



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ESTRUCTURAS CON ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA Y SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE LA REGIÓN METROPOLITANA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

MARCO ANTONIO RAMÍREZ QÜINLAN

PROFESORA GUÍA:
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARISOL DEL PILAR LARA CASTILLO
SEBASTIAN IGNACIO MOYA VARGAS
SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA

SANTIAGO DE CHILE
2020

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Geólogo
POR: Marco Antonio Ramírez Quinlan
FECHA: 16/Abril/2020
PROFESORA GUÍA: Sofía Rebolledo Lemus

ESTRUCTURAS CON ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA Y SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE LA REGIÓN METROPOLITANA

El área de estudio se encuentra inmersa en la zona precordillerana de Chile Central, donde la Depresión Central es interrumpida por cordones montañosos de orientaciones NE, tal como el Cordón Chacabuco. En la zona dominan las rocas volcanosedimentarias del Cretácico y el Cenozoico, representadas por las formaciones Las Chilcas, Lo Valle y Abanico, además de unidades intrusivas y cuaternarias relacionadas a fenómenos de remociones en masa, y una serie de fallas de carácter regional con orientaciones preferentes NE y NS.

El presente trabajo se orientó a identificar, mediante indicadores neotectónicos, la ocurrencia de fallas con actividad reciente y analizar cualitativa y cuantitativamente la susceptibilidad a remociones en masa de laderas y cauces de la zona.

Los resultados arrojaron una serie de indicadores de actividad neotectónica distribuidos en toda el área, con los que fue posible trazar lineamientos y evaluar la presencia de estructuras de gran y mediana escala. Por otro lado, se obtuvieron índices de susceptibilidad para cada una de las unidades geomorfológicas definidas en el área, con lo que se confeccionaron mapas de susceptibilidad para 4 tipos de remociones en masa: caída de rocas, flujos, deslizamientos de suelo y deslizamientos de roca.

Las estructuras inferidas y propuestas en este trabajo fueron contrastadas con la bibliografía existente, demostrando coherencia y entregando un posible complemento a las cartas geológicas en la zona. El tipo de remoción en masa más presente en la zona corresponde a caída de rocas, llegando a sus valores máximos en las áreas montañosas de mayores elevaciones y pendientes. Sin embargo, existe un leve desfase entre estos resultados y lo visto en terreno, probablemente debido a fenómenos más locales donde existe caída de rocas en determinados afloramientos.

Finalmente, las estructuras de alcance regional propuestas en este trabajo presentan orientaciones preferentes NE y NS, y fue posible correlacionarlas en distintos puntos con fallas propuestas por otros autores incluso más allá del área de trabajo, como la Falla Infiernillo, la Falla Pocuro y la Falla San Ramón.

Agradecimientos

A mis padres y hermanas por todo el cariño, por apoyarme siempre y permitirme estudiar e ir a la universidad. A mis tías y tíos, a mis abuelos, primos y familia en general, por creer en mi y apoyarme desde chico.

A mis profesores, especialmente a mi profe guía, Sofía, por su enorme entrega, paciencia, disposición y confianza. A Sergio y Marisol por sus consejos, sugerencias y correcciones, y también por su disponibilidad y disposición cada vez que se necesitaron. Al Seba por además haber sido un gran guía en mis primeros pasos y experiencias laborales, por toda la buena onda, paciencia y aprendizaje.

A mis amigos y amigas de la facultad y de geología. No podría nombrarlos a todos, pero confío en que cada uno sabe lo que ha significado para mí durante todo este proceso, y especialmente a todas las personas que me apoyaron en esta última parte del viaje.

A la gente de la Macumba batucada, por su alegría, buena onda y motivación. Contribuyeron muchísimo a mi felicidad y a disfrutar mi estancia en la universidad, además de haber conocido gente maravillosa y haber hecho grandes amistades.

A toda la gente que conocí participando de los TTVV de la Fech en distintos años, sin duda una de las experiencias que más me permitió crecer y formarme como persona y profesional integral.

A las y los funcionarios de la facultad y del depto, en quienes siempre encontré mucho cariño y buena onda, especialmente a la tía Mari de deportes, a la Vero, la Rosita y la Blanquis, con quienes más compartía en el día a día. Mención muy especial a esta última, quien siempre me apoyó con todas las dudas, inquietudes, consejos y retos necesarios cada vez que lo necesité.

Muchas gracias !

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Descripción de la zona y formulación del estudio propuesto.....	1
1.2	Ubicación del área de estudio	2
1.3	Objetivos.....	3
	Objetivo General.....	3
	Objetivos Específicos	3
1.4	Metodología	3
2	Marco Geológico.....	6
2.1	Introducción.....	6
2.2	Rocas Estratificadas.....	9
2.3	Rocas Intrusivas.....	11
2.4	Cuaternario	13
2.5	Sismicidad.....	15
3	Antecedentes	17
3.1	Ríos, esteros y quebradas estudiadas	17
3.2	Indicadores neotectónicos	19
3.3	Mapa de pendientes y dominios geomorfológicos	25
3.4	Sismicidad Cortical.....	28
3.5	Remociones en masa.....	31
4	Análisis por Zonas de trabajo.....	39
4.1	Zona Norte.....	39
4.2	Zona Centro-Oriente	51
4.3	Zona Sur-Oriente	60
4.4	Zona Sur-Poniente	70
4.5	Zona Centro	75
4.6	Estructuras inferidas.....	78
5	Susceptibilidad a Remociones en Masa Cuenca Chacabuco.....	80
5.1	Factores condicionantes en la generación de remociones en masa.....	81
5.1.1	Geología y Geotecnia	81
5.1.2	Hidrogeología	85
5.1.3	Topografía y Geomorfología.....	86
5.1.4	Clima y Vegetación	87
5.1.5	Acción antrópica	89

5.2	Factores desencadenantes de remociones en masa	90
5.2.1	Lluvias	90
5.2.2	Sismos.....	91
5.2.3	Otros: erupciones volcánicas, intervención antrópica, derretimiento de nieve, etc. 92	
5.3	Área de estudio	92
5.4	Índices de Susceptibilidad a remociones en masa	93
5.4.1	Unidades Geomorfológicas.....	93
5.4.2	Susceptibilidad a Flujos.....	96
5.4.3	Susceptibilidad a Deslizamientos en Suelo.....	98
5.4.4	Susceptibilidad a Deslizamientos en Roca.....	99
5.4.5	Susceptibilidad a Caída de Rocas	100
6	Discusiones	103
6.1	Actividad neotectónica	103
6.2	Susceptibilidad a remociones en masa	107
6.2.1	Consideraciones generales	107
6.2.2	Flujos	109
6.2.3	Deslizamientos de Suelo	110
6.2.4	Deslizamientos de Roca.....	110
6.2.5	Caída de Rocas	111
6.3	Estructuras, Susceptibilidad y Remociones en Masa	112
7	Conclusiones	118
8	Bibliografía	120
9	Anexos	124
	Anexo A: Factores condicionantes en la generación de Remociones en Masa.	124
A.1	Flujos.....	124
A.2	Caída de Rocas	126
A.3	Deslizamientos de Suelo.....	127
A.4	Deslizamientos de Roca.....	129
	Anexo B: Tablas de valoración a parámetros y ponderación de Índices de Susceptibilidad	130
B.1	Flujos.....	130
B.2	Caída de Rocas	135
B.3	Deslizamientos de Suelo.....	140
B.4	Deslizamientos de Roca.....	145
	Anexo C: Resumen de knickpoints encontrados en la zona de estudio	150

Anexo D: Índices de Sinuosidad de Quebradas y Esteros estudiados	152
---	------------

1 Introducción

1.1 Descripción de la zona y formulación del estudio propuesto

El área de estudio se encuentra ubicada en Chile central, aproximadamente a los 33° S. A esta latitud, el país, a una escala regional, se caracteriza por 3 dominios morfoestructurales principales (Brüggen, 1950). De oeste a este son: la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Cordillera Principal. Éstos se disponen como franjas norte-sur, con amplio desarrollo de ambas cordilleras y una estrecha Depresión Central, representada principalmente por valles noreste-suroeste que se encajonan entre los cordones montañosos que bajan desde la Cordillera Principal para unirse a la Cordillera de la Costa (Rivano, 1993).

En esta parte del Chile central domina un régimen tectónico compresivo, que se habría interrumpido solo durante el Oligoceno, momento en el cual se registra la formación de la cuenca de Abanico (Ramos, 2010). Todo esto habría sido el control de primer orden para la formación del relieve existente en la zona cordillerana actual.

La Depresión Central en la zona céntrica chilena presenta un relleno sedimentario, probablemente Plioceno-Cuaternario de hasta 800 m de espesor (Avendaño y Araneda, 1994). Ésta se ve interrumpida en varias ocasiones por cordones transversales, como se dijo anteriormente, como el cordón Polpaico-Cerros de Colina, generando valles que difieren en altura, lo cual pudiera estar relacionado a fallas noreste cubiertas (Wall et al, 1999). El borde occidental también presenta morfologías interesantes, muy irregulares, con entradas subcirculares y rincones de significado aun sin dilucidar.

El borde oriental de la Depresión Central se presenta después de un abrupto desnivel topográfico. Diversos autores han estudiado este escarpe en zonas cercanas al norte y sur, interpretándolo como una zona de falla (la Zona de Falla Pucuro), y que se prolongaría en dirección norte-sur desde la zona oriental de Santiago (Falla San Ramón) hacia el norte, pasando por el valle de La Dehesa y el pie occidental del cordón de Los Españoles (Aguirre, 1957; Carter y Aguirre, 1965; Thiele, 1980). Esta zona también ha sido asociada a numerosos depósitos asociados a fenómenos de remociones en masa.

Por todo lo anterior, este estudio está motivado por estudiar e intentar encontrar respuestas a la configuración tectónica en la zona centro-norte de la Región Metropolitana, a través del aporte de nuevos datos y observaciones y la integración de diversas variables tectónicas-estructurales y geomorfológicas que pudieran ser indicativas de actividad reciente. En esta línea, ya que diversos trabajos y autores plantean una gran ocurrencia tanto de remociones en masa como de fallas en la zona, la caracterización de la susceptibilidad de laderas a generar fenómenos de remociones

en masa y la comprensión de los factores condicionantes y desencadenantes puede ofrecer un buen complemento que integre ambos aspectos.

1.2 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte norte de la Región Metropolitana, en la zona fronteriza con la V Región de Valparaíso, como se muestra en la Figura 1.1. Su límite oriental corresponde a la precordillera y sector más occidental de la Cordillera de los Andes, su límite norte corresponde al Cordón de Chacabuco, su límite occidental es aproximadamente la Ruta 5 Norte y el límite sur es la localidad de Colina. Sus dimensiones son aproximadamente de 28 km de ancho y 30 km de largo, abarcando un área de casi 850 km².

Para acceder desde Santiago a la zona de estudio es posible hacerlo tomando la Ruta 5 Norte o la Ruta Los Libertadores (Ruta 57), hasta el sector de Chacabuco o Colina, dependiendo de la zona a la cual se desee acceder. Por ambas vías la zona central del área de estudio se ubica aproximadamente a unos 45 km del centro de Santiago.

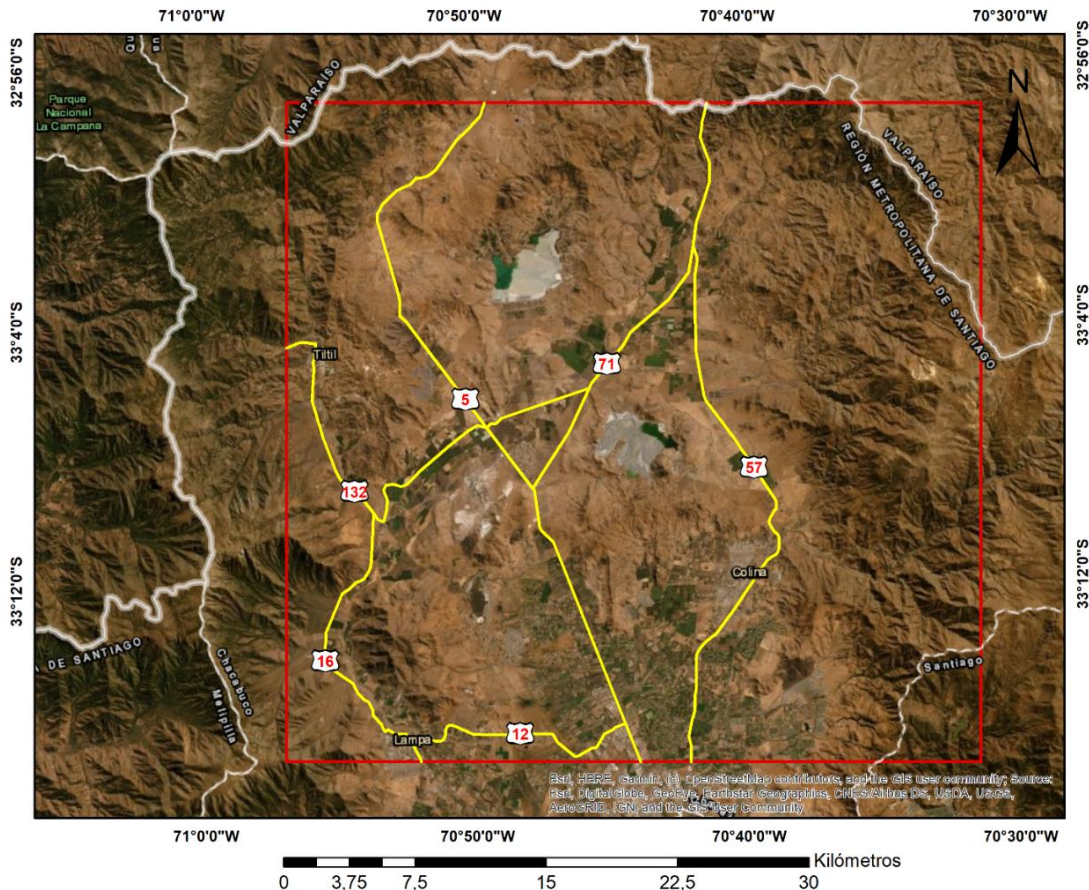


Figura 1.1: Ubicación del área de estudio, encerrado en el cuadrilátero de color rojo.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Identificar mediante indicadores geomorfológicos fallas con actividad cuaternaria en la zona centro-norte de la Región Metropolitana y evaluar la susceptibilidad a remociones en masa en la cuenca de Chacabuco.

Objetivos Específicos

- Determinar relaciones entre la geomorfología y las estructuras en la zona.
- Determinar los factores que influyen en la generación de remociones en masa.
- Identificar las laderas o zonas susceptibles a la generación de remociones en masa en la zona.

1.4 Metodología

Para la elaboración de este trabajo y el cumplimiento de los objetivos planteados, la metodología utilizada consistió principalmente en un análisis cualitativo de una serie de parámetros geomorfológicos que pudieran ser usados como indicadores de actividad neotectónica en la zona y, en segundo lugar, en la aplicación de la metodología propuesta por Lara (2007) que pondera, mediante la asignación de porcentajes, una serie de parámetros que influyen en la generación de fenómenos de remociones en masa. A continuación se entrega un mayor nivel de detalle de los pasos seguidos:

- a) Recopilación y análisis de antecedentes, estudios anteriores y bibliografía pertinente para la elaboración del estudio y la formulación de hipótesis de trabajo.
- b) Elaboración de un marco geológico de la zona, considerando litología, geomorfología y geología estructural. Se consideraron como referencias del área de estudio principalmente las Hojas Tiltil-Santiago (Wall et al., 1999) y Quillota-Portillo (Rivano, 1993). Confección de un mapa del área de estudio en escala 1:200000.
- c) Campaña de terreno durante principios de Diciembre 2018 en el sector de Chacabuco: toma de datos litológicos y geotécnicos. Descripción de afloramientos de roca y suelos, estimaciones de resistencia, grado de meteorización, caracterización y medición de discontinuidades, estimación de

espesores, estimación de parámetros geotécnicos como el GSI en afloramientos de roca, etc. Identificación y caracterización de depósitos asociados a fenómenos de remociones en masa recientes como caída de rocas, deslizamientos y flujos; y de sitios activos que presenten características potenciales generadoras de este tipo de eventos.

- d) Obtención de un DEM de resolución de 12.5 mts, perteneciente a la misión ALOS PALSAR, en la zona de trabajo, para el estudio de evidencias de actividad tectónica-estructural en la zona. Obtención de mapas de pendiente, con el apoyo del software ArcGis, y definición de dominios geomorfológicos con rasgos similares. Determinación de zonas de interés resaltadas a partir de una escala regional.
- e) Obtención de datos de sismicidad cortical en el área; extracción de la red de drenaje y perfiles longitudinales a ríos, quebradas y esteros de interés; definición de knickpoints a partir de datos de pendiente obtenidos junto a los perfiles; obtención de índices de sinuosidad; desarrollo de algunos perfiles transversales de apoyo; identificación de patrones y anomalías en la red de drenaje. Este ítem fue apoyado con los softwares Google Earth, ArcGis 10.3 y RiverTools 3.0.
- f) Interpretación de indicadores de actividad neotectónica, de acuerdo con autores como Burbank & Anderson (2001), y obtención de lineamientos en la zona de trabajo. Contraste de información y evidencias para el planteamiento de fallas en toda el área de estudio.
- g) Identificación y caracterización de los tipos de remociones en masa presentes en la zona de estudio y de los factores que controlan su generación, tanto de forma condicionante como gatillante. Además del software descrito anteriormente, en esta parte se utilizó DIPS.
- h) Definición de unidades geomorfológicas en un área de trabajo más reducida en el sector de Chacabuco, a partir de rasgos geológicos similares como orientación de laderas, pendientes y tipo de depósitos, utilizando el software ArcGis 10.3. Cabe destacar que se han separado en unidades distintas laderas de cauces. Cálculo de Índices de Susceptibilidad (IS) para cada una de las unidades geomorfológicas definidas en el área mediante la cuantificación de los factores condicionantes a través de tablas estandarizadas por Lara (2007).
- i) Generación de mapas de susceptibilidad, según las unidades definidas y los cálculos realizados, para los tipos de remociones en masa estudiados en la zona, es decir, flujos, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelo y caída de rocas, en escala 1:25.000. Los resultados de IS, cuyos valores fluctúan entre 0 y 100, se han agrupado en 4 rangos cada 25 puntos, diferenciando entre susceptibilidad baja, media, alta y muy alta.
- j) Discusión e interpretación de resultados. Contraste de la información obtenida y su validación respecto de lo observado en terreno, las referencias consultadas y los resultados de otros estudios similares en zonas de similares características.

Planteamientos de propuestas como solución a los objetivos definidos y las evidencias encontradas.

- k) Elaboración de conclusiones, recomendaciones para estudios futuros y redacción del informe final.

2 Marco Geológico

2.1 Introducción

El área de trabajo se encuentra ubicado en la zona norte de la Región Metropolitana, aproximadamente en los 33 ° S, correspondiente a Chile Central. Esta zona se caracteriza por 3 dominios morfoestructurales principales (Brüggen, 1950), como se muestra en la Figura 2.1. De oeste a este son: la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Cordillera Principal. Éstos se disponen como franjas norte-sur, con amplio desarrollo de ambas cordilleras y una estrecha Depresión Central, representada principalmente por valles noreste-suroeste que se encajonan entre los cordones montañosos que bajan desde la Cordillera Principal para unirse a la Cordillera de la Costa (Rivano et al., 1993).

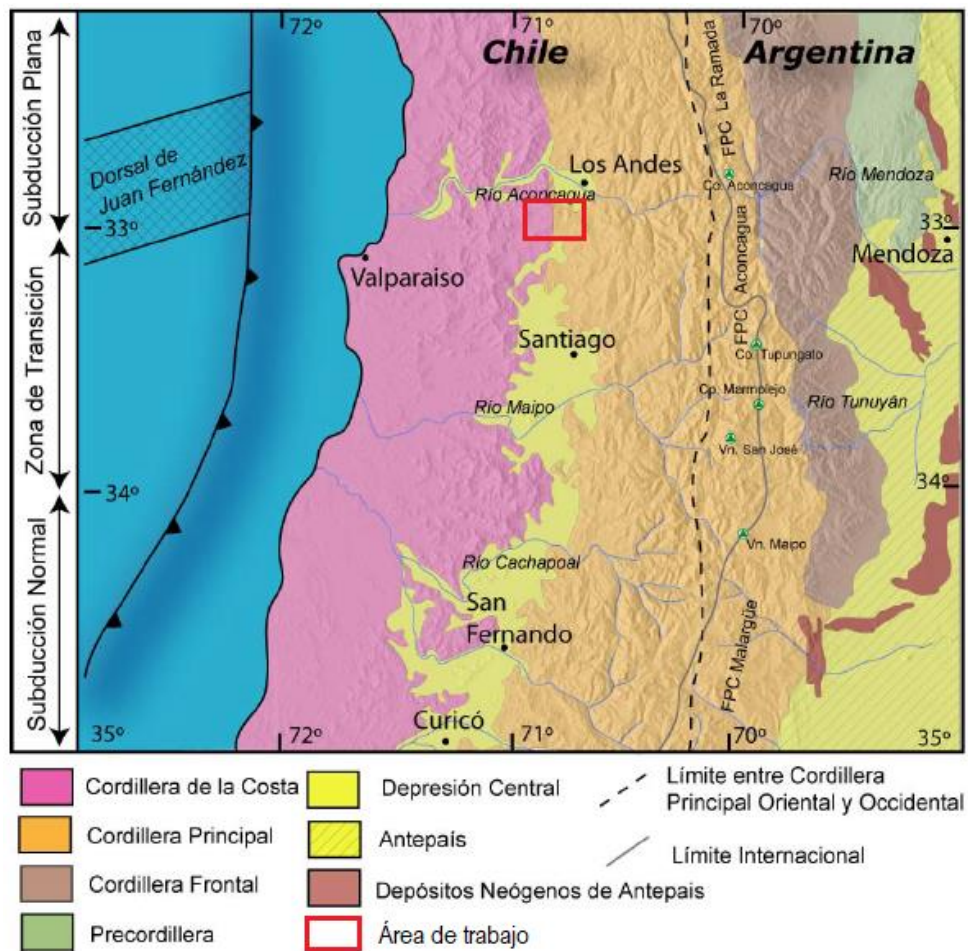


Figura 2.1: Principales morfoestructuras de la segmentación andina entre los 32° y los 35° S y ubicación del área de trabajo, enmarcado en rojo. Modificado de Fock, 2005.

La sección de la Cordillera de la Costa en esta zona, es decir, su sección más oriental, se encuentra caracterizada principalmente por rocas volcano-sedimentarias cretácicas, representadas por la Formación Las Chilcas, que se encuentran frecuentemente intruídas por rocas intrusivas del Cretácico al Mioceno (Wall et al., 1999). Sus alturas bordean los 800 a 1000 m s.n.m. y alcanzan máximas de hasta 2000 m s.n.m.

La parte más occidental de la Cordillera Principal en esta zona se encuentra compuesta principalmente de rocas volcánicas del Cretácico Superior, representadas por la Formación Lo Valle (Wall et al., 1999), y rocas volcano-sedimentarias del Eoceno-Mioceno, representadas por la Formación Abanico (Thiele y Cubillos, 1980). Sus alturas se encuentran entre los 1500 y los 2500 m s.n.m. en esta zona.

A continuación se presenta el detalle de las formaciones y unidades presentes en el área, cuya distribución espacial se puede ver en la Figura 2.2.

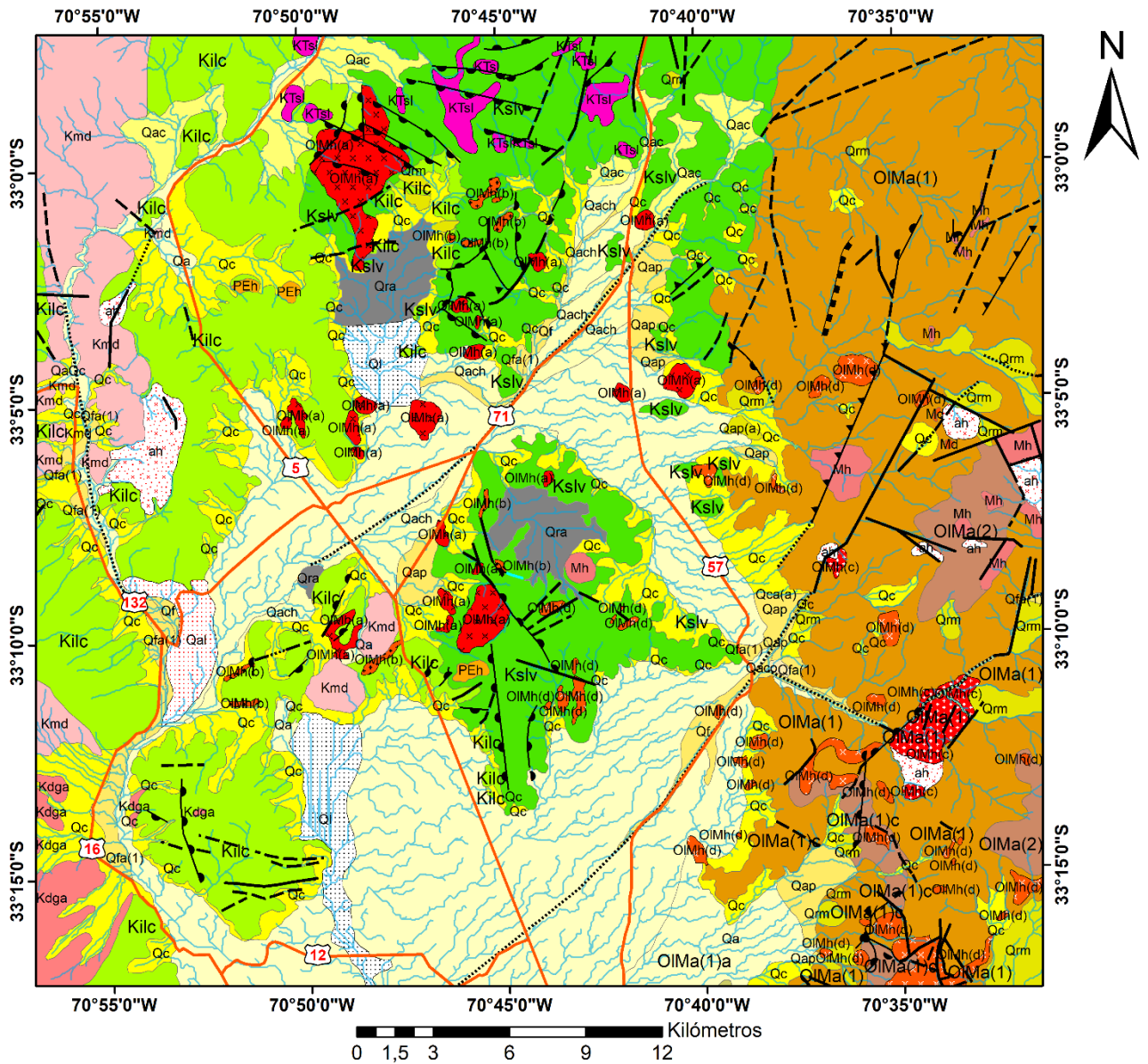




Figura 2.2: Mapa geológico de la zona de estudio en escala original 1:100000. Elaboración a partir de Wall et al. (1999) y Rivano et al. (1993). Leyenda en la página siguiente.

Leyenda

 Área de trabajo

 Red de drenaje

Unidades Intrusivas

 KTsl

 Kdga

 Kmd

 Md

 Mh


 OIMh(a)

 OIMh(b)

 OIMh(c)

 OIMh(d)

 PEh


 ah


Rocas Estratificadas

 Kilc

 Kslv


 OIMa(1)


 OIMa(1)a


 OIMa(1)c


 OIMa(2)


Estructuras


 Falla inferida cubierta

 Falla inferida


 Falla inversa; dientes indican bloque alzado

 Falla normal; símbolo indica bloque hundido

 Falla normal de bajo ángulo; símbolo indica bloque superior

 Falla observada

Unidades Cuaternarias

 Qa

 Qac

 Qach

 Qaco

 Qal

 Qap

 Qap(a)

 Qc

 Qca(a)

 Qf

 Qfa(1)

 Ql

 Qra

 Qrm

Figura 2.2, continuación: Leyenda del mapa geológico de la zona de estudio. Elaboración a partir de Wall et al. (1999) y Rivano et al. (1993).

2.2 Rocas Estratificadas

- Formación Las Chilcas Kilc (Cretácico Inferior, Aptiano-Albiano) (Thomas, 1958; Piraces y Maksaevev, 1977; Rivano et al., 1993; Wall et al., 1999)

Corresponde a secuencias de rocas volcánicas y sedimentarias, de aproximadamente 3000 metros de espesor, que aflora en la parte central y occidental del área de trabajo, en lo que corresponde al segmento más oriental de la Cordillera de la Costa. Se encuentra estratigráficamente sobre la Formación Veta Negra en aparente concordancia (Wall et al., 1999) y subyace en discordancia erosiva a la Formación Lo Valle.

Se compone de rocas piroclásticas dacíticas a riolíticas, con intercalaciones de lavas andesíticas y basálticas. También se intercalan y gradan a conglomerados y areniscas con restos vegetales, en un distintivo nivel de calizas marinas, que a su vez albergan gran cantidad de gastrópodos, bivalvos y estromatolitos. Hacia el techo de la formación se encuentran lavas basálticas y andesítico-basálticas (Wall et al., 1999).

Esta formación ha sido datada a través de U-Pb en circones de lavas y flujos piroclásticos, arrojando valores de $109,6 \pm 0,1$ y $106,5 \pm 0,2$ Ma, mientras que mediante K-Ar en roca total se han obtenido edades de 101 ± 3 y 100 ± 3 Ma. Otras lavas han arrojado valores de 95 ± 3 mediante K-Ar en plagioclasas, mientras que K-Ar en roca total han arrojado valores de 86 ± 3 , 83 ± 3 y 79 ± 3 , correspondiendo probablemente a edades rejuvenecidas (Wall et al., 1999).

Su depositación se habría dado en un ambiente subaéreo continental, con recurrencias episódicas de influjos del ambiente marino costero somero. A su vez, el ambiente habría sido dominado por un volcanismo ácido a intermedio, correspondiente a una etapa terminal del volcanismo del Cretácico Inferior, dominado por una alta participación de material piroclástico (Rivano et al., 1993).

- Formación Lo Valle Kslv (Cretácico Superior, 72-65 Ma) (Thomas, 1958; Wall et al., 1999)

Corresponde a una secuencia de rocas volcanosedimentarias, principalmente piroclásticas, que aflora en la parte central en el área de trabajo, y tiene un espesor estimado de hasta 1800 metros. Sobreyace en una discordancia erosiva a la Formación Las Chilcas, y subyace a la Formación Abanico, de forma concordante según Wall et al., 1999 (Wall et al., 1999), o de forma discordante, según Boyce (2015).

Consta de 2 niveles principales. Un nivel inferior, de unos 30-50 metros de espesor, de conglomerados y areniscas con flora fósil e intercalaciones de tobas; y un nivel superior, compuesto de tobas dacíticas, riódacíticas, cristalinas y brechosas de hasta 860 mts de espesor, cubiertas por 900 mts de tobas de lapilli y brechas piroclásticas andesíticas.

Dataciones de Ar-Ar en plagioclasas de tobas riolíticas han indicado edades de $72,4 \pm 1,4$ Ma (Gana y Wall, 1997), mientras que las mismas realizadas en el nivel superior han entregado edades de $71,4 \pm 1,4$ y $71,9 \pm 1,4$ Ma. Dataciones K-Ar en roca total han arrojado valores de 65 ± 2 Ma y $70,5 \pm 2,5$ Ma en plagioclasa.

- Formación Abanico OIMa (Eoceno-Mioceno Inferior) (Ruiz et al., 1960; Wall et al., 1999)

Corresponde a una secuencia principalmente volcánica, andesítica a basáltica, con intercalaciones piroclásticas y sedimentarias continentales, de un espesor aproximado de 2000 mts. Aflora en la parte oriental del área de trabajo, lo que

corresponde al sector más occidental de la Cordillera Principal. Sobreyace a la Formación Lo Valle, mientras que su techo no está expuesto. Se distinguen 2 niveles:

(1) Nivel Inferior: compuesto de lavas andesíticas a basálticas, con intercalaciones de tobas brechosas, tobas soldadas y rocas sedimentarias continentales de hasta 1800 mts de espesor. Las lavas presentan alteración a ceolitas y clorita-esmectita. Además, en la zona más basal se intercalan tobas vítreas riolíticas a dacíticas soldadas (a) con lavas básicas subordinadas, bajo lavas andesíticas. En la zona del estero Colina hasta la zona de La Dehesa afloran tobas cineríticas ácidas (c) de hasta 50 metros de espesor. Estos niveles aparecen principalmente en la zona centro-sur de la Cordillera Principal, en la parte oriental del área de estudio.

(2) El nivel superior se compone de brechas piroclásticas y epiclásticas finas, conglomerados y areniscas volcanoclásticas subordinadas de colores gris y morado claro de hasta 350 mts de espesor. Este nivel aflora en la zona norte y sur del estero Colina, en el extremo suroriente del área de estudio.

Dataciones en el nivel inferior han arrojado valores mediante Ar-Ar en plagioclasas de $26,6 \pm 1,2$ Ma y $23,6 \pm 0,8$ Ma, y mediante K-Ar en roca total de $20,9 \pm 0,8$ y $19,8 \pm 0,9$ Ma.

2.3 Rocas Intrusivas

- Unidad San Lorenzo Ktsl (Cretácico Superior – Paleoceno) (Rivano et al., 1985; Rivano et al., 1993)

Esta unidad aflora en el sector centro-norte del área de trabajo hasta el sector de Montenegro al sur. Corresponde a varios pequeños cuerpos intrusivos dioríticos, pórfidos andesíticos y andesitas microgranulares, generalmente grises a grises verdosas. Los fenocristales son comúnmente plagioclasa, anfíboles y cúmulos de glomerocristales de piroxeno y olivino. Generalmente presentan alteración de clorita, montmorillonita, epidota, calcita y anhidrita.

Para esta unidad se han obtenido edades radiométricas Ar-Ar y K-Ar en plagioclasas y roca total entre 63 ± 2 Ma y 86 ± 3 Ma, por lo que se atribuye su edad en el rango Santoniano a Maastrichtiano.

- Intrusivos Hipabisales OIMh (Eoceno-Mioceno Inferior, 34-19 Ma) (Wall et al., 1999)

Corresponden a stocks, filones manto, cuellos volcánicos y diques, cuya composición varía de gabros a andesitas de piroxeno, formando cuerpos de hasta 8

km², que afloran en la zona central y occidental del área de trabajo. Dentro de esta unidad se cuentan 4 grupos principales:

- Gabros y microgabros de piroxeno y olivino, dioritas y microdioritas de piroxeno. Se han datado mediante K-Ar entre 25,5±1,3 Ma y 17,4±1,0 Ma, consideradas como edades de cristalización y por lo tanto mínimas, y por otro lado, flujos de lava con edades K-Ar entre 31 y 27 Ma (Drake et al., 1976; Gana y Wall, 1997).
 - Basaltos de olivino, andesitas basálticas de piroxeno y olivino y andesitas de piroxeno. Sus dataciones en K-Ar en roca total y Ar-Ar en plagioclasas han arrojado valores entre 34±2,2 Ma y 20,3±2,1 Ma.
 - Dioritas y dioritas cuarcíferas de piroxeno y anfíboles de hasta 8 km² grises oscuro, de cuyas muestras no se cuentan dataciones.
 - Andesitas y andesitas basálticas y dacitas de piroxeno, formando stocks de hasta 2 km de diámetro y filones manto o lacolitos. Sus edades mediante K-Ar en roca total arrojan valores entre 21,8±0,5 Ma y 21,2±1,0 Ma.
- Intrusivos Hipabisales Andesíticos y Dacíticos Mh (20-19 Ma) (Wall et al., 1999)

Corresponden a “stocks” y diques andesíticos y dacíticos de anfíbola de hasta 4 km² de superficie, que intruyen a la Formación Lo Valle y a la Formación Abanico. Son generalmente leucocráticas, porfídicas, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno, en una masa fundamental de plagioclasa, cuarzo y escasa magnetita. Las edades K-Ar en roca total obtenidas arrojan valores de 19,5±0,5 Ma (Drake et al., 1976) y 20,3±2,9 Ma, y 18,8±0,8 Ma en ⁴⁰Ar/³⁹Ar en anfíbola (edad plateau; Gana y Wall, 1997), consideradas cercanas a la edad de cristalización. Valores mínimos se han obtenido en K-Ar en roca total, arrojando 16,7±0,9 Ma (Gana y Wall, 1997) y 11,6±1,3 Ma (Sellés, 1999).

- Intrusivos Hipabisales PEh (64-53 Ma?) (Wall et al., 1999)

Corresponden a stocks basálticos de piroxeno y olivino que afloran en el cerro Manzano y al sur del cerro Lo Aguirre, y domos dacíticos de biotita que intruyen a las formaciones Las Chilcas, Lo Valle y los plutones cretácicos. Dataciones K-Ar en roca total en los stocks indican edades de 64±5 Ma (Wall, 1997), 40,5±1,4 Ma y 32,6±1,2 Ma, mientras que mediciones K-Ar en biotita en un domo dacítico arroja una edad de 53,8±2,5 Ma (Wall, 1997).

- Dioritas cuarcíferas a monzonitas cuarcíferas de piroxeno, anfíbola y biotita, y monzogabros de piroxeno Kmd (Wall et al., 1999)

Corresponden a rocas color gris oscuro a rosáceo, textura hipidiomórfica, grano medio a grueso y generalmente pertíticas, que afloran en los alrededores de Tiltil y en las zonas de Lo Aguirre y en las cercanías de Polpaico. Se han determinado edades K-Ar de 100 ± 2 Ma en biotita, 92 ± 3 Ma en plagioclasa (Gallego, 1994) y 83 ± 3 Ma en roca total. Ocasionalmente están afectadas por alteración hidrotermal con presencia de epidota, esmectita, limonita y turmalina.

- Monzonitas y monzodioritas cuarcíferas Kdga (Wall et al., 1999)

Corresponden a monzonitas y monzodioritas cuarcíferas, granodioritas y dioritas cuarcíferas de anfíbola y piroxeno, y granodioritas de biotita y anfíbola. Forman parte de un Plutón de gran extensión, mayor a los 100 kilómetros cuadrados, en el sector de Los Altos de Lipangue, en la zona occidental de Lampa. Intruyen formaciones del Cretácico Inferior y varían gradualmente a rocas de la unidad Kmd. Sus rocas son de grano medio, color gris rosáceo, de textura hipidiomórfica granular a porfídica, compuestas por cuarzo, ortoclasa pertítica, biotita y escasos piroxenos. Presentan alteración moderada a caolín, sericita, clorita y epidota. Sus edades K-Ar en biotita arrojan valores de 96 ± 2 y 94 ± 2 Ma.

2.4 Cuaternario

- Sedimentos aluviales y coluviales Qac (Pleistoceno-Holoceno) (Rivano et al., 1993)

Corresponden a sedimentos aluviales, coluviales y depósitos de relleno de valles, y están relacionados a los actuales cursos de agua, teniendo su máxima expresión en la Hoya del Río Aconcagua, más al norte del área de trabajo. Están formados generalmente por acumulaciones de gravas y ripios, y por arenas y limos con buena estratificación, especialmente en depósitos de valle y conos de deyección, los que suelen evolucionar con la abundancia e intensidad de las precipitaciones. También se encuentran depósitos de colapso gravitacional, entre los que se cuentan deslizamientos y remociones en masa, actualmente estabilizados por vegetación en la mayoría de los casos. Éstos se habrían originado probablemente por colapso gravitacional debido a movimientos sísmicos, y posiblemente ligados a zonas de falla, como en el sector de la falla Pocuro (Rivano et al., 1993).

- Depósitos Coluviales Qc (Pleistoceno Superior-Holoceno) (Wall et al., 1999)

Sedimentos no consolidados, ubicados en las faldas y pies de los cerros, a la salida de quebradas y en pequeños valles, formados principalmente por clastos y bloques mal seleccionados. Sus pendientes varían de 4° a más de 10° .

- Depósitos aluviales del estero Chacabuco Qach (Pleistoceno Medio-Pleistoceno Superior) (Wall et al., 1999)

Sedimentos aluviales no consolidados que se ubican en la zona aledaña al estero Chacabuco, en la zona suroriente del área de trabajo. Hacia sus cabeceras, estos depósitos se integran con otros depósitos coluviales. Están formados por gravas y arenas y sedimentos finos en menor proporción.

- Depósitos aluviales de piedemonte Qap (Pleistoceno Superior-Holoceno) (Wall et al., 1999)

Sedimentos no consolidados ubicados en las desembocaduras de quebradas mayores. Se encuentran principalmente en el borde precordillerano, en la parte más oriental del área de trabajo, y forman principalmente abanicos aluviales con pendientes de 3° a 6°. Están constituidos por alternancias de depósitos de remoción en masa (flujos de detritos), depósitos fluviales y mantos de crecida.

- Depósitos de remoción en masa Qrm (Pleistoceno-Holoceno) (Wall et al., 1999)

Depósitos originados por flujos de detritos y barro, deslizamientos, desprendimientos de bloques, reptación y hundimiento. Se componen de bloques de hasta 2 mts de diámetro, en matrices generalmente areno-limosas.

- Depósitos Fluviales Qf (Holoceno) (Wall et al., 1999)

Sedimentos no consolidados relacionados con cursos fluviales activos. Compuestos de gravas, ripios, gravas arenosas, con clastos redondeados, frecuentemente imbricados. Se interdigitan con lentes arenosos con estratificación planar-horizontal y cruzada, con escasos niveles de limos finamente laminados.

- Depósitos lacustres Ql (Pleistoceno-Holoceno) (Wall et al., 1999)

Sedimentos no consolidados impermeables formados por limos, arcillas y arenas-limosas, finamente laminados o masivos, ubicados en depresiones donde la napa freática se encuentra a menos de 5 m o aflorando en la superficie. En la zona de Batuco y Lo Aguirre forman una franja longitudinal, interdigitándose con facies distales de los abanicos aluviales de los esteros Colina, Lampa y del río Mapocho.

2.5 Sismicidad

La sismicidad regional está dada por una coexistencia de eventos interplaca de profundidades bajas e intermedias a altas, relacionados a la subducción de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, y eventos intraplaca, relacionados generalmente con actividad tectónica superficial, representada en las distintas fallas que se ubican en la zona central de Chile.

En la Figura 2.3, tomada de Rauld (2011), se muestra la sismicidad regional encontrada en la zona de estudio y cercanías, registrada por el Servicio Sismológico Nacional, entre los años 1980 y 2007. En ella se aprecia una distribución de sismos de 4 tipos principales, clasificados como Sismos Outer-Rise, Sismos Interplaca, Sismos de profundidad intermedia y Sismos Superficiales Intraplaca.

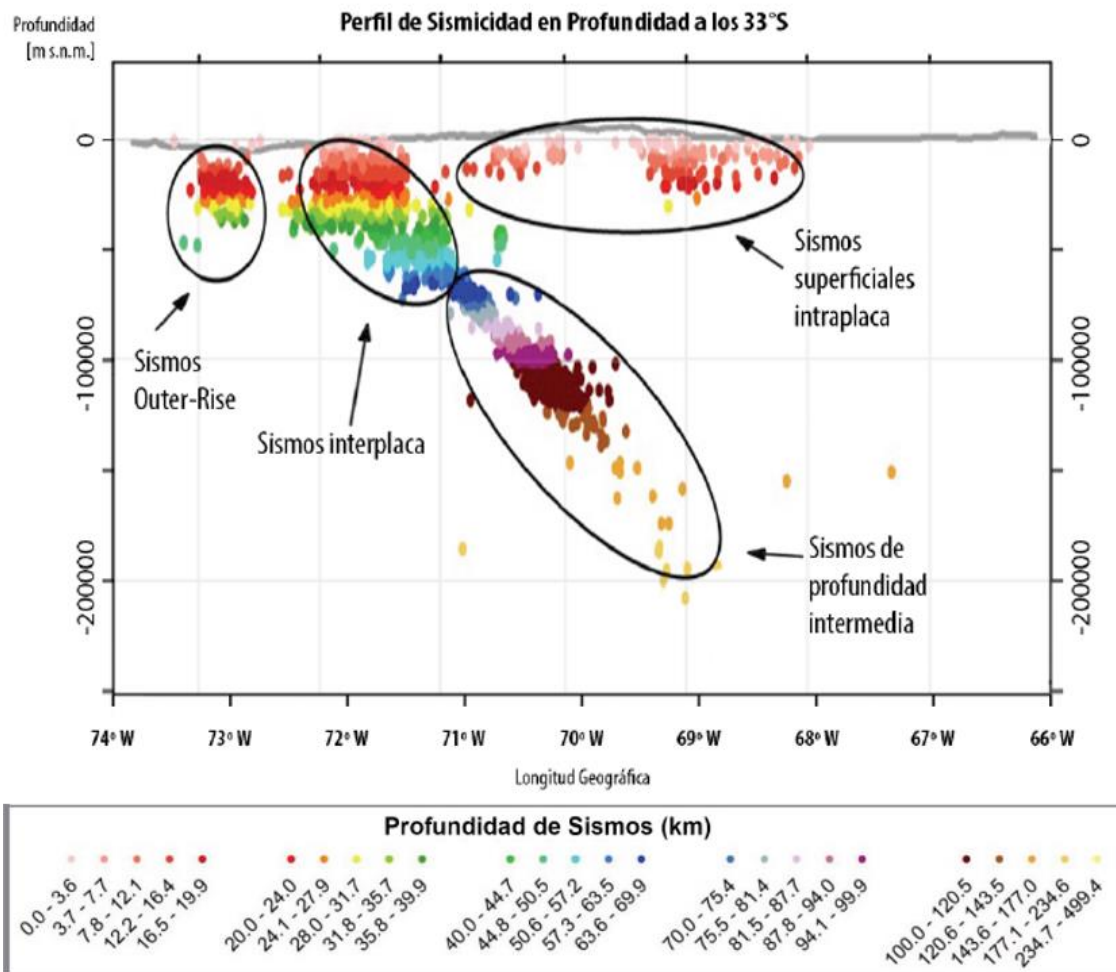


Figura 2.3: Sismicidad Regional en torno a los 33° S entre los años 1980 y 2007 registrada por el Servicio Sismológico Nacional. Tomado de Rauld (2011).

En este estudio se ha considerado principalmente la sismicidad cortical o superficial, que se estudiará más adelante, ya que podría dar indicios de actividad neotectónica en la zona de estudio y, al contrastarse con evidencias de otros factores estudiados, servir de evidencia para asociarse a alguna de las zonas de falla identificadas actualmente, como la Zona de Falla Infiernillo o Chacabuco, u otras que no hayan sido mapeadas correctamente aún.

3 Antecedentes

En este capítulo se revisarán algunos antecedentes que se utilizaron para llevar a cabo la metodología de este trabajo. Se revisarán los indicadores neotectónicos utilizados, como knickpoints e índices de sinuosidad, y algunas de sus implicancias más importantes de acuerdo con los autores referenciados en este trabajo. Se explicitarán detalles sobre los ríos, esteros y quebradas analizadas, y dominios geomorfológicos sobre los cuales se ha trabajado.

Adicionalmente se caracterizan y/o resumen algunos resultados previos que serán utilizados más adelante, como la distribución de knickpoints obtenidos, la sismicidad cortical encontrada y las remociones en masa que se encuentran presentes en el área de trabajo.

3.1 Ríos, esteros y quebradas estudiadas

En particular, el estudio de las redes de drenaje tiene una gran importancia, ya que los ríos son muy sensibles a variaciones externas y podrían presentar patrones característicos que evidencien perturbaciones en sus perfiles de equilibrio (Burbank y Anderson, 2001; Shumm et al., 2002). En este sentido, en este trabajo se han estudiado patrones en la red de drenaje y también algunos parámetros en una serie de ríos, esteros y quebradas, mostrados en la Figura 3.1. Dichos cauces han sido elegidos debido a que por un lado corresponden a los de mayor orden y por otro lado son los que cruzan y definen las cuencas y subcuencas de las zonas subcordilleranas, que constituyen el foco principal de este trabajo.

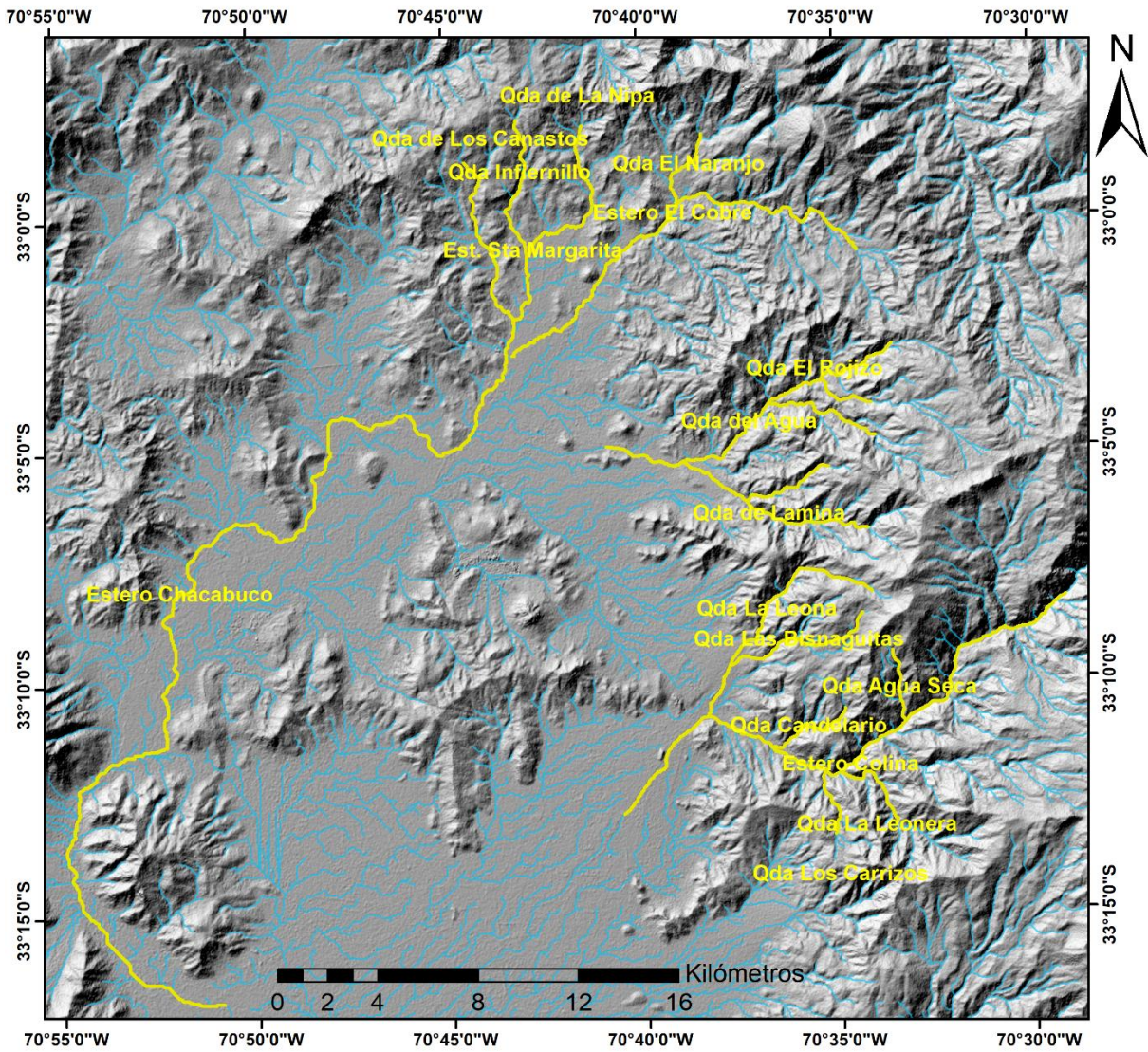


Figura 3.1: Ríos, esteros y quebradas principales estudiadas en trazas de color amarillo, con sus respectivos nombres. La imagen de fondo corresponde al Hillshade del área de estudio y en celeste se presenta la red de drenaje.

Se han obtenido los perfiles longitudinales o “thalweg” de cada uno de los cauces principales mostrados en la Figura 3.1, de forma similar a los que se muestran en la Figura 3.2, de los esteros Colina, de orientación NE, y Chacabuco, de orientación aproximadamente NS. Con excepción de éstos, que alcanzan longitudes de hasta 60 km, los perfiles obtenidos se confeccionaron en un largo no mayor a 5 km aproximadamente, con el fin de establecer una escala similar y un estudio adecuado al detalle de la escala utilizada por zona.

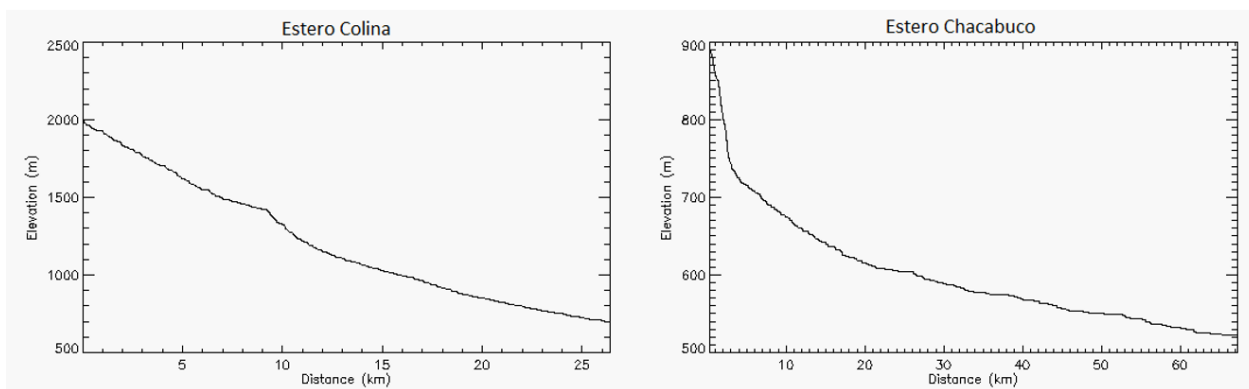


Figura 3.2: Perfiles longitudinales del estero Colina, con orientación NE-SW, y el estero Chacabuco, con orientación aproximadamente NS, en una escala regional, con 26 y 66 km de longitud, respectivamente.

3.2 Indicadores neotectónicos

Los principales indicadores o patrones utilizados en este estudio fueron lineamientos y patrones en las redes de drenaje, lineamientos en morfologías de alta pendiente como escarpes y acantilados, correlaciones entre unidades de rocas intrusivas, perfiles longitudinales en quebradas y ríos, determinación de knickpoints, un análisis comparativo de índices de sinuosidad y la ocurrencia de fenómenos de remociones en masa. Dichos patrones han sido estudiados por autores como Ormeño (2007) y Troncoso (2014), con aplicaciones en otras zonas de similares características en las regiones centrales de Chile, como en los ríos Maipo y Aconcagua.

- Knickpoints

Según Burbank & Anderson (2001), un “knickpoint” se genera cuando un punto del cauce es ‘empinado’ respecto de sus alrededores. Esto puede verse reflejado al graficar la trayectoria de un río, estero, quebrada, etc, en un perfil de distancia versus elevación (Thalweg), como se muestra en la Figura 3.3.

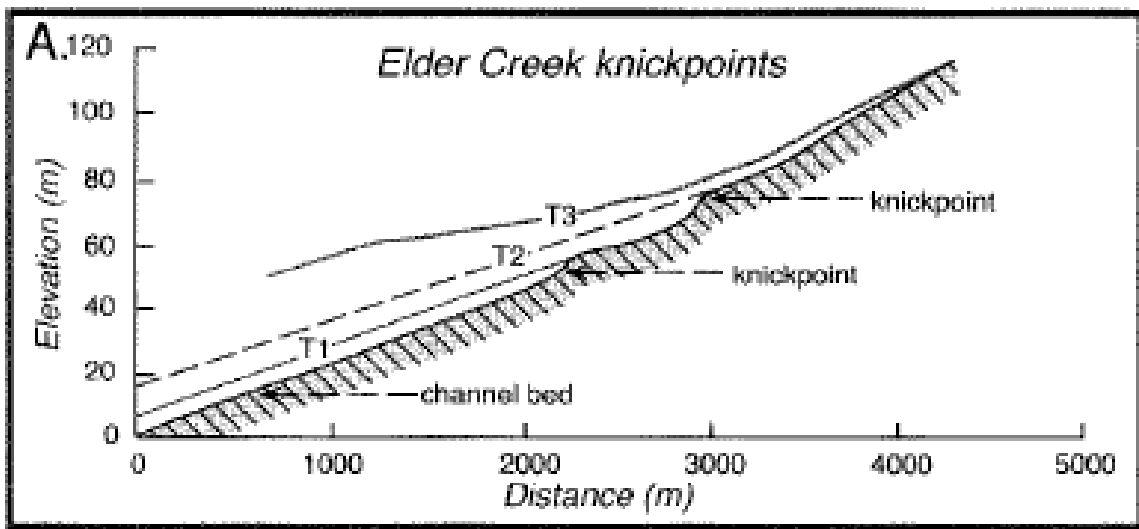


Figura 3.3: Desarrollo de knickpoints fluviales en perfiles longitudinales o thalweg. Tomado de Burbank & Anderson (2001).

Con el estudio de dichos perfiles se definieron una serie de knickpoints a lo largo del cauce de los esteros estudiados, obteniendo 141 puntos, cuyas coordenadas se encuentran resumidas en la sección de Anexos C. La Figura 3.4 muestra una gran distribución de los knickpoints en toda el área de estudio, con una mayor concentración en las zonas cordilleranas y precordilleranas, foco principal de este trabajo.

En particular, lo relevante para este trabajo es que dichos knickpoints pueden ser generados tectónicamente, formados por plegamiento diferencial o fallamiento (Burbank & Anderson, 2001). Por lo tanto, contrastarlos con otras observaciones de actividad tectónica puede reforzar las evidencias para proponer la existencia y traza de una falla en una zona determinada.

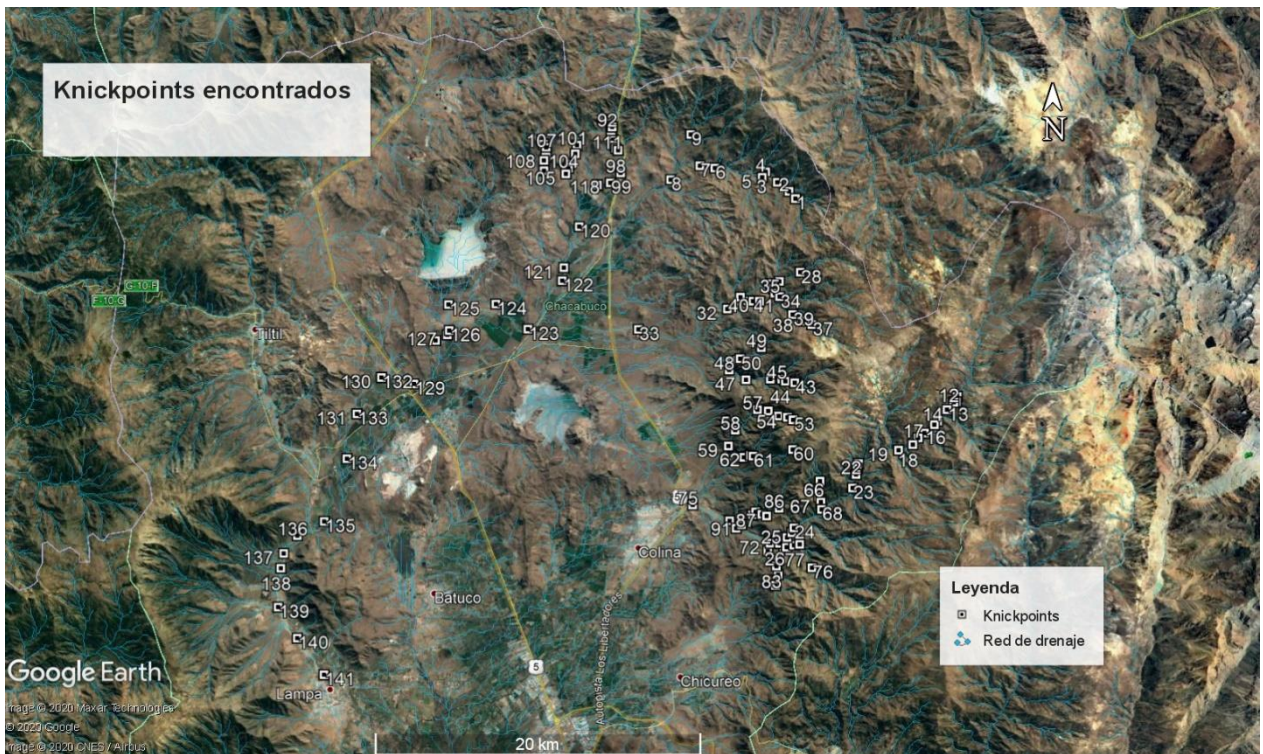


Figura 3.4: Knickpoints encontrados mediante el software RiverTools 3.0 distribuidos en el área de estudio.

- Índices de Sinuosidad

La sinuosidad es otro elemento importante utilizado en este trabajo, y se define como la relación de la longitud del thalweg a la longitud del valle (Burbank & Anderson, 2001). Así, es posible establecer un Índice de sinuosidad (IS), dada por esta relación entre la trayectoria del cauce y su distancia horizontal en un cierto tramo. Debido a esto su valor mínimo será de 1, indicando una perfecta correlación entre ambas distancias (un cauce “recto”), mientras que valores mayores indicarán que el río, estero o quebrada ha hecho curvas o meandros en su trayectoria, de modo de recorrer una mayor distancia entre 2 puntos dados.

En particular, en este trabajo su interpretación será útil como indicador neotectónico, ya que según autores como Burbank & Anderson (2001), debido a que la sinuosidad tiende a aumentar con una mayor pendiente (hasta un umbral), es de esperarse que la deformación activa podría ser revelada por patrones de cauces que muestran cambios localizados en la sinuosidad a lo largo de su curso o que muestren un cambio temporal en la sinuosidad a lo largo de una determinada distancia. Esto se ejemplifica en la Figura 3.5, donde se muestra la relación entre un cambio de pendiente y su respuesta en el IS en zonas de alzamiento local.

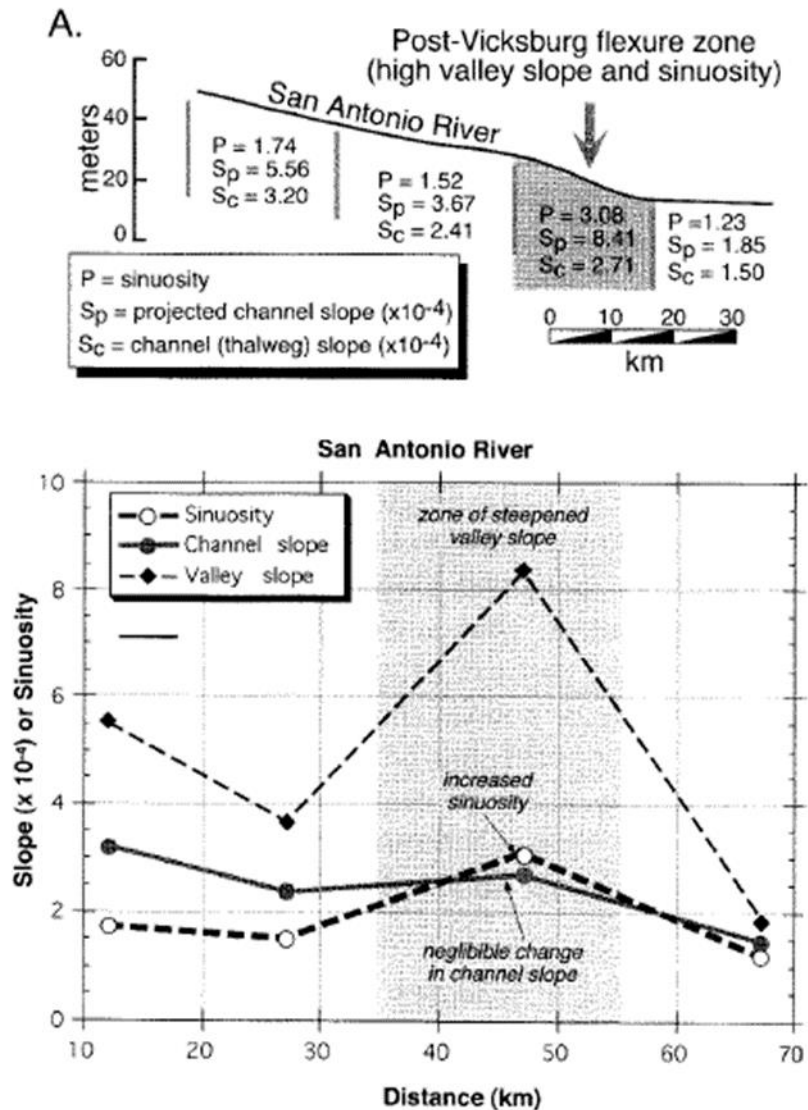


Figura 3.5: Respuesta fluvial ante un alzamiento localizado, en términos de pendiente y sinuosidad. Tomado de Burbank & Anderson (2001).

Shumm et al. (2002) también apoya esta relación, aludiendo a que el río tiende a mantener su gradiente, es decir, la relación de altura en una cierta distancia recta recorrida, por lo que, frente a una disminución de la pendiente, producto de una perturbación, responderá disminuyendo su sinuosidad, mientras que frente a un aumento de la pendiente aguas debajo de dicha perturbación, como respuesta el río tenderá a aumentar su sinuosidad.

Adicionalmente, como referencia para la interpretación de los valores que se obtengan, Burbank & Anderson (2001) proponen que una sinuosidad (IS) cercana a 1 generalmente se interpretará para caracterizar un rango de deformación activa,

mientras que índices de sinuosidad con valores de 2 o más, indicarían un rango frontal con relativamente poca actividad de falla.

En este trabajo se estudiaron 9 quebradas y esteros de la zona de estudio, correspondientes a los principales cauces de la red de drenaje definida anteriormente. Para cada cauce se calculó el índice de sinuosidad cada 1 km. En la Tabla 3.1 se resumen los cauces estudiados, detallando las coordenadas del punto inicial y el largo total. En la sección de Anexos D se incluyen gráficos donde se detallan los valores obtenidos para cada uno de los cauces analizados, mientras que más adelante se utilizarán por zona en conjunto con los demás patrones.

Tabla 3.1: Ríos, quebradas y esteros donde se calcularon los índices de sinuosidad. En cada uno se muestran las coordenadas del punto inicial y el largo total considerado.

Río o quebrada	Coordenada E	Coordenada S	Largo estudiado
Estero Colina	363403.85	6335168.58	30 km
Quebrada La Leona	354328.97	6332260.65	13 km
Quebrada de Lamina	353545.18	6335089.31	25 km
Quebrada del Agua	354771.75	6342505.78	15 km
Estero El Cobre	353218.48	6345187.53	25 km
Quebrada de la Nipa - Est. Sta Margarita - Est. Chacabuco	341976.97	6350961.06	80 km
Quebrada Infiernillo	339399.59	6351365.36	6 km
Quebrada de los Canastos	337921.55	6349032.28	10 km

- Otros indicadores

Algunas evidencias de actividad neotectónica también puede verse reflejada en la evolución topográfica de los frentes montañosos, dependiendo fuertemente de las tasas relativas de fallamiento, erosión y deposición (Burbank & Anderson, 2001). En este sentido, como se muestra en la Figura 3.6, en frentes pasivos los ríos o quebradas que atraviesan la zona de falla en el piedemonte tienden a “rodear” el piedemonte, caracterizado por conos y abanicos más desarrollados en un valle más amplio, mientras que las fallas activas tienden a restaurar su carácter lineal, formando un valle estrecho, cauces proximales, una línea de juntura de piedemonte más recta y un menor desarrollo de conos y abanicos (Burbank & Anderson, 2001).

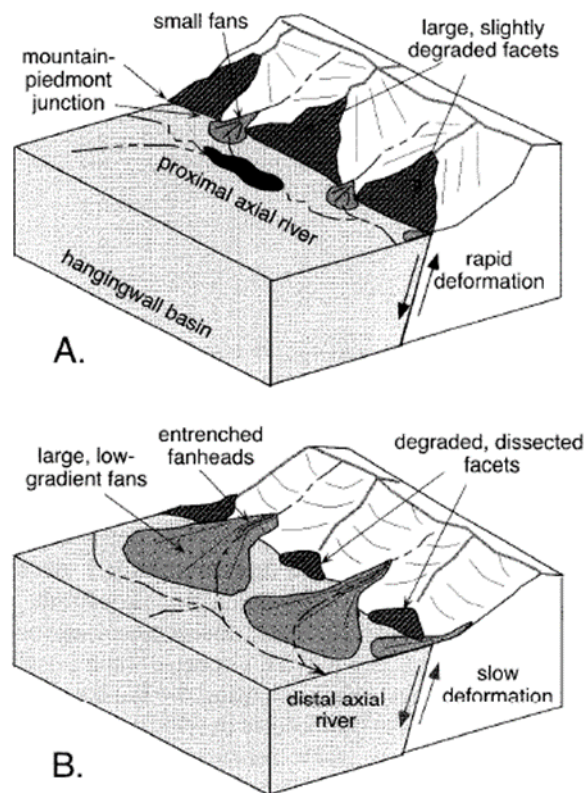


Figura 3.6: Diferencias en un frente montañoso de acuerdo a distintas tasas de deformación, altas o bajas, y su influencia en el desarrollo de depósitos de piedemonte (conos, abanicos...), en el ancho del valle y la distancia o proximidad del río o quebrada. Tomado de Burbank & Anderson (2001).

Adicionalmente a esto, se han tenido en consideración factores geomorfológicos complementarios, como la presencia de remociones en masa en un área determinada, que pudiera eventualmente estar ligada a la actividad neotectónica de la zona de forma desencadenante. Esto último puede ser de importancia ya que en ocasiones es posible distinguir escarpes generados por la propagación de zonas de rupturas durante sismos, y por ende distinguirlas pudiera ser indicador y trazador de eventuales estructuras con actividad reciente (Keller & Pinter, 2002).

También se ha considerado importante poner atención a posibles lineamientos o patrones presentados en la disposición y ocurrencia de unidades de rocas intrusivas y zonas de alteración hidrotermal, que en la zona de estudio tienen una amplia distribución, y que pudieran eventualmente estar asociadas a posibles trazas de estructuras.

Finalmente, la sismicidad de baja profundidad (cortical) también puede ser considerada un indicativo de actividad neotectónica, y eventualmente puede ser posible ligarla a una estructura o a un sistema de fallas en particular, debido a relaciones espaciales que pudieran ser encontrados en el área.

3.3 Mapa de pendientes y dominios geomorfológicos

A partir de un DEM de 12.5 mts obtenido se realizó un mapa de gradientes o pendientes en la zona de estudio, presentado en la Figura 3.7, lo cual permite realizar una primera zonación de áreas donde predominan valores bajos o altos. Esto permite observar la distribución de las principales unidades morfoestructurales, definir distintos dominios geomorfológicos y obtener indicios de lineamientos y relaciones espaciales entre unidades geomorfológicas más locales.

Las observaciones de primer orden muestran que las mayores pendientes se encuentran concentradas en los sectores cordilleranos, tanto al oriente como al poniente de la zona de estudio, en lo que correspondería a la Cordillera Principal y la Cordillera de la Costa. En la zona intermedia se identifica el dominio y desarrollo de la Depresión Central (DC), que es cortada en 2 zonas principales: la zona norte, donde se encuentra el Cordón de Chacabuco con una orientación este-oeste, y en la zona centro-sur, donde se dispone una zona montañosa irregular con una cierta orientación o tendencia noreste. Además, existe una zona de precordillera, con pendientes intermedias, que se distribuye generalmente de la manera norte-sur en la zona de transición entre la Cordillera Principal y la DC. En esta zona se ubican generalmente los depósitos de unidades cuaternarias y remociones en masa recientes, generalmente aluviales y coluviales, y ocasionalmente “entrando” hacia la zona cordillerana gracias a la acción de los ríos, como en la zona noreste del sector Casas de Chacabuco, en la zona nororiente del mapa.

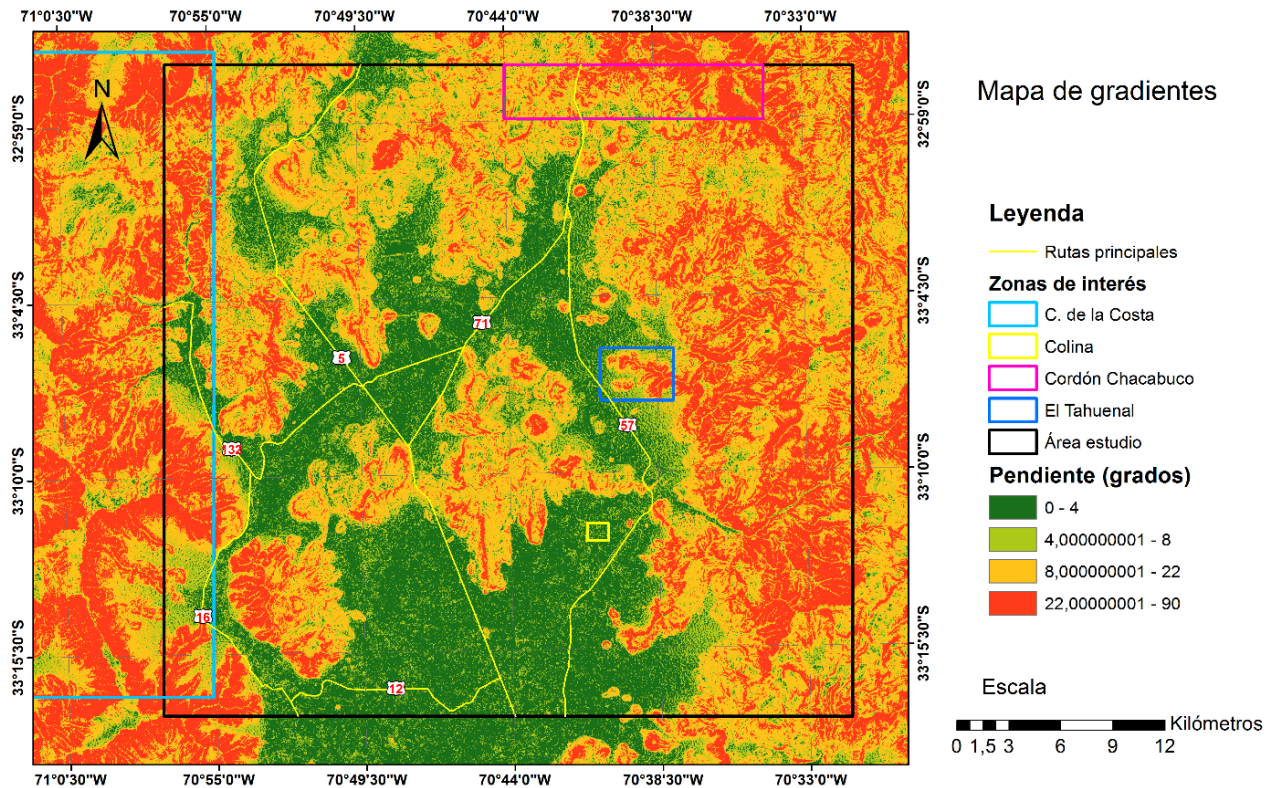


Figura 3.7: Mapa de gradientes de la zona de estudio, realizado con el software Arc Gis, con umbrales de 4°, 8° y 22°. Estos valores son referenciales y han sido utilizados de la misma forma por Troncoso (2014). Se ha destacado además algunas zonas de interés referencial como el área de estudio en color negro y el Cordón Chacabuco en color rosado.

Los dominios geomorfológicos definidos, que se pueden observar en la Figura 3.8, son los siguientes:

- Dominio Cordillerano:** en este dominio se encuentran las zonas con pendientes de mayor valor, en este caso usando un umbral de 22°, y corresponden a los segmentos de la Cordillera Principal y de la Costa que se encuentran dentro del área de estudio. En la zona oriental la disposición general es una tendencia norte-sur aunque con algunas variaciones hacia el E o W, y excepcionalmente alineaciones E-W como en el sector de El Tahuenal (Figura 3.7), al norte de Colina, donde existe una “lengua” montañosa con orientación noroeste, sobresaliendo hacia la DC. En la zona poniente, existe una tendencia noroeste y NS, donde terminando el valle central se empujan las cumbres más abruptamente.
- Dominio de la Depresión Central:** tiene amplio desarrollo en la zona centro del área de estudio y se ve representado en 2 zonas principales. En la zona norte se

encuentran aparentemente varias “cuencas” consecutivas con una alineación predominantemente noreste y extensión norte-sur. Sus delimitaciones son generalmente abruptas y se encuentran “encerradas” por cordones montañosos en forma de U inversa. En el sector sur existe un desarrollo más amplio de la depresión y su extensión sobrepasa el límite del área de estudio hacia el sur.

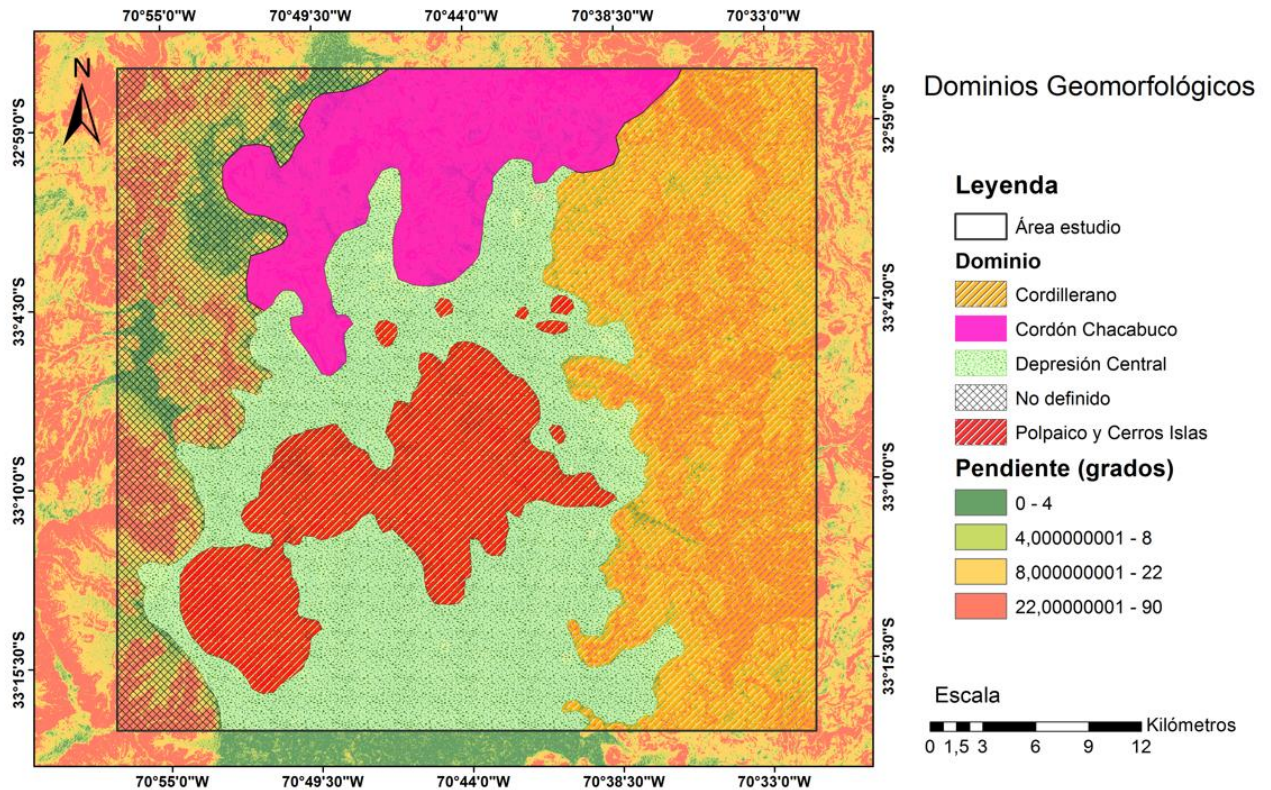


Figura 3.8: Mapa de dominios geomorfológicos, definidos principalmente a partir del mapa de gradientes de la zona de estudio. Se definen 4 dominios, caracterizados en el texto, abarcando toda el área, excepto en la zona más occidental, que no ha sido incluida en este estudio.

- c) Dominio Cordón Chacabuco: este dominio se encuentra caracterizado por un cordón montañoso que se dispone en orientación aproximadamente EW, cortando la Depresión Central y uniendo las alturas de ambas Cordilleras, cuyas cumbres se mueven entre los 1200 y los 1900 m s.n.m. Además, se desarrollan pequeños cordones orientados NS y NNE que “bajan” hacia el sur, generando concavidades que albergan pequeñas cuencas donde se registran depósitos lacustres y algunas zonas tipo embalse.
- d) Dominio montañoso “Polpaico” y Cerros Islas: se dispone en la zona central del área de estudio, cortando la Depresión Central con una cierta orientación NE y encontrándose aparentemente desligada de algún cordón montañoso continuo como en el caso del sector de Chacabuco. Además, de manera similar, en toda el área de la Depresión Central y en particular en esta área con mayor

concentración, se encuentran una serie de cerros “Isla” fuera de las secuencias o cordones cordilleranos. Generalmente corresponden a rocas intrusivas, y algunos se encuentran ligeramente alineados, lo cual puede dar indicios de una génesis similar y de una relación espacial estructural.

A partir de ellos, más adelante se definirán áreas de trabajo principalmente enfocadas en el dominio Cordillerano y el Cordón Chacabuco, que constituyen las zonas montañosas en el área de trabajo.

3.4 Sismicidad Cortical

La Figura 3.9 muestra la sismicidad cortical registrada por el USGS en el área de estudio, entre los años 1950 y 2019, con un filtro de los eventos cuyas profundidades fueron menores a 40 km, de tal forma de obtener solo eventos correspondientes a sismicidad superficial intraplaca, aunque de todas formas los sismos encontrados apenas superan los 15 km de profundidad. Los eventos se mueven en un rango de magnitudes entre 2.0 y 4.2 (Mw) y profundidades de entre 5 y 15 km generalmente. Además, en ella se observa que los sismos no se encuentran ampliamente distribuidos en toda el área, sino que principalmente agrupadas en sectores, como se muestra en las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12.

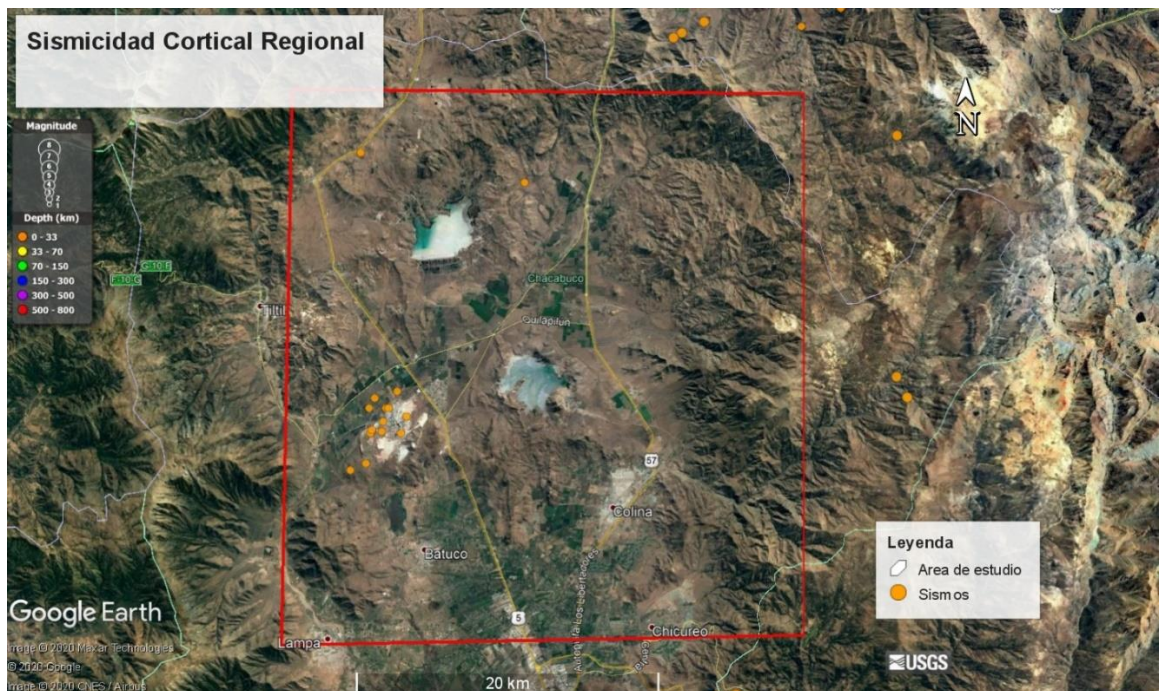


Figura 3.9: Sismicidad cortical encontrada en la zona de estudio entre los años 1950 y 2019, con una profundidad menor a 40 km como filtro. Obtenido de USGS [online] en <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/> (Abril 2019). El área de estudio se encuentra destacado por un polígono en color rojo.

El primer sector (Figura 3.10) se ubica al nororiente de Colina, siguiendo el estero Colina hacia la Cordillera Principal. Acá se registran 2 eventos de magnitud 2.0 y 2.5 (Mw), y 10.2 y 11.7 km de profundidad, respectivamente.

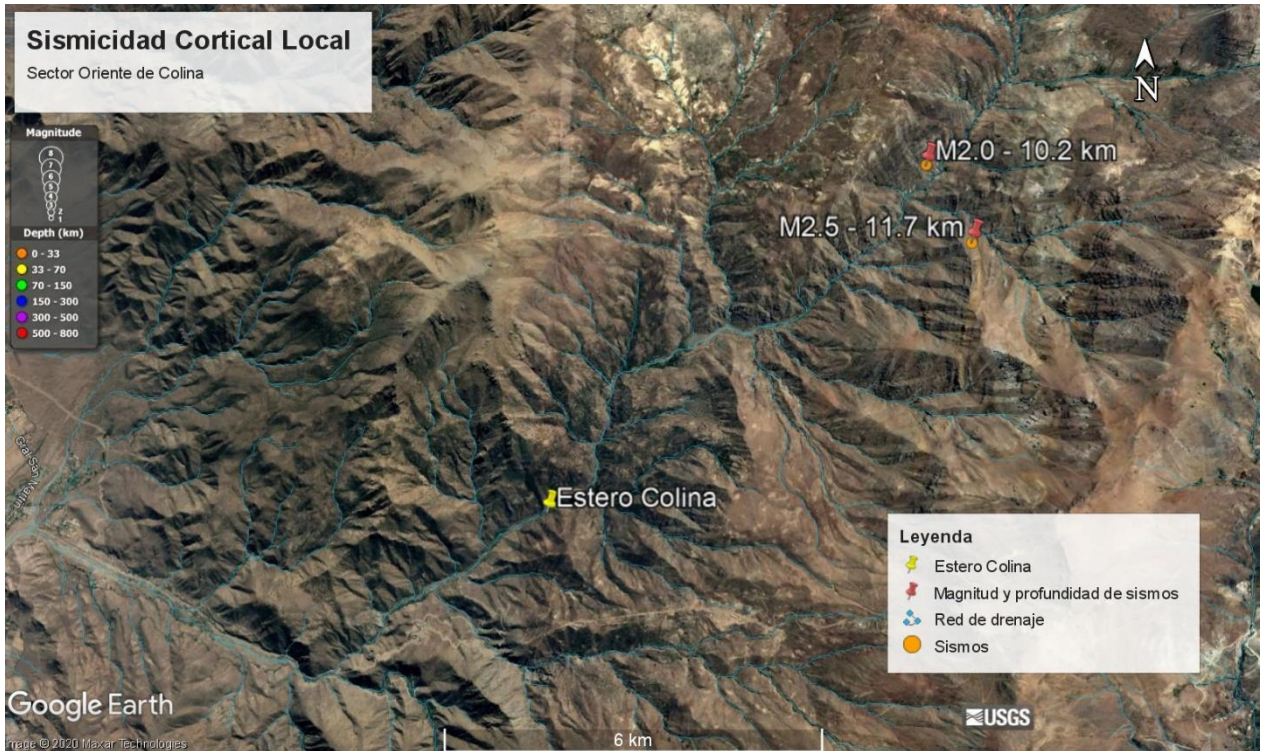


Figura 3.10: Sismicidad cortical registrada en el área del estero Colina, en la zona suroriente.

La mayor cantidad de eventos registrados se ubican en Polpaico (Figura 3.11), con magnitudes similares, entre 3.1 y 3.5 (Mw), y profundidades que varían entre los 8 y los 15 km, destacando una serie de sismos que comparten una profundidad de 10.0 km aproximadamente, probablemente ligados a la actividad minera en la zona.

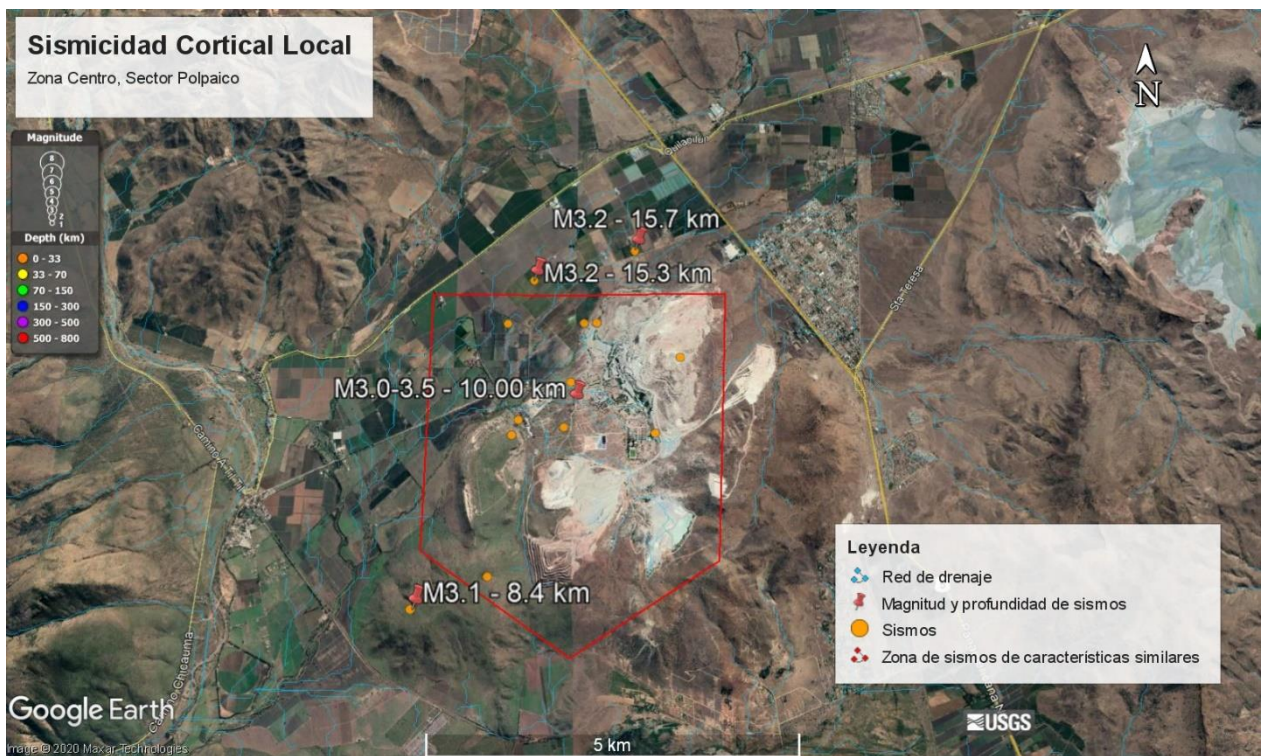


Figura 3.11: Sismicidad cortical registrada en el área de Polpaico, en la zona centro del área de estudio. Se han agrupado una serie de eventos con características similares en un polígono de color rojo, que corresponden a magnitudes entre 3.0 y 3.5 (Mw) y con profundidades de 10.0 km aproximadamente.

Finalmente, se registran también eventos en la zona norte del área de estudio, en el sector de Rungue y en las cercanías de Casas de Chacabuco (Figura 3.12), de magnitudes 3.3 y 3.4 (Mw), y profundidades de 13.0 y 10.0 km aproximadamente.

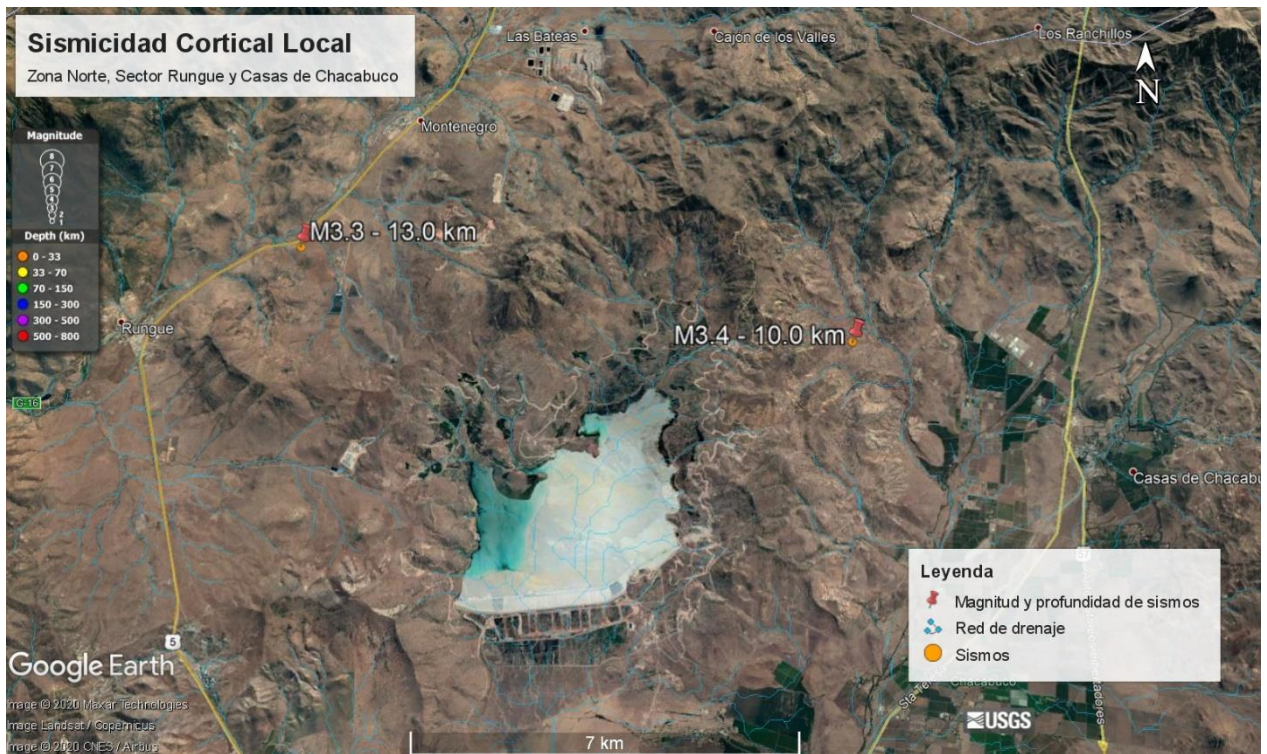


Figura 3.12: Sismicidad cortical registrada en la zona de Rungue y Casas de Chacabuco, en la zona norte del área de estudio.

3.5 Remociones en masa

En la zona de estudio se han encontrado distintos tipos de depósitos relacionados a procesos de remoción en masa, dentro de los cuales se cuentan depósitos aluviales y coluviales, caídas de rocas, deslizamientos, flujos de barro y detritos, siendo muchos de ellos activos actualmente. A partir de ello y junto a lo mapeado por Wall et al. (1999) y Rivano et al. (1993), se ha elaborado un mapa, que se presenta en la Figura 3.13 que incluye las zonas donde se aprecian dichos fenómenos de remociones en masa y algunos puntos de interés que se utilizaron como ejemplo.

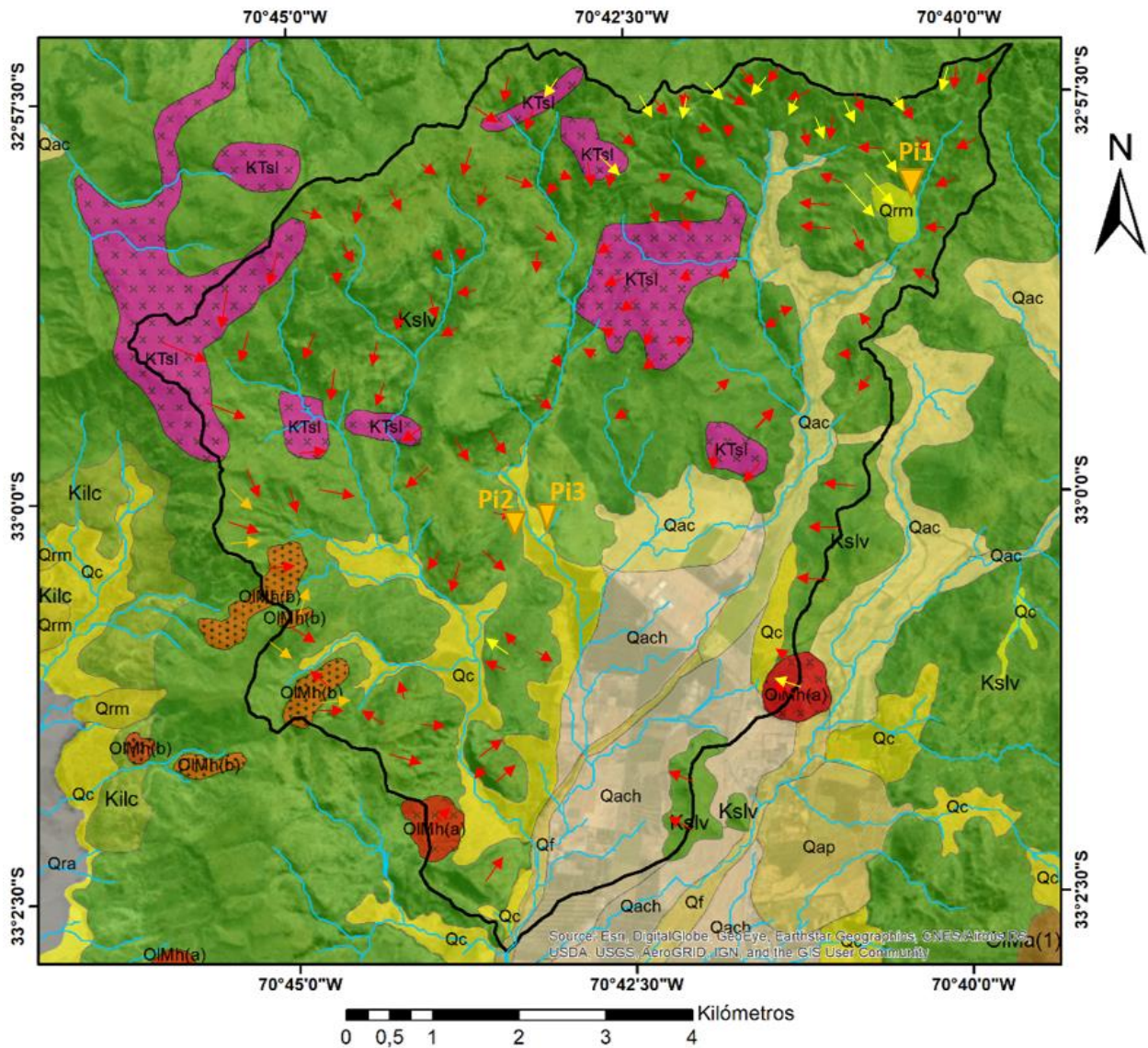


Figura 3.13: Mapa elaborado a partir de Wall et al. (1999), Rivano et al. (1993), Fock (2005), Boyce (2015) y observaciones de terreno, en el cual se han señalado laderas con presencia de caída de rocas y deslizamientos. Además, se muestran algunos puntos de interés (Pi) en color naranja que se utilizan como ejemplo en el texto. Leyenda en la página siguiente.

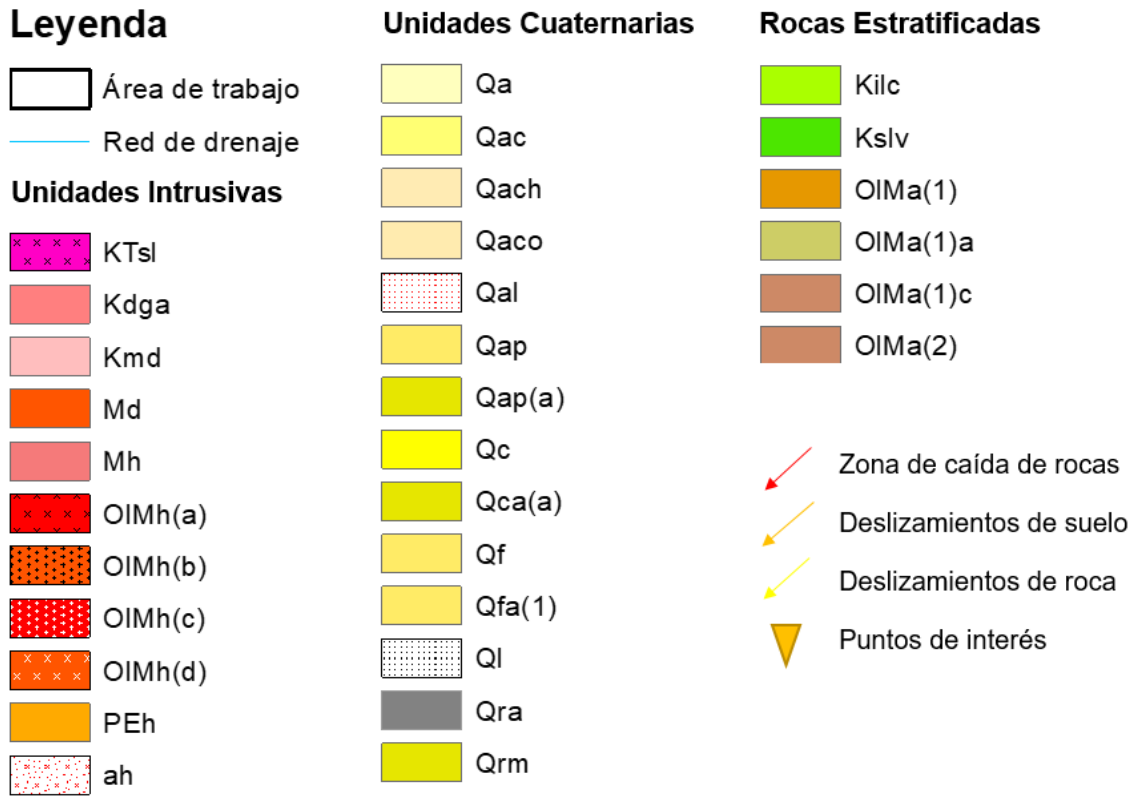


Figura 3.13, continuación: Leyenda del mapa de remociones en masa, elaborado a partir de Wall et al. (1999), Rivano et al. (1993), Fock (2005), Boyce (2015) y observaciones de terreno.

- Deslizamientos

En la zona solo se han encontrado evidencias de deslizamientos de pequeña envergadura en zonas y puntos locales. La mayor parte de estos corresponden a deslizamientos en roca y presentan evidencias de un control estructural, produciendo deslizamientos en bloque de tipo planar y deslizamientos traslacionales, debido a la gran cantidad de fracturas y un grado de meteorización alto, que disminuye considerablemente la resistencia de la roca en las zonas más expuestas. Éstos se concentran principalmente en la zona norte del área de trabajo, como se muestra en la Figura 3.13.

Depósitos y evidencias de deslizamientos en suelo también se han encontrado solo localmente en escala muy pequeña y corresponden a zonas que presentan desarrollo de suelo de algunos metros de espesor sobre la roca, produciendo deslizamientos superficiales. También en zonas donde existen depósitos arenosos en laderas de alta pendiente donde se generan deslizamientos a favor de la pendiente debido a la baja cohesión.

Una de las pocas unidades de remoción en masa identificada de escala media a grande se encuentra en las cercanías del túnel Chacabuco y la Ruta 57, cuya ubicación exacta se muestra en la Figura 3.13 en el punto “Pi1”, en una de las quebradas adyacentes hacia el oriente, como se muestra en la Figura 3.14. En ella se identifica un depósito que se interpreta como un tipo de deslizamiento debido al escarpe, la superficie generada y la morfología observada, además de su contraste con las laderas adenañas.

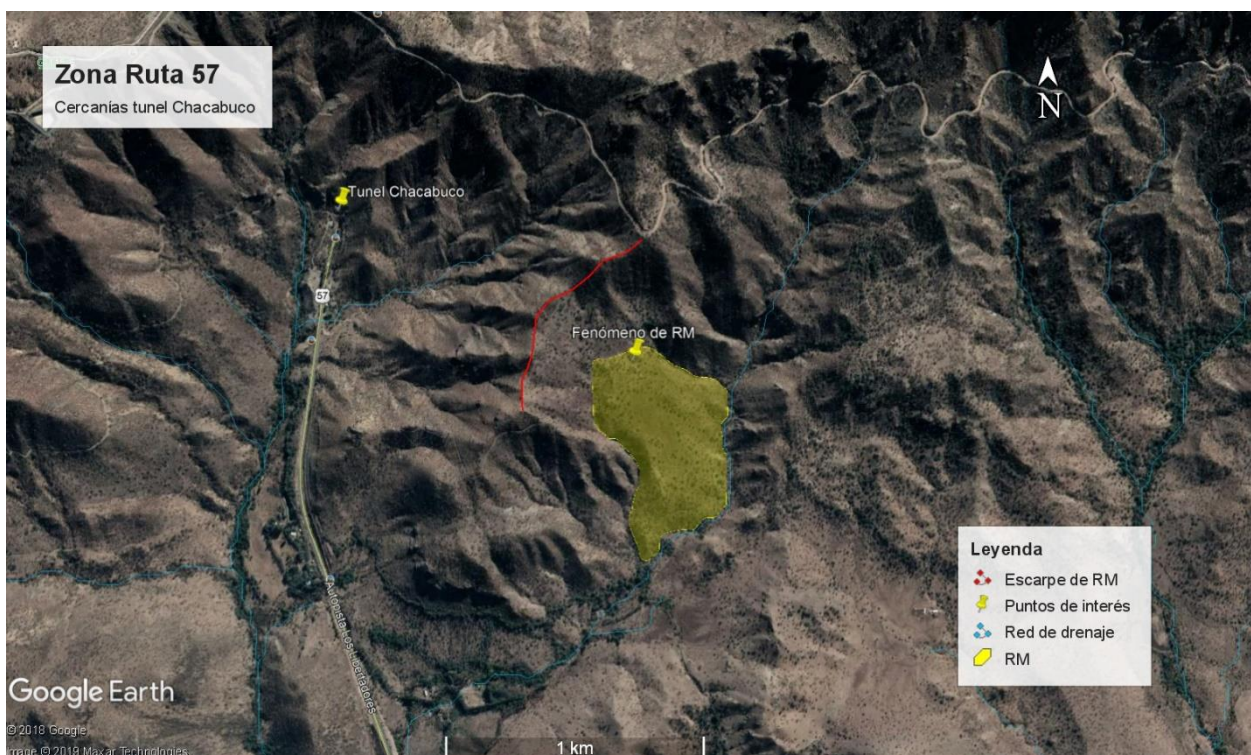


Figura 3.14: Morfología de RM, interpretada como un tipo de deslizamiento, en el sector oriente cercano al Túnel Chacabuco y la Ruta 57, destacada en color amarillo. Además, se ha identificado su escarpe en color rojo. La ubicación de este depósito se encuentra en la Figura 3.13 en el punto “Pi1”.

Otros fenómenos de remociones en masa de interés asociados probablemente a deslizamientos de suelo y/o roca han sido encontrados en el sector del estero Colina y la quebrada del Agua, en el área centro y sur de la zona cordillerana, y serán detallados más adelante en razón de su posible uso como indicador de actividad neotectónica.

- Caída de rocas

Se concentran en las zonas de pendientes más altas y se generan generalmente en afloramientos rocosos en altura que se encuentran altamente expuestos a erosión y meteorización y cuyo nivel de fracturamiento es elevado. Los depósitos se sitúan en las

faldas de los cerros, en quebradas y en las zonas donde la pendiente disminuye, con clastos que varían entre 5 a 30 cm en algunas zonas a grandes bloques de entre 70 cm hasta algunos metros de diámetro, generalmente subangulosos, como se observa en las Figuras 3.15 y 3.16.



Figura 3.15: Zona con abundantes clastos y bloques de hasta 1-2 metros de diámetro producto de caída de rocas, provenientes desde la ladera Oeste. Este sector también corresponde al punto identificado como “Pi2” en el mapa de la Figura 3.13. Fotografía mirando hacia el occidente.



Figura 3.16: Presencia de bloques de hasta 3 metros de diámetro en zona de caída de rocas. Este sector se encuentra en la zona sur de la Quebrada Infiernillo y se ha marcado como el punto “Pi2” en la Figura 3.13 anteriormente presentada. Fotografía mirando hacia el Sureste.

- Flujos de barro y detritos

Los depósitos encontrados están localizados generalmente en cauces y quebradas activas, donde hay gran depositación de clastos y bloques producto de desprendimientos de rocas y ocasionales inyecciones de fluido producto de precipitaciones intensas durante períodos cortos de tiempo. Generalmente estos depósitos tienen extensiones de unas decenas de metros cuadrados y entre 5 a 25 metros de longitud, como por ejemplo el mostrado en la Figura 3.17.



Figura 3.17: Depósito de flujo de detritos de aproximadamente 6 mts de ancho y 30 mts de largo, en el sector del término de la quebrada Infiernillo, en el punto identificado como "Pi3" del mapa presentado en la Figura 3.13. Fotografía mirando hacia el Sur.

Existen algunos depósitos de mayor envergadura, como el que se muestra en la Figura 3.18, donde se aprecia un gran tamaño de clastos, pudiendo adjudicarse a una remoción en masa tipo avalancha, proveniente probablemente de afloramientos rocosos que se encuentran al oeste. Además, el depósito se encuentra fuera del rango de algún cauce o quebrada activa.



Figura 3.18: Depósito de remoción en masa indiferenciado, aunque posiblemente ligado a un fenómeno tipo avalancha, con clastos de hasta 5 metros de diámetro. Este punto se encuentra unas decenas de metros al norte del punto "Pi2" del mapa de la Figura 3.13. Fotografía mirando al Norte.

4 Análisis por Zonas de trabajo

A continuación se realiza un análisis con un mayor nivel de detalle, definiendo 5 zonas principales, como se muestra en la Figura 4.0: una zona norte, una zona centro y sur en la parte oriental (precordillera), una zona central y una zona sur poniente. En ellas se lleva a cabo la identificación, análisis y contraste de indicadores neotectónicos, sumado a algunas observaciones geomorfológicas complementarias. Posteriormente, se generan mapas de lineamientos encontrados en cada zona para finalmente establecer una serie de estructuras inferidas propuestas.

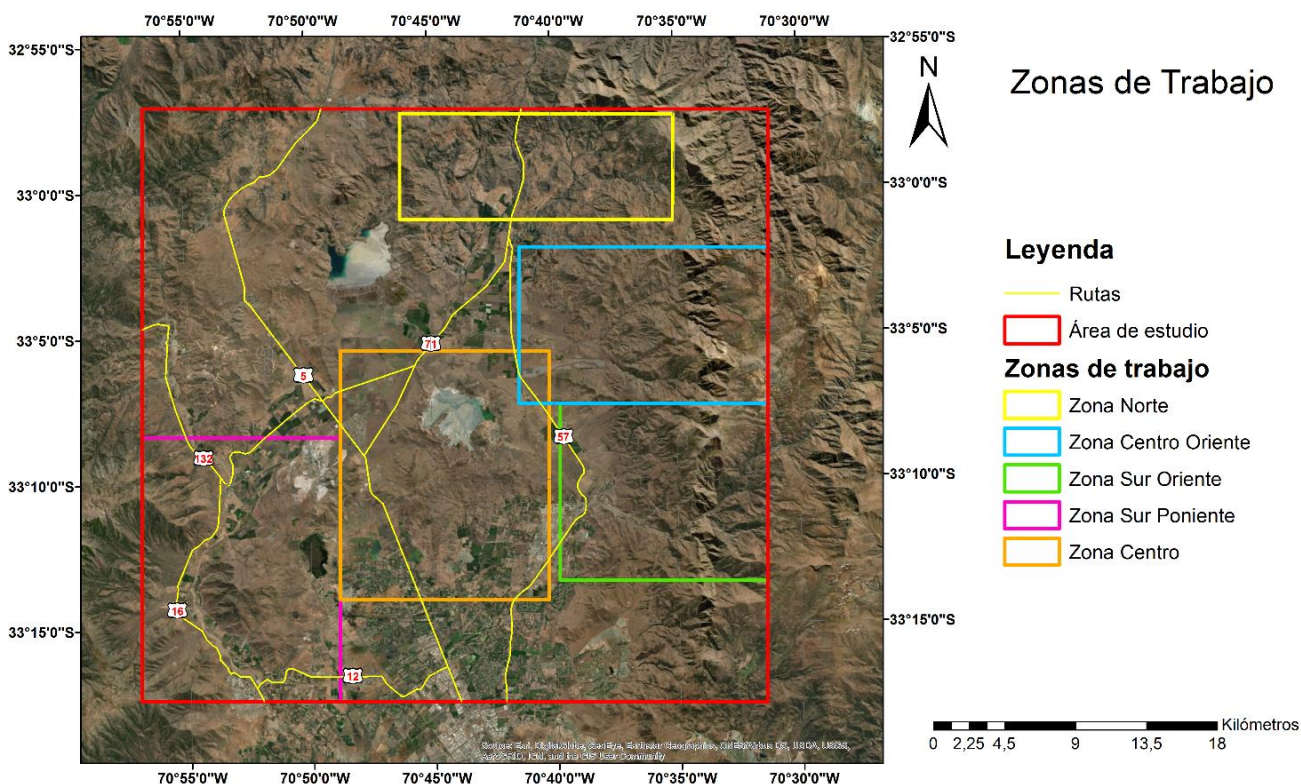


Figura 4.0: Zonas de trabajo, diferenciadas en colores de acuerdo a la leyenda que se muestra en la figura. Además se incluyen las rutas principales, en color amarillo, y el área de estudio, en un cuadrilátero rojo.

4.1 Zona Norte

En la zona norte se han estudiado una serie de esteros y quebradas, como se muestra en la Figura 4.1, encontrando una mayor actividad generalmente tanto en la zona oriente, en torno al estero El Cobre, como en la zona poniente, asociado a las cercanías de la quebrada Infiernillo.

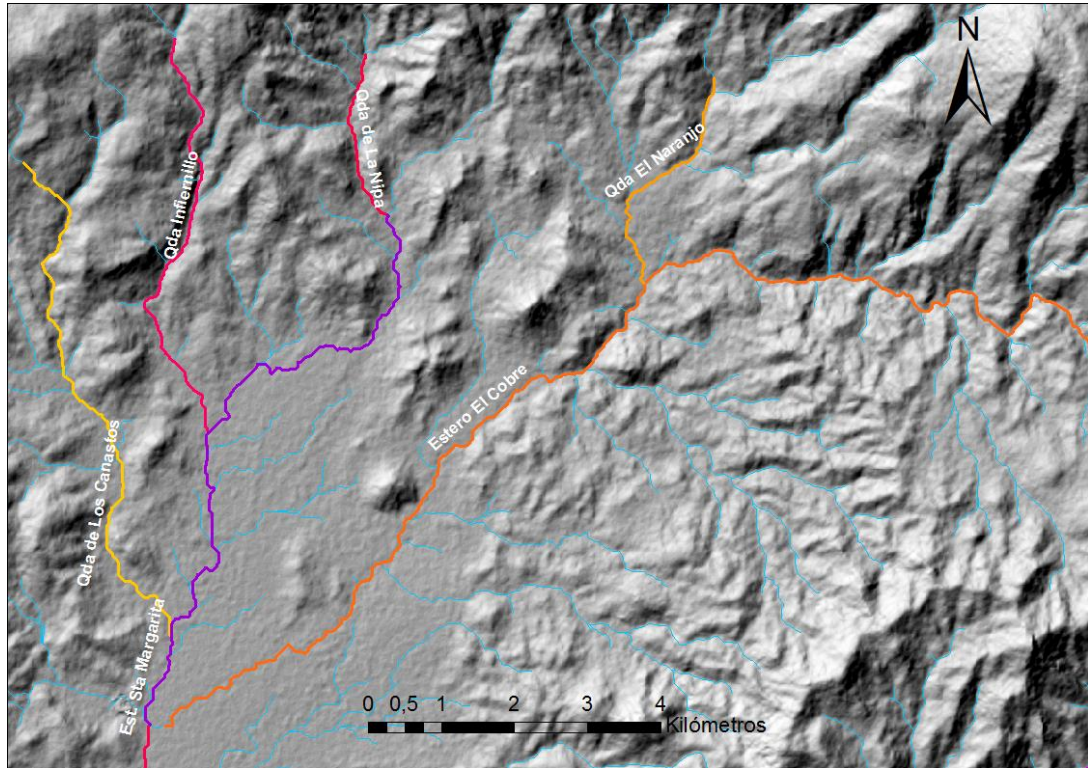


Figura 4.1: Ríos, esteros y quebradas estudiadas en la zona Norte. La imagen de fondo corresponde al Hillshade de 12.5 metros del área de estudio y en celeste se presenta la red de drenaje.

Los perfiles longitudinales obtenidos para los thalweg de las quebradas se muestran a continuación en las Figuras 4.2 y 4.3, para el estero El Cobre, la quebrada El Naranjo, la quebrada de La Nipa, la quebrada Infiernillo y la quebrada de Los Canastos.

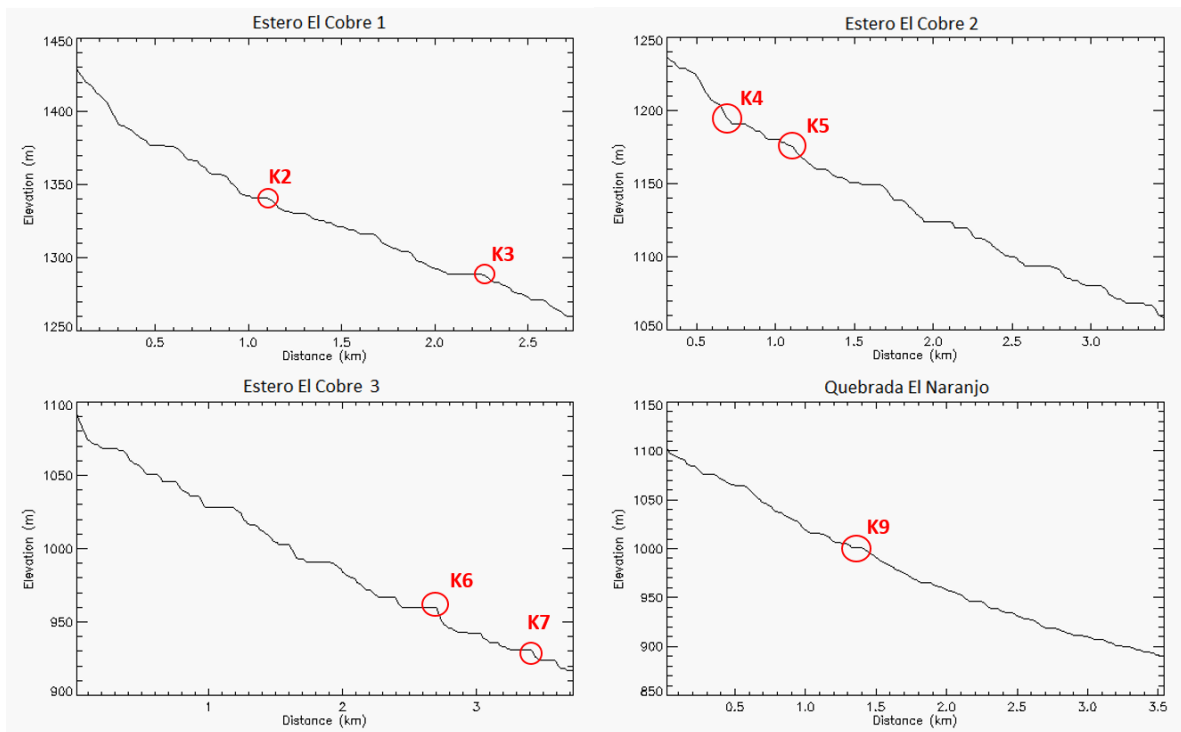


Figura 4.2: Perfiles longitudinales del estero El Cobre, segmentado en 3 partes, y la quebrada El Naranjo. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

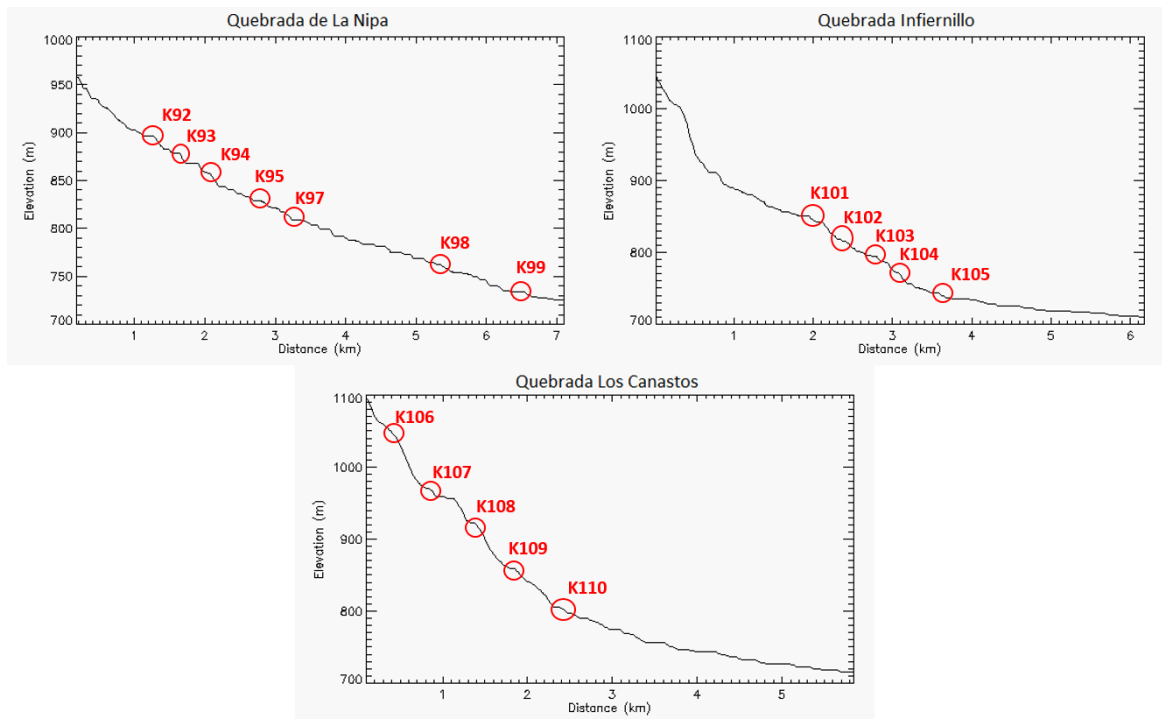


Figura 4.3: Perfiles longitudinales de la quebrada de La Nipa, la quebrada Infiernillo y la quebrada Los Canastos. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

A partir de ellos se definieron knickpoints, según lo explicado anteriormente, obteniendo una serie de puntos planteados en las Figuras 4.4 y 4.5.

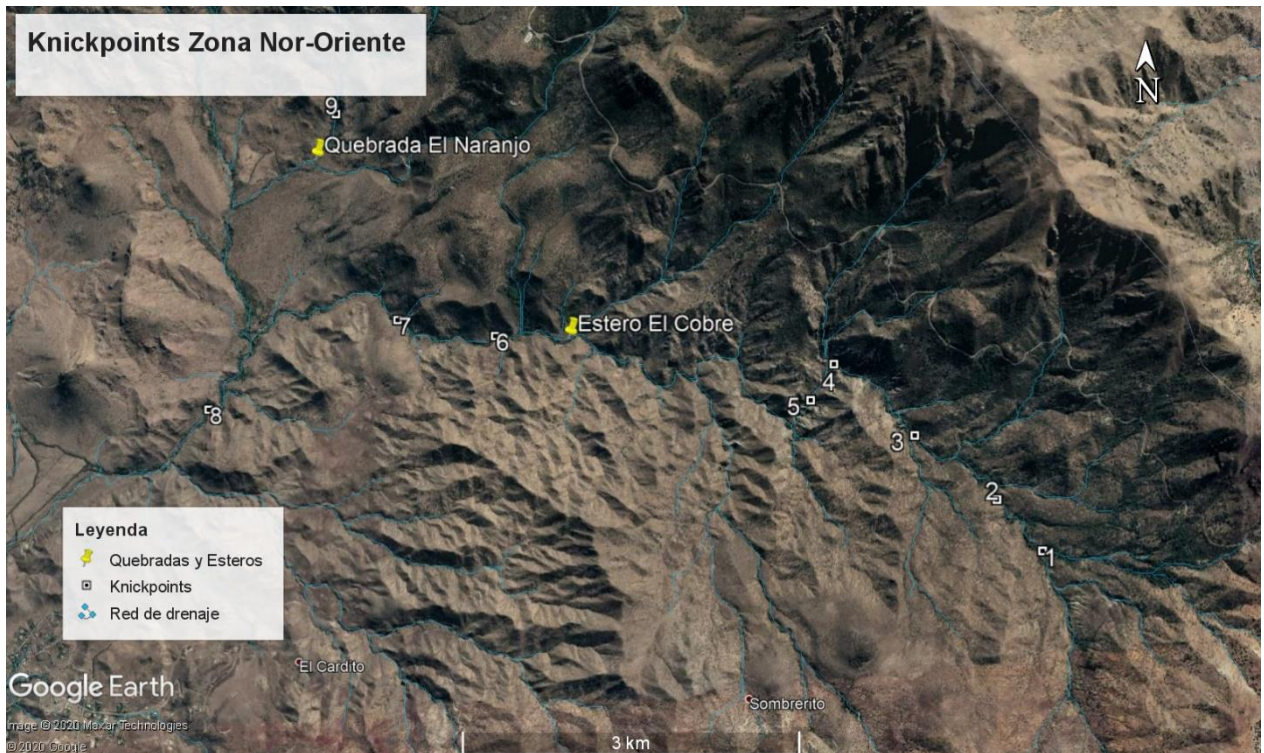


Figura 4.4: Knickpoints planteados en el sector oriente de Casas de Chacabuco. Imagen tomada de Google Earth.

En la zona oriente de Casas de Chacabuco (Figura 4.4) los puntos se encuentran poco agrupados y espaciados de forma tal que es posible atribuirlos a distintas causas. En este sector se registran algunos cambios de litología debido a la zona de contacto entre las Formaciones Abanico y Lo Valle, por lo que parte de los knickpoints podrían estar asociados a estos cambios, además de algunas unidades de remociones en masa y la actividad de estructuras.



Figura 4.5: Knickpoints sector Chacabuco, zona norte del área de estudio. Imagen tomada de Google Earth.

En el sector norte de Chacabuco también existen varios puntos que pudieran estar ligados a actividad neotectónica, especialmente en la zona de la quebrada Infiernillo y la quebrada de Los Canastos. También existe una amplia distribución de intrusivos presentes en la zona, por lo que parte de los knickpoints podrían estar asociados a estos cambios litológicos y de resistencia de rocas.

En la Figura 4.6 se presenta un análisis de patrones observados en la red de drenaje en toda la zona norte, detallados a continuación en 14 puntos de especial interés.

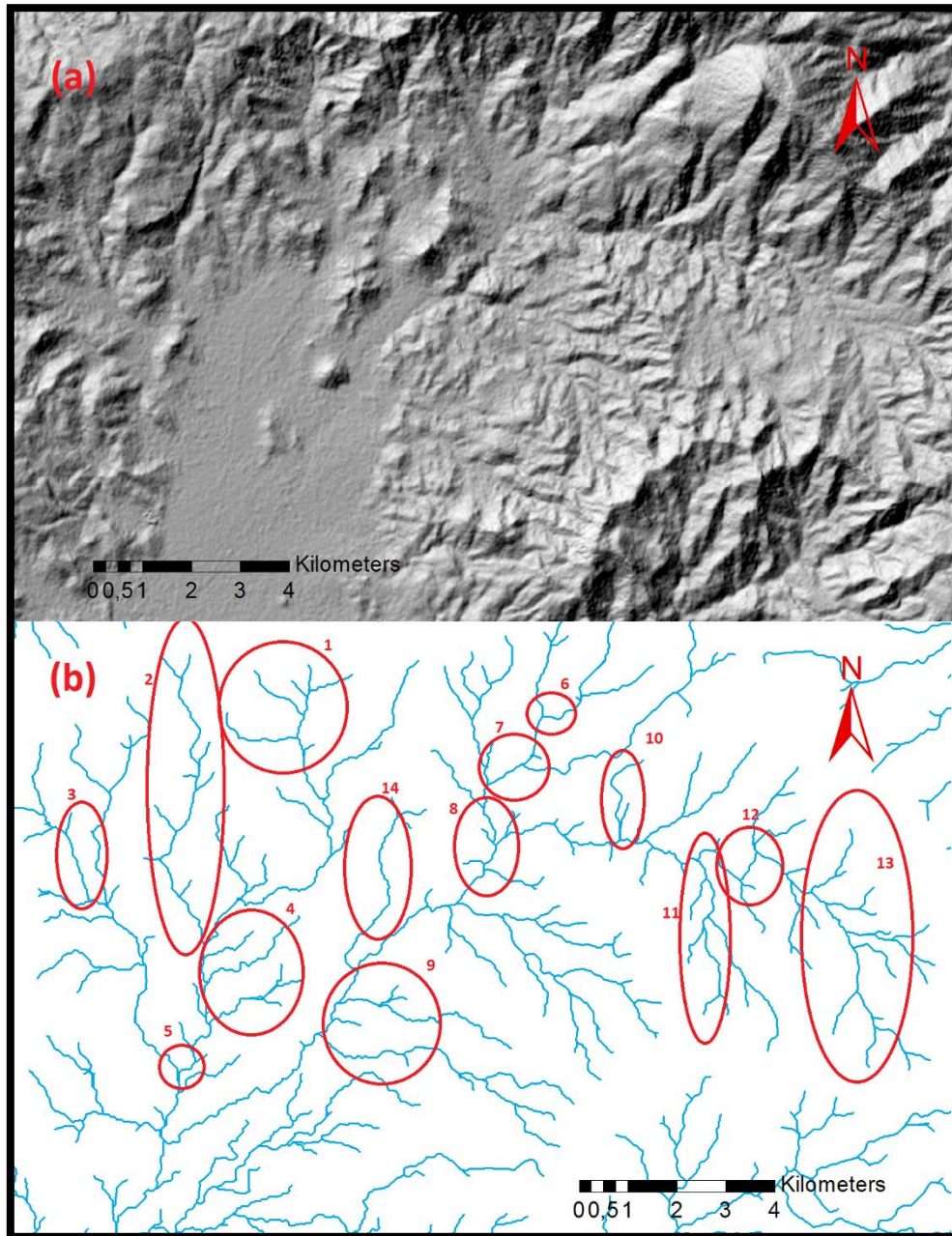


Figura 4.6: Patrones y anomalías detectadas en la red de drenaje en la zona Norte del área de estudio, que se encuentran destacadas en color rojo, junto a una numeración del 1 al 14, que se explican en detalle en el texto. En la figura (a) se presenta un hillshade el área, mientras que en la figura (b) se presenta la red de drenaje correspondiente en color azul, además de las zonas de interés descritas.

1. La quebrada principal se dispone norte-sur de forma bastante recta, con drenajes secundarios desarrollados más hacia el poniente que al oriente, y llegando a unirse con el drenaje principal de forma perpendicular y no oblicua.

2. Se observa un drenaje principal norte-sur con pequeños desvíos abruptos casi perpendiculares. Adicionalmente, se observan drenajes secundarios muy poco desarrollados y no como una red dendrítica.
3. Se desarrolla un drenaje paralelo al cauce principal de orientación NS, con un índice de sinuosidad muy bajo y que llega luego junto a otros cauces de forma perpendicular.
4. Se identifican en esta área solo drenajes hacia el lado oriente y además con una marcada orientación preferente NE.
5. Se observa una bifurcación muy abrupta, donde drenajes secundarios se unen de manera perpendicular al cauce principal.
6. Se aprecia una bifurcación marcada en que uno de los cauces secundarios se une perpendicular (EW) al cauce principal desde el oriente, a pesar de que venía con una orientación NE.
7. Cauce que venía con orientación NS se desvía hacia el poniente con un índice de sinuosidad muy bajo, casi de manera recta.
8. En esta zona el drenaje que venía desde el oriente con una traza EW se desvía repentinamente hacia el sur, uniéndose con otro drenaje que viene desde el Norte que también se desvía extrañamente al oriente.
9. En esta zona el drenaje principal presenta una marcada orientación NE, que mantiene desde el norte hasta que se une con la red del poniente. Además, prácticamente solo presenta drenajes secundarios desde el oriente, algunos de ellos uniéndose perpendicularmente y con orientaciones que se inclinan hacia el sur.
10. Drenaje anómalo que llega muy recto y perpendicular al cauce principal.
11. Drenaje secundario que se desvía muy recto hacia el sur.
12. En esta zona se producen quiebres abruptos, donde el cauce principal se desvía prácticamente en 90° en varias ocasiones.
13. El drenaje principal se desvía marcadamente hacia el Sur. Además, presenta varios drenajes secundarios que se incorporan de manera perpendicular.
14. Drenaje secundario anómalo que tiene una orientación NS que se desvía fuerte al Suroeste de forma paralela al drenaje principal para luego unirse de forma perpendicular.

El análisis de la sinuosidad (IS) del estero El Cobre en esta zona muestra en su parte más oriental una concentración de knickpoints al mismo tiempo en que se mantienen bajos valores de IS, en torno al valor 1.2 (Figura 4.7), mientras que se registra un aumento considerable, a valores de 1.6, en la zona de los knickpoints K4 y K5. En esta zona el cauce del estero se ve interrumpido abruptamente por un “brazo” del cerro que se dispone de forma aproximadamente NS, generando alteración y un desvío en el cauce que rodea esta morfología.

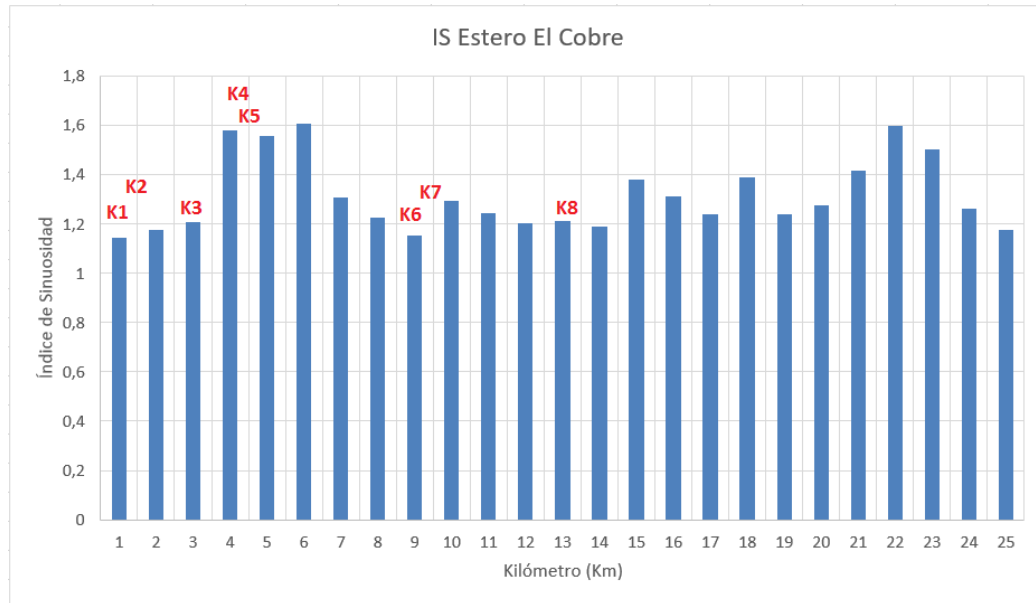


Figura 4.7: Índices de sinuosidad del estero El Cobre. Se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

En esta zona se registran varias morfologías que podrían ser eventualmente fenómenos de remociones en masa antiguos de gran volumen, que caen hacia el S-SW desde las zonas más altas del cordón montañoso. Se realizaron perfiles transversales a estas morfologías, como se muestra en la Figura 4.8, cuyos perfiles de elevación, mostrados en la Figura 4.9, evidencian superficies aterrazadas de forma anómala.

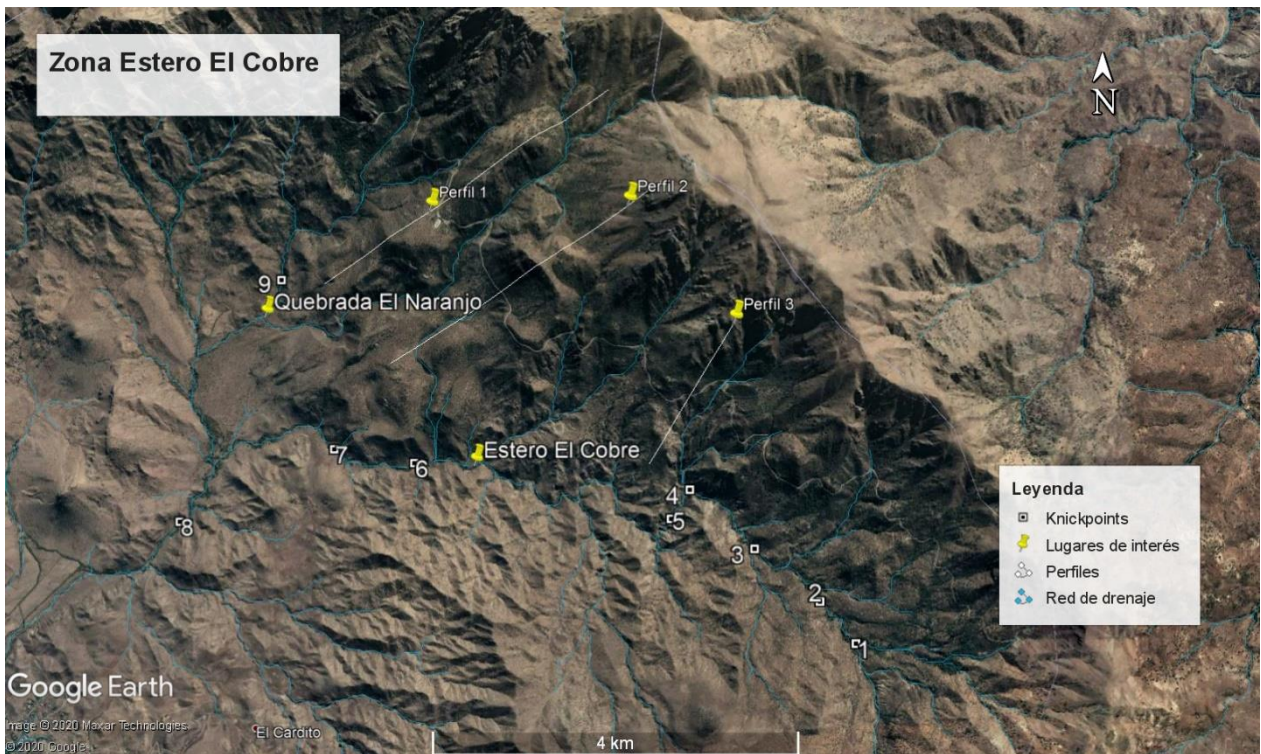


Figura 4.8: Zona del estero El Cobre, donde se muestran knickpoints y perfiles de interés realizados. Imagen tomada de Google Earth.

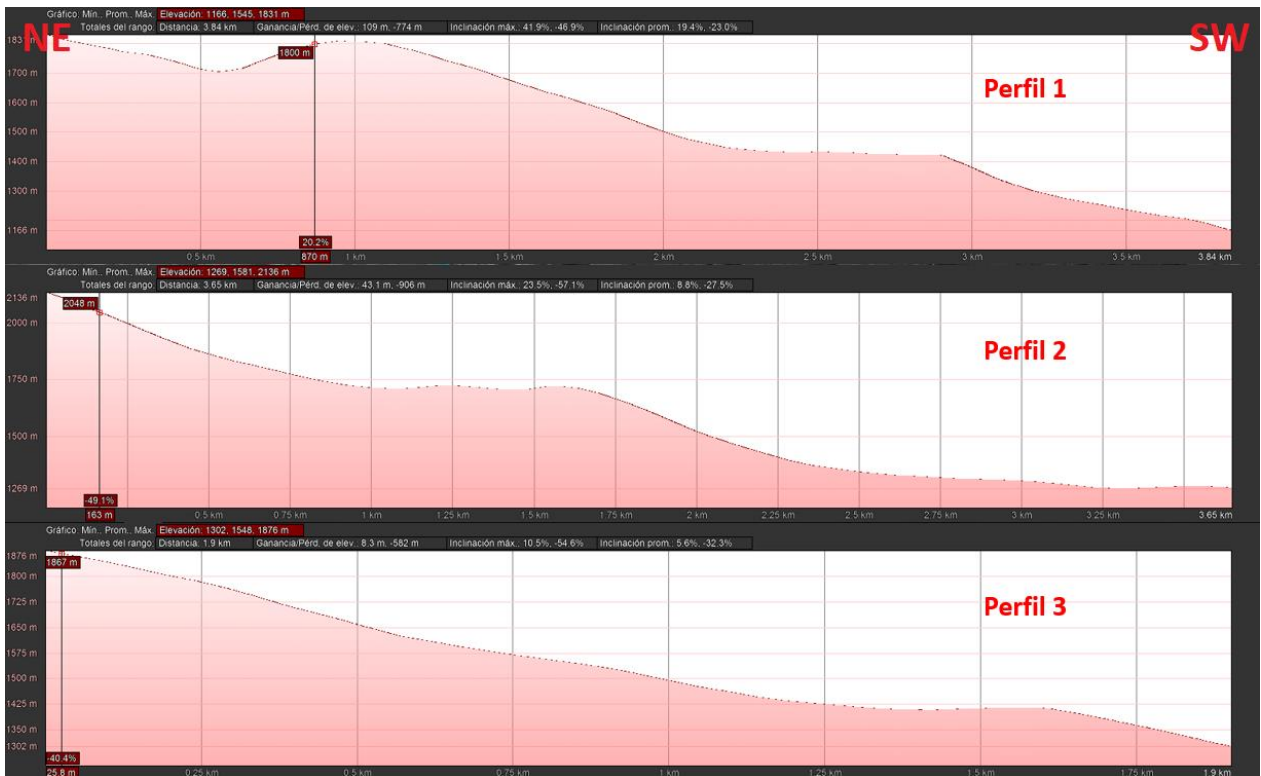


Figura 4.9: Perfiles de elevación 1, 2 y 3, según las trazas mostradas en la Figura 4.8.

Un poco más al occidente, en la zona de la Ruta 57, en una de las quebradas adyacentes, se encuentra una morfología posiblemente atribuida a un fenómeno de remoción en masa de gran volumen (Figura 4.10), asociada probablemente a algún tipo de deslizamiento, cuyo escarpe se encuentra alineado con la misma orientación de la quebrada y la red de drenaje, que a su vez se presenta bastante recta, con una sinuosidad baja en este sector.

En esta zona se encontraría, en base a dichas evidencias, una estructura de orientación preferente NE, siguiendo la disposición de la quebrada y el escarpe generado. Además, es posible seguir dicho lineamiento hacia el norte del cordón Chacabuco donde a unos 6 km de distancia se han registrado 2 sismos de profundidad 5 km, con magnitudes de 3.6 y 4.0 en la escala de Richter, y que pudieran ser evidencia eventual de actividad reciente relacionada a dicha estructura.

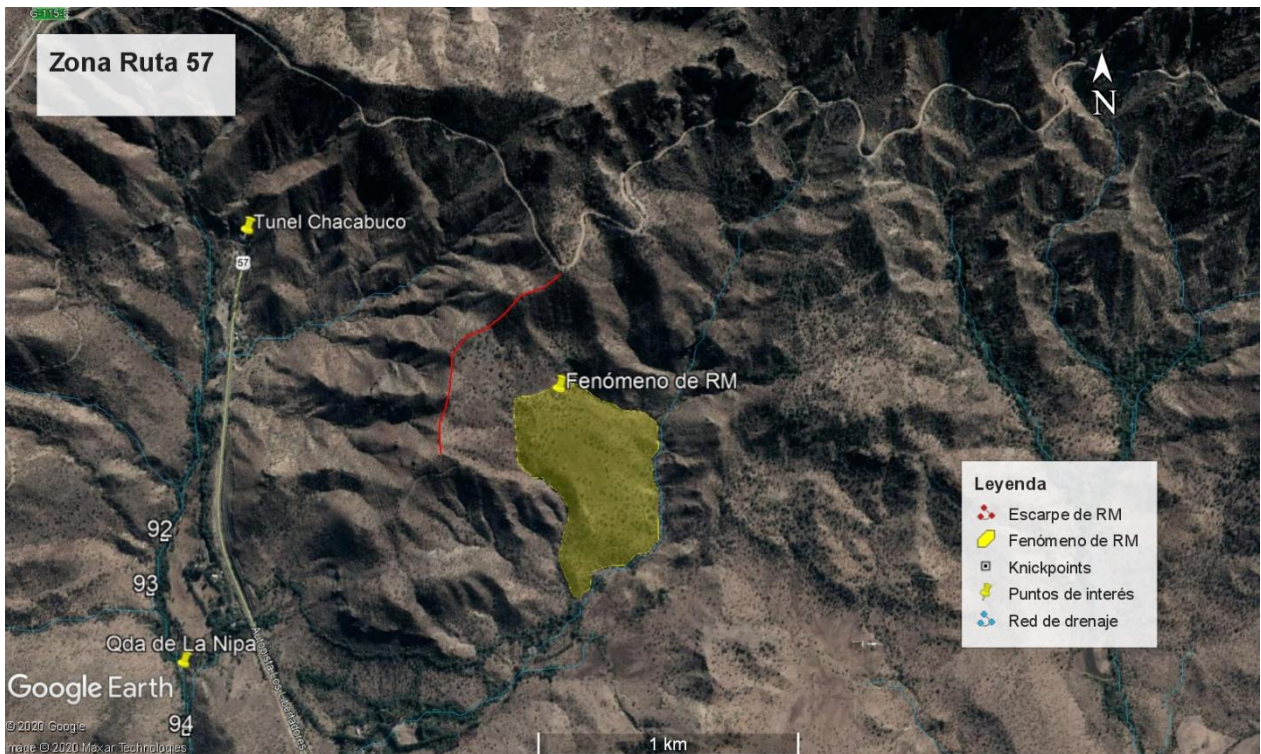


Figura 4.10: Fenómeno de remoción en masa en el sector oriente del Túnel Chacabuco y la Ruta 57. Imagen tomada de Google Earth.

En la porción más occidental de la zona norte las áreas más activas encontradas corresponden a la quebrada Infiernillo, la quebrada de Los Canastos y las zonas aledañas, donde se registra, según las Hojas Tilttil-Santiago (Wall et al, 1999) y Quillota Portillo (Rivano et al, 1993), gran cantidad de unidades intrusivas. Las zonas de knickpoints a su vez se encuentran espacialmente asociadas a rangos de baja

sinuosidad de la quebrada, como se muestra en la Figura 4.11, con valores cercanos a 1.2 y 1.3, al igual que en la Q. de Los Canastos, con valores de 1.15, como se muestra en la Figura 4.12.

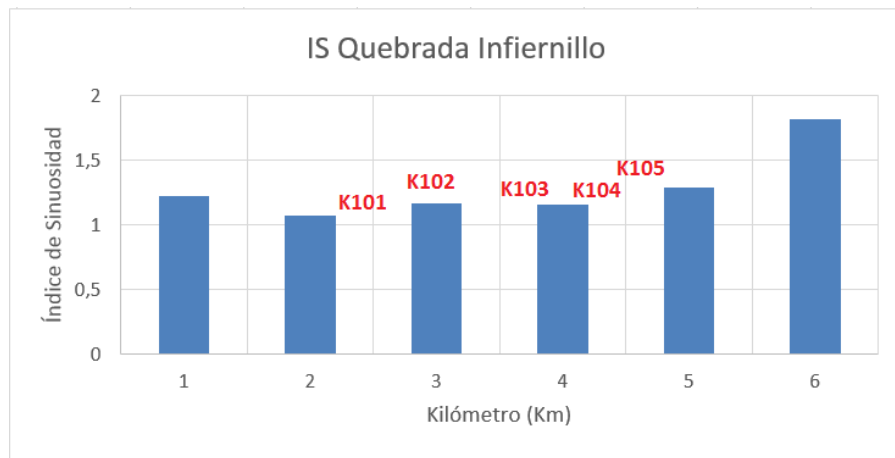


Figura 4.11: Índices de Sinuosidad en la quebrada Infiernillo, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

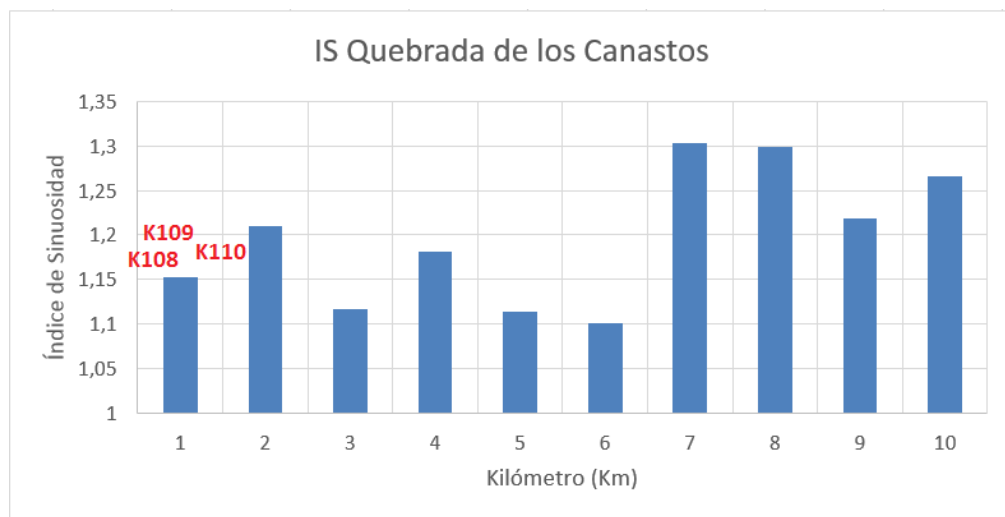


Figura 4.12: Índices de Sinuosidad en la quebrada de los Canastos, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

Adicionalmente, en esta zona se registra un sismo de magnitud 3.4 y 10 km de profundidad, como se muestra en la Figura 4.13, que se encuentra en la zona sur de las quebradas mencionadas anteriormente, en una zona que concentra gran cantidad de knickpoints y presenta lineamientos aparentes en direcciones NE y NW. Más aun, la ubicación del sismo registrado coincide parcialmente con la extensión hacia el sur de la quebrada Infiernillo, sugiriendo actividad reciente en una posible estructura.

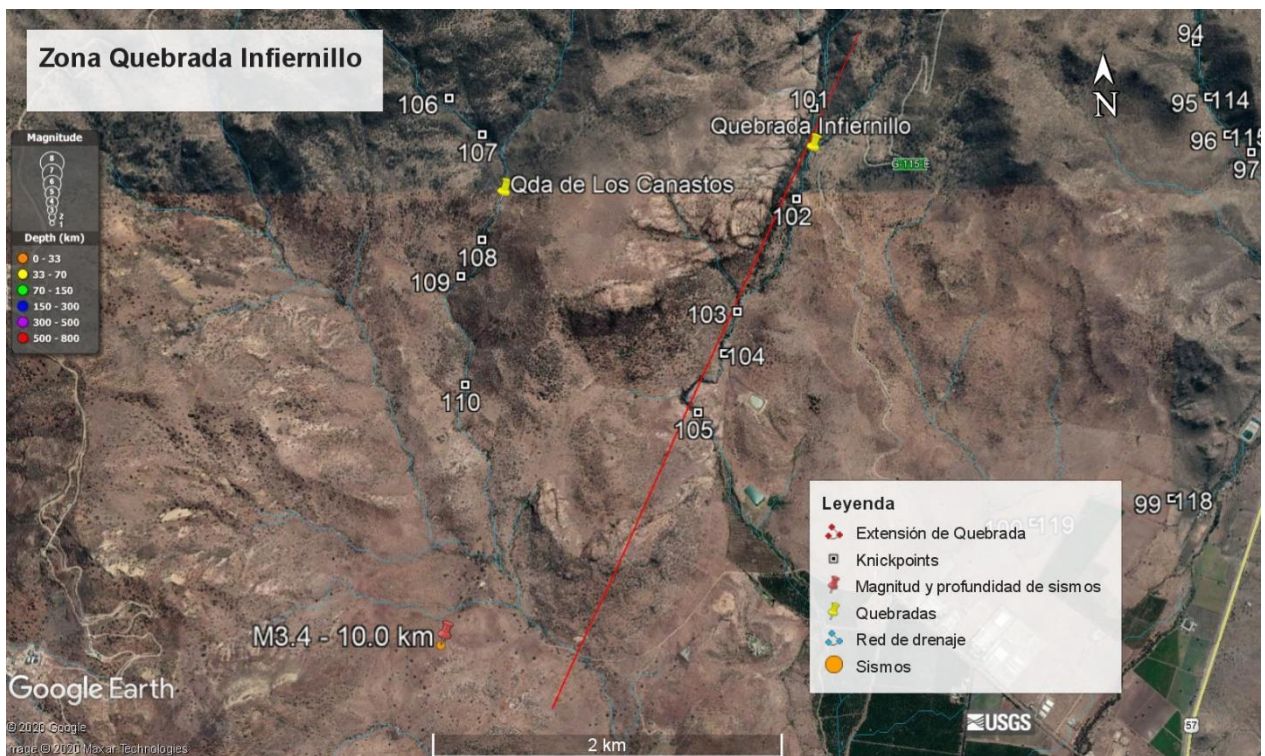


Figura 4.13: Área de la quebrada Infiernillo. Se presenta una extensión de la quebrada hacia el sur en una traza color rojo, debido a su aparente coincidencia con la ubicación de un sismo de Magnitud 3.4 registrado en la zona. Imagen tomada de Google Earth.

Finalmente, con los patrones y evidencias descritos anteriormente, en la zona es posible trazar distintos lineamientos, como se muestra en la Figura 4.14, que pudieran deberse a distintas razones, tales como posibles estructuras, morfologías relacionadas a fenómenos de remoción en masa, alineación de unidades intrusivas, entre otras.

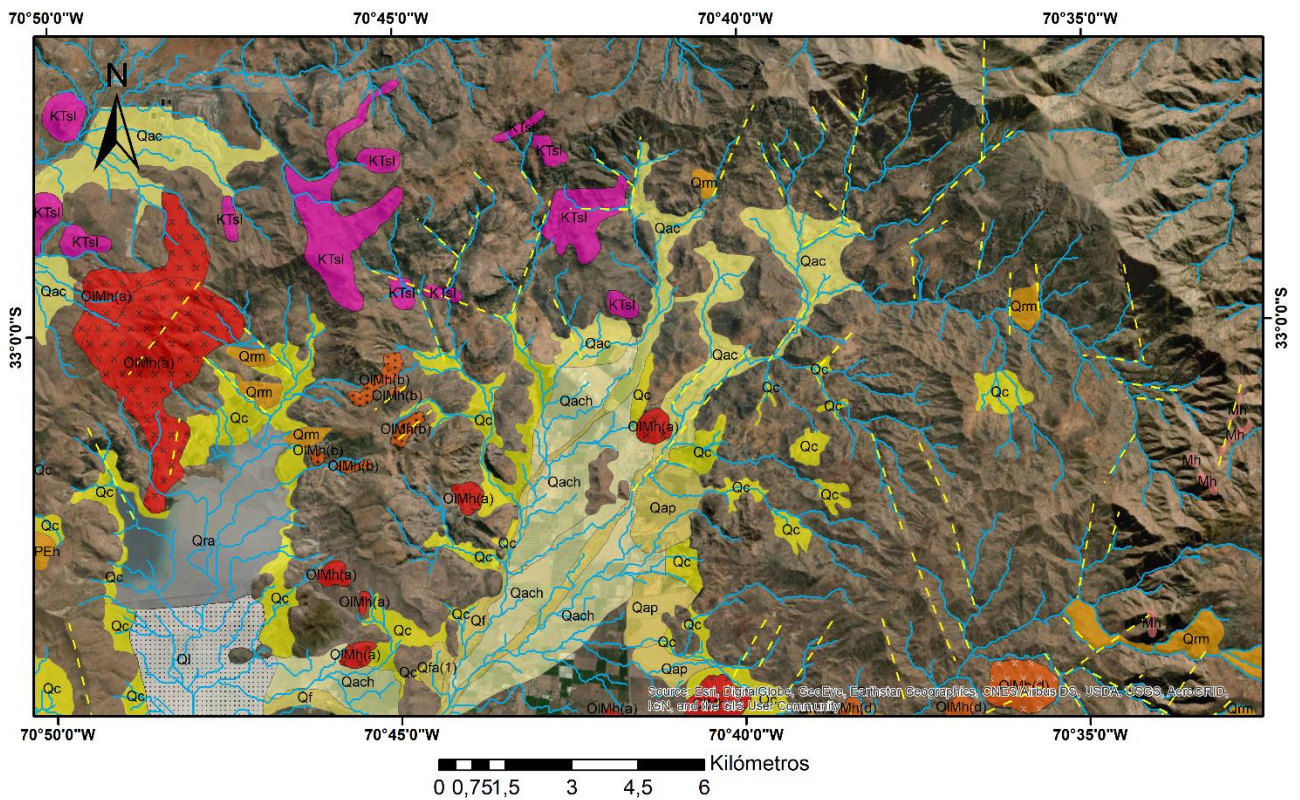


Figura 4.14: Lineamientos encontrados en base a las observaciones antes descritas en la Zona Norte del área de estudio, que se encuentran marcados con una traza de línea punteada en color amarillo. La imagen de fondo corresponde al hillshade de la zona y además se disponen en color rojo las unidades intrusivas en la zona y en color celeste la red de drenaje.

4.2 Zona Centro-Oriente

Esta zona corresponde al sector central de la zona precordillerana y cordillerana del área de estudio y en ella se han estudiado 3 quebradas principales, que se muestran en la Figura 4.15 y sus redes secundarias.

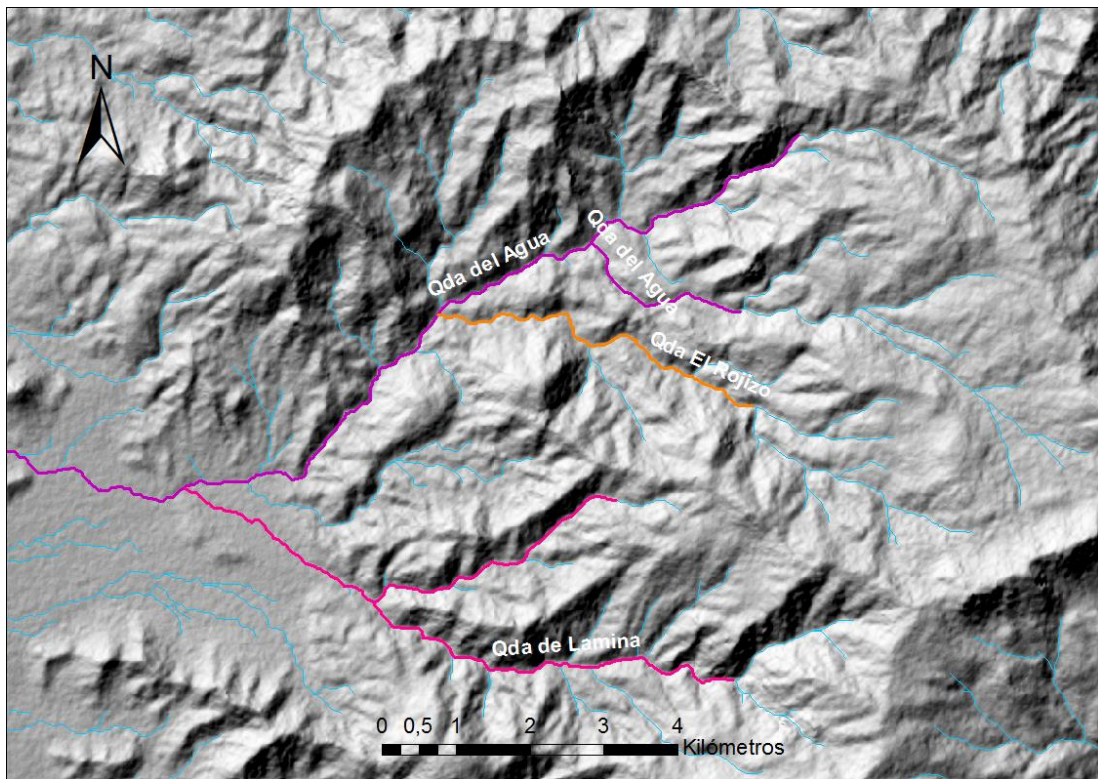


Figura 4.15: Quebradas estudiadas en la Zona Centro-Oriente. La imagen de fondo corresponde al Hillshade del área de estudio y en celeste se presenta la red de drenaje.

Los perfiles longitudinales obtenidos se muestran a continuación en las Figuras 4.16 y 4.17, para la quebrada del Agua, la quebrada El Rojizo y la quebrada de Lamina.

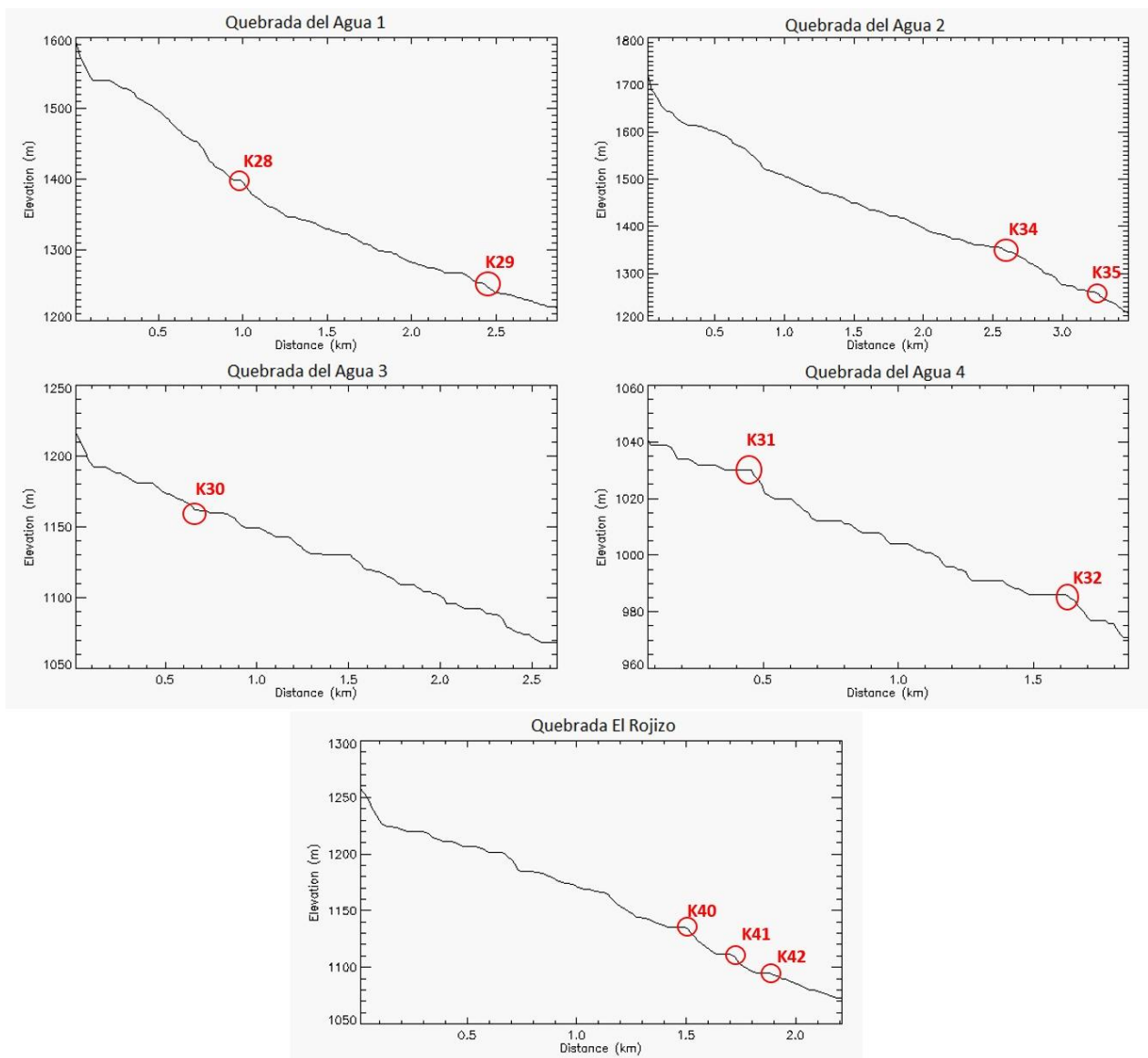


Figura 4.16: Perfiles longitudinales de la quebrada del Agua, segmentada en 5 partes, y la quebrada El Rojizo. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

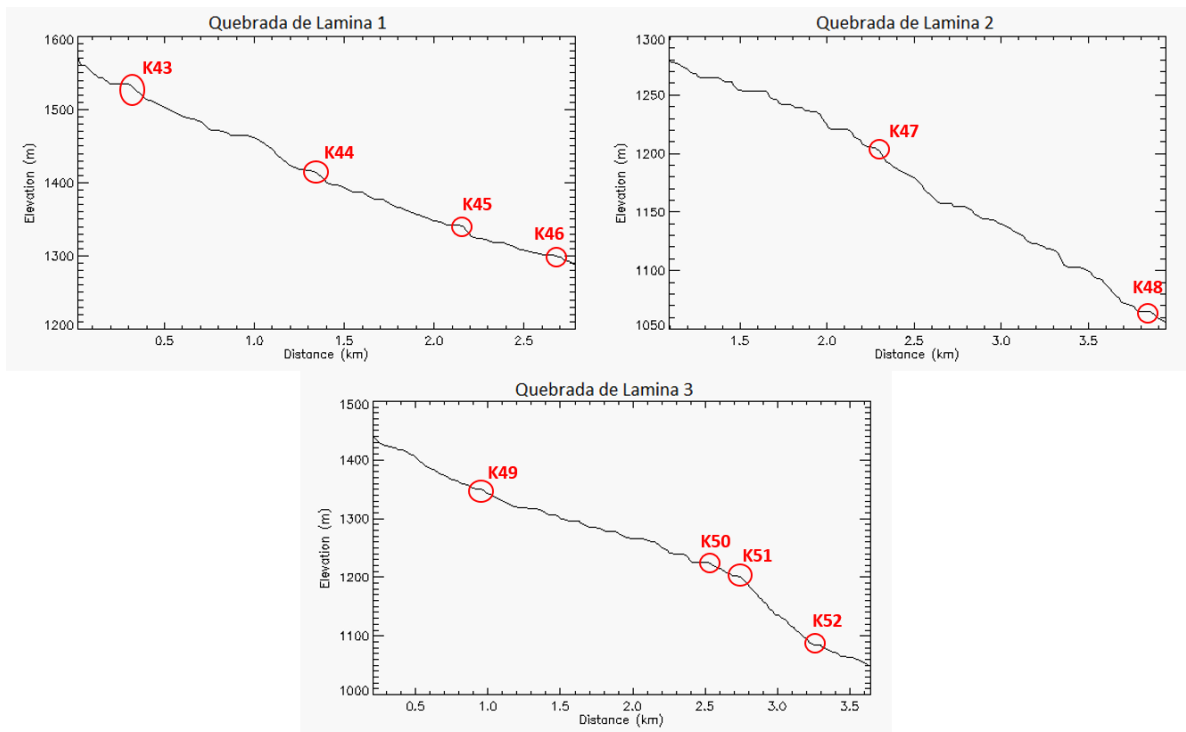


Figura 4.17: Perfiles longitudinales de la quebrada de Lamina, segmentado en 4 partes. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

A partir de estos perfiles se obtuvieron una serie de knickpoints, que fueron ploteados como se muestra en la Figura 4.18.

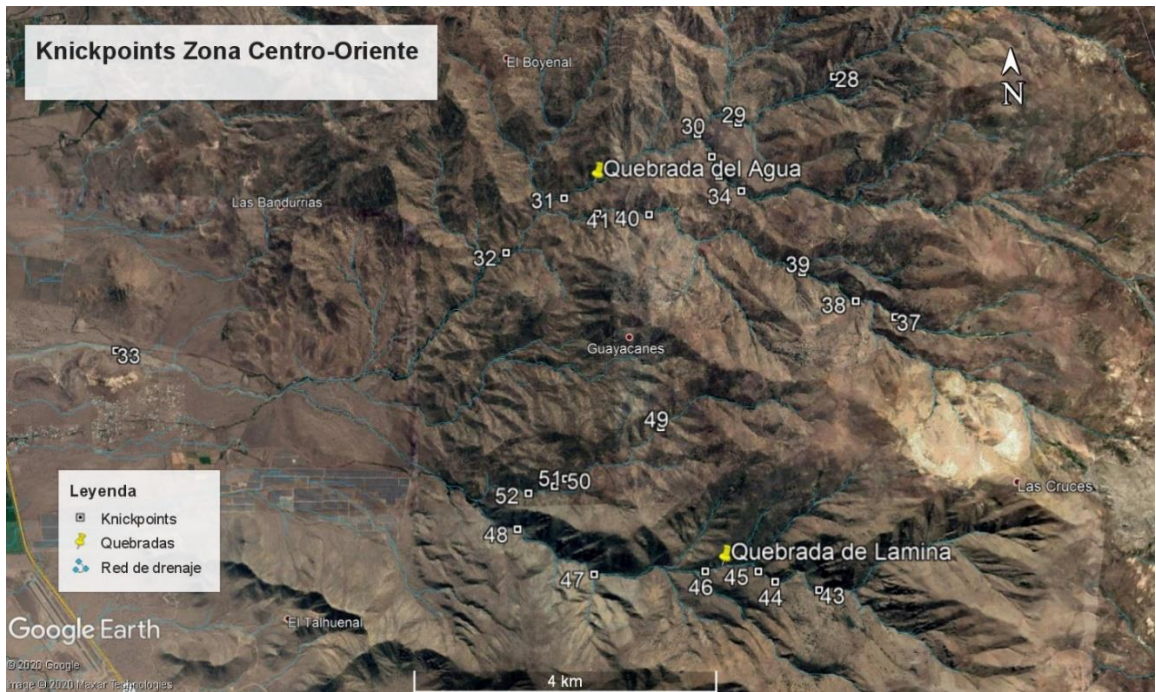


Figura 4.18: Knickpoints en la zona centro-oriente del área de estudio. Imagen tomada de Google Earth.

El estudio de los patrones y anomalías en la red de drenaje muestra 15 zonas de interés, como se muestra en la Figura 4.19, cuya descripción se detalla a continuación.

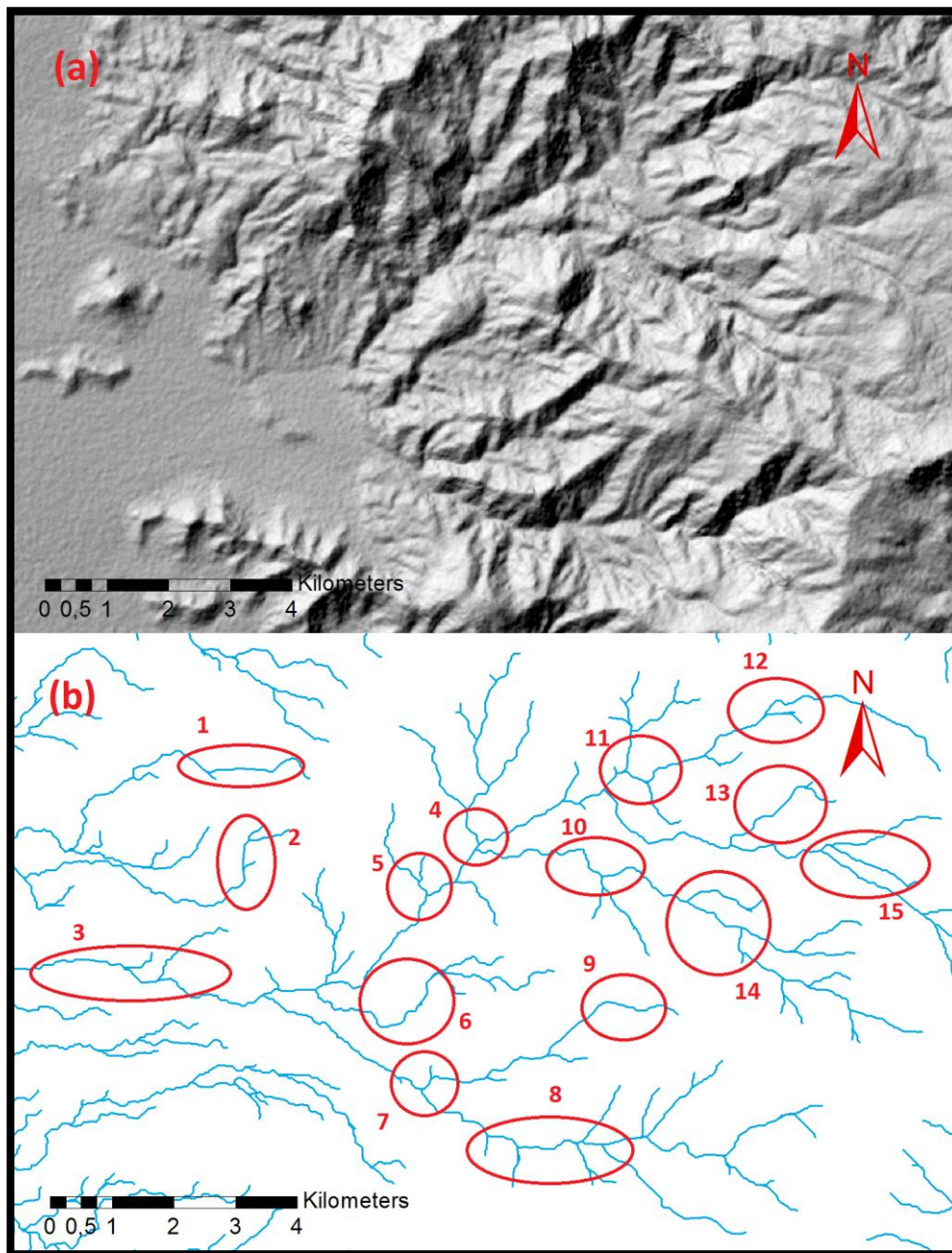


Figura 4.19: Patrones y anomalías detectadas en la red de drenaje en la zona Centro-Oriente del área de estudio, que se encuentran destacadas en color rojo, junto a una numeración del 1 al 15, que se explican en detalle en el texto. En la figura (a) se presenta un hillshade el área, mientras que en la figura (b) se presenta la red de drenaje correspondiente en color azul, además de las zonas de interés descritas.

1. Existe un drenaje muy recto, casi sin aportes secundarios, que se desvía hacia el norte y luego hacia el sur.

2. Se observa un cauce con orientación NS, solo con drenajes secundarios desde el oriente y que luego se desvía hacia una orientación EW.
3. Zona del drenaje principal donde solo se aprecian tributarios desde el norte, uno de ellos con una convergencia perpendicular.
4. Existe una bifurcación abrupta donde cauces secundarios confluyen de manera perpendicular.
5. En esta zona el drenaje principal tiene una marcada orientación NE con poca sinuosidad. Además se presenta una bifurcación aproximadamente perpendicular hacia el Norte.
6. El drenaje se desvía hacia el sur y luego hacia el norte, uniéndose a la red principal, “esquivando” un obstáculo.
7. Existen desvíos abruptos en la zona, casi de forma perpendiculares.
8. En esta zona los drenajes secundarios se ramifican de forma perpendicular, y en un segmento solo hacia la zona sur. Además se presentan bastante “rectos”, con baja sinuosidad.
9. El drenaje se desvía marcadamente hacia una orientación NE bastante recta.
10. Se aprecian una serie de desvíos en el cauce normal esperado del drenaje y existe una
11. Se observa que el drenaje principal sufre desvíos abruptos en una zona donde se identifican drenajes secundarios hacia el norte y sur de manera perpendicular.
12. En esta zona el drenaje principal casi no presenta tributarios, además se desvía hacia el sur en la zona oriente. Adicionalmente, el único drenaje secundario se dispone de manera paralela al principal y con muy baja sinuosidad.
13. Existe un drenaje secundario que varía su orientación reiteradas veces de forma anómala y en ángulos bastante altos, con una zona muy recta y uniéndose finalmente al drenaje principal de manera perpendicular.
14. Zona en que los drenajes se encuentran desviados con una orientación predominante NW y con tributarios que se ramifican de forma perpendicular, teniendo a su vez quiebres y desvíos anómalos.
15. Se aprecian drenajes secundarios al cauce principal solo en la parte sur de éste, que se unen en altos ángulos y que se disponen de forma paralela entre sí, con muy baja sinuosidad y una marcada orientación NW.

En esta zona las principales quebradas estudiadas fueron la quebrada del Agua en el Norte y la quebrada de Lamina en la parte Sur, registrando una gran cantidad de knickpoints en sus perfiles que demuestran una zona muy activa tectónicamente, donde además se encuentran una serie de unidades intrusivas y zonas de alteración hidrotermal en la parte más oriental.

En la quebrada de Lamina se registra una zona de knickpoints (K43-K46) que coincide con bajos índices de sinuosidad, como se muestra en la Figura 4.20, y también con lineamientos NE que pueden extenderse incluso hacia más al Sur. Los knickpoints K47-K48 se encuentran probablemente ligados a la presencia de una gran unidad intrusiva que se dispone a ambos lados de la quebrada, y donde además se encuentran otros knickpoints en la quebrada secundaria en la parte norte de dicho intrusivo.

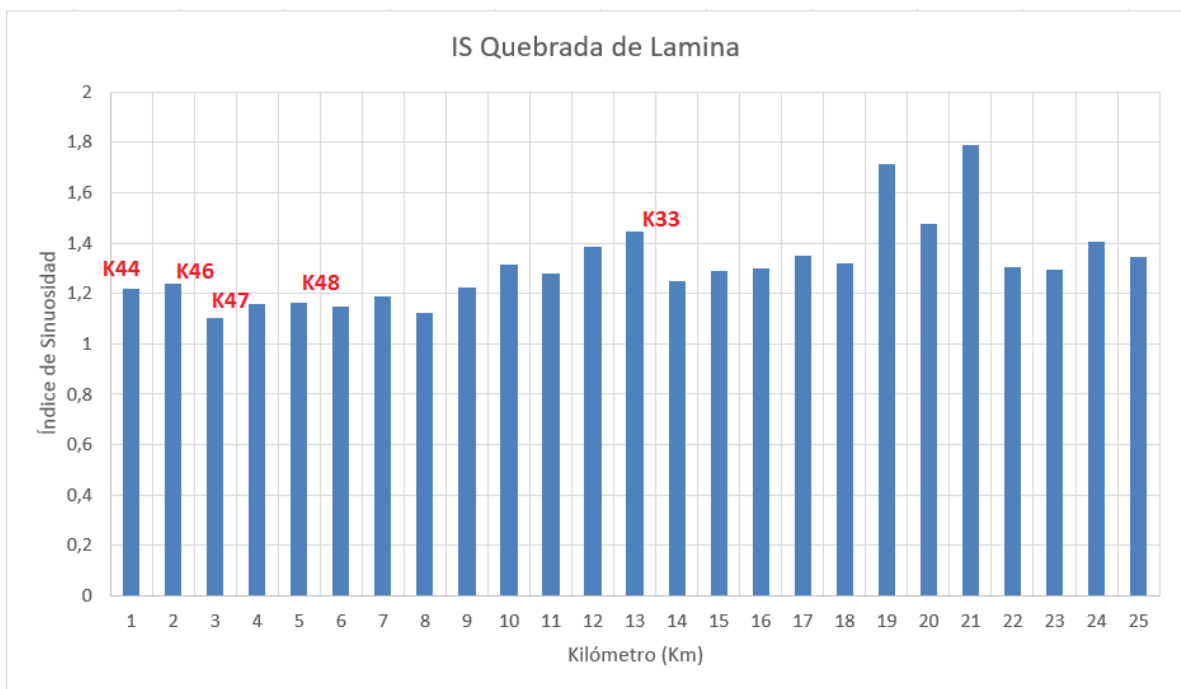


Figura 4.20: Índices de Sinuosidad en la quebrada de Lamina, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

Más al norte, se disponen patrones en la red de drenaje con desvíos perpendiculares y trazas de los cauces muy rectas, cuyos lineamientos tienen continuidad por algunos kilómetros, coincidiendo algunas veces con otros presentados más al sur. Un poco más al Norte se disponen una serie de eventos de remociones en masa de gran volumen (Wall et al, 1999), como se muestra en la Figura 4.21, cuyos escarpes no son del todo sugerentes respecto de una orientación preferente. Sin embargo, la unidad de más al occidente de acuerdo a la figura muestra una serie de knickpoints en las quebradas aledañas, y definiendo una geometría bastante “cuadrada” en la parte más distal de su morfología (límite occidental).

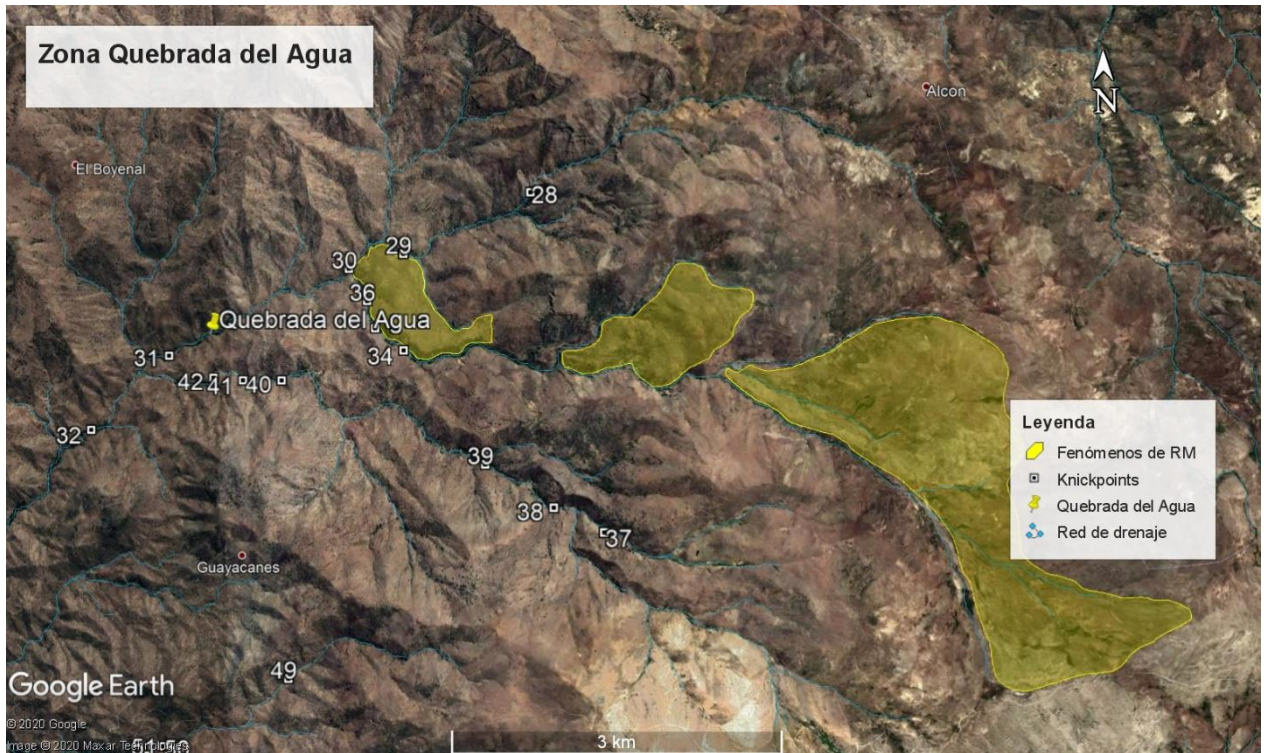


Figura 4.21: Área de la quebrada del Agua, en la cual se han mapeado fenómenos de Remociones en Masa de gran volumen de acuerdo a Wall et al (1999). Imagen tomada de Google Earth.

Esto a su vez coincide con una anomalía en los índices de sinuosidad mostrados en la quebrada del Agua, de acuerdo a la Figura 4.22, entre los knickpoints K29 y K30, donde este valor aumenta relativamente en razón de una media bastante constante en alrededor de 12 km del cauce, lo cual podría indicar la actividad de una estructura de orientación NW en el área.

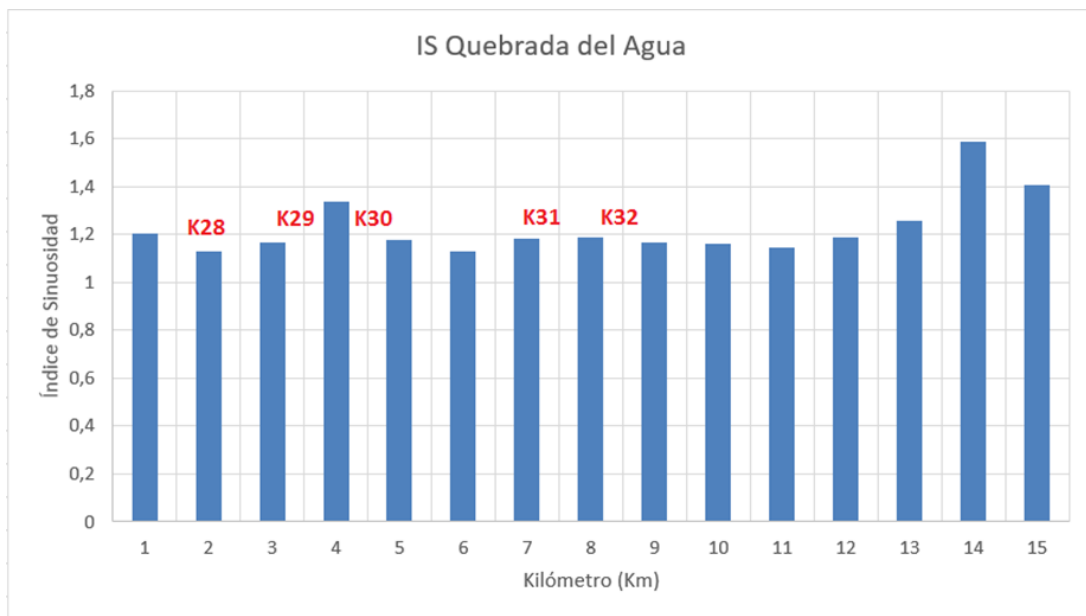


Figura 4.22: Índices de Sinuosidad en la quebrada del Agua, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

Finalmente, considerando los patrones estudiados anteriormente e interpretando las evidencias que indiquen cierta continuidad, se realizó un mapeo de lineamientos (Figura 4.23) que estuvieran ligados a posibles estructuras, a fenómenos de remociones en masa, a influencia de unidades intrusivas, etc.

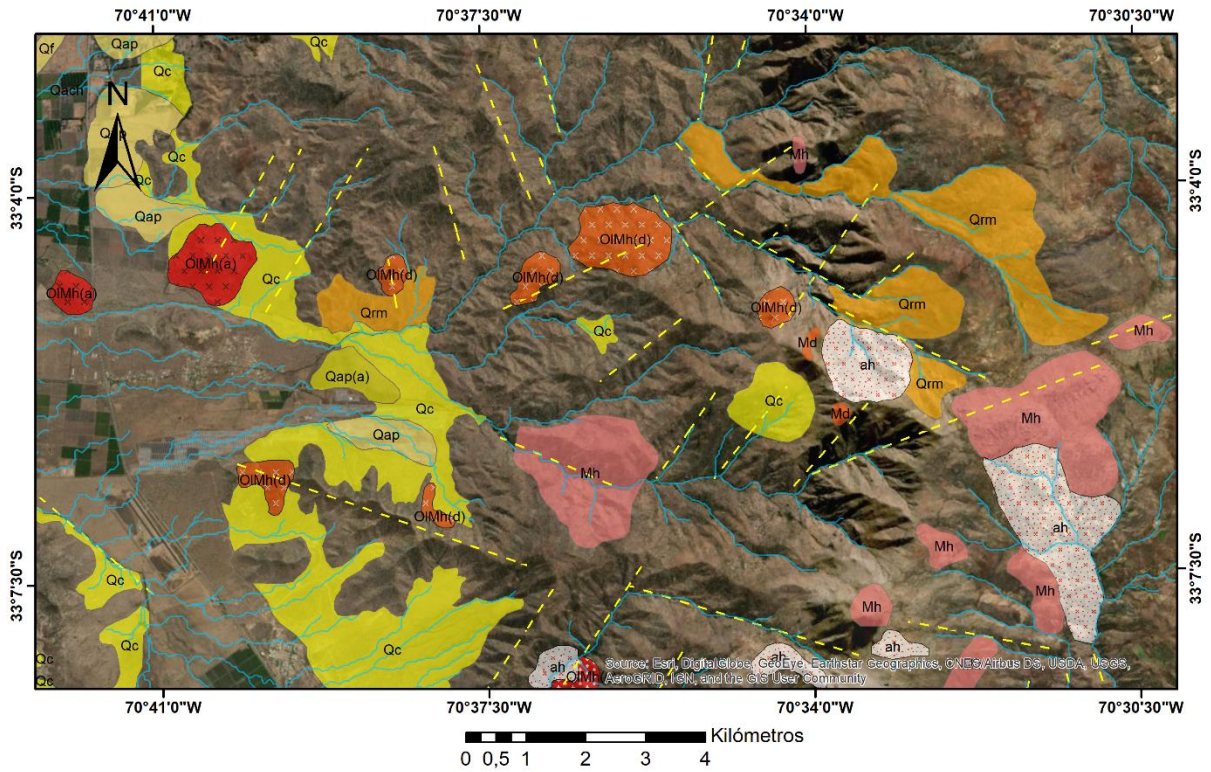


Figura 4.23: Lineamientos encontrados en la Zona Centro-Oriente del área de estudio, que se encuentran marcados con una traza de línea punteada en color amarillo. Además, se disponen en color rojo las unidades intrusivas en la zona, y en color celeste la red de drenaje.

4.3 Zona Sur-Oriente

En esta zona se ha estudiado principalmente el estero Colina y las quebradas adyacentes, como se muestra en la Figura 4.24, y las quebradas La Leona y Las Bisnaguitas en su extremo norte.

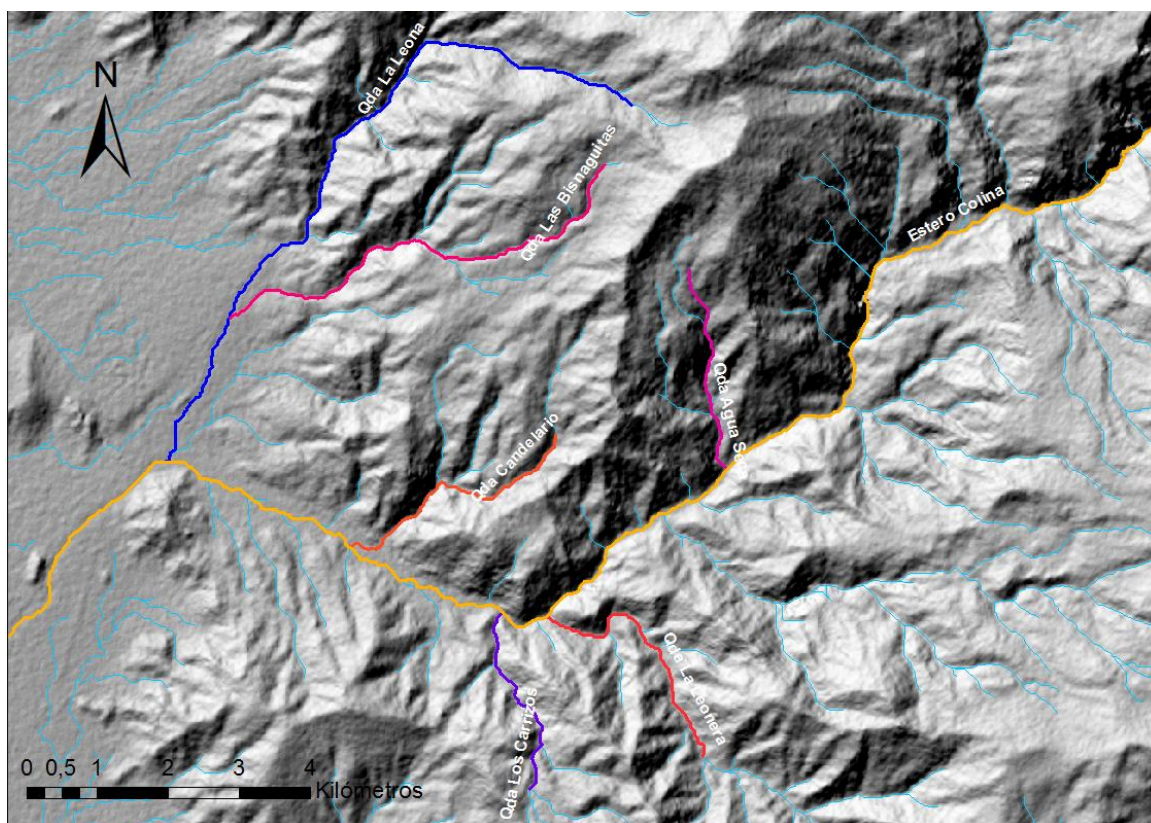


Figura 4.24: Esteros y quebradas estudiadas en la zona Sur-Oriente. La imagen de fondo corresponde al Hillshade del área de estudio y en celeste se presenta la red de drenaje.

A continuación se muestran, en las Figuras 4.25, 4.26 y 4.27 los perfiles de las quebradas estudiadas, algunos de ellos divididos en segmentos de una longitud similar.

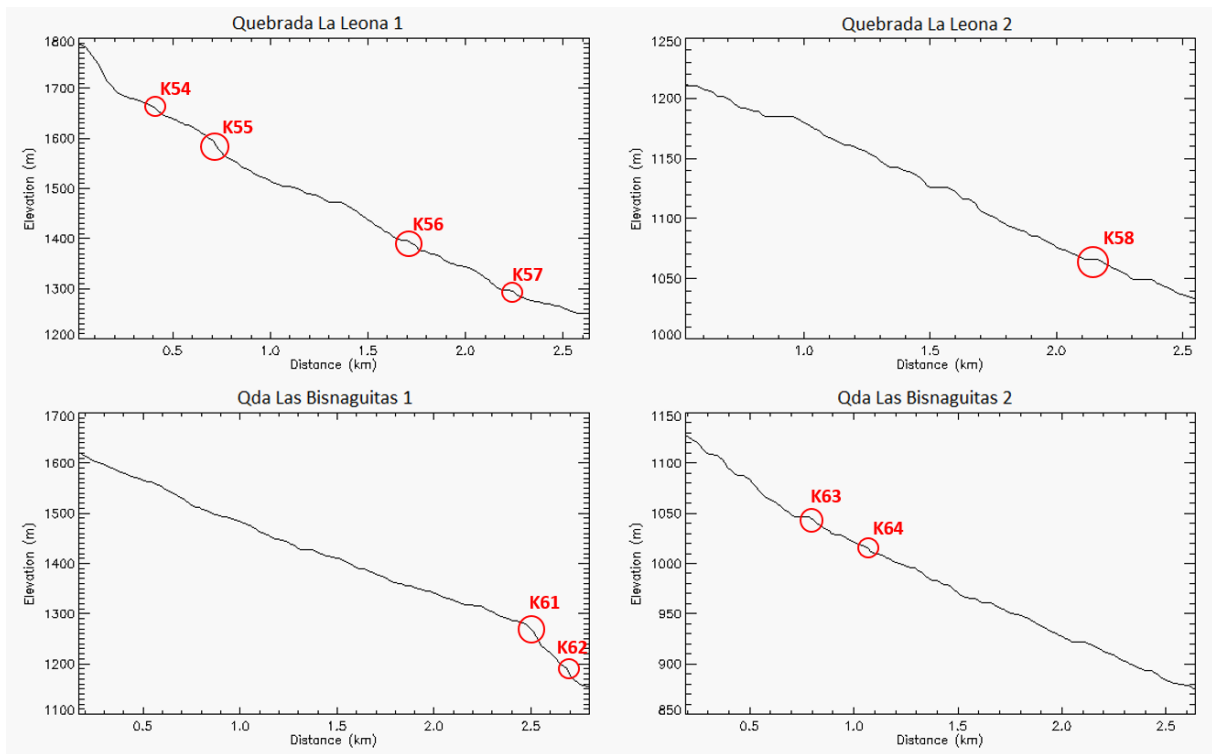


Figura 4.25: Perfiles longitudinales de la quebrada La Leona y la quebrada Las Bisnaguitas, ambos segmentados en 2 partes. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

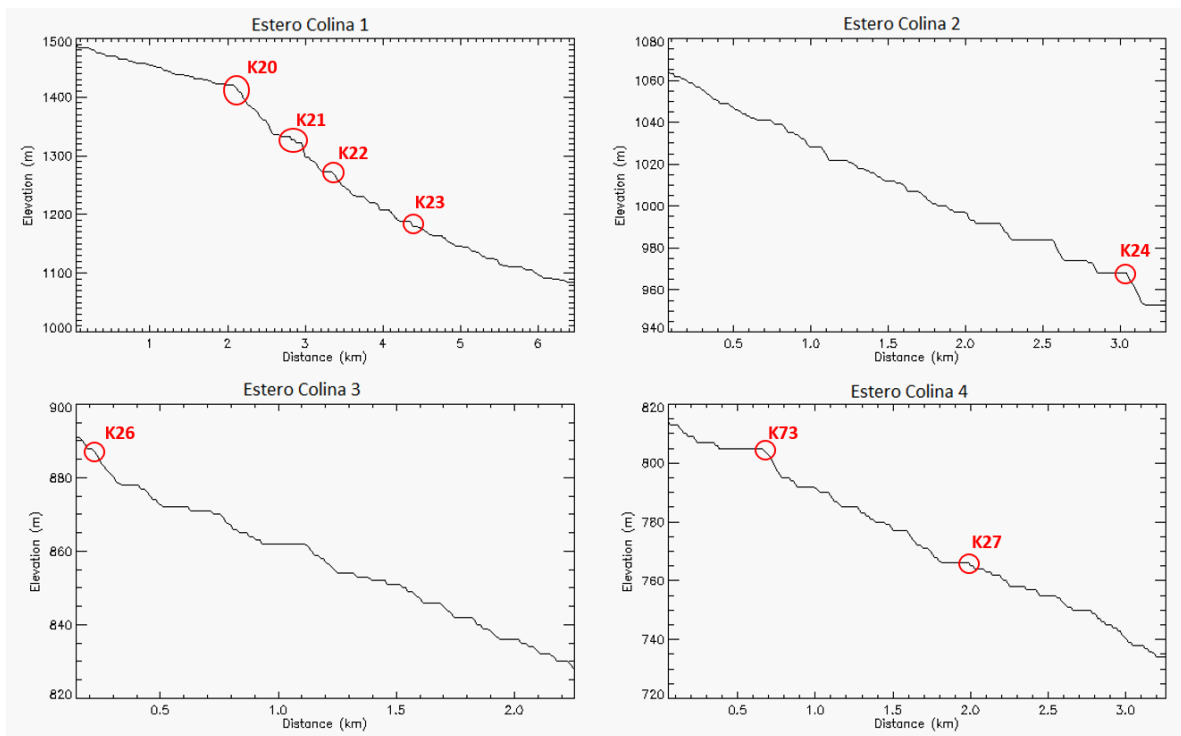


Figura 4.26: Perfiles longitudinales del estero Colina, segmentado en 4 partes. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

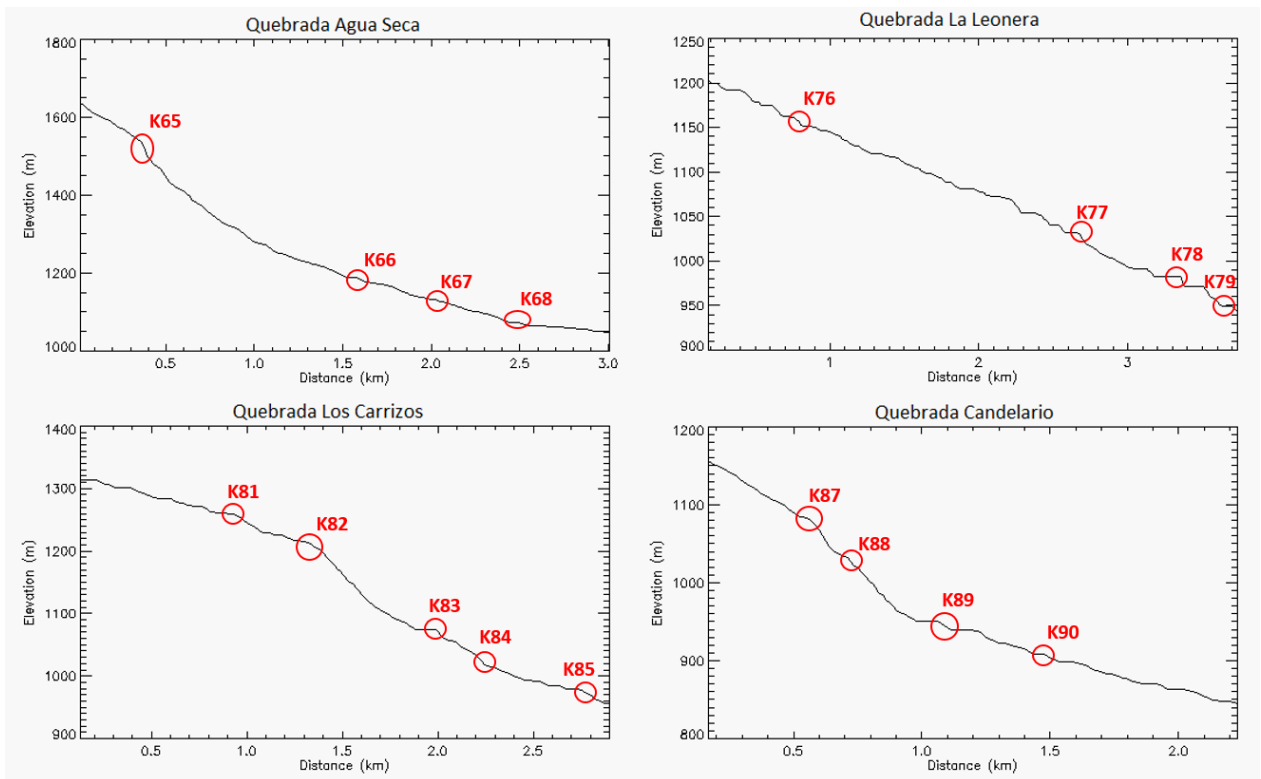


Figura 4.27: Perfiles longitudinales de la quebrada Agua Seca, la quebrada La Leonera, la quebrada Los Carrizos y la quebrada Candelario. Se han marcado en color rojo los knickpoints considerados en este estudio.

A partir de ellos fue posible definir una serie de knickpoints, que fueron ploteados en la Figura 4.28. En ella se muestra una gran cantidad de puntos producto de una actividad probablemente intensa en términos de neotectónica.

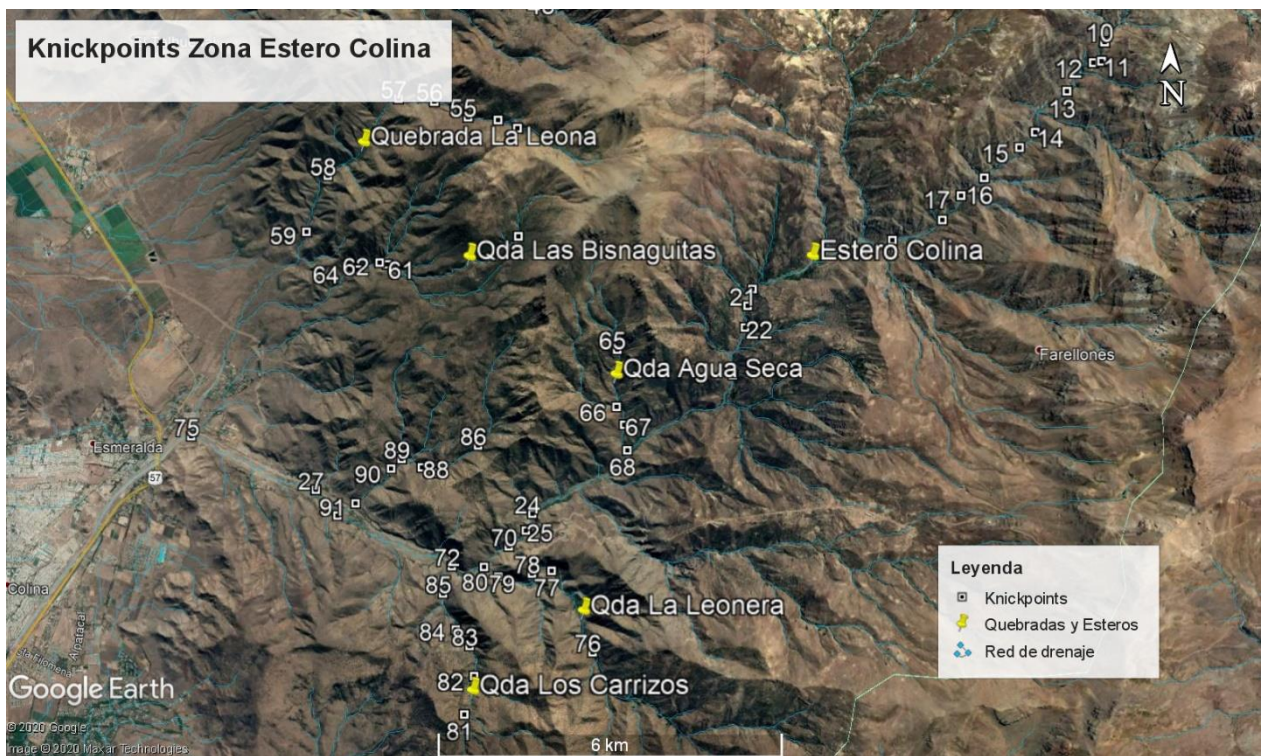


Figura 4.28: Knickpoints ploteados en el sector del estero Colina y quebradas adyacentes. Imagen tomada de Google Earth.

Adicionalmente, se estudiaron los patrones y anomalías en las redes de drenaje, generando 11 zonas de interés, como se muestra en la Figura 4.29, cuyo detalle se explica a continuación.

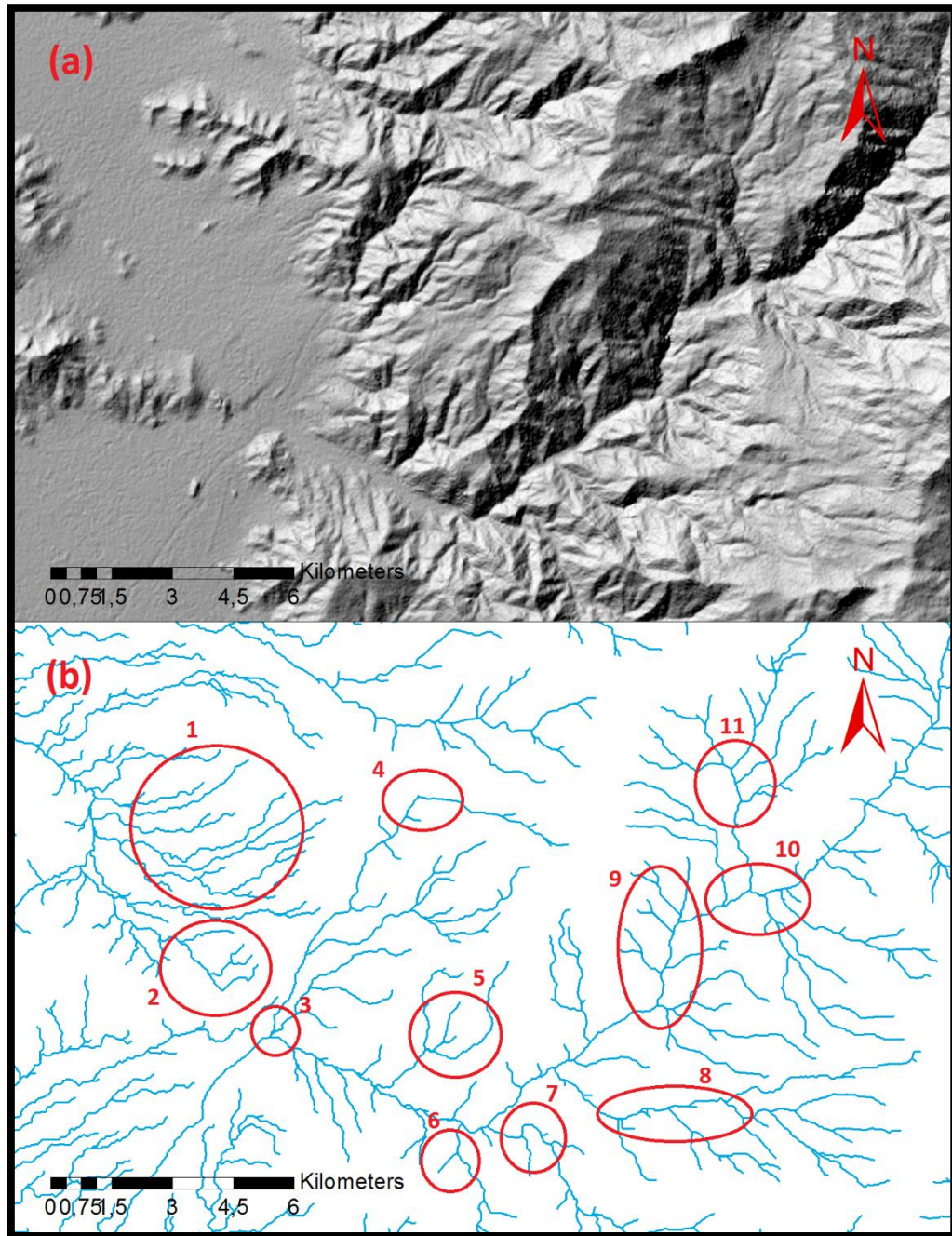


Figura 4.29: Patrones y anomalías detectadas en la red de drenaje en la zona Sur-Oriente del área de estudio, que se encuentran destacadas en color rojo, junto a una numeración del 1 al 11, que se explican en detalle en el texto. En la figura (a) se presenta un hillshade el área, mientras que en la figura (b) se presenta la red de drenaje correspondiente en color azul, además de las zonas de interés descritas.

1. En esta zona se observan múltiples drenajes secundarios que casi solo se generan en la parte nororiente del cauce principal. Además, se disponen de forma subparalela y hacia el oriente se curvan hacia una orientación predominante NE.

2. Se aprecian cambios muy abruptos en ángulos perpendiculares en los drenajes secundarios, con desvíos hacia una marcada orientación NE.
3. En esta zona el cauce principal se desvía fuertemente hacia el sur, tomando una orientación NE que se mantiene muy marcada.
4. Se aprecia un drenaje que viene desde el oriente con una baja sinuosidad y sin tantos aportes secundarios que se desvía fuertemente hacia el sur en un ángulo casi perpendicular, para luego seguir una orientación NE.
5. Se observa un drenaje secundario que se ramifica con un ángulo de 90° hacia el SE y luego se curva hacia el Norte.
6. Existe un drenaje secundario que se desvía en un alto ángulo y que presenta una orientación NE idéntica al que traía el cauce principal unos km al NE.
7. Se aprecian desvíos anómalos en el cauce, bordeando un obstáculo con ángulos muy fuertes.
8. En esta parte se observa una baja sinuosidad y drenajes secundarios solo hacia la parte sur con orientaciones NW subparalelas entre ellos, que se incorporan con un alto ángulo al cauce principal.
9. En esta zona el cauce principal se desvía fuertemente hacia el Sur y adopta una orientación NE bastante recta, para luego desviarse nuevamente hacia el W y seguir con una muy baja sinuosidad.
10. Se observan drenajes secundarios que se incorporan con altos ángulos y se disponen con orientación NNW hacia el norte y sur.
11. En esta zona se aprecia un drenaje principal bastante recto y secundarios que se bifurcan de manera perpendicular solo hacia la zona oriente y con orientaciones NE.

En la zona más oriental se encuentran una serie de knickpoints, K10 hasta K19, que probablemente se deban o bien a la influencia de estructuras activas o bien al cambio de litologías interna de la Formación Abanico. En particular, también en esta zona se han registrado 2 eventos sísmicos (Figura 4.30), de magnitudes 2.0 y 2.5 y profundidades de 10.2 y 11.7 km, lo cual reafirma la idea de actividad neotectónica a través de la existencia de estructuras de gran escala, probablemente con orientación NE.

Además de lo anterior, en el área se registran importantes fenómenos de Remociones en Masa, como se muestra en la Figura 4.30, y que definen ciertos lineamientos

encontrados en las redes de drenaje, deformándolas y causando anomalías que pudieran llevar a malas interpretaciones. En base a esto, a pesar de que algunas coinciden espacialmente con la presencia de knickpoints, no es posible atribuirles una correlación estructural ya que no muestran una orientación preferente, con la excepción de la RM aledaña a los knickpoints K20-K23.

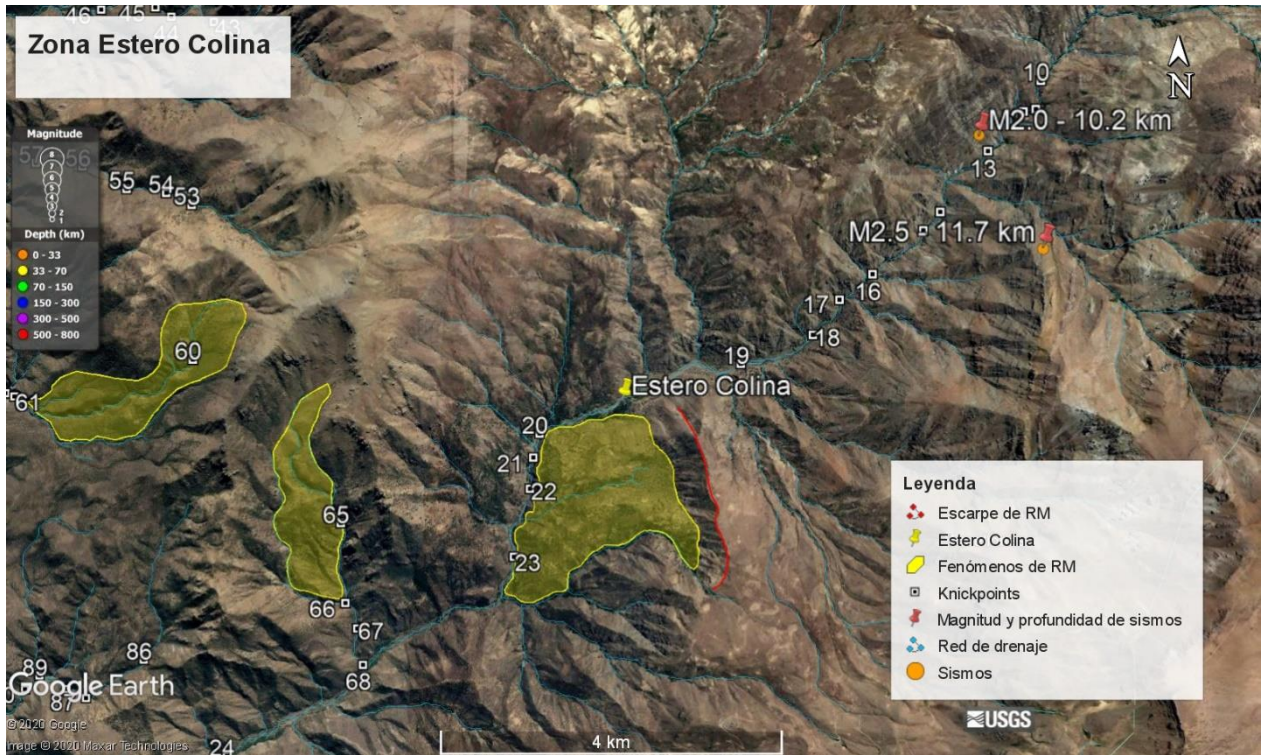


Figura 4.30: Zona del estero Colina. Knickpoints y algunos fenómenos de remociones en masa relevantes de gran volumen en el área. Se ha trazado en rojo, además, el escarpe de uno de los fenómenos de RM mapeados, debido a su sugerente orientación aproximadamente NS. Adicionalmente, se incluyen 2 eventos sísmicos registrados en la parte más oriental, con magnitudes de 2.0 y 2.5 y profundidades de 10.2 y 11.7 km. Imagen tomada de Google Earth.

Los índices de sinuosidad del estero Colina (Figura 4.31) indican valores bajos en torno a 1.15 con algunas excepciones. Una de las más sugerentes se encuentra antes del K20, que coincide con una curva de geometría muy recta que toma el estero hacia el SW, siguiendo la traza de un lineamiento muy marcado de orientación NE. Otras variaciones importantes, como K26 y K73 pudieran ser debido a la influencia de unidades intrusivas en el área o bien a la actividad de estructuras, o bien a la suma de estos 2 factores en conjunto. El knickpoint K75 también es a su vez importante ya que coincide exactamente con la curva hacia el sur, casi en 90°, que toma el estero al salir de la zona cordillerana, tomando una orientación muy marcada NE que coincide además con un lineamiento que continúa hacia el Norte y que coincide con la quebrada La Leona.

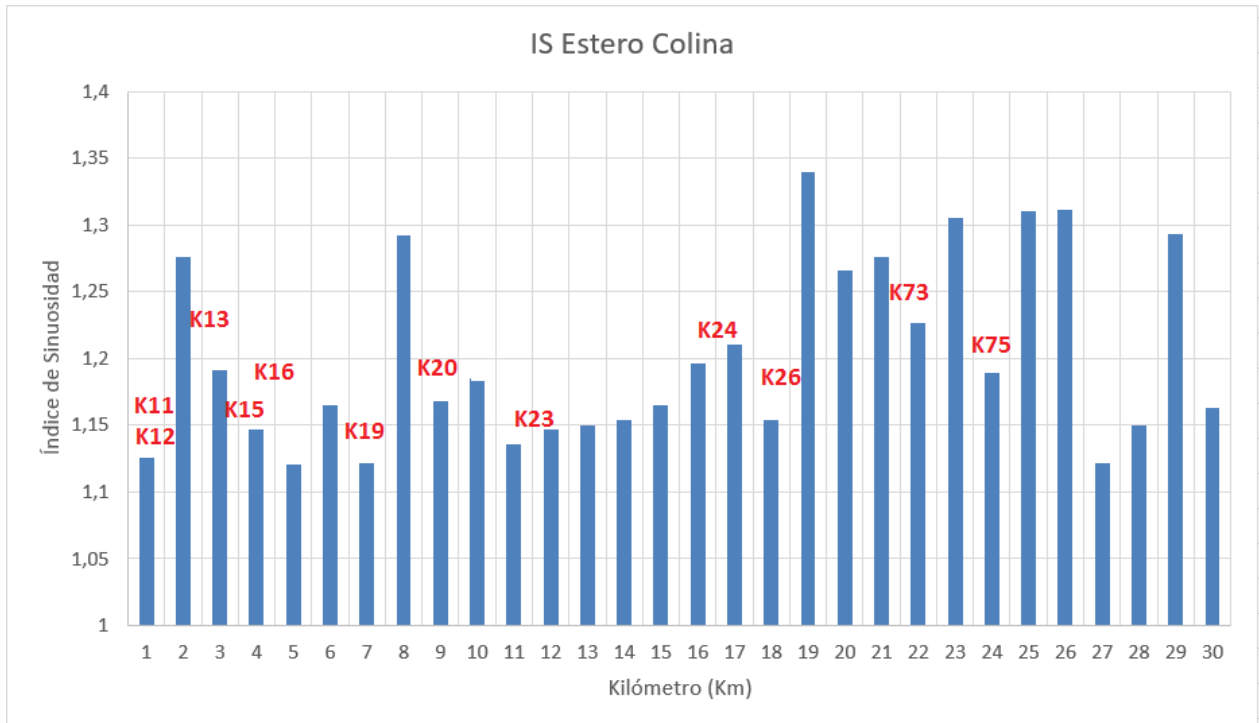


Figura 4.31: Índices de Sinuosidad en el estero Colina, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

La quebrada La Leona, por su parte, presenta también knickpoints, asociados probablemente a la influencia de estructuras con orientación NE, que se pueden seguir hacia el Norte y que se repite en toda el área, deformando las quebradas y cauces primarios y secundarios, y también a la presencia de unidades intrusivas, como los knickpoints K58-K59. Sus índices de sinuosidad, como muestra la Figura 4.32, presentan valores bajos en torno al 1.1-1.5, que se refleja en 2 tramos bastante rectos con marcadas orientaciones EW y NE. Cabe destacar que la curva donde cambia su orientación es casi perpendicular, lo cual es otro indicativo importante que remarca la presencia de una estructura NE de gran influencia.

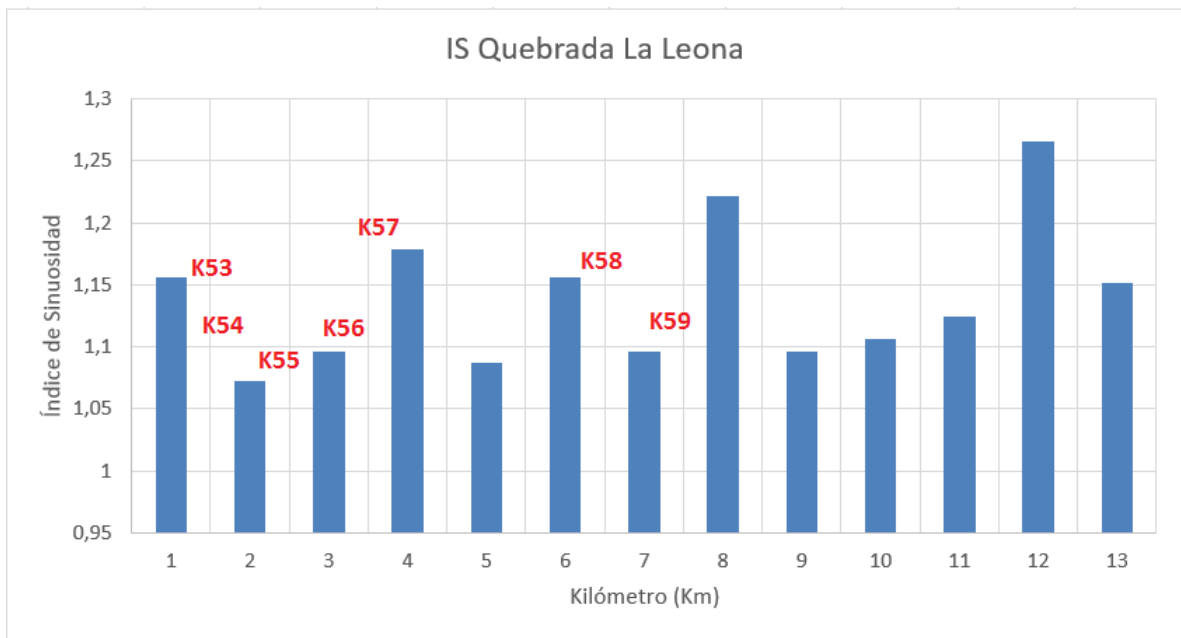


Figura 4.32: Índices de Sinuosidad en la quebrada La Leona, donde se han agregado en rojo los knickpoints encontrados en la zona.

Finalmente, con la interpretación de estos patrones es posible realizar un mapeo de los lineamientos determinados (Figura 4.33), ya sea por influencia de posibles estructuras, relacionadas a fenómenos de remociones en masa o por influencia de unidades intrusivas en la zona.

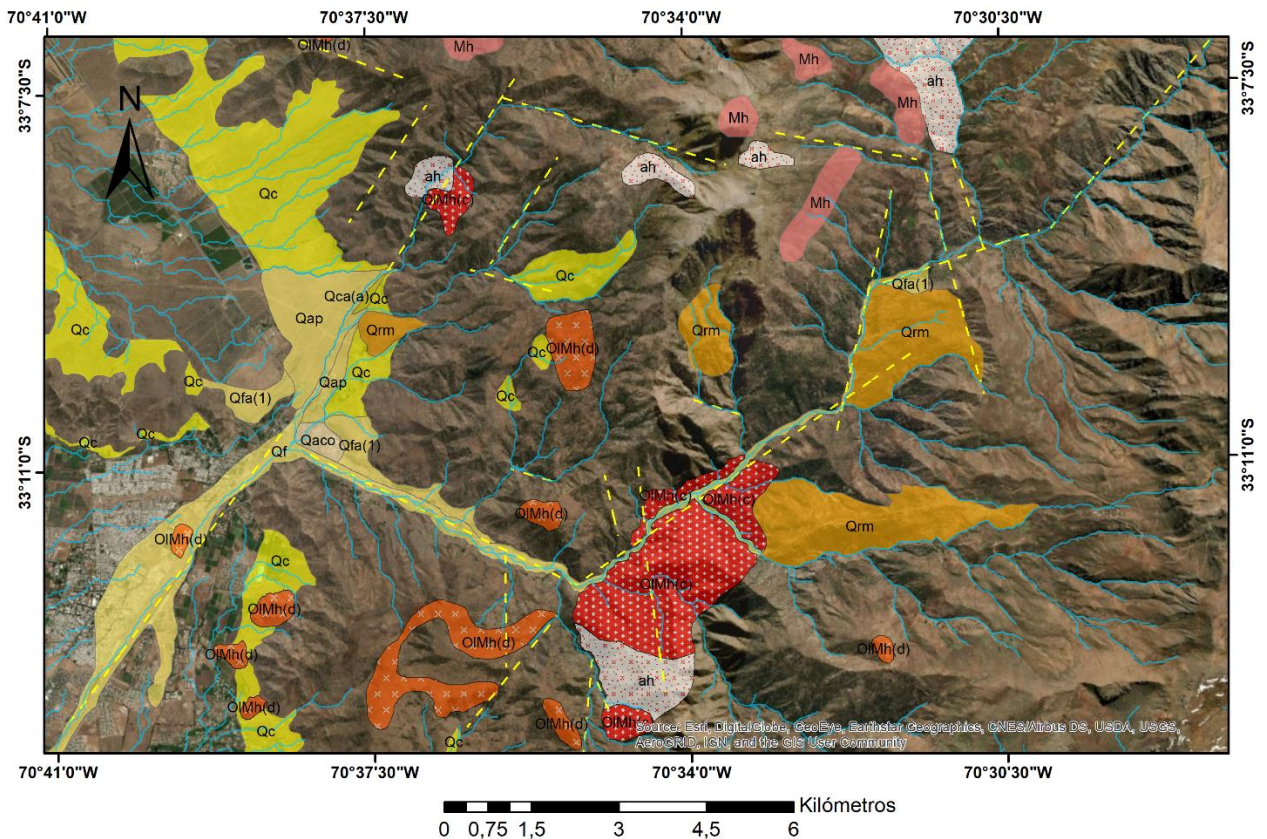


Figura 4.33: Lineamientos encontrados en la Zona Sur-Oriente del área de estudio, que se encuentran marcados con una traza de línea punteada en color amarillo. Además, se disponen en color rojo las unidades intrusivas en la zona, y en color celeste la red de drenaje.

4.4 Zona Sur-Poniente

Esta zona no corresponde a un sector cordillerano o subcordillerano como las anteriores, por lo que el estudio estuvo más centrado en el cauce principal, una sección del estero Chacabuco, la presencia de knickpoints y los patrones en la red drenaje. Además esta es una zona con actividad minera y agrícola, por lo que parte de los datos pueden presentar anomalías que conviene excluir del análisis, como la sismicidad cortical encontrada.

De acuerdo al perfil del estero Chacabuco presentado anteriormente se definieron knickpoints en la zona, como se muestra en la Figura 4.34.

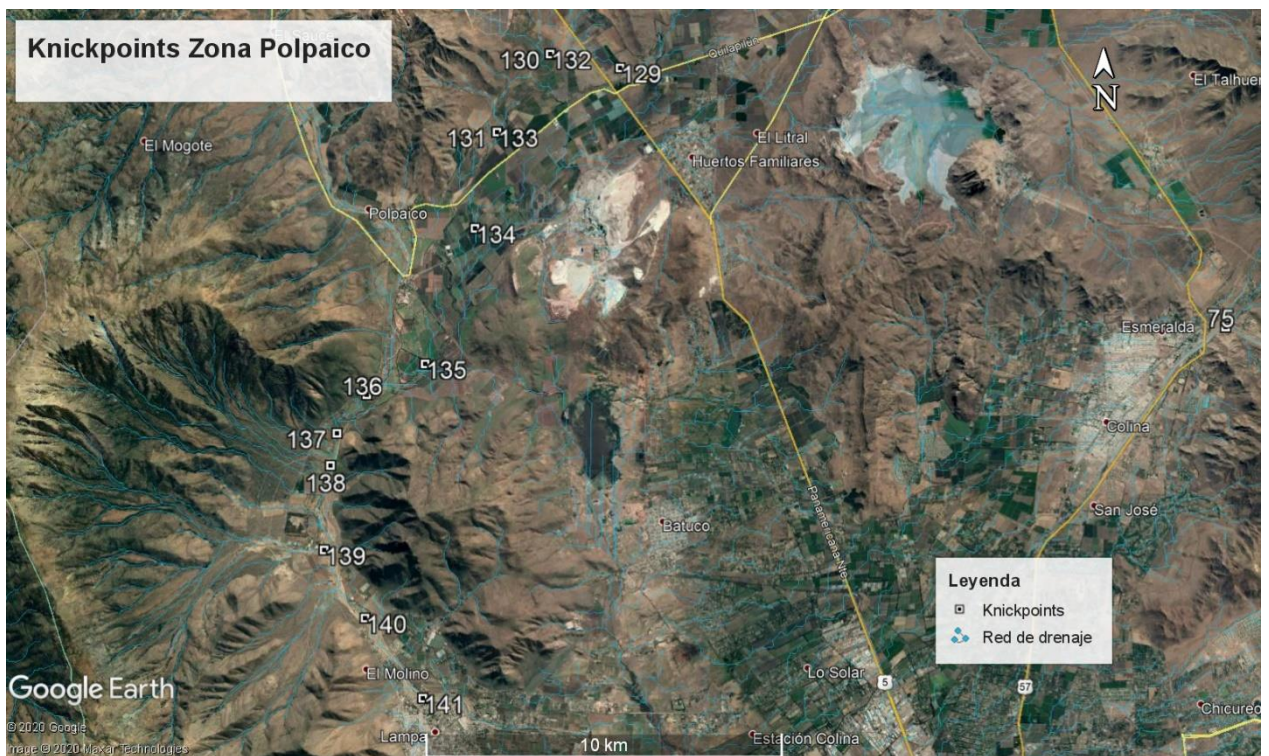


Figura 4.34: Knickpoints sector Polpaico, zona Sur-Poniente del área de estudio. Imagen tomada de Google Earth.

También se realizó el estudio de patrones y anomalías en la red de drenaje, encontrando 9 zonas de interés, como se muestra en la Figura 4.35, que son explicadas a continuación. Cabe destacar que se han omitido observaciones en algunos sectores ya que corresponden a zonas industriales y agrícolas con una fuerte alteración antrópica.

1. Se observa un drenaje secundario que se desvía abruptamente, con una orientación NE que se repite en otros drenajes más al sur. Además presenta otro drenaje que se bifurca con un alto ángulo hacia el poniente.
2. En esta zona se observan múltiples drenajes hacia la parte poniente que se disponen con orientaciones subparalelas entre sí y se alargan por algunos km sin cruzarse.
3. En este punto hay una marcada desviación del cauce principal hacia el sur, continuando de manera casi recta de forma NS.
4. En esta zona se observa un desvío hacia el oriente del cauce principal, además de algunos quiebres pequeños de alto ángulo.

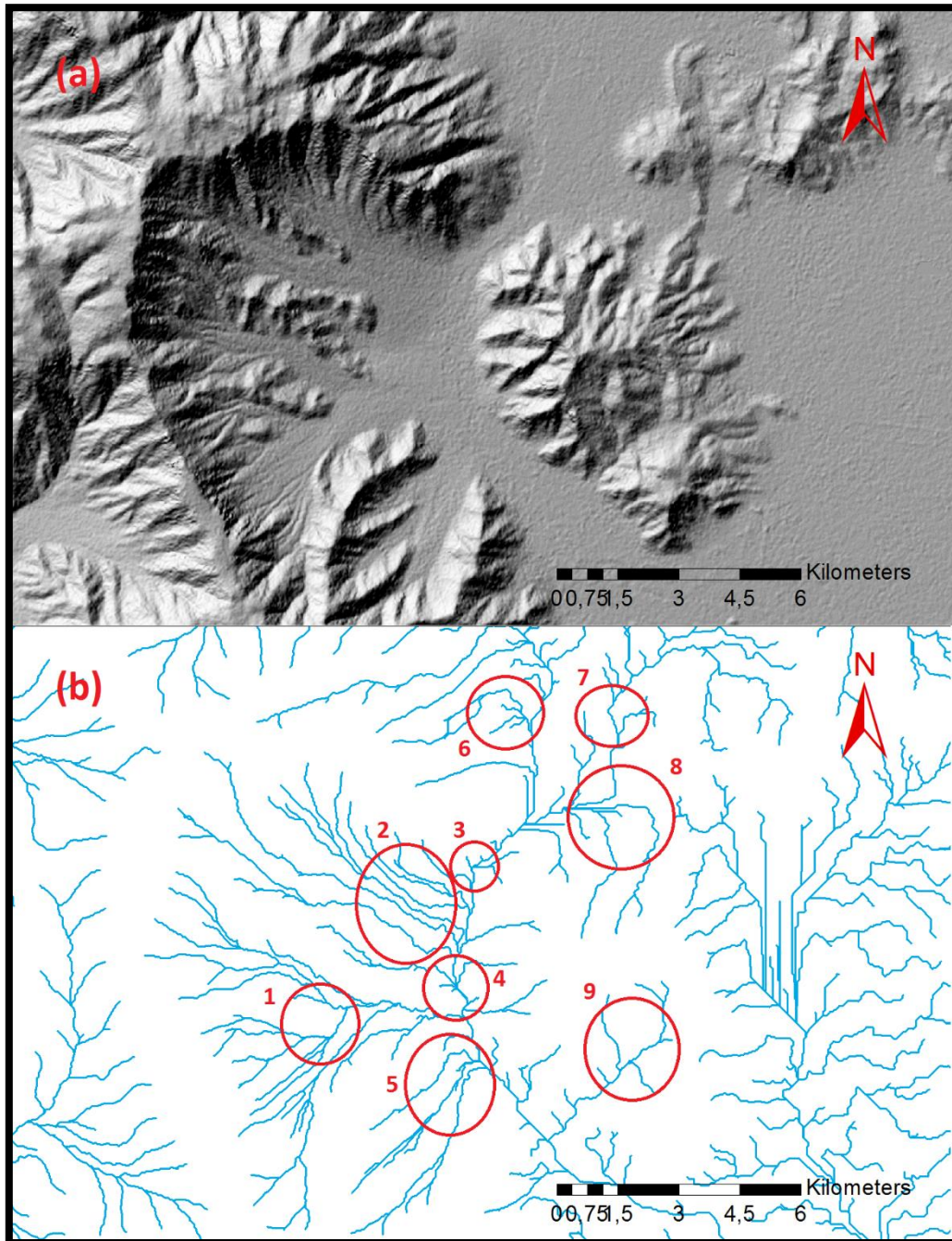


Figura 4.35: Patrones y anomalías detectadas en la red de drenaje en la zona Sur-Poniente del área de estudio, que se encuentran destacadas en color rojo, junto a una numeración del 1 al 9, que se explican en detalle en el texto.

5. Se observan drenajes con una orientación NE que se desvían en “U” al unirse al cauce principal.
6. Un drenaje secundario se dispone de manera NE, luego se curva hacia el norte y posteriormente se vuelca en “U” hacia el sur para incorporarse al drenaje principal.

7. Se aprecia un quiebre abrupto que desvía el cauce hacia el sur.
8. Drenajes NS se desvían fuertemente hacia el poniente.
9. Se aprecian drenajes secundarios más desarrollados hacia la parte norte y con orientaciones similares aproximadamente NS.

En esta zona no se ha encontrado grandes patrones o perturbaciones en los indicadores estudiados como en las demás zonas, por lo que el análisis se centra en algunas observaciones generales.

En primer lugar, en la zona se registran gran cantidad de sismos con profundidades entre 8 y 15 km (Figura 4.36). La mayoría de ellos tienen una profundidad en común de 10 km, los que pueden ser fácilmente asociados a la actividad minera en la zona, sin embargo, existen algunos que se escapan levemente de esta norma, y que podrían ser eventuales indicadores de actividad tectónica. Aun así, estos no se ajustan a lineamientos ni patrones en particular.

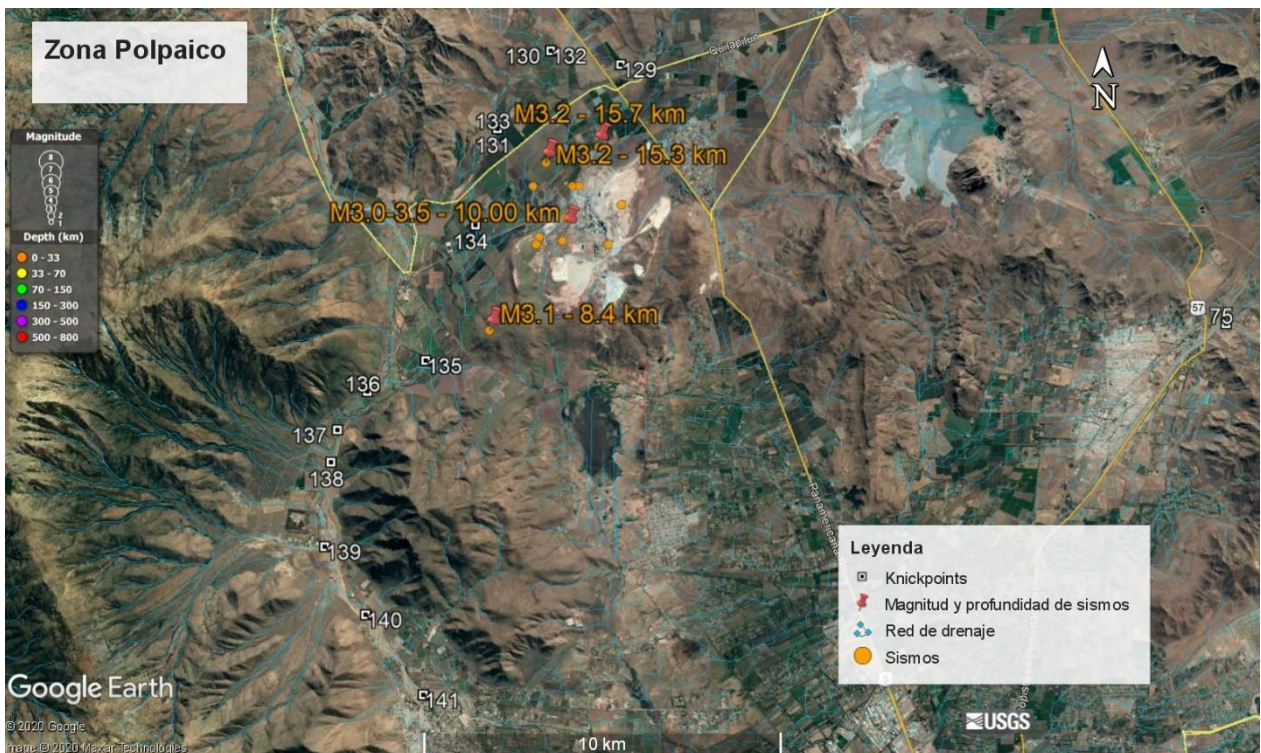


Figura 4.36: Zona de Polpaico. Se muestra la sismicidad cortical encontrada en la zona, con una gran cantidad de eventos agrupados en las cercanías de Polpaico, y los knickpoints encontrados en el área distal del estero Chacabuco. Imagen tomada de Google Earth.

4.5 Zona Centro

Esta zona corresponde a un área montañoso que se encuentra entre el sector de Polpaico, por el oeste, y el área de Colina, por el este. En esta zona se han realizado pocas observaciones debido a que en general es un área poblada e industrializada que posee alteraciones antrópicas de la red de drenaje. Además, se encuentra fuera de las áreas subcordilleranas donde se ha centrado principalmente este trabajo.

El estudio de los patrones y anomalías en las redes de drenaje arrojó 4 puntos de interés, como se muestra en la Figura 4.38, y que se detallan a continuación.

1. Se observa un desvío del cauce hacia el NW y luego nuevamente hacia el sur.
2. En esta zona los drenajes secundarios están poco desarrollados hacia el norponiente y se observa que no se relacionan con la red de unos km al norte. Además existe una orientación muy marcada NE del drenaje principal.
3. Se observa un desvío del cauce principal hacia el norte casi en "U", en vez de seguir hacia el sur y unirse a la red principal.
4. Existe un marcado desvío hacia el sur del cauce principal, para luego continuar con una orientación NE.

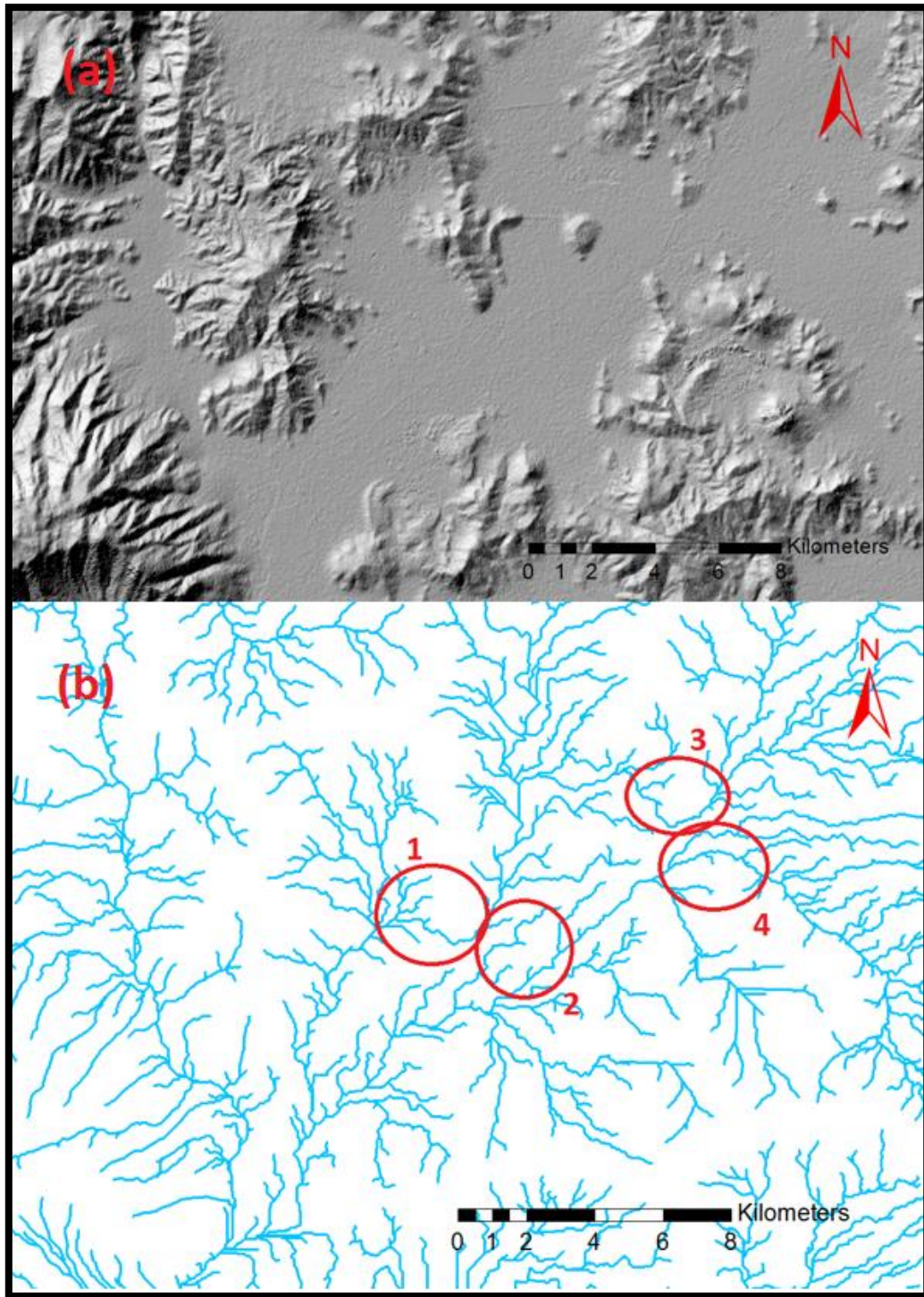


Figura 4.38: Patrones y anomalías detectadas en la red de drenaje en la zona Central del área de estudio, que se encuentran destacadas en color rojo, junto a una numeración del 1 al 4, que se explican en detalle en el texto.

Debido a lo anteriormente explicado en esta zona los indicadores más potentes fueron las anomalías en la red de drenaje, la presencia y disposición de unidades intrusivas y

lineamientos de alto ángulo en los cordones montañosos, evidenciado en los mapas de pendientes. La parte más occidental ha sido discutida en la zona anterior puesto a que corresponde al sector de Polpaico.

Los lineamientos encontrados han sido mapeados como se muestra en la Figura 4.39, siendo uno de los más relevantes a nivel regional la orientación NE encontrada en el cauce del estero del Agua, continuación de la quebrada del Agua, que al venir con una orientación EW se curva fuertemente hacia el SW en vez de unirse con el drenaje del estero Chacabuco. Esta observación, sumada a los lineamientos descritos anteriormente tanto al Sur como al Noreste del área de trabajo podría dar continuidad a una estructura de escala regional.

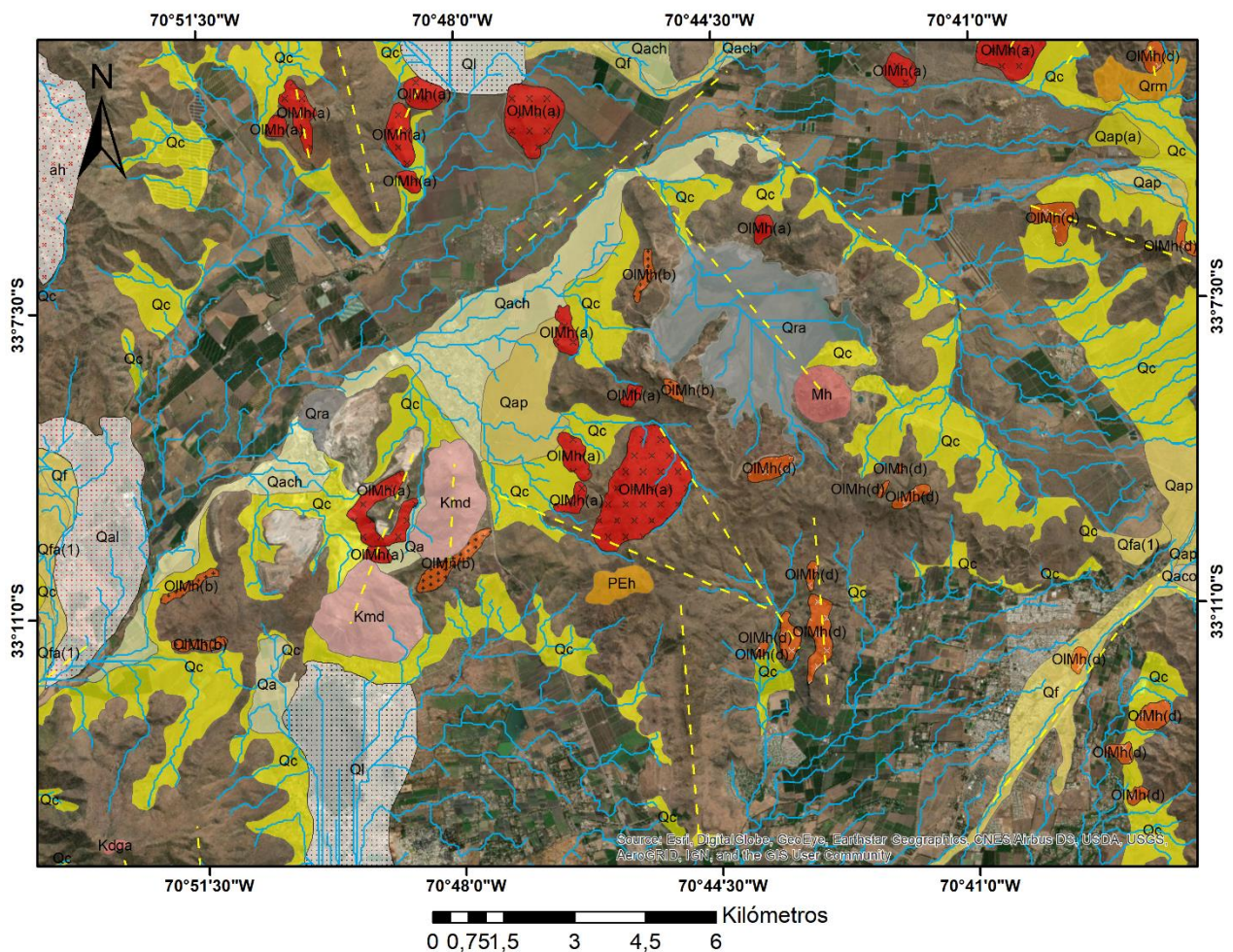


Figura 4.39: Lineamientos encontrados en la Zona Centro del área de estudio, que se encuentran marcados con una traza de línea punteada en color amarillo. Además, se disponen en color rojo las unidades intrusivas en la zona, y en color celeste la red de drenaje.

4.6 Estructuras inferidas

En base al análisis hecho en la sección anterior por zonas, se determinaron una serie de lineamientos que responden principalmente a 3 posibles causas:

1. Debido a la actividad reciente de posibles estructuras.
2. Ligados a fenómenos de Remociones en Masa que perturben la geomorfología presente.
3. Lineamientos de unidades intrusivas.

Los resultados fueron mapeados en una escala regional, considerando toda el área de estudio, como se muestra en la Figura 4.40, destacando en color verde los lineamientos potencialmente ligados a estructuras, en amarillo los ligados a fenómenos de RM y en violeta lineamientos debidos a continuidades aparentes en la disposición de unidades intrusivas.

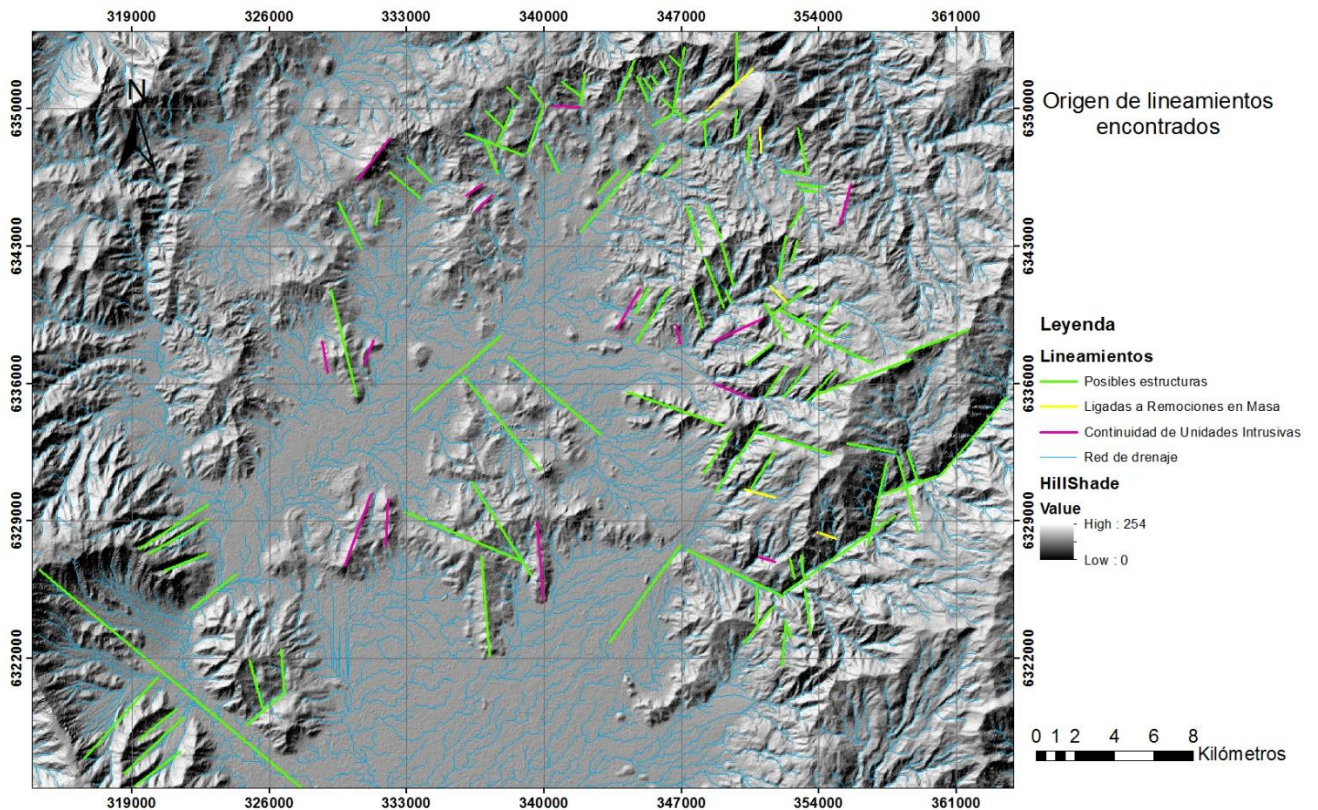


Figura 4.40: Se han clasificado los lineamientos encontrados de acuerdo con su origen interpretado, obteniendo 3 causas principales, detalladas en el texto.

Además de esto, fue necesario contrastar la información obtenida y discriminar si cada uno de los lineamientos determinados puede eventualmente estar ligado a la actividad neotectónica de estructuras y que tanta evidencia puede sustentar dichas propuestas.

En particular, el criterio elegido es la claridad o el peso que tiene la información extraída y el sentido geológico que tiene la generación de cada lineamiento mapeado. Por ejemplo, si existe alguna continuidad de 2 unidades intrusivas cercanas esto por sí solo no es indicador suficiente de la existencia de alguna estructura en la zona, y debe ser sustentada por otras evidencias como la presencia de quebradas o redes secundarias de drenaje alineadas, presencia de knickpoints, zonas escarpadas o aterrazadas, continuidad regional, etc.

En este sentido, se preparó un mapa (Figura 4.41) con aquellos lineamientos que se considera tienen suficientes evidencias, al menos basado en la metodología de este trabajo y los criterios anteriormente estudiados, para proponer la presencia de estructuras o zonas de falla. Las trazas propuestas obedecen al análisis realizado anteriormente y entregan principalmente una orientación preferente, pero sería muy apresurado tratarlas como certeras, por lo que solo caerían en la categoría de “inferidas”. Para poder asumir las trazas inferidas como estructuras mapeables se debe realizar un trabajo de mayor detalle a una escala menor y especialmente un trabajo de campo en cada zona, junto a una interpretación de perfiles, un balance de secciones estructurales, etc.

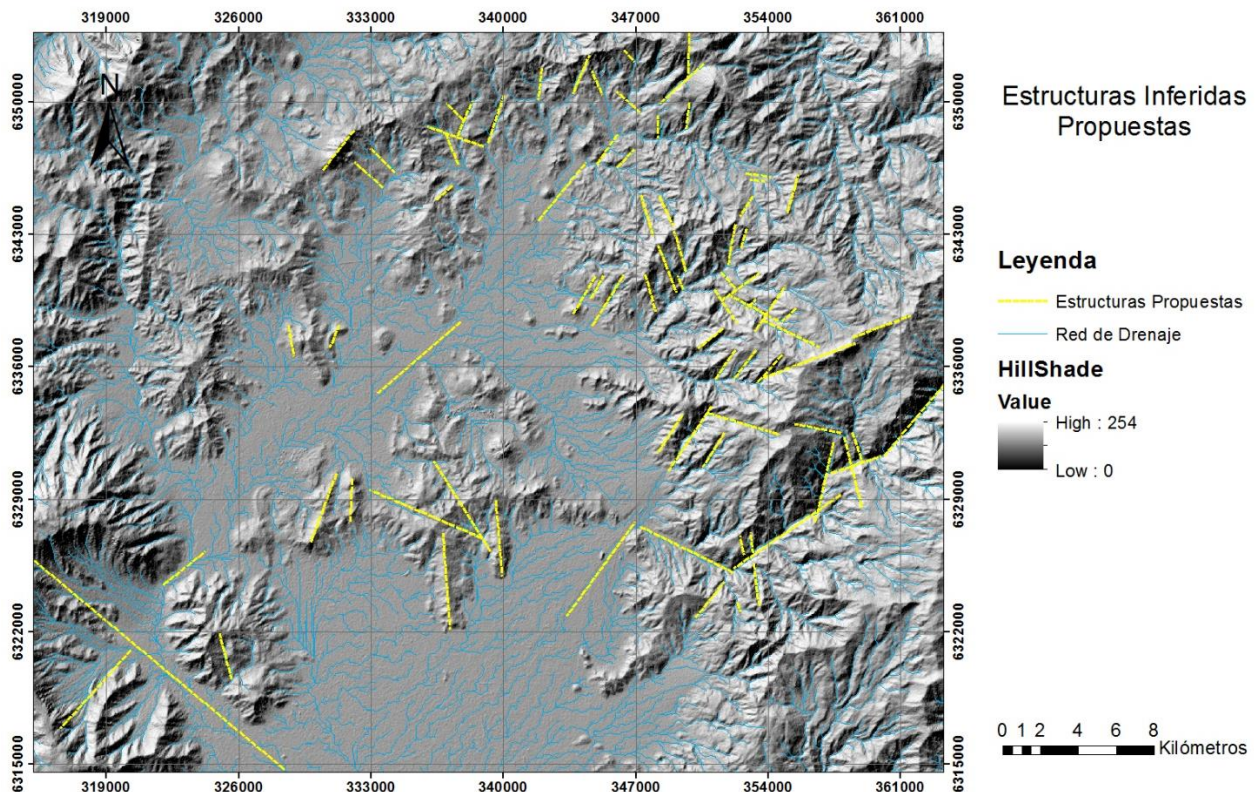


Figura 4.41: Estructuras inferidas propuestas en la zona de estudio, representadas en línea amarilla punteada, de acuerdo a los criterios discutidos en este trabajo. La imagen de fondo corresponde al HillShade de la zona y en celeste se presenta la red de drenaje.

5 Susceptibilidad a Remociones en Masa Cuenca Chacabuco

Debido a los antecedentes que presentan otros autores, lo evidenciado en terreno y resultados preliminares de este trabajo en cuanto a la ocurrencia de remociones en masa y estructuras en la zona, en este capítulo se trabajó la susceptibilidad a remociones en masa de laderas, quebradas, cauces y zonas de bajas pendientes en el área, en base a un análisis cualitativo y cuantitativo de los distintos factores participantes, tanto condicionantes como desencadenantes, siguiendo la metodología propuesta por Lara (2007), en el sector de Chacabuco, en la zona norte de la Región Metropolitana.

Dicha metodología consiste en primer lugar en una descripción cualitativa de los factores que influyen en la generación de remociones en masa, considerando la influencia de aspectos condicionantes tales como la litología, las características geotécnicas, las condiciones hidrogeológicas en el área, la topografía, el clima y la vegetación, etc, y de factores desencadenantes, tales como sismos, lluvias y otros de menor impacto.

Posteriormente, se definen unidades geomorfológicas en el área de trabajo, mediante criterios como la pendiente, la orientación de laderas y una diferenciación entre laderas, quebradas y zonas de bajas pendientes. De acuerdo a la metodología seguida, éstas últimas fueron descartadas con un umbral de 10° en algunos casos y de 15° en otros, dependiendo del tipo de remoción en masa.

Finalmente, se aplica un análisis cuantitativo de los factores antes descritos en cada unidad geomorfológica definida, para finalmente mediante una ponderación establecida calcular un Índice de Susceptibilidad, valor que fluctúa entre 0 y 100, generando mapas con una clasificación diferenciada en 4 rangos de 25 puntos cada una, según susceptibilidad “baja”, “media”, “alta” y “muy alta”. El detalle de los valores asignados a cada una de las unidades geomorfológicas para cada parámetro o criterio utilizado se encuentra en la sección de Anexos.

Los tipos de remociones en masa considerados son caídas de rocas, flujos, deslizamientos de roca y deslizamientos de suelo. Para el caso de estos dos últimos es importante mencionar que para ambos se consideraron unidades rocosas con desarrollo de suelo de espesores menores a 1-1.5 metros, debido a que se consideró que eran capaces de generar tanto deslizamientos superficiales de suelo como deslizamientos de roca.

5.1 Factores condicionantes en la generación de remociones en masa

5.1.1 Geología y Geotecnia

Las unidades rocosas en el área de estudio corresponden principalmente a unidades volcanosedimentarias de la Formación Lo Valle y la Formación Abanico, en las cuales se presentan rocas volcánicas andesíticas a basálticas, rocas piroclásticas, brechas volcánicas e intercalaciones de rocas sedimentarias como conglomerados, brechas y areniscas.

Los afloramientos muestran que la roca generalmente se presenta meteorizada, con grados entre II y III típicamente de acuerdo con la clasificación de ISRM (Brown, 1981), y altamente fracturada. Ocasionalmente presenta rellenos de calcita, cuarzo-sericita, clorita y óxidos, además de amígdalas de calcita y cloritización típicamente visto en lavas y brechas andesíticas.

La resistencia de la roca presenta valores típicos que oscilan entre los 40 y los 60 MPa, clasificando en los campos R3 y R4 de acuerdo a los criterios establecidos por Waltham (1994). Asimismo, los valores de GSI estimados fluctúan entre 40 y 60 típicamente.

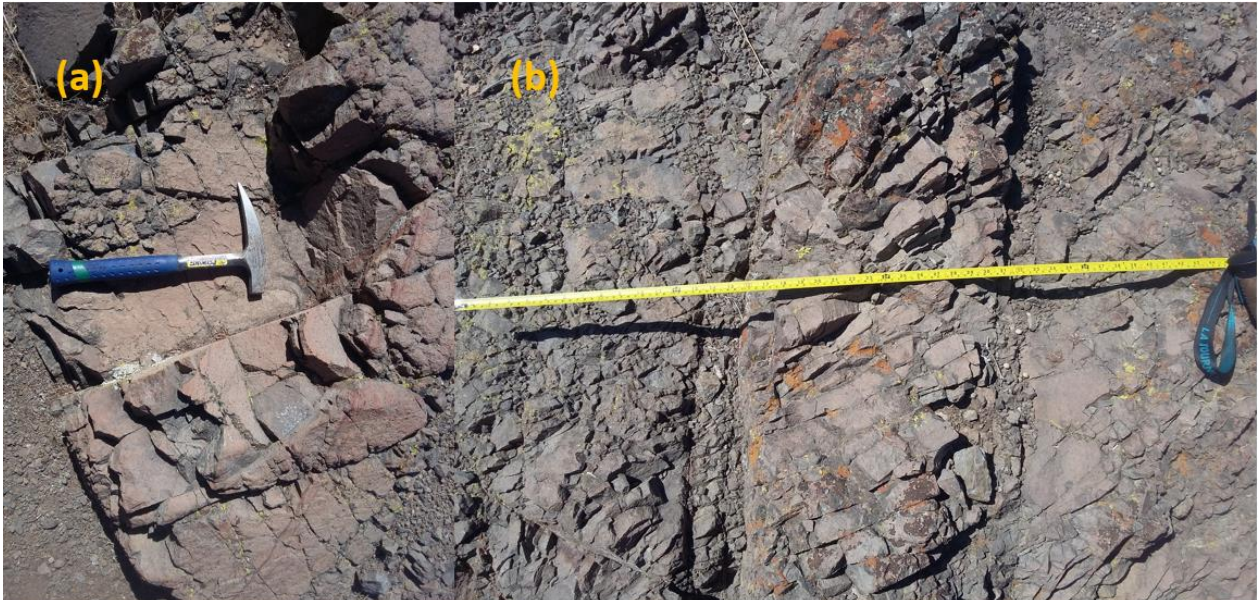


Figura 5.1: Se muestran 2 fotografías, (a) y (b), de un afloramiento rocoso de la zona céntrica del área de trabajo. La roca corresponde a una lava de composición andesítica. Se estiman valores de GSI de 40-45 y una resistencia de 20-40 MPa. Presenta gran cantidad de fracturas, algunas con relleno de óxidos de hierro, agrupadas en 5-6 sets principales.

Presentan un grado de fracturamiento generalmente alto, como se muestra en la Figura 5.1, donde se pueden distinguir la mayoría de las veces entre 4 y 6 familias con orientaciones predominantes (J_n), presentando un número de discontinuidades por m^3 (J_v) aproximado entre 14 y 45.

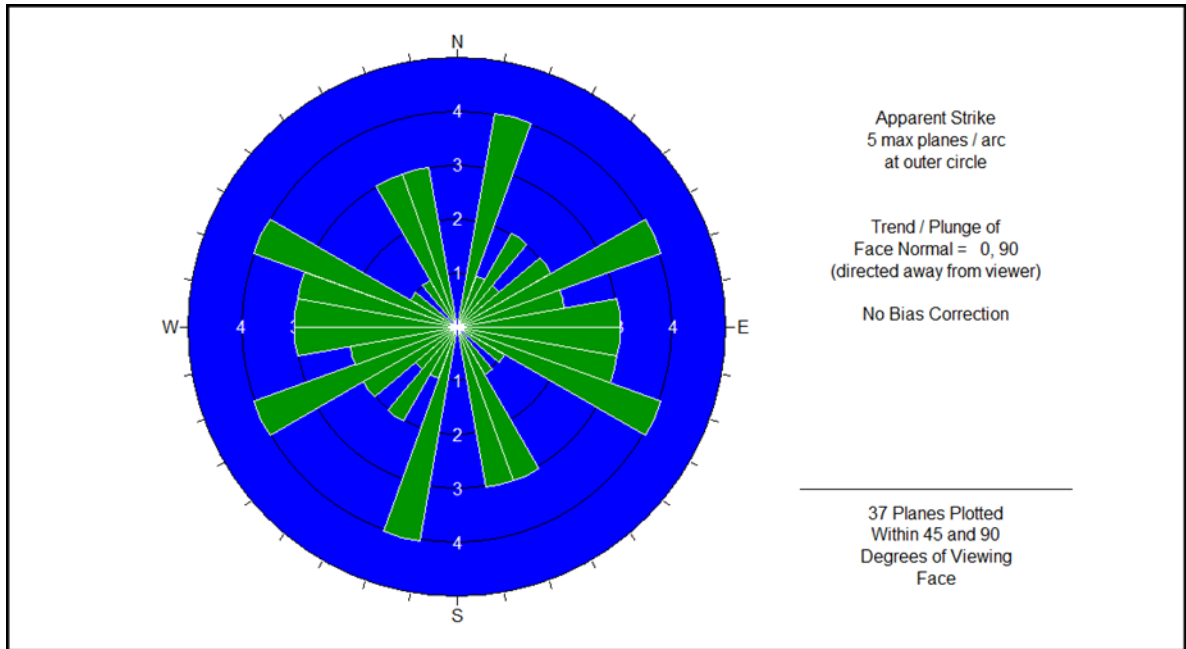


Figura 5.2: Diagrama roseta, obtenido mediante el software DIPS, donde se plotearon planos de fracturas encontrados en afloramientos rocosos del área de trabajo.

En la Figura 5.2 se presenta un diagrama roseta elaborado con el software DIPS, en base a mediciones realizadas en terreno, y en la Figura 5.3 se presenta un diagrama de concentraciones de polos, a partir del cual se pueden distinguir 6 sets predominantes, que se detallan en la Tabla 5.1.

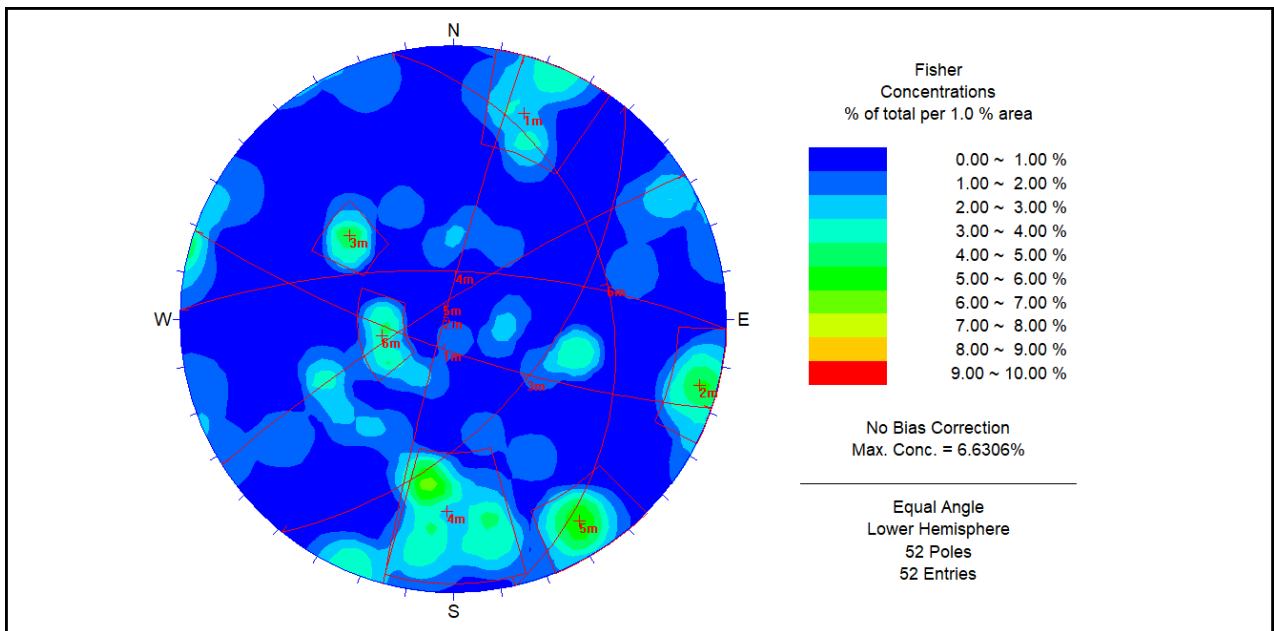


Figura 5.3: Diagrama de polos y sets principales. Se han encontrado 6 concentraciones principales.

Tabla 5.1: Resumen de los Sets de fracturas encontrados a partir del ploteo de planos anteriormente descritos, con sus respectivas medidas en notación Dip/DipDirection.

Set	Dip	DipDirection
1	77	199
2	86	285
3	52	129
4	70	2
5	82	328
6	30	77

Las unidades de suelo se diferencian localmente de acuerdo al tipo de depósito en el cual se encuentran. Los depósitos coluviales, como el que se muestra en la Figura 5.4, presentan típicamente suelos arenolimosos y limo-arcillosos, con una leve predominancia de matrices finas con plasticidad de media a alta, y con alta presencia de gravas y bloques de hasta 50-70 cm de diámetro.



Figura 5.4: Depósito coluvial con gravas y bloques matriz soportados por una arcilla-limosa. Clastos de entre 4 a 20 cm de diámetro.

Los depósitos fluviales, como el que se muestra en la Figura 5.5, se componen principalmente gravas en una matriz arenosa, con fluctuaciones entre arenas limosas y arenas gravosas, con presencia de bloques de hasta 70 cm de diámetro. Frecuentemente se encuentran intercalados con depósitos aluviales, que generalmente se componen de una matriz limosa a limo-arcillosa y presencia de gravas y bloques de hasta 1 a 3 metros de diámetro.



Figura 5.5: Depósito fluvial polimíctico, matriz soportados por una grava arenosa, con clastos redondeados a subredondeados de hasta 60 cm de diámetro. El depósito varía entre 1.5 a 2 metros de espesor.

Frecuentemente también se dan de forma local algunas zonas rocosas con capas superficiales de suelo, típicamente limo-arcillosos de compactación baja, en ocasiones con presencia de materia orgánica y que por lo general no superan los 50 cm de espesor.

5.1.2 Hidrogeología

Los principales cauces del área de estudio corresponden a quebradas y cauces que se disponen de manera Norte-Sur, donde el gradiente hace que la escorrentía se desarrolle desde las mayores altitudes del Cordón Chacabuco hacia el Sur. Las quebradas principales son de occidente a oriente, la quebrada de Los Canastos, la quebrada Infiernillo, la quebrada de La Nipa, el estero Santa Margarita y la quebrada.

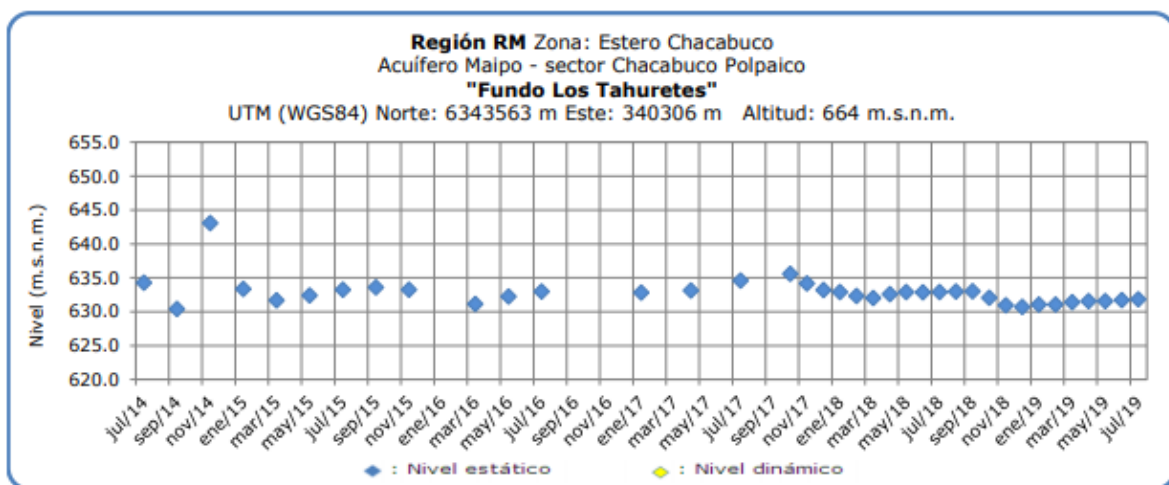


Figura 5.6: Nivel estático en el Fundo Los Tahuretes, en el sector Chacabuco-Polpaico. Tomado de la Dirección General de Aguas (Julio, 2019).

El sistema de drenaje es en general dependiente del clima y sus cauces son estacionales y esporádicos, no presentando un caudal continuo durante todo el año. Sus períodos de mayor aumento se deben a la temporada de precipitaciones y deshielos de las zonas cordilleranas. El nivel freático, de acuerdo a datos de la Dirección General de Aguas, en el Fundo Los Tahuretes, ubicado en la zona del valle del estero Santa Margarita, citúa su valor en los 35 metros aproximadamente, como muestra la Figura 5.6.

5.1.3 Topografía y Geomorfología

La topografía del lugar es accidentada, especialmente en el sector del cordón Chacabuco, producto de diferencias abruptas entre zonas de alturas entre 700 y 900 mts hacia zonas de entre 1000 y 1250 mts, cuyas pendientes además son más fuertes, alcanzando valores de entre 25° y 40°, como se puede ver en la Figura 3.7 (Capítulo 3) o en la Figura 5.12.

Hacia el sur las elevaciones son menores y las laderas tienen pendientes menores, excepto en algunas quebradas más encajonadas y algunas zonas algo escarpadas, como en el sector de la quebrada Infiernillo, donde se registran pendientes fuertes de 40° hasta más de 60°, lo cual pudiera aumentar la potencialidad de generación de fenómenos de remociones en masa.

Todo el sector de Chacabuco se dispone como una gran cuenca que se orienta hacia el Sur como una U invertida. Esto hace que las laderas generalmente estén orientadas hacia el sur, y producto que las quebradas y cauces también lo están, muchas laderas adquieren orientaciones hacia el oriente u occidente. Diferenciar dichas orientaciones

tiene importancia al definir y separar distintas unidades geomorfológicas, lo que será visto más adelante en este capítulo.

La forma de la cuenca y las subcuencas formadas generalmente contienen una red principal de baja sinuosidad que cae en una pendiente fuerte, y las laderas se disponen de manera encajonada y con altas pendientes, lo cual genera acumulación de material en el fondo de las quebradas y un potencial de generación de flujos. Usualmente también existen tramos escalonados en los cauces, seguidos de zonas de baja pendiente, lo cual frenaría el avance de flujos y contribuiría a disminuir la energía de éstos, por lo cual eventuales fenómenos no tendrían tanto alcance, salvo en casos más extremos.

5.1.4 Clima y Vegetación

La zona de estudio se encuentra ubicada en Chile Central, caracterizado con un tipo de clima mediterráneo, que consiste en un período invernal lluvioso y un período de sequía en verano, también conocido como “Templado cálido con estación seca prolongada”. Este clima se encuentra en la clasificación general de Köppen como CsB.

Según datos de la Dirección Meteorológica de Chile, durante el invierno, entre los meses de Mayo y Agosto se registran alrededor del 80% de las precipitaciones anuales, considerando nieve en las zonas sobre los 1500 m s.n.m. La humedad relativa es baja, apenas sobre el 70% en promedio. Las temperaturas son bajas en invierno, cuyos promedios oscilan entre los 11° y los 7,5°C, y altas en verano, oscilando entre los 19°C y 21°C en promedio, como se muestra en la Figura 5.7. Las amplitudes térmicas entre los meses más cálidos y los más fríos alcanzan los 13°C, y la oscilación térmica diaria puede alcanzar los 14°C a 16°C. Los valores extremos, como se muestra en la Figura 5.8, alcanzan los 32°C a 34°C como máximo en verano y las temperaturas mínimas registran valores levemente negativos.

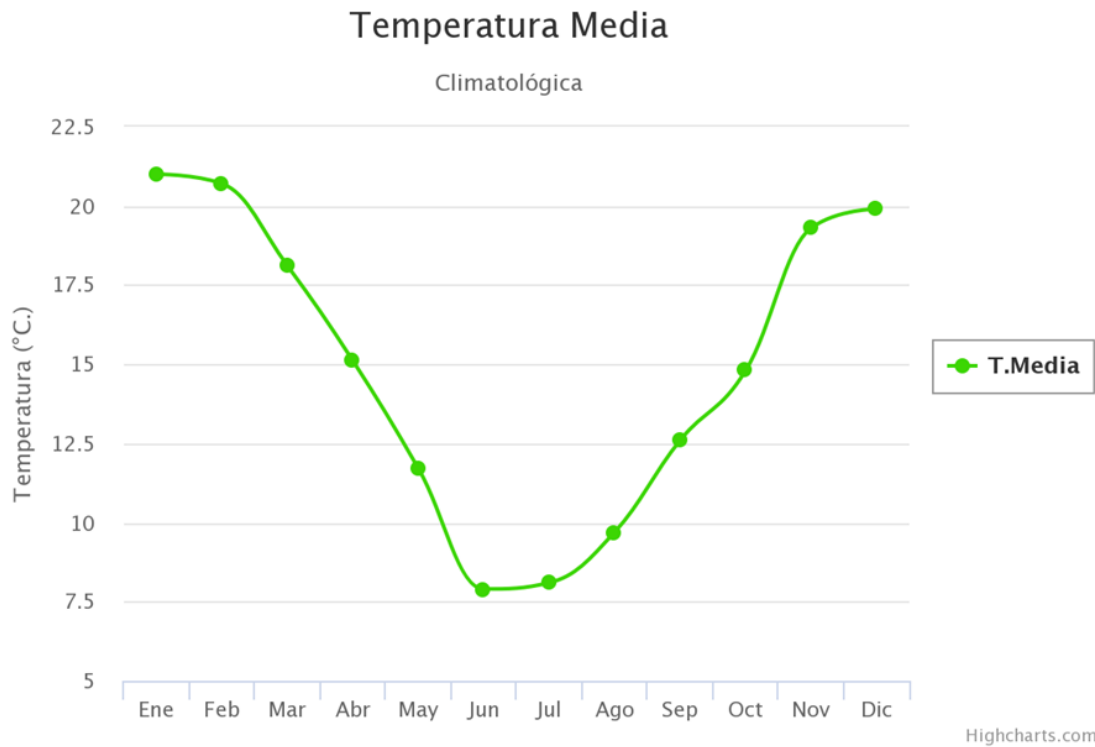


Figura 5.7: Temperaturas medias mensuales medidas en la zona central de Chile el año 2018. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, Servicios Climáticos.

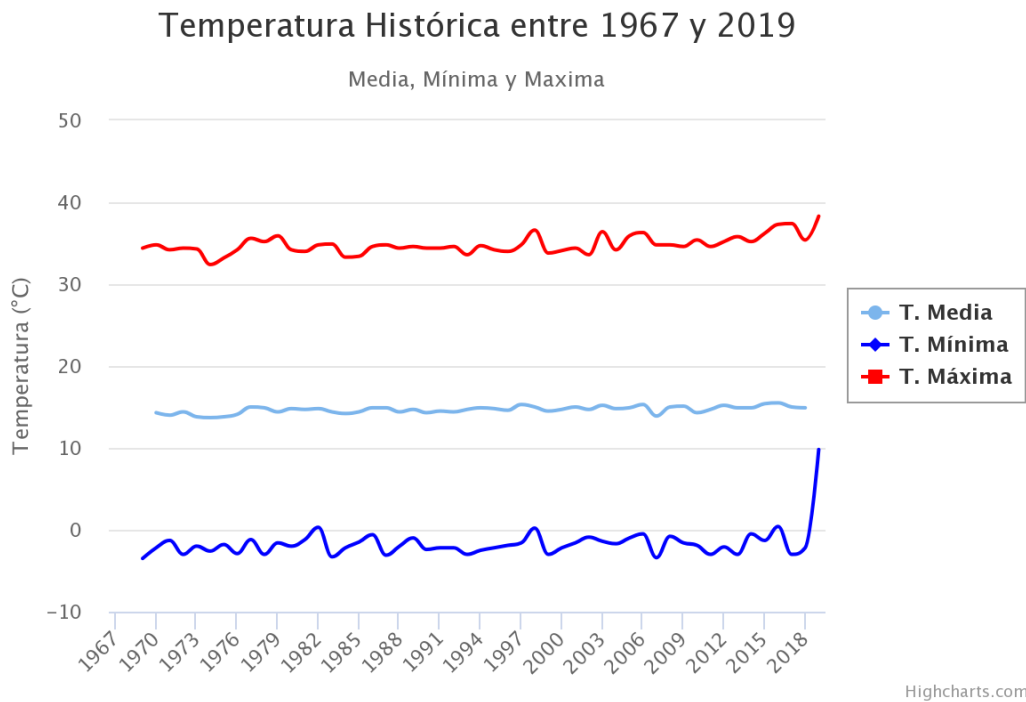


Figura 5.8: Temperaturas históricas entre los años 1967 y 2019 en la zona central de Chile. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, Servicios Climáticos.

La vegetación está caracterizada por especies de bosque esclerófilo, principalmente consistentes en arbustos espinosos y árboles adaptados a las zonas secas y con hojas preparadas para evitar la pérdida de humedad. Se destacan principalmente los espinos, el litre, el quillay, el boldo y el peumo como las especies dominantes. La mayoría de las cubiertas corresponden a arbustos de poca altura y baja densidad de hojas, por lo que no contribuye a la protección de las laderas frente a la erosión. Tampoco tiene un efecto importante en la generación de suelo, ya que sus raíces son poco profundas. Finalmente, su presencia, en algunas laderas de pendientes suaves, aumenta considerablemente la rugosidad, disminuyendo las distancias recorridas por rocas y bloques que caen producto de desprendimientos de afloramientos en altura.

5.1.5 Acción antrópica

En la zona existen algunas manifestaciones antrópicas que pueden potencialmente aumentar la probabilidad y la susceptibilidad de las laderas a remociones en masa. Específicamente, es un área con actividad relacionada a la minería y existen sectores agrícolas en las zonas de los valles centrales.

En la zona occidental de Chacabuco se encuentra el Tranque de relaves Ovejería, con una extensión aproximada de 12 km², cuya influencia en la zona puede contribuir a generar alteraciones y disminuciones en los niveles freáticos y cauces cercanos, lo cual aumenta la sequedad del ambiente y disminuye la generación de vegetación. A su vez, las construcciones aledañas pueden generar inestabilidad en las laderas y suelos.

En las áreas cercanas al tranque también existen sectores con deforestación, lo cual aumenta la susceptibilidad de los terrenos a la erosión y meteorización, disminuyendo la estabilidad de laderas y suelos. Y también, en algunas áreas se ha reforestado con bosques monoespecíficos, lo cual contribuye a un mayor consumo de agua desde sus raíces y a una convivencia desestabilizadora con el ambiente. Generalmente se utilizan sistemas de riego artificiales que infiltran en estos suelos, generando potencialidad de deslizamientos, especialmente en laderas con pendientes pronunciadas.

En el área también existen algunos caminos hechos por CODELCO, especialmente en la zona del cordón Chacabuco, a gran altura, que han provocado remoción de material rocoso desde las laderas, pudiendo en algunas zonas alterar su geometría y creando depósitos del material sobrante en otras áreas, que se disponen sin gran compactación ni estabilidad, pudiendo ser fuente de remociones desencadenadas por eventuales precipitaciones intensas.

También existen, en la zona de Chacabuco, algunas piscinas y tranques de agua pequeños, usualmente sobre terrazas aplanadas hechas de forma artificial, cuyos

bordes escarpados pudieran colapsar eventualmente, debido a la poca estabilidad y cohesión del material apilado.

Finalmente, la actividad agrícola y ganadera de las localidades presentes en el área influye de manera poco significativa ya que se ubican en las áreas de bajas pendientes. La circulación continua de animales, sin embargo, en laderas y zonas de mayores pendientes, provoca un continuo desgaste y erosión de material rocoso altamente fracturado y frecuentemente meteorizado, disminuyendo su calidad a nivel superficial en las zonas más expuestas.

5.2 Factores desencadenantes de remociones en masa

5.2.1 Lluvias

Diversos autores como Hauser (1985), Varnes (1978) y más recientemente González et al. (2002) y Lara (2007), destacan este factor como desencadenante en la generación de fenómenos de remociones en masa, debido a su incidencia en la disminución de la resistencia de los materiales. En este sentido, las precipitaciones influyen aumentando el grado de saturación de los materiales, tanto de suelo como de fracturas, aumentando temporalmente la presión de fluidos (Lara, 2007).

En particular, el área de trabajo se encuentra en la zona central de Chile, cuyas precipitaciones mensuales aumentan y disminuyen de forma estacional, como se muestra en la Figura 5.9, concentrando sus valores más altos, superiores a 70 mm. en promedio, en los meses de Junio y Julio en la temporada de invierno.

Las precipitaciones registradas en los períodos estivales en las zonas pre andinas también son de gran importancia para la generación de fenómenos de remoción en masa, según autores como Hauser (1985) y Lara (2007), ya que se asocian con las características mecánicas tanto de suelos superficiales como de rocas que experimentan resecaamiento por ausencia de lluvias, generando microfracturamiento ante la presencia de lluvias repentinas e intensas y propiciando así la generación de flujos.

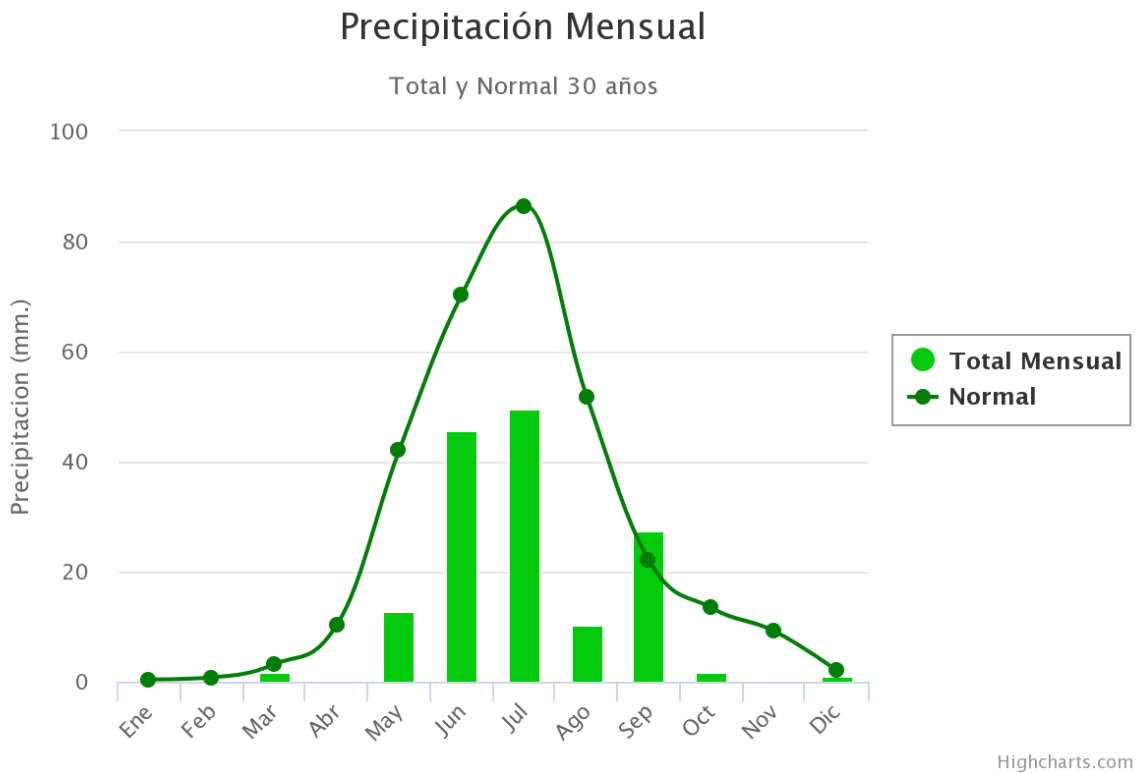


Figura 5.9: Precipitaciones mensuales en la zona central registradas en el año 2018. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, Servicios Climáticos.

En Chile además se registran los efectos de variaciones en las corrientes marinas, conocidos como el Fenómeno del Niño y la Niña, en ciertos años, afectando los climas locales y específicamente las temperaturas y precipitaciones, entre otros. En particular, para la zona central de Chile, es posible atribuir un aumento de las temperaturas y de las precipitaciones debido al fenómeno del Niño, y un efecto contrario para La Niña (Garreud et al., 2017). Autores como Sepúlveda et al. (2006) han mostrado un claro aumento de la ocurrencia de eventos de remociones en masa en la zona oriente de Santiago durante los años que presentan el fenómeno de El Niño.

5.2.2 Sismos

La sismicidad ya ha sido caracterizada en capítulos anteriores de este trabajo, evidenciando una gran cantidad de eventos de profundidad intermedia asociados a Sismicidad Interplaca y también una cantidad considerable de eventos de profundidades bajas a asociados a Sismicidad Intraplaca, asociada a estructuras activas en la zona.

Según diversos autores la sismicidad estaría fuertemente asociada con fenómenos de remociones en masa, produciendo inestabilidad en laderas debido a un cambio

temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometida (Lara, 2007). A su vez, Keefer (1984) realizó estudios que relacionaron gran cantidad de eventos de remociones en masa a sismos ocurridos principalmente en la zona de Los Ángeles, EE.UU., estableciendo que los tipos más comunes serían la caída de rocas, deslizamientos desagregados de suelo en pendientes de ladera $>15^\circ$ y deslizamientos de roca en pendientes de ladera $>40^\circ$.

5.2.3 Otros: erupciones volcánicas, intervención antrópica, derretimiento de nieve, etc.

Factores adicionales que pudieran ser desencadenantes de remociones en masa son la actividad antrópica y animal en la zona. Las actividades asociadas a las faenas mineras, como la generación de obras como caminos, puentes, embalses, tranques, edificaciones, tuberías, etc, es intensa en la zona y, en caso de no tomar las precauciones adecuadas, puede eventualmente desencadenar remociones en masa como deslizamientos, desprendimientos y caídas de roca. Uno de los factores de mayor potencial en este ámbito es el uso de explosivos, utilizado en varias de las actividades nombradas, y que puede contribuir a la desestabilización súbita de zonas de debilidad tanto de roca como de suelos.

Finalmente, la circulación frecuente de animales como ganado y cabras en laderas y afloramientos rocosos en altura genera continuamente desprendimiento y caída de rocas, que se van depositando en zonas donde la pendiente disminuye y frecuentemente en el lecho de quebradas y zonas de alto nivel de encajonamiento, pudiendo también ser fuente de la generación de flujos ante eventuales lluvias intensas.

5.3 Área de estudio

Para el cálculo de la susceptibilidad a remociones en masa se seleccionó un área de trabajo más pequeña en la zona norte, en el sector de Chacabuco, delimitada por la cuenca hidrográfica del sistema de drenaje principal desde el nacimiento del estero Chacabuco hacia el norte, cuyo nombre cambia a estero Santa Margarita. El área ha sido delimitada por un polígono, como se muestra en la Figura 5.10, y abarca un área aproximadamente de 60,73 km².

Esta área fue escogida principalmente debido a que ha sido identificada dentro de la zona de estudio como una de las más activas tectónicamente según las referencias estudiadas, donde por ejemplo se encuentra una de las fallas que tendría un alcance regional, la falla Infiernillo. A su vez, constituye una zona subcordillerana donde se encuentran numerosos depósitos ligados a fenómenos de remociones en masa de pequeña y mediana escala identificados en experiencias de terreno, y también

constituye un área donde se puede aplicar una escala compatible con la cantidad de datos disponibles para la metodología propuesta.

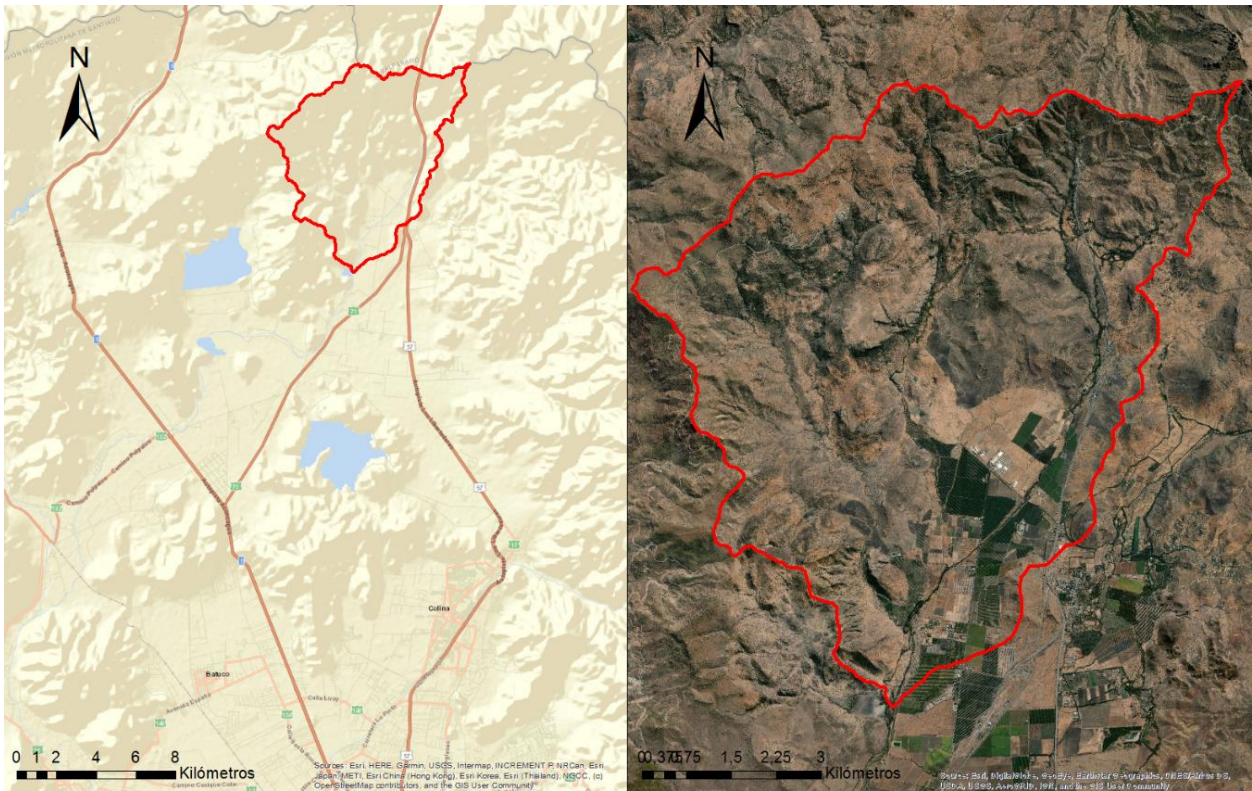


Figura 5.10: Se muestra el área de estudio en un polígono color rojo en ambas imágenes, en escalas diferentes. En la figura de la izquierda se muestra en una escala regional, donde se agregan las principales rutas en la zona para una mejor ubicación, y en la figura de la derecha en una escala más pequeña, con la imagen satelital de fondo.

5.4 Índices de Susceptibilidad a remociones en masa

5.4.1 Unidades Geomorfológicas

Para el análisis cuantitativo de los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la generación de remociones en masa, en el área de trabajo se han definido 192 unidades geomorfológicas, siguiendo la metodología propuesta por Lara (2007), utilizando el software ArcGis. La distribución de las unidades se muestra en la Figura 5.11, en un mapa realizado con escala 1:50000.

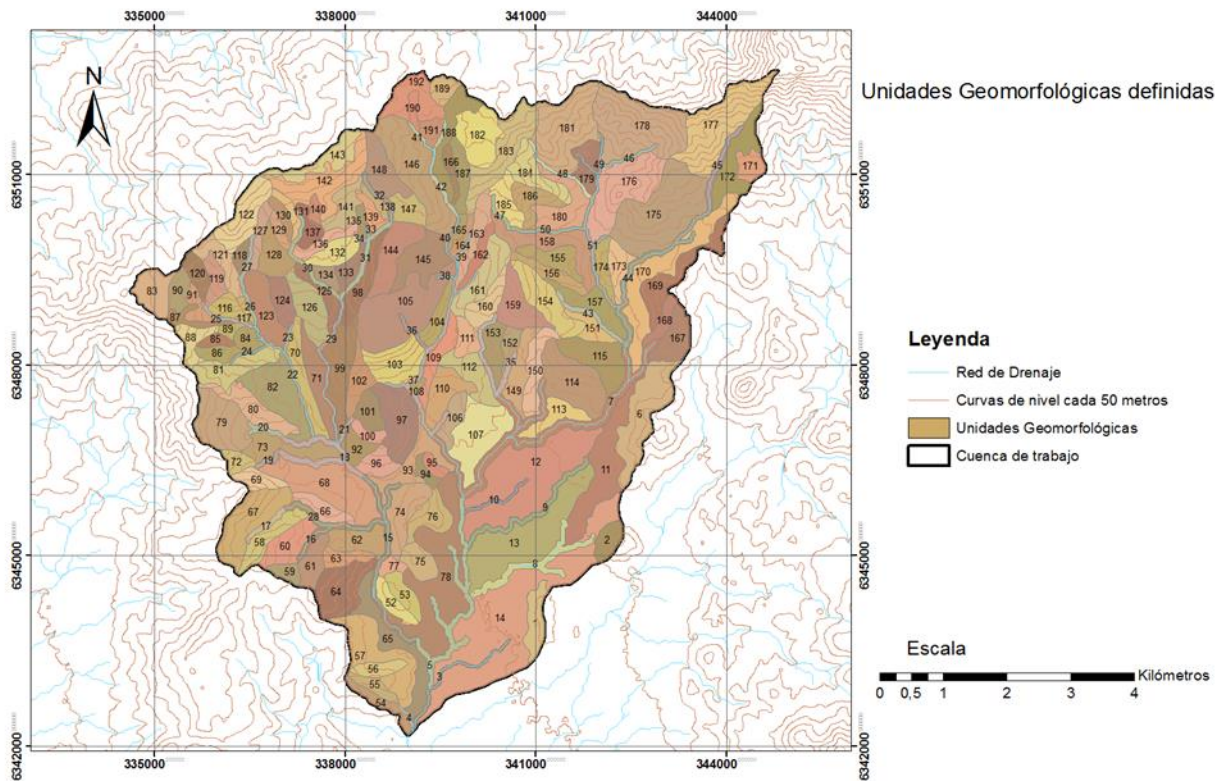


Figura 5.11: Unidades geomorfológicas definidas en el área de trabajo. Cada una de las 192 unidades se ha enumerado y se muestra en un color o tonalidad diferente. Además se muestra en celeste la red de drenaje y en marrón las curvas de nivel cada 50 metros.

Los criterios utilizados para la definición de las unidades fueron las pendientes, como se muestra en la Figura 5.12 y la orientación de las laderas, como se muestra en la Figura 5.13, además de algunos criterios geológicos y geomorfológicos. En primer lugar, se separaron, por un sentido geológico, laderas, quebradas y cauces, y zonas de valle, debido a que en cada uno de ellos se encuentran distintos tipos de remociones en masa, según lo estudiado.

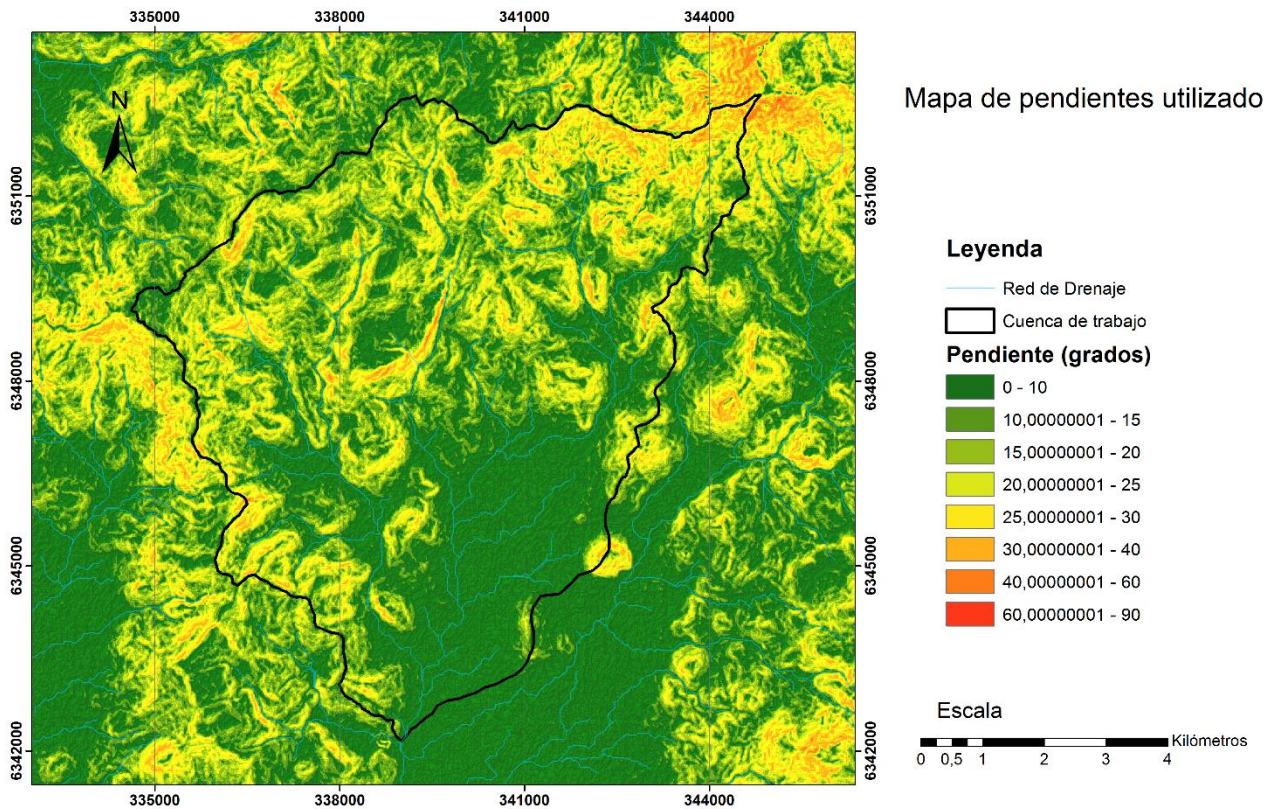


Figura 5.12: Mapa de pendientes utilizado, con su respectiva leyenda. Se muestra en un polígono con borde negro el área de trabajo. Los rangos utilizados fueron los planteados en la metodología seguida, aunque el mayor aporte en esta sección fue identificar cambios notorios en las pendientes para la definición de las unidades geomorfológicas.

En segundo lugar, se agruparon zonas de pendientes similares, donde un cambio abrupto o un aumento o disminución considerable fue suficiente para marcar los límites de una unidad. La Figura 5.12 muestra el mapa de pendientes utilizado en este caso, elaborado con el software ArcGis.

En tercer lugar, se consideró la orientación de las laderas, intentando respetar una homogeneidad dentro de una misma unidad, separando especialmente aquellas que miraban al norte de las que miraban al sur, o aquellas que tuvieran una orientación muy marcada, típicamente laderas en zonas de mayor pendiente. En la Figura 5.13 se muestra el mapa de aspectos utilizado, elaborado con el software ArcGis.

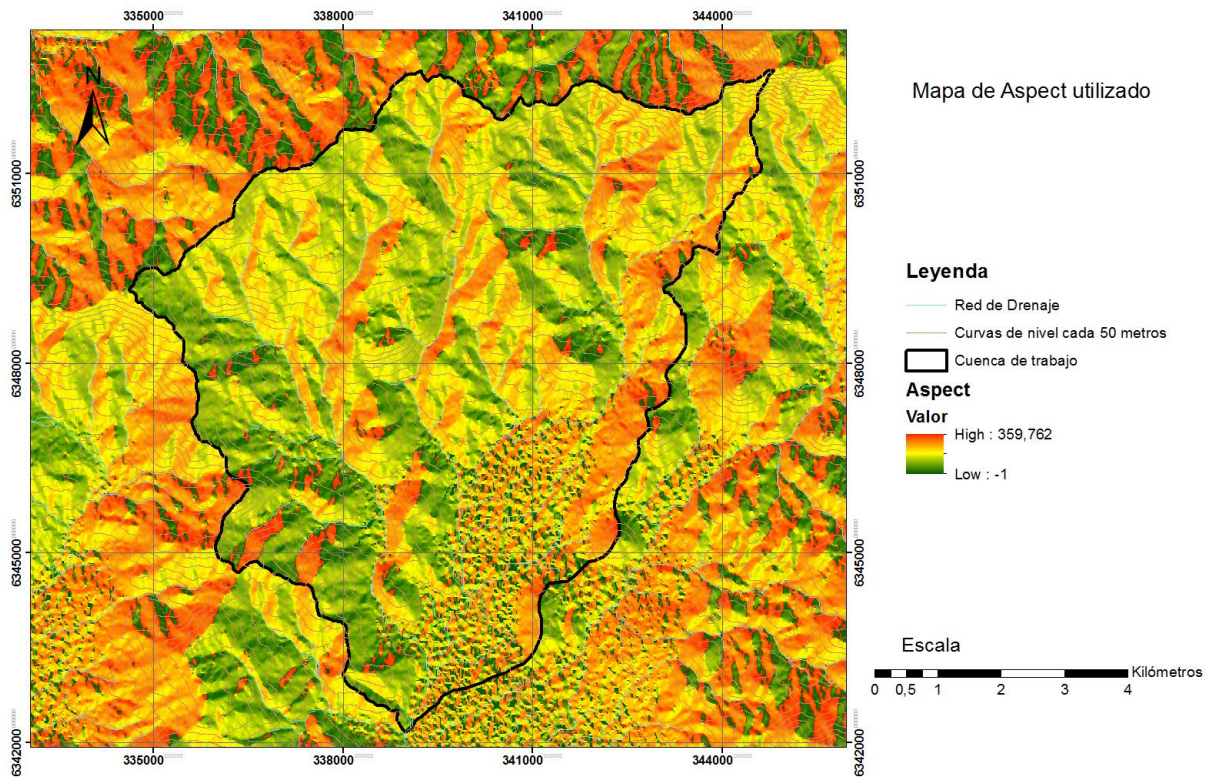


Figura 5.13: Mapa de aspectos utilizado. Se muestra en un polígono con borde negro el área de trabajo.

Finalmente, también fue considerada la escala de trabajo, 1:50.000, la cual tiene un efecto importante en el nivel de detalle considerado a la hora de separar unidades geomorfológicas, debido a que en muchos casos se daba la situación de tener zonas con pendientes u orientaciones levemente heterogéneas. En este caso, tomando en cuenta los demás criterios anteriormente explicados, muchas veces se incluyeron finalmente dentro de una misma unidad ya que separarlos implicaría unidades muy pequeñas cuyas diferencias no se notarían en dicha escala.

5.4.2 Susceptibilidad a Flujos

Luego de analizar y cuantificar los factores en cada una de las unidades geomorfológicas definidas, según la metodología explicada anteriormente, para el caso de la Susceptibilidad a Flujos se encontraron 28 unidades con un IS mayor o igual a 50, como se detalla en la Tabla 5.2 (Para mayor detalle consultar sección de Anexos). El valor mínimo para las unidades consideradas susceptibles a este tipo de remociones en masa es de 50, mientras que dos unidades alcanzaron un valor máximo de 77.

Tabla 5.2: Resumen de unidades con IS a flujos mayor o igual a 50.

Unidades con IS Flujos ≥ 50					
Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS
21	54	34	63	46	56
22	53	35	52	47	50
23	70	36	76	48	76
25	60	37	64	49	60
26	65	38	76	50	52
27	63	39	51	51	51
29	60	40	70		
30	66	41	76		
31	56	42	61		
32	58	44	57		
33	65	45	68		

A partir de estos valores se han distinguido 4 rangos, con valores cada 25 puntos, que consideran una Susceptibilidad baja, media, alta y muy alta en la generación de flujos. Con ellos se ha realizado un mapa (Figura 5.14), en escala 1:50000, que muestra en colores verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente las áreas con una susceptibilidad baja hasta las áreas con una susceptibilidad muy alta.

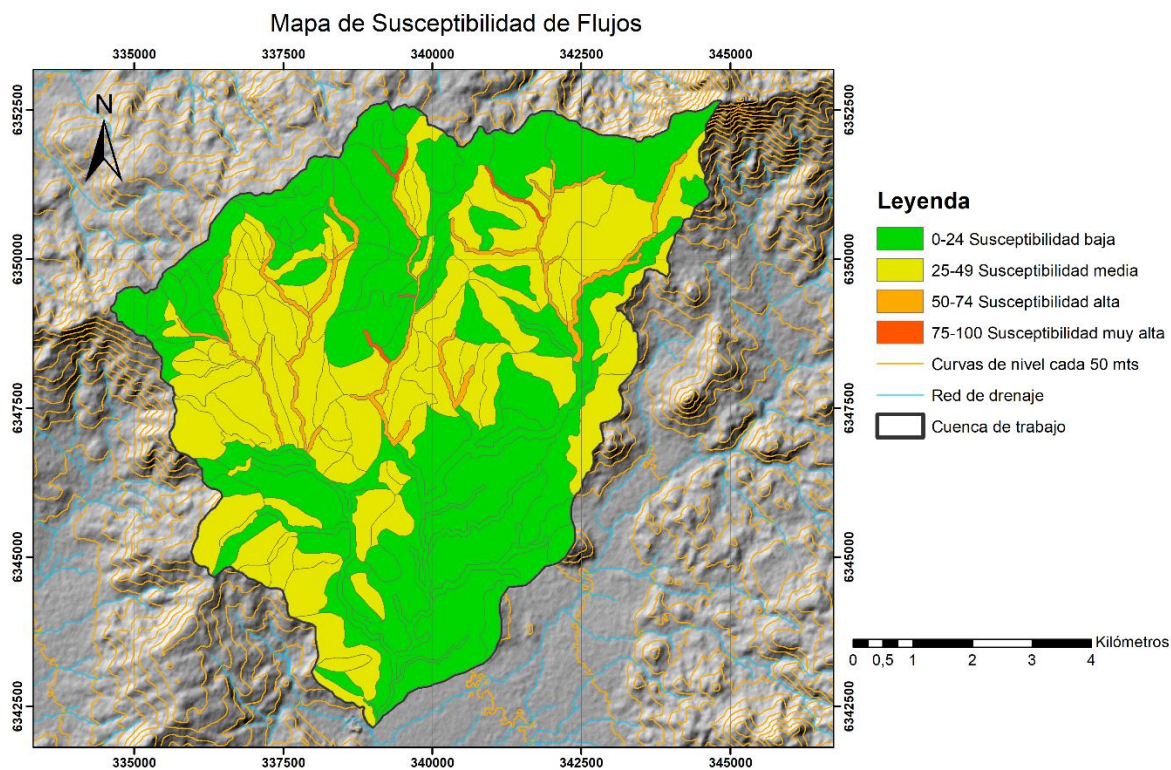


Figura 5.14: Mapa de Susceptibilidad de Flujos en la Zona de Chacabuco, sector norte de la Región Metropolitana.

5.4.3 Susceptibilidad a Deslizamientos en Suelo

Para el caso de la Susceptibilidad a Deslizamientos de Suelo se encontraron 13 unidades con un IS mayor o igual a 50, como se detalla en la Tabla 5.3. El valor mínimo para las unidades consideradas susceptibles a este tipo de remociones en masa es de 51, mientras que el valor máximo es de 66.

Tabla 5.3: Resumen de unidades con IS a deslizamientos en suelo mayor o igual a 50.

Unidades con IS Deslizamientos Suelo \geq 50			
Unidad	IS	Unidad	IS
2	54	85	54
59	59	99	51
60	56	158	50
67	58	175	60
69	66	176	53
79	53	188	51
81	51		

A partir de estos valores se construyeron los mismos 4 rangos, agrupando las unidades en un mapa en escala 1:50000 (Figura 5.15), que muestra en color verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente las áreas con una susceptibilidad baja hasta las áreas con una susceptibilidad muy alta. Cabe destacar que en este caso no se registran zonas con una susceptibilidad muy alta, es decir, no se registraron valores sobre un IS = 75.

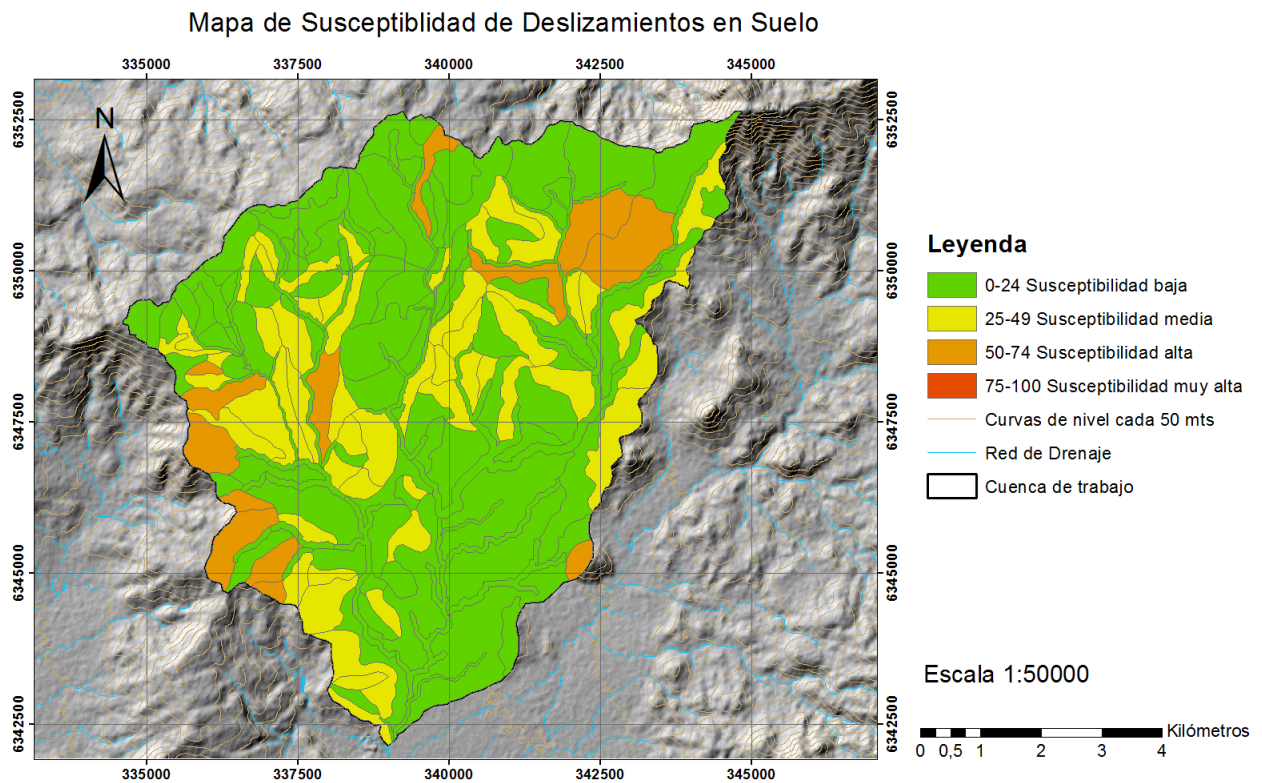


Figura 5.15: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos en Suelo en la Zona de Chacabuco, sector norte de la Región Metropolitana.

5.4.4 Susceptibilidad a Deslizamientos en Roca

Para el caso de la Susceptibilidad a Deslizamientos de Suelo se encontraron 38 unidades con un IS mayor o igual a 50, como se detalla en la Tabla 5.4. El valor mínimo para las unidades consideradas susceptibles a este tipo de remociones en masa es de 50, mientras que 3 unidades comparten un valor máximo de 87.

Tabla 5.4: Resumen de unidades con IS a deslizamientos en roca mayor o igual a 50.

Unidades con IS Deslizamientos en Roca ≥ 50					
Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS
2	63	123	54	172	54
52	55	127	50	175	54
69	54	129	54	177	87
74	70	130	50	178	87
90	50	131	50	181	87
97	60	133	54	183	82
99	54	135	64	184	54
103	60	136	54	187	54

104	60	140	50	188	70
116	61	142	50	189	50
117	61	145	56	190	50
119	54	146	55	191	55
122	65	148	51		

A partir de estos valores se construyeron los mismos 4 rangos, agrupando las unidades en un mapa en escala 1:50000 (Figura 5.16), que muestra en color verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente las áreas con una susceptibilidad baja hasta las áreas con una susceptibilidad muy alta.

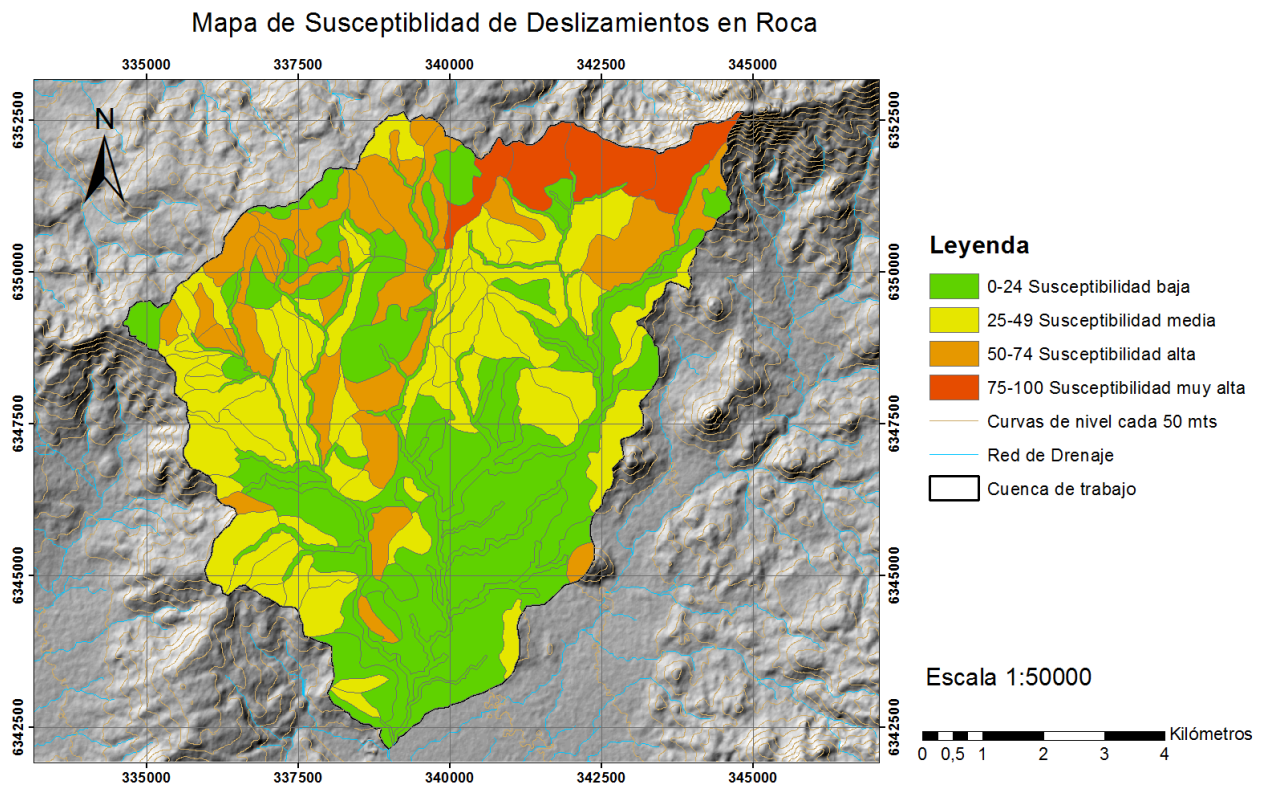


Figura 5.16: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos en Roca en la Zona de Chacabuco, sector norte de la Región Metropolitana.

5.4.5 Susceptibilidad a Caída de Rocas

Para el caso de la Susceptibilidad a Caídas de Rocas se encontraron 60 unidades con un IS mayor o igual a 50, como se detalla en la Tabla 5.5. El valor mínimo para las unidades consideradas susceptibles a este tipo de remociones en masa es de 50, mientras que 2 unidades comparten un valor máximo de 90.

Tabla 5.5: Resumen de unidades con IS a caída de rocas mayor o igual a 50.

Unidades con IS Caída de Rocas \geq 50							
Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS
1	54	104	75	134	51	175	59
2	57	109	52	135	69	176	62
6	60	114	57	136	54	177	90
52	68	116	70	140	53	178	90
58	50	117	70	142	59	181	83
67	50	119	54	145	62	183	83
69	51	122	77	146	62	184	59
74	60	123	59	148	56	185	51
85	50	124	51	153	54	186	62
92	60	126	51	159	50	187	51
96	60	127	54	164	51	188	70
97	60	129	54	168	57	189	59
98	50	130	59	169	50	190	59
99	59	131	59	172	59	191	62
103	75	133	59	174	55	192	53

A partir de estos valores se construyeron los mismos 4 rangos, agrupando las unidades en un mapa en escala 1:50000 (Figura 5.17), que muestra en color verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente las áreas con una susceptibilidad baja hasta las áreas con una susceptibilidad muy alta.

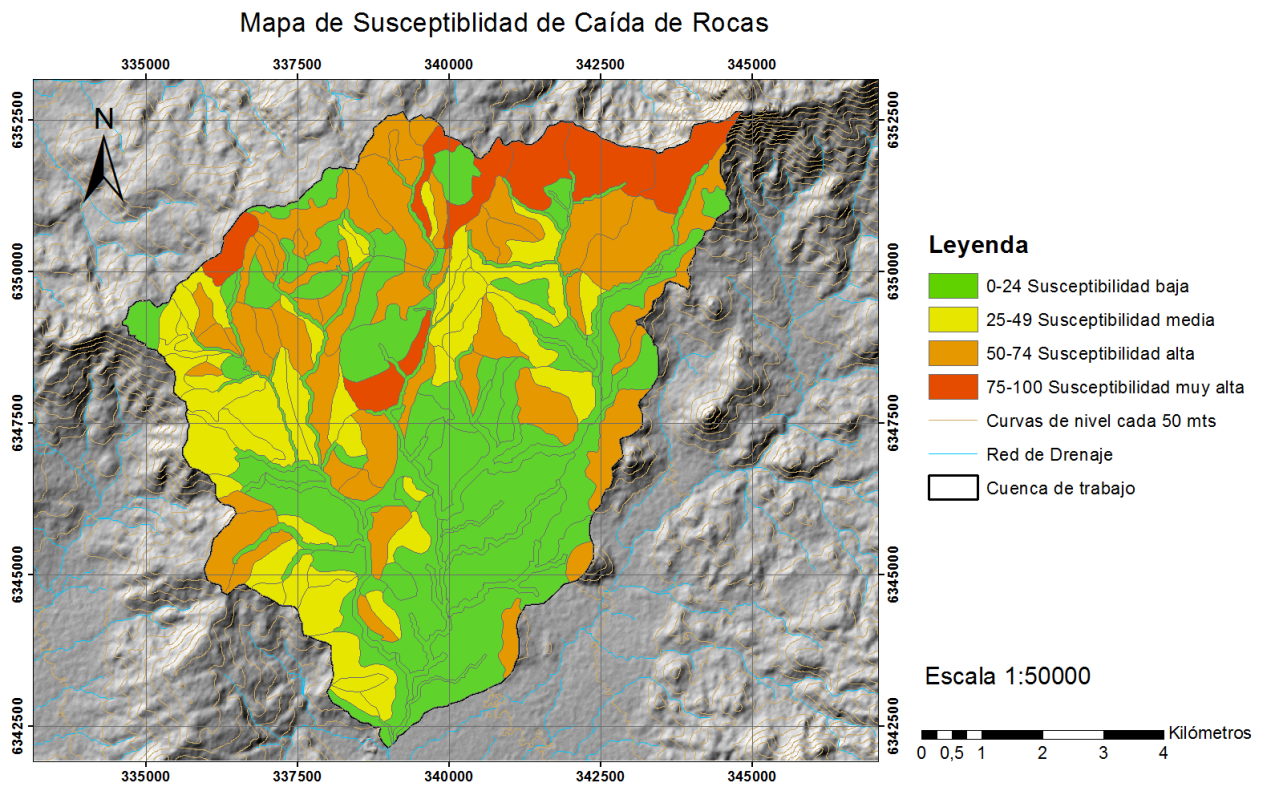


Figura 5.17: Mapa de Susceptibilidad de Caída de Rocas en la Zona de Chacabuco, sector norte de la Región Metropolitana.

Los resultados muestran que los mayores valores de Índices de Susceptibilidad se encuentran en la zona norte del área de trabajo, en los lugares de mayores elevaciones y pendientes. En la zona media existen algunas excepciones con susceptibilidades altas y muy altas en alrededores de la quebrada Infiernillo, y en la zona de menores elevaciones donde las pendientes son muy bajas prácticamente se tiene una susceptibilidad baja o derechamente nula (Ver tablas en sección Anexos).

A su vez, los mayores valores de IS se encuentran asociados a la caída de rocas, donde se registraron 60 unidades en los rangos de susceptibilidad alta o muy alta, muy por sobre los otros tipos de remociones en masa estudiados.

6 Discusiones

6.1 Actividad neotectónica

El análisis de actividad neotectónica en base a indicadores presentes en la geomorfología de la zona ha sido adecuado y suficiente para detectar lineamientos y proponer en ciertas áreas la presencia de estructuras con una cierta longitud y orientación determinadas. Dichas trazas han sido inferidas y establecidas teniendo en cuenta la evidencia encontrada y es posible decir que la orientación se ajusta a la geomorfología descrita de la zona, sin embargo, la ubicación exacta de la traza puede diferir considerablemente, para lo cual se necesitaría un análisis más detallado y a una escala menor, o bien el contraste de los resultados de este trabajo con experiencias de mapeo en terreno.

También conviene discutir los resultados interpretados con lo encontrado o propuesto por otros autores en la zona de estudio. En particular, las Hojas Tiltil-Santiago (Wall et al., 1999), Quillota-Portillo (Rivano et al., 2003) y el Mapa 1: Peligro Volcánico y Fallas Geológicas de la Región Metropolitana (Lara, 2004), generado por SERNAGEOMIN, entregan buenas referencias en cuanto a las estructuras mapeadas e inferidas en la zona de estudio. A partir de ello se elaboró un mapa (Figura 6.1) que clasifica las estructuras propuestas por este trabajo en base a si han sido identificadas o propuestas por alguno de los autores anteriores.

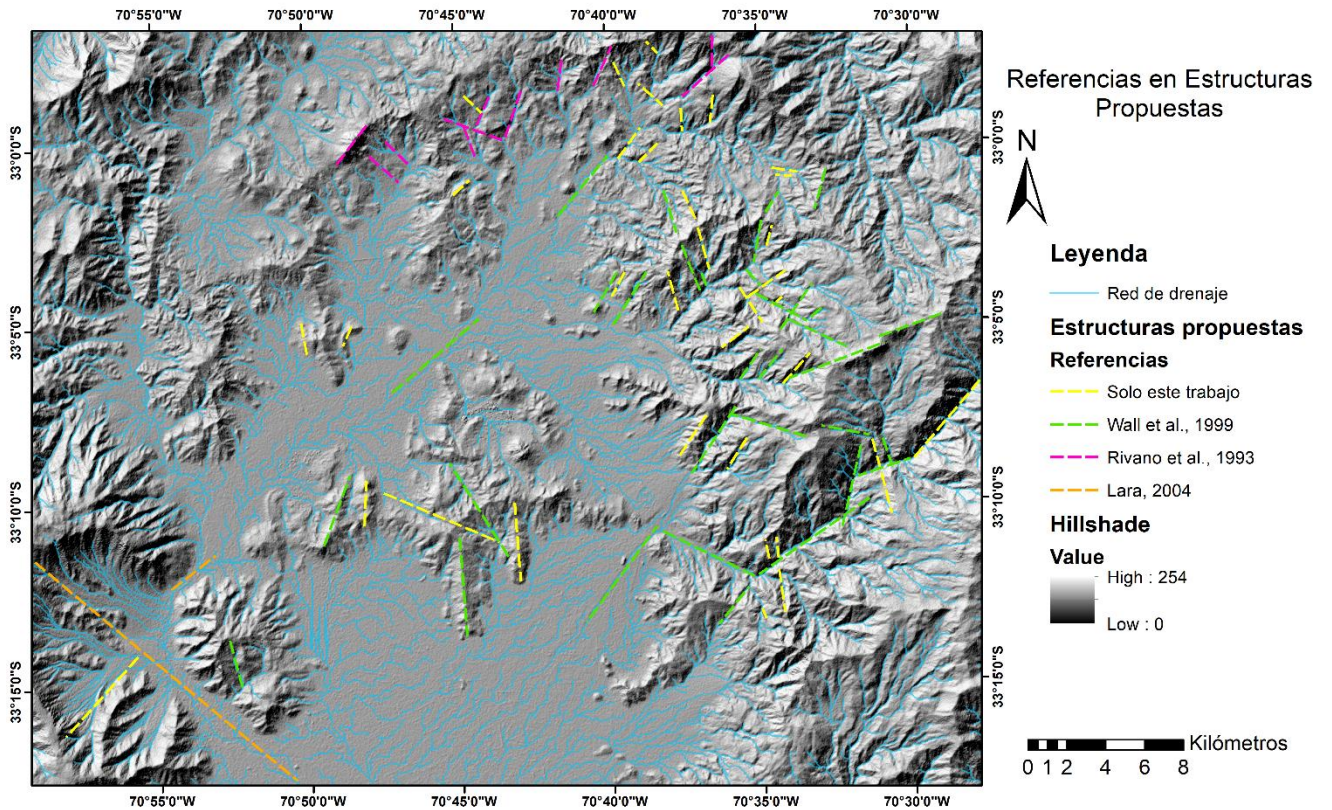


Figura 6.1: Comparación de las estructuras propuestas en este trabajo en relación a 3 fuentes bibliográficas consultadas, Los colores representan estructuras que coinciden con las propuestas por los distintos autores: en color verde coinciden con las propuestas por Wall et al. (1999), en violeta con estructuras mapeadas por Rivano et al. (1993) y en naranja con Lara (2004). En color amarillo se presentan aquellas estructuras propuestas en este estudio que no han sido propuestas o mapeadas por otros autores en la zona.

En este mapa se evidencia que gran parte de las estructuras propuestas por este trabajo han sido también consideradas por alguno de los autores nombrados anteriormente. A pesar de ello, existe una treintena de trazas propuestas por este estudio que no se encuentran mapeadas en alguna de las Cartas Geológicas revisadas.

Adicionalmente, es posible centrar la discusión en las estructuras de gran escala en la zona de estudio. De acuerdo a referencias como Wall (1999) y Lara (2004), existen al menos 2 estructuras que cruzan el área de estudio de forma subparalela con una marcada orientación NE, como se muestra en la Figura 6.2 en las trazas A y B. En este trabajo la evidencia encontrada es pobre para el caso “A”, aunque no contradice en ningún punto la posibilidad de la existencia de esta estructura. De hecho, en este trabajo se han propuesto 2 trazas que se alinean perfectamente con esta estructura en la parte Norte y Central, finalizando también con una pequeña traza en la zona de Polpaico.

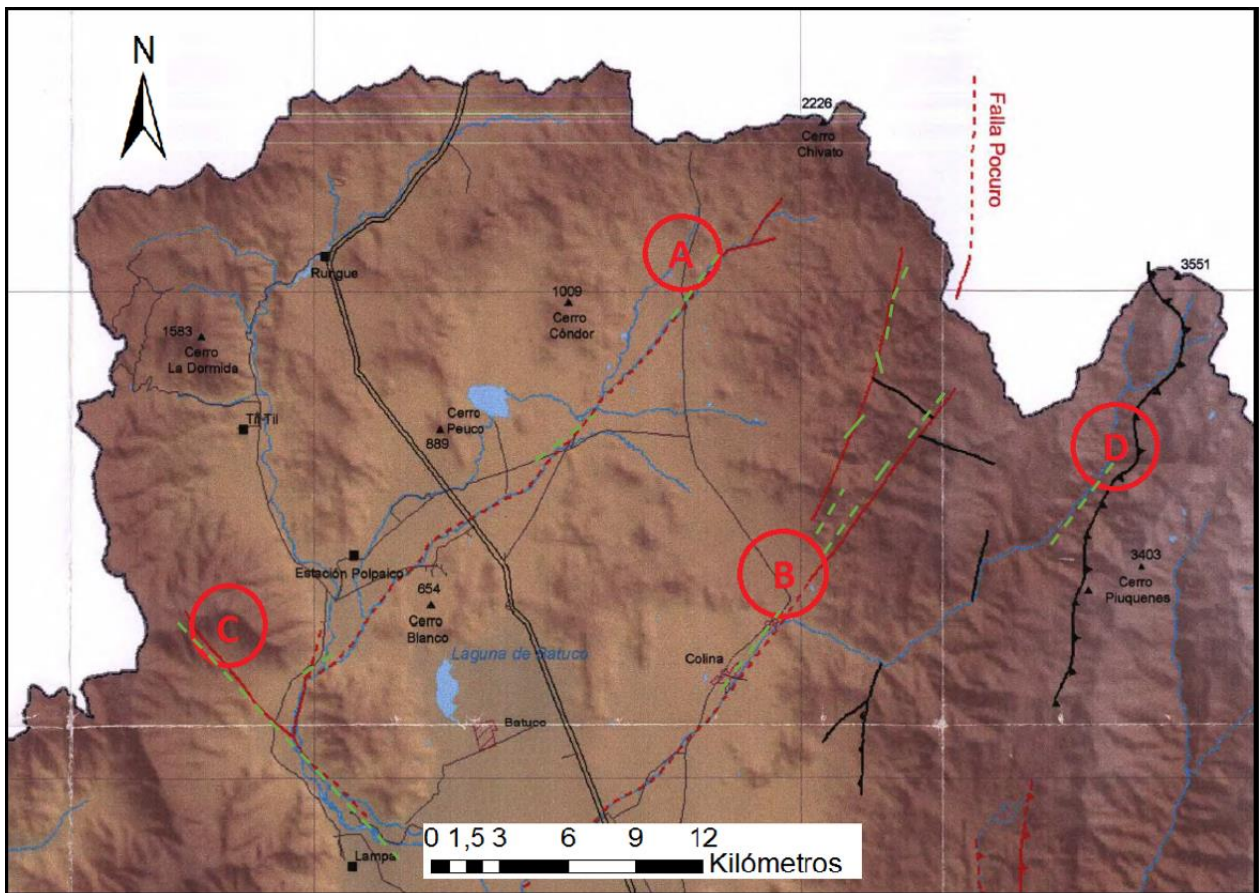


Figura 6.2: Mapa de estructuras de carácter regional en la zona de estudio, las cuales se han destacado con letras de la “A” a la “D” en color rojo. También se han trazado en línea verde discontinua las estructuras propuestas en este trabajo que podrían corresponder a las mismas. Modificado de Lara (2004).

Para el caso de la estructura “B”, según lo mostrado en la Figura 6.2, también en este trabajo se identificaron distintas trazas que se alinean perfectamente en la zona de Colina y más al Norte, en la quebrada La Leona. Su continuación hacia el Norte no ha sido unida como una sola estructura pero también se encuentran propuestas algunas trazas que corresponderían a este mismo lineamiento.

La estructura “C”, de acuerdo con la Figura 6.2, ha sido pobremente evidenciada, de acuerdo a lo discutido anteriormente, principalmente en torno a notorios patrones en la red de drenaje y su continuidad hacia el SE. Finalmente, la estructura “D” no ha sido identificada como tal en este trabajo, sin embargo toda la evidencia discutida ha dado como resultado la inferencia de una estructura de gran escala con orientación NE, propuesta inicialmente siguiendo la traza del estero Colina, a diferencia de Lara (2004) que lo hace paralelo a ella en su ladera sur.

Adicionalmente, según lo planteado al comienzo de este trabajo, diversos autores han entregado antecedentes y observaciones para el trazado de estructuras de alcance regional con orientaciones NS tanto al norte como al sur del área de estudio, representadas en la Falla Pocuro y la Falla San Ramón, respectivamente, como se muestra en la Figura 6.3.

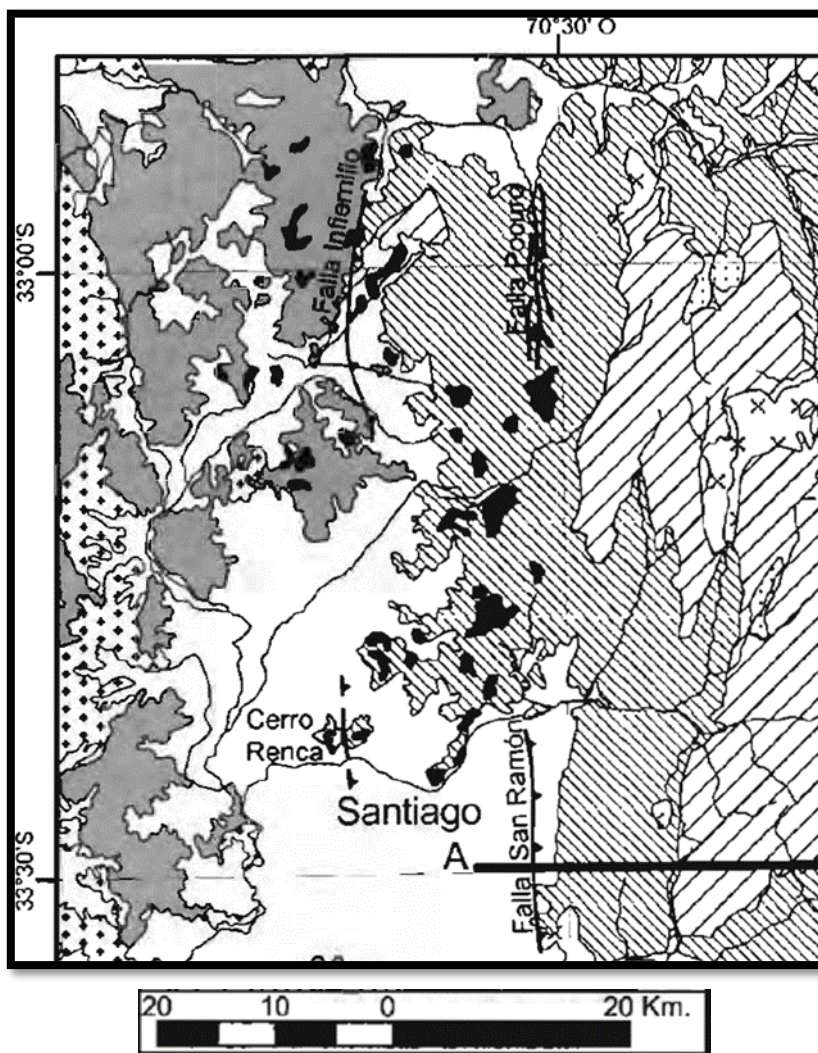


Figura 6.3: Mapa geológico y estructuras de carácter regional con orientaciones NS. Se encuentran destacadas, en la zona oriente, la Falla Pocuro y la Falla San Ramón, y en la zona occidental la Falla Infiernillo, que aparentemente se correlacionaría con una falla mapeada en el Cerro Renca. Tomado de Farías (2007).

En este trabajo no se han encontrado evidencias suficientes que permitan obtener trazas que completen la aparente continuidad de estas fallas, sin embargo, en la zona suroriente, en el área del estero Colina, según lo presentado, se han propuesto distintas trazas de estructuras con orientaciones NE y NW que se mostrarían a grandes rasgos acorde a este lineamiento regional y podrían tener algún grado de correspondencia.

6.2 Susceptibilidad a remociones en masa

6.2.1 Consideraciones generales

Para el cálculo de la susceptibilidad a remociones en masa se hicieron algunas consideraciones previas importantes de discutir. En primer lugar, dentro de los tipos de remociones en masa estudiados es importante diferenciar zonas con desarrollo de suelo de zonas rocosas, dentro de lo cual la metodología propuesta por Lara (2007) establece como umbral de tolerancia un espesor de hasta 1-1.5 m de suelo. En el área de trabajo la mayoría de las laderas es de naturaleza rocosa, con un desarrollo generalmente pobre de suelo que varía desde menos de 30 cm hasta 1-2 mts, típicamente, por lo que se incluyeron dentro del conjunto “suelos” aquellas laderas rocosas que presentan suelos superficiales de estos tipos, teniendo en cuenta que su capacidad de generación de remociones en masa se limitaría solo a eventos superficiales, como en el caso de deslizamientos en suelo. De la misma forma, se incluyeron también laderas rocosas con desarrollo de suelo menor a estos valores límite como “roca” para el cálculo de IS tanto en caída de rocas como en deslizamientos, por lo que existen unidades geomorfológicas consideradas en ambos casos.

Por la misma naturaleza de las condiciones geomorfológicas generales de la zona y las características de las laderas estudiadas, el estudio se centró en aquellas remociones en masa más presentes y comunes en zonas como ésta, considerando por ejemplo el caso de otras quebradas estudiadas en la Región Metropolitana. En este sentido, según experiencias en terreno y documentación bibliográfica, se ha notado una amplia distribución en el área de caída de rocas y se han encontrado evidencias que podrían atribuirse a deslizamientos en roca, mientras que por otro lado se han encontrado y existen condiciones a priori para la generación de flujos de detritos y/o barro. Adicionalmente, se ha considerado en el estudio la evaluación de la susceptibilidad de las laderas a generar deslizamientos de suelo superficiales. Se han excluido otro tipo de remociones en masa en este estudio debido a que no se han evidenciado a priori condiciones favorables para su generación o bien porque corresponden a fenómenos muy locales o muy excepcionales en la línea temporal, como el caso de avalanchas, por ejemplo, a pesar de que se encontró un depósito posiblemente ligado a este fenómeno.

La definición de las unidades geomorfológicas se realizó, según lo explicado anteriormente, en base a criterios como las pendientes, la orientación de las laderas y el sentido geológico o geomorfológico de cada terreno y su significancia en el estudio de remociones en masa. En este sentido, se han separado en unidades distintas los cauces y quebradas de las laderas, debido a que poseen un sentido geológico muy diferente y son potenciales generadores de tipos de remoción en masa diferentes. Además, la diferenciación de unidades geomorfológicas ha obedecido a la escala utilizada, intentando respetar una cantidad de unidades acorde a la metodología seguida y una cierta resolución que permitiera obtener resultados a un buen nivel de detalle. Es por esto que algunas unidades geomorfológicas han incluido, por ejemplo,

laderas con una cierta inclinación y una zona más aplanada a sus pies, o en otros casos, una variedad de pendientes dentro de un rango o variaciones en la orientación dentro de la misma unidad. Si el estudio se hiciera con una escala más pequeña y un mayor nivel de detalle, dichos rasgos podrían ser definitivamente razonables para la división de algunas unidades definidas en 2 o 3 diferentes, sin embargo, nuevamente, para la escala de trabajo elegida se considera que la definición de unidades realizada ha reflejado un nivel de detalle muy satisfactorio.

Continuando con la definición de unidades geomorfológicas, se han excluido del estudio, de acuerdo a las tablas propuestas por Lara (2007) (Ver anexos), aquellas que cumplieran con pendientes promedio menores a 10° para el caso de flujos, y 15° en el resto de R.M. estudiadas. Este criterio se ha constatado como satisfactorio, sin embargo se ha utilizado de manera flexible, incluyendo en el estudio algunas unidades geomorfológicas con pendientes cercanas a los umbrales propuestos, en el caso de que mostraran evidencias o indicios, tales como remociones en masa declaradas u observadas, de que pudieran eventualmente ser susceptibles a generarlas.

En cuanto a los factores estudiados y sus ponderaciones respectivas, según lo propuesto en las tablas de Lara (2007), es posible establecer a modo general una relación muy buena con la realidad, posiblemente debido a la similitud del área de trabajo con la zona en la cual esta metodología fue calibrada, sin embargo, existen algunas diferencias en el umbral planteado como $IS=50$. Dicho umbral no ha sido utilizado en este trabajo como límite separador estricto entre unidades susceptibles a generar eventos de remociones en masa de las que no, debido en parte a que algunas de las unidades con valores levemente menores a éste siguen teniendo, según evidencias vistas en terreno, la potencialidad, bajo ciertas condiciones, de generarlas.

El caso más notorio es el de caída de rocas, donde se encuentran algunas unidades cuyo valor de IS ronda entre 40 y 50 donde se constata la presencia local de caída de rocas. Esta diferencia indicaría que en cierto modo la metodología aplicada a este tipo de remoción en masa podría estar subvalorando alguno o algunos de los factores o bien sobrevalorando los rangos a partir de los cuales se considera que una unidad es efectivamente susceptible a generar este tipo de eventos. No obstante, como se han planteado rangos de IS , aun con valores bajo el 50, para dichas unidades se considera que tienen una susceptibilidad media o baja.

En consideración a la metodología seguida, las principales complicaciones o limitaciones vienen dadas por la falta de datos en algunos parámetros, donde se tienen pocos y espaciados, lo cual dificultó la cuantificación de los factores para cada una de las unidades geomorfológicas. Esto, a pesar de ser una limitación metodológica, no ha afectado mayormente el resultado debido a 2 razones principales. En primer lugar, existen diversas fuentes de información que se utilizaron, como datos bibliográficos de estudios anteriores, interpretación de la vista satelital, extrapolación de datos en áreas de características similares, etc, por lo que una vez que se integraron todos el producto

final es bastante cercano a lo que se hubiese obtenido con datos que pudiesen haber sido tomados en terreno, o al menos refleja de forma cualitativa la realidad de una forma certera. En segundo lugar, la escala de trabajo es lo suficientemente grande como para que no sea esencial un nivel de detalle demasiado grande, por lo cual hubiese sido deseable, mas no excluyente o incompatible con este tipo de estudio, el haber tenido una cantidad de datos mejor distribuida y más certera espacialmente.

6.2.2 Flujos

Se han determinado 28 unidades geomorfológicas con susceptibilidad “alta” o “muy alta” a la generación de flujos en el área de trabajo. De éstas, todas corresponden a cauces o quebradas activas en la zona, lo cual tiene una correlación importante con el significado geológico de éstas, y también reafirma la decisión de establecer como criterio de separación de unidades este rasgo geomorfológico que las distingue de las laderas o planicies.

En las zonas de baja pendiente, cercanas al valle, las unidades geomorfológicas definidas se han descartado principalmente debido a que pendientes tan bajas son típicamente incapaces de generar este tipo de remociones en masa, y a que en términos geológicos, muchos parámetros, como un nivel de encajonamiento muy bajo o la ausencia de laderas que pudieran aportar material, indican fuertemente que no existen condiciones favorables para la generación de flujos.

No obstante, según Wall (1999), estas zonas de poca pendiente están mapeadas como depósitos aluviales, por lo que podría ser interesante igualmente incluirlas en el estudio, ya que se ubican a la salida de quebradas y cauces donde las pendientes disminuyen y donde eventualmente los flujos, generados en otras áreas, se detienen y depositan, por lo que corresponderían a zonas de alcance que constituyen un eventual peligro geológico.

La mayoría de las unidades con susceptibilidad alta o muy alta se encuentra en las zonas de elevaciones medias a altas, en las quebradas que se adentran en las áreas montañosas, donde el nivel de encajonamiento aumenta considerablemente debido a laderas más empinadas y que además son más rocosas, con una calidad geotécnica generalmente mala, lo que ocasiona que haya gran cantidad de material disponible que cae y se acumula en las quebradas, favoreciendo la generación de flujos en ocasiones con lluvias fuertes o tormentas. Adicionalmente, la mayoría de las unidades con susceptibilidad alta o muy alta se encuentra con valores de IS entre 55 y 70 típicamente, solo con algunas excepciones que apenas sobrepasan el valor 75, lo cual hace pensar que algunas ponderaciones se encuentran levemente subvaloradas, o que otros factores considerados pudieran estar sobrevalorados en la ponderación máxima, debido a que geológicamente se evidencia que existen en estas quebradas las

condiciones necesarias para la generación de flujos e incluso se han encontrado depósitos recientes de éstos, como en el caso de la salida de la quebrada Infiernillo.

Finalmente, existen unidades geomorfológicas con susceptibilidad media que no corresponden a quebradas o cauces. Éstas se encuentran en áreas donde se dan condiciones favorables a la generación de remociones en masa que pudieran eventualmente encauzarse formando un flujo, a pesar de ser laderas con un nivel de encajonamiento generalmente muy bajo. En uno de estos lugares, por ejemplo, se ha encontrado un depósito indiferenciado, pero que podría estar ligado a un fenómeno tipo avalancha de detritos, que se habría generado a partir de desprendimientos de roca de afloramientos en la zona oeste.

6.2.3 Deslizamientos de Suelo

En este tipo de remociones se han encontrado solo una decena de unidades geomorfológicas con valores de IS superiores o iguales a 50 y ninguna superior a 75, lo cual evidencia que en la zona de trabajo no se encuentran las mejores condiciones para su generación. En particular, según lo comentado antes, el desarrollo de suelo es muy pobre, generalmente con espesores menores a 2 metros en laderas rocosas, y las condiciones de humedad y saturación tampoco son favorables. En base a esto el estudio se centró solo en la posibilidad de generar deslizamientos superficiales de poco volumen, llegando a ese resultado.

Las zonas más susceptibles a deslizamientos de suelo se encuentran en las zonas de elevaciones medias, debido a que las zonas de mayores altitudes son generalmente de roca expuesta y las posibilidades de generar deslizamientos, incluso superficiales, disminuye considerablemente, mientras que en las zonas de menores alturas dominan las pendientes bajas, por lo que tampoco se favorece la generación de este tipo de remociones.

6.2.4 Deslizamientos de Roca

Se han encontrado 38 unidades geomorfológicas con una susceptibilidad alta o muy alta, lo cual muestra que es uno de los tipos de remoción en masa más frecuentes en la zona, debido a que se compone principalmente de laderas rocosas, muchas de ellas expuestas. La mayoría de los valores altos se encuentran en las zonas montañosas de mayor altitud, donde dominan las pendientes fuertes y donde la roca se encuentra aflorando, expuesta a la erosión y meteorización, que sumado al grado de fracturamiento, hacen que tenga una calidad geotécnica muy favorable a la generación de deslizamientos.

En gran parte de los afloramientos rocosos de la zona más alta del Cordón de Chacabuco se evidencian superficies de deslizamiento planas, que obedecen a la alta cantidad de fracturas existentes típicamente en la roca, donde la mayoría de las veces uno de los planos se dispone a favor de la pendiente. Por lo anterior, la generación de este tipo de remociones estaría ligada a deslizamientos de tipo traslacionales, planares o en cuña, y en menor medida rotacionales de poca profundidad.

En este caso los factores condicionantes más importantes son las pendientes y la calidad geotécnica de la roca, donde prima el grado y disposición de fracturas y la exposición a la erosión y meteorización, mientras que los factores gatillantes más importantes sean sismos y lluvias intensas. Dado que las rocas presentan de 4 a 6 sets de discontinuidades predominantes, generalmente uno coincide con la pendiente de la ladera y es ahí donde se generan dichos deslizamientos, por lo que se podría decir que el factor más dominante sería este último.

6.2.5 Caída de Rocas

Este es el tipo de remoción en masa más frecuente en la zona, lo cual se ha evidenciado a través de este estudio, resultando en 60 unidades geomorfológicas con un IS mayor o igual a 50, con una amplia distribución en la zona de trabajo, incluso en zonas de elevaciones medias y bajas.

Las zonas con mayor susceptibilidad, alta y muy alta, se encuentran en las cabeceras de la hoya, en las zonas montañosas, donde existen laderas rocosas muy expuestas y pendientes más fuertes. En estas unidades se evidencia que los factores condicionantes más influyentes en la generación de este tipo de remoción son las pendientes y la calidad geotécnica de la roca, mientras que los factores desencadenantes son sismos, lluvias y la acción y el tránsito de animales. Según observaciones, se registran caídas de rocas en la mayoría de afloramientos, incluso en aquellos que tienen una calidad geotécnica media-alta, lo cual sería indicativo de que el factor predominante sería la cantidad y disposición de discontinuidades más que nada.

Para este tipo de remoción se constata en la zona que existe cantidad no menor de unidades con valores de IS entre 40 y 50 que muestran, en terreno, la presencia local de caída de rocas, lo cual hace pensar que las ponderaciones en la zona requieren una recalibración del umbral definido como límite entre una zona con susceptibilidad media y una alta. Esto probablemente se debe a que, debido a una calidad geotécnica de la roca en general pobre, se dan fenómenos de caída de rocas en pendientes más bajas de lo normal, por lo que este último parámetro quizás esté descalibrado en su ponderación. Incluso, se ha relajado un poco el criterio y se han incluido en el análisis unidades con pendientes entre 10° y 15° que presentarían evidencias o afloramientos rocosos favorables, desde el punto de vista geológico, para la generación de este tipo de remociones.

6.3 Estructuras, Susceptibilidad y Remociones en Masa

También es pertinente evaluar si es que existe relación entre las estructuras propuestas y la susceptibilidad a remociones en masa encontrada en el área de trabajo.

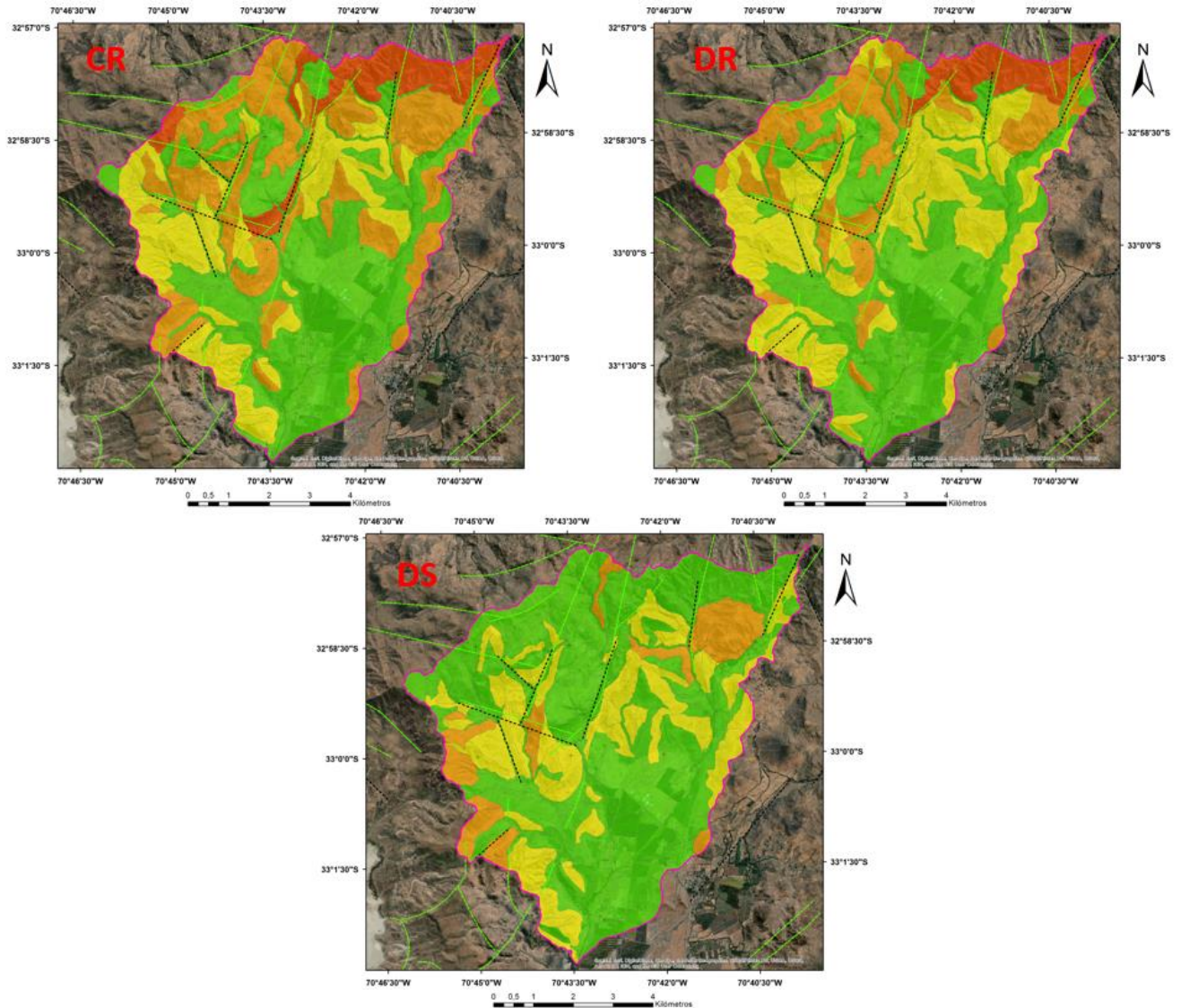


Figura 6.4: Se presentan los 3 mapas de susceptibilidad a remociones en masa correspondientes a caída de rocas (CR), deslizamientos de roca (DR) y deslizamientos de suelo (DS), y las trazas de estructuras tanto mapeadas, en color verde, como propuestas en este trabajo, en línea punteada color negro.

La Figura 6.4 muestra que existen trazas de estructuras propuestas en las zonas donde se obtuvieron los mayores valores de susceptibilidad, especialmente en la zona norte del área de estudio y también a lo largo de la quebrada Infiernillo y la quebrada de Los

Canastos. En este sentido, la principal correlación podría estar dada para los casos de caída y deslizamientos de roca, ya que la actividad de estructuras podría ser uno de los factores desencadenantes de estos fenómenos.

Al ver si existe alguna relación entre las unidades cuaternarias mapeadas por Wall et al. (1999) o Rivano (1993) y las estructuras propuestas no parece haber a priori una correlación directa. Como se muestra en la Figura 6.5, las morfologías cuaternarias se encuentran ampliamente distribuidas en la zona, principalmente en las zonas subcordilleranas y salidas de quebradas, sin tener mayor o menor ocurrencia aparente en zonas con presencia de fallas.

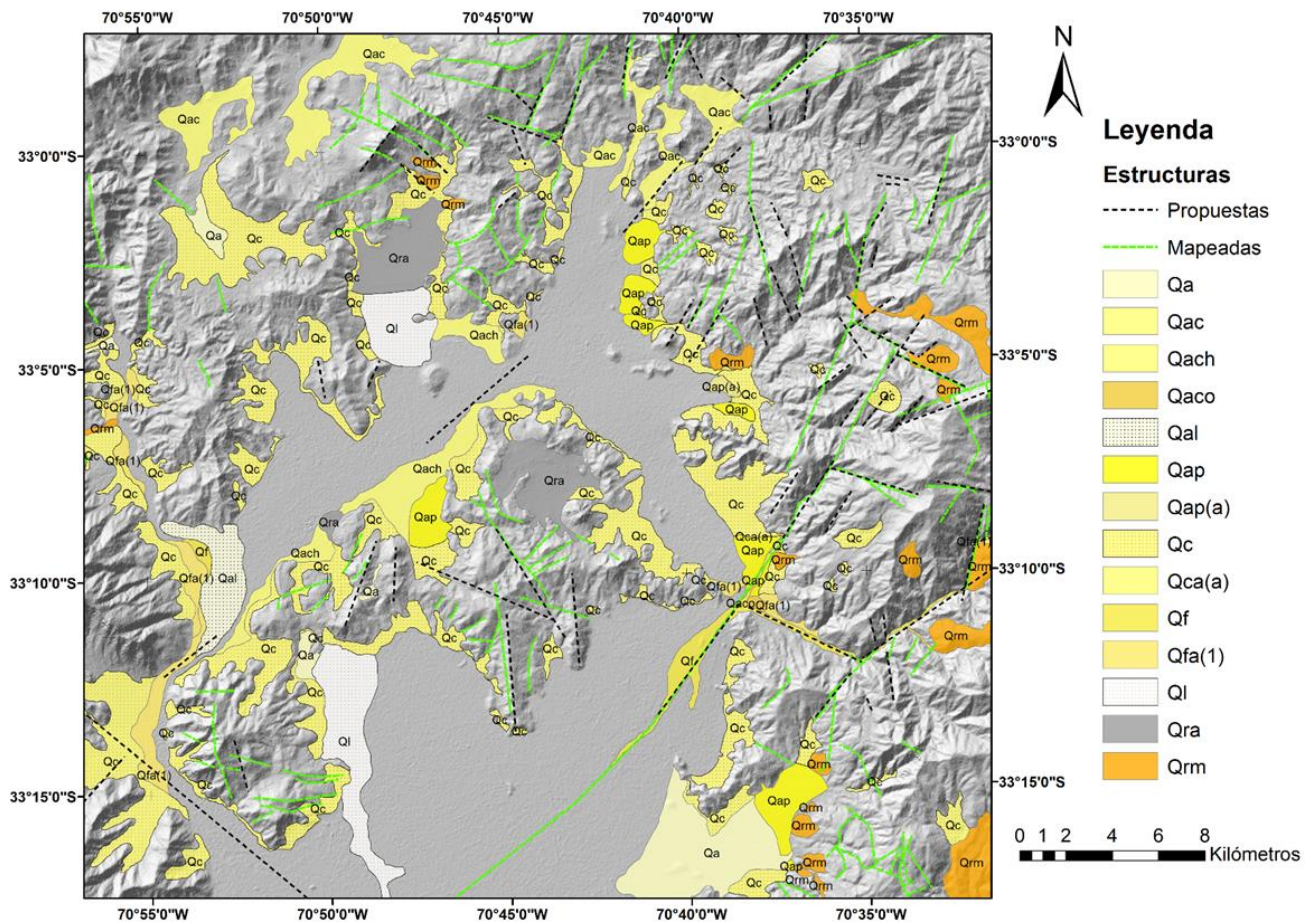


Figura 6.5: Mapa regional de unidades cuaternarias mapeadas por Wall et al. (1999) y Rivano et al. (1993), en el cual se superponen las estructuras tanto mapeadas por dichos autores como propuestas en este trabajo.

Finalmente, es conveniente ver si hay una buena correlación o no entre la susceptibilidad de las laderas a la generación de cada una de las remociones en masa estudiadas y las laderas donde efectivamente se evidenció, ya sea en experiencia de terreno o según lo indicado por otros autores, la ocurrencia de ellas.

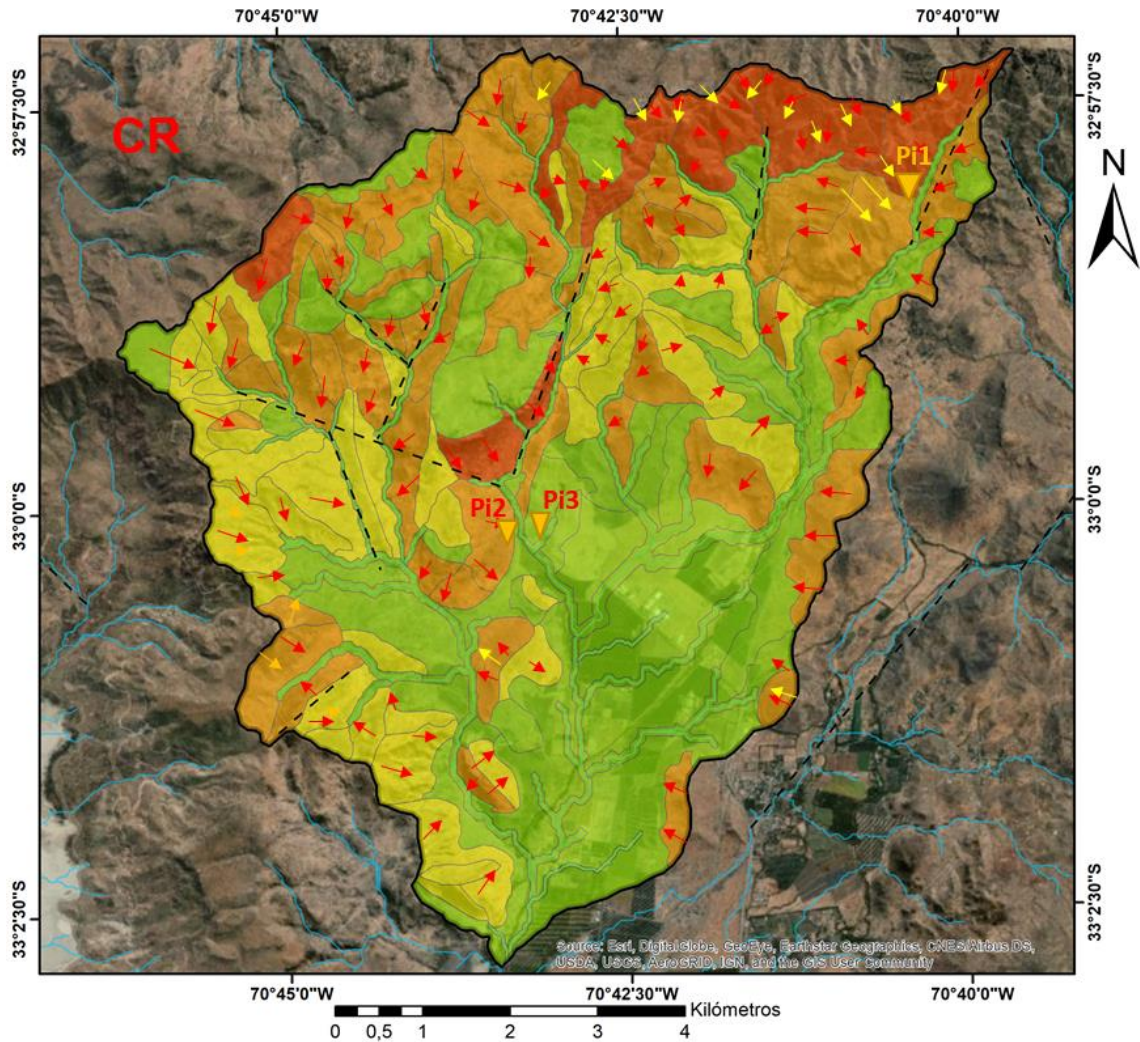


Figura 6.6: Susceptibilidad de laderas a caída de rocas, de acuerdo a la misma categorización presentada anteriormente, y su relación con la ocurrencia de dicho fenómeno en el área de trabajo, representadas con flechas color rojo. Las flechas color naranja corresponden a deslizamientos de suelo y las de color amarillo a deslizamientos de roca. Adicionalmente, en línea punteada color gris se encuentran las estructuras propuestas en esta zona.

En el caso de caída de rocas, como se muestra en la Figura 6.6, se ve que no hay una correlación tan buena entre la ocurrencia de éstas y las laderas definidas con susceptibilidad alta o muy alta (colores naranja y rojo), debido a que existen un cantidad no menor de laderas con susceptibilidad media (en amarillo), con valores de IS menores a 50 que presentan caída de rocas. Según lo discutido anteriormente esto podría deberse o bien a una descalibración o cierto desfase en los umbrales considerados o bien a que estos fenómenos se generen de forma local en ciertas laderas y no de forma generalizada.

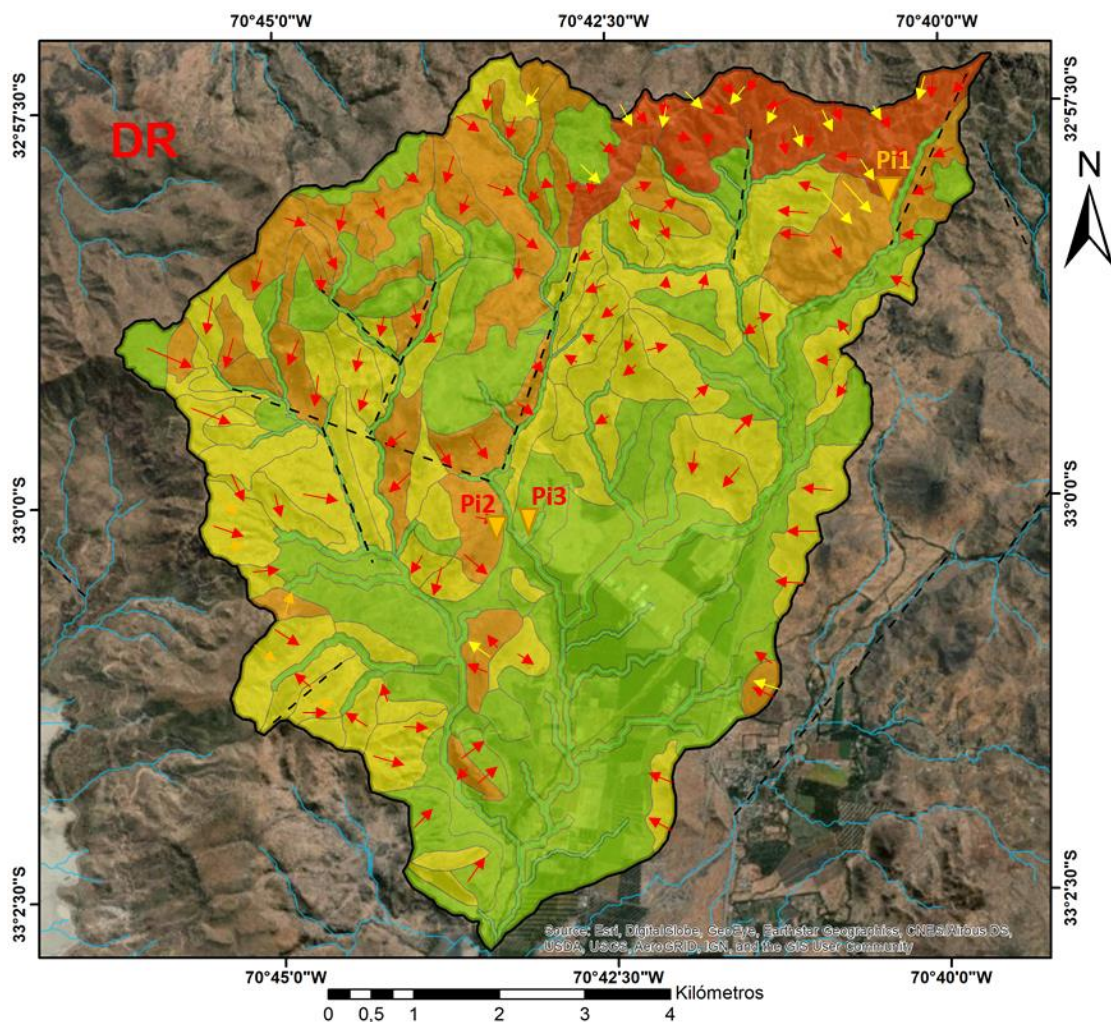


Figura 6.7: Susceptibilidad de laderas a deslizamientos de rocas, de acuerdo a la misma categorización presentada anteriormente, y su relación con la ocurrencia de dicho fenómeno en el área de trabajo, representadas con flechas color amarillo. Las flechas color rojo corresponden a caída de rocas y las de color naranja a deslizamientos de suelo. Adicionalmente, en línea punteada color gris se encuentran las estructuras propuestas en esta zona.

En el caso de deslizamientos de rocas, como se muestra en la Figura 6.7, representadas en flechas de color amarillo, la susceptibilidad tiene una buena correlación, especialmente en la zona noreste, donde se registran los mayores valores. También existen valores de susceptibilidad alta (color naranja) en la zona de la quebrada Infiernillo y la quebrada de Los Canastos, donde no se evidenciaron este tipo de fenómenos, lo cual podría indicar que dichas unidades quizás estén sobredimensionadas en su potencialidad de generarlos, o bien que el registro de terreno esté incompleto.

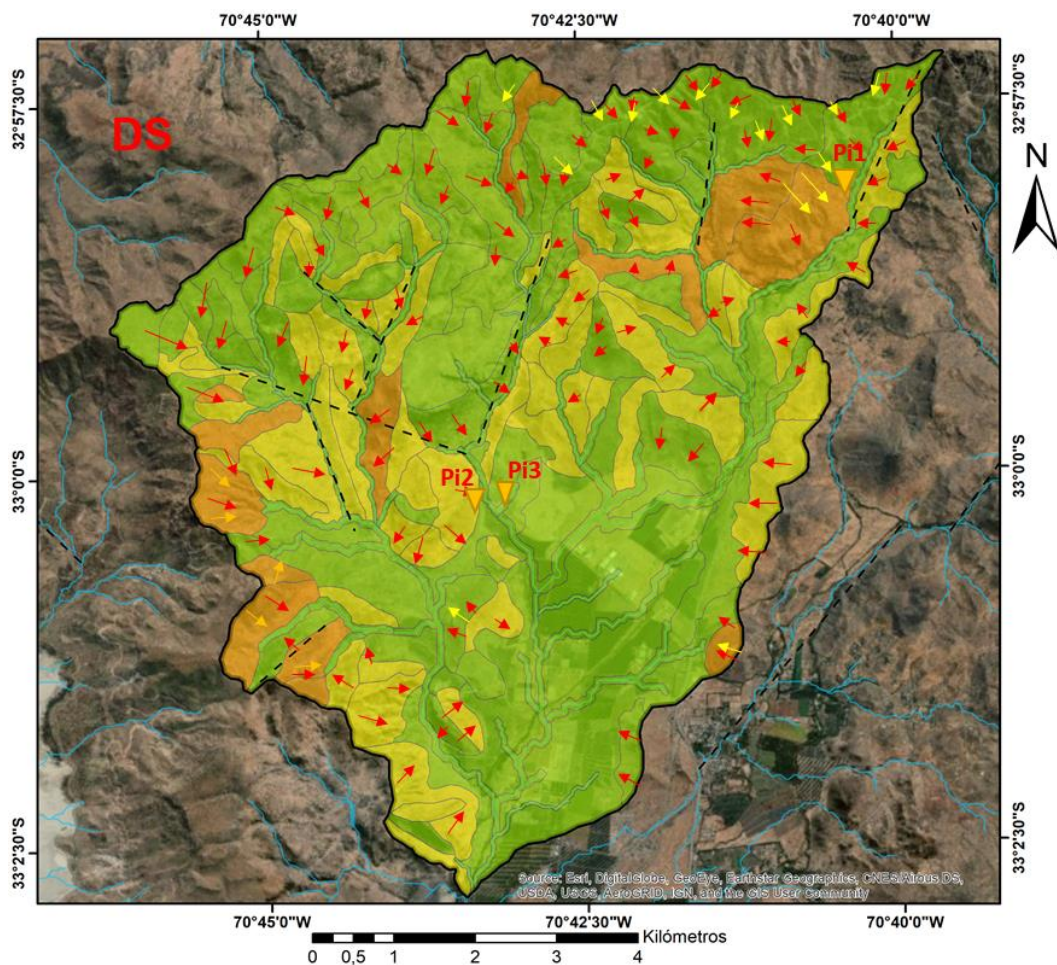


Figura 6.8: Susceptibilidad de laderas a deslizamientos de suelo, de acuerdo a la misma categorización presentada anteriormente, y su relación con la ocurrencia de dicho fenómeno en el área de trabajo, representadas con flechas color naranja. Las flechas en color rojo corresponden a caída de rocas y las de color amarillo a zonas con deslizamientos de roca. Adicionalmente, en línea punteada color gris se encuentran las estructuras propuestas en esta zona.

Para el caso de deslizamientos de suelo, según muestra la Figura 6.8, existen pocas unidades con valores de susceptibilidad alto o muy alto, y éstas coinciden bastante bien con lo visto en terreno (flechas color naranja). Existen solo algunas laderas con valores de susceptibilidad alta donde no se haya evidenciado deslizamientos de suelo y viceversa, lo cual responde a un error aceptable.

Finalmente, para el caso de flujos, éstos no se han considerado en el mapa de remociones elaborado, debido a que prácticamente todos los cauces y quebradas de la zona precordillerana presentaron evidencias de depósitos fluviales como flujos de barro y detritos. Solo se marcaron los depósitos de mayor envergadura, entre ellos un flujo de detritos, correspondiente a la zona Pi3, que se ubica en una zona de alcance al sur de

una quebrada con una susceptibilidad catalogada como “alta”, y un depósito posiblemente ligado a una avalancha de detritos, ubicado en el punto Pi2.

7 Conclusiones

En este trabajo se han utilizado diversos indicadores geomorfológicos para determinar la presencia de fallas con actividad neotectónica en el área de estudio. Los indicadores utilizados han sido suficientes en muchos casos para obtener evidencia de lineamientos y plantear posibles trazas de estructuras en la zona a la escala de trabajo utilizada (1:100.000).

Además de indicadores geomorfológicos, se revisó la sismicidad cortical de la zona. En general, dada la escasa sismicidad encontrada, este parámetro no resultó de utilidad, excepto en la quebrada Infiernillo y en la zona oriental del estero Colina, donde sería posible relacionar eventos sísmicos de baja profundidad con la eventual actividad de fallas en dichas áreas.

Los resultados de este estudio muestran que existen 2 áreas que concentran la mayor cantidad de evidencias de actividad neotectónica en el área de trabajo. En primer lugar, la zona de la quebrada Infiernillo, donde se encontraron numerosos knickpoints, quebradas con una baja sinuosidad, fenómenos de remoción en masa, sismicidad cortical, morfologías escarpadas, etc, y en segundo lugar, la zona del estero Colina, donde además de los mencionados anteriormente se encontró una remoción en masa de gran magnitud cuyo escarpe sigue el mismo lineamiento de las quebradas hacia el norte.

Las remociones en masa encontradas en terreno son principalmente caídas de rocas. También se identificaron deslizamientos planares de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos de barro y detritos. En las cercanías de la quebrada Infiernillo se localizó un depósito interpretado como una avalancha de detritos, posiblemente proveniente desde afloramientos en la zona oeste. En las cercanías del túnel Chacabuco, se identificó un depósito de gran magnitud fotointerpretado un fenómeno de remoción en masa.

Gran parte de las estructuras identificadas en este trabajo han sido también propuestas y mapeadas anteriormente por otros autores consultados. Igualmente, existe una treintena de trazas propuestas por este estudio que no se encuentran mapeadas en alguna de las Cartas u Hojas Geológicas revisadas.

Por otra parte, en este trabajo se aportan evidencias geomorfológicas a la ocurrencia de fallas regionales identificadas en la literatura, asociadas a orientaciones NS y NE.

En distintos puntos las trazas identificadas en este estudio coinciden con 2 estructuras de orientación NE propuestas por otros autores consultados y que tendrían un alcance regional del orden de algunas decenas de kilómetros. Asimismo, las trazas propuestas en este trabajo en las zonas del estero Colina y en la quebrada Infiernillo se correlacionan con las fallas Pocuro y San Ramón, y la Falla Infiernillo, respectivamente, ambas con orientaciones NS tanto en la zona oriental como occidental del área de estudio.

El estudio de la susceptibilidad a remociones en masa muestra que la mayor cantidad de unidades con valores de IS altos y muy altos corresponden a caída de rocas. Éstas se encuentran ampliamente distribuidas y al contrastarlos con los eventos registrados se identifica una leve descalibración, ya que existen zonas con valores de susceptibilidad media donde existen eventos declarados. Esto se debe probablemente a un factor de escala, debido a caídas que se generen a partir de afloramientos de forma local, más que en laderas completas. El factor que estaría dominando como condicionante para este fenómeno de RM serían la cantidad y distribución de discontinuidades, caracterizado generalmente por 4 a 6 sets principales.

Los deslizamientos de roca se encuentran agrupados principalmente en la zona norte, donde dominan las laderas rocosas con fuertes pendientes, generando deslizamientos de tipo planar donde domina una vez más la cantidad y disposición de las discontinuidades, debido a que generalmente se encuentran varios sets y uno de ellos coincide con la pendiente de la ladera. No se encuentran condicionantes favorables para la generación de deslizamientos de suelo, debido a que la mayoría del área de trabajo corresponde a laderas rocosas y con pobre desarrollo de suelos, cuyo espesor varía generalmente no superando los 1-1.5 metros. En este sentido, solo se han registrado algunos deslizamientos superficiales.

La susceptibilidad a flujos muestra una predominancia en quebradas de la zona subcordillerana, debido a que ahí se registra gran cantidad de material detrítico en quebradas con un nivel de encajonamiento alto y pendientes fuertes. En la zona sur de la quebrada Infiernillo se ha encontrado un depósito indiferenciado que pudiera estar ligado a un fenómeno tipo avalancha de detritos, debido al gran tamaño de sus clastos.

Al estudiar si existe una relación entre la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en escala regional y las estructuras propuestas, según lo mapeado por los autores referenciados, no es posible establecer una correlación. Solo en casos excepcionales, como en la zona del estero Colina, fue posible plantear una correlación entre un fenómeno de RM y estructuras debido al lineamiento del escarpe generado. Al mirar el área de la Cuenca de Chacabuco, en una escala de más detalle, solo podría establecerse una relación para los casos de caída y deslizamientos de roca, ya que en las zonas donde se han propuesto trazas de estructuras también se registran los mayores valores de susceptibilidad para estos tipos de RM.

8 Bibliografía

Aguirre, L. 1957. Perfil geológico entre la Cuesta de Chacabuco y el límite con la República Argentina. Memoria de Título (Inédito). Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería, 321 p., Santiago (*).

Avendaño, M.; Araneda, M. 1994. Gravimetría de la Cuenca de Santiago, Parte II, Sector Sur y Centro. In Congreso Geológico Chileno, No.7, Actas, Vol. 1, p. 571-575. Concepción.

Boyce, D. (2015). Modelo de evolución tectónica y paleogeográfica del margen Andino en Chile Central durante el Cretácico Medio-Tardío: el registro estructural y sedimentario en la Formación Las Chilcas. Departamento de Geología, Universidad de Chile (296 pp).

Brown, E. T. (1981). Rock characterization testing and monitoring (No. BOOK). Pergamon press.

Brüggen, M. J. (1950). Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar.

Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2001). Tectonic geomorphology. John Wiley & Sons.

Carter, W.D.; Aguirre, L. 1965. Structural geology of the Aconcagua Province and its relationship to the central valley graben, Chile, Geological Society of America Bulletin, Vol. 76, p. 651-664.

Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M. P., 2007, Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile: The Geology of Chile (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors). The Geological Society, p. 21-114.

Charrier, R., Farías, M. y Maksaev, 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, v. 65, p. 05-35.

Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Moscoso, R., Padilla, H., & Rivano, S. (1982). Hoja Los Andes: región de Valparaíso: carta geológica de Chile 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile (2019). Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas. Boletín N° 495, Julio 2019.

Drake, R. E., Curtis, G. y Vergara, M., 1976, Potassium-argon dating of igneous activity in the central Chilean Andes—Latitude 33 S: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 1, p. 285-295.

Farías, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., Tapia, F. y Fock, A., 2010, Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean mountain building: *Tectonics*, v. 29.

Fock, A. (2005). Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile central entre los 33 y los 34 S. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.

Gana, P. y Wall, R., 1997, Evidencias geocronológicas $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central ($33\text{-}33^{\circ} 30'\text{S}$): *Andean Geology*, v. 24, p. 145-163.

Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M.,... & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology & Earth System Sciences*, 21(12).

Giambiagi, L. B., Alvarez, P. P., Godoy, E. y Ramos, V. A., 2003, The control of pre-existing extensional structures on the evolution of the southern sector of the Aconcagua fold and thrust belt, southern Andes: *Tectonophysics*, v. 369, p. 1-19.

González De Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002. *Ingeniería Geológica*. Editorial Prentice Hall. 715 p.

Hauser, A., 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista Geológica de Chile* No. 24, p. 75-92.

Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), Thiele, R., & Cubillos, E. (1980). Hoja Santiago: región metropolitana: carta geológica de Chile escala 1: 250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 95, p. 406-421.

Keller, E. y Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. 2nd ed. New Jersey, Prentice-Hall, 362 p.

Lara, L. E., 2004. Peligro volcánico y fallas geológicas de la Región Metropolitana de Santiago. Mapa 1. In SERNAGEOMIN, 2004. Geología para el ordenamiento territorial de la Región Metropolitana de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado, IR-04-24, 68 p., 3 mapas escala 1:250.000. Santiago.

Lara, M. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Masterthesis (Unpublished), Universidad de Chile, Departamento de Geología.

Nyström, J., Parada, M. y Vergara, M., 1993, Sr-Nd isotope compositions of Cretaceous to Miocene volcanic rocks in central Chile: a trend towards a MORB signature and a reversal with time: resúmenes extendidos del 2do Simposio Internacional de Geodinámica Andina, Oxford, Gran Bretaña. P: 411 – 414.

Ormeño, A. (2007). Geomorfología dinámica del río Maipo en la zona cordillerana de Chile central e implicancias neotectónicas. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.

Piraces, R., & Makshev, V. (1977). Geología de la Hoja Quillota. IIG, Santiago (unpublished).

Ramos, V. A., 2010. The tectonic regime along the Andes: Present-day and Mesozoic regimes: *Geological Journal*, v. 45, p. 2-25.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Herve, M. y Puig, A., 1985, Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile: *Andean Geology*, v. 24, p. 63-74.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R., & Espiñeira, P. (1993). Mapa Geológico de la Hoja Quillota-Portillo (escala 1: 250.000), V Región de Valparaíso. Carta geológica de Chile, 73.

Ruiz, C., Segerstrom, K., Aguirre, L., Corvalán, J., Rose, H., & Stern, T. (1960). Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*, (7), 1-26.

Scheuber, E., Bogdanic, T., Jensen, A. y Reutter, K. J., 1994, Tectonic development of the north Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic: *Tectonics of the southern central Andes*, p. 121-139.

Schumm, S. A., Dumont, J. F., & Holbrook, J. M. (2002). *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge University Press.

SERNAGEOMIN, 2004. Geología para el ordenamiento territorial de la Región Metropolitana de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-04-24, 68 p., 3 mapas escala 1:250.000.

Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., Lara, M., Padilla, C., 2006. Landslide hazards in Santiago, Chile: an overview. 10º Congreso International Association of Engineering Geology and the Environment, Nottingham, Reino Unido. Paper No. 105 (CD-Rom).

Steinmann, G., Stappenbeck, R., Sieberg, A. H. y Lissón, C. I., 1929, Geologie von Peru.

Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Instituto de Investigaciones Geológicas. Carta Geológica de Chile, No. 39, 51 p., 1 mapa escala 1:250.000, Santiago.

Thomas, H., 1958, Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga, Instituto de Investigaciones Geológicas.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.

Wall, R., Sellés, D., & Gana, P. (1999). Geología de la Hoja Santiago, área de Tilti-Santiago. Región Metropolitana Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa Geológico, 11.

Waltham, A. C. (1994). Foundations of engineering geology Blackie Academic & Professional Glasgow. UK, 58, 59.

9 Anexos

Anexo A: Factores condicionantes en la generación de Remociones en Masa.

A.1 Flujos

Tabla A.1: Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos (Lara, 2007).

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	pendientes de laderas	35%
	pendiente canal de drenaje	
	encajamiento canal de drenaje	
	exposición al sol	
GEOLOGÍA-GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	35%
	condiciones de humedad y saturación	
CLIMA-VEGETACIÓN	acumulación de nieve	10%
	cobertura vegetal	
ANTRÓPICO	obstrucción de canal de drenaje	10%
	desestabilización artificial de laderas	
ANTECEDENTES	aluviones declarados en la hoya	10%

Tabla A.2: Desglose de los factores condicionantes de flujos (Lara, 2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES (orientado a flujos generados en el cauce o en laderas de material suelto)	RANGOS	%
pendientes de laderas (f_1)	Promedio de la unidad.	10°-15°	3%
		15°-20°	6%
		20°-25°	9%
		25°-30°	11%
		30°-40°	13%
		>40°	15%
pendiente canal de drenaje al pie de la ladera (f_2)	Promedio de la unidad. Si la unidad es sólo canal de drenaje, el puntaje f_2 se asocia a f_1 , quedando sólo como un puntaje otorgado por "pendiente del canal".	<5°	1%
		5°-10°	5%
		>10°	10%
encajamiento canal de drenaje (f_3)	Dado por la geomorfología y la relación profundidad/ancho del canal. Un encajamiento alto puede reflejarse, entre otros, en un valor alto de esta razón. Puede considerarse un valor mayor a 0,7 como encajamiento alto.	alto	7%
		medio	4%
		bajo	1%
exposición al sol (f_4)	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S	alta	3%
		parcial	2%
		baja	0%

Tabla A.2 (Continuación): Desglose de los factores condicionantes de flujos (Lara, 2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES (orientado a flujos generados en el cauce o en laderas de material suelto)	RANGOS	%
características geológicas-geotécnicas del material (f ₅)	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compactación, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones	muy favorable	25%
		favorable	18%
		medianamente favorable	13%
		poco favorable	8%
		muy poco favorable	3%
condiciones de humedad y saturación (f ₆)	Asociado a: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático <2m es muy favorable para generación de flujos, >2m poco favorable, ~2m favorable) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo. (3) Variaciones estacionales de humedad. Mayor almacenaje y humedad alta favorecen la generación de flujos.	muy favorable	10%
		favorable	7%
		poco favorable	3%
		sin antecedentes	2%
acumulación de nieve (f ₇)	Según estacionalidad	siempre	5%
		estacional	2%
		esporádica	1%
		nula	0%
cobertura vegetal (f ₈)	Densidad en la ladera	nula a baja	5%
		moderada	3%
		alta	0%
obstrucción de canal de drenaje (f ₉)	No considera estructuras destinadas a contener los flujos	importante	5%
		moderada	4%
		baja	2%
		no observado	0%
desestabilización artificial de laderas (f ₁₀)	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5%
		poco importante	3%
		no observado	0%
aluviones declarados en la hoya hidrográfica (f ₁₁)	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia ≤ 10 años.	históricos frecuentes	10%
		históricos poco frecuentes	7%
		prehistóricos	4%
		sin antecedentes	1%
tipo de material (f ₁₂)	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	0

A.2 Caída de Rocas

Tabla A.3: Ponderación máxima de factores condicionantes de caídas de roca (Lara, 2007).

FACTOR		%
GEMORFOLOGÍA	pendientes de laderas	35%
GEOLOGÍA-GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	35%
CLIMA	acumulación de nieve	10%
ANTRÓPICOS	desestabilización artificial de laderas	5%
ANTECEDENTES	caídas de roca declaradas en ladera	15%

Tabla A.4: Desglose de los factores condicionantes de caídas de roca (Lara, 2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
pendientes de laderas (f ₁)	Promedio de la ladera	15°-20°	4%
		20°-25°	10%
		25°-30°	18%
		30°-40°	25%
		40°-60°	32%
		>60°	35%
características geológicas- geotécnicas del material (f ₂)	Será más favorable a medida que presente estructuras subverticales en el macizo, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca.	muy favorable	35%
		favorable	24%
		medianamente favorable	15%
		poco favorable	9%
		muy poco favorable	3%
acumulación de nieve (f ₃)	Asociado a procesos de hielo/deshielo, que contribuyen en la caídas de roca debido a la generación de esfuerzos en tracción en la roca	estacional	10%
		siempre	4%
		esporádica	2%
		nula	0%
desestabilización artificial de laderas (f ₄)	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5%
		poco importante	3%
		no observado	0%
caídas de roca declaradas en la ladera (f ₅)	Presencia de bloques caídos.	presente	15%
		no observado	0%
Tipo de material (f ₆)	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	0
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	1

A.3 Deslizamientos de Suelo

Tabla A.5: Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en suelo (Lara, 2007).

	FACTOR	%
GEOMORFOLOGÍA	pendientes de laderas	35%
	exposición al sol	
GEOLOGÍA- GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	30%
	condiciones de humedad y saturación	
CLIMA- VEGETACIÓN	acumulación de nieve	10%
	cobertura vegetal	
ANTRÓPICO	desestabilización artificial de laderas	10%
ANTECEDENTES	deslizamientos declarados en la ladera	15%
	deslizamientos declarados en la unidad de suelo	

Tabla A.6: Desglose de los factores condicionantes de deslizamientos en suelo (Lara, 2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES (no diferencia en esta etapa deslizamientos superficiales y profundos)	RANGOS	%
pendientes de laderas (f ₁)	Promedio de la unidad	15°-20°	9%
		20°-25°	15%
		25°-30°	21%
		30°-40°	26%
		>40°	30%
exposición al sol (f ₂)	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S	alta	5%
		parcial	3%
		baja	1%
características geológicas-geotécnicas del material (f ₃)	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6-1,8 kN/m ³), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	muy favorable	20%
		favorable	14%
		medianamente favorable	10%
		poco favorable	6%
		muy poco favorable	2%
condiciones de humedad y saturación (f ₄)	Considerar: (1)Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo (asociado a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad N.F/espesor suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10%
		favorable	7%
		poco favorable	3%
		sin antecedentes	2%
acumulación de nieve (f ₅)	Según estacionalidad	siempre	5%
		estacional	2%
		esporádica	1%
		nula	0%
cobertura vegetal (f ₆)	Densidad en la ladera	nula a baja	5%
		moderada	2%
		alta	0%
desestabilización artificial de laderas (f ₇)	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10%
		poco importante	5%
		no observado	0%
deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica (f ₈)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	10%
		sin antecedentes	3%
		no observado	0%
deslizamientos declarados en la unidad geológica de suelo (f ₉)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	5%
		sin antecedentes	2%
		no observado	0%
tipo de material (f ₁₀)	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	0

A.4 Deslizamientos de Roca

Tabla A.7: Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en roca (Lara, 2007).

FACTORES		%
GEMORFOLOGÍA	pendientes de laderas	35%
GEOLOGÍA- GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	35%
CLIMA	acumulación de nieve	5%
ANTRÓPICOS	desestabilización artificial de laderas	10%
ANTECEDENTES	deslizamientos declarados en la ladera	15%

Tabla A.8: Desglose de los factores condicionantes de deslizamientos en roca (Lara, 2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
pendientes de laderas (f ₁)	Promedio de la unidad	15°-20°	11%
		20°-25°	15%
		25°-30°	20%
		30°-40°	25%
		40°-60°	30%
		>60°	35%
Características geológicas-geotécnicas del material (f ₂)	Su generación se ve favorecida por alto grado de fracturamiento, alta meteorización y presencia de agua en el macizo. La orientación de fracturas permitirán identificar el tipo de deslizamiento: deslizamiento plano (superficie de deslizamiento en el sentido de la ladera), cuña (por intersección de estructuras) o toppling (fracturas opuestas al sentido de la ladera). Puede considerarse valores bajos de RMR (<30) -modificado según orientación de estructuras en laderas- como indicativo aproximado de condiciones muy favorables para generación de deslizamientos.	muy favorable	35%
		favorable	28%
		medianamente favorable	18%
		poco favorable	11%
		muy poco favorable	4%
acumulación de nieve (f ₃)	Según estacionalidad	siempre	5%
		estacional	2%
		esporádica	1%
		nula	0%
desestabilización artificial de laderas (f ₄)	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10%
		poco importante	5%
		no observado	0%
deslizamientos declarados en la ladera (f ₅)	Información escrita y/u observación de superficies de deslizamiento.	presente	15%
		sin antecedentes	5%
		no observado	0%
tipo de material (f ₆)	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores. Suelo muy superficial en unidades mapeadas como roca no se considera.	suelo	0
		Roca (cobertura aproximada < 1m-1,5m de suelo)	1

Anexo B: Tablas de valoración a parámetros y ponderación de Índices de Susceptibilidad

En cada tabla se han destacado en color naranja las unidades que han sido descartadas, principalmente por no tener una pendiente mínima para ser considerada, y en color verde las unidades que presentan un IS mayor o igual a 50.

B.1 Flujos

Tabla B.1: Valoración de parámetros y ponderación del IS para flujos.

Flujos													
Unidad	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	IS_F
1	0,06	0,1	0,01	0,02	0,08	0	0	0,05	0	0	0	0	0
2	0,11	0,1	0,01	0,02	0,08	0	0	0,03	0	0	0	0	0
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6	0,09	0,1	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	41
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
16	0,03	0,05	0,04	0,03	0,18	0,07	0,01	0,03	0,02	0	0,01	1	47
17	0,03	0,05	0,04	0,03	0,18	0,07	0,01	0,03	0,02	0	0,01	1	47
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
19	0,03	0,05	0,04	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0,01	1	40
20	0,03	0,01	0,04	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0,01	1	36
21	0,06	0,1	0,04	0	0,25	0,03	0,01	0,03	0,02	0	0,01	1	55
22	0,03	0,01	0,04	0,02	0,25	0,03	0,01	0,05	0,02	0	0,07	1	53
23	0,06	0,1	0,04	0,25	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0,01	1	71
24	0,06	0,1	0,04	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0,01	1	48
25	0,06	0,1	0,04	0,02	0,25	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	1	61
26	0,11	0,1	0,07	0	0,25	0,03	0,02	0,03	0,04	0	0,01	1	66
27	0,06	0,1	0,07	0	0,25	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	1	64
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
29	0,03	0,05	0,04	0,02	0,25	0,07	0,01	0,03	0,04	0	0,07	1	61

30	0,03	0,1	0,07	0,02	0,25	0,07	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	1	67
31	0,03	0,05	0,04	0,02	0,25	0,07	0,02	0,03	0,04	0	0,01	1	56
32	0,03	0,05	0,04	0,02	0,25	0,07	0,02	0,05	0,02	0,03	0,01	1	59
33	0,06	0,1	0,07	0	0,25	0,07	0,02	0	0,04	0,03	0,01	1	65
34	0,06	0,1	0,04	0,02	0,25	0,07	0,02	0	0,04	0,03	0,01	1	64
35	0,03	0,05	0,04	0,02	0,25	0,07	0,01	0,03	0,02	0	0,01	1	53
36	0,11	0,1	0,07	0,02	0,25	0,03	0,01	0,05	0,05	0	0,07	1	76
37	0,03	0,05	0,04	0,02	0,25	0,07	0,01	0,03	0,05	0,03	0,07	1	65
38	0,11	0,1	0,07	0,02	0,25	0,03	0,01	0,05	0,05	0	0,07	1	76
39	0,03	0,05	0,07	0,02	0,18	0,07	0,01	0,03	0,04	0	0,01	1	51
40	0,09	0,1	0,04	0	0,25	0,07	0,01	0,03	0,04	0	0,07	1	70
41	0,09	0,1	0,07	0,02	0,25	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,07	1	77
42	0,03	0,05	0,07	0,02	0,25	0,07	0,02	0,05	0,04	0	0,01	1	61
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
44	0,03	0,05	0,04	0,04	0,18	0,07	0,02	0,03	0,04	0	0,07	1	57
45	0,09	0,1	0,04	0	0,25	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,07	1	69
46	0,03	0,1	0,04	0,02	0,25	0,02	0,02	0,03	0,04	0	0,01	1	56
47	0,06	0,1	0,04	0	0,18	0,03	0,01	0,05	0,02	0	0,01	1	50
48	0,09	0,1	0,07	0,02	0,25	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	1	77
49	0,03	0,05	0,04	0	0,25	0,03	0,01	0,05	0,05	0,03	0,07	1	61
50	0,03	0,1	0,04	0,02	0,18	0,03	0,01	0,05	0,02	0	0,04	1	52
51	0,03	0,05	0,01	0,02	0,25	0,03	0,01	0,03	0,04	0	0,04	1	51
52	0,11	0,01	0,01	0,02	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0
53	0,06	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	29
54	0,06	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0	0,03	0	0	0	1	28
55	0,09	0,05	0,01	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
56	0,09	0,01	0,01	0,03	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
57	0,03	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,05	0	0	0	1	28
58	0,09	0,05	0,01	0,03	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
59	0,09	0,05	0,01	0,03	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	40
60	0,09	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	39
61	0,09	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	33
62	0,03	0,01	0,01	0,02	0,08	0,07	0	0	0	0	0	1	22
63	0,09	0,01	0,01	0,03	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	34
64	0,09	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	33
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
66	0,06	0,01	0,01	0	0,13	0,03	0	0,05	0	0	0	1	29
67	0,09	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	35
68	0,03	0,01	0,01	0,03	0,08	0,03	0	0,05	0	0	0	1	24
69	0,09	0,01	0,01	0,03	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
70	0,06	0,01	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	27
71	0,06	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	29
72	0,09	0,01	0,01	0,02	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0

73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
74	0,09	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,05	0	0	0	1	34
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
76	0,06	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	29
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
79	0,06	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	30
80	0,09	0,01	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	31
81	0,09	0,05	0,01	0,03	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	40
82	0,09	0,01	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	35
83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
84	0,03	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	31
85	0,09	0,05	0,01	0,03	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	40
86	0,09	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	37
87	0,06	0,1	0,01	0,02	0	0	0,01	0,03	0	0,03	0	0	0
88	0,09	0,1	0,01	0,02	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
89	0,06	0,05	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	32
90	0,06	0,1	0,01	0,02	0	0	0,01	0,05	0	0,03	0	0	0
91	0,09	0,1	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	39
92	0,06	0,01	0,01	0,02	0,18	0,03	0	0,03	0	0	0	1	34
93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
94	0,03	0,01	0,01	0,02	0,18	0,03	0	0,03	0	0	0	1	31
95	0,09	0,01	0,01	0,03	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
96	0,09	0,01	0,01	0	0,25	0,03	0	0,03	0	0	0	1	42
97	0,09	0,05	0,01	0,02	0,25	0,03	0	0,05	0	0	0	1	50
98	0,11	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	39
99	0,09	0,05	0,01	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	42
100	0,03	0,05	0,01	0,03	0,13	0,03	0	0,05	0	0	0	1	33
101	0,06	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
102	0,06	0,05	0,01	0	0,08	0,03	0	0,05	0	0	0	1	28
103	0,11	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0,01	0,03	0,02	0	0,07	1	51
104	0,13	0,05	0,01	0,02	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
106	0,03	0,01	0,01	0,02	0,18	0,03	0	0,05	0	0	0	1	33
107	0,03	0,01	0,01	0	0,08	0,03	0	0	0	0	0	1	16
108	0,03	0,05	0,01	0	0,13	0,07	0	0,05	0	0	0	1	34
109	0,06	0,05	0,01	0,02	0,18	0,03	0	0,03	0	0,03	0	1	41
110	0,03	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0	0,03	0	0,03	0	1	36
111	0,06	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0	0,03	0	0	0	1	28
112	0,03	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0	0,03	0	0	0	1	25
113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
114	0,09	0,01	0,01	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0
115	0,09	0,01	0,01	0,03	0,08	0,03	0	0,05	0	0	0	1	30

116	0,11	0,1	0,01	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0	0
117	0,11	0,1	0,01	0	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
118	0,03	0,1	0,01	0	0	0	0,01	0,05	0	0,03	0	0	0
119	0,06	0,1	0,01	0	0	0	0,01	0,05	0	0,03	0	0	0
120	0,06	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0,03	0	0	0
121	0,06	0,1	0,01	0,02	0	0	0,02	0,05	0	0,03	0	0	0
122	0,11	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,03	0	0,03	0	0	0
123	0,11	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	42
124	0,06	0,1	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	37
125	0,06	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	34
126	0,06	0,1	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	37
127	0,06	0,1	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0,03	0	1	37
128	0,03	0,1	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0,03	0	1	37
129	0,09	0,1	0,01	0	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0,03	0	1	38
130	0,06	0,1	0,01	0,02	0,13	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0	1	44
131	0,06	0,05	0,01	0,02	0,18	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0	1	44
132	0,03	0,05	0,01	0	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
133	0,09	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	40
134	0,06	0,1	0,01	0	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	42
135	0,11	0,1	0,01	0,02	0,18	0,03	0,01	0	0	0,03	0	1	49
136	0,09	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0	1	45
137	0,03	0,05	0,01	0,02	0	0	0,02	0,03	0	0,03	0	0	0
138	0,06	0,1	0,01	0,02	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
139	0,06	0,1	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0	0	0,03	0	1	37
140	0,06	0,05	0,01	0,02	0	0	0,02	0,03	0	0	0	0	0
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
142	0,09	0,05	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0	0	0	0
143	0,03	0,05	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0	0	0	0
144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
145	0,06	0,05	0,01	0,02	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0	0
146	0,09	0,1	0,01	0,02	0	0	0,02	0,05	0	0,03	0	0	0
147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
148	0,06	0,05	0,01	0	0	0	0,02	0,03	0	0,03	0	0	0
149	0,03	0,05	0,01	0,02	0,18	0,03	0	0,03	0	0	0	1	35
150	0,03	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
152	0,03	0,05	0,01	0	0,18	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
153	0,06	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
154	0,09	0,01	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	28
155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
156	0,06	0,05	0,01	0	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	27
157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
158	0,09	0,05	0,01	0,03	0,08	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	35

159	0,09	0,05	0,01	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0	0
160	0,09	0,05	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	35
161	0,09	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	34
162	0,06	0,05	0,01	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0	0
163	0,06	0,1	0,01	0,02	0	0	0,01	0,03	0	0,03	0	0	0
164	0,09	0,1	0,01	0	0,25	0,07	0,01	0,03	0	0	0	1	56
165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
166	0,06	0,1	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	37
167	0,06	0,05	0,01	0,02	0,08	0,02	0	0,05	0	0	0	1	29
168	0,09	0,05	0,01	0	0,18	0,02	0	0,03	0	0	0	1	38
169	0,09	0,05	0,01	0,02	0,13	0,02	0,01	0,05	0	0	0	1	38
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
172	0,11	0,1	0,01	0,02	0,13	0,02	0,01	0,03	0	0	0	1	43
173	0,09	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0	0,05	0	0	0	1	33
174	0,11	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0	0,03	0	0	0	1	33
175	0,09	0,05	0,01	0	0,25	0,02	0,01	0,05	0	0	0	1	48
176	0,09	0,05	0,01	0,02	0,13	0,02	0,01	0,03	0	0,03	0	1	39
177	0,13	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0,05	0	0	0
178	0,13	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,03	0	0,05	0	0	0
179	0,06	0,05	0,01	0	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	27
180	0,06	0,05	0,01	0	0,13	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	32
181	0,11	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0,05	0	0	0
182	0,03	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0,05	0	0	0
183	0,09	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0,05	0	0	0
184	0,09	0,1	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0	0	0	1	39
185	0,06	0,05	0,01	0	0,08	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	27
186	0,11	0,05	0,01	0	0	0	0,01	0,03	0	0,03	0	0	0
187	0,11	0,1	0,01	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0	0	0	1	49
188	0,11	0,05	0,01	0,02	0,13	0,03	0,02	0,03	0	0,03	0	1	43
189	0,09	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,03	0	0	0	0	0
190	0,09	0,1	0,01	0,02	0	0	0,02	0,03	0	0	0	0	0
191	0,09	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,03	0	0,03	0	0	0
192	0,06	0,1	0,01	0	0	0	0,02	0,05	0	0	0	0	0

B.2 Caída de Rocas

Tabla B.2: Valoración de parámetros y ponderación del IS para caída de rocas.

Caída de Rocas							
Unidad	F1	F2	F3	F4	F5	F6	IS_CR
1	0,04	0,35	0	0	0,15	1	54
2	0,18	0,24	0	0	0,15	1	57
3	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	-	-	0
5	-	-	-	-	-	-	0
6	0,1	0,35	0	0	0,15	1	60
7	-	-	-	-	-	-	0
8	-	-	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	-	-	0
10	-	-	-	-	-	-	0
11	-	-	-	-	-	-	0
12	-	-	-	-	-	-	0
13	-	-	-	-	-	-	0
14	-	-	-	-	-	-	0
15	-	-	-	-	-	-	0
16	-	-	-	-	-	-	0
17	-	-	-	-	-	-	0
18	-	-	-	-	-	-	0
19	-	-	-	-	-	-	0
20	-	-	-	-	-	-	0
21	-	-	-	-	-	-	0
22	-	-	-	-	-	-	0
23	-	-	-	-	-	-	0
24	-	-	-	-	-	-	0
25	-	-	-	-	-	-	0
26	-	-	-	-	-	-	0
27	-	-	-	-	-	-	0
28	-	-	-	-	-	-	0
29	-	-	-	-	-	-	0
30	-	-	-	-	-	-	0
31	-	-	-	-	-	-	0
32	-	-	-	-	-	-	0
33	-	-	-	-	-	-	0
34	-	-	-	-	-	-	0
35	-	-	-	-	-	-	0
36	-	-	-	-	-	-	0
37	-	-	-	-	-	-	0

38	-	-	-	-	-	-	0
39	-	-	-	-	-	-	0
40	-	-	-	-	-	-	0
41	-	-	-	-	-	-	0
42	-	-	-	-	-	-	0
43	-	-	-	-	-	-	0
44	-	-	-	-	-	-	0
45	-	-	-	-	-	-	0
46	-	-	-	-	-	-	0
47	-	-	-	-	-	-	0
48	-	-	-	-	-	-	0
49	-	-	-	-	-	-	0
50	-	-	-	-	-	-	0
51	-	-	-	-	-	-	0
52	0,18	0,35	0	0	0,15	1	68
53	0,04	0,09	0	0	0,15	1	28
54	-	-	-	-	-	-	0
55	0,1	0,09	0	0	0,15	1	34
56	0,1	0,15	0	0	0,15	1	40
57	0,04	0,24	0	0	0,15	1	43
58	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
59	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
60	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
61	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
62	-	-	-	-	-	-	0
63	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
64	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
65	-	-	-	-	-	-	0
66	0,04	0,24	0	0	0,15	1	43
67	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
68	-	-	-	-	-	-	0
69	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
70	0,04	0,15	0,02	0	0,15	1	36
71	0,04	0,15	0,02	0	0,15	1	36
72	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
73	-	-	-	-	-	-	0
74	0,1	0,35	0	0	0,15	1	60
75	-	-	-	-	-	-	0
76	0,1	0,24	0	0	0,15	1	49
77	-	-	-	-	-	-	0
78	-	-	-	-	-	-	0
79	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
80	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42

81	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
82	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
83	-	-	-	-	-	-	0
84	-	-	-	-	-	-	0
85	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
86	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
87	0,1	0,15	0,02	0,03	0,15	1	45
88	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
89	0,04	0,09	0,02	0	0,15	1	30
90	0,04	0,24	0,02	0,03	0,15	1	48
91	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
92	0,1	0,35	0	0	0,15	1	60
93	-1	0	0	0	0	0	0
94	-1	0	0	0	0	0	0
95	0,1	0,15	0	0	0	1	25
96	0,1	0,35	0	0	0,15	1	60
97	0,1	0,35	0	0	0,15	1	60
98	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
99	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59
100	-	-	-	-	-	-	0
101	0,04	0,15	0	0	0,15	1	34
102	0,04	0,15	0	0	0,15	1	34
103	0,25	0,35	0	0	0,15	1	75
104	0,25	0,35	0	0	0,15	1	75
105	-	-	-	-	-	-	0
106	-	-	-	-	-	-	0
107	-	-	-	-	-	-	0
108	-	-	-	-	-	-	0
109	0,1	0,24	0	0,03	0,15	1	52
110	-	-	-	-	-	-	0
111	0,1	0,15	0	0	0,15	1	40
112	-	-	-	-	-	-	0
113	-	-	-	-	-	-	0
114	0,18	0,24	0	0	0,15	1	57
115	0,1	0,15	0	0	0,15	1	40
116	0,18	0,35	0,02	0	0,15	1	70
117	0,18	0,35	0,02	0	0,15	1	70
118	-	-	-	-	-	-	0
119	0,1	0,24	0,02	0,03	0,15	1	54
120	0,04	0,15	0,1	0,03	0,15	1	47
121	0,04	0,15	0,1	0,03	0,15	1	47
122	0,25	0,24	0,1	0,03	0,15	1	77
123	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59

124	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
125	0,04	0,15	0,02	0	0,15	1	36
126	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
127	0,1	0,24	0,02	0,03	0,15	1	54
128	-	-	-	-	-	-	0
129	0,1	0,24	0,02	0,03	0,15	1	54
130	0,04	0,35	0,02	0,03	0,15	1	59
131	0,04	0,35	0,02	0,03	0,15	1	59
132	-	-	-	-	-	-	0
133	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59
134	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
135	0,25	0,24	0,02	0,03	0,15	1	69
136	0,1	0,24	0,02	0,03	0,15	1	54
137	-	-	-	-	-	-	0
138	0,04	0,15	0,02	0	0,15	1	36
139	0,04	0,24	0,02	0,03	0,15	1	48
140	0,04	0,24	0,1	0	0,15	1	53
141	-	-	-	-	-	-	0
142	0,1	0,24	0,1	0	0,15	1	59
143	-	-	-	-	-	-	0
144	-	-	-	-	-	-	0
145	0,1	0,35	0,02	0	0,15	1	62
146	0,1	0,24	0,1	0,03	0,15	1	62
147	-	-	-	-	-	-	0
148	0,04	0,24	0,1	0,03	0,15	1	56
149	-	-	-	-	-	-	0
150	-	-	-	-	-	-	0
151	-	-	-	-	-	-	0
152	0,04	0,15	0	0	0	0	0
153	0,04	0,35	0	0	0,15	1	54
154	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
155	-	-	-	-	-	-	0
156	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
157	-	-	-	-	-	-	0
158	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
159	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
160	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
161	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
162	0,1	0,15	0,02	0	0,15	1	42
163	0,04	0,15	0,02	0,03	0,15	1	39
164	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
165	-	-	-	-	-	-	0
166	0,04	0,15	0,02	0	0,15	1	36

167	0,1	0,15	0	0	0,15	0	0
168	0,18	0,24	0	0	0,15	1	57
169	0,18	0,15	0,02	0	0,15	1	50
170	-	-	-	-	-	-	0
171	-	-	-	-	-	-	0
172	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59
173	0,1	0,15	0	0	0,15	1	40
174	0,25	0,15	0	0	0,15	1	55
175	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59
176	0,18	0,24	0,02	0,03	0,15	1	62
177	0,25	0,35	0,1	0,05	0,15	1	90
178	0,25	0,35	0,1	0,05	0,15	1	90
179	-	-	-	-	-	-	0
180	0,04	0,24	0,02	0	0,15	1	45
181	0,18	0,35	0,1	0,05	0,15	1	83
182	-	-	-	-	-	-	0
183	0,18	0,35	0,1	0,05	0,15	1	83
184	0,18	0,24	0,02	0	0,15	1	59
185	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
186	0,18	0,24	0,02	0,03	0,15	1	62
187	0,1	0,24	0,02	0	0,15	1	51
188	0,18	0,24	0,1	0,03	0,15	1	70
189	0,1	0,24	0,1	0	0,15	1	59
190	0,1	0,24	0,1	0	0,15	1	59
191	0,1	0,24	0,1	0,03	0,15	1	62
192	0,04	0,24	0,1	0	0,15	1	53

B.3 Deslizamientos de Suelo

Tabla B.3: Valoración de parámetros y ponderación del IS para deslizamientos de suelo.

Deslizamientos de Suelo											
Unidad	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	IS_DS
1	0,09	0,03	0,1	0	0	0,05	0	0	0	0	0
2	0,21	0,03	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,1	0	1	54
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6	0,15	0,03	0,1	0,03	0	0,02	0	0	0	1	33
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
52	0,26	0,03	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0
53	0,09	0,03	0,1	0,03	0	0,02	0	0,03	0,02	1	1	32
54	0,09	0,05	0,1	0,03	0	0,02	0	0,03	0,02	1	1	34
55	0,21	0,01	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0
56	0,21	0,05	0,1	0,03	0	0,02	0	0	0,05	1	1	46
57	0,09	0,03	0,14	0,03	0	0,05	0	0,1	0,05	1	1	49
58	0,21	0,05	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0
59	0,26	0,05	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0	0,05	1	1	59
60	0,15	0,03	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0,1	0,05	1	1	56
61	0,15	0,05	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,05	1	1	48
62	0,09	0,03	0,06	0,03	0	0	0	0	0,02	1	1	23
63	0,21	0,05	0,06	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	1	43
64	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	1	45
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
66	0,15	0,01	0,06	0,03	0	0,05	0	0	0,02	1	1	32
67	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0,1	0,05	1	1	58
68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
69	0,26	0,05	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0,1	0,02	1	1	66
70	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0	0,02	1	1	39
71	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	1	36
72	0,21	0,03	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0
73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
74	0,15	0,03	0	0,03	0	0,05	0	0	0,02	0	0	0
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
76	0,15	0,03	0,1	0,03	0	0,02	0	0,03	0,02	1	1	38
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
79	0,15	0,03	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,1	0,05	1	1	53
80	0,15	0,01	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,05	1	1	44

81	0,15	0,05	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0,05	1	51
82	0,15	0,03	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0,02	1	46
83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
85	0,21	0,05	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0	0,05	1	54
86	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,05	1	39
87	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,02	1	44
88	0,15	0,03	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
89	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	34
90	0,09	0,03	0	0	0,01	0,05	0,05	0	0	0	0
91	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0,1	0,02	1	49
92	0,15	0,03	0,14	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	39
93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
95	0,15	0,05	0,06	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	33
96	0,15	0,01	0,14	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	37
97	0,21	0,03	0,14	0,03	0	0,05	0	0	0,02	1	48
98	0,21	0,03	0,06	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	38
99	0,26	0,03	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	51
100	0,09	0,05	0,06	0,03	0	0,05	0	0	0,02	0	0
101	0,09	0,03	0,1	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	29
102	0,15	0,01	0,14	0,03	0	0,05	0	0	0,02	1	40
103	0,26	0,01	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0
104	0,26	0,03	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0
105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
109	0,15	0,03	0,14	0,03	0	0,02	0,05	0	0,02	1	44
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
111	0,15	0,03	0,06	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	31
112	0,09	0,03	0,06	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	25
113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
114	0,15	0,01	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0
115	0,21	0,05	0,1	0,03	0	0,05	0	0,03	0,02	1	49
116	0,21	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0
117	0,21	0,01	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
119	0,15	0,01	0	0	0,01	0,05	0,05	0	0	0	0
120	0,09	0,01	0	0	0,02	0,05	0,05	0	0	0	0
121	0,15	0,03	0	0	0,02	0,05	0,05	0	0	0	0
122	0,26	0,01	0	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0
123	0,21	0,01	0	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	0	0

124	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	34
125	0,15	0,03	0	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	0	0
126	0,09	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	28
127	0,15	0,03	0,06	0,03	0,01	0,02	0,05	0	0,02	1	37
128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
129	0,15	0,01	0,06	0,03	0,01	0,02	0,05	0	0,02	1	35
130	0,15	0,03	0,06	0,03	0,01	0,05	0,05	0	0,02	1	40
131	0,09	0,03	0	0,03	0,01	0,05	0,05	0	0,02	0	0
132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
133	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	45
134	0,09	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	31
135	0,26	0,03	0	0,03	0,01	0	0,05	0	0,02	0	0
136	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,05	0,05	0	0,02	1	42
137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
138	0,09	0,03	0	0	0,01	0,05	0	0	0	0	0
139	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0	0,05	0	0,02	1	37
140	0,09	0,03	0	0	0,02	0,02	0	0	0	0	0
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
142	0,15	0,01	0	0	0,02	0,05	0	0	0	0	0
143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
145	0,15	0,03	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0
146	0,15	0,03	0	0	0,02	0,05	0,05	0	0	0	0
147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
148	0,09	0,01	0	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0
149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
150	0,09	0,01	0,14	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	31
151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
152	0,09	0,01	0,14	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	31
153	0,09	0,03	0,14	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	33
154	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	39
155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
156	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	34
157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
158	0,21	0,05	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0,02	1	50
159	0,21	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0
160	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	1	34
161	0,15	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0,02	1	42
162	0,15	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0
163	0,15	0,03	0	0	0,01	0,02	0,05	0	0	0	0
164	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	37
165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
166	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

167	0,15	0,03	0,06	0,03	0	0,05	0	0	0,02	1	34
168	0,21	0,01	0	0,03	0	0,02	0	0,03	0,02	0	0
169	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0	0,02	1	45
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
172	0,21	0,03	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	49
173	0,15	0,03	0,1	0,03	0	0,05	0	0	0,02	1	38
174	0,26	0,03	0,1	0,03	0	0,02	0	0	0,02	1	46
175	0,21	0,01	0,14	0,03	0,01	0,05	0	0,1	0,05	1	60
176	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,05	1	53
177	0,26	0,01	0	0	0,02	0,05	0,1	0	0	0	0
178	0,26	0,01	0	0	0,02	0,02	0,1	0	0	0	0
179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
180	0,09	0,01	0,14	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0,02	1	35
181	0,21	0,01	0	0	0,02	0,05	0,1	0	0	0	0
182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
183	0,21	0,01	0	0	0,02	0,05	0,1	0	0	0	0
184	0,21	0,03	0,1	0,03	0,01	0,05	0	0,03	0,02	1	48
185	0,15	0,01	0,1	0,03	0,01	0,02	0	0,03	0	1	35
186	0,26	0,01	0	0	0,01	0,02	0,05	0	0	0	0
187	0,21	0,03	0	0,03	0,01	0,02	0	0	0,02	0	0
188	0,21	0,03	0,1	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	1	51
189	0,15	0,01	0	0	0,02	0,02	0	0	0	0	0
190	0,15	0,03	0	0	0,02	0,02	0	0	0	0	0
191	0,15	0,01	0	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0
192	0,09	0,01	0	0	0,02	0,05	0	0	0	0	0

B.4 Deslizamientos de Roca

Tabla B.4: Valoración de parámetros y ponderación del IS para deslizamientos de roca.

Deslizamientos en Roca							
Unidad	F1	F2	F3	F4	F5	F6	IS_DR
1	0,11	0,28	0	0	0,05	1	44
2	0,2	0,28	0	0	0,15	1	63
3	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	-	-	0
5	-	-	-	-	-	-	0
6	0,15	0,18	0	0	0	1	33
7	-	-	-	-	-	-	0
8	-	-	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	-	-	0
10	-	-	-	-	-	-	0
11	-	-	-	-	-	-	0
12	-	-	-	-	-	-	0
13	-	-	-	-	-	-	0
14	-	-	-	-	-	-	0
15	-	-	-	-	-	-	0
16	-	-	-	-	-	-	0
17	-	-	-	-	-	-	0
18	-	-	-	-	-	-	0
19	-	-	-	-	-	-	0
20	-	-	-	-	-	-	0
21	-	-	-	-	-	-	0
22	-	-	-	-	-	-	0
23	-	-	-	-	-	-	0
24	-	-	-	-	-	-	0
25	-	-	-	-	-	-	0
26	-	-	-	-	-	-	0
27	-	-	-	-	-	-	0
28	-	-	-	-	-	-	0
29	-	-	-	-	-	-	0
30	-	-	-	-	-	-	0
31	-	-	-	-	-	-	0
32	-	-	-	-	-	-	0
33	-	-	-	-	-	-	0
34	-	-	-	-	-	-	0
35	-	-	-	-	-	-	0
36	-	-	-	-	-	-	0
37	-	-	-	-	-	-	0

38	-	-	-	-	-	-	0
39	-	-	-	-	-	-	0
40	-	-	-	-	-	-	0
41	-	-	-	-	-	-	0
42	-	-	-	-	-	-	0
43	-	-	-	-	-	-	0
44	-	-	-	-	-	-	0
45	-	-	-	-	-	-	0
46	-	-	-	-	-	-	0
47	-	-	-	-	-	-	0
48	-	-	-	-	-	-	0
49	-	-	-	-	-	-	0
50	-	-	-	-	-	-	0
51	-	-	-	-	-	-	0
52	0,2	0,35	0	0	0	1	55
53	0,11	0,11	0	0	0	1	22
54	0,11	0,11	0	0	0	1	22
55	0,15	0,11	0	0	0,05	1	31
56	0,15	0,18	0	0	0,05	1	38
57	0,11	0,11	0	0	0	1	22
58	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
59	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
60	0,15	0,18	0,01	0	0	1	34
61	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
62	-	-	-	-	-	-	0
63	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
64	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
65	-	-	-	-	-	-	0
66	0,11	0,28	0	0	0	1	39
67	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
68	-	-	-	-	-	-	0
69	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54
70	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
71	0,11	0,18	0,01	0	0,05	1	35
72	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
73	-	-	-	-	-	-	0
74	0,15	0,35	0	0,05	0,15	1	70
75	-	-	-	-	-	-	0
76	0,15	0,28	0	0	0,05	1	48
77	-	-	-	-	-	-	0
78	-	-	-	-	-	-	0
79	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
80	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39

81	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
82	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
83	-	-	-	-	-	-	0
84	-	-	-	-	-	-	0
85	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
86	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
87	0,15	0,18	0,01	0,05	0,05	1	44
88	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
89	0,15	0,11	0,01	0	0,05	1	32
90	0,11	0,28	0,01	0,05	0,05	1	50
91	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
92	0,15	0,28	0	0	0,05	1	48
93	-	-	-	-	-	-	0
94	-	-	-	-	-	-	0
95	0,15	0,18	0	0	0	1	33
96	0,15	0,28	0	0	0,05	1	48
97	0,2	0,35	0	0	0,05	1	60
98	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
99	0,25	0,28	0,01	0	0	1	54
100	-	-	-	-	-	-	0
101	0,11	0,18	0	0	0	1	29
102	0,15	0,18	0	0	0,05	1	38
103	0,25	0,35	0	0	0	1	60
104	0,25	0,35	0	0	0	1	60
105	-	-	-	-	-	-	0
106	-	-	-	-	-	-	0
107	-	-	-	-	-	-	0
108	-	-	-	-	-	-	0
109	0,11	0,18	0	0,05	0,05	1	39
110	-	-	-	-	-	-	0
111	0,15	0,18	0	0	0	1	33
112	0,11	0,18	0	0	0	1	29
113	-	-	-	-	-	-	0
114	0,15	0,18	0	0	0,05	1	38
115	0,2	0,18	0	0	0,05	1	43
116	0,2	0,35	0,01	0	0,05	1	61
117	0,2	0,35	0,01	0	0,05	1	61
118	-	-	-	-	-	-	0
119	0,15	0,28	0,01	0,05	0,05	1	54
120	0,11	0,18	0,02	0,05	0,05	1	41
121	0,11	0,18	0,02	0,05	0,05	1	41
122	0,25	0,28	0,02	0,05	0,05	1	65
123	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54

124	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
125	0,11	0,18	0,01	0	0,05	1	35
126	0,11	0,18	0,01	0	0,05	1	35
127	0,11	0,28	0,01	0,05	0,05	1	50
128	-	-	-	-	-	-	0
129	0,15	0,28	0,01	0,05	0,05	1	54
130	0,11	0,28	0,01	0,05	0,05	1	50
131	0,11	0,28	0,01	0,05	0,05	1	50
132	-	-	-	-	-	-	0
133	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54
134	0,11	0,28	0,01	0	0,05	1	45
135	0,25	0,28	0,01	0,05	0,05	1	64
136	0,15	0,28	0,01	0,05	0,05	1	54
137	-	-	-	-	-	-	0
138	0,11	0,18	0,01	0	0,05	1	35
139	0,15	0,28	0,01	0,05	0	1	49
140	0,15	0,28	0,02	0	0,05	1	50
141	-	-	-	-	-	-	0
142	0,15	0,28	0,02	0	0,05	1	50
143	-	-	-	-	-	-	0
144	-	-	-	-	-	-	0
145	0,15	0,35	0,01	0	0,05	1	56
146	0,15	0,28	0,02	0,05	0,05	1	55
147	-	-	-	-	-	-	0
148	0,11	0,28	0,02	0,05	0,05	1	51
149	-	-	-	-	-	-	0
150	-	-	-	-	-	-	0
151	-	-	-	-	-	-	0
152	-	-	-	-	-	-	0
153	0,11	0,28	0	0	0,05	1	44
154	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
155	-	-	-	-	-	-	0
156	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
157	-	-	-	-	-	-	0
158	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
159	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
160	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
161	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
162	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
163	0,11	0,18	0,01	0,05	0,05	1	40
164	0,15	0,28	0,01	0	0,05	1	49
165	-	-	-	-	-	-	0
166	-	-	-	-	-	-	0

167	0,15	0,18	0	0	0,05	0	0
168	0,2	0,18	0	0	0,05	1	43
169	0,2	0,18	0,01	0	0,05	1	44
170	-	-	-	-	-	-	0
171	-	-	-	-	-	-	0
172	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54
173	0,15	0,11	0	0	0	1	26
174	0,25	0,18	0	0	0	1	43
175	0,2	0,18	0,01	0	0,15	1	54
176	0,2	0,18	0,01	0,05	0,05	1	49
177	0,25	0,35	0,02	0,1	0,15	1	87
178	0,25	0,35	0,02	0,1	0,15	1	87
179	-	-	-	-	-	-	0
180	0,11	0,28	0,01	0	0,05	1	45
181	0,25	0,35	0,02	0,1	0,15	1	87
182	-	-	-	-	-	-	0
183	0,2	0,35	0,02	0,1	0,15	1	82
184	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54
185	0,15	0,18	0,01	0	0,05	1	39
186	0,2	0,18	0,01	0,05	0,05	1	49
187	0,2	0,28	0,01	0	0,05	1	54
188	0,2	0,28	0,02	0,05	0,15	1	70
189	0,15	0,28	0,02	0	0,05	1	50
190	0,15	0,28	0,02	0	0,05	1	50
191	0,15	0,28	0,02	0,05	0,05	1	55
192	0,11	0,28	0,02	0	0,05	1	46

Anexo C: Resumen de knickpoints encontrados en la zona de estudio

Tabla C.1: Knickpoints encontrados en la zona de estudio, enumerados y con las coordenadas de su ubicación en formato Latitud/Longitud.

Número	Latitud	Longitud	Número	Latitud	Longitud
1	-33.01275472	-70.57357280	72	-33.20082528	-70.58913197
2	-33.00875744	-70.57764969	73	-33.19287503	-70.61124591
3	-33.00370152	-70.58518598	74	-33.18876199	-70.61546099
4	-32.99796889	-70.59270925	75	-33.18021546	-70.63970332
5	-33.00087205	-70.59490207	76	-33.21390598	-70.56214318
6	-32.99551593	-70.62557552	77	-33.20129406	-70.56996485
7	-32.99414859	-70.63531633	78	-33.20181018	-70.57372875
8	-33.00156422	-70.65431756	79	-33.20287613	-70.57857534
9	-32.97715979	-70.64128945	80	-33.20240487	-70.58017604
10	-33.12021516	-70.47018404	81	-33.22341126	-70.58605298
11	-33.12313943	-70.47076869	82	-33.21757097	-70.58433814
12	-33.12334746	-70.47224593	83	-33.21304901	-70.58532953
13	-33.12735605	-70.47646638	84	-33.21064624	-70.5881025
14	-33.13360125	-70.48219872	85	-33.20508932	-70.59068414
15	-33.13549347	-70.48424048	86	-33.18139174	-70.58368653
16	-33.14004115	-70.49048124	87	-33.18579918	-70.59167605
17	-33.14269812	-70.49454641	88	-33.18497248	-70.59461064
18	-33.14637903	-70.49782515	89	-33.18368111	-70.59860927
19	-33.1494267	-70.50685616	90	-33.18523318	-70.60064852
20	-33.15689314	-70.53244936	91	-33.19089139	-70.60772354
21	-33.15947561	-70.53329848	92	-32.97286764	-70.69256854
22	-33.1628520	-70.53375937	93	-32.97477458	-70.69327366
23	-33.17026615	-70.53589924	94	-32.97975176	-70.69203113
24	-33.19234097	-70.57369342	95	-32.98258027	-70.69128253
25	-33.19503071	-70.57494831	96	-32.98451257	-70.69011552
26	-33.20090388	-70.58296505	97	-32.98543413	-70.68866168
27	-33.18876199	-70.61546099	98	-32.99774438	-70.68702323
28	-33.05281622	-70.57040296	99	-33.00317637	-70.6938162
29	-33.05772064	-70.58374386	100	-33.00430147	-70.70226665
30	-33.05888722	-70.58952153	101	-32.98281355	-70.71549756
31	-33.06619328	-70.60879903	102	-32.98741971	-70.71665681
32	-33.07262127	-70.61735164	103	-32.99311791	-70.72037908
33	-33.08369167	-70.67540529	104	-32.99524822	-70.7212231
34	-33.06606461	-70.58362556	105	-32.99826907	-70.72288716
35	-33.06410939	-70.58666992	106	-32.98239755	-70.73742595
36	-33.06173055	-70.5875644	107	-32.98411414	-70.73558693
37	-33.08142804	-70.56327831	108	-32.98929662	-70.73582215

38	-33.07944805	-70.56833186	109	-32.99108127	-70.73719481
39	-33.07586455	-70.57536519	110	-32.99660557	-70.7371693
40	-33.06849134	-70.59665664	111	-32.97286764	-70.69256854
41	-33.06843813	-70.60080634	112	-32.97477458	-70.69327366
42	-33.06817142	-70.60401492	113	-32.97975176	-70.69203113
43	-33.11296992	-70.57415185	114	-32.98258027	-70.69128253
44	-33.11210637	-70.58003066	115	-32.98451257	-70.69011552
45	-33.11095038	-70.58228724	116	-32.98543413	-70.68866168
46	-33.11096933	-70.58965524	117	-32.99774438	-70.68702323
47	-33.11133197	-70.60533481	118	-33.00317637	-70.6938162
48	-33.10600544	-70.61622176	119	-33.00430147	-70.70226665
49	-33.0938698	-70.59564211	120	-33.02713561	-70.7142147
50	-33.09989662	-70.60914504	121	-33.04965615	-70.72428899
51	-33.10077752	-70.6107684	122	-33.05685615	-70.72536648
52	-33.10163067	-70.61453435	123	-33.08348415	-70.74798178
53	-33.13301872	-70.57558161	124	-33.06965989	-70.76899682
54	-33.1316204	-70.57917433	125	-33.06988965	-70.80019767
55	-33.1309854	-70.58479045	126	-33.08421384	-70.79968608
56	-33.12831112	-70.59117361	127	-33.08656308	-70.80093917
57	-33.12766013	-70.59799498	128	-33.08972079	-70.80863695
58	-33.13886237	-70.61226794	129	-33.11363482	-70.82305831
59	-33.14759969	-70.61658216	130	-33.11005132	-70.84441611
60	-33.14913955	-70.57560176	131	-33.13010113	-70.86064491
61	-33.15299021	-70.6007326	132	-33.11005132	-70.84441611
62	-33.15263141	-70.60233432	133	-33.13010113	-70.86064491
63	-33.15370323	-70.60664251	134	-33.1548012	-70.86733118
64	-33.15356977	-70.60824834	135	-33.18940677	-70.88241071
65	-33.16638967	-70.55754655	136	-33.19725354	-70.90014313
66	-33.17529375	-70.55770407	137	-33.2070347	-70.90920474
67	-33.17812994	-70.5562796	138	-33.21523417	-70.91112623
68	-33.18219586	-70.55568116	139	-33.23662421	-70.91293301
69	-33.19503071	-70.57494831	140	-33.25383748	-70.90042821
70	-33.19758224	-70.57821214	141	-33.27405686	-70.88288383
71	-33.20090388	-70.58296505			

Anexo D: Índices de Sinuosidad de Quebradas y Esteros estudiados

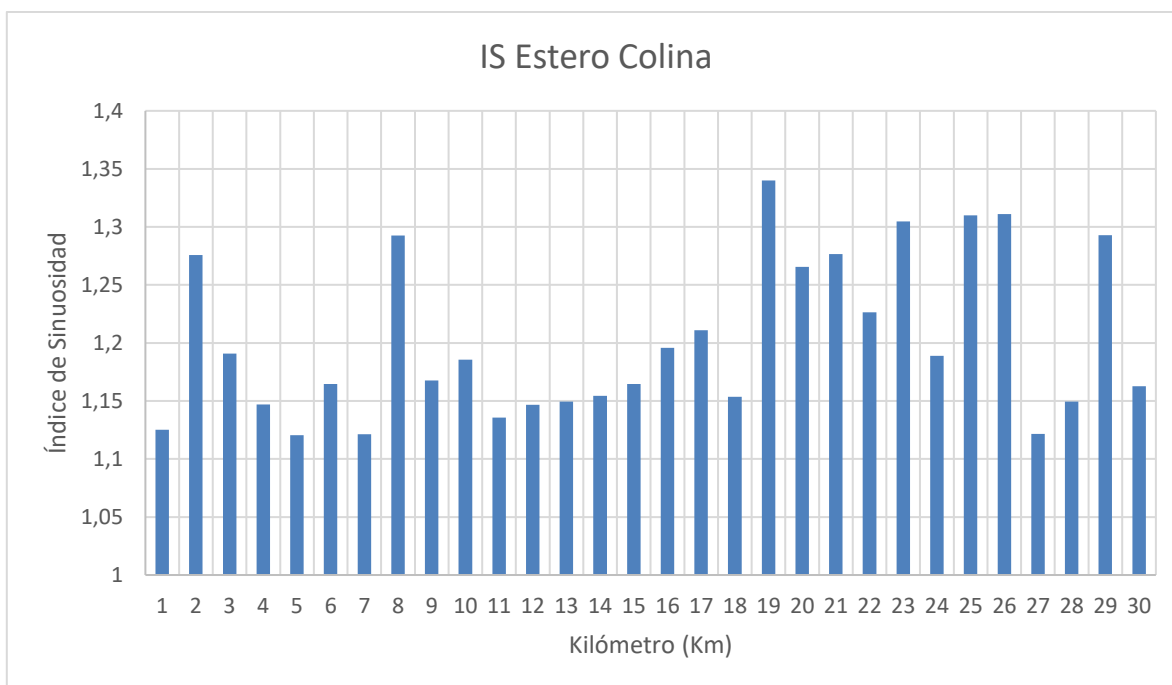


Figura D.1: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo del estero Colina, mostrado cada 1 km, en un total de 30 km estudiados.

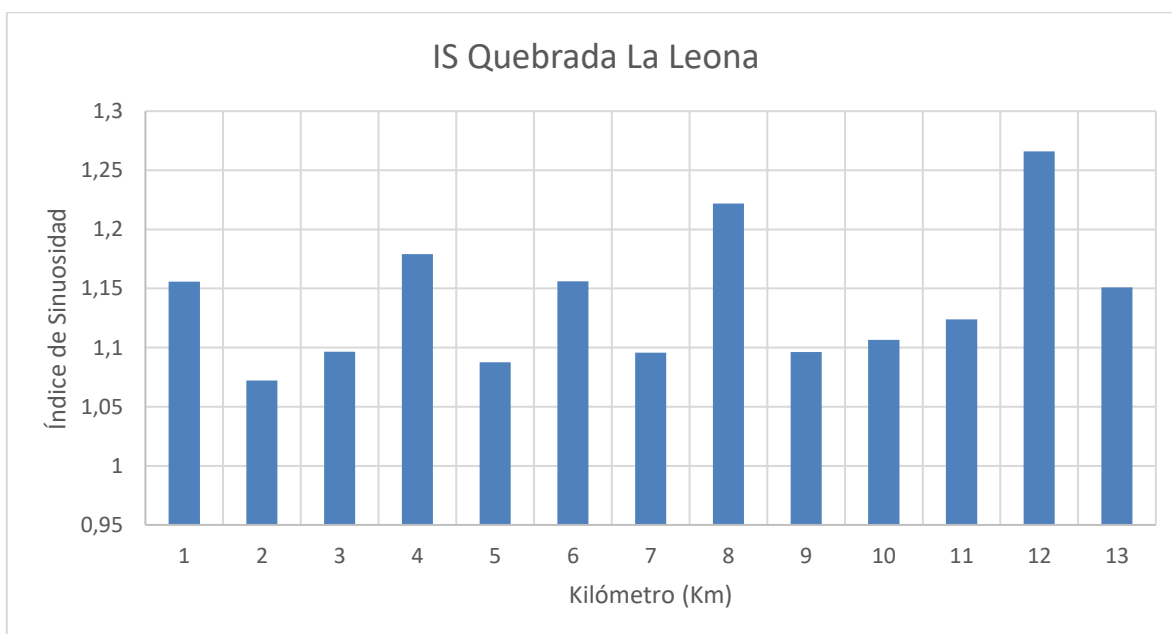


Figura D.2: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo de la quebrada La Leona, mostrado cada 1 km, en un total de 13 km estudiados.

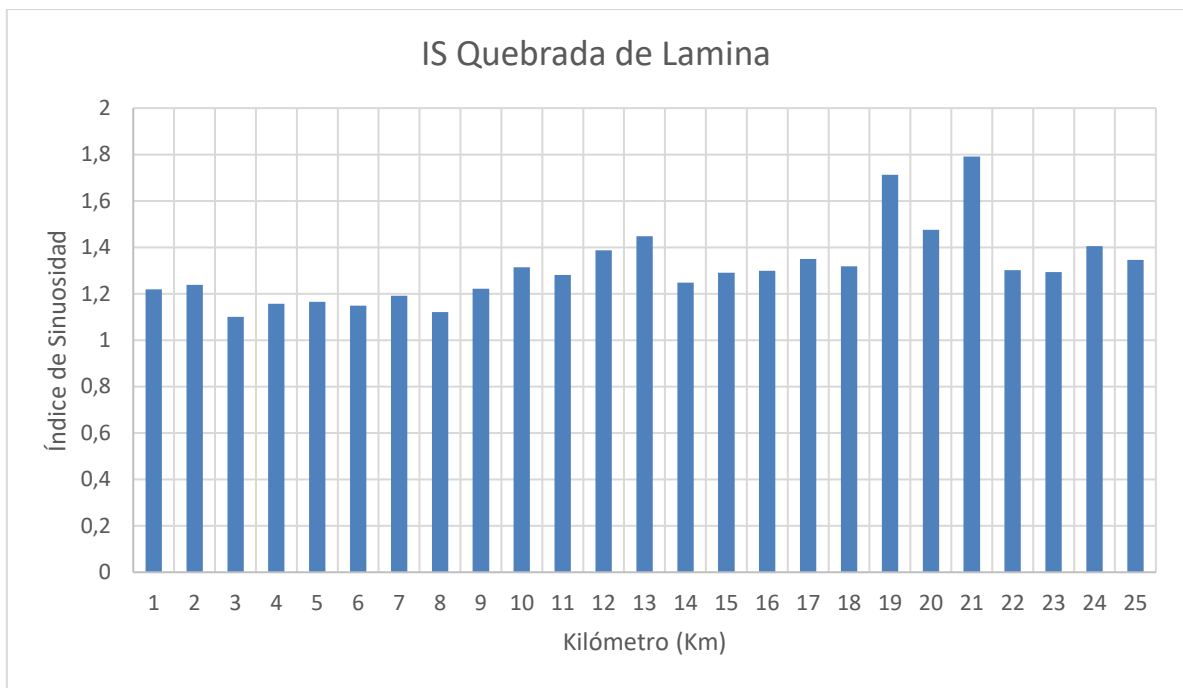


Figura D.3: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo de la quebrada de Lamina, mostrado cada 1 km, en un total de 25 km estudiados.

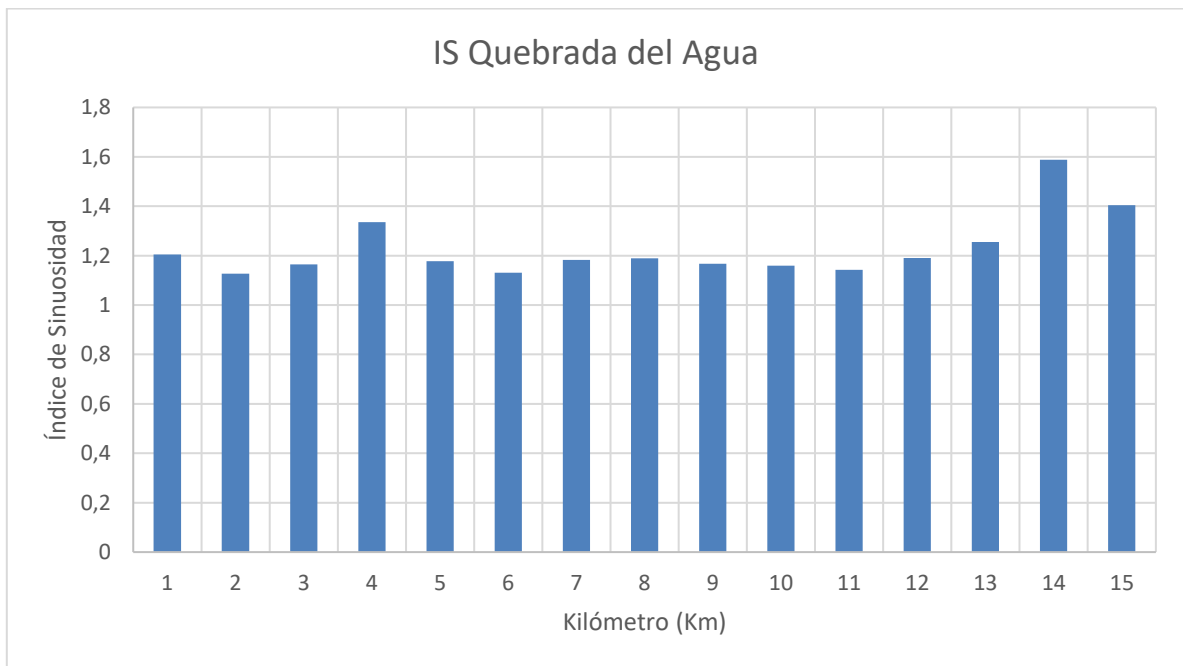


Figura D.4: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo de la quebrada del Agua, mostrado cada 1 km, en un total de 15 km estudiados.

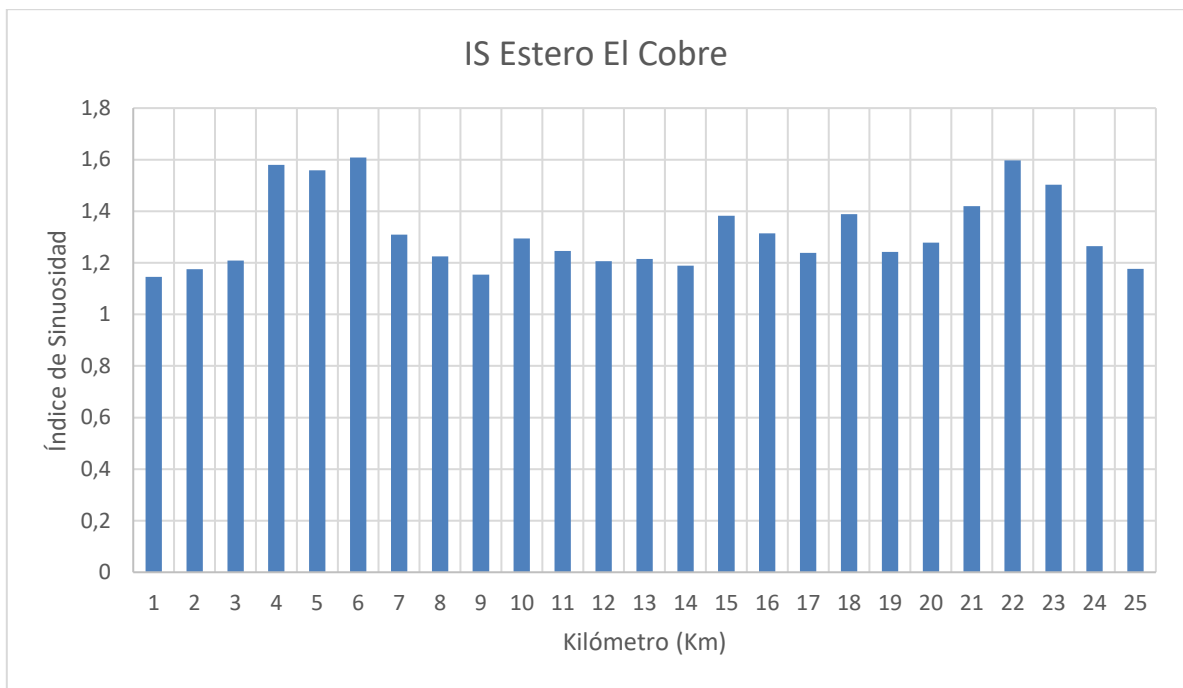


Figura D.5: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo del estero El Cobre, mostrado cada 1 km, en un total de 25 km estudiados.

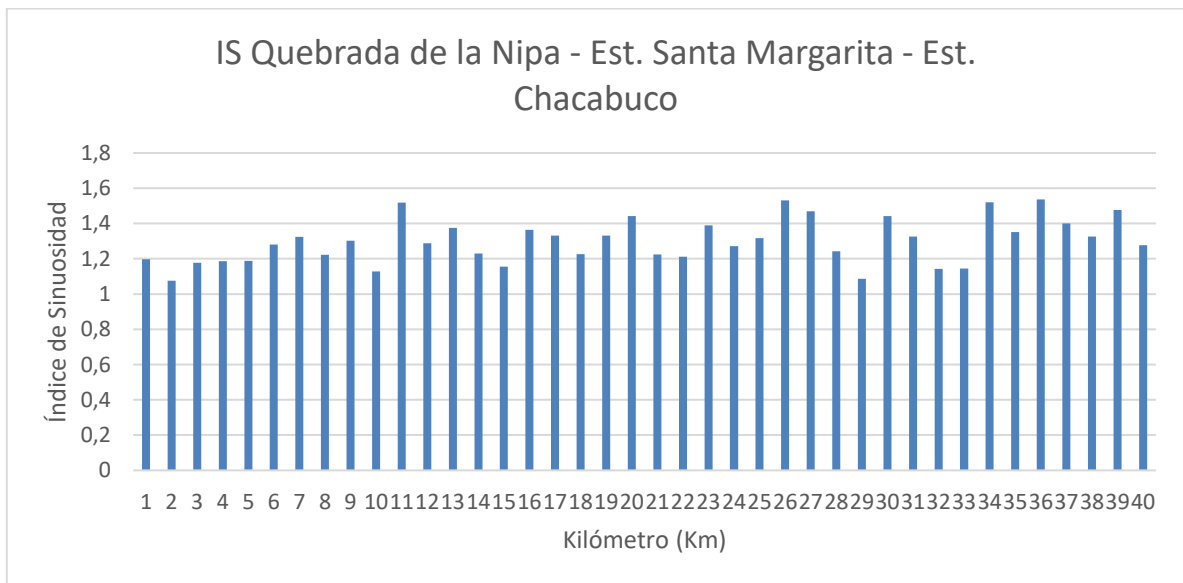


Figura D.6: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo del estero Chacabuco, desde su nacimiento en la Q. de La Nipa para luego cambiar de nombre a estero Santa Margarita y finalmente a estero Chacabuco, mostrado cada 1 km, en un total de 40 km estudiados.

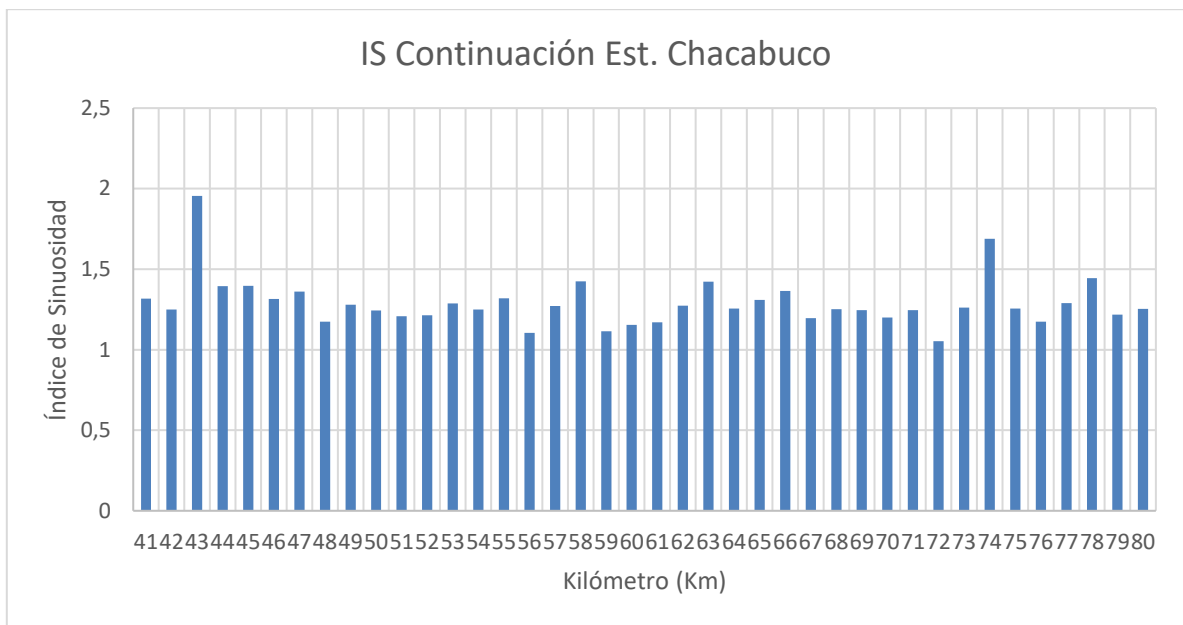


Figura D.7: Continuación de los Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo del estero Chacabuco, mostrado cada 1 km, en 40 km que se suman a lo anterior, completando un total de 80 km estudiados.

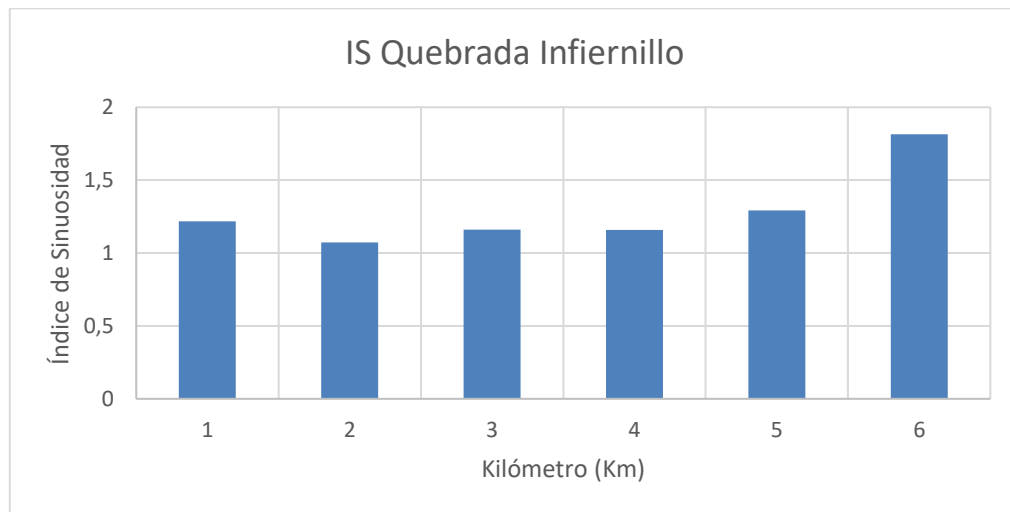


Figura D.8: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo de la quebrada Infiernillo, mostrado cada 1 km, en un total de 6 km estudiados.

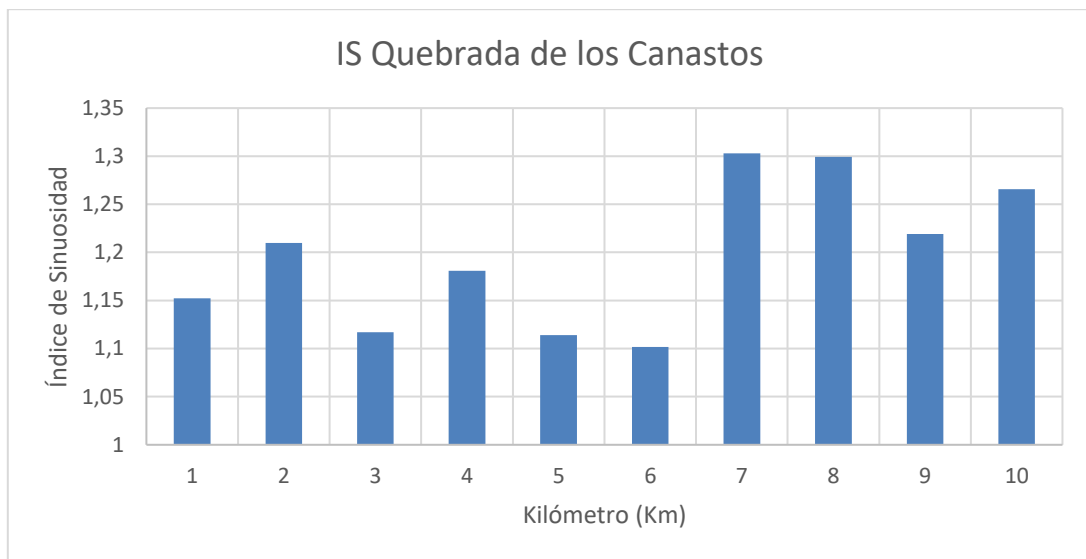


Figura D.9: Índices de Sinuosidad obtenidos a lo largo de la quebrada de Los Canastos, mostrado cada 1 km, en un total de 10 km estudiados.