre los 33° y 34°S, y probablemente también para aquellas hasta los 36°S, la ocurrencia de fallas neotectónicas inversas no es un rasgo fuera de lo común, puesto que anteriormente habrían sido responsables del alzamiento del orógeno andino en el pasado, derivado muy probablemente del incremento de la velocidad de convergencia entre las placas a finales del Oligoceno (*e.g.*, Tassara & Yáñez, 2003; Charrier y otros, 2009; Melnick y otros, 2006). Por su parte, la disposición oblicua al arco y acotadas dimensiones de la Falla El

Arrayán difieren del comportamiento postulado para otras fallas transcurrentes al interior del continente (*e.g.*, Rosenau y otros, 2004). No obstante, siguiendo el contexto de las fallas oblicuas al arco, Piquer y otros (2016) han interpretado que este tipo de fallas tienen un origen coetáneo al alzamiento de los Andes, reactivadas tectónicamente con una cinemática transcurrente y, a veces, asociadas a fallas inversas, lo que para este caso es aplicable dada su relación con la Falla San Ramón.

Considerando la nula actividad de las fallas corticales internas en respuesta al campo de deformación inducido por los terremotos de subducción, mencionada en la sección anterior, y el continuo alzamiento de los Andes derivado de la dinámica entre las placas Nazca y Sudamericana a lo largo de los años, se puede concluir que, para las estructuras a los pies de la Cordillera Principal, los procesos geológicos de largo plazo pueden explicar la reiterada actividad de las fallas inversas así como la reactivación transcurrente local.

5.2.3. Cordillera Principal

En la síntesis de los estilos de deformación y los mapas que la acompañan se puede apreciar que al interior de la Cordillera Principal existe un pequeño segmento gobernado por una tectónica de extensión (Fig. 3.34), la cual es gradualmente reemplazada por un régimen transcurrente dextral predominante hacia el sur (Fig. 3.35).

En la primera parte del segmento, acotada alrededor de los 37°S, predominan fallas normales paralelas al arco volcánico pertenecientes al Sistema de Fallas Lago Laja (Fig. 3.16), las cuales se pueden explicar por el colapso gravitacional de los Andes producto de una corteza reológicamente debilitada en un dominio volcánico activo (Melnick y otros, 2006), formando un sistema de estructuras *horst* y *graben* producto del adelgazamiento cortical. Con ayuda de perfiles de reflexión sísmica se ha podido demostrar este sistema de estructuras (Fig. 5.6) en sedimentos del fondo del Lago Laja depositados tras el colapso de la caldera del Volcán Antuco durante el Holoceno, al igual que en depósitos piroclásticos post-glaciales holocenos del Complejo Volcánico Chillán y en depósitos post-glaciales pleistocenos asociados al Volcán Lonquimay (Melnick, 2007).

Considerando la evolución estructural de la zona durante el Pleistoceno – Holoceno, que se traduce en la migración y emplazamiento actual del arco volcánico (*e.g.*, Stern, 1989; Charrier y

otros, 2009), la naturaleza activa de los edificios volcánicos mencionados y la ausencia de otros procesos capaces de provocar extensión en el arco volcánico, se puede afirmar con certeza que el colapso gravitacional de los Andes a lo largo del Pleistoceno – Holoceno puede considerarse un proceso geológico de largo plazo. Por las mismas razones mencionadas anteriormente, esta explicación se puede aplicar por extensión al Sistema de Fallas El Barco, o más bien a su parte más septentrional, donde se localiza el graben Lomín reportado por Folguera y otros (2004), puesto que los volcanes Callaqui y Copahue también son activos en la actualidad.

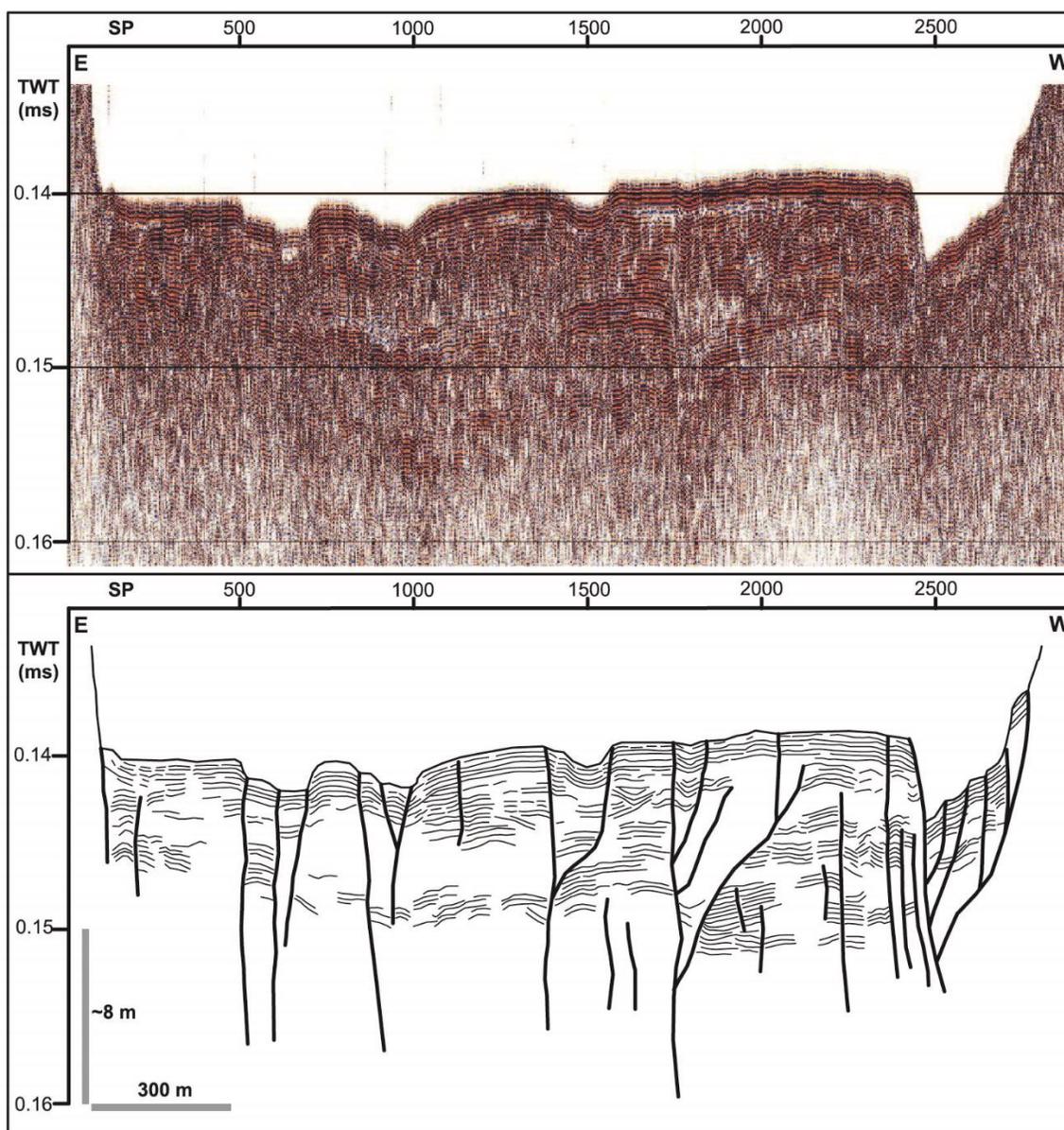


Fig. 5.6. Perfiles de reflexión sísmica de los sedimentos del Lago Laja. Cada uno de los trazos representa un plano de fallamiento normal que en su conjunto constituyen un sistema de *horst* y *graben*. Los sedimentos afectados son de edad holocena. Figura extraída de Melnick (2007).

En el resto del segmento, comprendido desde los 38° y hasta los 46°S, la actividad de fallas transcurrentes asociadas al Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui puede explicarse acorde al modelo de forearc sliver (Fig. 5.7) que algunos autores proponen para esta zona (Forsythe & Nelson, 1985; Beck y otros, 1993 en Lange y otros, 2008). Acorde al modelo, la parte correspondiente al antearco del margen de subducción, al que algunos autores se refieren como micro placa de Chiloé (*e.g.*, Lange y otros, 2008; Melnick y otros, 2009; Hernández–Moreno y otros, 2014; DePascale y otros, 2021), migra hacia el norte a causa de la partición vectorial de la deformación inducida por la oblicuidad en la zona de subducción, este último factor constituyendo el mecanismo por el cual se impulsa la transcurrencia dextral en la zona. Gracias a la información provista por GPS, se ha podido corroborar que efectivamente el bloque migra con una tasa variable hacia el norte (*e.g.*, Wang, 2007) y, acorde al mismo autor, esto permitiría acomodar alrededor de un 75% de la deformación inducida por la oblicuidad entre las placas.

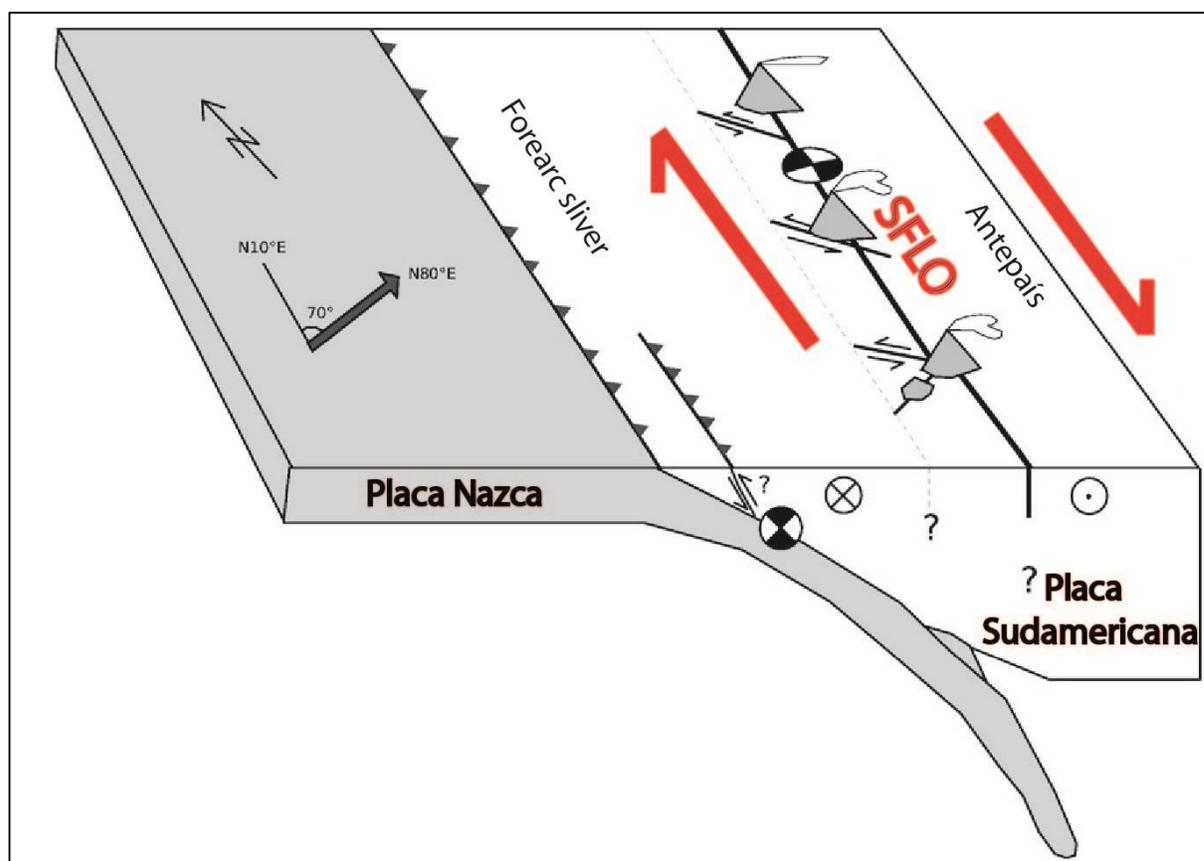


Fig. 5.7. Modelo tectónico propuesto para el sur de Chile continental. La oblicuidad entre las placas Nazca y Sudamericana se traduce en una “partición” de la deformación, definiendo una zona de falla transcurrente dextral en el intrarco y un movimiento progresivo del antearco hacia el norte. Figura extraída y modificada de Lange y otros (2008).

Ahora, dado que el Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui se caracteriza por la estrecha relación entre la tectónica y la actividad magmática, cabe preguntarse si es que esta última puede jugar un rol en facilitar o dificultar que se acomode deformación. Flores y otros (2016) señalan que la actividad magmática aprovecha los espacios y fracturas generados por actividad estructural para desarrollar redes de venas hidrotermales espacial y genéticamente orientadas tanto con las ramas principales como secundarias del sistema, jugando un rol clave en el emplazamiento de diques y conos monogenéticos. Siguiendo la línea argumental, Lara y otros (2008) proponen que la circulación de estos fluidos hidrotermales es un factor clave en la generación de terremotos a lo largo de las fallas pertenecientes al sistema, lo cual se pudo comprobar por Legrand y otros (2010) en base a la sismicidad reportada para la zona de Aysén en el 2007. Considerando lo anterior, parece ser que la actividad volcanomagmática sí es capaz de acomodar deformación a largo plazo, aunque de manera muy reducida.

Se puede concluir entonces que la tectónica extensional presente al interior de la Cordillera Principal puede explicarse por el colapso gravitacional de una corteza termal y reológicamente debilitada producto de actividad en el arco, mientras que la tectónica transcurrente dextral, asociada al Sistema de Fallas Liquiñe–Ofqui, puede explicarse por la migración hacia el norte de la porción del antearco en respuesta a la oblicuidad entre las placas Nazca y Sudamericana.

5.3. LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS A FUTURO

En el desarrollo de este trabajo se ha dado énfasis a las evidencias que demuestran la relación entre los terremotos de subducción y la reactivación sísmica de estructuras corticales, esta última asociada a la etapa cosísmica del ciclo, intentando comprender cómo la deformación elástica es balanceada entre la ruptura sísmica y las evidencias de actividad neotectónica asociadas a las fallas. Si bien la etapa cosísmica puede ser considerada una parte importante de este proceso geológico a corto plazo, se complementa con la parte que la precede, la etapa intersísmica, la cual posee sus propios campos de deslizamiento (*e.g.*, Klotz y otros, 2006; Aron y otros, 2015a) que justifican su potencial sismogénico en fallas corticales. Por consiguiente, al no haber sido abordados estos campos, no se puede visualizar el espectro completo de los procesos involucrados en la zona de subducción.

Este trabajo de memoria abarca un espectro acotado de la actividad neotectónica en Chile centro y sur por dos razones: (1) las evidencias presentadas en esta memoria no necesariamente incluyen la totalidad de registros de la región que abarca el estudio; (2) la limitación en el número de terremotos de subducción para los cuales se dispone de modelos de inversión. En consecuencia de lo anterior, el análisis realizado adquiere un carácter cualitativo, esto último representado especialmente por los escenarios sintéticos que, si bien ayudan a solventar en parte el segundo problema, no dejan de ser situaciones ficticias con una base subjetiva de trasfondo, recalcando la necesidad de más rupturas con parámetros definidos para obtener datos más sólidos.

Sin perjuicio de lo anterior, este trabajo de memoria representa una contribución respecto al entendimiento del vínculo entre los procesos tectónicos profundos (subducción) y someros (fallas corticales). Los descubrimientos a futuro se traducen en nuevas interpretaciones, por lo que si el presente trabajo incentiva a futuros investigadores a complementar esta publicación con respecto a los terremotos de subducción, este podría ser utilizado como base, o primer alcance, para la investigación inicial, ya que existen fallas corticales aún no estudiadas a cabalidad, especialmente aquellas estructuras descubiertas recientemente.

6. CONCLUSIONES

- En base a la información recopilada de fallas corticales entre los 32.8° y 47.5°S se definen cinco campos de deformación neotectónica: dos para la zona de Chile central, dos para la zona de Chile centro – sur y uno para la zona de Chile sur respectivamente. En Chile central se definen, un campo de deformación extensional en el antearco, caracterizado por un juego de fallas normales de orientación NW – SE, y un campo de deformación de acortamiento a los pies de la Cordillera Principal, caracterizado por fallas inversas de orientación N – S. En Chile centro – sur se definen, un campo de deformación de acortamiento en el antearco, caracterizado por fallas inversas de orientación NW – SE y NE – SW, y un campo de deformación extensional al interior de la Cordillera Principal, caracterizado por fallas normales de orientación N – S. En Chile sur se define un campo de deformación transtensivo dominado por la presencia de fallas transcurrentes dextrales mayormente orientadas en dirección N – S al interior de la Cordillera Principal y fallas normales locales, estas últimas en las cercanías de edificios volcánicos.
- Los terremotos de subducción modelados generan campos de desplazamiento, representados por vectores, los cuales, dependiendo de la profundidad, largo y ancho de ruptura afectan de manera diferente a los campos neotectónicos definidos. Por una parte, terremotos de grandes dimensiones y no muy profundos como por ejemplo el del Maule (2010) pueden explicar la actividad normal de fallas en el antearco de Chile central. Por otra parte, pese a que terremotos tales como Valdivia (1960) y Maule (2010) afectan la zona costera de Chile centro – sur, no pueden explicar la actividad de fallas inversas presentes en la misma.
- La coincidencia entre la orientación de los vectores del campo de deformación inducido por un terremoto de subducción y la orientación de un campo neotectónico definido en particular es un indicio de que la reactivación cortical es favorable, pero no que necesariamente vaya a ocurrir. Factores externos tales como barreras sísmicas impermeables o la presencia de otras estructuras más próximas al epicentro pueden afectar el resultado final incluso si la estructura se muestra favorable a la dirección de los vectores de desplazamiento.

- El campo de desplazamiento inducido por los terremotos de subducción conocidos (fuente) no siempre afecta a las estructuras corticales al interior del continente (receptor), evidenciando que la distancia es un factor clave en la relación terremoto–actividad cortical y que otros procesos son responsables de explicar la actividad de dichas estructuras. Procesos geológicos de largo plazo, tales como el alzamiento de los Andes producto de cambios importantes en la convergencia entre placas a lo largo de la historia o la migración de un bloque producto de la oblicuidad en la convergencia pueden explicar la actividad de las fallas inversas y transcurrentes respectivamente.

- Las rupturas cosísmicas de los terremotos de subducción en conjunto a los procesos geológicos de larga duración (procesos que actúan durante miles a millones de años en la escala de tiempo geológica) pueden explicar la actividad neotectónica asociada a estructuras corticales a lo largo y ancho de Chile centro y sur.

7. REFERENCIAS

- Allmendinger, R., & González, G. (2010). Invited review paper: Neogene to Quaternary tectonics of the coastal Cordillera, northern Chile. *Tectonophysics*, 495(1-2), 93–110.
- Arancibia, G., Cembrano, J., y Lavenu, A. (1999). Transpresión dextral y partición de la deformación en la Zona de Falla Liquiñe–Ofqui, Aisén, Chile (44-45°S). *Revista geológica de Chile*, 26(1), 3–22.
- Araya J. (2020). Neotectonics and seismic source characterization in the Central High Andes, near Chile's capital Santiago. Memoria para optar al grado de Magíster en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile. Departamento de Geología. 196 pp. Santiago.
- Araya, J., De Pascale, G. P., Mardel, R., y Sepúlveda, S. A. (2021). The likely Quaternary active El Arrayán fault, Santiago, Chile. *Andean Geology*, 48(3), 529–545.
- Armijo, R., & Thiele, R. (1990). Active faulting in northern Chile: ramp stacking and lateral decoupling along a subduction plate boundary?. *Earth and Planetary Science Letters*, 98(1), 40–61.
- Armijo, R., Lacassin, R., Coudurier–Curveur, A., y Carrizo, D. (2015). Coupled tectonic evolution of Andean orogeny and global climate. *Earth–Science Reviews*, 143, 1–35.
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., y Kausel, E. (2010). The West Andean thrust, the San Ramon fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, 29(2). 34 pp.
- Aron, F., Cembrano, J., Allmendinger, R. W., Astudillo, F., y Arancibia, G. (2012). Structural geology of the active forearc above the Maule Megathrust: Traces of a long-lived subduction segment. In *XIII Chilean Geological Congress*, Antofagasta, Chile, 5–9.
- Aron, F., Allmendinger, R. W., Cembrano, J., González, G., y Yáñez, G. (2013). Permanent fore-arc extension and seismic segmentation: Insights from the 2010 Maule earthquake, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(2), 724–739.
- Aron, F., Cembrano, J., Astudillo, F., Allmendinger, R. W., y Arancibia, G. (2015a). Constructing forearc architecture over megathrust seismic cycles: Geological snapshots from the Maule earthquake region, Chile. *Bulletin*, 127(3-4), 464–479.
- Aron, F., Bucca, M., y Lange, D. (2015b). Megathrust-driven crustal deformation revealed by fore-arc seismicity changes over subduction earthquake cycles.
- Astaburuaga, D., Farías, M., Charrier, R., y Tapia, F. (2012). Geología y estructuras del límite Mesozoico-Cenozoico de la Cordillera Principal entre 35°30' y 36°S, Región del Maule, Chile. In *Congreso Geológico Chileno No. 13*, 250–252.
- Astudillo–Sotomayor, L., Jara–Muñoz, J., Melnick, D., Cortés–Aranda, J., Tassara, A., y Strecker, M. R. (2021). Fast Holocene slip and localized strain along the Liquiñe–Ofqui strike-slip fault system, Chile. *Scientific reports*, 11(1), 1–10.
- Calle–Gardella, D. T. (2018). Tomografía sísmica pasiva 3D de estructuras corticales en el margen costero de Chile Central: Caracterización en profundidad de la falla de Pichilemu. Tesis para optar

al grado de magister en ciencias, mención geofísica. Universidad de Chile. Departamento de Geofísica. 79 pp. Santiago.

Calle–Gardella, D., Comte, D., Farías, M., Roecker, S., y Rietbrock, A. (2021). Three-dimensional local earthquake tomography of pre-Cenozoic structures in the coastal margin of central Chile: Pichilemu fault system. *Journal of Seismology*, 25(2), 521–533.

Cande, S. C., & Leslie, R. B. (1986). Late Cenozoic tectonics of the southern Chile trench. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B1), 471–496.

Carrizo, D., González, G., y Dunai, T. (2008). Constricción neógena en la Cordillera de la Costa, norte de Chile: neotectónica y datación de superficies con ^{21}Ne cosmogónico. *Revista geológica de Chile*, 35(1), 1–38.

Charrier, R., Farías, M., y Makshev, V. (2009). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(1), 5–35.

Charrier, R., Pinto, L., y Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *In The geology of Chile*. 21–114.

Charrier, R., Ramos, V., Tapia, F., y Sagripanti, L. (2015). Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37 S (Chile and Western Argentina). *Geological Society, London, Special Publications*, 399(1), 13–61.

Chlieh, M., Avouac, J. P., Hjorleifsdottir, V., Song, T. R. A., Ji, C., Sieh, K., Sladen, A., Hebert, H., Prawirodirdjo, L., Bock, Y., y Galetzka, J. (2007). Coseismic slip and afterslip of the great Mw 9.15 Sumatra–Andaman earthquake of 2004. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(1A), S152–S173.

Cembrano, J., Hervé, F., y Lavenu, A. (1996). The Liquiñe Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, 259(1-3), 55–66.

Cembrano, J., A. Lavenu, G. Yañez, R. Riquelme, M. García, G. González, y G. Hérial (2007). Neotectonics, in *The Geology of Chile*, edited by T. Moreno, W. Gibbons, and G. S. of London, pp. 231–261, *Geological Society of London, London, Tulsa*. UK. 231–261.

Clapperton, C. M. (1994). The quaternary glaciation of Chile: a review. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67(4), 369–383.

Comte, D., Farías, M., Roecker, S., y Russo, R. (2019). The nature of the subduction wedge in an erosive margin: Insights from the analysis of aftershocks of the 2015 Mw 8.3 Illapel earthquake beneath the Chilean Coastal Range. *Earth and Planetary Science Letters*, 520, 50–62.

Contreras–Reyes, E., Flueh, E. R., y Grevemeyer, I. (2010). Tectonic control on sediment accretion and subduction off south central Chile: Implications for coseismic rupture processes of the 1960 and 2010 megathrust earthquakes. *Tectonics*, 29(6), 1–27.

Corbi, F., Funicello, F., Moroni, M., van Dinther, Y., Mai, P. M., Dalguer, L. A., y Faccenna C. (2013). The seismic cycle at subduction thrusts: 1. Insights from laboratory models, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 1483–1501.

- Cortés–Aranda, J., González, G., Binnie, S., Robinson, R., Freeman, S. P. H. T., y Vargas G. (2012). Paleoseismology of the Mejillones Fault, northern Chile: Insights from cosmogenic ^{10}Be and optically stimulated luminescence determinations. *Tectonics*, 31(2). 21 pp.
- Cortés–Aranda, J., González, R., Fernández, V., Astudillo, L., Miller, M., Molina, D., y Oviedo, A. (2021). Neotectonic evidence for Late Quaternary reverse faulting in the northern Chile outer forearc (22.5° S–23° S): Implications for seismic hazard. *Journal of South American Earth Sciences*, 109, 103219. 13 pp.
- Delouis, B., Philip, H., Dorbath, L., y Cisternas, A. (1998). Recent crustal deformation in the Antofagasta region (northern Chile) and the subduction process. *Geophysical Journal International*, 132(2), 302–338.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., y Stein, S. (1990) Current plate motions. *Geophys. J. Int.* 101, 425–478.
- De Pascale, G. P., Froude, M., Penna, I., Hermanns, R. L., Sepúlveda, S. A., Moncada, D., Persico, M., Easton, G., Villalobos, A., y Gutiérrez, F. (2021). Liquiñe–Ofqui’s fast slipping intra-volcanic arc crustal faulting above the subducted Chile Ridge. *Scientific reports*, 11(1), 1–12.
- Del Valle, F., Marquardt, C., Valdivia, D., Elgueta, S., y Yáñez, G. (2018). Tasa de alzamiento neotectónico del margen costero chileno entre Los Vilos y Santo Domingo. In Actas del XV Congreso Geológico Chileno. Geociencias hacia la Comunidad. 1303–1305. Universidad de Concepción Chile.
- Dietrich, R., Ruiz, J., Carrasco, S., y Manríquez, P. (2018). The Chiloé M w 7.6 earthquake of 2016 December 25 in Southern Chile and its relation to the M w 9.5 1960 Valdivia earthquake. *Geophysical Journal International*, 213(1). 210–221.
- Encinas, A., Sagripanti, L., Rodríguez, M.P., Orts, D., Anavalón, A., Giroux, P., Otero, J., Echaurren, A., Zambrano, P., y Valencia, V. (2021). Tectonosedimentary evolution of the Coastal Cordillera and Central Depression of south-Central Chile (36°30′–42°S), *Earth-Science Reviews*, Volume 213. 92 pp.
- Estay, N., Yáñez, G., Carretier, S., Lira, E., y Maringue, J. (2016). Seismic hazard in low slip rate crustal faults, estimating the characteristic event and the most hazardous zone: study case San Ramón Fault, in southern Andes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(12), 2511–2528.
- Fariás, M., Comte, D., Roecker, S., Carrizo, D., y Pardo, M. (2011). Crustal extensional faulting triggered by the 2010 Chilean earthquake: The Pichilemu Seismic Sequence. *Tectonics*, 30(6). 11 pp.
- Folguera, A., Ramos, V. A., Hermanns, R. L., y Naranjo, J. (2004). Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37°–38°S): Evidence of strike-slip displacement along the Antifir-Copahue fault zone. *Tectonics*, 23(5). 23 pp.
- Fujii, Y., & Satake, K. (2013). Slip distribution and seismic moment of the 2010 and 1960 Chilean earthquakes inferred from tsunami waveforms and coastal geodetic data. *Pure and Applied Geophysics*, 170(9), 1493–1509.

- Gana, P., & Tosdal, R. M. (1996). Geocronología U–Pb y K–Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. *Andean Geology*, 23(2), 151–164.
- Gianni G., Pesce A., y Soler S. (2018). Transient plate contraction between two simultaneous slab windows: Insights from Paleogene tectonics of the Patagonian Andes, *Journal of Geodynamics*. 51 pp.
- Glodny, J., Echtler, H., Collao, S., Ardiles, M., Burón, P., y Figueroa, O. (2008). Differential Late Paleozoic active margin evolution in South-Central Chile (37° S–40° S) – The Lanalhue Fault Zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 26(4), 397–411.
- Gomberg, J., & Sherrod, B. (2014). Crustal earthquake triggering by modern great earthquakes on subduction zone thrusts. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(2), 1235–1250.
- González, G., Salazar, P., Loveless, J., Allmendinger, R., Aron, F., y Shrivastava, M. (2015). Upper plate reverse fault reactivation and the unclamping of the megathrust during the 2014 northern Chile earthquake sequence. *Geology*, 43(8), 671–674.
- Harris, R. (1998). Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24347–24358.
- Hauser, A. (1991). Hans Steffen, precursor del concepto falla Liquiñe–Ofqui. *Andean Geology*, 18(2), 177–179.
- Hernández–Moreno, C., Speranza, F., y Di Chiara, A. (2014). Understanding kinematics of intra-arc transcurrent deformation: Paleomagnetic evidence from the Liquiñe–Ofqui fault zone (Chile, 38–41° S). *Tectonics*, 33(10), 1964–1988.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C. M., Pankhurst, R. J., y Quezada, P. (2015). Holocene marine deposits at Huinay: evidence of paleoseismic activity on the Liquiñe–Ofqui Fault Zone. In XIV Congreso Geológico Chileno, La Sociedad Geológica de Chile, La Serena, Chile, 375–376.
- Huene, R. v., Corvalán, J., Flueh, E. R., Hinz, K., Korstgard, J., Ranero, C. R., y Weinrebe, W. (1997). Tectonic control of the subducting Juan Fernández Ridge on the Andean margin near Valparaíso, Chile. *Tectonics*, 16(3), 474–488.
- Jara–Muñoz, J., Melnick, D., Brill, D., y Strecker, M. R. (2015). Segmentation of the 2010 Maule Chile earthquake rupture from a joint analysis of uplifted marine terraces and seismic-cycle deformation patterns. *Quaternary Science Reviews*, 113, 171–192.
- Jara–Muñoz, J., Melnick, D., Socquet, A., Cortés–Aranda, J., Brill, D., y Strecker, M. (2020). The cryptic seismic potential of blind faults revealed by off-fault geomorphology, Pichilemu, Chile. 39 pp.
- Jara–Muñoz, J., Melnick, D., Zambrano, P., Rietbrock, A., González, J., Argandoña, B., y Strecker, M. R. (2017). Quantifying offshore fore-arc deformation and splay-fault slip using drowned Pleistocene shorelines, Arauco Bay, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(6), 4529–4558.
- Kaizuka, S., Matsuda, T., Nogami, M., y Yonekura, N. (1973). Quaternary tectonic and recent seismic crustal movements in the Arauco peninsula and its environs, Central Chile. 48 pp.

- Kay, S. M., Godoy, E., y Kurtz, A. (2005). Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, 117(1-2), 67–88.
- King, G.C.P., Stein, R., y Lin, J. (1994) Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 84 (3), 935–953.
- Klotz, J., Abolghasem, A., Khazaradze, G., Heinze, B., Vietor, T., Hackney, R., Bataille, K., Maturana, R., Viramonte, J., y Perdomo, R. (2006). Long-term signals in the present-day deformation field of the Central and Southern Andes and constraints on the viscosity of the Earth's upper mantle. *Springer, Berlin, Heidelberg*. 65–89.
- Kodaira, S., No, T., Nakamura, Y., Fujiwara, T., Kaiho, Y., Miura, S., Takahashi, N., Kaneda, Y., y Taira, A. (2012). Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience*, 5(9), 646–650.
- Koseluk, R., & Bischke, R. (1981). An elastic rebound model for normal fault earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B2), 1081–1090.
- Kukowski, N., & Oncken, O. (2006). Subduction erosion—The “normal” mode of fore-arc material transfer along the Chilean margin?. *Springer, Berlin, Heidelberg*. 217–236.
- Lagabrielle, Y., Suárez, M., Rossello, E. A., Hérial, G., Martinod, J., Régnier, M., y de la Cruz, R. (2004). Neogene to Quaternary tectonic evolution of the Patagonian Andes at the latitude of the Chile Triple Junction. *Tectonophysics*, 385(1-4), 211–241.
- Lange, D., Cembrano, J., Rietbrock, A., Haberland, C., Dahm, T., y Bataille, K. (2008). First seismic record for intra-arc strike-slip tectonics along the Liquiñe–Ofqui fault zone at the obliquely convergent plate margin of the southern Andes. *Tectonophysics*, 455(1-4), 14–24.
- Lara, L. E., Cembrano, J., y Lavenu, A. (2008). Quaternary vertical displacement along the Liquiñe–Ofqui Fault Zone: Differential uplift and coeval volcanism in the southern Andes?. *International Geology Review*, 50(11), 975–993.
- Lara, L. E., Lavenu, A., Cembrano, J., y Rodríguez, C. (2006). Structural controls of volcanism in transversal chains: resheared faults and neotectonics in the Cordón Caulle–Puyehue area (40.5 S), Southern Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(1-2), 70–86.
- Lavenu, A. (2006). Neotectónica de los Andes entre 1 N y 47 S (Ecuador, Bolivia y Chile): una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61(4), 504–524.
- Lavenu, A., & Cembrano, J. (1999). Compressional- and transpressional stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile), *J. Struct. Geol.*, 21(12), 1669–1691.
- Lavenu, A., & Encinas, A. (2005). Deformación frágil de los depósitos neógenos de la cuenca de Navidad (Cordillera de la Costa, 34 S, Chile central). *Revista geológica de Chile*, 32(2), 229–248.
- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Koper, K. D., Hutko, A. R., Ye, L., Yue, H., y Rushing, T. M. (2012). Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B4). 21 pp.

- Legrand, D., Barrientos, S., Bataille, K., Cembrano, J., y Pavez, A. (2011). The fluid-driven tectonic swarm of Aysen Fjord, Chile (2007) associated with two earthquakes (Mw= 6.1 and Mw= 6.2) within the Liquiñe-Ofqui Fault Zone. *Continental Shelf Research*, 31(3-4), 154–161.
- Leyton, F., Ruiz, S., y Sepúlveda, S. A. (2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean geology*, 37(2), 455–472.
- Leyton, F., Ruiz, J., Campos, J., y Kausel, E. (2009). Intraplate and interplate earthquakes in Chilean subduction zone: A theoretical and observational comparison. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 175(1-2), 37–46.
- Li, S., Moreno, M., Rosenau, M., Melnick, D., y Oncken, O. (2014). Splay fault triggering by great subduction earthquakes inferred from finite element models. *Geophysical Research Letters*, 41(2), 385–391.
- Lieser, K., Grevemeyer, I., Lange, D., Flueh, E., Tilmann, F., y Contreras-Reyes, E. (2014). Splay fault activity revealed by aftershocks of the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake, central Chile. *Geology*, 42(9), 823–826.
- Lin, J., & Stein, R.S. (2004). Stress triggering in thrust and subduction earthquakes and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strikeslip faults. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 109, 1–19.
- López-Escobar, L., Cembrano, J., y Moreno, H. (1995). Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37-46 S). *Andean geology*, 22(2), 219–234.
- Loveless, J. P., Allmendinger, R. W., Pritchard, M. E., y González, G. (2010). Normal and reverse faulting driven by the subduction zone earthquake cycle in the northern Chilean fore arc. *Tectonics*, 29(2). 16 pp.
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Física de la Tierra*, (10), 221–258.
- Maldonado V. F. (2020). Fallas corticales activas en Chile: Inferencias de amenaza sísmica a partir de la interpretación de su expresión superficial a escala 1:25000. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad Austral de Chile. Instituto de Ciencias de la Tierra. 125 pp. Valdivia.
- Maldonado, V., Contreras, M., y Melnick, D. (2021). A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1: 25,000 scale. *Scientific Data*, 8(1), 1–13.
- Maloney, K. T., Clarke, G. L., Klepeis, K. A., y Quevedo, L. (2013). The Late Jurassic to present evolution of the Andean margin: Drivers and the geological record. *Tectonics*, 32(5), 1049–1065.
- Marchant, M., Cecioni, A., Figueroa, S., González, H., Giglio, S., Hebbeln, D., Kaiser J., Lamy F., Mohtadi M., Pineda V., y Romero, O. (2007). Marine geology, oceanography and climate. In *The geology of Chile*. 289–309. *Geological Society of London*.
- Marquardt, C., Lavenu, A., Ortlieb, L., Godoy, E., y Comte, D. (2004). Coastal neotectonics in Southern Central Andes: uplift and deformation of marine terraces in Northern Chile (27 S). *Tectonophysics*, 394(3-4), 193–219.
- Melnick, D. (2007). Neogene seismotectonics of the south-central Chile margin: subduction-related processes over various temporal and spatial scales (Doctoral dissertation, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ Potsdam). 121 pp.

- Melnick, D., & Echtler, H. P. (2006). Morphotectonic and geologic digital map compilations of the south-central Andes (36–42 S). *Springer, Berlin, Heidelberg*. 565–568.
- Melnick, D., Bookhagen, B., Echtler, H. y Strecker, M.R. (2005). Active shortening, Surface deformation and Late Neogene coastal geomorphology of the Arauco Region, Chile. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005), Extended Abstracts: 502–503, Barcelona.
- Melnick, D., Bookhagen, B., Strecker, M. R., y Echtler, H. P. (2009). Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1). 23 pp.
- Melnick, D., Rosenau, M., Folguera, A., y Echtler, H. (2006). Neogene tectonic evolution of the Neuquen Andes western flank (37-39°S). Special Paper 407. *Geological Society Of America*, 25 pp.
- Melnick, D., Moreno, M., Motagh, M., Cisternas, M., & Wesson, R. L. (2012). Splay fault slip during the Mw 8.8 2010 Maule Chile earthquake: REPLY. *Geology*, 41(12), 1–24.
- Melnick, D., Echtler, H., Pineda, V., Bohm, M., Manzanares, A., y Vietor, T. (2003). Active faulting and northward growing of the Arauco Peninsula, South-central Chile (37°30'S). In *Proceedings 10th Congreso Geológico Chileno*. 10 pp.
- Melnick, D., Hillemann, C., Jara–Muñoz, J., Garrett, E., Cortés–Aranda, J., Molina, D., Tassara A., y Strecker, M. R. (2019). Hidden holocene slip along the coastal El Yolki fault in central Chile and its possible link with megathrust earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(7), 7280–7302.
- Métois, M., Vigny, C., y Socquet, A. (2016). Interseismic coupling, megathrust earthquakes and seismic swarms along the Chilean subduction zone (38°–18°S). *Pure and Applied Geophysics*, 173(5), 1431–1449.
- Molina, D., Tassara, A., Abarca, R., Melnick, D., y Madella, A. (2021). Frictional segmentation of the Chilean megathrust from a multivariate analysis of geophysical, geological, and geodetic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(6), e2020JB020647. 40 pp.
- Moreno, M., Bolte, J., Klotz, J., y Melnick, D. (2009). Impact of megathrust geometry on inversion of coseismic slip from geodetic data: Application to the 1960 Chile earthquake. *Geophysical Research Letters*, 36(16). 5 pp.
- Moreno, M., Melnick, D., Rosenau, M., Bolte, J., Klotz, J., Echtler, H., Baez, J., Bataille, K., Chen, J., Bevis, M., Hase, H., y Oncken, O. (2011). Heterogeneous plate locking in the South–Central Chile subduction zone: Building up the next great earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 305(3-4), 413–424.
- Moreno, M., Melnick, D., Rosenau, M., Baez, J., Klotz, J., Oncken, O., Tassara, A., Chen, J., Bataille, K., Bevis, M., Socquet, A., Bolte, J., Vigny, C., Brooks, B., Ryder, I., Grund, V., Smalley, B., Carrizo, D., Bartsch, M., y Hase, H. (2012). Toward understanding tectonic control on the Mw 8.8 2010 Maule Chile earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 321, 152–165.
- Mosolf, J. G., Gans, P. B., Wyss, A. R., Cottle, J. M., y Flynn, J. J. (2018). Late Cretaceous to Miocene volcanism, sedimentation, and upper-crustal faulting and folding in the Principal

Cordillera, central Chile: field and geochronological evidence for protracted arc volcanism and transpressive deformation. *Bulletin*, 131(1-2), 252–273.

Mpodozis, C., & Ramos, V.A., (1989). The Andes of Chile and Argentina, in Ericksen, G.E., Cañas, M.T., and Reinemund, J.A., eds., *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series 11*, 59–90.

Muñoz, J., Fernández, B., Varas, E., Pastén, P., Gómez, D., Rengifo, P., Muñoz J., Atenas M., y Jofré, J. (2007). Chilean water resources. *In The geology of Chile*, 215–230.

Muñoz, E., Sepulveda, S., y Rebolledo, S. (2012). Nuevos antecedentes sobre la falla Marga-Marga y sus implicancias en el peligro sísmico. In XIII Congreso Geológico Chileno, 857–859.

Nealy, J., Herman, M., Moore, G., Hayes, G., Benz, H., Bergman, E., y Barrientos, S. (2017). 2017 Valparaíso earthquake sequence and the megathrust patchwork of central Chile. *Geophysical Research Letters*, 44(17), 8865–8872.

Navarro–Aránguiz, A., Comte, D., Farías, M., Roecker, S., Calle-Gardella, D., Zhang, H., Gao, L., y Rietbrock, A. (2022). Subduction erosion and basal accretion in the Central Chile subduction wedge inferred from local earthquake tomography. *Journal of South American Earth Sciences*, 115, 103765.

Nicol, A., & Wallace, L. M. (2007). Temporal stability of deformation rates: Comparison of geological and geodetic observations, Hikurangi subduction margin, *New Zealand. Earth and Planetary Science Letters*, 258(3-4), 397–413.

Niemeyer, H. & Muñoz, J. (1983). Hoja de La Laja, Región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 57: 52 p., escala 1:250.000.

Pankhurst R., & Hervé F. (2007). Introduction and overview. *In The geology of Chile*. 1–5. *Geological Society of London*.

Pardo–Casas, F. & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plate since Late Cretaceous time. *Tectonics* 6, 233–248.

Pérez, A., Ruiz, J. A., Vargas, G., Rauld, R., Rebolledo, S., y Campos, J. (2014). Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramon Fault at the eastern border of Santiago city, Chile. *Natural Hazards*, 71(1), 243–274.

Pérez–Flores, P., Cembrano, J., Sánchez-Alfaro, P., Veloso, E., Arancibia, G., y Roquer, T. (2016). Tectonics, magmatism and paleo-fluid distribution in a strike-slip setting: Insights from the northern termination of the Liquiñe–Ofqui fault System, Chile. *Tectonophysics*, 680, 192–210.

Pérez–Peña, J. V., Al-Awabdeh, M., Azañón, J. M., Galve, J. P., Booth-Rea, G., y Notti, D. (2017). SwathProfiler and NProfiler: Two new ArcGIS Add-ins for the automatic extraction of swath and normalized river profiles. *Computers & Geosciences*, 104, 135–150.

Philippi, N., & Garrido, L. (2016). Recopilación de estudios en relación a la falla Marga–Marga y su implicancia en el peligro sísmico del plan de Viña del Mar.

- Piquer, J., Berry, R. F., Scott, R. J., y Cooke, D. R. (2016). Arc-oblique fault systems: their role in the Cenozoic structural evolution and metallogensis of the Andes of central Chile. *Journal of Structural Geology*, 89, 101–117.
- Ramos, V. (1999a). Rasgos estructurales del territorio argentino. *Geología Argentina*, 29(24), 15–75.
- Ramos, V. (1999b). Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*, 29(3), 41–96.
- Ramos, V. (2010). The tectonic regime along the Andes: Present-day and Mesozoic regimes. *Geological Journal*, 45(1), 2–25.
- Ramos, V., & Ghiglione, M. (2008). Tectonic evolution of the Patagonian Andes. *Developments in quaternary sciences*, 11, 57–71.
- Ramos, H., & Villar, S. (2018). Sistema de depositación e influencia tectónica en la evolución paleogeográfica de las unidades sedimentarias Pliocenas–Cuaternarias del Estero Marga-Marga, Región de Valparaíso, Chile. In *Actas del XV Congreso Geológico Chileno. Geociencias hacia la Comunidad*. 682–684. Universidad de Concepción Chile.
- Rauld, R., Vargas, G., Armijo, R., Ormeño, A., Valderas, C., y Campos, J. (2006). Cuantificación de escarpes de falla y deformación reciente en el frente cordillerano de Santiago. In *Congreso Geológico Chileno No. 11*, 447–450.
- Riedel, M. (2021). Geometría y micro sismicidad de la falla mesamávida mediante una red sísmica local. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción. Departamento Ciencias de la Tierra. 99 pp. Concepción.
- Riesner, M., Lacassin, R., Simoes, M., Carrizo, D., y Armijo, R. (2018). Revisiting the crustal structure and kinematics of the central Andes at 33.5° S: Implications for the mechanics of Andean Mountain building. *Tectonics*, 37(5), 1347–1375.
- Riesner, M., Lacassin, R., Simoes, M., Armijo, R., Rauld, R., y Vargas, G. (2017). Kinematics of the active west Andean fold-and-thrust belt (Central Chile): Structure and long-term shortening rate. *Tectonics*, 36(2), 287–303.
- Rodríguez, M. P. (2008). Evolución de la erosión y del relieve del antearco de Chile Central (33–34°s) durante el Neógeno mediante el análisis de minerales pesados detríticos y la geomorfología. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile. Departamento de Geología. 246 pp. Santiago.
- Rojas–Vera, E. A., Folguera, A., Valcarce, G. Z., Bottesi, G. y Ramos, V.A. (2014). Structure and development of the Andean system between 36 and 39 S. *Journal of Geodynamics*, 73, 34–52.
- Rosenau, M. R. (2004). Tectonics of the Southern Andean intra-arc zone (38–42 S) (Doctoral dissertation). Chapter 5: Neotectonics, 55–80.
- Rosenau, M., Melnick, D., y Echtler, H. (2006). Kinematic constraints on intra-arc shear and strain partitioning in the southern Andes between 38 S and 42 S latitude. *Tectonics*, 25(4). 16 pp.
- Ruiz, J. A., & Contreras–Reyes, E. (2015). Outer rise seismicity boosted by the Maule 2010 Mw 8.8 megathrust earthquake. *Tectonophysics*, 653, 127–139.

- Ruiz, S., & Madariaga, R. (2018). Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile. *Tectonophysics*, 733, 37–56.
- Ryder, I., Rietbrock, A., Kelson, K., Bürgmann, R., Floyd, M., Socquet, A., Vigny, C., y Carrizo, D. (2012). Large extensional aftershocks in the continental forearc triggered by the 2010 Maule earthquake, Chile. *Geophysical Journal International*, 188(3), 879–890.
- Sánchez, P., Pérez–Flores, P., Arancibia, G., Cembrano, J., y Reich, M. (2013). Crustal deformation effects on the chemical evolution of geothermal systems: the intra-arc Liquiñe–Ofqui fault system, Southern Andes. *International Geology Review*, 55(11), 1384–1400.
- Santibáñez, I., Cembrano, J., García–Pérez, T., Costa, C., Yáñez, G., Marquardt, C., Arancibia G., y González, G. (2019). Crustal Faults in The Chilean Andes: Geological Constraints and Seismic Potential. *Andean geology*, 46(1), 32–65.
- Sepúlveda, D., Santana, C., y Toledo, P. (2013). Ciclo Andino. Universidad de Concepción. 25 pp.
- Sepúlveda, T. (2019). Neotectónica y paleosismología de la falla Mesamávida: evidencia de actividad cuaternaria tardía del cabalgamiento andino occidental (WATF) en la Región del Maule, Chile Central (36° S). Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción. Departamento Ciencias de la Tierra. 124 pp. Concepción.
- SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería). (2003). Mapa geológico de Chile.
- Sequeira–Arguedas, J. (2020). Caracterización geotécnica de suelos en la Finca Jaboncillos, Escazú: análisis geofísico, estabilidad de laderas y capacidad de carga admisible (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA).
- Seton, M., Müller, R. D., Zahirovic, S., Gaina, C., Torsvik, T., Shephard, G., Talsma, A., Gurnis, M., Turner, M., Maus, S. y Chandler, M. (2012). Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma. *Earth-Science Reviews*, 113(3-4), 212–270.
- Sharma, S., Hainzl, S., Zöeller, G., y Holschneider, M. (2020). Is Coulomb stress the best choice for aftershock forecasting?. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(9).
- Shrivastava, M., González, G., Moreno, M., Chlieh, M., Salazar, P., Reddy, C. D., Báez, J. C., Yáñez, G., González, J. y de la Llera, J. C. (2016). Coseismic slip and afterslip of the 2015 Mw 8.3 Illapel (Chile) earthquake determined from continuous GPS data. *Geophysical Research Letters*, 43(20), 10 pp.
- Sielfeld, G., Lange, D., y Cembrano, J. (2019). Intra-arc crustal seismicity: Seismotectonic implications for the southern Andes volcanic zone, Chile. *Tectonics*, 38(2), 552–578.
- Slemmons, D. B., & Depolo, C. M. (1986). Evaluation of active faulting and associated hazards. *Active Tectonics*, 1986, 45–62.
- Somoza, R., & Ghidella, M. E. (2005). Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(4), 797–809.
- Stefer, S. (2010). Late Pleistocene-Holocene sedimentary processes at the active margin of South-Central Chile: marine and lacustrine sediment records as archives of tectonics and climate variability (Doctoral dissertation, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ). 138 pp.

Stanton–Yonge, A., Griffith, W., Cembrano, J., St. Julien, R., y Iturrieta, P. (2016). Tectonic role of margin-parallel and margin-transverse faults during oblique subduction in the Southern Volcanic Zone of the Andes: Insights from Boundary Element Modeling. *Tectonics*, 35(9), 1990–2013.

Stern, C. R. (1989). Pliocene to present migration of the volcanic front, Andean Southern Volcanic Zone. *Andean Geology*, 16(2), 145–162.

Strecker, M., Alonso, R., Bookhagen, B., Carrapa, B., Hilley, G., Sobel, E., y Trauth, M. (2007). Tectonics and climate of the southern central Andes. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35, 747–787.

Tassara, A., & Yáñez, G. (2003). Relación entre el espesor elástico de la litosfera y la segmentación tectónica del margen andino (15–47°S). *Revista Geológica de Chile* Vol. 30 (2); 159–186.

Thiele, R. (1978). Hoja Santiago. Escala 1:250000. Carta Geológica de Chile N° 39. Inst. Invest. Geológico.

Thomson, S. N. (2002). Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 42 S and 46 S: An appraisal based on fission-track results from the transpressional intra-arc Liquiñe-Ofqui fault zone. *Geological Society of America Bulletin*, 114(9), 1159–1173.

Thorson, R. M. (1999). La Falla ‘Marga-Marga’. Viña del Mar. Universidad Técnica Federico Santa María.

Toda, S., Stein, R.S., Richards–Dinger, K., y Bozkurt, S.B. (2005). Forecasting the evolution of seismicity in southern California: animations built on earthquake stress transfer. *J. Geophys. Res. Solid Earth*.

Valdivia, D. D. (2020). Co-seismic landslides: an approach using synthetic seismograms and newmark analysis: case study: coastal range of Valparaíso, Chile. 107 pp.

Vargas, G., & Rebolledo, S. (2012). Paleosismología de la falla San Ramón e implicancias para el peligro sísmico de Santiago. In XIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, Meeting Abstracts. 851–853.

Vargas, G., Klinger, Y., Rockwell, T. K., Forman, S. L., Rebolledo, S., Baize, S., Lacassin, R., y Armijo, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, 42(12), 1083–1086.

Vargas, G., Rebolledo, S., Sepúlveda, S. A., Lahsen, A., Thiele, R., Townley, B., Padilla, C., Rauld, R., Herrera, M. J., y Lara, M. (2013). Submarine earthquake rupture, active faulting and volcanism along the major Liquiñe–Ofqui Fault Zone and implications for seismic hazard assessment in the Patagonian Andes. *Andean Geology*, 40(1), 141–171.

Vega, A. (2021). Paleosismología de la Falla Mesamávida, Frente Andino Occidental en Chile Central (36°S): Antecedentes a partir del mapeo de la trinchera Los Barros y la datación morfológica de su escarpe mediante el código Scarplet. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción. Departamento Ciencias de la Tierra. 234 pp. Concepción.

Villalobos, A., Easton, G., Maksymowicz, A., Ruiz, S., Lastras, G., De Pascale, G. P., y Agurto–Detzel, H. (2020). Active Faulting, Submarine Surface Rupture, and Seismic Migration Along the

Liquiñe–Ofqui Fault System, Patagonian Andes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(9), 52 pp.

Wang, K. (2007). Elastic and viscoelastic models of crustal deformation in subduction zone cycles. The seismogenic zone of subduction thrust faults, 540–577.

Yáñez, G., & Cembrano, J. (2004). Role of viscous plate coupling in the late Tertiary Andean tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 109(B2), 21 pp.

Yáñez, G., Pérez–Estay, N., Araya-Vargas, J., Sanhueza, J., Figueroa, R., Maringue, J., y Rojas, T. (2020). Shallow anatomy of the San Ramón Fault (Chile) constrained by geophysical methods: implications for its role in the Andean deformation. *Tectonics*, 39(8). 36 pp.



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



ANEXOS

Memoria para optar al Título de Geólogo

Karim Andrei Guerstein Lucas

Profesor Patrocinante: Dr. Joaquín Cortés Aranda

Profesores Comisión: Dra. Fernanda Álvarez Amado
Dr. Andrés Tassara Oddo

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
I.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo de Valdivia (1960)	124
II.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo del Maule (2010).....	126
III.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo de Illapel (2015)	132
IV.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo de Melinka (2016)	142
V.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo sintético (RS1)	160
VI.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo sintético (RS2)	161
VII.	Archivo de entrada Coulomb 3.3 para sismo sintético (RS3)	162

ANEXO I: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO DE VALDIVIA (1960)

header line 1

header line 2

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 27 sym= 1

PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 7.500

E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= 0.400

S1DR= 19.000 S1DP= -0.010 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000

S2DR= 89.990 S2DP= 89.990 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000

S3DR= 109.000 S3DP= -0.010 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rt.lat	reverse	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxxx	xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxx	xxxx	xxxxx
1	-120.9772	-745.0060	-108.7903	-645.7514	100	0.7900	2.9500	20.0000	0.0000	13.7677
1	-83.4328	-749.6159	-71.2459	-650.3612	100	4.4200	16.5100	20.0000	13.7677	27.5353
1	-45.8884	-754.2257	-33.7015	-654.9711	100	0.5800	2.1800	20.0000	27.5353	41.3030
1	-108.7903	-645.7514	-96.6033	-546.4968	100	3.3000	12.3300	20.0000	0.0000	13.7677
1	-71.2459	-650.3612	-59.0589	-551.1066	100	4.6900	17.5000	20.0000	13.7677	27.5353
1	-33.7015	-654.9711	-21.5145	-555.7165	100	1.1800	4.3900	20.0000	27.5353	41.3030
1	-96.6033	-546.4968	-84.4164	-447.2422	100	5.5400	20.6900	20.0000	0.0000	13.7677
1	-59.0589	-551.1066	-46.8720	-451.8520	100	3.8300	14.3100	20.0000	13.7677	27.5353
1	-21.5145	-555.7165	-9.3276	-456.4619	100	1.3300	4.9600	20.0000	27.5353	41.3030
1	-84.4164	-447.2422	-72.2295	-347.9875	100	1.6800	6.2600	20.0000	0.0000	13.7677
1	-46.8720	-451.8520	-34.6851	-352.5974	100	7.0900	26.4500	20.0000	13.7677	27.5353
1	-9.3276	-456.4619	2.8593	-357.2073	100	1.4300	5.3200	20.0000	27.5353	41.3030
1	-72.2295	-347.9875	-60.0425	-248.7329	100	1.0600	3.9700	20.0000	0.0000	13.7677
1	-34.6851	-352.5974	-22.4981	-253.3428	100	6.3900	23.8500	20.0000	13.7677	27.5353
1	2.8593	-357.2073	15.0463	-257.9527	100	2.4800	9.2600	20.0000	27.5353	41.3030
1	-60.0425	-248.7329	-47.8556	-149.4783	100	0.6100	2.2600	20.0000	0.0000	13.7677
1	-22.4981	-253.3428	-10.3112	-154.0882	100	6.7100	25.0500	20.0000	13.7677	27.5353
1	15.0463	-257.9527	27.2332	-158.6981	100	2.4400	9.0900	20.0000	27.5353	41.3030
1	-47.8556	-149.4783	-35.6687	-50.2237	100	1.4300	5.3500	20.0000	0.0000	13.7677
1	-10.3112	-154.0882	1.8757	-54.8336	100	7.7800	29.0500	20.0000	13.7677	27.5353
1	27.2332	-158.6981	39.4201	-59.4435	100	4.4500	16.9300	20.0000	27.5353	41.3030
1	-35.6687	-50.2237	-23.4817	49.0309	100	1.0800	4.0200	20.0000	0.0000	13.7677
1	1.8757	-54.8336	14.0627	44.4210	100	2.7800	10.3900	20.0000	13.7677	27.5353
1	39.4201	-59.4435	51.6071	39.8112	100	0.2600	0.9700	20.0000	27.5353	41.3030
1	-23.4817	49.0309	-11.2948	148.2855	100	0.2000	0.7300	20.0000	0.0000	13.7677
1	14.0627	44.4210	26.2496	143.6756	100	0.3000	1.1000	20.0000	13.7677	27.5353
1	51.6071	39.8112	63.7940	139.0658	100	0.4700	1.7700	20.0000	27.5353	41.3030

Grid Parameters

1 ----- Start-x = -302.4327698

2 ----- Start-y = -833.9619751

3 ----- Finish-x = 388.8265076

```
4 ----- Finish-y = 722.7670288
5 ----- x-increment = 8.6407413
6 ----- y-increment = 11.1194925
Size Parameters
1 ----- Plot size = 2.0000000
2 ----- Shade/Color increment = 1.0000000
3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.0000000

Cross section default
1 ----- Start-x = -74.6850903
2 ----- Start-y = -74.2916056
3 ----- Finish-x = -38.6438911
4 ----- Finish-y = -38.2661761
5 ----- Distant-increment = 1.0000000
6 ----- Z-depth = -30.0000000
7 ----- Z-increment = 1.0000000
Map info
1 ----- min. lon = -78.0000000
2 ----- max. lon = -70.0000000
3 ----- zero lon = -74.5000000
4 ----- min. lat = -46.0000000
5 ----- max. lat = -32.0000000
6 ----- zero lat = -38.5000000
```

ANEXO II: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO DEL MAULE (2010)

p000h7rf_coulomb.inp inverted by Gavin Hayes (USGS/NEIC) with $M_0 = 2.45e+29$ dyne-cm, and $M_w = 8.86$

See Hayes (2017)

```
#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 236 sym= 1
PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 10.000
E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05
XSYM= .000 YSYM= .000
FRIC= 0.400
S1DR= 19.000 S1DP= -0.010 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000
S2DR= 89.990 S2DP= 89.990 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000
S3DR= 109.000 S3DP= -0.010 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000
```

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxx	xxxxxx	xxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxxxx	xxxx	xxxxx
1	-36.0093	-27.4610	-28.0650	-3.7479	100	122.9948	6.3921	17.5000	16.9937	22.3313
1	-28.0651	-3.7368	-20.0856	19.9689	100	87.6819	1.1696	17.5000	16.9937	22.3313
1	-20.0677	19.9800	-12.0714	43.6782	100	70.9816	0.1471	17.5000	16.9937	22.3313
1	-12.0173	43.7006	-4.0045	67.3913	100	125.1143	1.4115	17.5000	16.9937	22.3313
1	-3.9412	67.4025	4.0968	91.0859	100	102.4856	8.6343	17.5000	16.9937	22.3313
1	4.1874	91.0970	12.2411	114.7619	100	108.9657	14.4901	17.5000	16.9937	22.3313
1	12.3502	114.7840	20.4284	138.4415	100	120.6460	10.3908	17.5000	16.9937	22.3313
1	20.5651	138.4634	28.6675	162.1136	100	102.8717	9.2366	17.5000	16.9937	22.3313
1	28.8137	162.1354	36.9399	185.7783	100	128.2137	9.1188	17.5000	16.9937	22.3313
1	37.1048	185.7998	45.2545	209.4354	100	109.6114	5.9541	17.5000	16.9937	22.3313
1	45.4474	209.4567	53.6111	233.0850	100	128.7441	2.3619	17.5000	16.9937	22.3313
1	53.8230	233.1060	62.0094	256.7270	100	148.1253	2.2150	17.5000	16.9937	22.3313
1	62.2403	256.7477	70.4493	280.3614	100	144.5585	0.9315	17.5000	16.9937	22.3313
1	70.7179	280.3816	78.9398	303.9882	100	125.3914	0.1307	17.5000	16.9937	22.3313
1	-20.0085	-32.8353	-12.0165	-9.1370	100	97.2480	12.2985	17.5000	22.3312	27.6688
1	-12.0165	-9.1259	-4.0074	14.5650	100	112.8563	6.6988	17.5000	22.3312	27.6688
1	-3.9895	14.5761	4.0453	38.2595	100	147.8169	0.2575	17.5000	22.3312	27.6688
1	4.0904	38.2706	12.1506	61.9467	100	85.4143	0.9203	17.5000	22.3312	27.6688
1	12.2048	61.9577	20.2901	85.6264	100	92.6950	7.9613	17.5000	22.3312	27.6688
1	20.3716	85.6373	28.4726	109.2875	100	105.1502	12.1735	17.5000	22.3312	27.6688
1	28.5725	109.3094	36.6978	132.9522	100	121.9535	9.7945	17.5000	22.3312	27.6688
1	36.8345	132.9739	44.9748	156.6093	100	91.1716	9.8108	17.5000	22.3312	27.6688
1	45.1210	156.6308	53.2849	180.2590	100	100.4897	10.5390	17.5000	22.3312	27.6688
1	53.4590	180.2802	61.6463	203.9011	100	84.0947	3.9522	17.5000	22.3312	27.6688
1	61.8300	203.9221	70.0404	227.5356	100	147.8737	0.3420	17.5000	22.3312	27.6688
1	70.2431	227.5674	78.4763	251.1737	100	125.5808	2.1901	17.5000	22.3312	27.6688
1	78.7071	251.1940	86.9535	274.7931	100	135.8309	0.2637	17.5000	22.3312	27.6688
1	87.2034	274.8129	95.4718	298.4049	100	92.1426	0.0645	17.5000	22.3312	27.6688
1	-4.0278	-38.2392	4.0120	-14.5557	100	111.5059	16.2212	17.5000	27.6687	33.0063
1	4.0030	-14.5446	12.0598	9.1315	100	120.8134	10.4041	17.5000	27.6687	33.0063
1	12.0688	9.1426	20.1511	32.8112	100	158.7084	1.4696	17.5000	27.6687	33.0063
1	20.1872	32.8222	28.2858	56.4835	100	135.0947	0.0557	17.5000	27.6687	33.0063
1	28.3490	56.4944	36.4727	80.1482	100	115.1179	3.9006	17.5000	27.6687	33.0063

1	36.5451	80.1591	44.6933	103.7944	100	128.4157	9.6075	17.5000	27.6687	33.0063
1	44.7932	103.8162	52.9566	127.4442	100	103.1460	10.5964	17.5000	27.6687	33.0063
1	53.0751	127.4657	61.2624	151.0864	100	102.3453	13.0931	17.5000	27.6687	33.0063
1	61.4085	151.1077	69.6103	174.7211	100	107.1655	14.0243	17.5000	27.6687	33.0063
1	69.7752	174.7421	78.0002	198.3482	100	118.1755	5.2135	17.5000	27.6687	33.0063
1	78.1930	198.3688	86.4411	221.9677	100	78.7801	0.8277	17.5000	27.6687	33.0063
1	86.6528	221.9879	94.9142	245.5796	100	114.3804	4.2257	17.5000	27.6687	33.0063
1	95.1449	245.5994	103.4379	269.1838	100	154.7378	2.4323	17.5000	27.6687	33.0063
1	103.6785	269.2033	111.9934	292.7804	100	124.3315	0.1322	17.5000	27.6687	33.0063
1	-102.4788	-5.5522	-94.7124	18.2105	100	107.6475	4.1210	10.0000	4.6647	7.7469
1	-94.6587	18.2333	-86.8657	41.9886	100	134.9567	4.3215	10.0000	4.6647	7.7469
1	-86.8028	42.0115	-78.9834	65.7593	100	139.1175	2.6999	10.0000	4.6647	7.7469
1	-78.8932	65.7824	-71.0569	89.5227	100	92.7834	4.3335	10.0000	4.6647	7.7469
1	-70.9393	89.5459	-63.0864	113.2787	100	93.9477	4.9374	10.0000	4.6647	7.7469
1	-62.9502	113.3019	-55.0629	137.0274	100	97.8479	5.4590	10.0000	4.6647	7.7469
1	-54.9082	137.0506	-47.0050	160.7686	100	95.1763	2.8393	10.0000	4.6647	7.7469
1	-46.8316	160.7918	-38.9037	184.5024	100	71.8833	0.0779	10.0000	4.6647	7.7469
1	-38.7023	184.5255	-30.7593	208.2288	100	70.7329	0.0407	10.0000	4.6647	7.7469
1	-30.5390	208.2517	-22.5720	231.9476	100	72.1364	0.0391	10.0000	4.6647	7.7469
1	-22.3235	231.9705	-14.3329	255.6590	100	72.2003	0.0371	10.0000	4.6647	7.7469
1	-14.0745	255.6817	-6.0605	279.3629	100	71.4040	0.0611	10.0000	4.6647	7.7469
1	-5.7829	279.3853	2.2541	303.0592	100	70.7606	0.0756	10.0000	4.6647	7.7469
1	2.5417	303.0925	10.6013	326.7591	100	71.5554	0.0612	10.0000	4.6647	7.7469
1	-85.8208	-10.9762	-78.0054	12.7715	100	91.0186	6.2513	10.0000	7.7470	10.8292
1	-77.9607	12.7941	-70.1278	36.5342	100	119.7881	5.6905	10.0000	7.7470	10.8292
1	-70.0559	36.5570	-62.1968	60.2897	100	145.1587	7.7000	10.0000	7.7470	10.8292
1	-62.1157	60.3125	-54.2307	84.0377	100	116.1854	8.6551	10.0000	7.7470	10.8292
1	-54.1221	84.0606	-46.2206	107.7784	100	103.6269	11.1465	10.0000	7.7470	10.8292
1	-46.0936	107.8013	-38.1669	131.5116	100	117.0220	12.6741	10.0000	7.7470	10.8292
1	-38.0122	131.5345	-30.0607	155.2375	100	112.6451	9.7873	10.0000	7.7470	10.8292
1	-29.8964	155.2603	-21.9203	178.9558	100	123.7802	8.2465	10.0000	7.7470	10.8292
1	-21.7281	178.9785	-13.7369	202.6667	100	116.2880	7.9953	10.0000	7.7470	10.8292
1	-13.5259	202.6892	-5.5108	226.3700	100	126.1249	5.7315	10.0000	7.7470	10.8292
1	-5.2716	226.3924	2.7579	250.0659	100	72.4532	0.0999	10.0000	7.7470	10.8292
1	3.0069	250.0881	11.0595	273.7542	100	71.6881	0.0918	10.0000	7.7470	10.8292
1	11.3370	273.7761	19.4218	297.4350	100	71.7729	0.0208	10.0000	7.7470	10.8292
1	19.7185	297.4566	27.8166	321.1081	100	99.1366	0.1831	10.0000	7.7470	10.8292
1	-69.1838	-16.4430	-61.3195	7.2895	100	113.0315	4.9684	10.0000	10.8292	13.9114
1	-61.2837	7.3120	-53.4019	31.0369	100	109.7698	6.5361	10.0000	10.8292	13.9114
1	-53.3390	31.0596	-45.4402	54.7770	100	124.4132	6.6519	10.0000	10.8292	13.9114
1	-45.3590	54.7997	-37.4253	78.5097	100	118.4518	8.8180	10.0000	10.8292	13.9114
1	-37.3259	78.5324	-29.3758	102.2350	100	103.5219	14.3138	10.0000	10.8292	13.9114
1	-29.2488	102.2577	-21.2827	125.9528	100	113.8650	16.3244	10.0000	10.8292	13.9114
1	-21.1371	125.9754	-13.1462	149.6632	100	108.6317	16.8144	10.0000	10.8292	13.9114
1	-12.9730	149.6968	-4.9668	173.3772	100	109.5655	16.1243	10.0000	10.8292	13.9114
1	-4.7747	173.3995	3.2648	197.0726	100	96.3931	14.3317	10.0000	10.8292	13.9114
1	3.4665	197.0947	11.5206	220.7604	100	95.6711	12.4070	10.0000	10.8292	13.9114
1	11.7504	220.7824	19.8279	244.4407	100	101.0362	2.6457	10.0000	10.8292	13.9114
1	20.0769	244.4624	28.1774	268.1135	100	84.8696	1.7370	10.0000	10.8292	13.9114
1	28.4548	268.1348	36.5689	291.7786	100	135.5455	0.9041	10.0000	10.8292	13.9114
1	36.8655	291.7997	45.0020	315.4362	100	138.0370	0.0237	10.0000	10.8292	13.9114

1	-52.5681	-21.9305	-44.6637	1.7867	100	139.7118	5.3656	10.0000	13.9115	16.9937
1	-44.6279	1.8091	-36.6972	25.5189	100	116.3852	5.5963	10.0000	13.9115	16.9937
1	-36.6433	25.5414	-28.6956	49.2436	100	124.6089	3.7373	10.0000	13.9115	16.9937
1	-28.6145	49.2661	-20.6501	72.9609	100	133.1759	4.9010	10.0000	13.9115	16.9937
1	-20.5507	72.9834	-12.5519	96.6708	100	100.3359	11.6252	10.0000	13.9115	16.9937
1	-12.4431	96.6932	-4.4285	120.3732	100	116.4245	16.9582	10.0000	13.9115	16.9937
1	-4.2921	120.3955	3.7472	144.0681	100	122.6051	16.2895	10.0000	13.9115	16.9937
1	3.9114	144.0903	11.9659	167.7555	100	112.1542	14.2540	10.0000	13.9115	16.9937
1	12.1487	167.7775	20.2272	191.4354	100	118.0709	12.6042	10.0000	13.9115	16.9937
1	20.4381	191.4571	28.5403	215.1076	100	109.3127	8.0679	10.0000	13.9115	16.9937
1	28.7609	215.1292	36.8864	238.7724	100	125.5437	1.7074	10.0000	13.9115	16.9937
1	37.1352	238.7936	45.2746	262.4295	100	99.4126	1.4320	10.0000	13.9115	16.9937
1	45.5425	262.4504	53.7045	286.0791	100	136.7264	2.3450	10.0000	13.9115	16.9937
1	53.9917	286.0996	62.1761	309.7210	100	95.7748	0.0950	10.0000	13.9115	16.9937
1	11.4423	-43.4718	19.5196	-19.8138	100	91.9385	10.6865	23.5000	34.7466	41.8244
1	19.5376	-19.7916	27.6409	3.8589	100	109.4861	13.5795	23.5000	34.7466	41.8244
1	27.6858	3.8810	35.8057	27.5240	100	108.8203	2.9481	23.5000	34.7466	41.8244
1	35.8688	27.5460	44.0140	51.1816	100	103.4852	0.5862	23.5000	34.7466	41.8244
1	44.1044	51.2034	52.2655	74.8317	100	71.2410	3.2037	23.5000	34.7466	41.8244
1	52.3742	74.8644	60.5599	98.4852	100	126.2589	6.6272	23.5000	34.7466	41.8244
1	60.6962	98.5065	68.9062	122.1200	100	106.7618	6.8422	23.5000	34.7466	41.8244
1	69.0519	122.1411	77.2858	145.7472	100	114.5809	11.3562	23.5000	34.7466	41.8244
1	77.4592	145.7679	85.7077	169.3667	100	104.9041	10.9350	23.5000	34.7466	41.8244
1	85.8999	169.3871	94.1716	192.9786	100	92.5136	4.2961	23.5000	34.7466	41.8244
1	94.3826	192.9987	102.6773	216.5828	100	104.8478	3.6298	23.5000	34.7466	41.8244
1	102.9073	216.6025	111.2246	240.1794	100	138.9937	6.6549	23.5000	34.7466	41.8244
1	111.4828	240.1984	119.8132	263.7682	100	157.8830	4.9643	23.5000	34.7466	41.8244
1	120.0906	263.7868	128.4429	287.3493	100	82.6800	0.0428	23.5000	34.7466	41.8244
1	26.8311	-48.7207	34.9549	-25.0772	100	96.2177	6.4925	23.5000	41.8244	48.9022
1	34.9728	-25.0550	43.1135	-1.4189	100	113.6104	9.7651	23.5000	41.8244	48.9022
1	43.1495	-1.3969	51.3157	22.2318	100	153.7122	4.0847	23.5000	41.8244	48.9022
1	51.3788	22.2537	59.5612	45.8749	100	146.9030	1.3387	23.5000	41.8244	48.9022
1	59.6425	45.8966	67.8497	69.5105	100	92.1100	0.7050	23.5000	41.8244	48.9022
1	67.9584	69.5319	76.1811	93.1384	100	95.5885	4.4761	23.5000	41.8244	48.9022
1	76.3082	93.1596	84.5550	116.7587	100	146.7741	2.3866	23.5000	41.8244	48.9022
1	84.7006	116.7796	92.9713	140.3714	100	130.5969	5.8835	23.5000	41.8244	48.9022
1	93.1538	140.3917	101.4388	163.9762	100	113.2867	8.0050	23.5000	41.8244	48.9022
1	101.6310	163.9963	109.9392	187.5735	100	96.4618	4.2349	23.5000	41.8244	48.9022
1	110.1502	187.5932	118.4812	211.1631	100	139.3516	2.9265	23.5000	41.8244	48.9022
1	118.7203	211.1822	127.0647	234.7450	100	141.9533	10.3126	23.5000	41.8244	48.9022
1	127.3228	234.7636	135.6894	258.3191	100	157.3371	4.2509	23.5000	41.8244	48.9022
1	135.9666	258.3372	144.3550	281.8855	100	110.6492	0.1680	23.5000	41.8244	48.9022
1	42.2100	-54.0084	50.3713	-30.3792	100	120.3463	4.3295	23.5000	48.9022	55.9800
1	50.3893	-30.3571	58.5764	-6.7355	100	103.2711	3.9519	23.5000	48.9022	55.9800
1	58.6034	-6.7134	66.8159	16.9008	100	94.9010	1.0217	23.5000	48.9022	55.9800
1	66.8700	16.9226	75.0986	40.5295	100	110.6010	1.7315	23.5000	48.9022	55.9800
1	75.1709	40.5511	83.4243	64.1505	100	82.2898	1.2039	23.5000	48.9022	55.9800
1	83.5239	64.1718	91.7926	87.7639	100	74.9873	2.0075	23.5000	48.9022	55.9800
1	91.9106	87.7849	100.2034	111.3696	100	94.5302	0.9796	23.5000	48.9022	55.9800
1	100.3490	111.3902	108.6564	134.9677	100	104.5017	3.2295	23.5000	48.9022	55.9800
1	108.8206	134.9879	117.1515	158.5580	100	152.7641	4.9754	23.5000	48.9022	55.9800

1	117.3344	158.5779	125.6883	182.1407	100	155.9462	1.0964	23.5000	48.9022	55.9800
1	125.8992	182.1600	134.2667	205.7156	100	152.7010	0.2474	23.5000	48.9022	55.9800
1	134.4965	205.7344	142.8864	229.2828	100	145.8189	4.9760	23.5000	48.9022	55.9800
1	143.1354	229.3123	151.5474	252.8534	100	144.4535	1.8186	23.5000	48.9022	55.9800
1	151.8245	252.8710	160.2583	276.4049	100	114.7581	0.0688	23.5000	48.9022	55.9800
1	-78.8874	-324.4883	-75.3141	-299.7465	100	123.0779	0.0881	17.5000	16.9937	22.3313
1	-75.4354	-299.7254	-71.8556	-274.9854	100	77.7512	4.1916	17.5000	16.9937	22.3313
1	-71.9599	-274.9751	-68.3651	-250.2368	100	71.8103	3.5855	17.5000	16.9937	22.3313
1	-68.4698	-250.2155	-64.8601	-225.4788	100	125.8236	0.5706	17.5000	16.9937	22.3313
1	-64.9477	-225.4573	-61.3322	-200.7224	100	69.6321	1.4841	17.5000	16.9937	22.3313
1	-61.4112	-200.7007	-57.7812	-175.9675	100	121.2868	1.9068	17.5000	16.9937	22.3313
1	-57.8341	-175.9457	-54.1898	-151.2142	100	92.6777	4.1266	17.5000	16.9937	22.3313
1	-54.2517	-151.1923	-50.5933	-126.4625	100	92.6468	6.4054	17.5000	16.9937	22.3313
1	-50.6377	-126.4405	-46.9742	-101.7125	100	85.6012	5.1549	17.5000	16.9937	22.3313
1	-47.0098	-101.6904	-43.3326	-76.9640	100	123.9610	7.5001	17.5000	16.9937	22.3313
1	-43.3505	-76.9419	-39.6687	-52.2172	100	106.6475	11.4107	17.5000	16.9937	22.3313
1	-39.6777	-52.1950	-35.9825	-27.4720	100	109.9497	11.4747	17.5000	16.9937	22.3313
1	-62.7156	-326.9168	-59.0937	-302.1824	100	66.6456	0.1143	17.5000	22.3312	27.6688
1	-59.2150	-302.1610	-55.5868	-277.4284	100	60.8819	2.9272	17.5000	22.3312	27.6688
1	-55.6911	-277.4068	-52.0480	-252.6759	100	135.1820	0.8107	17.5000	22.3312	27.6688
1	-52.1439	-252.6542	-48.4861	-227.9249	100	132.7415	1.0053	17.5000	22.3312	27.6688
1	-48.5823	-227.9033	-44.9100	-203.1757	100	147.5126	1.7848	17.5000	22.3312	27.6688
1	-44.9890	-203.1538	-41.3112	-178.4280	100	132.9885	2.0813	17.5000	22.3312	27.6688
1	-41.3728	-178.4060	-37.6897	-153.6819	100	86.8079	4.6113	17.5000	22.3312	27.6688
1	-37.7427	-153.6599	-34.0368	-128.9374	100	80.4314	4.2352	17.5000	22.3312	27.6688
1	-34.0723	-128.9153	-30.3615	-104.1946	100	105.3077	3.6800	17.5000	22.3312	27.6688
1	-30.3970	-104.1725	-26.6727	-79.4534	100	132.4953	9.7544	17.5000	22.3312	27.6688
1	-26.6994	-79.4313	-22.9616	-54.7139	100	114.9819	12.6905	17.5000	22.3312	27.6688
1	-22.9706	-54.7028	-19.2285	-29.9871	100	103.7769	15.8599	17.5000	22.3312	27.6688
1	-46.5541	-329.3662	-42.8836	-304.6392	100	142.9629	0.0003	17.5000	27.6687	33.0063
1	-43.0048	-304.6176	-39.3194	-279.8922	100	114.0167	2.3127	17.5000	27.6687	33.0063
1	-39.4323	-279.8705	-35.7409	-255.1469	100	134.6645	1.2723	17.5000	27.6687	33.0063
1	-35.8454	-255.1251	-32.1395	-230.4032	100	110.9950	0.1254	17.5000	27.6687	33.0063
1	-32.2268	-230.3924	-28.5066	-205.6722	100	90.9389	2.5572	17.5000	27.6687	33.0063
1	-28.5768	-205.6502	-24.8511	-180.9317	100	64.9793	1.9898	17.5000	27.6687	33.0063
1	-24.9215	-180.9097	-21.1819	-156.1929	100	101.6265	3.8986	17.5000	27.6687	33.0063
1	-21.2348	-156.1708	-17.4903	-131.4557	100	125.1805	3.4953	17.5000	27.6687	33.0063
1	-17.5345	-131.4336	-13.7764	-106.7202	100	89.9073	3.8183	17.5000	27.6687	33.0063
1	-13.8030	-106.6980	-10.0315	-81.9863	100	120.4964	8.0360	17.5000	27.6687	33.0063
1	-10.0581	-81.9641	-6.2734	-57.2540	100	101.6958	10.6860	17.5000	27.6687	33.0063
1	-6.2823	-57.2318	-2.4844	-32.5234	100	98.2955	14.0553	17.5000	27.6687	33.0063
1	-30.4027	-331.8587	-26.6835	-307.1391	100	141.4487	0.1275	17.5000	33.0063	38.3439
1	-26.8046	-307.1172	-23.0707	-282.3993	100	144.6593	1.3524	17.5000	33.0063	38.3439
1	-23.1836	-282.3774	-19.4351	-257.6611	100	148.3688	1.5425	17.5000	33.0063	38.3439
1	-19.5396	-257.6392	-15.7855	-232.9247	100	102.6891	0.7843	17.5000	33.0063	38.3439
1	-15.8728	-232.9026	-12.1133	-208.1898	100	69.9633	1.6657	17.5000	33.0063	38.3439
1	-12.1921	-208.1677	-8.4099	-183.4566	100	108.6488	0.6880	17.5000	33.0063	38.3439
1	-8.4802	-183.4344	-4.6929	-158.7250	100	91.9950	2.4978	17.5000	33.0063	38.3439
1	-4.7546	-158.7028	-0.9537	-133.9951	100	141.9863	3.8491	17.5000	33.0063	38.3439
1	-0.9891	-133.9729	2.8164	-109.2669	100	142.6638	2.9694	17.5000	33.0063	38.3439
1	2.7810	-109.2446	6.5998	-84.5403	100	125.5543	3.7193	17.5000	33.0063	38.3439

1	6.5820	-84.5180	10.4139	-59.8154	100	75.9162	4.3977	17.5000	33.0063	38.3439
1	10.3961	-59.7931	14.2408	-35.0922	100	97.4013	3.6038	17.5000	33.0063	38.3439
1	-141.6371	-302.2237	-138.2529	-277.4541	100	79.1445	0.1207	10.0000	4.8849	7.9671
1	-138.3747	-277.4339	-134.9835	-252.6660	100	136.3835	2.4538	10.0000	4.8849	7.9671
1	-135.0883	-252.6455	-131.6816	-227.8793	100	146.7198	0.9225	10.0000	4.8849	7.9671
1	-131.7867	-227.8587	-128.3647	-203.0942	100	148.6773	2.7177	10.0000	4.8849	7.9671
1	-128.4438	-203.0732	-125.0154	-178.3105	100	149.3494	4.8299	10.0000	4.8849	7.9671
1	-125.0860	-178.2893	-121.6513	-153.5283	100	149.3318	6.0748	10.0000	4.8849	7.9671
1	-121.7133	-153.5070	-118.2551	-128.7476	100	148.4058	4.0589	10.0000	4.8849	7.9671
1	-118.3084	-128.7261	-114.8444	-103.9685	100	85.9705	2.6431	10.0000	4.8849	7.9671
1	-114.8890	-103.9468	-111.4106	-79.1909	100	66.2682	2.8642	10.0000	4.8849	7.9671
1	-111.4376	-79.1690	-107.9538	-54.4149	100	61.7194	6.6321	10.0000	4.8849	7.9671
1	-107.9719	-54.3928	-104.4651	-29.6402	100	61.4098	9.0524	10.0000	4.8849	7.9671
1	-104.4742	-29.6292	-100.9624	-4.8784	100	63.2580	7.0499	10.0000	4.8849	7.9671
1	-124.9062	-304.5990	-121.4807	-279.8369	100	141.8439	0.1355	10.0000	7.9671	11.0493
1	-121.5938	-279.8163	-118.1529	-255.0559	100	129.0298	3.4683	10.0000	7.9671	11.0493
1	-118.2663	-255.0353	-114.8100	-230.2765	100	60.2643	3.3357	10.0000	7.9671	11.0493
1	-114.9063	-230.2555	-111.4349	-205.4984	100	97.2828	3.8311	10.0000	7.9671	11.0493
1	-111.5227	-205.4773	-108.0450	-180.7220	100	119.1407	5.2500	10.0000	7.9671	11.0493
1	-108.1243	-180.7008	-104.6318	-155.9471	100	148.0872	5.5106	10.0000	7.9671	11.0493
1	-104.6938	-155.9256	-101.1866	-131.1736	100	69.2662	3.1312	10.0000	7.9671	11.0493
1	-101.2487	-131.1521	-97.7272	-106.4018	100	104.3382	6.3269	10.0000	7.9671	11.0493
1	-97.7717	-106.3801	-94.2447	-81.6315	100	74.9791	4.4965	10.0000	7.9671	11.0493
1	-94.2805	-81.6097	-90.7394	-56.8628	100	72.3651	7.5613	10.0000	7.9671	11.0493
1	-90.7575	-56.8407	-87.2114	-32.0956	100	62.0004	10.8924	10.0000	7.9671	11.0493
1	-87.2205	-32.0846	-83.6517	-7.3410	100	65.9641	7.9929	10.0000	7.9671	11.0493
1	-108.2030	-307.0086	-104.7190	-282.2537	100	76.5389	0.1301	10.0000	11.0494	14.1316
1	-104.8407	-282.2330	-101.3413	-257.4799	100	62.2756	3.5165	10.0000	11.0494	14.1316
1	-101.4547	-257.4590	-97.9488	-232.7077	100	64.2191	4.6959	10.0000	11.0494	14.1316
1	-98.0451	-232.6866	-94.5329	-207.9370	100	89.7126	2.9249	10.0000	11.0494	14.1316
1	-94.6207	-207.9157	-91.0850	-183.1677	100	76.5464	4.8004	10.0000	11.0494	14.1316
1	-91.1642	-183.1463	-87.6227	-158.4001	100	127.5256	5.2916	10.0000	11.0494	14.1316
1	-87.6845	-158.3785	-84.1373	-133.6340	100	87.7918	6.6459	10.0000	11.0494	14.1316
1	-84.1905	-133.6123	-80.6202	-108.8694	100	126.9333	11.9568	10.0000	11.0494	14.1316
1	-80.6647	-108.8476	-77.0891	-84.1065	100	114.1151	7.4594	10.0000	11.0494	14.1316
1	-77.1160	-84.0845	-73.5264	-59.3450	100	97.2244	9.2030	10.0000	11.0494	14.1316
1	-73.5444	-59.3229	-69.9501	-34.5852	100	84.2838	9.8853	10.0000	11.0494	14.1316
1	-69.9592	-34.5630	-66.3513	-9.8270	100	96.8901	6.8903	10.0000	11.0494	14.1316
1	-91.4931	-309.4518	-87.9591	-284.7044	100	78.1238	0.0522	10.0000	14.1316	17.2138
1	-88.0807	-284.6835	-84.5402	-259.9379	100	78.0271	3.9914	10.0000	14.1316	17.2138
1	-84.6535	-259.9168	-81.0893	-235.1729	100	80.7250	2.3933	10.0000	14.1316	17.2138
1	-81.1942	-235.1517	-77.6239	-210.4094	100	116.5442	1.4632	10.0000	14.1316	17.2138
1	-77.7116	-210.3880	-74.1354	-185.6476	100	139.9621	0.2739	10.0000	14.1316	17.2138
1	-74.2058	-185.6259	-70.6151	-160.8872	100	148.5589	3.8022	10.0000	14.1316	17.2138
1	-70.6857	-160.8655	-67.0807	-136.1284	100	75.9601	7.1475	10.0000	14.1316	17.2138
1	-67.1338	-136.1066	-63.5236	-111.3713	100	100.3228	10.6342	10.0000	14.1316	17.2138
1	-63.5680	-111.3494	-59.9349	-86.6156	100	94.6888	7.7309	10.0000	14.1316	17.2138
1	-59.9706	-86.5936	-56.3326	-61.8616	100	107.8228	8.3131	10.0000	14.1316	17.2138
1	-56.3595	-61.8396	-52.7080	-37.1092	100	108.7549	9.5839	10.0000	14.1316	17.2138
1	-52.7170	-37.0871	-49.0610	-12.3585	100	111.8163	9.4311	10.0000	14.1316	17.2138

Grid Parameters

```

1 ----- Start-x = -269.1089660
2 ----- Start-y = -333.5700000
3 ----- Finish-x = 269.1089660
4 ----- Finish-y = 333.5700000
5 ----- x-increment = 5.3821793
6 ----- y-increment = 6.6714000

```

Size Parameters

```

1 ----- Plot size = 6.0000000
2 ----- Shade/Color increment = 1.0000000
3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.0000000

```

Cross section default

```

1 ----- Start-x = -76.1740000
2 ----- Start-y = -39.2200000
3 ----- Finish-x = -70.1740000
4 ----- Finish-y = -39.2200000
5 ----- Distant-increment = 5.3821793
6 ----- Z-depth = -25.0000000
7 ----- Z-increment = 1.0000000

```

Map info

```

1 ----- min. lon = -76.1740000
2 ----- max. lon = -70.1740000
3 ----- zero lon = -73.1740000
4 ----- min. lat = -39.2200000
5 ----- max. lat = -33.2200000
6 ----- zero lat = -36.2200000
7 ----- Z-increment = 1.0000000

```

**ANEXO III: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO DE ILLAPEL
(2015)**

20003k7a_coulomb.inp inverted by Gavin Hayes (USGS/NEIC) with $M_0 = 2.91e+28$ dyne-cm, and $M_w = 8.24$

See Hayes(2017)

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 450 sym= 1

PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 10.000

E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= 0.400

S1DR= 19.000 S1DP= -0.010 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000

S2DR= 89.990 S2DP= 89.990 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000

S3DR= 109.000 S3DP= -0.010 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxxx	xxxxxx
1	-88.5549	-93.6179	-87.4004	-81.6764	100	71.3878	0.5812	19.0000	1.7825	4.6475
1	-87.4098	-81.6654	-86.2521	-69.7240	100	92.1659	0.8676	19.0000	1.7825	4.6475
1	-86.2616	-69.7130	-85.1008	-57.7718	100	105.4364	1.3500	19.0000	1.7825	4.6475
1	-85.1009	-57.7607	-83.9463	-45.8197	100	81.6975	1.9342	19.0000	1.7825	4.6475
1	-83.9558	-45.8087	-82.7887	-33.8678	100	90.9732	2.5841	19.0000	1.7825	4.6475
1	-82.7888	-33.8567	-81.6279	-21.9160	100	106.1653	3.6528	19.0000	1.7825	4.6475
1	-81.6375	-21.9050	-80.4641	-9.9644	100	109.6318	3.5482	19.0000	1.7825	4.6475
1	-80.4642	-9.9533	-79.2972	1.9871	100	113.1566	3.2431	19.0000	1.7825	4.6475
1	-79.2972	1.9982	-78.1366	13.9383	100	101.6407	3.4892	19.0000	1.7825	4.6475
1	-78.1272	13.9495	-76.9540	25.8896	100	89.7134	2.9279	19.0000	1.7825	4.6475
1	-76.9541	25.9007	-75.7873	37.8406	100	99.7441	2.6666	19.0000	1.7825	4.6475
1	-75.7779	37.8517	-74.5986	49.7915	100	89.9707	2.7973	19.0000	1.7825	4.6475
1	-74.5891	49.8027	-73.4163	61.7422	100	86.6063	3.1315	19.0000	1.7825	4.6475
1	-73.4163	61.7534	-72.2404	73.6928	100	85.5811	2.3717	19.0000	1.7825	4.6475
1	-72.2214	73.7040	-71.0425	85.6433	100	110.9485	1.1406	19.0000	1.7825	4.6475
1	-71.0330	85.6544	-69.8607	97.5935	100	128.4830	1.5955	19.0000	1.7825	4.6475
1	-69.8416	97.6047	-68.6567	109.5437	100	115.2923	2.0140	19.0000	1.7825	4.6475
1	-68.6472	109.5549	-67.4688	121.4936	100	116.0075	1.6964	19.0000	1.7825	4.6475
1	-67.4497	121.5048	-66.2684	133.4434	100	123.9033	1.0751	19.0000	1.7825	4.6475
1	-66.2492	133.4547	-65.0649	145.3931	100	134.6868	0.8625	19.0000	1.7825	4.6475
1	-65.0458	145.4043	-63.8585	157.3426	100	121.0349	0.5439	19.0000	1.7825	4.6475
1	-63.8393	157.3539	-62.6491	169.2920	100	88.0338	0.4224	19.0000	1.7825	4.6475
1	-62.6299	169.3032	-61.4368	181.2412	100	138.5803	0.4108	19.0000	1.7825	4.6475
1	-61.4176	181.2525	-60.2311	193.1903	100	71.6971	0.0505	19.0000	1.7825	4.6475
1	-60.2022	193.2015	-59.0032	205.1392	100	123.4069	0.1373	19.0000	1.7825	4.6475
1	-80.3365	-94.4171	-79.1724	-82.4766	100	115.9534	0.9765	19.0000	4.6475	7.5125
1	-79.1912	-82.4656	-78.0240	-70.5253	100	132.0650	0.9230	19.0000	4.6475	7.5125
1	-78.0241	-70.5142	-76.8537	-58.5740	100	99.0922	0.7656	19.0000	4.6475	7.5125
1	-76.8632	-58.5629	-75.6991	-46.6230	100	84.4439	1.5031	19.0000	4.6475	7.5125
1	-75.6992	-46.6119	-74.5225	-34.6720	100	92.0293	2.1747	19.0000	4.6475	7.5125
1	-74.5321	-34.6609	-73.3618	-22.7213	100	102.5744	3.2989	19.0000	4.6475	7.5125
1	-73.3618	-22.7101	-72.1885	-10.7706	100	111.3224	3.5804	19.0000	4.6475	7.5125
1	-72.1885	-10.7595	-71.0121	1.1799	100	110.1018	3.7632	19.0000	4.6475	7.5125

1	-71.0122	1.1910	-69.8326	13.1302	100	103.2022	5.1804	19.0000	4.6475	7.5125
1	-69.8327	13.1413	-68.6501	25.0804	100	103.2090	5.2807	19.0000	4.6475	7.5125
1	-68.6407	25.0916	-67.4645	37.0304	100	104.4879	3.9870	19.0000	4.6475	7.5125
1	-67.4646	37.0415	-66.2759	48.9803	100	96.8331	4.3521	19.0000	4.6475	7.5125
1	-66.2665	48.9915	-65.0843	60.9300	100	81.6914	4.9287	19.0000	4.6475	7.5125
1	-65.0843	60.9411	-63.8991	72.8795	100	84.4436	4.4497	19.0000	4.6475	7.5125
1	-63.8801	72.8908	-62.6919	84.8290	100	95.2728	2.8496	19.0000	4.6475	7.5125
1	-62.6920	84.8402	-61.5008	96.7783	100	109.6564	2.3452	19.0000	4.6475	7.5125
1	-61.4817	96.7895	-60.2875	108.7274	100	118.0980	2.6143	19.0000	4.6475	7.5125
1	-60.2780	108.7386	-59.0904	120.6764	100	129.6470	1.9317	19.0000	4.6475	7.5125
1	-59.0713	120.6876	-57.8807	132.6252	100	134.5023	2.4781	19.0000	4.6475	7.5125
1	-57.8520	132.6365	-56.6585	144.5739	100	137.1820	2.7063	19.0000	4.6475	7.5125
1	-56.6489	144.5851	-55.4525	156.5224	100	127.3773	1.5510	19.0000	4.6475	7.5125
1	-55.4237	156.5337	-54.2243	168.4708	100	109.0849	0.9373	19.0000	4.6475	7.5125
1	-54.2147	168.4820	-53.0124	180.4190	100	125.9837	0.3498	19.0000	4.6475	7.5125
1	-52.9835	180.4303	-51.7879	192.3671	100	70.3033	0.0714	19.0000	4.6475	7.5125
1	-51.7687	192.3783	-50.5606	204.3150	100	79.0382	0.0591	19.0000	4.6475	7.5125
1	-72.1288	-95.2229	-70.9551	-83.2835	100	114.5287	1.5850	19.0000	7.5125	10.3775
1	-70.9740	-83.2725	-69.7972	-71.3331	100	95.1008	1.7560	19.0000	7.5125	10.3775
1	-69.7973	-71.3220	-68.6174	-59.3828	100	83.1082	1.3237	19.0000	7.5125	10.3775
1	-68.6269	-59.3718	-67.4532	-47.4328	100	90.3527	0.6902	19.0000	7.5125	10.3775
1	-67.4533	-47.4217	-66.2672	-35.4828	100	105.4316	0.7176	19.0000	7.5125	10.3775
1	-66.2767	-35.4718	-65.0969	-23.5331	100	105.1489	1.2861	19.0000	7.5125	10.3775
1	-65.0970	-23.5220	-63.9142	-11.5835	100	116.8409	2.0252	19.0000	7.5125	10.3775
1	-63.9048	-11.5723	-62.7189	0.3661	100	96.1496	2.6334	19.0000	7.5125	10.3775
1	-62.7284	0.3771	-61.5395	12.3153	100	92.8379	4.7339	19.0000	7.5125	10.3775
1	-61.5301	12.3265	-60.3381	24.2646	100	94.7696	5.1274	19.0000	7.5125	10.3775
1	-60.3381	24.2757	-59.1526	36.2136	100	99.6576	4.8756	19.0000	7.5125	10.3775
1	-59.1432	36.2247	-57.9451	48.1625	100	91.4275	5.4637	19.0000	7.5125	10.3775
1	-57.9452	48.1736	-56.7536	60.1112	100	78.4176	6.5969	19.0000	7.5125	10.3775
1	-56.7442	60.1223	-55.5496	72.0598	100	84.3567	6.6555	19.0000	7.5125	10.3775
1	-55.5401	72.0709	-54.3426	84.0082	100	83.6275	4.4967	19.0000	7.5125	10.3775
1	-54.3331	84.0194	-53.1326	95.9565	100	91.9051	3.4054	19.0000	7.5125	10.3775
1	-53.1231	95.9676	-51.9197	107.9046	100	105.2290	3.2484	19.0000	7.5125	10.3775
1	-51.9006	107.9158	-50.7037	119.8526	100	122.5622	3.1401	19.0000	7.5125	10.3775
1	-50.6942	119.8637	-49.4944	131.8003	100	136.0614	3.3267	19.0000	7.5125	10.3775
1	-49.4657	131.8116	-48.2629	143.7481	100	139.5208	3.5979	19.0000	7.5125	10.3775
1	-48.2534	143.7592	-47.0477	155.6955	100	139.6010	2.5176	19.0000	7.5125	10.3775
1	-47.0189	155.7068	-45.8104	167.6429	100	122.1102	1.1885	19.0000	7.5125	10.3775
1	-45.8008	167.6541	-44.5893	179.5901	100	80.5936	0.4156	19.0000	7.5125	10.3775
1	-44.5605	179.6014	-43.3557	191.5372	100	70.5353	0.0399	19.0000	7.5125	10.3775
1	-43.3365	191.5484	-42.1192	203.4841	100	106.3247	0.3498	19.0000	7.5125	10.3775
1	-63.9225	-96.0354	-62.7393	-84.0969	100	135.1517	0.8265	19.0000	10.3775	13.2425
1	-62.7487	-84.0859	-61.5624	-72.1475	100	88.6012	0.5777	19.0000	10.3775	13.2425
1	-61.5718	-72.1365	-60.3824	-60.1983	100	86.6429	0.5772	19.0000	10.3775	13.2425
1	-60.3919	-60.1872	-59.1993	-48.2492	100	100.3528	0.3677	19.0000	10.3775	13.2425
1	-59.2088	-48.2382	-58.0132	-36.3003	100	139.6664	0.2886	19.0000	10.3775	13.2425
1	-58.0133	-36.2892	-56.8240	-24.3515	100	111.0519	0.0828	19.0000	10.3775	13.2425
1	-56.8335	-24.3404	-55.6412	-12.4029	100	101.5466	1.0417	19.0000	10.3775	13.2425
1	-55.6318	-12.3918	-54.4365	-0.4544	100	76.4562	2.6885	19.0000	10.3775	13.2425
1	-54.4460	-0.4433	-53.2477	11.4939	100	92.1572	3.8665	19.0000	10.3775	13.2425

1	-53.2382	11.5051	-52.0369	23.4421	100	105.7149	4.8133	19.0000	10.3775	13.2425
1	-52.0369	23.4532	-50.8420	35.3901	100	118.6780	5.2803	19.0000	10.3775	13.2425
1	-50.8326	35.4013	-49.6251	47.3380	100	101.5547	5.8469	19.0000	10.3775	13.2425
1	-49.6252	47.3491	-48.4243	59.2857	100	94.5341	6.9170	19.0000	10.3775	13.2425
1	-48.4148	59.2969	-47.2110	71.2333	100	92.8990	7.9833	19.0000	10.3775	13.2425
1	-47.2015	71.2444	-45.9947	83.1807	100	91.6478	5.8339	19.0000	10.3775	13.2425
1	-45.9852	83.1919	-44.7754	95.1280	100	78.9941	4.8997	19.0000	10.3775	13.2425
1	-44.7563	95.1392	-43.5436	107.0751	100	79.3920	4.1123	19.0000	10.3775	13.2425
1	-43.5436	107.0863	-42.3279	119.0221	100	99.7795	3.7095	19.0000	10.3775	13.2425
1	-42.3088	119.0333	-41.0998	130.9689	100	114.5166	4.2035	19.0000	10.3775	13.2425
1	-41.0807	130.9801	-39.8687	142.9156	100	112.7702	3.6748	19.0000	10.3775	13.2425
1	-39.8495	142.9268	-38.6347	154.8621	100	131.2797	3.0351	19.0000	10.3775	13.2425
1	-38.6155	154.8733	-37.3978	166.8084	100	136.5448	1.8492	19.0000	10.3775	13.2425
1	-37.3786	166.8196	-36.1579	178.7546	100	113.4028	1.0922	19.0000	10.3775	13.2425
1	-36.1387	178.7658	-34.9249	190.7007	100	72.1392	0.0822	19.0000	10.3775	13.2425
1	-34.8960	190.7119	-33.6696	202.6466	100	113.8884	0.1153	19.0000	10.3775	13.2425
1	-55.7175	-96.8656	-54.5247	-84.9281	100	138.5208	0.2705	19.0000	13.2425	16.1075
1	-54.5341	-84.9171	-53.3382	-72.9797	100	108.7783	0.1884	19.0000	13.2425	16.1075
1	-53.3477	-72.9687	-52.1487	-61.0315	100	97.5383	0.5582	19.0000	13.2425	16.1075
1	-52.1582	-61.0204	-50.9561	-49.0834	100	97.8427	0.5088	19.0000	13.2425	16.1075
1	-50.9562	-49.0723	-49.7511	-37.1354	100	137.9963	0.1095	19.0000	13.2425	16.1075
1	-49.7606	-37.1244	-48.5618	-25.1877	100	139.7655	0.4526	19.0000	13.2425	16.1075
1	-48.5619	-25.1766	-47.3601	-13.2401	100	121.7299	0.2242	19.0000	13.2425	16.1075
1	-47.3602	-13.2290	-46.1554	-1.2926	100	70.8936	2.2347	19.0000	13.2425	16.1075
1	-46.1555	-1.2815	-44.9477	10.6547	100	77.8101	3.9563	19.0000	13.2425	16.1075
1	-44.9477	10.6659	-43.7369	22.6019	100	101.7459	3.9790	19.0000	13.2425	16.1075
1	-43.7275	22.6131	-42.5232	34.5489	100	121.0410	5.4617	19.0000	13.2425	16.1075
1	-42.5232	34.5601	-41.3065	46.4958	100	105.8217	6.0611	19.0000	13.2425	16.1075
1	-41.2970	46.5070	-40.0868	58.4425	100	94.2662	7.4355	19.0000	13.2425	16.1075
1	-40.0868	58.4537	-38.8736	70.3891	100	93.9941	7.9824	19.0000	13.2425	16.1075
1	-38.8546	70.4003	-37.6385	82.3355	100	87.5740	6.1823	19.0000	13.2425	16.1075
1	-37.6385	82.3467	-36.4194	94.2818	100	76.8467	5.0641	19.0000	13.2425	16.1075
1	-36.4004	94.2930	-35.1783	106.2279	100	73.6811	4.4254	19.0000	13.2425	16.1075
1	-35.1784	106.2390	-33.9535	118.1738	100	87.3511	4.2516	19.0000	13.2425	16.1075
1	-33.9343	118.1850	-32.7161	130.1197	100	89.2928	3.7701	19.0000	13.2425	16.1075
1	-32.6969	130.1308	-31.4758	142.0653	100	83.8724	3.4044	19.0000	13.2425	16.1075
1	-31.4566	142.0765	-30.2326	154.0108	100	119.9914	1.4951	19.0000	13.2425	16.1075
1	-30.2134	154.0220	-28.9865	165.9562	100	118.5320	0.8995	19.0000	13.2425	16.1075
1	-28.9673	165.9674	-27.7375	177.9014	100	77.0347	0.9132	19.0000	13.2425	16.1075
1	-27.7086	177.9126	-26.4856	189.8464	100	70.3872	0.0072	19.0000	13.2425	16.1075
1	-26.4664	189.8576	-25.2309	201.7913	100	77.8797	0.1259	19.0000	13.2425	16.1075
1	-47.5046	-97.6912	-46.3022	-85.7548	100	133.1910	0.9189	19.0000	16.1075	18.9725
1	-46.3210	-85.7437	-45.1155	-73.8074	100	110.6572	0.6348	19.0000	16.1075	18.9725
1	-45.1156	-73.7963	-43.9071	-61.8602	100	105.1491	1.2145	19.0000	16.1075	18.9725
1	-43.9259	-61.8491	-42.7144	-49.9131	100	132.3669	0.6161	19.0000	16.1075	18.9725
1	-42.7144	-49.9020	-41.5092	-37.9662	100	111.6909	0.3508	19.0000	16.1075	18.9725
1	-41.5093	-37.9551	-40.3011	-26.0194	100	109.2001	0.4666	19.0000	16.1075	18.9725
1	-40.3011	-26.0083	-39.0899	-14.0728	100	76.4095	0.6492	19.0000	16.1075	18.9725
1	-39.0900	-14.0617	-37.8757	-2.1263	100	72.1830	2.4226	19.0000	16.1075	18.9725
1	-37.8758	-2.1152	-36.6586	9.8200	100	75.0880	3.5996	19.0000	16.1075	18.9725
1	-36.6586	9.8312	-35.4384	21.7662	100	84.0576	3.0756	19.0000	16.1075	18.9725

1	-35.4385	21.7773	-34.2153	33.7122	100	106.9834	3.8292	19.0000	16.1075	18.9725
1	-34.2058	33.7234	-32.9892	45.6581	100	96.6705	5.1169	19.0000	16.1075	18.9725
1	-32.9797	45.6693	-31.7602	57.6038	100	92.7594	6.6683	19.0000	16.1075	18.9725
1	-31.7507	57.6150	-30.5281	69.5494	100	89.8519	7.4608	19.0000	16.1075	18.9725
1	-30.5186	69.5605	-29.2932	81.4948	100	84.6878	6.5526	19.0000	16.1075	18.9725
1	-29.2837	81.5060	-28.0553	93.4401	100	81.7337	4.9700	19.0000	16.1075	18.9725
1	-28.0458	93.4512	-26.8145	105.3852	100	78.7754	3.5017	19.0000	16.1075	18.9725
1	-26.8050	105.3963	-25.5708	117.3301	100	84.2316	2.6634	19.0000	16.1075	18.9725
1	-25.5612	117.3413	-24.3338	129.2749	100	80.6131	2.3826	19.0000	16.1075	18.9725
1	-24.3050	129.2861	-23.0746	141.2196	100	70.0209	2.2754	19.0000	16.1075	18.9725
1	-23.0651	141.2307	-21.8318	153.1641	100	77.1582	0.5454	19.0000	16.1075	18.9725
1	-21.8030	153.1753	-20.5669	165.1084	100	87.7057	0.3129	19.0000	16.1075	18.9725
1	-20.5573	165.1196	-19.3184	177.0526	100	71.1155	0.8553	19.0000	16.1075	18.9725
1	-19.2895	177.0638	-18.0574	188.9967	100	70.7701	0.0304	19.0000	16.1075	18.9725
1	-18.0381	189.0078	-16.7935	200.9406	100	119.6061	0.0280	19.0000	16.1075	18.9725
1	-39.3024	-98.5235	-38.0904	-86.5881	100	95.7150	0.1368	19.0000	18.9725	21.8375
1	-38.1092	-86.5770	-36.8942	-74.6417	100	107.6213	0.0228	19.0000	18.9725	21.8375
1	-36.8943	-74.6306	-35.6762	-62.6955	100	116.8437	0.1484	19.0000	18.9725	21.8375
1	-35.6856	-62.6844	-34.4646	-50.7494	100	115.2490	0.2087	19.0000	18.9725	21.8375
1	-34.4740	-50.7383	-33.2593	-38.8035	100	122.0121	0.1124	19.0000	18.9725	21.8375
1	-33.2499	-38.7923	-32.0323	-26.8577	100	114.8209	0.5382	19.0000	18.9725	21.8375
1	-32.0417	-26.8466	-30.8211	-14.9121	100	108.0590	1.4956	19.0000	18.9725	21.8375
1	-30.8116	-14.9009	-29.5880	-2.9666	100	103.6450	2.8274	19.0000	18.9725	21.8375
1	-29.5975	-2.9555	-28.3708	8.9787	100	105.3170	3.5200	19.0000	18.9725	21.8375
1	-28.3614	8.9899	-27.1318	20.9239	100	88.8231	3.4561	19.0000	18.9725	21.8375
1	-27.1413	20.9350	-25.9088	32.8689	100	98.2620	4.2540	19.0000	18.9725	21.8375
1	-25.8993	32.8801	-24.6733	44.8138	100	102.0364	4.6038	19.0000	18.9725	21.8375
1	-24.6638	44.8249	-23.4349	56.7585	100	111.5957	6.0072	19.0000	18.9725	21.8375
1	-23.4254	56.7696	-22.1935	68.7031	100	102.9886	6.2536	19.0000	18.9725	21.8375
1	-22.1840	68.7142	-20.9493	80.6475	100	89.4436	5.3443	19.0000	18.9725	21.8375
1	-20.9398	80.6586	-19.7021	92.5917	100	92.6420	3.8054	19.0000	18.9725	21.8375
1	-19.6926	92.6029	-18.4520	104.5358	100	98.1423	1.3307	19.0000	18.9725	21.8375
1	-18.4425	104.5470	-17.1990	116.4798	100	106.2835	0.6247	19.0000	18.9725	21.8375
1	-17.1895	116.4909	-15.9528	128.4236	100	77.4423	0.5533	19.0000	18.9725	21.8375
1	-15.9336	128.4347	-14.6844	140.3672	100	111.0572	0.8634	19.0000	18.9725	21.8375
1	-14.6748	140.3784	-13.4324	152.3107	100	87.0001	0.1549	19.0000	18.9725	21.8375
1	-13.4036	152.3219	-12.1583	164.2541	100	94.0036	0.2890	19.0000	18.9725	21.8375
1	-12.1391	164.2652	-10.8910	176.1972	100	137.3359	0.0631	19.0000	18.9725	21.8375
1	-10.8718	176.2084	-9.6305	188.1403	100	70.1541	0.0523	19.0000	18.9725	21.8375
1	-9.6016	188.1514	-8.3478	200.0832	100	98.1461	0.1712	19.0000	18.9725	21.8375
1	-31.1110	-99.3625	-29.8800	-87.4280	100	130.1662	0.0026	19.0000	21.8375	24.7025
1	-29.8894	-87.4169	-28.6649	-75.4826	100	129.5463	0.5723	19.0000	21.8375	24.7025
1	-28.6743	-75.4715	-27.4467	-63.5374	100	131.2515	0.5242	19.0000	21.8375	24.7025
1	-27.4561	-63.5263	-26.2255	-51.5923	100	114.2234	0.3020	19.0000	21.8375	24.7025
1	-26.2350	-51.5812	-25.0108	-39.6474	100	84.3993	0.0515	19.0000	21.8375	24.7025
1	-25.0108	-39.6363	-23.7742	-27.7026	100	91.6534	0.4537	19.0000	21.8375	24.7025
1	-23.7837	-27.6915	-22.5536	-15.7580	100	134.6590	1.2506	19.0000	21.8375	24.7025
1	-22.5441	-15.7469	-21.3110	-3.8135	100	131.3009	2.0525	19.0000	21.8375	24.7025
1	-21.3205	-3.8024	-20.0845	8.1308	100	111.4137	2.9872	19.0000	21.8375	24.7025
1	-20.0750	8.1419	-18.8360	20.0750	100	77.9184	4.1207	19.0000	21.8375	24.7025
1	-18.8455	20.0861	-17.6036	32.0190	100	86.7063	5.2222	19.0000	21.8375	24.7025

1	-17.5941	32.0301	-16.3587	43.9628	100	113.0760	4.3583	19.0000	21.8375	24.7025
1	-16.3397	43.9740	-15.1015	55.9066	100	130.7345	5.4901	19.0000	21.8375	24.7025
1	-15.1015	55.9177	-13.8603	67.8501	100	110.2284	5.4796	19.0000	21.8375	24.7025
1	-13.8412	67.8612	-12.5972	79.7935	100	100.5453	4.6685	19.0000	21.8375	24.7025
1	-12.5972	79.8046	-11.3502	91.7368	100	114.4212	2.5371	19.0000	21.8375	24.7025
1	-11.3311	91.7479	-10.0909	103.6799	100	124.6728	0.1809	19.0000	21.8375	24.7025
1	-10.0813	103.6910	-8.8286	115.6228	100	127.8178	0.1398	19.0000	21.8375	24.7025
1	-8.8095	115.6339	-7.5635	127.5656	100	105.9499	0.1601	19.0000	21.8375	24.7025
1	-7.5540	127.5767	-6.2956	139.5082	100	123.8412	0.4617	19.0000	21.8375	24.7025
1	-6.2764	139.5194	-5.0247	151.4507	100	98.7969	0.0072	19.0000	21.8375	24.7025
1	-5.0055	151.4618	-3.7607	163.3930	100	97.1291	0.1799	19.0000	21.8375	24.7025
1	-3.7319	163.4042	-2.4746	175.3352	100	125.4884	0.0435	19.0000	21.8375	24.7025
1	-2.4553	175.3463	-1.2049	187.2772	100	70.7790	0.0024	19.0000	21.8375	24.7025
1	-1.1760	187.2884	0.0868	199.2191	100	139.1594	0.0408	19.0000	21.8375	24.7025
1	-22.9021	-100.2191	-21.6616	-88.2856	100	72.6431	0.2083	19.0000	24.7025	27.5675
1	-21.6804	-88.2746	-20.4463	-76.3413	100	119.0926	0.0823	19.0000	24.7025	27.5675
1	-20.4463	-76.3302	-19.2092	-64.3970	100	138.9706	0.3752	19.0000	24.7025	27.5675
1	-19.2280	-64.3859	-17.9879	-52.4530	100	121.9075	0.0905	19.0000	24.7025	27.5675
1	-17.9879	-52.4419	-16.7542	-40.5090	100	93.4899	0.1478	19.0000	24.7025	27.5675
1	-16.7637	-40.4979	-15.5176	-28.5653	100	71.0891	0.2731	19.0000	24.7025	27.5675
1	-15.5176	-28.5542	-14.2780	-16.6217	100	134.5538	0.1655	19.0000	24.7025	27.5675
1	-14.2780	-16.6105	-13.0355	-4.6782	100	125.1603	1.3272	19.0000	24.7025	27.5675
1	-13.0355	-4.6671	-11.7900	7.2651	100	124.8668	2.2806	19.0000	24.7025	27.5675
1	-11.7900	7.2762	-10.5416	19.2083	100	87.0822	3.5993	19.0000	24.7025	27.5675
1	-10.5416	19.2194	-9.2903	31.1513	100	98.9162	3.8408	19.0000	24.7025	27.5675
1	-9.2903	31.1624	-8.0455	43.0941	100	117.4350	3.6036	19.0000	24.7025	27.5675
1	-8.0360	43.1053	-6.7789	55.0369	100	126.9712	4.4115	19.0000	24.7025	27.5675
1	-6.7789	55.0480	-5.5284	66.9794	100	118.6095	3.8402	19.0000	24.7025	27.5675
1	-5.5094	66.9905	-4.2560	78.9218	100	116.2704	2.9855	19.0000	24.7025	27.5675
1	-4.2560	78.9329	-2.9997	90.8640	100	118.4449	1.4521	19.0000	24.7025	27.5675
1	-2.9806	90.8752	-1.7311	102.8061	100	87.1527	0.6978	19.0000	24.7025	27.5675
1	-1.7215	102.8173	-0.4596	114.7481	100	90.6985	0.0369	19.0000	24.7025	27.5675
1	-0.4404	114.7592	0.8148	126.6899	100	84.8503	0.1721	19.0000	24.7025	27.5675
1	0.8339	126.7010	2.1015	138.6315	100	100.6436	0.0057	19.0000	24.7025	27.5675
1	2.1111	138.6426	3.3720	150.5730	100	101.7761	0.0472	19.0000	24.7025	27.5675
1	3.3912	150.5841	4.6548	162.5143	100	120.0457	0.0442	19.0000	24.7025	27.5675
1	4.6741	162.5254	5.9405	174.4555	100	80.6144	0.1150	19.0000	24.7025	27.5675
1	5.9694	174.4666	7.2289	186.3965	100	71.1862	0.0609	19.0000	24.7025	27.5675
1	7.2482	186.4076	8.5202	198.3373	100	75.0358	0.1312	19.0000	24.7025	27.5675
1	-14.7041	-101.0712	-13.4540	-89.1388	100	111.9485	0.0806	19.0000	27.5675	30.4325
1	-13.4728	-89.1277	-12.2291	-77.1954	100	92.2501	0.1658	19.0000	27.5675	30.4325
1	-12.2291	-77.1843	-10.9919	-65.2522	100	138.5917	0.1617	19.0000	27.5675	30.4325
1	-11.0013	-65.2411	-9.7516	-53.3091	100	102.1328	0.0538	19.0000	27.5675	30.4325
1	-9.7517	-53.2980	-8.5085	-41.3662	100	91.4591	0.4923	19.0000	27.5675	30.4325
1	-8.5179	-41.3551	-7.2623	-29.4234	100	86.8723	0.0702	19.0000	27.5675	30.4325
1	-7.2623	-29.4123	-6.0133	-17.4808	100	88.7483	0.0581	19.0000	27.5675	30.4325
1	-6.0133	-17.4697	-4.7613	-5.5384	100	97.9967	0.7567	19.0000	27.5675	30.4325
1	-4.7613	-5.5272	-3.5064	6.4040	100	108.8723	2.2111	19.0000	27.5675	30.4325
1	-3.4969	6.4151	-2.2391	18.3461	100	84.7562	3.5934	19.0000	27.5675	30.4325
1	-2.2486	18.3572	-0.9878	30.2881	100	86.0744	3.6865	19.0000	27.5675	30.4325
1	-0.9783	30.2992	0.2758	42.2300	100	106.7859	3.3664	19.0000	27.5675	30.4325

1	0.2758	42.2411	1.5423	54.1717	100	110.6941	4.0702	19.0000	27.5675	30.4325
1	1.5518	54.1828	2.8116	66.1132	100	99.3926	3.1182	19.0000	27.5675	30.4325
1	2.8212	66.1243	4.0839	78.0546	100	94.6090	2.3375	19.0000	27.5675	30.4325
1	4.0934	78.0657	5.3590	89.9958	100	96.7798	1.4977	19.0000	27.5675	30.4325
1	5.3685	90.0069	6.6273	101.9369	100	89.5198	0.8999	19.0000	27.5675	30.4325
1	6.6465	101.9480	7.9177	113.8778	100	76.1719	0.1852	19.0000	27.5675	30.4325
1	7.9272	113.8889	9.1917	125.8186	100	111.6819	0.0540	19.0000	27.5675	30.4325
1	9.2109	125.8297	10.4877	137.7592	100	87.4170	0.0024	19.0000	27.5675	30.4325
1	10.4973	137.7703	11.7673	149.6997	100	81.5761	0.0493	19.0000	27.5675	30.4325
1	11.7866	149.7108	13.0594	161.6400	100	87.3135	0.0012	19.0000	27.5675	30.4325
1	13.0786	161.6511	14.3542	173.5802	100	100.1033	0.0586	19.0000	27.5675	30.4325
1	14.3831	173.5913	15.6518	185.5202	100	72.0459	0.0731	19.0000	27.5675	30.4325
1	15.6711	185.5313	16.9522	197.4601	100	75.8456	0.0788	19.0000	27.5675	30.4325
1	-6.5075	-101.9300	-5.2478	-89.9985	100	90.1112	0.0572	19.0000	30.4325	33.2975
1	-5.2572	-89.9874	-4.0040	-78.0562	100	99.2094	0.1219	19.0000	30.4325	33.2975
1	-4.0134	-78.0450	-2.7666	-66.1139	100	81.0724	0.0081	19.0000	30.4325	33.2975
1	-2.7666	-66.1028	-1.5074	-54.1719	100	133.2288	0.1123	19.0000	30.4325	33.2975
1	-1.5168	-54.1608	-0.2641	-42.2300	100	80.2944	0.0619	19.0000	30.4325	33.2975
1	-0.2641	-42.2188	1.0010	-30.2882	100	132.5690	0.1381	19.0000	30.4325	33.2975
1	0.9915	-30.2771	2.2501	-18.3466	100	133.9414	0.3504	19.0000	30.4325	33.2975
1	2.2595	-18.3355	3.5210	-6.4051	100	137.2701	0.7296	19.0000	30.4325	33.2975
1	3.5115	-6.3940	4.7759	5.5362	100	130.0061	1.9489	19.0000	30.4325	33.2975
1	4.7853	5.5473	6.0431	17.4773	100	83.3873	2.7808	19.0000	30.4325	33.2975
1	6.0431	17.4884	7.3132	29.4183	100	71.5730	2.4886	19.0000	30.4325	33.2975
1	7.3227	29.4294	8.5862	41.3591	100	100.0696	2.5185	19.0000	30.4325	33.2975
1	8.5862	41.3703	9.8621	53.2998	100	119.2394	2.9657	19.0000	30.4325	33.2975
1	9.8716	53.3109	11.1408	65.2404	100	98.6416	2.8933	19.0000	30.4325	33.2975
1	11.1503	65.2515	12.4223	77.1808	100	94.2350	2.2464	19.0000	30.4325	33.2975
1	12.4319	77.1919	13.7067	89.1210	100	89.5457	1.9779	19.0000	30.4325	33.2975
1	13.7258	89.1321	14.9939	101.0611	100	83.9907	1.4888	19.0000	30.4325	33.2975
1	15.0035	101.0722	16.2840	113.0010	100	97.4385	0.6770	19.0000	30.4325	33.2975
1	16.3031	113.0121	17.5768	124.9407	100	76.3839	0.1978	19.0000	30.4325	33.2975
1	17.5864	124.9518	18.8725	136.8804	100	74.5357	0.1733	19.0000	30.4325	33.2975
1	18.8917	136.8914	20.1709	148.8198	100	134.7624	0.2631	19.0000	30.4325	33.2975
1	20.1806	148.8309	21.4626	160.7591	100	108.7054	0.1108	19.0000	30.4325	33.2975
1	21.4914	160.7702	22.7762	172.6983	100	78.1473	0.0693	19.0000	30.4325	33.2975
1	22.7858	172.7094	24.0733	184.6373	100	70.3341	0.0629	19.0000	30.4325	33.2975
1	24.1023	184.6483	25.3925	196.5761	100	133.5376	0.1501	19.0000	30.4325	33.2975
1	1.6877	-102.8064	2.9569	-90.8760	100	121.3432	0.0370	19.0000	33.2975	36.1625
1	2.9476	-90.8649	4.2104	-78.9346	100	116.4910	0.0163	19.0000	33.2975	36.1625
1	4.2010	-78.9235	5.4574	-66.9934	100	105.2706	0.3758	19.0000	33.2975	36.1625
1	5.4574	-66.9823	6.7261	-55.0524	100	86.6242	0.0019	19.0000	33.2975	36.1625
1	6.7261	-55.0413	7.9883	-43.1115	100	100.2965	0.0486	19.0000	33.2975	36.1625
1	7.9789	-43.1003	9.2534	-31.1707	100	75.4350	0.0732	19.0000	33.2975	36.1625
1	9.2534	-31.1596	10.5214	-19.2301	100	139.2173	0.2705	19.0000	33.2975	36.1625
1	10.5120	-19.2190	11.7924	-7.2897	100	116.8469	0.3645	19.0000	33.2975	36.1625
1	11.7924	-7.2785	13.0662	4.6506	100	100.0029	1.7728	19.0000	33.2975	36.1625
1	13.0662	4.6617	14.3333	16.5908	100	73.0772	2.1117	19.0000	33.2975	36.1625
1	14.3428	16.6019	15.6224	28.5308	100	92.9741	1.3484	19.0000	33.2975	36.1625
1	15.6224	28.5419	16.8952	40.4706	100	122.4016	1.6595	19.0000	33.2975	36.1625
1	16.9048	40.4817	18.1900	52.4103	100	134.5228	2.6433	19.0000	33.2975	36.1625

1	18.1900	52.4214	19.4685	64.3498	100	135.5669	1.8108	19.0000	33.2975	36.1625
1	19.4781	64.3609	20.7689	76.2892	100	130.8689	1.4147	19.0000	33.2975	36.1625
1	20.7689	76.3003	22.0531	88.2284	100	87.1350	1.4080	19.0000	33.2975	36.1625
1	22.0722	88.2395	23.3496	100.1675	100	86.8818	1.7585	19.0000	33.2975	36.1625
1	23.3592	100.1786	24.6489	112.1064	100	103.2305	0.9689	19.0000	33.2975	36.1625
1	24.6681	112.1174	25.9510	124.0451	100	97.3456	0.2660	19.0000	33.2975	36.1625
1	25.9606	124.0562	27.2559	135.9837	100	90.2996	0.1039	19.0000	33.2975	36.1625
1	27.2751	135.9948	28.5635	147.9222	100	139.6034	0.8191	19.0000	33.2975	36.1625
1	28.5732	147.9333	29.8644	159.8605	100	126.2101	0.2343	19.0000	33.2975	36.1625
1	29.8932	159.8715	31.1872	171.7986	100	70.1630	0.0073	19.0000	33.2975	36.1625
1	31.1968	171.8097	32.4934	183.7366	100	71.7754	0.0199	19.0000	33.2975	36.1625
1	32.5224	183.7477	33.8217	195.6744	100	107.9486	0.0793	19.0000	33.2975	36.1625
1	9.8908	-103.6784	11.1697	-91.7490	100	81.2011	0.2238	19.0000	36.1625	39.0275
1	11.1509	-91.7379	12.4233	-79.8086	100	95.1714	0.0961	19.0000	36.1625	39.0275
1	12.4139	-79.7975	13.6893	-67.8684	100	136.3574	0.4501	19.0000	36.1625	39.0275
1	13.6799	-67.8573	14.9581	-55.9284	100	104.6195	0.5030	19.0000	36.1625	39.0275
1	14.9581	-55.9172	16.2298	-43.9885	100	103.7638	0.1997	19.0000	36.1625	39.0275
1	16.2204	-43.9773	17.5045	-32.0487	100	77.3615	0.1186	19.0000	36.1625	39.0275
1	17.5045	-32.0376	18.7820	-20.1091	100	79.4874	0.3647	19.0000	36.1625	39.0275
1	18.7725	-20.0980	20.0624	-8.1697	100	71.7690	0.5187	19.0000	36.1625	39.0275
1	20.0624	-8.1586	21.3456	3.7696	100	82.3432	1.1240	19.0000	36.1625	39.0275
1	21.3456	3.7807	22.6222	15.7088	100	74.8848	1.2893	19.0000	36.1625	39.0275
1	22.6317	15.7198	23.9206	27.6477	100	80.0789	0.8986	19.0000	36.1625	39.0275
1	23.9206	27.6588	25.2029	39.5866	100	121.7681	1.6549	19.0000	36.1625	39.0275
1	25.2124	39.5976	26.5070	51.5252	100	134.9997	3.0167	19.0000	36.1625	39.0275
1	26.5070	51.5363	27.7949	63.4637	100	129.4038	2.3468	19.0000	36.1625	39.0275
1	27.8044	63.4748	29.1046	75.4021	100	129.1570	1.0406	19.0000	36.1625	39.0275
1	29.1142	75.4132	30.4076	87.3403	100	86.8133	0.7107	19.0000	36.1625	39.0275
1	30.4172	87.3514	31.7039	99.2784	100	94.0521	0.7860	19.0000	36.1625	39.0275
1	31.7230	99.2894	33.0220	111.2162	100	89.6932	0.2820	19.0000	36.1625	39.0275
1	33.0316	111.2273	34.3238	123.1540	100	75.5506	0.0539	19.0000	36.1625	39.0275
1	34.3430	123.1651	35.6475	135.0916	100	120.1576	0.0656	19.0000	36.1625	39.0275
1	35.6572	135.1027	36.9548	147.0290	100	125.8546	0.0953	19.0000	36.1625	39.0275
1	36.9741	147.0401	38.2744	158.9663	100	70.7351	0.0173	19.0000	36.1625	39.0275
1	38.2937	158.9774	39.5968	170.9035	100	70.7402	0.0388	19.0000	36.1625	39.0275
1	39.6161	170.9145	40.9219	182.8404	100	70.7143	0.0077	19.0000	36.1625	39.0275
1	40.9412	182.8515	42.2497	194.7773	100	111.1424	0.6209	19.0000	36.1625	39.0275
1	18.0832	-104.5569	19.3623	-92.6286	100	96.6200	0.2520	19.0000	39.0275	41.8925
1	19.3529	-92.6174	20.6349	-80.6892	100	93.8128	0.1222	19.0000	39.0275	41.8925
1	20.6255	-80.6781	21.9104	-68.7500	100	132.1502	0.5205	19.0000	39.0275	41.8925
1	21.9010	-68.7389	23.1887	-56.8110	100	73.5106	0.6590	19.0000	39.0275	41.8925
1	23.1888	-56.7998	24.4700	-44.8721	100	70.5386	0.6265	19.0000	39.0275	41.8925
1	24.4700	-44.8610	25.7636	-32.9334	100	70.4558	0.9726	19.0000	39.0275	41.8925
1	25.7542	-32.9222	27.0411	-20.9947	100	74.3178	1.0167	19.0000	39.0275	41.8925
1	27.0411	-20.9836	28.3404	-9.0563	100	70.1462	1.2872	19.0000	39.0275	41.8925
1	28.3310	-9.0452	29.6236	2.8820	100	104.2103	1.4207	19.0000	39.0275	41.8925
1	29.6331	2.8930	30.9192	14.8201	100	111.5034	1.4918	19.0000	39.0275	41.8925
1	30.9192	14.8312	32.2175	26.7580	100	96.3761	1.4609	19.0000	39.0275	41.8925
1	32.2270	26.7691	33.5186	38.6959	100	113.1073	2.0714	19.0000	39.0275	41.8925
1	33.5187	38.7070	34.8226	50.6335	100	125.6456	2.7122	19.0000	39.0275	41.8925
1	34.8322	50.6446	36.1294	62.5710	100	121.4947	0.9989	19.0000	39.0275	41.8925

1	36.1294	62.5821	37.4294	74.5084	100	137.4760	0.2150	19.0000	39.0275	41.8925
1	37.4485	74.5195	38.7513	86.4456	100	91.7401	0.3753	19.0000	39.0275	41.8925
1	38.7608	86.4567	40.0568	98.3827	100	106.7826	0.4333	19.0000	39.0275	41.8925
1	40.0760	98.3937	41.3842	110.3195	100	105.2693	0.3493	19.0000	39.0275	41.8925
1	41.3938	110.3306	42.6953	122.2563	100	92.4389	0.0810	19.0000	39.0275	41.8925
1	42.7145	122.2673	44.0282	134.1928	100	121.8046	0.3935	19.0000	39.0275	41.8925
1	44.0378	134.2039	45.3447	146.1293	100	132.3370	0.2007	19.0000	39.0275	41.8925
1	45.3639	146.1403	46.6735	158.0656	100	71.6474	0.0407	19.0000	39.0275	41.8925
1	46.6928	158.0766	48.0050	170.0017	100	70.7223	0.0014	19.0000	39.0275	41.8925
1	48.0243	170.0127	49.3393	181.9377	100	70.1276	0.0987	19.0000	39.0275	41.8925
1	49.3682	181.9486	50.6859	193.8734	100	111.0047	1.1961	19.0000	39.0275	41.8925
1	26.2741	-105.4421	27.5628	-93.5147	100	87.8997	0.2330	19.0000	41.8925	44.7575
1	27.5628	-93.5036	28.8544	-81.5764	100	134.1396	0.3414	19.0000	41.8925	44.7575
1	28.8356	-81.5652	30.1300	-69.6382	100	124.1569	1.4302	19.0000	41.8925	44.7575
1	30.1301	-69.6271	31.4274	-57.7002	100	72.8561	1.3019	19.0000	41.8925	44.7575
1	31.4180	-57.6891	32.7087	-45.7623	100	76.5581	1.4371	19.0000	41.8925	44.7575
1	32.7088	-45.7512	34.0118	-33.8246	100	75.4233	1.1661	19.0000	41.8925	44.7575
1	34.0024	-33.8134	35.2988	-21.8870	100	94.2543	1.4651	19.0000	41.8925	44.7575
1	35.2989	-21.8759	36.6076	-9.9496	100	106.0896	2.0977	19.0000	41.8925	44.7575
1	36.5982	-9.9384	37.9003	1.9877	100	138.8246	2.7885	19.0000	41.8925	44.7575
1	37.9098	1.9988	39.2052	13.9248	100	130.7798	2.4514	19.0000	41.8925	44.7575
1	39.2053	13.9359	40.5130	25.8618	100	112.8752	1.7347	19.0000	41.8925	44.7575
1	40.5225	25.8728	41.8235	37.7986	100	90.2669	2.1607	19.0000	41.8925	44.7575
1	41.8331	37.8096	43.1464	49.7352	100	99.2144	2.0888	19.0000	41.8925	44.7575
1	43.1464	49.7463	44.4530	61.6717	100	101.3188	0.3206	19.0000	41.8925	44.7575
1	44.4625	61.6828	45.7718	73.6081	100	114.2048	0.0402	19.0000	41.8925	44.7575
1	45.7814	73.6191	47.0935	85.5442	100	102.0656	0.3553	19.0000	41.8925	44.7575
1	47.1031	85.5553	48.4179	97.4803	100	116.3602	0.2359	19.0000	41.8925	44.7575
1	48.4275	97.4913	49.7450	109.4161	100	88.8848	0.0775	19.0000	41.8925	44.7575
1	49.7642	109.4272	51.0749	121.3519	100	83.4744	0.1011	19.0000	41.8925	44.7575
1	51.0845	121.3629	52.3979	133.2875	100	128.5597	0.0664	19.0000	41.8925	44.7575
1	52.4267	133.2985	53.7428	145.2229	100	71.2549	0.0715	19.0000	41.8925	44.7575
1	53.7525	145.2339	55.0712	157.1582	100	70.3180	0.0860	19.0000	41.8925	44.7575
1	55.1001	157.1691	56.4215	169.0932	100	70.9278	0.0938	19.0000	41.8925	44.7575
1	56.4312	169.1043	57.7553	181.0282	100	71.3135	0.0913	19.0000	41.8925	44.7575
1	57.7843	181.0392	59.1014	192.9630	100	80.3050	0.0425	19.0000	41.8925	44.7575
1	34.4730	-106.3450	35.7712	-94.4187	100	70.7816	0.0414	19.0000	44.7575	47.6225
1	35.7619	-94.4075	37.0630	-82.4813	100	138.7219	1.4749	19.0000	44.7575	47.6225
1	37.0536	-82.4702	38.3576	-70.5442	100	135.7638	1.3491	19.0000	44.7575	47.6225
1	38.3483	-70.5330	39.6551	-58.6071	100	139.3859	1.2570	19.0000	44.7575	47.6225
1	39.6552	-58.5960	40.9554	-46.6703	100	99.2718	0.8684	19.0000	44.7575	47.6225
1	40.9460	-46.6591	42.2586	-34.7336	100	110.6161	1.2464	19.0000	44.7575	47.6225
1	42.2586	-34.7224	43.5645	-22.7970	100	137.6551	1.5093	19.0000	44.7575	47.6225
1	43.5551	-22.7858	44.8639	-10.8605	100	120.4498	1.9106	19.0000	44.7575	47.6225
1	44.8734	-10.8495	46.1849	1.0757	100	138.4791	2.2282	19.0000	44.7575	47.6225
1	46.1755	1.0868	47.4898	13.0118	100	97.9404	1.7350	19.0000	44.7575	47.6225
1	47.4993	13.0229	48.8165	24.9477	100	71.6422	1.8285	19.0000	44.7575	47.6225
1	48.8165	24.9588	50.1269	36.8835	100	80.3258	1.3294	19.0000	44.7575	47.6225
1	50.1365	36.8946	51.4591	48.8191	100	99.5494	1.2163	19.0000	44.7575	47.6225
1	51.4592	48.8303	52.7751	60.7547	100	98.4015	0.4436	19.0000	44.7575	47.6225
1	52.7847	60.7657	54.1033	72.6900	100	115.8577	0.5121	19.0000	44.7575	47.6225

1	54.1129	72.7011	55.4342	84.6252	100	115.5869	0.9761	19.0000	44.7575	47.6225
1	55.4439	84.6362	56.7679	96.5602	100	138.2332	1.4887	19.0000	44.7575	47.6225
1	56.7776	96.5713	58.1044	108.4951	100	129.5847	0.2567	19.0000	44.7575	47.6225
1	58.1236	108.5061	59.4435	120.4298	100	135.7155	0.0198	19.0000	44.7575	47.6225
1	59.4627	120.4408	60.7853	132.3643	100	71.2643	0.0349	19.0000	44.7575	47.6225
1	60.8046	132.3753	62.1299	144.2987	100	71.4286	0.0696	19.0000	44.7575	47.6225
1	62.1491	144.3097	63.4771	156.2330	100	70.3275	0.0238	19.0000	44.7575	47.6225
1	63.4964	156.2440	64.8270	168.1671	100	70.4332	0.0302	19.0000	44.7575	47.6225
1	64.8463	168.1781	66.1796	180.1010	100	70.9281	0.0014	19.0000	44.7575	47.6225
1	66.1989	180.1120	67.5251	192.0349	100	82.6170	0.0540	19.0000	44.7575	47.6225
1	42.6611	-107.2434	43.9689	-95.3181	100	72.7980	0.3927	19.0000	47.6225	50.4875
1	43.9596	-95.3069	45.2702	-83.3818	100	99.6620	0.8182	19.0000	47.6225	50.4875
1	45.2609	-83.3706	46.5744	-71.4456	100	83.7841	0.9255	19.0000	47.6225	50.4875
1	46.5651	-71.4344	47.8815	-59.5096	100	84.1071	1.0507	19.0000	47.6225	50.4875
1	47.8721	-59.4984	49.1913	-47.5737	100	72.1661	1.7300	19.0000	47.6225	50.4875
1	49.1819	-47.5626	50.5040	-35.6380	100	70.1607	1.9743	19.0000	47.6225	50.4875
1	50.5040	-35.6269	51.8194	-23.7025	100	74.8387	1.4319	19.0000	47.6225	50.4875
1	51.8100	-23.6913	53.1282	-11.7670	100	88.7261	1.7471	19.0000	47.6225	50.4875
1	53.1377	-11.7560	54.4587	0.1682	100	134.4633	0.7086	19.0000	47.6225	50.4875
1	54.4588	0.1793	55.7825	12.1033	100	86.9718	0.4855	19.0000	47.6225	50.4875
1	55.7826	12.1144	57.1091	24.0382	100	75.3033	0.3508	19.0000	47.6225	50.4875
1	57.1187	24.0493	58.4384	35.9730	100	75.3404	0.1005	19.0000	47.6225	50.4875
1	58.4385	35.9841	59.7705	47.9076	100	70.9357	0.7694	19.0000	47.6225	50.4875
1	59.7801	47.9187	61.1054	59.8421	100	105.5630	0.0672	19.0000	47.6225	50.4875
1	61.1054	59.8532	62.4334	71.7764	100	113.9385	0.1812	19.0000	47.6225	50.4875
1	62.4525	71.7874	63.7832	83.7105	100	96.2433	0.8209	19.0000	47.6225	50.4875
1	63.7833	83.7217	65.1167	95.6446	100	134.5629	0.8076	19.0000	47.6225	50.4875
1	65.1358	95.6556	66.4719	107.5784	100	97.9900	0.1600	19.0000	47.6225	50.4875
1	66.4816	107.5895	67.8107	119.5122	100	114.4814	0.1301	19.0000	47.6225	50.4875
1	67.8300	119.5231	69.1618	131.4457	100	71.7760	0.0347	19.0000	47.6225	50.4875
1	69.1811	131.4567	70.5156	143.3791	100	71.8415	0.0061	19.0000	47.6225	50.4875
1	70.5348	143.3901	71.8720	155.3123	100	71.4966	0.0388	19.0000	47.6225	50.4875
1	71.8913	155.3233	73.2311	167.2454	100	71.7127	0.0399	19.0000	47.6225	50.4875
1	73.2504	167.2564	74.5928	179.1783	100	71.9255	0.0624	19.0000	47.6225	50.4875
1	74.6122	179.1893	75.9476	191.1112	100	139.8341	0.4672	19.0000	47.6225	50.4875
1	50.8477	-108.1484	52.1651	-96.2241	100	108.2209	0.0164	19.0000	50.4875	53.3525
1	52.1652	-96.2130	53.4854	-84.2888	100	129.2214	0.0518	19.0000	50.4875	53.3525
1	53.4667	-84.2776	54.7898	-72.3536	100	138.6235	0.0249	19.0000	50.4875	53.3525
1	54.7899	-72.3425	56.1158	-60.4187	100	120.6810	0.0548	19.0000	50.4875	53.3525
1	56.0970	-60.4075	57.4258	-48.4838	100	104.2535	0.0096	19.0000	50.4875	53.3525
1	57.4258	-48.4727	58.7574	-36.5491	100	116.7929	0.0396	19.0000	50.4875	53.3525
1	58.7480	-36.5380	60.0729	-24.6146	100	86.9068	0.0873	19.0000	50.4875	53.3525
1	60.0729	-24.6034	61.4006	-12.6802	100	89.0885	0.0345	19.0000	50.4875	53.3525
1	61.4007	-12.6691	62.7311	-0.7459	100	109.5824	0.0274	19.0000	50.4875	53.3525
1	62.7312	-0.7348	64.0643	11.1881	100	135.3344	0.0679	19.0000	50.4875	53.3525
1	64.0644	11.1992	65.4003	23.1220	100	91.3959	0.0645	19.0000	50.4875	53.3525
1	65.4099	23.1331	66.7391	35.0558	100	131.3217	0.0482	19.0000	50.4875	53.3525
1	66.7391	35.0669	68.0805	46.9894	100	134.0915	0.0807	19.0000	50.4875	53.3525
1	68.0901	47.0005	69.4247	58.9229	100	113.2521	0.0258	19.0000	50.4875	53.3525
1	69.4248	58.9340	70.7621	70.8562	100	84.4582	0.0919	19.0000	50.4875	53.3525
1	70.7812	70.8672	72.1212	82.7893	100	118.2273	0.0185	19.0000	50.4875	53.3525

1	72.1308	82.8004	73.4735	94.7223	100	72.5994	0.0297	19.0000	50.4875	53.3525
1	73.4832	94.7334	74.8285	106.6552	100	106.0920	0.0937	19.0000	50.4875	53.3525
1	74.8382	106.6662	76.1862	118.5878	100	114.3138	0.0210	19.0000	50.4875	53.3525
1	76.1958	118.5989	77.5369	130.5205	100	71.8118	0.0692	19.0000	50.4875	53.3525
1	77.5658	130.5314	78.9095	142.4528	100	71.1235	0.0764	19.0000	50.4875	53.3525
1	78.9192	142.4638	80.2655	154.3851	100	71.5909	0.0117	19.0000	50.4875	53.3525
1	80.2944	154.3960	81.6434	166.3171	100	70.4187	0.0076	19.0000	50.4875	53.3525
1	81.6531	166.3281	83.0047	178.2491	100	70.9005	0.0813	19.0000	50.4875	53.3525
1	83.0337	178.2599	84.3782	190.1808	100	129.7050	0.1543	19.0000	50.4875	53.3525

Grid Parameters

1	-----	Start-x =	-284.1251953
2	-----	Start-y =	-333.5700000
3	-----	Finish-x =	284.1251953
4	-----	Finish-y =	333.5700000
5	-----	x-increment =	5.6825039
6	-----	y-increment =	6.6714000

Size Parameters

1	-----	Plot size =	6.0000000
2	-----	Shade/Color increment =	1.0000000
3	-----	Exaggeration for disp.& dist. =	10000.0000000

Cross section default

1	-----	Start-x =	-74.6728000
2	-----	Start-y =	-34.5952000
3	-----	Finish-x =	-68.6728000
4	-----	Finish-y =	-34.5952000
5	-----	Distant-increment =	5.6825039
6	-----	Z-depth =	-29.0000000
7	-----	Z-increment =	1.0000000

Map info

1	-----	min. lon =	-74.6728000
2	-----	max. lon =	-68.6728000
3	-----	zero lon =	-71.6728000
4	-----	min. lat =	-34.5952000
5	-----	max. lat =	-28.5952000
6	-----	zero lat =	-31.5952000
7	-----	Z-increment =	1.0000000

**ANEXO IV: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO DE MELINKA
(2016)**

10007mn3_coulomb.inp inverted by Gavin Hayes (USGS/NEIC) with $M_0 = 2.93e+27$ dyne-cm, and $M_w = 7.58$

See Hayes(2017), The finite, kinematic rupture properties of great-sized earthquakes since 1990, EPSL 468, 94-100

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 841 sym= 1

PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 10.000

E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= 0.400

S1DR= 19.000 S1DP= -0.010 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000

S2DR= 89.990 S2DP= 89.990 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000

S3DR= 109.000 S3DP= -0.010 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxx	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxx	xxxx	xxxxx
1	-60.4123	-68.7244	-60.1066	-63.7289	100	129.5187	0.1206	23.0000	6.2045	7.8455
1	-60.1066	-63.7289	-59.8004	-58.7334	100	122.4194	0.3323	23.0000	6.2045	7.8455
1	-59.8083	-58.7446	-59.5016	-53.7492	100	83.8392	0.1231	23.0000	6.2045	7.8455
1	-59.5016	-53.7492	-59.2022	-48.7538	100	84.2481	0.0576	23.0000	6.2045	7.8455
1	-59.1942	-48.7537	-58.8864	-43.7583	100	103.7193	0.0507	23.0000	6.2045	7.8455
1	-58.8944	-43.7583	-58.5860	-38.7629	100	74.7711	0.0670	23.0000	6.2045	7.8455
1	-58.5940	-38.7630	-58.2850	-33.7676	100	82.7572	0.1469	23.0000	6.2045	7.8455
1	-58.2930	-33.7677	-57.9835	-28.7723	100	121.1334	0.0103	23.0000	6.2045	7.8455
1	-57.9755	-28.7722	-57.6735	-23.7769	100	128.7296	0.0077	23.0000	6.2045	7.8455
1	-57.6734	-23.7880	-57.3708	-18.7927	100	102.6804	0.1218	23.0000	6.2045	7.8455
1	-57.3708	-18.7927	-57.0596	-13.7974	100	85.0401	0.1168	23.0000	6.2045	7.8455
1	-57.0596	-13.7974	-56.7479	-8.8020	100	120.5238	0.0238	23.0000	6.2045	7.8455
1	-56.7560	-8.8021	-56.4437	-3.8068	100	73.6469	0.0479	23.0000	6.2045	7.8455
1	-56.4437	-3.8068	-56.1390	1.1884	100	123.0151	0.0071	23.0000	6.2045	7.8455
1	-56.1390	1.1884	-55.8337	6.1836	100	100.3111	0.0268	23.0000	6.2045	7.8455
1	-55.8256	6.1837	-55.5198	11.1789	100	121.3035	0.0461	23.0000	6.2045	7.8455
1	-55.5198	11.1789	-55.2053	16.1742	100	87.8214	0.0323	23.0000	6.2045	7.8455
1	-55.2133	16.1630	-54.8983	21.1582	100	66.8160	0.0148	23.0000	6.2045	7.8455
1	-54.8902	21.1583	-54.5828	26.1534	100	65.4939	0.0152	23.0000	6.2045	7.8455
1	-54.5828	26.1534	-54.2748	31.1486	100	111.0251	0.0684	23.0000	6.2045	7.8455
1	-54.2748	31.1486	-53.9662	36.1437	100	96.2223	0.0358	23.0000	6.2045	7.8455
1	-53.9662	36.1437	-53.6572	41.1388	100	100.9664	0.0408	23.0000	6.2045	7.8455
1	-53.6490	41.1389	-53.3394	46.1340	100	124.9625	0.1034	23.0000	6.2045	7.8455
1	-53.3394	46.1340	-53.0212	51.1291	100	62.9137	0.1359	23.0000	6.2045	7.8455
1	-53.0211	51.1180	-52.7104	56.1130	100	128.6459	0.2373	23.0000	6.2045	7.8455
1	-52.7023	56.1131	-52.3910	61.1081	100	115.1325	0.1189	23.0000	6.2045	7.8455
1	-52.3910	61.1081	-52.0793	66.1032	100	100.6730	0.2079	23.0000	6.2045	7.8455
1	-52.0793	66.1032	-51.7670	71.0982	100	99.3919	0.0338	23.0000	6.2045	7.8455
1	-51.7670	71.0982	-51.4542	76.0932	100	76.6348	0.0393	23.0000	6.2045	7.8455
1	-56.5873	-68.9686	-56.2788	-63.9733	100	114.3519	0.4150	23.0000	7.8456	9.4866
1	-56.2868	-63.9733	-55.9777	-58.9780	100	121.9349	0.2125	23.0000	7.8456	9.4866

1	-55.9777	-58.9780	-55.6681	-53.9828	100	90.5419	0.1290	23.0000	7.8456	9.4866
1	-55.6681	-53.9828	-55.3659	-48.9876	100	117.4072	0.0469	23.0000	7.8456	9.4866
1	-55.3659	-48.9876	-55.0552	-43.9923	100	88.2628	0.0999	23.0000	7.8456	9.4866
1	-55.0552	-43.9923	-54.7439	-38.9971	100	129.3666	0.0336	23.0000	7.8456	9.4866
1	-54.7519	-38.9971	-54.4400	-34.0019	100	102.3490	0.0157	23.0000	7.8456	9.4866
1	-54.4480	-34.0131	-54.1356	-29.0179	100	86.4746	0.0806	23.0000	7.8456	9.4866
1	-54.1356	-29.0179	-53.8307	-24.0228	100	84.1351	0.1081	23.0000	7.8456	9.4866
1	-53.8227	-24.0227	-53.5172	-19.0276	100	104.4992	0.0994	23.0000	7.8456	9.4866
1	-53.5172	-19.0276	-53.2032	-14.0325	100	101.2948	0.0655	23.0000	7.8456	9.4866
1	-53.2112	-14.0325	-52.8967	-9.0374	100	75.6073	0.0730	23.0000	7.8456	9.4866
1	-52.9047	-9.0374	-52.5896	-4.0423	100	65.0457	0.1702	23.0000	7.8456	9.4866
1	-52.5815	-4.0423	-52.2739	0.9528	100	112.5325	0.1488	23.0000	7.8456	9.4866
1	-52.2739	0.9528	-51.9658	5.9478	100	72.6525	0.0158	23.0000	7.8456	9.4866
1	-51.9657	5.9367	-51.6570	10.9317	100	127.7486	0.0068	23.0000	7.8456	9.4866
1	-51.6489	10.9318	-51.3397	15.9268	100	70.5208	0.0122	23.0000	7.8456	9.4866
1	-51.3397	15.9268	-51.0218	20.9218	100	74.9262	0.1005	23.0000	7.8456	9.4866
1	-51.0218	20.9218	-50.7115	25.9168	100	91.6484	0.0356	23.0000	7.8456	9.4866
1	-50.7115	25.9168	-50.4007	30.9117	100	109.8765	0.0094	23.0000	7.8456	9.4866
1	-50.3926	30.9118	-50.0812	35.9067	100	85.5623	0.0080	23.0000	7.8456	9.4866
1	-50.0812	35.9067	-49.7693	40.9016	100	75.9086	0.0058	23.0000	7.8456	9.4866
1	-49.7692	40.8905	-49.4568	45.8854	100	64.5685	0.0322	23.0000	7.8456	9.4866
1	-49.4487	45.8855	-49.1275	50.8804	100	65.2089	0.0172	23.0000	7.8456	9.4866
1	-49.1275	50.8804	-48.8140	55.8753	100	80.3194	0.2802	23.0000	7.8456	9.4866
1	-48.8140	55.8753	-48.5000	60.8702	100	87.8682	0.4629	23.0000	7.8456	9.4866
1	-48.5000	60.8702	-48.1854	65.8650	100	74.6217	0.4575	23.0000	7.8456	9.4866
1	-48.1772	65.8651	-47.8621	70.8599	100	73.3927	0.0353	23.0000	7.8456	9.4866
1	-47.8621	70.8599	-47.5464	75.8547	100	63.2578	0.0086	23.0000	7.8456	9.4866
1	-52.7628	-69.2038	-52.4514	-64.2087	100	110.8296	0.1999	23.0000	9.4867	11.1277
1	-52.4594	-64.2088	-52.1474	-59.2137	100	62.7232	0.1110	23.0000	9.4867	11.1277
1	-52.1554	-59.2137	-51.8429	-54.2186	100	125.3111	0.0401	23.0000	9.4867	11.1277
1	-51.8349	-54.2186	-51.5298	-49.2236	100	65.3630	0.0844	23.0000	9.4867	11.1277
1	-51.5298	-49.2236	-51.2162	-44.2285	100	118.7299	0.0089	23.0000	9.4867	11.1277
1	-51.2241	-44.2397	-50.9100	-39.2446	100	61.9339	0.0182	23.0000	9.4867	11.1277
1	-50.9180	-39.2447	-50.6033	-34.2497	100	80.6407	0.0453	23.0000	9.4867	11.1277
1	-50.6033	-34.2497	-50.2880	-29.2547	100	106.5802	0.0147	23.0000	9.4867	11.1277
1	-50.2880	-29.2547	-49.9803	-24.2597	100	83.4845	0.0277	23.0000	9.4867	11.1277
1	-49.9803	-24.2597	-49.6720	-19.2648	100	111.2429	0.0228	23.0000	9.4867	11.1277
1	-49.6720	-19.2648	-49.3551	-14.2698	100	77.4241	0.0327	23.0000	9.4867	11.1277
1	-49.3551	-14.2698	-49.0376	-9.2749	100	81.2121	0.0093	23.0000	9.4867	11.1277
1	-49.0457	-9.2749	-48.7277	-4.2800	100	88.3341	0.0253	23.0000	9.4867	11.1277
1	-48.7276	-4.2911	-48.4172	0.7037	100	91.0538	0.0106	23.0000	9.4867	11.1277
1	-48.4091	0.7038	-48.0981	5.6986	100	111.0092	0.0141	23.0000	9.4867	11.1277
1	-48.0981	5.6986	-47.7866	10.6935	100	79.8648	0.0322	23.0000	9.4867	11.1277
1	-47.7866	10.6935	-47.4745	15.6883	100	65.7478	0.0137	23.0000	9.4867	11.1277
1	-47.4664	15.6883	-47.1457	20.6832	100	68.3489	0.0529	23.0000	9.4867	11.1277
1	-47.1457	20.6832	-46.8325	25.6780	100	117.1013	0.0573	23.0000	9.4867	11.1277
1	-46.8325	25.6780	-46.5188	30.6727	100	104.3045	0.0120	23.0000	9.4867	11.1277
1	-46.5188	30.6616	-46.2045	35.6564	100	71.3730	0.0045	23.0000	9.4867	11.1277
1	-46.1964	35.6564	-45.8817	40.6511	100	73.3181	0.0603	23.0000	9.4867	11.1277
1	-45.8817	40.6511	-45.5664	45.6459	100	127.9501	0.5307	23.0000	9.4867	11.1277
1	-45.5664	45.6459	-45.2424	50.6406	100	92.4540	0.0636	23.0000	9.4867	11.1277

1	-45.2424	50.6406	-44.9261	55.6353	100	60.0577	0.3535	23.0000	9.4867	11.1277
1	-44.9179	55.6354	-44.6010	60.6300	100	60.5229	0.1116	23.0000	9.4867	11.1277
1	-44.6010	60.6300	-44.2836	65.6247	100	80.0937	0.2229	23.0000	9.4867	11.1277
1	-44.2836	65.6247	-43.9656	70.6193	100	77.0404	0.2152	23.0000	9.4867	11.1277
1	-43.9574	70.6083	-43.6389	75.6029	100	117.8552	0.1377	23.0000	9.4867	11.1277
1	-48.9465	-69.4414	-48.6322	-64.4464	100	123.1593	0.1110	23.0000	11.1277	12.7687
1	-48.6322	-64.4464	-48.3174	-59.4515	100	122.4654	0.2316	23.0000	11.1277	12.7687
1	-48.3254	-59.4516	-48.0100	-54.4567	100	85.8638	0.0121	23.0000	11.1277	12.7687
1	-48.0099	-54.4678	-47.7020	-49.4729	100	105.7624	0.0078	23.0000	11.1277	12.7687
1	-47.7020	-49.4729	-47.3855	-44.4781	100	75.8409	0.0029	23.0000	11.1277	12.7687
1	-47.3855	-44.4781	-47.0685	-39.4832	100	87.7674	0.0873	23.0000	11.1277	12.7687
1	-47.0765	-39.4833	-46.7589	-34.4884	100	76.8408	0.0581	23.0000	11.1277	12.7687
1	-46.7669	-34.4885	-46.4488	-29.4937	100	123.8140	0.0107	23.0000	11.1277	12.7687
1	-46.4408	-29.4936	-46.1302	-24.4989	100	73.6396	0.0091	23.0000	11.1277	12.7687
1	-46.1302	-24.4989	-45.8190	-19.5041	100	104.2962	0.0639	23.0000	11.1277	12.7687
1	-45.8190	-19.5041	-45.4992	-14.5094	100	123.4500	0.0020	23.0000	11.1277	12.7687
1	-45.5072	-14.5205	-45.1869	-9.5258	100	62.2417	0.0039	23.0000	11.1277	12.7687
1	-45.1869	-9.5258	-44.8661	-4.5310	100	73.9285	0.0002	23.0000	11.1277	12.7687
1	-44.8661	-4.5310	-44.5527	0.4636	100	125.2209	0.0266	23.0000	11.1277	12.7687
1	-44.5527	0.4636	-44.2389	5.4583	100	121.4688	0.0252	23.0000	11.1277	12.7687
1	-44.2308	5.4583	-43.9164	10.4530	100	127.6088	0.0056	23.0000	11.1277	12.7687
1	-43.9164	10.4530	-43.6015	15.4476	100	69.9831	0.0227	23.0000	11.1277	12.7687
1	-43.6015	15.4476	-43.2779	20.4423	100	87.9722	0.0022	23.0000	11.1277	12.7687
1	-43.2778	20.4312	-42.9618	25.4257	100	98.8647	0.0086	23.0000	11.1277	12.7687
1	-42.9537	25.4258	-42.6372	30.4204	100	71.0275	0.0212	23.0000	11.1277	12.7687
1	-42.6372	30.4204	-42.3201	35.4149	100	72.1554	0.0259	23.0000	11.1277	12.7687
1	-42.3201	35.4149	-42.0025	40.4095	100	63.3899	0.0168	23.0000	11.1277	12.7687
1	-41.9944	40.4095	-41.6763	45.4041	100	109.1512	0.1705	23.0000	11.1277	12.7687
1	-41.6763	45.4041	-41.3495	50.3986	100	115.4446	0.1173	23.0000	11.1277	12.7687
1	-41.3495	50.3986	-41.0303	55.3931	100	125.4567	0.1334	23.0000	11.1277	12.7687
1	-41.0303	55.3931	-40.7105	60.3876	100	114.3498	0.1363	23.0000	11.1277	12.7687
1	-40.7023	60.3765	-40.3820	65.3710	100	72.0555	0.1683	23.0000	11.1277	12.7687
1	-40.3820	65.3710	-40.0612	70.3654	100	73.4594	0.1658	23.0000	11.1277	12.7687
1	-40.0612	70.3654	-39.7399	75.3599	100	68.5350	0.1568	23.0000	11.1277	12.7687
1	-45.1225	-69.6810	-44.8054	-64.6863	100	114.1807	0.1898	23.0000	12.7688	14.4098
1	-44.8133	-64.6975	-44.4956	-59.7027	100	126.0336	0.0002	23.0000	12.7688	14.4098
1	-44.5036	-59.7028	-44.1853	-54.7081	100	63.9204	0.0405	23.0000	12.7688	14.4098
1	-44.1773	-54.7080	-43.8665	-49.7134	100	72.8526	0.0033	23.0000	12.7688	14.4098
1	-43.8665	-49.7134	-43.5471	-44.7187	100	91.5385	0.0143	23.0000	12.7688	14.4098
1	-43.5552	-44.7187	-43.2353	-39.7241	100	74.6274	0.1092	23.0000	12.7688	14.4098 F
1	-43.2353	-39.7241	-42.9148	-34.7294	100	94.4180	0.0479	23.0000	12.7688	14.4098
1	-42.9228	-34.7295	-42.6018	-29.7349	100	109.1180	0.1087	23.0000	12.7688	14.4098
1	-42.6018	-29.7460	-42.2883	-24.7514	100	129.2575	0.0215	23.0000	12.7688	14.4098
1	-42.2883	-24.7514	-41.9742	-19.7569	100	114.6525	0.0570	23.0000	12.7688	14.4098
1	-41.9662	-19.7568	-41.6516	-14.7623	100	109.6149	0.0348	23.0000	12.7688	14.4098
1	-41.6516	-14.7623	-41.3285	-9.7677	100	126.6571	0.0015	23.0000	12.7688	14.4098
1	-41.3365	-9.7678	-41.0128	-4.7732	100	119.8947	0.0467	23.0000	12.7688	14.4098
1	-41.0048	-4.7732	-40.6886	0.2213	100	87.8512	0.0981	23.0000	12.7688	14.4098
1	-40.6886	0.2213	-40.3719	5.2158	100	102.4253	0.0122	23.0000	12.7688	14.4098
1	-40.3719	5.2158	-40.0546	10.2102	100	66.7609	0.0462	23.0000	12.7688	14.4098
1	-40.0545	10.1991	-39.7368	15.1936	100	80.1573	0.0014	23.0000	12.7688	14.4098

1	-39.7287	15.1936	-39.4023	20.1881	100	71.9772	0.0023	23.0000	12.7688	14.4098
1	-39.4023	20.1881	-39.0834	25.1825	100	80.6480	0.0287	23.0000	12.7688	14.4098
1	-39.0834	25.1825	-38.7640	30.1769	100	124.5155	0.0149	23.0000	12.7688	14.4098
1	-38.7559	30.1769	-38.4360	35.1713	100	114.3426	0.0105	23.0000	12.7688	14.4098
1	-38.4360	35.1713	-38.1155	40.1656	100	69.7746	0.0257	23.0000	12.7688	14.4098
1	-38.1155	40.1656	-37.7946	45.1600	100	64.0111	0.0682	23.0000	12.7688	14.4098
1	-37.7946	45.1600	-37.4649	50.1543	100	127.3097	0.3193	23.0000	12.7688	14.4098
1	-37.4567	50.1433	-37.1347	55.1376	100	126.7863	0.2615	23.0000	12.7688	14.4098
1	-37.1347	55.1376	-36.8121	60.1319	100	118.5075	0.2991	23.0000	12.7688	14.4098
1	-36.8121	60.1319	-36.4890	65.1261	100	96.5887	0.0255	23.0000	12.7688	14.4098
1	-36.4809	65.1262	-36.1572	70.1204	100	73.7000	0.3168	23.0000	12.7688	14.4098
1	-36.1572	70.1204	-35.8330	75.1147	100	66.0933	0.0287	23.0000	12.7688	14.4098
1	-41.2988	-69.9340	-40.9787	-64.9395	100	119.8419	0.0284	23.0000	14.4099	16.0509
1	-40.9867	-64.9395	-40.6661	-59.9450	100	92.5805	0.0077	23.0000	14.4099	16.0509
1	-40.6741	-59.9450	-40.3530	-54.9505	100	92.0640	0.0738	23.0000	14.4099	16.0509
1	-40.3530	-54.9505	-40.0393	-49.9561	100	71.0685	0.2091	23.0000	14.4099	16.0509
1	-40.0313	-49.9560	-39.7091	-44.9615	100	65.2161	0.3230	23.0000	14.4099	16.0509
1	-39.7171	-44.9616	-39.3943	-39.9671	100	61.9463	0.4019	23.0000	14.4099	16.0509
1	-39.4023	-39.9671	-39.0790	-34.9727	100	85.8606	0.0823	23.0000	14.4099	16.0509
1	-39.0870	-34.9839	-38.7631	-29.9894	100	77.7815	0.0423	23.0000	14.4099	16.0509
1	-38.7551	-29.9894	-38.4387	-24.9950	100	97.9483	0.0584	23.0000	14.4099	16.0509
1	-38.4387	-24.9950	-38.1218	-20.0006	100	61.9342	0.0312	23.0000	14.4099	16.0509
1	-38.1218	-20.0006	-37.8044	-15.0063	100	116.2951	0.0172	23.0000	14.4099	16.0509
1	-37.7964	-15.0062	-37.4703	-10.0119	100	126.2001	0.0333	23.0000	14.4099	16.0509
1	-37.4784	-10.0119	-37.1518	-5.0176	100	74.4281	0.0360	23.0000	14.4099	16.0509
1	-37.1518	-5.0176	-36.8328	-0.0233	100	125.2916	0.0206	23.0000	14.4099	16.0509
1	-36.8247	-0.0343	-36.5051	4.9599	100	84.8161	0.0041	23.0000	14.4099	16.0509
1	-36.5051	4.9599	-36.1850	9.9542	100	118.8754	0.0094	23.0000	14.4099	16.0509
1	-36.1850	9.9542	-35.8643	14.9484	100	117.0274	0.0231	23.0000	14.4099	16.0509
1	-35.8643	14.9484	-35.5351	19.9427	100	88.9691	0.0454	23.0000	14.4099	16.0509
1	-35.5351	19.9427	-35.2053	24.9370	100	120.8232	0.0053	23.0000	14.4099	16.0509
1	-35.2053	24.9370	-34.8830	29.9312	100	117.4886	0.0066	23.0000	14.4099	16.0509
1	-34.8830	29.9312	-34.5603	34.9254	100	84.6412	0.0048	23.0000	14.4099	16.0509
1	-34.5603	34.9254	-34.2370	39.9195	100	62.5259	0.0659	23.0000	14.4099	16.0509
1	-34.2288	39.9084	-33.9050	44.9026	100	82.0325	0.0074	23.0000	14.4099	16.0509
1	-33.9050	44.9026	-33.5725	49.8968	100	121.4101	0.0120	23.0000	14.4099	16.0509
1	-33.5725	49.8968	-33.2476	54.8909	100	120.6185	0.5155	23.0000	14.4099	16.0509
1	-33.2395	54.8909	-32.9141	59.8850	100	125.0947	0.2774	23.0000	14.4099	16.0509
1	-32.9141	59.8850	-32.5881	64.8791	100	85.7374	0.1788	23.0000	14.4099	16.0509
1	-32.5881	64.8791	-32.2616	69.8732	100	97.7189	0.0250	23.0000	14.4099	16.0509
1	-32.2616	69.8732	-31.9346	74.8672	100	86.1559	0.1627	23.0000	14.4099	16.0509
1	-37.4834	-70.1782	-37.1605	-65.1838	100	112.2187	0.0379	23.0000	16.0509	17.6919
1	-37.1685	-65.1838	-36.8450	-60.1895	100	87.3585	0.0552	23.0000	16.0509	17.6919
1	-36.8450	-60.1895	-36.5210	-55.1952	100	95.0397	0.0093	23.0000	16.0509	17.6919
1	-36.5210	-55.1952	-36.2044	-50.2009	100	65.5403	0.0128	23.0000	16.0509	17.6919
1	-36.2044	-50.2009	-35.8873	-45.2067	100	110.4581	0.0630	23.0000	16.0509	17.6919
1	-35.8793	-45.2177	-35.5536	-40.2235	100	84.0478	0.0499	23.0000	16.0509	17.6919
1	-35.5616	-40.2235	-35.2355	-35.2292	100	89.3737	0.1413	23.0000	16.0509	17.6919
1	-35.2435	-35.2293	-34.9168	-30.2350	100	78.8814	0.0069	23.0000	16.0509	17.6919
1	-34.9168	-30.2350	-34.5975	-25.2408	100	81.1166	0.0179	23.0000	16.0509	17.6919
1	-34.5895	-25.2408	-34.2697	-20.2466	100	99.1871	0.0012	23.0000	16.0509	17.6919

1	-34.2697	-20.2466	-33.9494	-15.2525	100	127.9216	0.0467	23.0000	16.0509	17.6919
1	-33.9494	-15.2525	-33.6206	-10.2583	100	67.1895	0.2987	23.0000	16.0509	17.6919
1	-33.6205	-10.2694	-33.2911	-5.2753	100	127.3106	0.0278	23.0000	16.0509	17.6919
1	-33.2911	-5.2753	-32.9692	-0.2811	100	72.1811	0.0666	23.0000	16.0509	17.6919
1	-32.9692	-0.2811	-32.6467	4.7129	100	87.5965	0.1207	23.0000	16.0509	17.6919
1	-32.6467	4.7129	-32.3238	9.7070	100	67.7423	0.0324	23.0000	16.0509	17.6919
1	-32.3157	9.7070	-31.9922	14.7011	100	112.5064	0.0369	23.0000	16.0509	17.6919
1	-31.9922	14.7011	-31.6601	19.6952	100	82.7006	0.0505	23.0000	16.0509	17.6919
1	-31.6682	19.6951	-31.3355	24.6892	100	112.2574	0.0364	23.0000	16.0509	17.6919
1	-31.3355	24.6892	-31.0104	29.6832	100	115.2409	0.0256	23.0000	16.0509	17.6919
1	-31.0023	29.6721	-30.6767	34.6661	100	76.1676	0.0632	23.0000	16.0509	17.6919
1	-30.6767	34.6661	-30.3505	39.6601	100	91.8355	0.0054	23.0000	16.0509	17.6919
1	-30.3505	39.6601	-30.0239	44.6540	100	85.0599	0.0113	23.0000	16.0509	17.6919
1	-30.0157	44.6541	-29.6804	49.6481	100	85.0404	0.0097	23.0000	16.0509	17.6919
1	-29.6804	49.6481	-29.3527	54.6420	100	75.2219	0.0218	23.0000	16.0509	17.6919
1	-29.3527	54.6420	-29.0244	59.6359	100	125.0996	0.0996	23.0000	16.0509	17.6919
1	-29.0163	59.6359	-28.6875	64.6298	100	129.7757	0.5671	23.0000	16.0509	17.6919
1	-28.6875	64.6187	-28.3581	69.6126	100	89.0555	0.0625	23.0000	16.0509	17.6919
1	-28.3581	69.6126	-28.0283	74.6064	100	80.8362	0.0836	23.0000	16.0509	17.6919
1	-33.6603	-70.4245	-33.3345	-65.4303	100	88.3337	0.0354	23.0000	17.6920	19.3330
1	-33.3425	-65.4303	-33.0162	-60.4362	100	88.6123	0.0112	23.0000	17.6920	19.3330
1	-33.0241	-60.4473	-32.6972	-55.4532	100	68.2863	0.0923	23.0000	17.6920	19.3330
1	-32.6892	-55.4532	-32.3698	-50.4591	100	62.4556	0.2973	23.0000	17.6920	19.3330
1	-32.3698	-50.4591	-32.0498	-45.4650	100	109.8996	0.0174	23.0000	17.6920	19.3330
1	-32.0498	-45.4650	-31.7213	-40.4709	100	125.5221	0.2848	23.0000	17.6920	19.3330
1	-31.7293	-40.4710	-31.4003	-35.4769	100	129.7967	0.0134	23.0000	17.6920	19.3330
1	-31.4003	-35.4769	-31.0707	-30.4829	100	122.3468	0.1243	23.0000	17.6920	19.3330
1	-31.0707	-30.4829	-30.7486	-25.4889	100	92.0377	0.0171	23.0000	17.6920	19.3330
1	-30.7486	-25.4889	-30.4260	-20.4949	100	119.4765	0.0436	23.0000	17.6920	19.3330
1	-30.4179	-20.5060	-30.0947	-15.5120	100	116.6154	0.0061	23.0000	17.6920	19.3330
1	-30.0947	-15.5120	-29.7630	-10.5180	100	64.5761	0.2198	23.0000	17.6920	19.3330
1	-29.7710	-10.5181	-29.4387	-5.5241	100	89.4815	0.1414	23.0000	17.6920	19.3330
1	-29.4387	-5.5241	-29.1140	-0.5302	100	81.2900	0.0347	23.0000	17.6920	19.3330
1	-29.1059	-0.5301	-28.7806	4.4638	100	64.3440	0.6004	23.0000	17.6920	19.3330
1	-28.7806	4.4638	-28.4548	9.4576	100	87.8360	0.7279	23.0000	17.6920	19.3330
1	-28.4548	9.4576	-28.1285	14.4515	100	99.0640	1.0661	23.0000	17.6920	19.3330
1	-28.1204	14.4515	-27.7854	19.4454	100	113.7924	0.8937	23.0000	17.6920	19.3330
1	-27.7934	19.4343	-27.4580	24.4281	100	102.2528	0.8279	23.0000	17.6920	19.3330
1	-27.4580	24.4281	-27.1300	29.4219	100	83.2768	0.0067	23.0000	17.6920	19.3330
1	-27.1300	29.4219	-26.8016	34.4157	100	112.6494	0.0142	23.0000	17.6920	19.3330
1	-26.7934	34.4158	-26.4645	39.4096	100	63.9806	0.0381	23.0000	17.6920	19.3330
1	-26.4645	39.4096	-26.1349	44.4033	100	88.6492	0.0190	23.0000	17.6920	19.3330
1	-26.1349	44.4033	-25.7968	49.3971	100	111.9197	0.0165	23.0000	17.6920	19.3330
1	-25.7886	49.3971	-25.4581	54.3909	100	61.4530	0.0076	23.0000	17.6920	19.3330
1	-25.4580	54.3797	-25.1269	59.3734	100	129.6870	0.5336	23.0000	17.6920	19.3330
1	-25.1269	59.3734	-24.7953	64.3671	100	129.5927	1.3056	23.0000	17.6920	19.3330
1	-24.7953	64.3671	-24.4632	69.3608	100	128.6673	0.6275	23.0000	17.6920	19.3330
1	-24.4550	69.3609	-24.1223	74.3545	100	100.4035	0.1549	23.0000	17.6920	19.3330
1	-29.8455	-70.6841	-29.5168	-65.6901	100	66.8479	0.0022	23.0000	19.3331	20.9741
1	-29.5168	-65.6901	-29.1876	-60.6962	100	60.3241	0.1343	23.0000	19.3331	20.9741
1	-29.1956	-60.6962	-28.8658	-55.7023	100	74.2925	0.2836	23.0000	19.3331	20.9741

1	-28.8658	-55.7023	-28.5435	-50.7084	100	61.1868	0.1581	23.0000	19.3331	20.9741
1	-28.5435	-50.7084	-28.2207	-45.7145	100	117.1281	0.1566	23.0000	19.3331	20.9741
1	-28.2127	-45.7145	-27.8813	-40.7206	100	86.9021	0.0420	23.0000	19.3331	20.9741
1	-27.8893	-40.7206	-27.5574	-35.7268	100	97.1266	0.0481	23.0000	19.3331	20.9741
1	-27.5654	-35.7268	-27.2329	-30.7329	100	82.7321	0.0074	23.0000	19.3331	20.9741
1	-27.2249	-30.7440	-26.8999	-25.7502	100	82.1792	0.0267	23.0000	19.3331	20.9741
1	-26.8999	-25.7502	-26.5744	-20.7564	100	97.1570	0.1270	23.0000	19.3331	20.9741
1	-26.5744	-20.7564	-26.2484	-15.7627	100	68.2182	0.1165	23.0000	19.3331	20.9741
1	-26.2484	-15.7627	-25.9138	-10.7689	100	68.6185	0.1261	23.0000	19.3331	20.9741
1	-25.9138	-10.7689	-25.5786	-5.7751	100	70.6193	0.6675	23.0000	19.3331	20.9741
1	-25.5867	-5.7751	-25.2510	-0.7814	100	65.3738	0.9738	23.0000	19.3331	20.9741
1	-25.2510	-0.7814	-24.9229	4.2123	100	76.2382	1.4555	23.0000	19.3331	20.9741
1	-24.9148	4.2012	-24.5861	9.1949	100	85.2896	1.7407	23.0000	19.3331	20.9741
1	-24.5861	9.1949	-24.2569	14.1886	100	94.3023	1.9232	23.0000	19.3331	20.9741
1	-24.2569	14.1886	-23.9191	19.1823	100	103.7741	2.1244	23.0000	19.3331	20.9741
1	-23.9272	19.1823	-23.5888	24.1759	100	104.2448	1.4257	23.0000	19.3331	20.9741
1	-23.5807	24.1759	-23.2499	29.1696	100	77.6908	0.1604	23.0000	19.3331	20.9741
1	-23.2499	29.1696	-22.9186	34.1632	100	116.1376	0.0048	23.0000	19.3331	20.9741
1	-22.9186	34.1632	-22.5868	39.1568	100	106.2653	0.0018	23.0000	19.3331	20.9741
1	-22.5787	39.1568	-22.2463	44.1504	100	101.1044	0.0017	23.0000	19.3331	20.9741
1	-22.2463	44.1392	-21.9053	49.1328	100	61.1569	0.0116	23.0000	19.3331	20.9741
1	-21.9053	49.1328	-21.5718	54.1263	100	74.2979	0.0026	23.0000	19.3331	20.9741
1	-21.5718	54.1263	-21.2379	59.1199	100	72.0985	0.0411	23.0000	19.3331	20.9741
1	-21.2298	59.1199	-20.8953	64.1134	100	128.5556	0.8801	23.0000	19.3331	20.9741
1	-20.8953	64.1134	-20.5603	69.1069	100	129.7201	0.3808	23.0000	19.3331	20.9741
1	-20.5603	69.1069	-20.2248	74.1003	100	61.9996	0.0064	23.0000	19.3331	20.9741
1	-26.0230	-70.9348	-25.6915	-65.9411	100	78.0587	0.0177	23.0000	20.9741	22.6151
1	-25.6994	-65.9411	-25.3673	-60.9473	100	60.0765	0.3133	23.0000	20.9741	22.6151
1	-25.3673	-60.9473	-25.0347	-55.9536	100	72.5484	0.1106	23.0000	20.9741	22.6151
1	-25.0347	-55.9536	-24.7095	-50.9599	100	92.6079	0.0473	23.0000	20.9741	22.6151
1	-24.7095	-50.9599	-24.3838	-45.9662	100	70.5105	0.1913	23.0000	20.9741	22.6151
1	-24.3838	-45.9662	-24.0496	-40.9725	100	94.3002	0.0345	23.0000	20.9741	22.6151
1	-24.0496	-40.9836	-23.7147	-35.9899	100	126.4368	0.0395	23.0000	20.9741	22.6151
1	-23.7228	-35.9900	-23.3874	-30.9963	100	78.5363	0.0045	23.0000	20.9741	22.6151
1	-23.3874	-30.9963	-23.0596	-26.0027	100	116.9719	0.0079	23.0000	20.9741	22.6151
1	-23.0516	-26.0027	-22.7232	-21.0091	100	112.0742	0.0033	23.0000	20.9741	22.6151
1	-22.7232	-21.0091	-22.3943	-16.0155	100	102.6135	0.0436	23.0000	20.9741	22.6151
1	-22.3943	-16.0155	-22.0568	-11.0219	100	105.2029	0.0389	23.0000	20.9741	22.6151
1	-22.0649	-11.0219	-21.7269	-6.0284	100	71.5124	0.8657	23.0000	20.9741	22.6151
1	-21.7269	-6.0395	-21.3883	-1.0459	100	78.9776	1.0944	23.0000	20.9741	22.6151
1	-21.3883	-1.0459	-21.0573	3.9476	100	92.1279	1.5735	23.0000	20.9741	22.6151
1	-21.0573	3.9476	-20.7258	8.9411	100	96.0603	1.7897	23.0000	20.9741	22.6151
1	-20.7258	8.9411	-20.3937	13.9346	100	93.0614	1.8524	23.0000	20.9741	22.6151
1	-20.3856	13.9346	-20.0450	18.9281	100	96.0592	1.9164	23.0000	20.9741	22.6151
1	-20.0531	18.9280	-19.7119	23.9215	100	115.5391	1.5235	23.0000	20.9741	22.6151
1	-19.7119	23.9215	-19.3782	28.9149	100	97.8702	0.7240	23.0000	20.9741	22.6151
1	-19.3701	28.9150	-19.0360	33.9084	100	129.7914	0.1594	23.0000	20.9741	22.6151
1	-19.0359	33.8973	-18.7013	38.8906	100	118.2214	0.0090	23.0000	20.9741	22.6151
1	-18.7013	38.8906	-18.3661	43.8840	100	123.1313	0.0262	23.0000	20.9741	22.6151
1	-18.3579	43.8840	-18.0141	48.8774	100	75.6279	0.0057	23.0000	20.9741	22.6151
1	-18.0141	48.8774	-17.6778	53.8708	100	84.8612	0.0104	23.0000	20.9741	22.6151

1	-17.6778	53.8708	-17.3410	58.8641	100	82.5947	0.0290	23.0000	20.9741	22.6151
1	-17.3410	58.8641	-17.0037	63.8574	100	125.7975	0.8810	23.0000	20.9741	22.6151
1	-16.9956	63.8574	-16.6578	68.8507	100	128.3809	0.6767	23.0000	20.9741	22.6151
1	-16.6578	68.8507	-16.3194	73.8440	100	126.0981	0.2572	23.0000	20.9741	22.6151
1	-22.2009	-71.1878	-21.8664	-66.1942	100	112.1460	0.0397	23.0000	22.6152	24.2562
1	-21.8744	-66.1942	-21.5394	-61.2006	100	125.7433	0.0590	23.0000	22.6152	24.2562
1	-21.5474	-61.2007	-21.2119	-56.2071	100	90.7950	0.0708	23.0000	22.6152	24.2562
1	-21.2119	-56.2071	-20.8838	-51.2136	100	65.0434	0.2664	23.0000	22.6152	24.2562
1	-20.8758	-51.2247	-20.5472	-46.2312	100	66.9173	0.2328	23.0000	22.6152	24.2562
1	-20.5472	-46.2312	-20.2101	-41.2377	100	85.5941	0.0084	23.0000	22.6152	24.2562
1	-20.2181	-41.2377	-19.8805	-36.2443	100	94.5839	0.0104	23.0000	22.6152	24.2562
1	-19.8805	-36.2443	-19.5423	-31.2508	100	78.6115	0.0083	23.0000	22.6152	24.2562
1	-19.5503	-31.2508	-19.2116	-26.2574	100	85.5428	0.0157	23.0000	22.6152	24.2562
1	-19.2116	-26.2574	-18.8803	-21.2640	100	62.3345	0.4860	23.0000	22.6152	24.2562
1	-18.8803	-21.2640	-18.5486	-16.2706	100	79.5114	0.1557	23.0000	22.6152	24.2562
1	-18.5405	-16.2817	-18.2002	-11.2883	100	82.4996	0.1258	23.0000	22.6152	24.2562
1	-18.2082	-11.2883	-17.8674	-6.2949	100	66.7697	0.3230	23.0000	22.6152	24.2562
1	-17.8754	-6.2950	-17.5340	-1.3016	100	90.9433	0.2480	23.0000	22.6152	24.2562
1	-17.5260	-1.3016	-17.1921	3.6917	100	74.9933	0.7390	23.0000	22.6152	24.2562
1	-17.1921	3.6917	-16.8577	8.6850	100	86.1823	0.7666	23.0000	22.6152	24.2562
1	-16.8577	8.6850	-16.5228	13.6783	100	89.3445	0.9839	23.0000	22.6152	24.2562
1	-16.5228	13.6783	-16.1793	18.6716	100	98.5149	1.2787	23.0000	22.6152	24.2562
1	-16.1793	18.6716	-15.8352	23.6649	100	126.0140	0.8646	23.0000	22.6152	24.2562
1	-15.8352	23.6538	-15.4987	28.6470	100	117.0981	0.5987	23.0000	22.6152	24.2562
1	-15.4987	28.6470	-15.1617	33.6402	100	61.1300	0.0295	23.0000	22.6152	24.2562
1	-15.1536	33.6402	-14.8161	38.6334	100	109.2888	0.1399	23.0000	22.6152	24.2562
1	-14.8161	38.6334	-14.4780	43.6266	100	70.1272	0.0085	23.0000	22.6152	24.2562
1	-14.4780	43.6266	-14.1313	48.6198	100	74.1126	0.0082	23.0000	22.6152	24.2562
1	-14.1313	48.6198	-13.7922	53.6129	100	96.4797	0.0015	23.0000	22.6152	24.2562
1	-13.7841	53.6129	-13.4445	58.6061	100	62.7356	0.0809	23.0000	22.6152	24.2562
1	-13.4445	58.6061	-13.1043	63.5992	100	128.8224	0.2779	23.0000	22.6152	24.2562
1	-13.1043	63.5880	-12.7637	68.5811	100	100.2684	0.0166	23.0000	22.6152	24.2562
1	-12.7637	68.5811	-12.4225	73.5742	100	73.8675	0.1373	23.0000	22.6152	24.2562
1	-18.3870	-71.4429	-18.0496	-66.4495	100	120.7563	0.0060	23.0000	24.2563	25.8973
1	-18.0576	-66.4495	-17.7198	-61.4562	100	67.9311	0.1321	23.0000	24.2563	25.8973
1	-17.7197	-61.4673	-17.3814	-56.4739	100	60.7862	0.5426	23.0000	24.2563	25.8973
1	-17.3894	-56.4740	-17.0504	-51.4806	100	129.9052	0.0535	23.0000	24.2563	25.8973
1	-17.0504	-51.4806	-16.7190	-46.4873	100	93.3649	0.0754	23.0000	24.2563	25.8973
1	-16.7110	-46.4873	-16.3710	-41.4940	100	121.7504	0.0074	23.0000	24.2563	25.8973
1	-16.3790	-41.4940	-16.0385	-36.5008	100	99.5423	0.0048	23.0000	24.2563	25.8973
1	-16.0465	-36.5008	-15.7054	-31.5075	100	122.7975	0.0063	23.0000	24.2563	25.8973
1	-15.7134	-31.5075	-15.3719	-26.5143	100	60.4360	0.4661	23.0000	24.2563	25.8973
1	-15.3638	-26.5143	-15.0297	-21.5211	100	64.2681	0.8515	23.0000	24.2563	25.8973
1	-15.0297	-21.5322	-14.6951	-16.5390	100	107.5482	0.4214	23.0000	24.2563	25.8973
1	-14.6951	-16.5390	-14.3519	-11.5458	100	89.1783	0.1214	23.0000	24.2563	25.8973
1	-14.3519	-11.5458	-14.0082	-6.5526	100	116.7886	0.6466	23.0000	24.2563	25.8973
1	-14.0162	-6.5526	-13.6720	-1.5595	100	120.9586	1.0261	23.0000	24.2563	25.8973
1	-13.6720	-1.5595	-13.3353	3.4336	100	109.6740	0.8043	23.0000	24.2563	25.8973
1	-13.3353	3.4336	-12.9980	8.4268	100	114.3640	0.6954	23.0000	24.2563	25.8973
1	-12.9899	8.4268	-12.6522	13.4199	100	106.8886	0.9656	23.0000	24.2563	25.8973
1	-12.6521	13.4087	-12.3058	18.4018	100	100.6630	1.2917	23.0000	24.2563	25.8973

1	-12.3139	18.4018	-11.9670	23.3949	100	115.6213	1.1935	23.0000	24.2563	25.8973
1	-11.9589	23.3949	-11.6195	28.3879	100	124.9114	1.1291	23.0000	24.2563	25.8973
1	-11.6195	28.3879	-11.2797	33.3809	100	125.6006	0.0720	23.0000	24.2563	25.8973
1	-11.2797	33.3809	-10.9393	38.3739	100	126.8598	0.1042	23.0000	24.2563	25.8973
1	-10.9393	38.3739	-10.5984	43.3669	100	119.7717	0.0883	23.0000	24.2563	25.8973
1	-10.5903	43.3669	-10.2408	48.3599	100	95.0719	0.0192	23.0000	24.2563	25.8973
1	-10.2408	48.3599	-9.8988	53.3529	100	85.4711	0.0131	23.0000	24.2563	25.8973
1	-9.8988	53.3417	-9.5563	58.3347	100	63.7838	0.0059	23.0000	24.2563	25.8973
1	-9.5482	58.3347	-9.2052	63.3276	100	108.1571	0.1203	23.0000	24.2563	25.8973
1	-9.2052	63.3276	-8.8617	68.3205	100	90.7628	0.0699	23.0000	24.2563	25.8973
1	-8.8617	68.3205	-8.5177	73.3134	100	110.0132	0.1733	23.0000	24.2563	25.8973
1	-14.5654	-71.7114	-14.2252	-66.7182	100	91.1562	0.0185	23.0000	25.8974	27.5384
1	-14.2332	-66.7182	-13.8924	-61.7250	100	70.4256	0.0618	23.0000	25.8974	27.5384
1	-13.9004	-61.7250	-13.5592	-56.7319	100	65.3432	0.6402	23.0000	25.8974	27.5384
1	-13.5592	-56.7319	-13.2174	-51.7387	100	69.8107	0.1101	23.0000	25.8974	27.5384
1	-13.2174	-51.7387	-12.8830	-46.7456	100	78.5461	0.0482	23.0000	25.8974	27.5384
1	-12.8830	-46.7456	-12.5402	-41.7525	100	77.9901	0.0083	23.0000	25.8974	27.5384
1	-12.5402	-41.7525	-12.1968	-36.7595	100	85.6070	0.0107	23.0000	25.8974	27.5384
1	-12.2048	-36.7706	-11.8608	-31.7775	100	65.0212	0.0560	23.0000	25.8974	27.5384
1	-11.8689	-31.7775	-11.5244	-26.7845	100	61.9716	1.0409	23.0000	25.8974	27.5384
1	-11.5244	-26.7845	-11.1874	-21.7915	100	61.4462	1.4667	23.0000	25.8974	27.5384
1	-11.1794	-21.7915	-10.8419	-16.7985	100	60.4935	1.1247	23.0000	25.8974	27.5384
1	-10.8419	-16.7985	-10.4959	-11.8055	100	80.1707	1.0857	23.0000	25.8974	27.5384
1	-10.5039	-11.8055	-10.1573	-6.8125	100	112.9099	2.3787	23.0000	25.8974	27.5384
1	-10.1654	-6.8125	-9.8183	-1.8196	100	120.6347	3.1532	23.0000	25.8974	27.5384
1	-9.8102	-1.8196	-9.4706	3.1734	100	114.2646	2.6739	23.0000	25.8974	27.5384
1	-9.4706	3.1622	-9.1305	8.1551	100	117.6617	1.3987	23.0000	25.8974	27.5384
1	-9.1305	8.1551	-8.7899	13.1480	100	114.0588	1.5112	23.0000	25.8974	27.5384
1	-8.7818	13.1480	-8.4326	18.1409	100	118.6227	2.3870	23.0000	25.8974	27.5384
1	-8.4407	18.1409	-8.0909	23.1338	100	120.7039	2.9677	23.0000	25.8974	27.5384
1	-8.0909	23.1338	-7.7488	28.1266	100	117.7918	2.0876	23.0000	25.8974	27.5384
1	-7.7488	28.1266	-7.4060	33.1194	100	114.3578	1.1752	23.0000	25.8974	27.5384
1	-7.3979	33.1194	-7.0547	38.1123	100	124.9892	0.6026	23.0000	25.8974	27.5384
1	-7.0547	38.1123	-6.7110	43.1050	100	110.5548	0.2034	23.0000	25.8974	27.5384
1	-6.7110	43.0939	-6.3586	48.0867	100	103.4369	0.0070	23.0000	25.8974	27.5384
1	-6.3505	48.0867	-6.0057	53.0794	100	113.2503	0.0209	23.0000	25.8974	27.5384
1	-6.0057	53.0794	-5.6604	58.0722	100	86.7819	0.0302	23.0000	25.8974	27.5384
1	-5.6604	58.0722	-5.3146	63.0649	100	90.0142	0.0283	23.0000	25.8974	27.5384
1	-5.3146	63.0649	-4.9682	68.0576	100	90.4330	0.1449	23.0000	25.8974	27.5384
1	-4.9601	68.0576	-4.6132	73.0503	100	105.2472	0.0782	23.0000	25.8974	27.5384
1	-10.7521	-71.9709	-10.4090	-66.9779	100	96.2234	0.0737	23.0000	27.5384	29.1794
1	-10.4090	-66.9779	-10.0654	-61.9850	100	64.9499	0.0520	23.0000	27.5384	29.1794
1	-10.0734	-61.9850	-9.7293	-56.9920	100	66.4164	0.5468	23.0000	27.5384	29.1794
1	-9.7373	-56.9920	-9.3926	-51.9991	100	89.6661	0.0238	23.0000	27.5384	29.1794
1	-9.3846	-51.9991	-9.0474	-47.0062	100	123.5572	0.0302	23.0000	27.5384	29.1794
1	-9.0474	-47.0173	-8.7016	-42.0244	100	95.5190	0.0078	23.0000	27.5384	29.1794
1	-8.7096	-42.0244	-8.3634	-37.0315	100	69.1575	0.0316	23.0000	27.5384	29.1794
1	-8.3714	-37.0315	-8.0246	-32.0387	100	61.8752	1.0905	23.0000	27.5384	29.1794
1	-8.0246	-32.0387	-7.6773	-27.0458	100	60.3055	2.3375	23.0000	27.5384	29.1794
1	-7.6773	-27.0458	-7.3374	-22.0530	100	63.3343	2.6734	23.0000	27.5384	29.1794
1	-7.3374	-22.0530	-6.9971	-17.0602	100	68.5689	2.4741	23.0000	27.5384	29.1794

1	-6.9891	-17.0602	-6.6401	-12.0674	100	88.7677	2.7913	23.0000	27.5384	29.1794
1	-6.6482	-12.0674	-6.2987	-7.0746	100	102.1280	4.3430	23.0000	27.5384	29.1794
1	-6.3068	-7.0858	-5.9568	-2.0930	100	106.0805	5.2802	23.0000	27.5384	29.1794
1	-5.9568	-2.0930	-5.6144	2.8997	100	103.4247	5.0956	23.0000	27.5384	29.1794
1	-5.6063	2.8997	-5.2634	7.8924	100	115.5207	3.5961	23.0000	27.5384	29.1794
1	-5.2634	7.8924	-4.9199	12.8851	100	122.5321	2.7994	23.0000	27.5384	29.1794
1	-4.9199	12.8851	-4.5678	17.8778	100	124.1460	3.5090	23.0000	27.5384	29.1794
1	-4.5678	17.8778	-4.2152	22.8705	100	119.8074	3.5980	23.0000	27.5384	29.1794
1	-4.2152	22.8705	-3.8702	27.8631	100	112.5688	2.8609	23.0000	27.5384	29.1794
1	-3.8702	27.8520	-3.5246	32.8446	100	118.7167	1.9011	23.0000	27.5384	29.1794
1	-3.5246	32.8446	-3.1785	37.8372	100	128.8270	1.4086	23.0000	27.5384	29.1794
1	-3.1704	37.8372	-2.8239	42.8298	100	127.0033	0.7347	23.0000	27.5384	29.1794
1	-2.8239	42.8298	-2.4686	47.8224	100	122.7875	0.0301	23.0000	27.5384	29.1794
1	-2.4686	47.8224	-2.1210	52.8149	100	123.6122	0.0097	23.0000	27.5384	29.1794
1	-2.1210	52.8149	-1.7729	57.8074	100	64.2550	0.0051	23.0000	27.5384	29.1794
1	-1.7647	57.8075	-1.4161	62.8000	100	95.3452	0.0280	23.0000	27.5384	29.1794
1	-1.4161	62.8000	-1.0669	67.7925	100	129.5636	0.0999	23.0000	27.5384	29.1794
1	-1.0669	67.7813	-0.7172	72.7738	100	65.5372	0.0556	23.0000	27.5384	29.1794
1	-6.9312	-72.2327	-6.5852	-67.2399	100	60.8506	0.6940	23.0000	29.1795	30.8205
1	-6.5932	-67.2399	-6.2467	-62.2471	100	77.0402	0.1839	23.0000	29.1795	30.8205
1	-6.2467	-62.2471	-5.8997	-57.2544	100	63.8940	0.4348	23.0000	29.1795	30.8205
1	-5.9077	-57.2655	-5.5601	-52.2727	100	126.1030	0.1683	23.0000	29.1795	30.8205
1	-5.5601	-52.2727	-5.2200	-47.2800	100	116.3812	0.0493	23.0000	29.1795	30.8205
1	-5.2200	-47.2800	-4.8714	-42.2873	100	129.7820	0.0172	23.0000	29.1795	30.8205
1	-4.8714	-42.2873	-4.5223	-37.2947	100	114.5929	0.0178	23.0000	29.1795	30.8205
1	-4.5303	-37.2947	-4.1806	-32.3020	100	60.2248	1.4751	23.0000	29.1795	30.8205
1	-4.1887	-32.3020	-3.8385	-27.3094	100	60.4145	2.8739	23.0000	29.1795	30.8205
1	-3.8305	-27.3094	-3.4878	-22.3167	100	64.2518	2.7057	23.0000	29.1795	30.8205
1	-3.4878	-22.3167	-3.1445	-17.3241	100	70.8816	3.4007	23.0000	29.1795	30.8205
1	-3.1445	-17.3353	-2.7928	-12.3427	100	88.7590	4.0553	23.0000	29.1795	30.8205
1	-2.8008	-12.3427	-2.4485	-7.3501	100	94.6982	5.2028	23.0000	29.1795	30.8205
1	-2.4485	-7.3501	-2.0957	-2.3576	100	94.4619	5.6783	23.0000	29.1795	30.8205
1	-2.0957	-2.3576	-1.7504	2.6350	100	97.0583	5.1245	23.0000	29.1795	30.8205
1	-1.7504	2.6350	-1.4046	7.6275	100	111.7336	3.6959	23.0000	29.1795	30.8205
1	-1.3965	7.6275	-1.0502	12.6200	100	125.8963	2.8673	23.0000	29.1795	30.8205
1	-1.0502	12.6200	-0.6953	17.6125	100	128.6316	3.6902	23.0000	29.1795	30.8205
1	-0.7033	17.6013	-0.3479	22.5938	100	118.7780	3.3880	23.0000	29.1795	30.8205
1	-0.3479	22.5938	0.0000	27.5862	100	106.5446	2.5507	23.0000	29.1795	30.8205
1	0.0081	27.5862	0.3565	32.5787	100	124.0162	2.2148	23.0000	29.1795	30.8205
1	0.3565	32.5787	0.7054	37.5711	100	123.6643	1.9284	23.0000	29.1795	30.8205
1	0.7054	37.5711	1.0548	42.5634	100	105.4317	0.6350	23.0000	29.1795	30.8205
1	1.0630	42.5634	1.4129	47.5558	100	117.1201	0.0007	23.0000	29.1795	30.8205
1	1.4210	47.5558	1.7715	52.5482	100	92.3674	0.0008	23.0000	29.1795	30.8205
1	1.7715	52.5482	2.1225	57.5405	100	93.2424	0.0860	23.0000	29.1795	30.8205
1	2.1225	57.5294	2.4740	62.5217	100	116.9881	0.1442	23.0000	29.1795	30.8205
1	2.4821	62.5217	2.8341	67.5140	100	117.0629	0.3176	23.0000	29.1795	30.8205
1	2.8341	67.5140	3.1866	72.5063	100	116.8455	0.0185	23.0000	29.1795	30.8205
1	-3.1105	-72.4966	-2.7617	-67.5040	100	62.7785	0.2092	23.0000	30.8206	32.4616
1	-2.7697	-67.5151	-2.4203	-62.5226	100	65.8193	0.2508	23.0000	30.8206	32.4616
1	-2.4283	-62.5226	-2.0784	-57.5300	100	63.3393	0.0216	23.0000	30.8206	32.4616
1	-2.0784	-57.5300	-1.7280	-52.5375	100	76.3133	0.0371	23.0000	30.8206	32.4616

1	-1.7280	-52.5375	-1.3850	-47.5450	100	96.9541	0.0226	23.0000	30.8206	32.4616
1	-1.3850	-47.5450	-1.0335	-42.5525	100	122.6142	0.0036	23.0000	30.8206	32.4616
1	-1.0415	-42.5525	-0.6895	-37.5600	100	82.3913	0.0282	23.0000	30.8206	32.4616
1	-0.6895	-37.5600	-0.3370	-32.5676	100	60.3380	0.8688	23.0000	30.8206	32.4616
1	-0.3450	-32.5676	0.0080	-27.5751	100	60.2298	1.7620	23.0000	30.8206	32.4616
1	0.0080	-27.5862	0.3536	-22.5938	100	60.3144	1.7447	23.0000	30.8206	32.4616
1	0.3536	-22.5938	0.6997	-17.6014	100	63.7050	2.2425	23.0000	30.8206	32.4616
1	0.7077	-17.6014	1.0623	-12.6090	100	74.3474	3.0417	23.0000	30.8206	32.4616
1	1.0543	-12.6090	1.4095	-7.6167	100	90.5636	3.8927	23.0000	30.8206	32.4616
1	1.4014	-7.6167	1.7571	-2.6243	100	92.5936	3.8025	23.0000	30.8206	32.4616
1	1.7651	-2.6243	2.1133	2.3680	100	96.8925	3.3868	23.0000	30.8206	32.4616
1	2.1133	2.3680	2.4620	7.3603	100	113.3576	2.0127	23.0000	30.8206	32.4616
1	2.4620	7.3492	2.8111	12.3415	100	125.4481	1.8980	23.0000	30.8206	32.4616
1	2.8111	12.3415	3.1689	17.3338	100	127.9284	2.3043	23.0000	30.8206	32.4616
1	3.1689	17.3338	3.5272	22.3260	100	124.9680	2.2362	23.0000	30.8206	32.4616
1	3.5272	22.3260	3.8780	27.3183	100	98.8087	1.2769	23.0000	30.8206	32.4616
1	3.8780	27.3183	4.2292	32.3105	100	127.4905	1.4768	23.0000	30.8206	32.4616
1	4.2373	32.3105	4.5891	37.3027	100	120.4250	1.0993	23.0000	30.8206	32.4616
1	4.5891	37.3027	4.9414	42.2949	100	104.9656	0.4343	23.0000	30.8206	32.4616
1	4.9414	42.2949	5.2941	47.2870	100	105.9146	0.0124	23.0000	30.8206	32.4616
1	5.3023	47.2759	5.6556	52.2681	100	126.3471	0.0136	23.0000	30.8206	32.4616
1	5.6637	52.2681	6.0175	57.2602	100	83.6877	0.0029	23.0000	30.8206	32.4616
1	6.0175	57.2602	6.3718	62.2523	100	124.6941	0.0027	23.0000	30.8206	32.4616
1	6.3718	62.2523	6.7267	67.2444	100	110.7429	0.2257	23.0000	30.8206	32.4616
1	6.7348	67.2444	7.0902	72.2365	100	107.7660	0.0129	23.0000	30.8206	32.4616
1	0.7018	-72.7739	1.0535	-67.7815	100	104.4396	0.0364	23.0000	32.4616	34.1026
1	1.0535	-67.7815	1.4058	-62.7891	100	65.9890	0.1419	23.0000	32.4616	34.1026
1	1.3978	-62.7891	1.7506	-57.7968	100	96.3649	0.0075	23.0000	32.4616	34.1026
1	1.7426	-57.7968	2.0959	-52.8045	100	124.5368	0.0221	23.0000	32.4616	34.1026
1	2.0959	-52.8045	2.4417	-47.8121	100	106.8214	0.0053	23.0000	32.4616	34.1026
1	2.4497	-47.8122	2.8041	-42.8199	100	75.0416	0.0024	23.0000	32.4616	34.1026
1	2.7960	-42.8199	3.1509	-37.8276	100	102.0488	0.0123	23.0000	32.4616	34.1026
1	3.1429	-37.8387	3.4983	-32.8464	100	115.7755	0.0111	23.0000	32.4616	34.1026
1	3.4983	-32.8464	3.8542	-27.8542	100	70.1294	0.0072	23.0000	32.4616	34.1026
1	3.8542	-27.8542	4.2026	-22.8620	100	80.2295	0.0399	23.0000	32.4616	34.1026
1	4.2026	-22.8620	4.5516	-17.8698	100	61.0499	0.4293	23.0000	32.4616	34.1026
1	4.5516	-17.8698	4.9091	-12.8776	100	68.8095	1.2630	23.0000	32.4616	34.1026
1	4.9091	-12.8776	5.2671	-7.8854	100	83.6000	1.6276	23.0000	32.4616	34.1026
1	5.2591	-7.8854	5.6176	-2.8933	100	93.3913	1.3644	23.0000	32.4616	34.1026
1	5.6176	-2.9044	5.9686	2.0877	100	91.3169	1.1807	23.0000	32.4616	34.1026
1	5.9767	2.0877	6.3282	7.0798	100	129.3548	0.2225	23.0000	32.4616	34.1026
1	6.3282	7.0798	6.6802	12.0719	100	125.9374	0.3189	23.0000	32.4616	34.1026
1	6.6802	12.0719	7.0409	17.0640	100	119.5273	0.6570	23.0000	32.4616	34.1026
1	7.0328	17.0640	7.3939	22.0560	100	118.8853	0.7639	23.0000	32.4616	34.1026
1	7.4020	22.0560	7.7556	27.0481	100	116.9882	0.1580	23.0000	32.4616	34.1026
1	7.7556	27.0481	8.1097	32.0401	100	93.1670	0.1185	23.0000	32.4616	34.1026
1	8.1097	32.0401	8.4643	37.0321	100	107.4574	0.0248	23.0000	32.4616	34.1026
1	8.4643	37.0210	8.8194	42.0130	100	117.5015	0.0088	23.0000	32.4616	34.1026
1	8.8275	42.0129	9.1832	47.0049	100	83.4831	0.0026	23.0000	32.4616	34.1026
1	9.1913	47.0049	9.5474	51.9968	100	72.8812	0.0175	23.0000	32.4616	34.1026
1	9.5474	51.9968	9.9041	56.9888	100	64.7845	0.0077	23.0000	32.4616	34.1026

1	9.9122	56.9888	10.2694	61.9807	100	71.8610	0.1369	23.0000	32.4616	34.1026
1	10.2694	61.9807	10.6271	66.9726	100	92.4530	0.1237	23.0000	32.4616	34.1026
1	10.6271	66.9726	10.9853	71.9644	100	124.6623	0.0689	23.0000	32.4616	34.1026
1	4.5218	-73.0423	4.8764	-68.0501	100	80.9462	0.0683	23.0000	34.1027	35.7437
1	4.8685	-68.0501	5.2236	-63.0579	100	70.6483	0.0265	23.0000	34.1027	35.7437
1	5.2156	-63.0579	5.5712	-58.0658	100	64.6126	0.0347	23.0000	34.1027	35.7437
1	5.5712	-58.0658	5.9274	-53.0736	100	127.3640	0.0394	23.0000	34.1027	35.7437
1	5.9274	-53.0736	6.2761	-48.0815	100	72.4606	0.0686	23.0000	34.1027	35.7437
1	6.2761	-48.0926	6.6333	-43.1006	100	109.9249	0.0099	23.0000	34.1027	35.7437
1	6.6333	-43.1006	6.9911	-38.1085	100	124.7197	0.0064	23.0000	34.1027	35.7437
1	6.9830	-38.1085	7.3413	-33.1164	100	61.4930	0.0219	23.0000	34.1027	35.7437
1	7.3333	-33.1164	7.6921	-28.1244	100	72.7229	0.0089	23.0000	34.1027	35.7437
1	7.6921	-28.1244	8.0434	-23.1324	100	65.7695	0.0933	23.0000	34.1027	35.7437
1	8.0514	-23.1324	8.4032	-18.1404	100	66.5733	0.0488	23.0000	34.1027	35.7437
1	8.4032	-18.1404	8.7636	-13.1484	100	94.8591	0.1097	23.0000	34.1027	35.7437
1	8.7555	-13.1595	9.1164	-8.1675	100	75.0743	0.2319	23.0000	34.1027	35.7437
1	9.1164	-8.1675	9.4778	-3.1756	100	81.9443	0.0877	23.0000	34.1027	35.7437
1	9.4778	-3.1756	9.8317	1.8163	100	105.8631	0.0443	23.0000	34.1027	35.7437
1	9.8317	1.8163	10.1860	6.8082	100	108.7045	0.1031	23.0000	34.1027	35.7437
1	10.1860	6.8082	10.5409	11.8001	100	94.3513	0.2342	23.0000	34.1027	35.7437
1	10.5490	11.8001	10.9125	16.7920	100	128.9846	0.0045	23.0000	34.1027	35.7437
1	10.9044	16.7920	11.2684	21.7838	100	109.8986	0.2552	23.0000	34.1027	35.7437
1	11.2684	21.7838	11.6249	26.7757	100	63.5399	0.0044	23.0000	34.1027	35.7437
1	11.6329	26.7645	11.9899	31.7563	100	96.5165	0.0649	23.0000	34.1027	35.7437
1	11.9899	31.7563	12.3473	36.7481	100	80.7815	0.0433	23.0000	34.1027	35.7437
1	12.3473	36.7481	12.7053	41.7399	100	90.4791	0.0054	23.0000	34.1027	35.7437
1	12.7053	41.7399	13.0638	46.7317	100	99.9974	0.0035	23.0000	34.1027	35.7437
1	13.0800	46.7316	13.4390	51.7234	100	125.6586	0.0593	23.0000	34.1027	35.7437
1	13.4390	51.7234	13.7985	56.7151	100	128.4921	0.0738	23.0000	34.1027	35.7437
1	13.7985	56.7151	14.1585	61.7068	100	129.2043	0.0493	23.0000	34.1027	35.7437
1	14.1666	61.6957	14.5272	66.6874	100	95.3745	0.0274	23.0000	34.1027	35.7437
1	14.5272	66.6874	14.8882	71.6790	100	106.9155	0.0733	23.0000	34.1027	35.7437
1	8.3415	-73.3128	8.6990	-68.3209	100	66.3932	0.0919	23.0000	35.7438	37.3848
1	8.6910	-68.3208	9.0490	-63.3289	100	84.6086	0.0182	23.0000	35.7438	37.3848
1	9.0411	-63.3289	9.3996	-58.3369	100	72.3800	0.0902	23.0000	35.7438	37.3848
1	9.3916	-58.3480	9.7506	-53.3561	100	117.3023	0.0971	23.0000	35.7438	37.3848
1	9.7586	-53.3561	10.1102	-48.3642	100	121.5871	0.0014	23.0000	35.7438	37.3848
1	10.1102	-48.3642	10.4703	-43.3723	100	64.3852	0.0172	23.0000	35.7438	37.3848
1	10.4623	-43.3723	10.8229	-38.3805	100	118.0790	0.0193	23.0000	35.7438	37.3848
1	10.8149	-38.3805	11.1760	-33.3886	100	129.0418	0.0090	23.0000	35.7438	37.3848
1	11.1760	-33.3886	11.5377	-28.3968	100	100.1288	0.0159	23.0000	35.7438	37.3848
1	11.5377	-28.3968	11.8918	-23.4050	100	78.9851	0.1438	23.0000	35.7438	37.3848
1	11.8918	-23.4161	12.2465	-18.4243	100	122.0641	0.0106	23.0000	35.7438	37.3848
1	12.2545	-18.4243	12.6177	-13.4325	100	69.5458	0.1222	23.0000	35.7438	37.3848
1	12.6097	-13.4325	12.9734	-8.4408	100	66.1559	0.1227	23.0000	35.7438	37.3848
1	12.9654	-8.4408	13.3296	-3.4490	100	73.4336	0.0230	23.0000	35.7438	37.3848
1	13.3296	-3.4490	13.6864	1.5427	100	114.9919	0.1545	23.0000	35.7438	37.3848
1	13.6944	1.5427	14.0517	6.5344	100	100.5447	0.2221	23.0000	35.7438	37.3848
1	14.0517	6.5344	14.4094	11.5261	100	80.2722	0.2059	23.0000	35.7438	37.3848
1	14.4094	11.5261	14.7757	16.5177	100	75.9796	0.1026	23.0000	35.7438	37.3848
1	14.7757	16.5066	15.1426	21.4983	100	75.3376	0.0041	23.0000	35.7438	37.3848

1	15.1426	21.4983	15.5019	26.4899	100	61.2715	0.1268	23.0000	35.7438	37.3848
1	15.5019	26.4899	15.8617	31.4815	100	73.2655	0.0766	23.0000	35.7438	37.3848
1	15.8617	31.4815	16.2220	36.4731	100	112.2440	0.0146	23.0000	35.7438	37.3848
1	16.2301	36.4731	16.5909	41.4646	100	87.3985	0.0041	23.0000	35.7438	37.3848
1	16.5909	41.4646	16.9522	46.4562	100	63.9066	0.0057	23.0000	35.7438	37.3848
1	16.9603	46.4562	17.3222	51.4477	100	64.5503	0.0134	23.0000	35.7438	37.3848
1	17.3303	51.4366	17.6926	56.4281	100	62.3606	0.0116	23.0000	35.7438	37.3848
1	17.6926	56.4281	18.0554	61.4196	100	93.4120	0.0673	23.0000	35.7438	37.3848
1	18.0554	61.4196	18.4188	66.4111	100	90.5570	0.0679	23.0000	35.7438	37.3848
1	18.4188	66.4111	18.7827	71.4025	100	89.3433	0.0317	23.0000	35.7438	37.3848
1	12.1530	-73.5856	12.5133	-68.5938	100	63.9884	0.0436	23.0000	37.3849	39.0259
1	12.5053	-68.6049	12.8662	-63.6132	100	75.4570	0.0211	23.0000	37.3849	39.0259
1	12.8662	-63.6132	13.2276	-58.6214	100	97.1546	0.0753	23.0000	37.3849	39.0259
1	13.2196	-58.6214	13.5815	-53.6297	100	82.9350	0.0491	23.0000	37.3849	39.0259
1	13.5815	-53.6297	13.9360	-48.6380	100	116.3719	0.0981	23.0000	37.3849	39.0259
1	13.9360	-48.6380	14.2989	-43.6463	100	119.7185	0.0035	23.0000	37.3849	39.0259
1	14.2989	-43.6463	14.6624	-38.6547	100	112.5417	0.0116	23.0000	37.3849	39.0259
1	14.6544	-38.6547	15.0184	-33.6630	100	101.8110	0.0054	23.0000	37.3849	39.0259
1	15.0104	-33.6741	15.3749	-28.6825	100	72.0895	0.0258	23.0000	37.3849	39.0259
1	15.3829	-28.6825	15.7399	-23.6909	100	71.0305	0.0465	23.0000	37.3849	39.0259
1	15.7399	-23.6909	16.0975	-18.6993	100	60.3318	0.4184	23.0000	37.3849	39.0259
1	16.0975	-18.6993	16.4635	-13.7077	100	60.8301	0.2794	23.0000	37.3849	39.0259
1	16.4635	-13.7077	16.8301	-8.7162	100	72.2726	0.1301	23.0000	37.3849	39.0259
1	16.8221	-8.7162	17.1892	-3.7247	100	116.0524	0.2179	23.0000	37.3849	39.0259
1	17.1892	-3.7247	17.5488	1.2669	100	60.7831	0.0283	23.0000	37.3849	39.0259
1	17.5488	1.2669	17.9089	6.2584	100	128.6053	0.0895	23.0000	37.3849	39.0259
1	17.9169	6.2472	18.2775	11.2387	100	98.4951	0.0907	23.0000	37.3849	39.0259
1	18.2775	11.2387	18.6386	16.2302	100	88.3532	0.0256	23.0000	37.3849	39.0259
1	18.6386	16.2302	19.0084	21.2216	100	121.3423	0.0368	23.0000	37.3849	39.0259
1	19.0084	21.2216	19.3705	26.2130	100	67.2205	0.0575	23.0000	37.3849	39.0259
1	19.3786	26.2130	19.7412	31.2044	100	66.7834	0.0234	23.0000	37.3849	39.0259
1	19.7412	31.2044	20.1044	36.1958	100	65.2915	0.0055	23.0000	37.3849	39.0259
1	20.1044	36.1958	20.4680	41.1872	100	74.3630	0.0054	23.0000	37.3849	39.0259
1	20.4761	41.1760	20.8403	46.1674	100	76.9459	0.0649	23.0000	37.3849	39.0259
1	20.8403	46.1674	21.2131	51.1587	100	77.7108	0.0459	23.0000	37.3849	39.0259
1	21.2131	51.1587	21.5783	56.1500	100	121.8617	0.1791	23.0000	37.3849	39.0259
1	21.5783	56.1500	21.9439	61.1413	100	120.8833	0.0438	23.0000	37.3849	39.0259
1	21.9521	61.1413	22.3183	66.1325	100	115.3304	0.0069	23.0000	37.3849	39.0259
1	22.3183	66.1325	22.6850	71.1238	100	115.5806	0.0048	23.0000	37.3849	39.0259
1	15.9720	-73.8717	16.3352	-68.8801	100	82.2271	0.0238	23.0000	39.0259	40.6669
1	16.3273	-68.8801	16.6910	-63.8886	100	107.1392	0.0136	23.0000	39.0259	40.6669
1	16.6830	-63.8886	17.0473	-58.8970	100	81.1563	0.0052	23.0000	39.0259	40.6669
1	17.0473	-58.8970	17.4121	-53.9055	100	83.7218	0.1662	23.0000	39.0259	40.6669
1	17.4121	-53.9055	17.7694	-48.9140	100	112.4678	0.0062	23.0000	39.0259	40.6669
1	17.7694	-48.9140	18.1353	-43.9225	100	83.9120	0.1208	23.0000	39.0259	40.6669
1	18.1272	-43.9336	18.4936	-38.9422	100	124.6592	0.0247	23.0000	39.0259	40.6669
1	18.4936	-38.9422	18.8605	-33.9508	100	77.3777	0.0025	23.0000	39.0259	40.6669
1	18.8524	-33.9507	19.2198	-28.9593	100	63.2685	0.0028	23.0000	39.0259	40.6669
1	19.2198	-28.9593	19.5797	-23.9679	100	64.4010	0.0122	23.0000	39.0259	40.6669
1	19.5877	-23.9679	19.9481	-18.9765	100	60.2388	0.8781	23.0000	39.0259	40.6669
1	19.9481	-18.9765	20.3171	-13.9852	100	60.0067	0.5722	23.0000	39.0259	40.6669

1	20.3090	-13.9852	20.6785	-8.9938	100	62.8174	0.2749	23.0000	39.0259	40.6669
1	20.6705	-8.9938	21.0404	-4.0025	100	120.1532	0.0219	23.0000	39.0259	40.6669
1	21.0485	-4.0136	21.4109	0.9777	100	103.8372	0.0738	23.0000	39.0259	40.6669
1	21.4109	0.9777	21.7738	5.9690	100	118.8402	0.0661	23.0000	39.0259	40.6669
1	21.7738	5.9690	22.1373	10.9603	100	70.0250	0.1688	23.0000	39.0259	40.6669
1	22.1454	10.9602	22.5093	15.9515	100	62.7020	0.2451	23.0000	39.0259	40.6669
1	22.5093	15.9515	22.8819	20.9427	100	86.5894	0.4174	23.0000	39.0259	40.6669
1	22.8819	20.9427	23.2469	25.9339	100	110.5532	0.0404	23.0000	39.0259	40.6669
1	23.2469	25.9339	23.6124	30.9251	100	126.5065	0.0313	23.0000	39.0259	40.6669
1	23.6204	30.9140	23.9864	35.9052	100	114.9065	0.0012	23.0000	39.0259	40.6669
1	23.9864	35.9052	24.3529	40.8963	100	117.5039	0.0087	23.0000	39.0259	40.6669
1	24.3529	40.8963	24.7199	45.8875	100	64.7888	0.0036	23.0000	39.0259	40.6669
1	24.7281	45.8874	25.1037	50.8785	100	93.1219	0.0381	23.0000	39.0259	40.6669
1	25.1037	50.8785	25.4717	55.8696	100	61.1906	0.0454	23.0000	39.0259	40.6669
1	25.4717	55.8696	25.8403	60.8607	100	105.8120	0.0364	23.0000	39.0259	40.6669
1	25.8403	60.8607	26.2093	65.8518	100	64.3278	0.0490	23.0000	39.0259	40.6669
1	26.2174	65.8518	26.5870	70.8428	100	105.2920	0.0228	23.0000	39.0259	40.6669
1	19.7828	-74.1489	20.1489	-69.1575	100	63.7966	0.0280	23.0000	40.6670	42.3080
1	20.1489	-69.1575	20.5155	-64.1662	100	66.7858	0.0734	23.0000	40.6670	42.3080
1	20.5075	-64.1661	20.8747	-59.1748	100	61.5825	0.0579	23.0000	40.6670	42.3080
1	20.8667	-59.1748	21.2344	-54.1835	100	90.2898	0.0856	23.0000	40.6670	42.3080
1	21.2343	-54.1946	21.5945	-49.2033	100	118.8280	0.0260	23.0000	40.6670	42.3080
1	21.6025	-49.2033	21.9712	-44.2121	100	121.9466	0.0844	23.0000	40.6670	42.3080
1	21.9632	-44.2121	22.3325	-39.2208	100	75.7187	0.0017	23.0000	40.6670	42.3080
1	22.3244	-39.2208	22.6942	-34.2296	100	81.4196	0.0199	23.0000	40.6670	42.3080
1	22.6942	-34.2296	23.0645	-29.2384	100	95.5715	0.0011	23.0000	40.6670	42.3080
1	23.0645	-29.2384	23.4272	-24.2472	100	66.7842	0.0145	23.0000	40.6670	42.3080
1	23.4272	-24.2472	23.7905	-19.2560	100	72.8199	0.0184	23.0000	40.6670	42.3080
1	23.7905	-19.2560	24.1623	-14.2648	100	108.1128	0.0475	23.0000	40.6670	42.3080
1	24.1622	-14.2760	24.5346	-9.2848	100	60.9526	0.0696	23.0000	40.6670	42.3080
1	24.5265	-9.2848	24.8994	-4.2937	100	103.9807	0.2735	23.0000	40.6670	42.3080
1	24.8994	-4.2937	25.2646	0.6974	100	80.6625	0.0178	23.0000	40.6670	42.3080
1	25.2727	0.6974	25.6385	5.6885	100	114.9777	0.2397	23.0000	40.6670	42.3080
1	25.6385	5.6885	26.0048	10.6795	100	69.9678	0.2524	23.0000	40.6670	42.3080
1	26.0048	10.6795	26.3716	15.6706	100	63.5957	0.7714	23.0000	40.6670	42.3080
1	26.3716	15.6706	26.7471	20.6616	100	68.5965	0.8284	23.0000	40.6670	42.3080
1	26.7551	20.6505	27.1229	25.6415	100	64.3391	0.0169	23.0000	40.6670	42.3080
1	27.1229	25.6415	27.4913	30.6325	100	98.9901	0.0038	23.0000	40.6670	42.3080
1	27.4913	30.6325	27.8601	35.6234	100	62.3140	0.0095	23.0000	40.6670	42.3080
1	27.8682	35.6234	28.2376	40.6144	100	72.4156	0.0031	23.0000	40.6670	42.3080
1	28.2376	40.6144	28.6074	45.6053	100	121.6485	0.0411	23.0000	40.6670	42.3080
1	28.6074	45.6053	28.9859	50.5962	100	71.4670	0.0903	23.0000	40.6670	42.3080
1	28.9859	50.5962	29.3568	55.5871	100	104.4583	0.0149	23.0000	40.6670	42.3080
1	29.3649	55.5871	29.7363	60.5779	100	123.5892	0.0364	23.0000	40.6670	42.3080
1	29.7362	60.5668	30.1081	65.5577	100	98.2656	0.0050	23.0000	40.6670	42.3080
1	30.1081	65.5577	30.4805	70.5485	100	127.9361	0.0953	23.0000	40.6670	42.3080
1	23.6012	-74.4283	23.9702	-69.4371	100	122.4419	0.0113	23.0000	42.3081	43.9491
1	23.9622	-69.4371	24.3317	-64.4460	100	65.6394	0.0785	23.0000	42.3081	43.9491
1	24.3237	-64.4570	24.6937	-59.4659	100	123.6043	0.0278	23.0000	42.3081	43.9491
1	24.6937	-59.4659	25.0643	-54.4748	100	106.3048	0.0910	23.0000	42.3081	43.9491
1	25.0643	-54.4748	25.4274	-49.4837	100	94.0397	0.0889	23.0000	42.3081	43.9491

1	25.4274	-49.4837	25.7989	-44.4927	100	117.8124	0.0455	23.0000	42.3081	43.9491
1	25.7989	-44.4927	26.1710	-39.5017	100	78.8718	0.0875	23.0000	42.3081	43.9491
1	26.1630	-39.5016	26.5356	-34.5106	100	67.7540	0.0058	23.0000	42.3081	43.9491
1	26.5276	-34.5106	26.9007	-29.5196	100	66.9704	0.0041	23.0000	42.3081	43.9491
1	26.9088	-29.5196	27.2744	-24.5286	100	87.5490	0.0036	23.0000	42.3081	43.9491
1	27.2743	-24.5398	27.6405	-19.5488	100	106.3130	0.0034	23.0000	42.3081	43.9491
1	27.6405	-19.5488	28.0151	-14.5578	100	113.6926	0.0243	23.0000	42.3081	43.9491
1	28.0071	-14.5578	28.3823	-9.5669	100	93.2144	0.0317	23.0000	42.3081	43.9491
1	28.3823	-9.5669	28.7580	-4.5760	100	91.8584	0.0724	23.0000	42.3081	43.9491
1	28.7580	-4.5760	29.1261	0.4149	100	86.3783	0.2447	23.0000	42.3081	43.9491
1	29.1261	0.4149	29.4948	5.4058	100	91.1263	0.3415	23.0000	42.3081	43.9491
1	29.4948	5.4058	29.8640	10.3967	100	82.4724	0.0216	23.0000	42.3081	43.9491
1	29.8720	10.3855	30.2417	15.3763	100	115.4841	0.0489	23.0000	42.3081	43.9491
1	30.2417	15.3763	30.6199	20.3671	100	69.4933	0.0033	23.0000	42.3081	43.9491
1	30.6199	20.3671	30.9906	25.3579	100	60.8997	0.0247	23.0000	42.3081	43.9491
1	30.9987	25.3579	31.3699	30.3487	100	115.4473	0.0032	23.0000	42.3081	43.9491
1	31.3699	30.3487	31.7416	35.3395	100	111.0473	0.0051	23.0000	42.3081	43.9491
1	31.7416	35.3395	32.1138	40.3302	100	129.3344	0.0068	23.0000	42.3081	43.9491
1	32.1138	40.3302	32.4865	45.3209	100	75.2033	0.1859	23.0000	42.3081	43.9491
1	32.4946	45.3209	32.8759	50.3116	100	100.1768	0.0094	23.0000	42.3081	43.9491
1	32.8759	50.3005	33.2496	55.2912	100	101.8674	0.0615	23.0000	42.3081	43.9491
1	33.2496	55.2912	33.6238	60.2818	100	70.0752	0.0127	23.0000	42.3081	43.9491
1	33.6319	60.2818	34.0066	65.2724	100	61.6567	0.1051	23.0000	42.3081	43.9491
1	34.0066	65.2724	34.3818	70.2631	100	126.4984	0.0031	23.0000	42.3081	43.9491
1	27.4193	-74.7210	27.7912	-69.7300	100	73.3923	0.0422	23.0000	43.9491	45.5901
1	27.7832	-69.7300	28.1556	-64.7391	100	67.4573	0.1139	23.0000	43.9491	45.5901
1	28.1476	-64.7391	28.5205	-59.7482	100	67.4050	0.0760	23.0000	43.9491	45.5901
1	28.5125	-59.7481	28.8859	-54.7572	100	84.3558	0.1985	23.0000	43.9491	45.5901
1	28.8939	-54.7573	29.2599	-49.7664	100	101.5995	0.0911	23.0000	43.9491	45.5901
1	29.2599	-49.7664	29.6343	-44.7755	100	75.4809	0.0618	23.0000	43.9491	45.5901
1	29.6263	-44.7755	30.0013	-39.7847	100	112.9198	0.0203	23.0000	43.9491	45.5901
1	30.0012	-39.7958	30.3767	-34.8050	100	61.6366	0.0447	23.0000	43.9491	45.5901
1	30.3687	-34.8050	30.7447	-29.8142	100	69.5742	0.0067	23.0000	43.9491	45.5901
1	30.7447	-29.8142	31.1132	-24.8234	100	122.1685	0.0094	23.0000	43.9491	45.5901
1	31.1132	-24.8234	31.4822	-19.8326	100	112.4340	0.0068	23.0000	43.9491	45.5901
1	31.4902	-19.8327	31.8597	-14.8419	100	83.9669	0.0103	23.0000	43.9491	45.5901
1	31.8597	-14.8419	32.2377	-9.8512	100	129.5717	0.0201	23.0000	43.9491	45.5901
1	32.2297	-9.8512	32.6082	-4.8605	100	125.7595	0.0058	23.0000	43.9491	45.5901
1	32.6082	-4.8605	32.9793	0.1302	100	116.8785	0.0301	23.0000	43.9491	45.5901
1	32.9873	0.1191	33.3588	5.1097	100	113.7169	0.0009	23.0000	43.9491	45.5901
1	33.3588	5.1097	33.7308	10.1004	100	129.8640	0.0137	23.0000	43.9491	45.5901
1	33.7308	10.1004	34.1033	15.0910	100	88.1869	0.0062	23.0000	43.9491	45.5901
1	34.1114	15.0910	34.4925	20.0816	100	90.4715	0.0039	23.0000	43.9491	45.5901
1	34.4844	20.0816	34.8661	25.0722	100	64.0198	0.0123	23.0000	43.9491	45.5901
1	34.8661	25.0722	35.2401	30.0627	100	85.3079	0.0234	23.0000	43.9491	45.5901
1	35.2482	30.0627	35.6227	35.0533	100	83.8314	0.0239	23.0000	43.9491	45.5901
1	35.6227	35.0533	35.9978	40.0438	100	85.4939	0.0535	23.0000	43.9491	45.5901
1	35.9977	40.0327	36.3733	45.0232	100	119.0024	0.0402	23.0000	43.9491	45.5901
1	36.3733	45.0232	36.7574	50.0137	100	84.3076	0.1881	23.0000	43.9491	45.5901
1	36.7655	50.0136	37.1421	55.0041	100	110.9670	0.0944	23.0000	43.9491	45.5901
1	37.1421	55.0041	37.5191	59.9946	100	119.0551	0.0236	23.0000	43.9491	45.5901

1	37.5191	59.9946	37.8967	64.9850	100	125.9737	0.0918	23.0000	43.9491	45.5901
1	37.8967	64.9850	38.2747	69.9754	100	118.3828	0.0462	23.0000	43.9491	45.5901
1	31.2291	-75.0047	31.6039	-70.0140	100	102.6218	0.0689	23.0000	45.5902	47.2312
1	31.5959	-70.0140	31.9712	-65.0233	100	87.7576	0.0304	23.0000	45.5902	47.2312
1	31.9712	-65.0233	32.3469	-60.0326	100	69.1594	0.0618	23.0000	45.5902	47.2312
1	32.3390	-60.0326	32.7152	-55.0419	100	60.4331	0.0469	23.0000	45.5902	47.2312
1	32.7152	-55.0419	33.0841	-50.0512	100	77.9267	0.1493	23.0000	45.5902	47.2312
1	33.0921	-50.0512	33.4614	-45.0606	100	115.8951	0.0106	23.0000	45.5902	47.2312
1	33.4613	-45.0717	33.8392	-40.0811	100	114.5818	0.0376	23.0000	45.5902	47.2312
1	33.8311	-40.0810	34.2095	-35.0905	100	71.1112	0.0126	23.0000	45.5902	47.2312
1	34.2015	-35.0904	34.5803	-30.0998	100	73.1650	0.0038	23.0000	45.5902	47.2312
1	34.5884	-30.0999	34.9597	-25.1093	100	109.2594	0.0030	23.0000	45.5902	47.2312
1	34.9597	-25.1093	35.3316	-20.1187	100	71.6059	0.0048	23.0000	45.5902	47.2312
1	35.3316	-20.1187	35.7039	-15.1282	100	78.5349	0.0145	23.0000	45.5902	47.2312
1	35.7120	-15.1282	36.0929	-10.1377	100	71.0626	0.0024	23.0000	45.5902	47.2312
1	36.0848	-10.1488	36.4662	-5.1583	100	97.0284	0.0094	23.0000	45.5902	47.2312
1	36.4662	-5.1583	36.8401	-0.1679	100	127.0836	0.0097	23.0000	45.5902	47.2312
1	36.8401	-0.1679	37.2144	4.8226	100	67.2681	0.0067	23.0000	45.5902	47.2312
1	37.2225	4.8226	37.5974	9.8130	100	87.3574	0.0041	23.0000	45.5902	47.2312
1	37.5974	9.8130	37.9728	14.8034	100	106.5037	0.0115	23.0000	45.5902	47.2312
1	37.9728	14.8034	38.3567	19.7938	100	103.9440	0.0072	23.0000	45.5902	47.2312
1	38.3567	19.7938	38.7412	24.7842	100	127.2134	0.0133	23.0000	45.5902	47.2312
1	38.7412	24.7842	39.1181	29.7745	100	89.0227	0.0030	23.0000	45.5902	47.2312
1	39.1180	29.7634	39.4954	34.7538	100	80.6625	0.0340	23.0000	45.5902	47.2312
1	39.4954	34.7538	39.8733	39.7441	100	66.1198	0.1148	23.0000	45.5902	47.2312
1	39.8814	39.7440	40.2598	44.7344	100	89.5596	0.1112	23.0000	45.5902	47.2312
1	40.2598	44.7344	40.6468	49.7246	100	119.5381	0.0616	23.0000	45.5902	47.2312
1	40.6468	49.7246	41.0262	54.7149	100	128.2661	0.0272	23.0000	45.5902	47.2312
1	41.0343	54.7148	41.4142	59.7051	100	118.9984	0.0368	23.0000	45.5902	47.2312
1	41.4142	59.7051	41.7946	64.6953	100	123.0487	0.2920	23.0000	45.5902	47.2312
1	41.7945	64.6842	42.1754	69.6744	100	100.1947	0.0405	23.0000	45.5902	47.2312
1	35.0466	-75.2908	35.4242	-70.3002	100	86.2417	0.0253	23.0000	47.2313	48.8723
1	35.4163	-70.3002	35.7944	-65.3097	100	75.2022	0.0434	23.0000	47.2313	48.8723
1	35.7864	-65.3097	36.1651	-60.3192	100	99.1525	0.0570	23.0000	47.2313	48.8723
1	36.1651	-60.3192	36.5442	-55.3287	100	71.5476	0.0781	23.0000	47.2313	48.8723
1	36.5442	-55.3399	36.9159	-50.3494	100	85.5002	0.0040	23.0000	47.2313	48.8723
1	36.9159	-50.3494	37.2881	-45.3589	100	62.1129	0.2605	23.0000	47.2313	48.8723
1	37.2881	-45.3589	37.6688	-40.3685	100	71.2929	0.1095	23.0000	47.2313	48.8723
1	37.6688	-40.3685	38.0500	-35.3781	100	62.5875	0.0187	23.0000	47.2313	48.8723
1	38.0420	-35.3781	38.4237	-30.3877	100	112.4377	0.0175	23.0000	47.2313	48.8723
1	38.4237	-30.3877	38.7979	-25.3974	100	126.0033	0.1187	23.0000	47.2313	48.8723
1	38.8059	-25.3974	39.1807	-20.4071	100	129.6292	0.0171	23.0000	47.2313	48.8723
1	39.1806	-20.4182	39.5558	-15.4278	100	108.5648	0.0045	23.0000	47.2313	48.8723
1	39.5558	-15.4278	39.9396	-10.4376	100	78.4091	0.0200	23.0000	47.2313	48.8723
1	39.9315	-10.4375	40.3158	-5.4473	100	83.0714	0.0062	23.0000	47.2313	48.8723
1	40.3239	-5.4473	40.7006	-0.4570	100	106.1005	0.0142	23.0000	47.2313	48.8723
1	40.7006	-0.4570	41.0778	4.5332	100	62.5994	0.0151	23.0000	47.2313	48.8723
1	41.0778	4.5332	41.4555	9.5235	100	110.7493	0.0220	23.0000	47.2313	48.8723
1	41.4636	9.5234	41.8419	14.5136	100	66.1772	0.0405	23.0000	47.2313	48.8723
1	41.8419	14.5136	42.2287	19.5038	100	122.9089	0.0164	23.0000	47.2313	48.8723
1	42.2205	19.4927	42.6078	24.4828	100	60.5127	0.1980	23.0000	47.2313	48.8723

1	42.6078	24.4828	42.9876	29.4730	100	88.1880	0.0638	23.0000	47.2313	48.8723
1	42.9957	29.4730	43.3759	34.4631	100	97.7282	0.0805	23.0000	47.2313	48.8723
1	43.3759	34.4631	43.7566	39.4532	100	108.9138	0.0460	23.0000	47.2313	48.8723
1	43.7566	39.4532	44.1379	44.4433	100	108.6462	0.0968	23.0000	47.2313	48.8723
1	44.1460	44.4433	44.5358	49.4333	100	60.2005	0.0060	23.0000	47.2313	48.8723
1	44.5358	49.4333	44.9181	54.4233	100	123.7903	0.0817	23.0000	47.2313	48.8723
1	44.9180	54.4122	45.3007	59.4023	100	120.5176	0.0138	23.0000	47.2313	48.8723
1	45.3007	59.4023	45.6839	64.3923	100	111.9793	0.1435	23.0000	47.2313	48.8723
1	45.6921	64.3922	46.0758	69.3822	100	128.1555	0.1863	23.0000	47.2313	48.8723
1	38.8558	-75.5789	39.2363	-70.5886	100	85.3428	0.1278	23.0000	48.8723	50.5133
1	39.2362	-70.5997	39.6172	-65.6095	100	84.8666	0.0080	23.0000	48.8723	50.5133
1	39.6093	-65.6094	39.9908	-60.6192	100	82.5794	0.0296	23.0000	48.8723	50.5133
1	39.9828	-60.6191	40.3649	-55.6289	100	64.1879	0.1138	23.0000	48.8723	50.5133
1	40.3728	-55.6289	40.7474	-50.6386	100	98.3677	0.0121	23.0000	48.8723	50.5133
1	40.7474	-50.6386	41.1225	-45.6484	100	79.5184	0.0103	23.0000	48.8723	50.5133
1	41.1225	-45.6484	41.5061	-40.6582	100	68.9839	0.1686	23.0000	48.8723	50.5133
1	41.4980	-40.6582	41.8821	-35.6680	100	106.2528	0.0400	23.0000	48.8723	50.5133
1	41.8821	-35.6680	42.2667	-30.6779	100	119.5790	0.0337	23.0000	48.8723	50.5133
1	42.2667	-30.6890	42.6437	-25.6988	100	63.8072	0.0216	23.0000	48.8723	50.5133
1	42.6437	-25.6988	43.0213	-20.7087	100	73.2440	0.0362	23.0000	48.8723	50.5133
1	43.0213	-20.7087	43.3994	-15.7185	100	85.0694	0.0488	23.0000	48.8723	50.5133
1	43.4074	-15.7186	43.7941	-10.7285	100	94.6666	0.0387	23.0000	48.8723	50.5133
1	43.7860	-10.7285	44.1732	-5.7384	100	119.0393	0.0011	23.0000	48.8723	50.5133
1	44.1651	-5.7384	44.5527	-0.7484	100	65.9057	0.0137	23.0000	48.8723	50.5133
1	44.5608	-0.7484	44.9409	4.2416	100	60.9190	0.0224	23.0000	48.8723	50.5133
1	44.9409	4.2416	45.3215	9.2317	100	62.8384	0.2430	23.0000	48.8723	50.5133
1	45.3214	9.2205	45.7025	14.2105	100	96.7340	0.0240	23.0000	48.8723	50.5133
1	45.7106	14.2105	46.1002	19.2004	100	98.4340	0.0110	23.0000	48.8723	50.5133
1	46.0922	19.2005	46.4823	24.1904	100	124.0480	0.0617	23.0000	48.8723	50.5133
1	46.4823	24.1904	46.8649	29.1803	100	67.7079	0.0484	23.0000	48.8723	50.5133
1	46.8649	29.1803	47.2480	34.1703	100	117.0198	0.2475	23.0000	48.8723	50.5133
1	47.2561	34.1702	47.6397	39.1601	100	109.7865	0.0302	23.0000	48.8723	50.5133
1	47.6397	39.1601	48.0237	44.1500	100	71.3342	0.0326	23.0000	48.8723	50.5133
1	48.0237	44.1389	48.4164	49.1287	100	114.6431	0.0380	23.0000	48.8723	50.5133
1	48.4164	49.1287	48.8014	54.1185	100	102.3573	0.0299	23.0000	48.8723	50.5133
1	48.8095	54.1185	49.1951	59.1083	100	77.6341	0.1632	23.0000	48.8723	50.5133
1	49.1951	59.1083	49.5812	64.0981	100	93.6592	0.2768	23.0000	48.8723	50.5133
1	49.5812	64.0981	49.9677	69.0879	100	116.7106	0.1570	23.0000	48.8723	50.5133
1	42.6725	-75.8805	43.0559	-70.8904	100	66.4647	0.2812	23.0000	50.5134	52.1544
1	43.0480	-70.8903	43.4319	-65.9003	100	67.1759	0.3504	23.0000	50.5134	52.1544
1	43.4319	-65.9003	43.8163	-60.9102	100	85.7820	0.2587	23.0000	50.5134	52.1544
1	43.8083	-60.9102	44.1932	-55.9201	100	60.6021	0.5687	23.0000	50.5134	52.1544
1	44.1932	-55.9201	44.5706	-50.9301	100	69.1820	0.4783	23.0000	50.5134	52.1544
1	44.5706	-50.9301	44.9486	-45.9400	100	75.1688	0.0908	23.0000	50.5134	52.1544
1	44.9566	-45.9401	45.3430	-40.9501	100	70.6353	0.1565	23.0000	50.5134	52.1544
1	45.3349	-40.9612	45.7219	-35.9712	100	129.4160	0.0306	23.0000	50.5134	52.1544
1	45.7139	-35.9712	46.1013	-30.9813	100	66.5818	0.0234	23.0000	50.5134	52.1544
1	46.1094	-30.9813	46.4893	-25.9914	100	75.5332	0.0905	23.0000	50.5134	52.1544
1	46.4893	-25.9914	46.8698	-21.0014	100	88.9374	0.1935	23.0000	50.5134	52.1544
1	46.8698	-21.0014	47.2507	-16.0115	100	104.5783	0.1234	23.0000	50.5134	52.1544
1	47.2507	-16.0115	47.6402	-11.0217	100	98.3875	0.0744	23.0000	50.5134	52.1544

1	47.6402	-11.0217	48.0302	-6.0318	100	83.8226	0.1335	23.0000	50.5134	52.1544
1	48.0221	-6.0318	48.4126	-1.0420	100	120.0973	0.0158	23.0000	50.5134	52.1544
1	48.4126	-1.0531	48.7955	3.9367	100	62.0266	0.3218	23.0000	50.5134	52.1544
1	48.8036	3.9367	49.1870	8.9265	100	81.7883	0.2153	23.0000	50.5134	52.1544
1	49.1870	8.9265	49.5709	13.9163	100	120.6208	0.4842	23.0000	50.5134	52.1544
1	49.5709	13.9163	49.9635	18.9060	100	121.4824	0.1910	23.0000	50.5134	52.1544
1	49.9554	18.9061	50.3484	23.8958	100	122.1831	0.1353	23.0000	50.5134	52.1544
1	50.3565	23.8957	50.7419	28.8854	100	101.7518	0.0617	23.0000	50.5134	52.1544
1	50.7419	28.8854	51.1279	33.8752	100	89.8340	0.0881	23.0000	50.5134	52.1544
1	51.1278	33.8640	51.5142	38.8537	100	110.3817	0.0299	23.0000	50.5134	52.1544
1	51.5142	38.8537	51.9011	43.8434	100	84.6903	0.0331	23.0000	50.5134	52.1544
1	51.9092	43.8433	52.3048	48.8329	100	128.4340	0.1809	23.0000	50.5134	52.1544
1	52.3048	48.8329	52.6927	53.8226	100	111.1068	0.2485	23.0000	50.5134	52.1544
1	52.6927	53.8226	53.0811	58.8122	100	122.7374	0.2948	23.0000	50.5134	52.1544
1	53.0892	58.8121	53.4781	63.8017	100	129.1938	0.6345	23.0000	50.5134	52.1544
1	53.4781	63.8017	53.8675	68.7913	100	127.4969	0.3268	23.0000	50.5134	52.1544
1	46.4890	-76.1731	46.8753	-71.1832	100	103.9160	0.0768	23.0000	52.1545	53.7955
1	46.8673	-71.1832	47.2541	-66.1933	100	70.6992	0.0990	23.0000	52.1545	53.7955
1	47.2461	-66.1932	47.6334	-61.2034	100	60.3672	0.1623	23.0000	52.1545	53.7955
1	47.6254	-61.2034	48.0132	-56.2135	100	60.4103	0.3997	23.0000	52.1545	53.7955
1	48.0212	-56.2136	48.4015	-51.2238	100	64.2483	0.6037	23.0000	52.1545	53.7955
1	48.4014	-51.2349	48.7823	-46.2450	100	68.9470	0.0408	23.0000	52.1545	53.7955
1	48.7823	-46.2450	49.1716	-41.2553	100	77.5548	0.0028	23.0000	52.1545	53.7955
1	49.1716	-41.2553	49.5614	-36.2656	100	62.7208	0.0378	23.0000	52.1545	53.7955
1	49.5534	-36.2655	49.9437	-31.2758	100	68.6672	0.0778	23.0000	52.1545	53.7955
1	49.9357	-31.2757	50.3265	-26.2861	100	78.9835	0.0149	23.0000	52.1545	53.7955
1	50.3265	-26.2861	50.7098	-21.2963	100	110.0128	0.4831	23.0000	52.1545	53.7955
1	50.7179	-21.2964	51.1017	-16.3067	100	122.7113	0.3336	23.0000	52.1545	53.7955
1	51.1016	-16.3178	51.4939	-11.3282	100	124.4922	0.0556	23.0000	52.1545	53.7955
1	51.4859	-11.3281	51.8788	-6.3385	100	60.6775	0.0163	23.0000	52.1545	53.7955
1	51.8788	-6.3385	52.2721	-1.3489	100	90.3464	0.0074	23.0000	52.1545	53.7955
1	52.2721	-1.3489	52.6579	3.6407	100	91.2616	0.0469	23.0000	52.1545	53.7955
1	52.6579	3.6407	53.0442	8.6303	100	113.6943	0.1547	23.0000	52.1545	53.7955
1	53.0442	8.6303	53.4310	13.6199	100	98.8862	0.4535	23.0000	52.1545	53.7955
1	53.4391	13.6198	53.8345	18.6093	100	129.9214	0.3289	23.0000	52.1545	53.7955
1	53.8264	18.6094	54.2222	23.5989	100	97.4067	0.0191	23.0000	52.1545	53.7955
1	54.2222	23.5877	54.6104	28.5773	100	107.5876	0.0391	23.0000	52.1545	53.7955
1	54.6185	28.5772	55.0073	33.5667	100	102.4666	0.0041	23.0000	52.1545	53.7955
1	55.0073	33.5667	55.3966	38.5562	100	101.2253	0.0247	23.0000	52.1545	53.7955
1	55.3966	38.5562	55.7863	43.5456	100	92.5581	0.0535	23.0000	52.1545	53.7955
1	55.7863	43.5456	56.1847	48.5350	100	105.5517	0.0258	23.0000	52.1545	53.7955
1	56.1928	48.5349	56.5836	53.5244	100	98.7873	0.1858	23.0000	52.1545	53.7955
1	56.5836	53.5244	56.9748	58.5137	100	127.1435	0.2349	23.0000	52.1545	53.7955
1	56.9748	58.5137	57.3666	63.5031	100	128.9016	0.5804	23.0000	52.1545	53.7955
1	57.3746	63.4919	57.7668	68.4813	100	112.4734	0.1857	23.0000	52.1545	53.7955

Grid Parameters

1	-----	Start-x =	-241.8949903
2	-----	Start-y =	-333.5700000
3	-----	Finish-x =	241.8949903

4 ----- Finish-y = 333.5700000
 5 ----- x-increment = 4.8378998
 6 ----- y-increment = 6.6714000

Size Parameters

1 ----- Plot size = 6.0000000
 2 ----- Shade/Color increment = 1.0000000
 3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.0000000

Cross section default

1 ----- Start-x = -77.3910000
 2 ----- Start-y = -46.5170000
 3 ----- Finish-x = -71.3910000
 4 ----- Finish-y = -46.5170000
 5 ----- Distant-increment = 4.8378998
 6 ----- Z-depth = -30.0000000
 7 ----- Z-increment = 1.0000000

Map info

1 ----- min. lon = -77.3910000
 2 ----- max. lon = -71.3910000
 3 ----- zero lon = -74.3910000
 4 ----- min. lat = -46.5170000
 5 ----- max. lat = -40.5170000
 6 ----- zero lat = -43.5170000
 7 ----- Z-increment = 1.0000000

ANEXO V: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO SINTÉTICO (RS1)

Archivo de control -- Terremoto ficticio

Terremoto ficticio RS1

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 1 sym= 1

PR1= .250 PR2= .250 DEPTH= 10.0

E1= 0.800000E+06 E2= 0.800000E+06

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= .400

S1DR= 19.0001 S1DP= -0.0001 S1IN= 100.000 S1GD= .000000

S3DR= 89.9999 S3DP= 89.999 S3IN= 30.000 S3GD= .000000

S2DR= 109.0001 S2DP= -0.0001 S2IN= 0.000 S2GD= .000000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxx	xxxxxx
1	-80.0	-105.00	-45.50	115.00	100	90.0000	10.0000	20.00	5.0	30.00

Grid Parameters

1 ----- Start-x = -150.00000

2 ----- Start-y = -150.00000

3 ----- Finish-x = 150.00000

4 ----- Finish-y = 150.00000

5 ----- x-increment = 5.000000

6 ----- y-increment = 6.000000

Size Parameters

1 ----- Plot size = 6.000000

2 ----- Shade/Color increment = 1.000000

3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.00

Cross section default

1 ----- Start-x = -36.00000

2 ----- Start-y = 36.00000

3 ----- Finish-x = 38.00000

4 ----- Finish-y = -36.00000

5 ----- Distant-increment = 1.000000

6 ----- Z-depth = 30.00000

7 ----- Z-increment = 1.000000

Map info

1 ----- min. lon = -75.0000000

2 ----- max. lon = -70.0000000

3 ----- zero lon = -72.5000000

4 ----- min. lat = -36.0000000

5 ----- max. lat = -32.0000000

6 ----- zero lat = -34.0000000

7 ----- Z-increment = 1.0000000

ANEXO VI: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO SINTÉTICO (RS2)

Archivo de control -- Terremoto ficticio

Terremoto ficticio RS2

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 1 sym= 1

PR1= .250 PR2= .250 DEPTH= 10.0

E1= 0.800000E+06 E2= 0.800000E+06

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= .400

S1DR= 19.0001 S1DP= -0.0001 S1IN= 100.000 S1GD= .000000

S3DR= 89.9999 S3DP= 89.999 S3IN= 30.000 S3GD= .000000

S2DR= 109.0001 S2DP= -0.0001 S2IN= 0.000 S2GD= .000000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxx	xxxxxxx	xxxxxxxxx	xxxxxx	xxxx	xxxxxx
1	-90.0	-120.00	-65.50	125.00	100	90.0000	20.0000	20.00	5.0	45.00

Grid Parameters

1 ----- Start-x = -150.00000

2 ----- Start-y = -150.00000

3 ----- Finish-x = 150.10000

4 ----- Finish-y = 150.10000

5 ----- x-increment = 5.000000

6 ----- y-increment = 6.000000

Size Parameters

1 ----- Plot size = 2.000000

2 ----- Shade/Color increment = 1.000000

3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.00

Cross section default

1 ----- Start-x = -36.00000

2 ----- Start-y = 36.00000

3 ----- Finish-x = 38.00000

4 ----- Finish-y = -36.00000

5 ----- Distant-increment = 1.000000

6 ----- Z-depth = 30.00000

7 ----- Z-increment = 1.000000

Map info

1 ----- min. lon = -75.5000000

2 ----- max. lon = -71.5000000

3 ----- zero lon = -73.5000000

4 ----- min. lat = -42.5000000

5 ----- max. lat = -38.5000000

6 ----- zero lat = -40.5000000

7 ----- Z-increment = 1.0000000

ANEXO VII: ARCHIVO DE ENTRADA COULOMB 3.3 PARA SISMO SINTÉTICO (RS3)

Archivo de control -- Terremoto ficticio

Terremoto ficticio RS3

#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 1 sym= 1

PR1= .250 PR2= .250 DEPTH= 10.0

E1= 0.800000E+06 E2= 0.800000E+06

XSYM= .000 YSYM= .000

FRIC= .400

S1DR= 19.0001 S1DP= -0.0001 S1IN= 100.000 S1GD= .000000

S3DR= 89.9999 S3DP= 89.999 S3IN= 30.000 S3GD= .000000

S2DR= 109.0001 S2DP= -0.0001 S2IN= 0.000 S2GD= .000000

#	X-start	Y-start	X-fin	Y-fin	Kode	rake	net slip	dip angle	top	bot
1	-145.0	-136.00	-75.50	139.00	100	90.0000	10.0000	30.00	5.0	40.00

Grid Parameters

1 ----- Start-x = -150.00000

2 ----- Start-y = -150.00000

3 ----- Finish-x = 150.10000

4 ----- Finish-y = 150.10000

5 ----- x-increment = 5.000000

6 ----- y-increment = 6.000000

Size Parameters

1 ----- Plot size = 6.000000

2 ----- Shade/Color increment = 1.000000

3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.00

Cross section default

1 ----- Start-x = -36.00000

2 ----- Start-y = 36.00000

3 ----- Finish-x = 38.00000

4 ----- Finish-y = -36.00000

5 ----- Distant-increment = 1.000000

6 ----- Z-depth = 30.00000

7 ----- Z-increment = 1.000000

Map info

1 ----- min. lon = -76.0000000

2 ----- max. lon = -72.0000000

3 ----- zero lon = -74.0000000

4 ----- min. lat = -47.0000000

5 ----- max. lat = -42.0000000

6 ----- zero lat = -44.5000000

7 ----- Z-increment = 1.0000000