



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**GEODINÁMICA DEL SISTEMA DE VERTIENTES DE MEDIA MONTAÑA, ASOCIADO
AL SECTOR DE TOTORALILLO, GUANAQUEROS Y TONGOY,
REGIÓN DE COQUIMBO**

Memoria para optar al título de Geógrafa

NATALIA CECILIA SÁNCHEZ PLAZA

Profesora Guía: María Victoria Soto Bäuerle

Santiago – Chile

2014

AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, quiero agradecer a mis maravillosos padres, **DANIEL** y **ROSA**, por confiar en mí y por su incondicional apoyo en todo momento de mi vida. De verdad puedo decir que son los mejores padres y los amo eternamente!!*

*A mis hermanos, **DANIELA** y **JAVIER**, y a mi precioso sobrino, **VICENTE**, por su compañía, su apoyo y momentos que he pasado con ellos durante toda mi vida y en especial en estos momentos finales de mi estudio universitario.*

A todos mis amigos, compañeros de la FAU y a la valiosa gente del laboratorio de Geomorfología y Riesgos naturales. Durante todos estos años aprendí mucho de todos ellos... buenos y malos momentos. En especial mencionar a: KAPPES, ANDRÉS, GIMENO, JULIO, MISAEL, YESSE, DAVID, NICO, CESAR.... Y a todos... Gracias!!

A mis amigos de siempre, a los que tengo en mi casa y a la gente de scout... Personalmente a JACQUE, MARY, ROMA, CRISTÓBAL, SERGIO, CLAUDIO, ROMINA y a todos mis amigos en general... Muchas Gracias por su cariño.

Al proyecto FONDECYT 1120345, por el financiamiento de mi trabajo y del material. A mi profesora guía MARÍA VICTORIA SOTO, por su ayuda y orientación en mi memoria. También agradecer a PABLO SARRICOLEA por su disposición a ayudarme. A JOSELYN ARRIAGADA, que fue un pilar importante en la carrera. A CECILIA AQUEVEQUE y a la gente de TRASA por su ayuda y apoyo constante.

Agradecer a la Familia Mandujano Baeza por su apoyo incondicional y a la familia Mandujano Flores por el recibimiento en Ovalle para el trabajo en terreno y por el ánimo brindado.

*Por último, agradecer infinitamente por su paciencia, apoyo incondicional y compromiso, a **VÍCTOR FERNANDO**, que durante el transcurso de esta investigación me entregó su tiempo, cariño y consuelo en los malos momentos. Demasiado agradecida.*

... A TODOS...

MUCHAS GRACIAS!!!

ÍNDICE GENERAL

<u>CONTENIDOS</u>	<u>PÁGINAS</u>
RESUMEN.....	8
CAPITULO I. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO.....	9
1.1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.3. ÁREA DE ESTUDIO.....	12
1.4. OBJETIVOS.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
1.5. HIPÓTESIS.....	14
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ASUNTO.....	15
2.1. SISTEMA DE VERTIENTES.....	15
2.1.1. Vertientes.....	15
2.1.1.1. Factores condicionantes a estabilidad.....	16
2.1.2. Formas basales de contacto.....	18
2.1.2.1. Conos aluviales.....	19
2.1.2.2. Glacis.....	21
2.2. AGENTES GEODINÁMICOS.....	23
2.2.1. Agentes Endógenos.....	24
2.2.1.1. Actividad Sísmica.....	24
2.2.2. Agentes Exógenos.....	24
2.2.2.1. Precipitaciones.....	25
2.3. REMOCIONES EN MASA.....	29
2.3.1. Desprendimiento o caídas (<i>Falls</i>).....	30
2.3.2. Deslizamientos (<i>Slides</i>).....	31
2.3.3. Flujos (<i>Flows</i>).....	32
CAPITULO III. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
3.1. Clima General.....	34
3.2. Geología.....	35
3.2.1. Rocas Intrusivas.....	35
3.2.2. Rocas Volcánicas y Subvolcánicas.....	36
3.2.3. Formaciones sedimentarias.....	36
3.2.4. Depósitos sedimentarios.....	37
3.3. Geomorfología general.....	40

3.4. Suelos.....	41
3.5. Hidrología.....	42
3.6. Vegetación.....	43
CAPÍTULO IV. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	45
4.1. MATERIALES.....	45
4.2. MÉTODOS.....	45
4.2.1. Primera Etapa de Gabinete (G1).....	46
4.2.2. Trabajos en terreno (Tt).....	51
4.2.3. Segunda Etapa de Gabinete (G2).....	52
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	64
5.1. GEOMORFOLOGÍA DE MEDIA MONTAÑA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	64
5.1.1. Unidades geomorfológicas de media montaña.....	64
5.1.1.1. Sistema de Vertientes.....	64
5.1.1.2. Formas basales de contacto.....	69
5.1.1.3. Sistema fluvial.....	74
5.1.2. Fisiografía de media montaña.....	79
5.1.2.1. Pendientes.....	79
5.1.2.2. Curvatura.....	80
5.1.2.3. Exposición.....	83
5.1.2.4. Vegetación.....	85
5.1.2.5. Capacidad y Uso actual de suelo.....	86
5.2. ANÁLISIS DE AGENTES GEODINÁMICOS.....	92
5.2.1. Actividad Sísmica.....	92
5.2.2. Precipitaciones.....	95
5.3. HIDROMORFOMETRÍA.....	100
5.3.1. Sistemas hidrológicos del área de estudio.....	100
5.3.2. Índices hidromorfométricos.....	103
5.4. SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA.....	110
5.4.1. Índice de susceptibilidad a Remoción en masa.....	110
CAPITULO VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	113
6.1. DISCUSIÓN.....	113
6.2. CONCLUSIÓN.....	117
6.3. RECOMENDACIONES.....	119
CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

<u>TABLAS</u>	<u>PÁGINAS</u>
Tabla N°1: Diferencias entre conos de deyección caóticos y regulares.....	18
Tabla N°2: Clasificación de Movimientos en masa.....	30
Tabla N°3: Quebradas destacadas del área de estudio.....	42
Tabla N°4: Umbral geomorfológico y procesos asociados a una vertiente.....	48
Tabla N°5: Valores de NDVI.....	49
Tabla N°6: Taxonomía de Sistemas de Vertiente.....	50
Tabla N°7: Tipos de remoción en masa generadas por sismos.....	53
Tabla N°8: Calificación de precipitaciones de la IV Región, Norte Chico.....	54
Tabla N°9: Clasificación del ÍNDICE de FOURNIER MODIFICADO (IFM).....	54
Tabla N°10: Clasificación tamaño de la cuenca según superficie.....	55
Tabla N°11: Desniveles altitudinales de los sistemas hidrológicos.....	56
Tabla N°12: Indicadores del Coeficiente de Compacidad.....	56
Tabla N°13: Indicadores del Coeficiente de Forma.....	57
Tabla N°14: Indicadores del Índice de Alargamiento.....	57
Tabla N°15: Indicadores del Coeficiente de Masividad.....	58
Tabla N°16: Indicadores del Índice de Densidad de Drenaje.....	58
Tabla N°17: Valores de Pendiente del Cauce Principal.....	59
Tabla N°18: Indicadores de la Red de Jerarquización de Strahler.....	60
Tabla N°19: Rangos de factores condicionantes.....	62
Tabla N°20: Ponderaciones máximas de factores condicionantes.....	63
Tabla N°21: Áreas y porcentajes de geomorfología del área de estudio.....	77
Tabla N°22: Áreas y porcentajes de valores de pendiente del área de estudio.....	80
Tabla N°23: Áreas y porcentajes de las curvaturas del área de estudio.....	80
Tabla N°24: Áreas y porcentajes de las exposiciones del área de estudio.....	83
Tabla N°25: Áreas y porcentajes de niveles de vegetación del área de estudio.....	85
Tabla N°26: Áreas y porcentajes de las capacidades de uso de suelo.....	87
Tabla N°27: Áreas y porcentajes de uso actual de suelo del área de estudio.....	88
Tabla N°28: Área y porcentaje de los diferentes componentes geológicos.....	91
Tabla N°29: Sismos considerables con epicentros en la región de Coquimbo.....	92
Tabla N°30: Probables remociones en masa causados por sismos.....	93
Tabla N°31: Relación Gutenberg-Richter.....	94
Tabla N°32: Resultados del ÍNDICE de FOURNIER MODIFICADO.....	98
Tabla N°33: Sistemas hidrológicos del área de estudio.....	101
Tabla N°34: Índices hidromorfométricos de los sistemas del área de estudio.....	108
Tabla N°35: Áreas y porcentajes de susceptibilidad a remoción en masa.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>FIGURAS</u>	<u>PÁGINAS</u>
Figura N°1: Cartografía de Localización del área de estudio.....	13
Figura N°2: Perfil de una ladera.....	15
Figura N°3: Esquema de conos aluviales.....	19
Figura N°4: Modelo de disposición de materiales en un cono aluvial.....	20
Figura N°5: Presentación de un glacis.....	21
Figura N°6: Agentes geodinámicos en el ciclo de la roca.....	23
Figura N°7: Efecto del agua en los procesos gravitacionales.....	26
Figura N°8: Temperaturas superficiales del mar en eventos El Niño y La Niña.....	27
Figura N°9: Visualización de ENSO y un año normal.....	28
Figura N°10: Esquema de caídas o desprendimientos (<i>falls</i>).....	31
Figura N°11: Esquema de tipos de deslizamientos (<i>slides</i>).....	32
Figura N°12: Esquema de tipos de flujos (<i>flows</i>).....	33
Figura N°13: Cartografía geológica del área de estudio.....	39
Figura N°14: Esquema metodológico.....	46
Figura N°15: Jerarquizaron de redes. Métodos Strahler (1964) y Sheeve (1967)....	60
Figura N°16: Sistemas de vertientes cristalinas de flanco de valle activa.....	65
Figura N°17: Sistemas vertientes cristalinas de flanco de valle pasivo.....	66
Figura N°18: Sistemas monoclinales con estratificación volcánica.....	67
Figura N°19: Sistemas monoclinales conformes estratific. volcano-sedimentaria....	68
Figura N°20: Conos aluviales coalescentes del área de estudio.....	70
Figura N°21: Sistema de conos aluviales coalescentes. Quebrada de Arrayan.....	71
Figura N°22: Glacis coluviales del área de estudio.....	72
Figura N°23: Glacis expansión o derrame del área de estudio.....	74
Figura N°24: Sistema fluvial de escarpe, terraza holocénica y lecho episódico.....	75
Figura N°25: Escarpe de glacis disectado por el lecho episódico.....	76
Figura N°26: Cartografía geomorfológica del área de estudio.....	78
Figura N°27: Cartografía de pendientes del área de estudio.....	81
Figura N°28: Cartografía de curvatura del área de estudio.....	82
Figura N°29: Cartografía de exposición del área de estudio.....	84
Figura N°30: Imágenes de especies del Matorral Estepárico Costero.....	85
Figura N°31: Imagen vegetacional del glacis de expansión del área de estudio.....	86
Figura N°32: Cartografía de vegetación del área de estudio.....	89
Figura N°33: Cartografía de capacidad y uso actual de suelo del área de estudio...	90
Figura N°34: Gráfico del promedio de las precipitaciones entre 1980-2010.....	95
Figura N°35: Gráfico del promedio de precipitac. mensuales, entre 1980-2010.....	96
Figura N°36: Gráfico de los periodos ENSO oceánicos, entre 1980-2008.....	97

Figura N°37: Tabla de Periodos ENSO entre 1980-2009.....	97
Figura N°38: Cartografía de Sistemas hidrológicos del área de estudio.....	102
Figura N°39: Sector hidrológico Las Lozas.....	104
Figura N°40: Microcuenca de Arrayan.....	105
Figura N°41: Subcuenca de Camarones.....	107
Figura N°42: Cartografía de Jerarquía de drenes del área de estudio.....	109
Figura N°43: Cartografía de Susceptibilidad a Remoción en masa.....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

<u>ANEXOS</u>	<u>PÁGINAS</u>
Anexo N°1: Datos pluviométricos de 1980 – 2010. IV Región.....	125
Anexo N°2: Cálculo de ÍNDICE de FOURNIER MODIFICADO (30 años).....	126
Anexo N°3: Resultados hidromorfométricos por unidad hidrológica.....	127

RESUMEN

En el marco de las transformaciones territoriales de la ensenada de Coquimbo, se presenta esta investigación asociada al análisis de la geodinámica actual, aplicado a los sistemas de vertientes de media montaña en el sector de Totoralillo hasta la bahía Tongoy.

El reconocimiento de las formas esenciales, se sustentó en la clasificación de ARAYA-VERGARA (1985). De manera que, se generaron descripciones de las vertientes y los depósitos asociados, dando una base para la comprensión de los procesos geomorfológicos. Éstos presentan una respuesta dinámica ante eventos pluviométricos y sísmicos, siendo los principales desencadenantes a remociones que se consideraron. Por otro lado, los análisis a los sistemas hidromorfométricos de las laderas, permitieron comprender la torrencialidad de los *talwegs* en el área de estudio, y la susceptibilidad a remociones de masa, por factores condicionantes, determinó las zonas de amenazas.

Los resultados demuestran que, los sistemas de vertiente están asociados tanto a relieves cristalinos, con regolitización intensa y dominancia de flanco de valle activo, como a relieves monoclinales. Las formas basales, conos aluviales coalescentes y glacis, tienen una génesis en periodos pluviométricos distintos a los actuales, dada a sus dimensiones y a la oxidación de los sedimentos. En cuanto a la susceptibilidad a remociones en masa se estableció un rango alto para el área de estudio en general. Más aún, al complementar con índices hidromorfométricos, los sectores más propensos a susceptibilidad fueron las zonas de Las Tacas y Las Lozas, en Totoralillo.

Finalmente, en cuanto a los agentes geodinámicos, se estima que sólo los eventos de gran magnitud en la zona, generan cambios importantes en el paisaje (presencia de Fenómeno de El Niño intenso y movimientos sísmicos de gran magnitud y baja profundidad). Sin embargo, a nivel general, las vertientes poseen una dinámica estable en la actualidad, puesto que no se han manifestado eventos desencadenantes, de procesos dinámicos, hace aproximadamente más de 10 años.

Palabras claves: *Sistema de vertientes, agentes geodinámicos, remociones en masa, tendencia evolutiva.*

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

1.1. INTRODUCCIÓN

El paisaje es el resultado de la combinación dinámica, por lo tanto inestable de una determinada porción del área; de elementos físicos, biológicos y antrópicos. Los cuales actuando unos sobre otros, hacen de él un conjunto único e indisoluble, en perpetua evolución (BUENO 2001, en DELGADO 2007).

Los ambientes de montañas son sistemas geográficos importantes, debido a que la montaña, constituye un sistema complejo donde, la altitud, la pendiente, la vegetación, entre otros, se convierten en los principales elementos, a partir de los cuales comienzan a interactuar con una serie de geofactores (PADILLA, 2007). De manera que el relieve se encuentra en evolución constante, a través de los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación (CASTRO *et al*, 1995; en CHÁVEZ, 2005).

Por esta razón que al analizar la geodinámica en ambientes de montañas, se consideran a las vertientes como sistemas y a las formas depositacionales, como estructuras sucesivas a estas. Esta relación permite una concepción de geodinámica actual, en la cual estas formas se ven influenciadas a la acción de los agentes (SOTO *et al*, 2007). Por ende, la geodinámica está necesariamente vinculada procesos de remociones en masa, en la cual una serie de factores propios del relieve (condicionantes), se ven afectados por agentes geodinámicos, que provocan movimientos de ladera abajo, constituyendo una de las maneras más recurrentes en la evolución. Las remociones de masas, son procesos de transporte de material generados por una serie de factores (HAUSER, 2000), que entre los principales desencadenantes, se encuentran los sismos y lluvias (LARA, 2007). Más sí alguno de estos, agentes geodinámicos, se comportan con una intensidad mayor provocando cambios fuertes al paisaje del sector.

Es así que esta investigación, se inserta en el Proyecto FONDECYT 1120234: *“Geodinámica y tendencia evolutiva del sistema litoral de la mega ensenada de Coquimbo”*. Este proyecto tiene como propósito, analizar la evolución de los grupos de formas que configuran la Mega ensenada de Coquimbo. De manera que, los ambientes de montaña ubicados contiguos a la mega ensenada, en el sector de Totoralillo, hasta Tongoy, son una de las estructuras importantes de analizar como grupo de formas y como sistemas dinámicos, a través del estudio de remociones en masa.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La acción dinámica actual, se vincula necesariamente a procesos de movimientos en masa, derivados de una serie de factores condicionantes del relieve, que deben ser identificados y estudiados, como también de los factores que se encargan de desencadenarlo (LARA, 2007).

Es así que en la región de Coquimbo, según GOLUBEV (1969) existen tres condiciones que causan movimientos en masa y desestabilización de las laderas, siendo estas:

- 1) Presencia de material detrítico
- 2) Precipitaciones ocasionales torrenciales
- 3) Suelos de desarrollo pobre en pendientes iguales o mayores a 25%.

Sin embargo, según los registros, el único evento de remoción en masa que se tiene la comuna de Coquimbo, es el flujo de barro que afectó a la localidad de Guanaqueros, el 13 de junio de 1997, afectado directamente a un sector poblado, pero no dejando víctimas fatales. Hoy en día, a más de 10 años del evento, aún se logra distinguir la zona donde se generó el flujo y los depósitos que dejó en la quebrada, aunque se han borrado los efectos dejados en el sector urbano (INFRACON, 2008).

Sí bien es cierto se produjo un flujo en la zona, ésta fue desatada en los faldeos del cerro de Guanaqueros (en la bahía), por lo que se desconoce la situación que presenta el cordón montañoso de media montaña, siendo que el macizo de Coquimbo se encuentra en las mismas condiciones y presenta los mismos agentes geodinámicos, que causaron la remoción antes mencionada.

Es así que en la Región de Coquimbo, CEPEDA (2008) menciona que las precipitaciones en promedio anual, no permiten la formación de cursos permanentes de agua, sin embargo, los escurrimientos esporádicos que presentan una respuesta a precipitaciones intensas y concentradas durante las ocurrencias del fenómeno de El Niño, Oscilación del Sur (ENSO), permiten condiciones que generarían un fuerte impacto en el paisaje. Más aún, los procesos endógenos que se han registrado en la IV región, con magnitudes considerables en Illapel (1943) y Punitaqui (1997), logran determinar que los sismos son también factores desencadenantes de remociones en masa (LARA, 2007).

Con esta información, que es la base de la problemática, se propone elaborar un documento con bases de geodinámica de vertientes de media montaña, donde se presente un análisis propio de las vertientes y de los agentes geodinámicos (interno por sismicidad y externo por agentes fluviales), que permitan conocer el rango de susceptibilidad a actividad de remociones en masa que presenta la media montaña, de Totoralillo hasta Tongoy, para definir la tendencia evolutiva de la zona.

Este trabajo pretende ser instrumento, que permita aportar al conocimiento de la zona para posible toma de decisiones en cuanto a planificación territorial y de gestión de riesgos por parte de las autoridades. Debido a que la necesidad de conocer los procesos geodinámicos, es la base para identificar los espacios en áreas vulnerables frente a las amenazas naturales, así como poder definir las áreas de expansión y donde no se debe construir, debido a que son espacios con potenciales riesgos geomorfológicos (GONZÁLEZ, 2005).

Finalmente, cada vez parece más cierto que “un adecuado conocimiento del medio físico, facilita la toma de decisiones por parte de los organismos responsables. De este modo, la ordenación del territorio, puede llevarse dentro de los límites del desarrollo sostenible” (MARTÍNEZ-ZAVALA *et al.*, 2005).

1.3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, se inserta dentro de la comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo. La comuna se localiza entre los paralelos 29° 57' Sur y 71° 20' Oeste; y administrativamente pertenece a la Provincia del Elqui. Limita al norte con la comuna de La Serena, al este con la comuna de Andacollo, al sur con la comuna de Ovalle y al oeste con el Océano Pacífico (PLAN DE DESARROLLO COMUNAL, 2013).

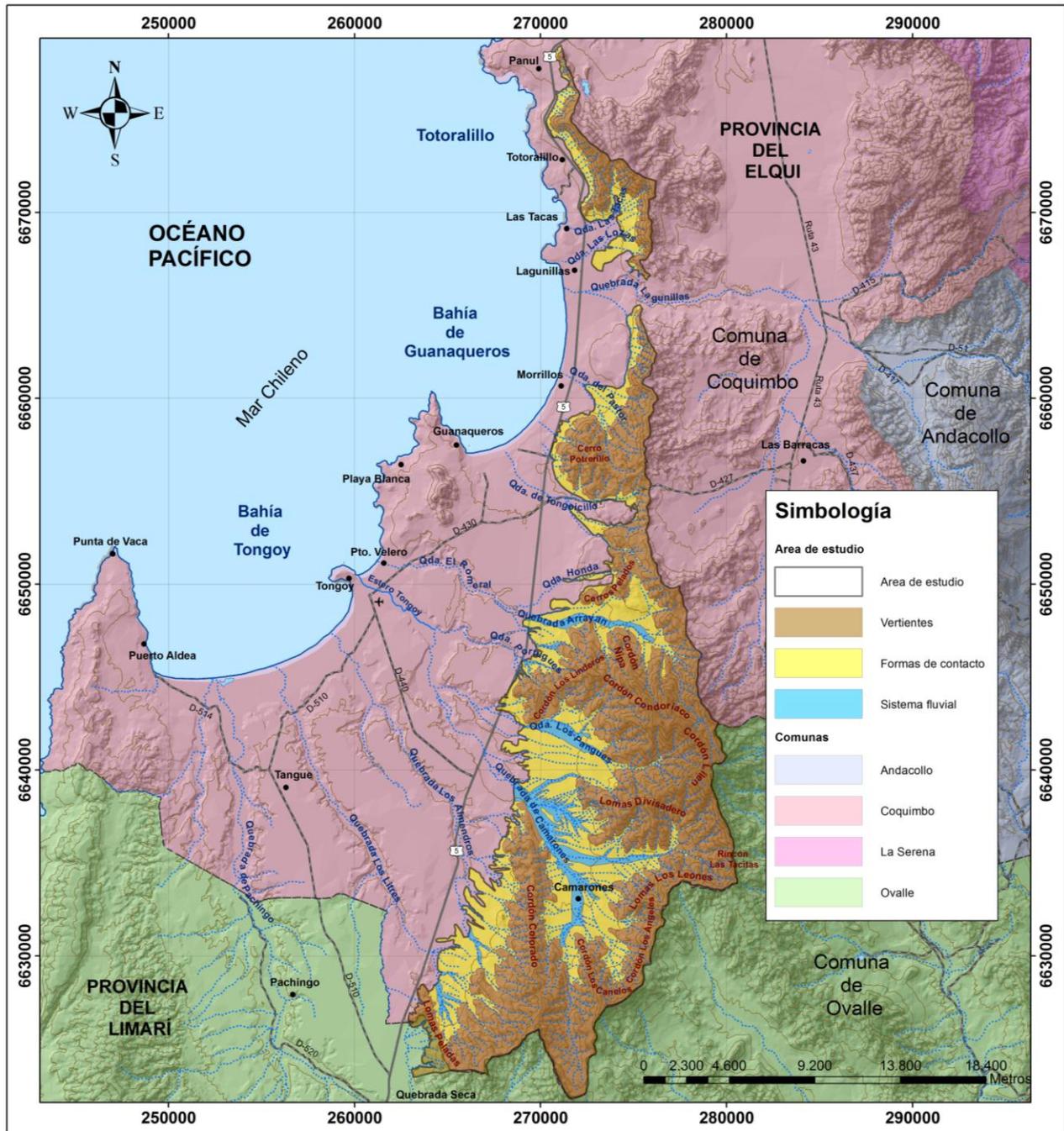
En la región de Coquimbo, es posible distinguir cuatro grandes conjuntos físicos: la Alta Cordillera, la Media Montaña, la Franja Costera y los Valles Transversales (PASKOFF, 1970). A lo anterior, se agregan dos características originales, 1) Desaparición de la depresión longitudinal (la división tripartita clásica de Chile en: Cordillera de los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de la costa prácticamente desaparece), y 2) Ausencia de manifestaciones volcánicas recientes. Ésta doble característica orográfica y estructural aparece desde los 27° S, donde el desierto hiperárido es reemplazado por el desierto marginal (PASKOFF, 1970).

Es así, que se asume dentro de un dominio morfoclimático del semiárido, donde se presenta como una zona de transición entre los climas desérticos y con aquellos donde la humedad posibilita la aparición de vegetación (GACITÚA, 2003), siendo considerado como semiárido o de estepa, caracterizado por un régimen de lluvias irregular y un déficit de humedad durante, al menos, nueve meses al año. En la franja costera (área de estudio), se presenta el semiárido con nublados abundantes. Su influencia llega hasta el interior hasta 40 km, por medio de los valles transversales y quebradas (DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO, 2006).

En cuanto al área a investigar, éste pertenece al **cordón rocoso de media montaña costera**, aledaño al sector de Totoralillo y las bahías de Guanaquero y Tongoy. Este nace en el sector de la ensenada de Panul, continúa por las cuencas de las localidades de Guanaqueros y Tongoy, hasta llegar a Quebrada Seca, comuna de Ovalle, por el sur.

Es una franja de ancho variable, (de vertientes y depósitos asociados), que tiene una extensión desde la divisoria más próxima hasta las terrazas marinas miocénicas, con dirección hacia la costa. Posee un área aproximada de 33.061 Há. (Fig. N°1).

Figura N°1: Cartografía de Localización del área de estudio



1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General:

Analizar la geodinámica actual de los sistemas de vertientes de media montaña del sector de Totoralillo hasta la bahía de Tongoy, Región de Coquimbo, para establecer la tendencia evolutiva de los sistemas.

1.4.2. Objetivos Específicos:

1. Identificar y describir unidades geomorfológicas en el área de estudio.
2. Analizar los agentes geodinámicos que afectan la zona de investigación
3. Realizar un análisis hidromorfométrico para identificar las cuencas de drenaje.
4. Desarrollar un estudio de susceptibilidad de remociones en masa por factores condicionantes asociadas al sistema de vertientes del área.
5. Definir la tendencia evolutiva de los sistemas del área de estudio.

1.5. HIPÓTESIS

La montaña como paisaje geomorfológico constituye un sistema complejo donde, la altitud y la pendiente, se convierten en los principales elementos, a partir de los cuales, comienzan a interactuar otra serie de geofactores, que diversifican e intensifican a diversas escalas la acción de procesos morfogenéticos (PADILLA, 2007).

La hipótesis de esta investigación señala que la mismas condiciones de las laderas y los agentes geodinámicos en la zona, sismicidad y precipitaciones, han generado que en el sector de Totoralillo hasta Tongoy, tenga una susceptibilidad media a remociones en masa por factores condicionantes, ya que son paisajes menos abruptos que la alta montaña; y en cuanto a factores detonantes no se presentan constantemente, por lo que ha provocado módicas alteraciones en el paisaje costero.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ASUNTO

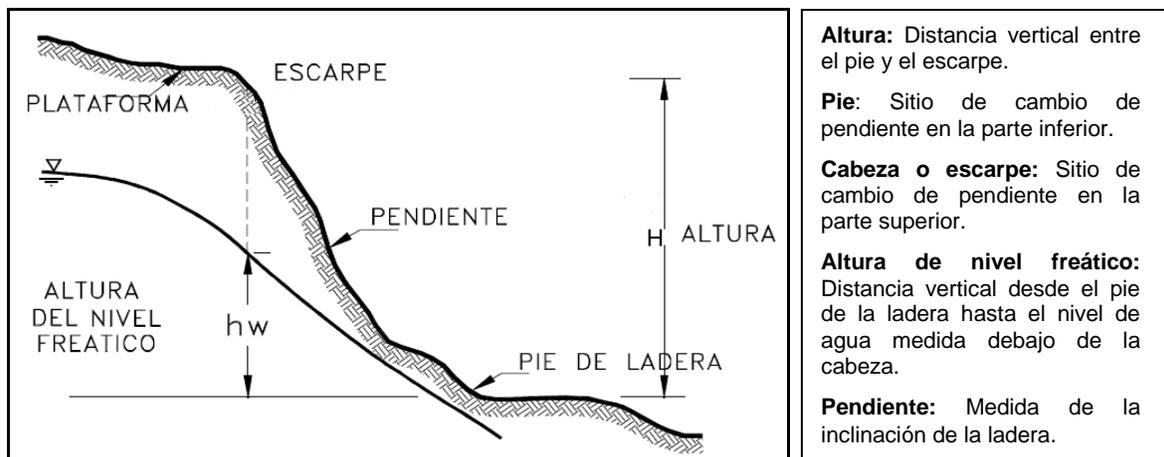
2.1. SISTEMAS DE VERTIENTES

2.1.1. Vertientes

Se afirma que las vertientes, son sistemas dinámicos abiertos donde los efectos combinados del desgaste, permiten el transporte de materiales pendiente abajo hacia los cursos de agua (FERNANDEZ, 2006).

Las vertientes se definen como el principal medio aportador de materia y energía hacia planos inferiores (PADILLA, 2007). Más aún, DE PEDRAZA (1996), menciona que las vertientes son fisonomías complejas y genéticamente, se debe a múltiples procesos: junto a los gravitacionales, tectónicos, volcánicos, periglaciales, entre otros; que tienen por función general, rebajar o anular los escarpes y taludes, que contribuyen al desarrollo de las vertientes. En la siguiente figura, se distinguen los elementos de un perfil de laderas (Fig. N°2):

Figura N°2: Perfil de una ladera



Fuente: SUAREZ (1998)

Para analizar formas del terreno, tiene gran importancia el factor pendiente, en conjunto con la exposición, se expresan en la disminución de las fuerzas de inercia y en la diferenciación del aporte radiativo e hídrico sobre las vertientes, intensificando y diversificando el desarrollo de formas y procesos morfogenéticos, especialmente aquellos asistidos por gravedad. Desde ese punto de vista que, la montaña es considerada como

un relieve de alta energía, donde los procesos geomorfológicos operan con mayor rapidez e intensidad que en otras regiones (SOTO *et al*, 2003, 2004; PADILLA, 2007).

En cuanto a la estabilidad de las vertientes, está determinada por la acción de una serie de factores (SANTACANA, 2001); estos se separan en dos grandes grupos, los desencadenadores o externos, que actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando roturas en las variaciones que ejercen en estado de equilibrio, y los condicionantes, que actúan controlando o potenciando la susceptibilidad a generar fenómenos gravitacionales (SANTACANA, 2001; LARA, 2007).

2.1.1.1. Factores Condicionantes a estabilidad:

Son aquellos que están unidos a la propia naturaleza, composición, estructura y forma de terreno (GONZALEZ DE VALLEJO, 2002; PADILLA, 2007), es así que en cuanto a su modelamiento, aspectos como: el estilo de plegamiento, la conformación litológica, la inclinación, vegetación y exposición, entre otros, constituyen la base para la explicación y comprensión de la conformación geodinámica actual. De esta forma se exponen los siguientes factores condicionantes:

- **Pendiente:** La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical (CARDOZO, 2013). A mayor pendiente aumenta la fuerza de gravedad, por ende, dificulta la cohesión de los materiales; mientras que a menor pendiente aumenta su cohesión, es decir, los paisajes con bajos valores de pendiente pueden corresponder a pedimentos, mientras que paisajes con altos valores, indican un relieve escarpado y seccionado por los sistemas fluviales (AGUILAR *et al*, 2013).
- **Geometría:** La forma de la vertiente, se define con el aspecto que toma el perfil topográfico que se presente. Se describen tres formas básicas: rectilínea, cóncava y convexa (ZAPATA, 2006). En la forma rectilínea, el componente vertical y horizontal están en equilibrio. En la parte convexa la energía del componente vertical es mayor a la energía del componente horizontal, por tanto, existe una meteorización activa. Finalmente, en la fracción cóncava la energía del componente vertical es menor a la energía del componente horizontal.

- **Geología y suelo:** Condiciona las cualidades geotécnicas del material y la estructura de la ladera. Los elementos son: Tipo de roca o suelo, grado de cementación o edad, meteorización, estructuras (ubicación y disposición de fallas, diaclasas, zonas de cizalle, etc.), ambiente tectónico (alzamiento, tasas de erosión, actividad sísmica, etc.), historia geológica (estrés del relieve) (LARA, 2007).
- **Geomorfología:** SOTO *et al*, (2007) indica que las relaciones sistemáticas, se destacan en la clasificación de ARAYA-VERGARA (1985). En esta sistematización se enfatiza que, los sistemas de vertientes, están referidos a varios tipos de vertientes individuales que se combinan de una manera dada para conformar el sistema de gran vertiente. Se resaltan las influencias estructurales que marcan la presencia de afloramientos rocosos que pueden tomarse como potenciales aportes de sedimentos. También están las influencias exógenas, que se deben a condiciones morfoclimáticas y por tanto bióticas, donde las formaciones superficiales cubren mejor la morfoestructura (MESINA, 2003).
- **Vegetación:** Cumple dos funciones principales. En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces (SUÁREZ, 1998). La cobertura vegetal está relacionada con la reducción y regulación de la escorrentía, ya que disminuye la energía cinética con que las gotas de agua llegan al suelo, retiene físicamente las partículas del suelo e incrementa el porcentaje de materia orgánica del suelo, lo que da una mayor estabilidad, porosidad y permeabilidad (GÓMEZ OREA, 1998; en CHAVÉZ, 2005).
- **Exposición:** Comprende la identificación, según su orientación geográfica, de los taludes y laderas. La orientación es un factor condicionante, debido a las diferencias de humedad existentes entre umbría y solana (WILLIAMS & GUY en GARCÍA-RUIZ, 1990). Es así como las vertientes de exposición norte poseen menor humedad y por lo tanto menor cobertura vegetal, por lo que esta exposición posee una menor protección ante amenazas (CHAVEZ, 2005).
- **Acción antrópica:** Contribuye tanto a la desestabilización de las laderas producto de la disminución artificial de la resistencia del material, como a la contribución de material para ser movilizados, también a cambios en la escorrentía superficial y en la topografía (LARA, 2007).

2.1.2. Formas basales de Contacto

Los relieves deposicionales se desarrollan, principalmente, en las zonas bajas del terreno (ZAPATA, 2006). A medida que se desciende en altura, la condición de estabilización de las vertientes aparecen y los depósitos son menos potentes y estables.

Entre las formas de contacto, que aparecen en la relación vertiente-*talweg*, se presentan los conos y los glaciares, como los principales depósitos correlativos a las formas de erosión de montaña. Estas unidades deben ser enfocadas como manifestaciones de la dinámica desarrollada durante el Cuaternario, pero también como reguladores de la dinámica actual hacia el fondo del valle (ARAYA-VERGARA, 1985).

Es conveniente hacer una separación entre conos de deyecciones caóticas (torrenciales) y conos regulares o grandes conos. Los primeros pertenecen a cuencas más pequeñas; los segundos estructuran el gran piedmont y están relacionados con cuencas de mayor superficie (TRICART, 1972; en ARAYA-VERGARA, 1985). En la siguiente tabla se muestran diferencias (Tabla N°1):

Tabla N°1: Diferencias entre conos de deyección caóticos y regulares

Unidad Geomorfológica	Características	Suelo asociado
Cono de deyección caótico	Depósitos de material más bien gruesos, formado por pequeñas cuencas	No existe suelo desarrollado
Cono de deyección regular	Conos formados por las grandes cuencas, por lo tanto, su dimensión es mucho mayor que un cono caótico. Con formas suaves y con pendientes notoriamente menores.	Se asocia a suelos con pendientes casi planas y texturas más bien francas

Fuente: ARAYA-VERGARA (1985)

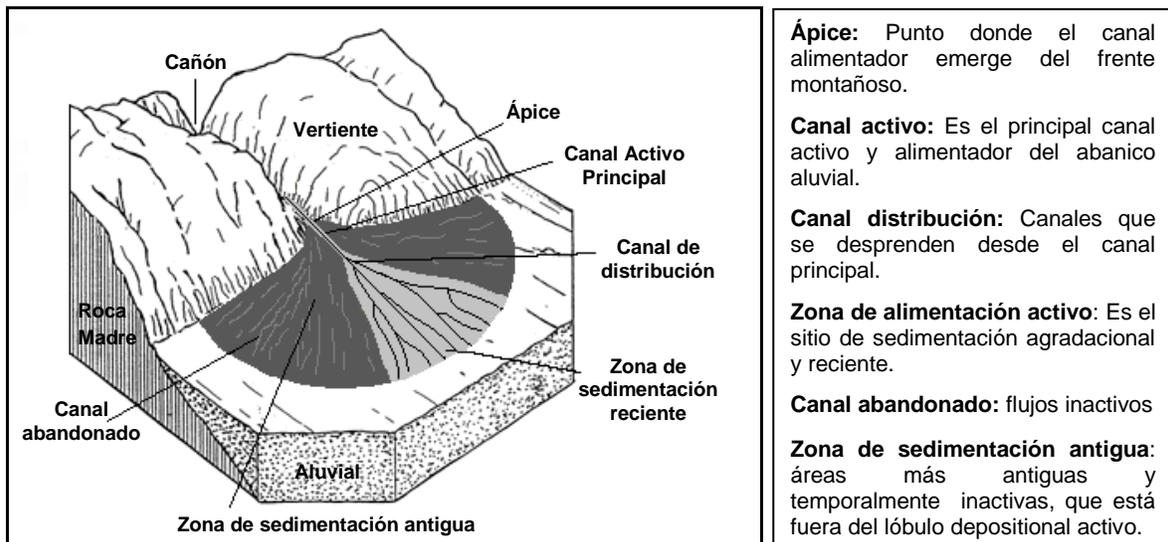
En la media montaña, el aporte de sedimentos al sistema fluvial se realiza a través de flujos de detritos, como también desde las cuencas tributarias y sus conos aluviales que se depositan en el fondo del valle (ARAYA-VERGARA, 1985). Estos conos son acumuladores de materiales, evacuados por la acción del socavamiento lateral de los ríos (GARCIA-RUIZ, 1990).

2.1.2.1. Conos aluviales:

Los conos aluviales son formaciones sedimentarias formadas en un canal de alimentación confinada que emerge de una cuenca de drenaje, es decir, entre una montaña y una llanura (HAGEMAN, 2012). Se localizan en una zona de quiebre topográfico, formando un abanico parcial o totalmente extendido y su creación es el resultado de una compleja interacción climática y tectónica, geológica e hidrológicas de la cuenca (GÓMEZ, 1996; PADILLA, 2007).

Poseen una forma semicónica, con unos perfiles transversales convexos, junto con un centro o ápice donde emerge el canal fluvial (Fig. N°3) .

Figura N°3: Esquema de conos aluviales



Ápice: Punto donde el canal alimentador emerge del frente montañoso.

Canal activo: Es el principal canal activo y alimentador del abanico aluvial.

Canal distribución: Canales que se desprenden desde el canal principal.

Zona de alimentación activo: Es el sitio de sedimentación agradacional y reciente.

Canal abandonado: flujos inactivos

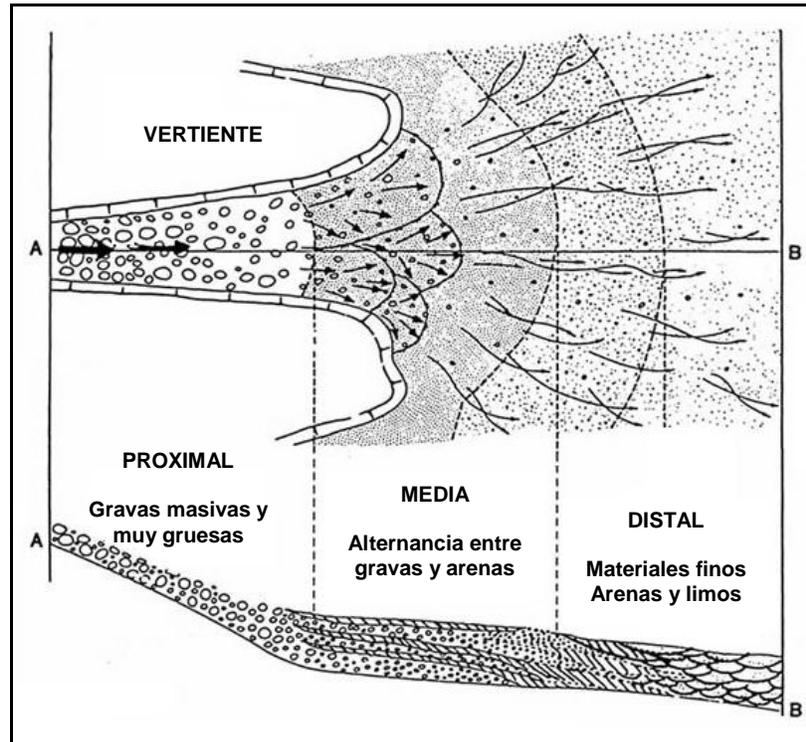
Zona de sedimentación antigua: áreas más antiguas y temporalmente inactivas, que está fuera del lóbulo deposicional activo.

Fuente: STRAHLER (1986)

Según GIRAUD (2005; en PADILLA, 2007), el cono es una forma del paisaje compuesta de un complejo ensamblaje de depósitos de flujos de detritos, flujos hiperconcentrados e inundaciones laminares y del arroyo. La parte proximal, es generalmente compuesto de lóbulos de flujos de detritos que resultan en depósitos gruesos y toscos que exhibe la superficie más áspera (rugosa). En la zona media, los flujos hiperconcentrados pueden estar intercalados con depósitos de flujos de detritos en la zona proximal del abanico, pero éste es más delgado y tiene una superficie más lisa debido al alto contenido de agua inicial. En la zona distal, transitan los materiales finos y diluidos. Por lo tanto, de una

facies de granos gruesa, cambian, cono abajo, a facies de sedimentos de granos finos, depositados por un flujo de sedimentos más diluido, lo que corresponde también, a una disminución del ángulo de pendiente (Fig N°4).

Figura N°4: Modelo de disposición de materiales en un cono aluvial



Fuente: STEEL et al, (1980)

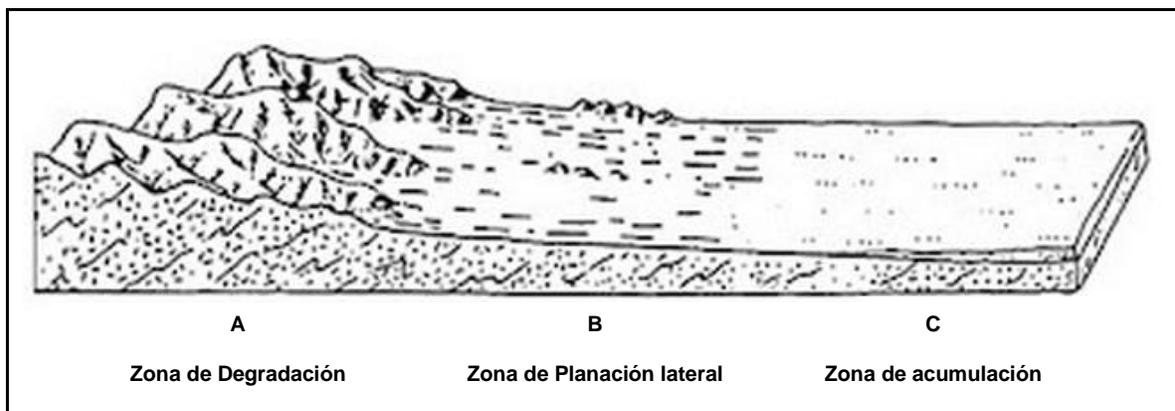
En cuanto a su régimen de alimentación, en función del tipo de régimen climático imperante, se ha distinguido entre conos secos y húmedos. Los primeros están constituidos por la acumulación de diversos episodios de coladas de barro y rocas; mientras que los segundos ligados a flujos de agua permanentes o semipermanentes (SCHUMM, 1977; en GÓMEZ, 1996).

Estos son considerados como sistemas de transferencia de materiales erosionados en áreas montañosas y destinados a ser depositados en cuencas adyacentes, por esta razón representan un *continuum* de procesos depositacionales (SAITO & OGUCHI 2005; en HARVEY, 2005), constituyendo formas que varían según el proceso en el abanico.

2.1.2.2. Glacis:

Según BOX (1983), las formas de glacis son un tipo de modelado característico de los climas semiáridos. En general son superficie topográfica suavemente inclinada, de perfil transversal plano, y longitudinal más o menos cóncavo (GALLART, 1977), es decir, son planos inclinados que se extienden desde la base de los relieves más altos constituyendo enormes rampas (Fig N°5). Los glacis, además, necesitan un amplio espacio y un largo tiempo para su configuración (BOX, 1983).

Figura N°5: Presentación de glacis



Fuente: TRICART (1981).

El proceso de formación de los glacis, frente al sistema de la arroyada de manto (“*sheet flood*”), es la que se argumenta como configurador de las formas de glacis. La elaboración tiene su origen en los flujos procedentes de los dispositivos topográficos, se trata de flujos que rebajan la pendiente después que la evacuación haya sido, inicialmente concentrada. Estos torrentes experimentan desplazamientos en función de toda una serie de trazados de canales de evacuación, movilidad ésta que se traduce en la existencia de unos regueros, que describen formas zigzaguantes (BOX, 1983), es decir, los Glacis están ligados a un arroyamiento concentrado, que una vez retirado, el manto de agua, se observa una gran cantidad de pequeños canales incididos que evolucionan rápidamente hacia abajo (GALLART, 1977) .

TRICART (1981), propone una clasificación según criterios determinables sobre el terreno. Esta clasificación, basada en el empleo del término descriptivo del glacis, y está en función de la naturaleza de los afloramientos (GALLART, 1977):

- "Glacis Rocoso": superficie rocosa con poco material detrítico.
- "Glacis Detrítico" : afloramiento casi continuo de material detrítico.
- "Glacis Mixto": presentan una alternancia de afloramieritos rocosos y de zonas con material detrítico.

Por otro lado, ARAYA-VERGARA (1985), plantea estos tipos de Glacis:

- **Glacis de derrame o expansión:** Se caracterizan por el predominio de sedimentos finos. Los materiales más gruesos son subangulosos y difícilmente pasan del tamaño de la grava. Los suelos son más profundos y de tendencia pesada, indicando condiciones de drenaje inferiores a las de los suelos de los conos; la presencia de texturas arcillosas da tal adhesividad al suelo, que éste se vuelve muy duro y compacto al secarse. Estos presentan una pedregosidad media a abundante del tamaño de la gravilla, pero siempre englobada en abundante material fino (FERRANDO, 2005). Estos depósitos se derivan del lavado de los materiales más finos del sistema de conos.

Las superficies de origen antiguo se presentan generalmente como formas más estables, en ocasiones de baja pendiente, < 10°. (ARAYA & ACUÑA, 2012).

- **Glacis coluviales:** En el caso de glacis de derrame que no tienen conexión con conos caóticos, ellos están naturalmente ajenos al desarrollo de cuencas de drenaje importantes y aparecen como el producto de la arroyada de varias vertientes (FERRANDO, 2005).

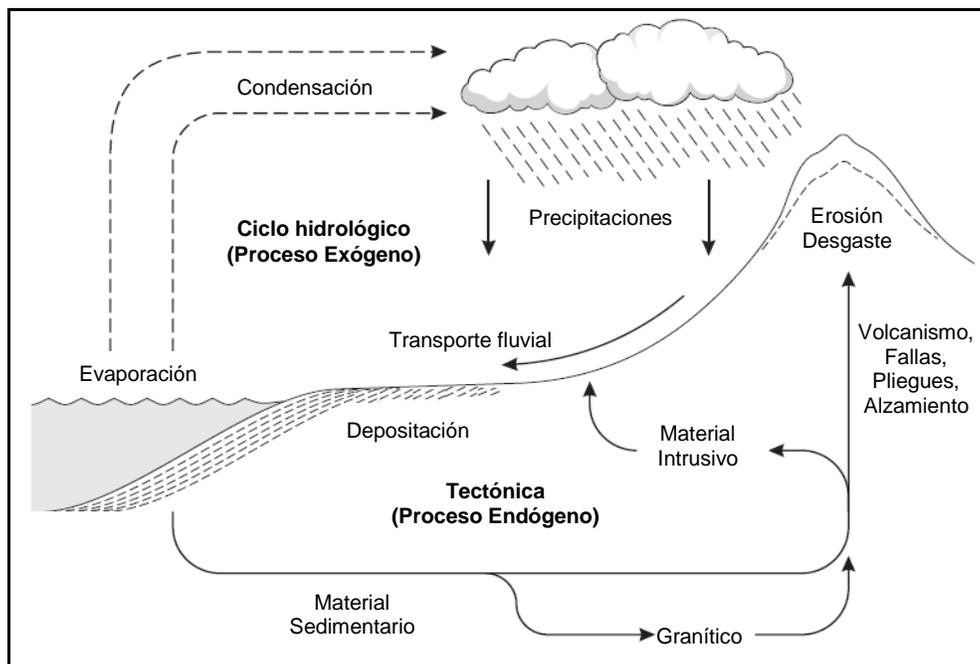
Las formas recientes evidencian estabilización, con desarrollo de suelos incipientes, y son de origen más moderno que las anteriores superficies descritas, y pueden incluso rellenar, cubrir y disectar las formas preexistentes o más antiguas. (ARAYA & ACUÑA, 2012).

2.1. AGENTES GEODINÁMICOS

Los procesos del modelado superficial se constituyen como un sistema natural, pues responden al principio de intercambio de energía y materia entre las diferentes formas del relieve, lo cual es controlado por la interacción entre los elementos del medio físico. El sistema morfogénico tiene límites definidos y una estructura donde los elementos se relacionan y conectan, lo que se ve reflejado sobre el paisaje (FERNANDEZ, 2006).

Los agentes geodinámicos, son los elementos que son competentes para generar modelados o procesos dinámicos de la superficie terrestre. Estos procesos dependen de la interacción de fuerzas tanto internas como externas cuyo resultado es el modelado del relieve, en los aspectos destructivo, por exposición de los diversos materiales que componen la tierra (meteorización) y constructivo donde destacan los movimientos ortográficos, epirogénicos, volcánicos y la formación de rocas (RIVERA, 2005; en CUEVAS, 2012). (Fig. N°6).

Figura N°6: Agentes geodinámicos en el ciclo de la roca



Fuente: HUGGETT (2007)

En cuanto a los agentes geodinámicos, que son capaces de desencadenar algún tipo de modelado en los sistemas de vertientes (causar remociones en masa), son:

2.2.1. Agentes Endógenos

Las fuerzas endógenas son sistemáticas. Se asocian a movimientos epirogenéticos (de ascenso y descenso) y orogénicos (horizontales o verticales) de la corteza (DUQUE, 2003).

2.2.1.1. Actividad Sísmica:

La actividad sísmica a lo largo del territorio nacional, está estrechamente asociada al movimiento convergente de las placas de Nazca y Sudamericana. El contacto entre ambas placas se manifiesta superficialmente en la fosa marina de Chile, distante unos 100 a 150 km. de la costa, contacto que marca el inicio de la subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo del continente sudamericano según un plano inclinado, conocido como plano o *zona de Benioff* (BARRIENTOS *et al*, 1993). En este ambiente geodinámico, Chile es afectado por 3 tipos de terremotos o fuentes sismogénicas: de contacto entre placas o *interplaca*, *intraplaca* de profundidad intermedia (al interior de la placa de nazca) e intraplaca superficial o *cortical* (SEPULVEDA, 2013; Proyecto FONDECYT 1120234).

En la región de Chile, en el área comprendida entre los 27-33° S, la convergencia entre placas tiene una velocidad relativa de 8.0 cm/a. Es importante señalar que en la región existe un cambio de pendiente al subducir, presentando una subducción plana que llega a valores menores a 10° (SEPULVEDA, 2013; Proyecto FONDECYT 1120234), esto genera que no exista depresión intermedia ni actividad volcánica reciente, la que habría culminado en el Mioceno (PFEIFFER, 2011).

Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior de las laderas y pueden originar todo tipo de movimientos (caídas, deslizamientos, flujos, avalanchas, etc.), dependiendo de los materiales, de la magnitud del sismo y la distancia al epicentro (SUAREZ, 1998). Generan un cambio temporal en el campo de stress de la ladera, afectando esfuerzos normales y de corte. Como efecto resultante la estabilidad de la ladera disminuye.

2.2.2. Agentes Exógenos

Los agentes exógenos se sustentan principalmente por las condiciones climáticas. Estos procesos comprenden la meteorización, erosión, transporte y deposición. Para el transporte, la energía potencial que provee la gravedad se transforma en cinética (DUQUE, 2003). De manera que el clima influye en los procesos del modelado del relieve, por lo que a mayor o menor influencia del clima da lugar a distintos paisaje morfogenéticos.

En climas secos o áridos la meteorización química es subsuperficial, lenta y predominan los fenómenos de meteorización de tipo mecánico, igualmente esto ocurre en zonas montañosas, con poca vegetación, donde las pendientes altas del terreno no facilitan la infiltración del agua lluvia (SUAREZ, 1998).

Los principales elementos que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones el más importante entre éstos (LARA, 2007).

2.2.2.1. Precipitaciones:

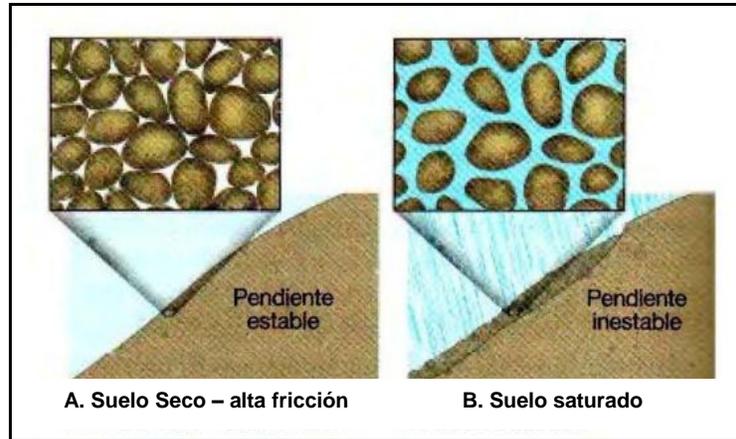
Las precipitaciones son consideradas uno de los factores desencadenantes de remociones en masa más importantes, ya que condicionan la estabilidad de las vertientes, al disminuir la resistencia, por la incorporación de agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. Esto se ve reflejado en la activación de los *talwegs* y en su comportamiento torrencial (MESINA, 2003).

El agua se incorpora en las montañas, a través de las precipitaciones y éstas pueden ser moderadas o torrenciales (MINTEGUI *et al.*, 2008).

Las intensas precipitaciones constituyen un factor de significativa influencia, puesto que la saturación de agua en los espacios intergranulares en las rocas provoca el debilitamiento de las condiciones estáticas de las fuerzas intergranular, y por ende el colapsamiento por movimientos de bloques o masas entera. De esta manera, SEPÚLVEDA (1998) menciona que el aumento de la cantidad de agua debe ser tal que se sobrepase la capacidad de infiltración del suelo, para alcanzar un grado de saturación igual o muy cercano al 100%. Se produce un aumento de la presión de poros que se traduce en una drástica

disminución de la resistencia al corte en la masa de suelo A la vez, la escorrentía superficial aumenta, generando una erosión mayor (Fig. N°7).

Figura N°7: Efecto del agua en los procesos gravitacionales



Fuente: *TARBUCK et al. (2005)*

Éstos materiales son transportados por la escorrentía en las laderas hasta concentrarlos en los cauces, desde donde se incorporan a los flujos continuando su tránsito con ellos; para concluir depositándose, cuando la corriente pierde energía y con ello la capacidad suficiente para seguir transportarlos; generando normalmente conos de sedimentación cuando se trata de cursos torrenciales, o distintas formas de depósitos aluviales. A los efectos anteriores se les puede añadir la aparición de deslizamientos en las áreas más vulnerables de la cuenca, afectando a la estabilidad de los terrenos y a la seguridad de sus habitantes y sus bienes (*MINTEGUI et al, 2008*).

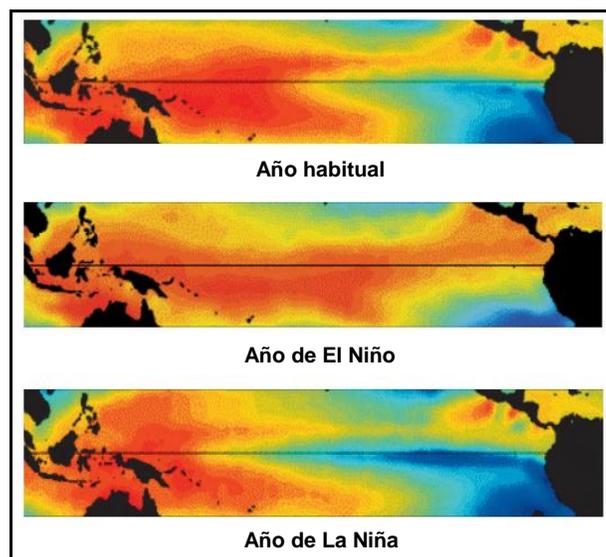
Generalmente, las áreas de mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad de laderas (*SUAREZ, 1998*), por lo cual, es importante recalcar la ocurrencia de fenómenos climáticos, como lo es el fenómeno de El Niño (*GARCÍA, 2000*), donde existe una propensión al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales de escorrentía.

- **Fenómeno climático ENSO:** La Interacción océano-atmósfera, que se desarrolla a escala interanual, se conoce con el nombre de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Este fenómeno natural es asociado a una perturbación interanual del sistema climático, donde el océano y la atmósfera actúan acopladamente en la cuenca del océano Pacífico tropical, oscila entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La

Niña). El Niño se manifiesta, principalmente, por un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y una disminución de los vientos alisios en el lado este del Océano Pacífico. Estas condiciones anómalas generan fuertes precipitaciones y cambios notables en el clima y las pesquerías, tanto en los países ribereños del Pacífico sudoriental, como en otras partes del mundo. La fase inversa o fría de ENOS, conocida como La Niña, se caracteriza por presentar TSM más frías que lo normal, intensificación de los vientos alisios en el este del Océano Pacífico y períodos de sequía (BELLO *et al*, 2004).

La componente oceánica del ciclo ENSO está caracterizada por la aparición de fuertes anomalías positivas (durante El Niño) o negativas (durante La Niña) de Temperatura Superficial del Mar (ATSM) en regiones específicas de la cuenca del Pacífico tropical y costa sudamericana, las que se prolongan por varios meses consecutivos (Fig. N°8). Las anomalías positivas de TSM se asocian a la reducción de la surgencia costera, mientras que las anomalías negativas de TSM se asocian al fortalecimiento de la surgencia. El nivel del mar también experimenta anomalías positivas (durante El Niño) y negativas (durante La Niña). (BELLO *et al*, 2004).

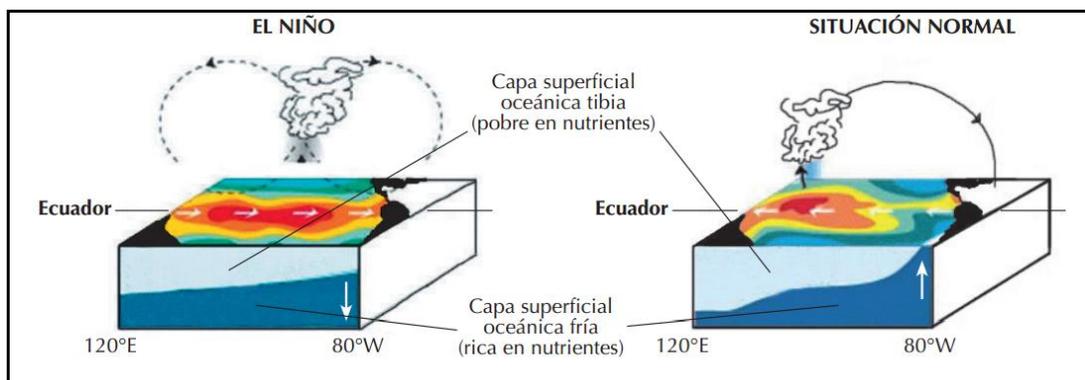
Figura N°8: Temperaturas superficiales del mar en eventos El Niño y La Niña.



Fuente: Pro diversitas (2005); en SANTIBAÑEZ *et al.*(2008)

En el aspecto hidrológico, URIARTE (2010) menciona que El Niño provoca fuertes lluvias en regiones que son en tiempos normales extremadamente áridas. Las precipitaciones son fomentadas por la alta evaporación en el mar, cuyas aguas superficiales registran temperaturas varios grados superiores a las normales (Fig. N°9). Además, las tormentas son favorecidas por las presiones más bajas que se registran en aquella zona. Por el contrario, en la otra parte del Pacífico, la disminución de la temperatura de las aguas y el aumento de la presión atmosférica provocan sequías en regiones que son normalmente muy húmedas (URIARTE, 2010).

Figura N°9: Visualización de ENSO y un año normal



Fuente: Pro diversitas (2005); en SANTIBAÑEZ et al.(2008)

2.3. REMOCIONES EN MASA

Los procesos de remoción en masa se definen como el movimiento descendente de un volumen de material constituido por roca, suelo o por ambos (CRUDEN *et al*,1996), se refieren a los procesos de transporte de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (HAUSER, 1993). Pueden ocurrir a mayor velocidad debido a rupturas o fallas, cuando se excede la resistencia al corte del material, o a menor velocidad, como simples deformaciones superficiales, vinculadas a mecanismos climáticos como insolación, congelación y deshielo (HAUSER, 2000).

PERUCCA *et al.* (2008) indican que los movimientos en masa, se deben a la combinación de diferentes factores geológicos, morfológicos, antropogénicos y físicos, donde la gravedad, la sismicidad, derretimiento de nieves y el agua, constituyen los principales agentes desencadenantes, que causan una respuesta inmediata en la formación de estos fenómenos, por la disminución de la resistencia de los materiales expuestos en las laderas. También influyen la presencia de sedimentos no consolidados, la erosión lateral de los ríos, la acción del hielo, altas pendientes, meteorización mecánica y química de los materiales y discontinuidades en las rocas.

Se presentan factores que serán condicionantes para la generación de los diferentes tipos de remoción en masa (HAUSER, 2000). Los factores condicionantes corresponden a aquellos que generan una situación potencialmente inestable, de manera que influyen en la susceptibilidad de una superficie o territorio, a generar fenómenos de remoción en masa. Por esta razón, SEPÚLVEDA (1998), define a la susceptibilidad, como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, que dependen de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos.

VALDÉS (2010), indica que la clasificación de VARNES cuenta con dos elementos: el tipo de movimiento y el tipo de material. En lo que respecta al material, estos procesos están en rocas y suelos (detritos o escombros y tierras, según predominen materiales más gruesos, o más finos que el tamaño, respectivamente). Sin embargo, FERRANDO (en VALDÉS, 2010), modifica la estructura y le incorpora la cantidad de agua, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla N°2).

Tabla N°2: Clasificación de los Movimientos en masa

Tipo de Movimiento		Tipo de Materiales			
		Roca	Suelo		Contenido de agua
			<i>Predominio de material grueso (> del 50%)</i>	<i>Predominio de material fino</i>	
Caída		Procesos respectivos en Rocas	Procesos respectivos en escombros	Caída de suelo	Seco
Desplome				Caída de suelo	Húmedo
Deslizamientos	Rotacionales			Deslizamiento Rotacionales de tierra	Mojado
	Traslacionales			Deslizamiento Traslacional de tierra	
Flujos				Flujos de barro	Muy Mojado
Complejos		Combinación de varios tipos de movimientos			

Fuente: VARNES, 1978 Adaptada por M. HERMELLIN y FERRANDO; en VALDÉS (2010)

Tipo de material
<ul style="list-style-type: none"> • Roca: Se denomina "Roca" a la roca dura y firme. • Escombros: Material grueso. Partículas mayores de 2 mm. • Tierra: Material que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 mm.

SUAREZ (1998)

A continuación, se describirán los distintos tipos de remoción en masa, posibles de ocurrir en la zona de estudios. Además, por el sistema Morfoclimático (semiárido), no se describirán las solifluxiones y reptaciones, por ser procesos ligados a los sistemas glaciares y periglaciares.

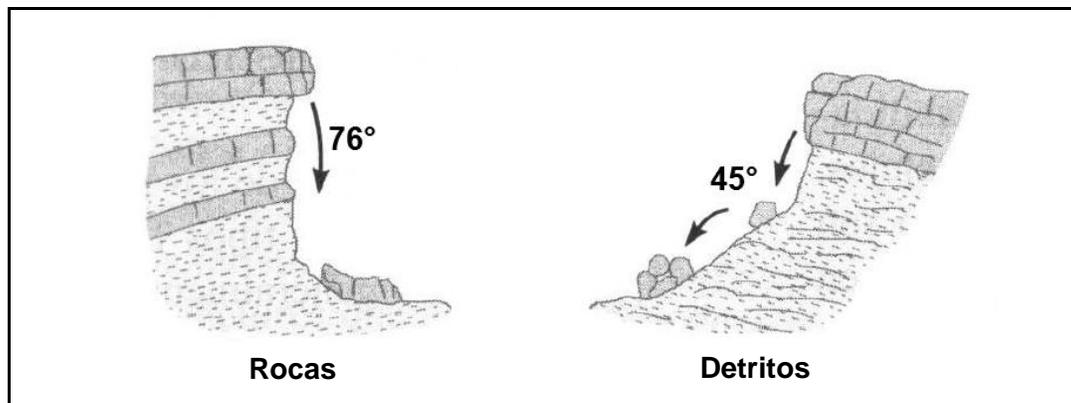
2.3.1. Desprendimientos o caídas (falls):

Los desprendimientos o caídas, son los movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie fuertemente inclinada, el cual posteriormente puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo (Fig. N°10). La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción

si la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (CRUDEN *et al*, 1996). La propagación de los desprendimientos en laderas con pendientes superiores a los 76° se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son frecuentes mientras que en laderas de menos de 45° la propagación se realiza por rodadura y, eventualmente, por deslizamiento (COROMIDAS, 2004).

El material caído, una vez depositado en la ladera, no suele experimentar nuevos movimientos. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera. (SUAREZ, 1998).

Figura N°10: Esquema de caídas o desprendimientos (*falls*)



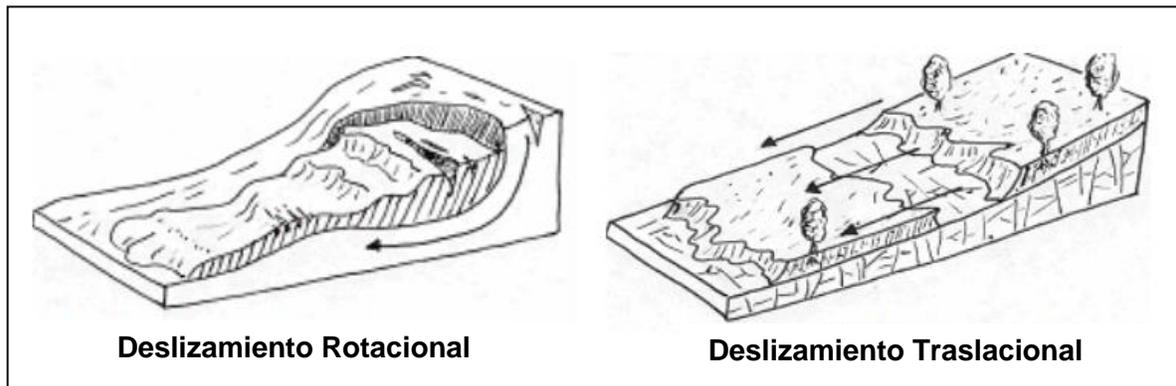
Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO (2002)

2.3.2. Deslizamientos (*slides*):

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes.

SUAREZ (1998), divide a los deslizamientos en dos subtipos, denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales (Fig. N°11). Los *Deslizamientos Rotacionales*, se producen por la rotura a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles a la reactivación; Mientras que los *Deslizamientos Traslacionales*, la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, en una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada, casi sin movimiento de rotación, puede los flujos se originan en laderas muy inclinadas. Rápidos, poco profundos, extensos, se identifican deslizamientos de bloques rectangulares generados por discontinuidades o grietas de tracción (COROMIDAS, 2004).

Figura N°11: Esquema de tipos de deslizamientos (*slides*)



Fuente: HAUSER (1993).

2.3.3. Flujos (Flows):

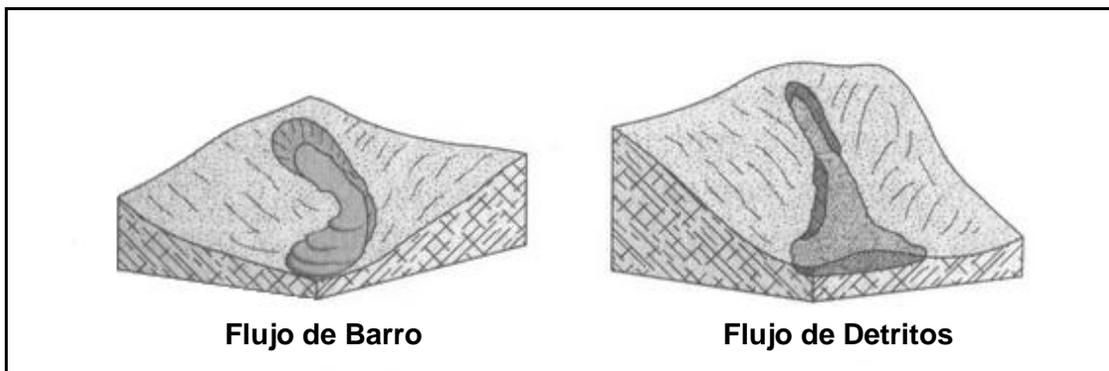
Son movimientos propios de materiales sin cohesión, que tienen lugar en suelos susceptibles de experimentar una pérdida de resistencia, actuando los materiales involucrados temporalmente como un fluido y experimentando una deformación continua, sin presentar una rotura definida. Para CRUDEN *et al.* (1996; en HAUSER, 2000), estos son movimientos continuos cuya distribución de velocidades es semejante a un fluido.

El proceso de remoción en masa del tipo flujo y que afecta a una masa de suelo (detritos y/o barro), en que el material está saturado en agua y tiene una concentración de partículas tal que se comporta mecánicamente como un fluido, tendiendo a un

comportamiento de un fluido plástico-viscoso. Si la concentración de sólidos es menor a 50%, se les suele llamar “flujos hiperconcentrados”. Sobre 50%, el comportamiento es netamente el de un fluido viscoso (SEPÚLVEDA, 1998).

Los flujos pueden ser lentos o rápidos y los puede haber de roca, de detritos o tierra. En cuanto a los flujos, tanto *de detritos como de barro*, son movimientos rápidos, en el que predomina las arenas, gravas y bloques (Fig. N°12).

Figura N°12: Esquema de tipos de flujos (*flows*):



Fuente: DUQUE (2003)

CAPITULO III: ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Clima General

El clima, se presenta como una zona de transición entre los climas desérticos y con aquellos donde la humedad posibilita la aparición de vegetación (GACITÚA, 2003), siendo considerado como semiárido o de estepa, caracterizado por un régimen de lluvias irregular y un déficit de humedad durante, al menos, nueve meses al año. La precipitación anual rara vez excede el 50% de la evapotranspiración potencial. La temperatura media anual es de 13,6° C, siendo la mínima media anual de 9,2° C y la máxima media anual de 20,6° C. Las precipitaciones alcanzan los 100 mm anuales con una evapotranspiración potencial anual de 351 mm (CIREN, 1990; en PFEIFFER, 2011). Sin embargo, periódicamente es afectado por fuertes variaciones climáticas asociadas a El Niño, que trae las lluvias intensas e inundaciones (DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO, 2006).

Entre los principales factores que influyen en el clima de la región, está en primer lugar, el Anticiclón del Pacífico, cuya acción bloquea la influencia de las masas de aire cargadas de humedad provenientes del sur del país; en segundo lugar la corriente fría de Humboldt, cuyo efecto moderador del régimen térmico, limita la formación de nubes que generan precipitación; en tercer lugar la fisiografía de la región, que en zonas donde la Cordillera de la Costa desaparece, permite la intrusión de masas de aire marino hacia los valles (SFEIR, 2006).

En la franja costera, su mayor característica es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales con un período seco de ocho a nueve meses (DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO, 2006). La abundante condensación se constituye como un recurso hídrico de importancia para el desarrollo vegetacional que, excepcionalmente puede aportar más de 500 mm al año de precipitación adicional (SANTIBÁÑEZ, 1985), moderando el régimen térmico.

3.2. Geología

La geología, se constituye por rocas intrusivas que se encuentran en los relieves montañosos de alturas moderadas en el sector este. Su edad se atribuye al Cretácico. Son afloramientos de rocas graníticas que instruyen al Basamento Metamórfico. De igual manera se muestran numerosas secuencias de rocas volcánicas andesíticas, en su mayor parte continentales, pero con fuertes intercalaciones de rocas sedimentarias marinas (PFEIFFER, 2011). Los depósitos sedimentarios, se presentan en las quebradas de mayor extensión; en los diferentes niveles de terrazas; en los relieves de origen marino y en algunas laderas. De esta manera, se mencionan los materiales del área de estudio (Fig. N°13), según EMPARAN y PINEDA (2006):

3.2.1. Rocas Intrusivas:

- *Intrusivos Monzodioríticos-Granodioríticos (Jmg)*: Esta unidad posee una edad relativa al Jurásico Medio-Superior, y está constituida por rocas plutónicas de composición variable, desde monzodioritas a granodioritas (transicionalmente), con predominio de las monzodioritas cuarcíferas. Entre los minerales, contiene: anfíbola, biotita y piroxeno (predominando las anfíbolas). Intruyen el Complejo Volcánico Agua Salada y está intruida por la unidad Kig (Intrusivos Granitoides), Por otro parte, está cubierta en discordancia por depósitos de las formaciones Coquimbo y Confluencia. La distribución de los afloramientos, se pueden identificar desde el Cordón el Colorado hasta la Loma Pelada, conformando una franja norte-sur, con un ancho de 10-12 km, desde el sector de Guanaqueros hacia el sur. Ocupan el borde occidental de la precordillera y parte de las depresiones litorales.
- *Intrusivos Dioríticos (JKd)*: Esta unidad se ha medido para el Jurásico superior tardío y el Cretácico inferior temprano. Son Rocas plutónicas de composición diorítica que comprenden monzodioritas cuarcíferas, monzodioritas, dioritas cuarcíferas y dioritas de anfíbolas, piroxeno y biotita. Los colores predominantes son gris, pardo y en menor proporción rosado oscuro. Esta unidad también intruye en Complejo Volcánico Agua Salada y es intruida por los Intrusivos Granitoides (Kig).
- *Intrusivos Granitoides (Kig)*: Pertenece al Jurásico-Cretácico. Son Granitoides que comprenden principalmente granodioritas de anfíbola-biotita, con tendencias porfíricas en los contactos y sienogranitos de biotitas, formando plutones simples. Esta unidad

ilustra el Complejo Volcánico Agua Salada y unidades de rocas plutónicas (Jmg y JKd) del Jurásico-Cretácico. De acuerdo a su distribución, se asocia a tres sectores importantes, dos de ellas se encuentran al norte frente a Lagunillas; y la otra al sur de la quebrada de Camarones, por lo demás, se presentan diques multidireccionales en el sector de Playa Tongoy-Quebrada Los Almendros.

3.2.2. Rocas Volcánicas y Subvolcánicas:

- *Complejo Volcánico Agua Salada (Jas):* Secuencia de rocas volcánicas y subvolcánicas continentales, andesíticas y dacíticas, con escasa intercalación de areniscas y lutitas. Su espesor estimado entre la localidad El Durazno y la loma Divisadero, es de 6.400m. Su distribución, se extiende desde el cordón Ñipas hasta el cordón Manganeso. La información radiométrica presentada, permite proponer una edad Jurásica para este complejo. Se distinguen dos asociaciones litológicas bien estratificadas: Facies **(a)** presenta alternancia de andesitas y tobas, con escasas areniscas intercaladas y localmente calizas con lutitas, variando de colores grises a pardos, son estratificaciones volcano-sedimentarias. Facies **(c)** compuesta por intrusivos subvolcánicos, constituidos por andesitas porfíricas (algunas ocoíticas), pórfidos dioríticos, porfidos andesíticos y microdioritas, que forman stocks, potentes filones mantos y anchos diques, de manera que los tipos de estratificación son exclusivamente volcánicas, de colores gris parduzco a oscuro, también pardo claro y negro. Las características litológicas que comprenden rocas volcánicas y subvolcánicas con abundancia piroclástica y su espesor, indicarían un ambiente geológico de gran actividad volcánica. Las escasas intercalaciones de roca sedimentarias correspondientes a areniscas finas en estratos delgados, señalarían precipitaciones moderadas y regulares, y los reducidos espesores de caliza y lutita con intercalaciones de areniscas muy finas, sugieren una acumulación en un clima templado a cálido, más bien árido.

3.2.3. Formaciones sedimentarias:

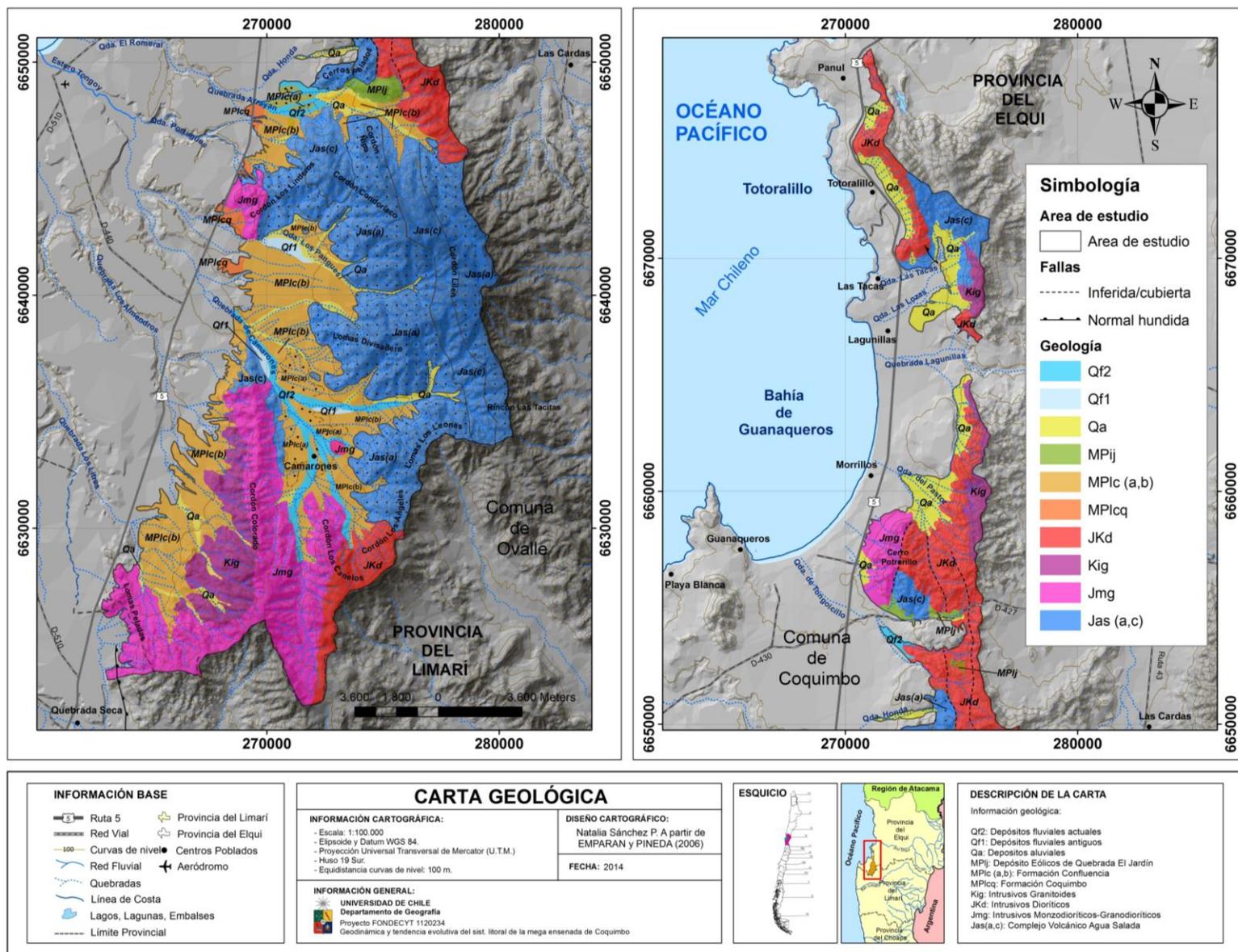
- *Formación Coquimbo (MPicq)*: Secuencia sedimentaria marina fosilífera, bien estratificada, con débil litificación y de color pardo anaranjado, que aflora de forma discontinua en la zona costera. Presenta facies sedimentarias de ambiente litoral y, en parte, transicional. Su ubicación aflora desde la bahía de Guanaquero hacia el sur. En cuanto a su litología, aparecen dos facies para esta formación, pero en el área de estudio se presenta una, la cual comprende las Facies **(a)** compuesta por areniscas finas limosas, areniscas finas laminadas y areniscas amalgamadas finas, intercalándose areniscas muy gruesas de guijarros con bioclastos y escasas diatomitas. Esta facie ha sido identificada con abundante fauna de braquiópodos, pelecípodos, gastrópodos, crustáceos, foraminíferos, silicoflagelados y diatomeas. La edad y correlación, según antecedentes paleontológicos y radiométricos expuestos, permiten aludir una edad Miocena-Pleistocena.
- *Formación Confluencia (MPic)*: Secuencia sedimentaria continental, en parte bien estratificada, con débil litificación, y de color pardo, que con altura de hasta 100m, forma planicies o terrazas en los valles y quebradas principales y conos en sus cabeceras y flancos de grandes quebradas con laderas escarpadas. Comprende: **(a) facies fluviales**, que engrana con los depósitos de la Formación Coquimbo y que forman planicies, está constituida litológicamente por conglomerados medios a muy gruesos, clastos soportados, poliologomícticos, poco consolidados, sus clastos están bien redondeados, algunos discoidales y con frecuencia imbricados, con una matriz intersticial de arena muy fina a muy gruesa intercalándose estratos de conglomerados matriz soportados y areniscas de guijarros. Las **facies aluvionales (b)**, que forman los conos de cabeceras, están constituidas por brechas, gruesas a muy gruesas, oligomícticas, con mediana a escasa consolidación, los clastos son angulosos en parte orientados y soportados por una matriz que varía de limoarenosa a areniscas de guijarros (angulosos) finas a gruesas, se insinúa una (mala) estratificación determinada por variaciones del porcentaje de matriz y tamaño de los clastos. Estas facies engranan entre sí y en parte se superponen las facies aluvionales sobre las fluviales. En cuanto a su distribución, se expone a lo largo de las grandes quebradas, entre ellas la quebrada de Camarones y en las planicies costeras que se desarrollan al sur de Guanaqueros. En cuanto a su edad se sugiere un rango Mioceno-Pleistoceno,

con un ambiente deposicional continental en donde las precipitaciones son suficientes para erosionar, transportar y modelar fragmentos líticos muy gruesos.

3.2.4. Depósitos sedimentarios:

- *Depósito Eólicos de Quebrada El Jardín (MPIj):* Depósitos miocénicos, estabilizados de arenas finas a medias, poco consolidadas, de aspecto macizo y de color pardo anaranjado, que se sitúan adosados en la base del escarpe posterior de las planicies costeras. Generalmente, en el lado occidental, los depósitos engranan con la Formación Coquimbo; en el lado oriental se apoyan de manera parcial sobre rocas mesozoicas y engranan con las facies (a) de la Formación Confluencia. En cuanto a su distribución, se exponen en el sector costero de la quebrada El Arrayan, frente a la bahía de Guanaqueros. Por último, a esta unidad se le ha otorgado una edad en el rango Mioceno-Pleistoceno.
- *Depósitos Fluviales (Qf):* Pertenecen al cuaternario. Se encuentran en los valles y cursos medios e inferiores de las grandes quebradas, constituyen depósitos e estabilizados y también sedimentos de los causes como depósitos activos. Estas características permiten separarlos en dos facies: **(1) Depósitos antiguos**, compuestos por gravas gruesas y muy gruesas polimícticas con abundante matriz de arena débilmente consolidadas. Presentan intercalaciones de gravas finas arenosas y arenas de gravas (edad Pleistoceno-Holoceno); y **(2) Depósitos Recientes (Holoceno)**, poseen la misma composición pero con mayor abundancia en la matriz arenosa y no se encuentran consolidadas, presenta clastos imbricados, que forman los causes actuales.
- *Depósitos Aluvionales (Qa) (Pleistoceno – Holoceno):* Son rellenos cuaternarios de quebradas y forman conos a la salida de ellas. Son depósitos originados por flujos turbulentos y breves, con cierta incidencia en procesos de remoción en masa. Están constituidos por brechas no consolidadas, polimícticas con matriz de arena y limo.

Figura N°13: Cartografía geológica del área de estudio



3.3. Geomorfología General

PASKOFF (1970), afirma que el ambiente de *media montaña* es un conjunto de cadenas desordenadas en su disposición individual. Sus cumbres constituyen peldaños que, de 3.000 a 1.000 m de altura bajan hacia el océano. Las líneas de cumbres son casi siempre formas básicas formadas por simples intersecciones de las profundas vertientes. Se encuentran no solamente en los afloramientos graníticos de color claro sino también en rocas volcánicas y conglomerados de color violáceo donde la disposición inclinada predominante es hacia este, encontrándose pocos relieves desimétricos. NOVOA *et al*, (2001), señalan que estos relieves están separados de la Cordillera de Los Andes por la Falla de Vicuña, apareciendo como estructuras desmembradas y discontinuas, debido a la intensa disección fluvial a la que ha estado sometido. Se estima, además, una violenta acción torrencial que hoy ha perdido fuerza: a pesar de su pendiente, las laderas poseen suelos esqueléticos y una estepa baja de plantas espinosas o suculentas pobladas de liebres (PASKOFF, 1970).

Más aún, los cordones montañosos, del área de estudio se ubican entre los 600 m.s.n.m. y 2.000 m.s.n.m. Esta unidad presenta restricciones a su ocupación, por las pendientes superiores a los 10°, erosión de sus laderas y una densa red de quebradas intermontañas e irregular topografía, que favorecen el desarrollo de procesos de remociones en masa (DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO, 2006). Sus condiciones estructurales son simples, estando constituidas por laderas que corresponden a bloques levantados limitados por fallas. Están compuestas por rocas volcánico-sedimentarias del Jurásico (andesitas, calcáreos marinos, conglomerados y areniscas continentales), a menudo metamorfizadas por penetraciones intrusivas (granodiorita, granito con filones de aplita) o alternadas por fenómenos hidrotermales (PASKOFF, 1970).

Se nombran los siguientes cordones montañosos, que destacan en la media montaña del área de estudio, de norte a sur: Cerro Potrerillos, cerro Pelado, cordón Ñipas, cordón Condoriaco, cordón Los Linderos, cordón Lilén, cordón Divisadero, cordón Los Ángeles, cordón Los Canelos, cordón Colorado y Lomas Peladas (Fig. N°1).

3.4. Suelos

Las condiciones naturales de la IV Región, según GACITÚA (2003), posibilitan el desarrollo de suelos semiáridos, mayor profundidad y un horizonte superficial de 50 cm, denominándose como “suelos pardos”, de praderas costeras, de texturas finas, compuestas de arenas y limos.

En la franja litoral, se desarrollan *suelos aluviales* sobre terrazas marinas y fondos de valles fluviales. Son suelos que han evolucionado a partir de sedimentos marinos y continentales. Estos están formados por rocas sedimentarias del Plioceno y cubiertos por una capa calcárea superior con restos fósiles.

Otro tipo de suelo, son los sedimentos *aluvionales interdiferenciados*, que incluye a los sedimentos originados por flujos intermitentes y ocasionales de agua de arrastre, involucrando los fenómenos aluviones, avalanchas, crecidas y corrientes de barro. La granulometría de estos sedimentos es variable, predominando los clastos gruesos que se caracterizan por la angularidad y orientación. En los casos de aluviones, éstos se caracterizan por tener una matriz arenosa.

Por su parte, los *suelos coluviales* se encuentran sobre o en la base de cualquier ladera rocosa donde la pendiente es mayor a los 35°. Estos suelos son de meteorización de las rocas, que se produce por la influencia de la gravedad que se ha deslizado pendiente abajo; es potenciada por la acción del agua, las lluvias y el viento.

Por último, los *sedimentos fluviales recientes y actuales* se sitúan en los drenajes que no presentan actividad constante:

- a) Las terrazas marinas, suelos débilmente desarrollados que corresponden a la zona de terrazas inferiores, por lo tanto de más reciente depositación. Están representados por dunas antiguas, estabilizadas y que sólo en profundidad son capaces de almacenar el agua de la escasa pluviometría invernal, permitiendo la sobrevivencia de arbustos xerofíticos y pastos de temporada.
- b) El batolito costero, donde existe un menor desarrollo de los suelos. Se trata de suelos delgados, sometidos a erosión hídrica, en los que ha habido una importante pérdida de nutrientes.

3.5. Hidrología

La DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO (2006), menciona que, en la comuna de Coquimbo (en especial donde está inserta el área de estudio), no se localiza ningún río de importancia. El río más próximo corresponde al Elqui, cuya hoya hidrográfica es de 9.600 Km² y sus aguas drenan hacia las costas de la comuna de La Serena. Sin embargo, pese a la carencia de un dren principal dentro de la comuna, sí se pueden destacar una cantidad importante de quebradas y esteros existentes, que se caracterizan por un régimen dependiente de la irregularidad de las precipitaciones y por el poco desarrollo areal de sus cuencas.

Se identifican las quebradas y esteros más importantes, de norte a sur: Quebrada Las Tacas, Quebrada Las Lozas, Quebrada Lagunillas, Quebrada del Pastor, Quebrada Tongoicillo, Quebrada Honda, Quebrada Portugues, Quebrada El Romeral-Arrayan; Estero Tongoy, Quebrada Los Pangues, Quebrada de Camarones, Quebrada Los Almendros, Quebrada Los Litres (Fig. N°1).

Se describen, a continuación, dos de las principales fuentes del recurso hídrico en el área de estudio, ya que el resto de las quebradas poseen una extensión y caudal escaso (Tabla N°3).

Tabla N°3: Quebradas destacadas del área de estudio

Información	Recursos hídricos del área de estudio (Quebradas)	
	Camarones	Lagunillas
Quebrada		
Clasificación de la Cuenca	Costera exorreica	Preandina exorreica
Kilometraje	417 Km	442.36 Km
Hoya hidrográfica	Esteros Tongoy	Qda. Lagunillas
Principales Afluentes	Sin afluentes importantes	Qda. Martínez y El Peñón
Uso del recurso	Agrícola	Pecuario
Régimen	Pluvial	Pluvial
Caudal medio	0.002 m ³ /s	0.006 m ³ /s
Importancia Ambiental	Alimenta al Estero Tongoy, el que posee un rico ecosistema en el curso inferior.	Posibilita la presencia de una avifauna autóctona en su curso inferior, además de generar una laguna de interés.

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental, Plan Regulador Comunal de Coquimbo (2006)

3.6. Vegetación

GUAJARDO (1995), clasifica a este sector como sub-región del *Matorral Estepárico*, este corresponde al sector que muestra las mayores limitantes hídricas, especialmente una precipitación baja y periódicamente irregular. Además, una intensa presión de explotación bajo la forma de pastoreo y extracción de combustible leñosos, ha revertido la fisionomía original de la vegetación a comunidades de arbustos bajos muy esparcidos, con una densa estrata de hierbas anuales, excluyéndose de este paisajes sólo aquellos lugares de condiciones especialmente favorables. Entre los lugares favorables está la influenciada por costa, que se caracteriza por la constante nubosidad y una regularidad de las precipitaciones invernales que apoyan el desarrollo de una cubierta vegetal más permanente (DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO, 2006).

La vegetación representativa que se muestran en el área de estudio, corresponden al *Matorral Estepárico Costero*. La primera formación, se compone de arbustos bajos de hojas duras, a veces reducidos, que se distribuye sobre las grandes terrazas costeras y en las laderas de los macizos montañosos cercanos al océano. En temporadas favorables hay un gran desarrollo de una estrata herbácea primaveral, con lo cual fisionómicamente se aproxima al desierto florido, pero normalmente hay extensas áreas de suelo descubiertos (GAJARDO, 1995). En esta clasificación se encuentra cuatro comunidades de plantas:

- *Adesmia microphylla* - *Cassia coquimbensis* (Pelhuén - Alcaparra): Comunidad que se encuentra repartida, en especial sobre sustratos arenosos, en ciertas circunstancias, las poblaciones de *Adesmia microphylla* pueden alcanzar una gran densidad (Fig. N°31).
- *Heliotrypium stenophyllum* - *Fuchsia lycioides* (Palo Negro - Chilco falso): Agrupación que ocupa los sectores más planos de las terrazas litorales, con una fisonomía de matorral bajo poco denso, donde predominan las especies herbáceas de desarrollo primaveral.
- *Reichea coquimbensis* - *Trichocereus coquimbana* (Lucumillo – Copao). Comunidad de carácter excepcional, por la presencia de *Reichea coquimbensis*, una especie arbustiva de Myrtaceae, de distribución reducida y carácter relictual.

Se encuentra en algunos roqueríos y laderas expuestas directamente a la influencia marina.

- *Alona filifolia* - *Plantago hispidula* (*Suspiro y Llantén*). Comunidad vegetal de densidad muy baja, con predominio de hierbas anuales, pero que también presenta en su estructura arbustos aislados. Se ubica cerca de la costa, en sectores erosionados.

Otras especies importantes en la zona son: *Lithraea caustica* (Litre), *Porlieria chilensis* (guayacán), *Gutierrezia resinosa* (Pichanilla), *Atriplex semibaccata* (Pasto salado), *Bahia ambrosioides* (chamiza), *Flourensia thurifera* (incienso), *Heliotropium stenophyllum* (monte negro), *Haplopappus angustifolius* (bailahuén), *Puya chilensis* (chagual), *Proustia cuneifolia* (huañil), *Loasa urmenetae* (ortiga brava), *Azara celastrina* (lilén), *Schinus latifolius* (molle), *Erodium cicutarium* (alfilerillo), y *Adesmia tenella* (adesmia).

CAPÍTULO IV. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

4.1. Materiales

En lo que respecta a los materiales de apoyo, fueron:

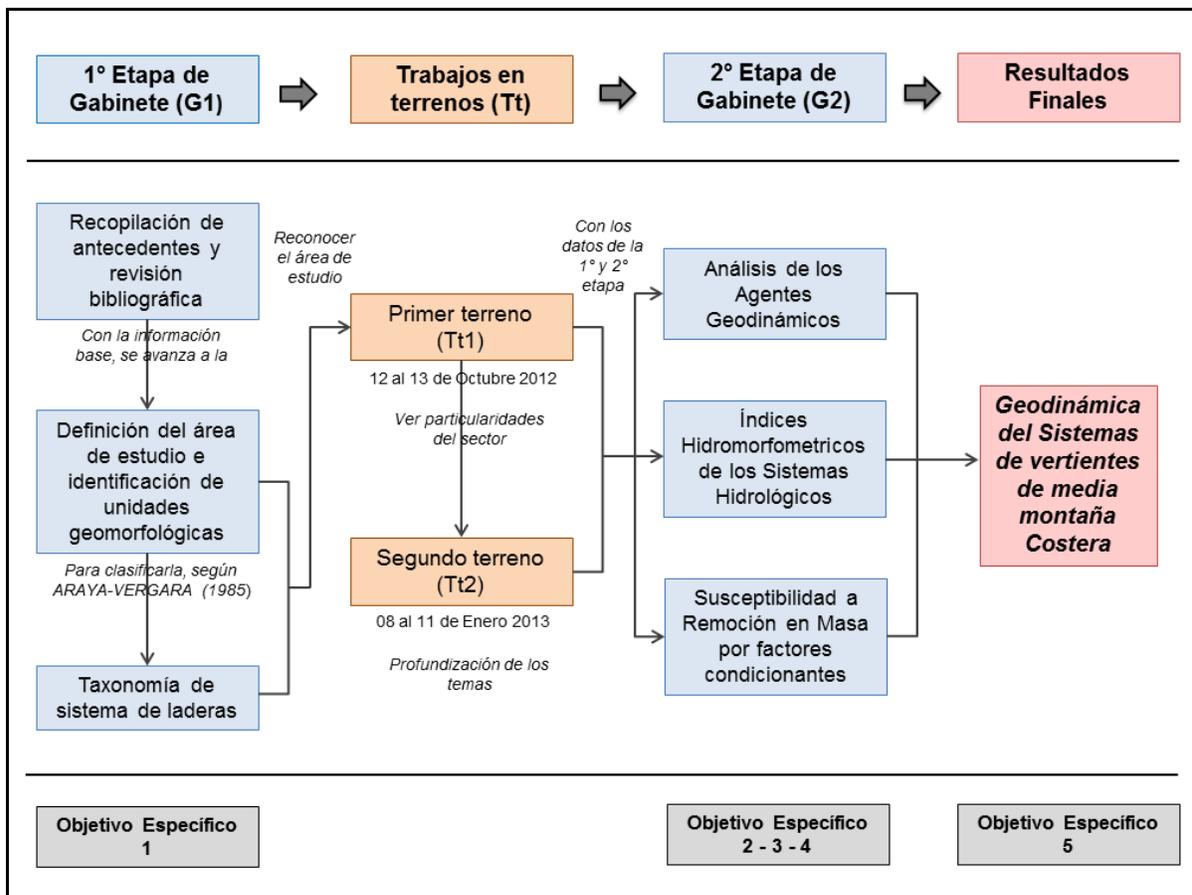
- Base bibliográfica por: PASKOFF (1970); ARAYA-VERGARA (1985); FERRANDO (1994); DE PEDRAZA (1996); SEPÚLVEDA (1998); HAUSER (1993; 2000); SOTO *et al.* (2004; 2006; 2007; 2010); CASTRO *et al.* (2009), CARTAYA *et al.* (2010), entre otros autores. En cuanto a las tesis están: MESINA (2003), FUENTES (2004), GONZÁLEZ (2005), CHÁVEZ (2005), GÓMEZ (2005), FERNÁNDEZ (2006), DELGADO (2007), PADILLA (2007), LARA (2007), VALDÉS (2010), CUEVAS (2012) y JIMENEZ (2012).
- Coberturas: Imágenes satelitales provenientes de GOOGLE EARTH y LANDSAT TM (Banda 3 rojo (*RED*) y banda 4 infrarrojo cercano (*NIR*)). También fotografías aéreas del Servicio Aéreo Fotogramétrico (SAF), sector de Ovalle escala 1:30.000, junto con un estereoscopio SOKKIA MS 16.
- Carta geológica de la región de Coquimbo, provenientes del SERNAGEOMIN:
 - Andacollo – Pto. Aldea de EMPARAN Y PINEDA (2006). Escala 1:100.000
- Cartas topográficas de la región de Coquimbo, provenientes del IGM:
 - Guanaquero (0059) del INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (2005). Escala 1:50.000
 - Tongoy (0067) del INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (2006). Escala 1:50.000
 - San Julián (0075) del INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (2005). Escala 1:50.000.
- Fotografías de terreno con puntos de relevancia geomorfológica. Vertientes del área de estudio, *talwegs*, geoformas, vegetación, entre otros.
- El software ARCGIS 9.3 de ESRI, para la elaboración de cartografías, bases de datos y procesamiento de la información por medio de las diversas herramientas y comandos del software, junto con los modelos de elevación digital (DEM) elaborados.

4.2. Métodos

La metodología que se presentó en la elaboración de la investigación, se sustentó en un primer trabajo de gabinete, en dos trabajos de terreno, y en un segundo trabajo en

gabinete; donde se asociaron a los objetivos específicos de la investigación. De esta manera, se prosiguió con el siguiente esquema metodológico (Fig. N°14).

Figura N°14: Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

4.2.1. Primera Etapa De Gabinete (G1):

Objetivo Específico 1

Se planteó como elemento inicial, la **Recopilación de antecedentes y revisión bibliográfica**, tratados por autores clásicos, junto con documentos recientes y tesis sobre el sistema de vertientes, remociones en masa e información base de la zona de Coquimbo; también se reunieron materiales como: fotografías aéreas, mapas, cartas geológicas, entre otros. Los principales puntos que se consideraron, fueron: la definición del área de estudio y su escala, que fue variada de acuerdo al nivel de detalle que el trabajo presentó. Además de lo anterior, con la información recopilada, se identificaron y

describieron formas y procesos. Y se investigó sobre el tipo de geología, geomorfología, hidrología, sismicidad, datos pluviométricos, clima, vegetación, entre otros, del área de estudio.

Definición del área de estudio e identificación de unidades geomorfológicas. El área de estudio, se definió a partir de la fotointerpretación con las imágenes satelitales GOOGLE EARTH y fotografías aéreas que fueron vistas a través de estereoscopia. Junto con la información, que proporcionó la carta geológica. Estas fueron trazadas y digitalizadas a través del software ARC GIS 9.3.

Para la clasificación e identificación geomorfológica, se consideró:

- *Identificación de las redes fluviales dominantes y talwegs menores.* Se trazaron todos sistemas fluviales del área de estudio, utilizándose la fotointerpretación (GOOGLE EARTH) y la ayuda de las cartas topográficas; además del software para dibujar.
- *Identificación y caracterización de geoformas asociadas a las laderas.* Consistió en reconocer las formas menores o geoformas del sector. También con fotointerpretación, las cartas topográficas y geológicas, y el software con Modelos de Elevación Digital (DEM), se realizó éste paso.
- *Unidades geológicas del área de estudio y su periodo (edad).* En cuanto a las unidades geológicas, estuvieron provistas por el soporte de la carta geológica. En donde se digitalizó, se calculó el área (Há) y el porcentaje; en el software ARCGIS 9.3, y se efectuó una ordenación del tipo de base rocosa en las laderas, en que se consideraron de acuerdo a su composición (Intrusiva, volcánica o sedimentaria).
- *Visualización de pendientes de las laderas.* Se plasmó la inclinación topográfica de la zona de estudio. De esta manera, se tomó como análisis, los rangos de Pendientes que fueron trabajados en ARCGIS, en la extensión “3D analyst”, con la herramienta “Slope”, la cual creó un raster de pendientes, a las que se reclasificaron los datos según el umbral geomorfológico de ARAYA & BÖRGUEL (1972), JOUNG (1975), FERRANDO (1993) y MESINA (2003). La anterior tabla se asoció con la información de DE PEDRAZA (1996), para complementar fisiografía y dinámica (Tabla N°4). Para las pendientes, se calcularon las áreas en hectáreas y los porcentaje representados.

Tabla N°4: Umbral geomorfológico y procesos asociados a una vertiente

Pendiente (°)	Tipo de Pendiente	Fisiografía	Umbral Geomorfológico	Dinámica (suelos y vulnerabilidad)
> 45°	Acantilada	Escarpe: - Acantilados - Cornisas -Aristas o crestas	Desprendimientos y derrumbes, corredores de derrubios frecuentes	Escaso desarrollo y alta vulnerabilidad en los suelos
30° – 45°	Muy escarpada		Coluviamiento, soliflucción intensa. Inicio de derrubación	
20° a 30°	Moderadamente escarpada	Talud, conos de detritos	Cárcavas frecuente. Movimientos en masa. Reptación	Dificultades para evolución del suelo y alta vulnerabilidad
10° a 20°	Fuerte	Cuesta, conos (de detritos o aluviones)	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas insipientes	Buenas condiciones para el desarrollo del suelo y vulnerabilidad media
5° a 10°	Moderada	Glacis	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal	Buenas condiciones para el desarrollo del suelo y baja vulnerabilidad.
2° a 5°	Suave	Llano: - Lomas - Fondo (valles) - Terrazas	Erosión débil, difusa, inicio de regueros y soliflucción fría.	Buenas condiciones para el desarrollo del suelo (salvo en pendientes mínimas y muy baja vulnerabilidad)
0° a 2°	Horizontal		Erosión nula o leve	

Fuente: Conceptos integrados por la autora. ARAYA & BÖRGUEL (1972), YOUNG (1975), FERRANDO (1993); tabla extraída de MESINA (2003). Más la información incorporada de PEDRAZA (1996),

- *Curvatura.* Se realizó un Modelo de Elevación Digital (DEM), en el software ARCGIS 9.3, y se empleó la herramienta “*Curvature*” donde arrojaron los datos de concavidad y convexidad de las laderas. En cada uno de los rangos se calculó el área en Há y porcentaje de la superficie.

- *Exposición.* Se realizó un Modelo de Elevación Digital (DEM), en el software ARCGIS 9.3, y se empleó la herramienta “Aspect”, donde arrojaron los datos de dirección y orientación de las laderas. En cada uno de los rangos de exposición se extrajo el área, medido en Há y el porcentaje correspondiente.
- *Vegetación.* Con ayuda de imágenes satelitales *Landsat TM* y de ARC GIS 9.3, se realizó un *NDVI*¹. Este Índice, mostró el vigor vegetal presente en la zona observada. (ARCGIS > “*Raster calculator*” > **$[NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)]$**)

El intervalo de valores obtenidos del NVDI, varía entre -1 y 1. El cálculo positivo permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo; en cuanto a los valores negativos generados, por una mayor reflectancia en el visible rojo (“RED”) que en el infrarrojo (“NIR”), pertenecen a zonas sin vegetación: nubes, agua, zonas de suelo desnudo y rocas (GÓMEZ, 2005). De esta manera, se reclasificaron de acuerdo a los datos extraídos por GÓMEZ (2005, en Tabla N°5) y determinando cuando existe una mayor actividad fotosintética produce una menor reflexión en el rojo y mayor en el infrarrojo cercano. Luego se extrajo el área correspondiente (en Há) y el porcentaje a cual correspondió.

Tabla N°5: Valores de NDVI

Tipo de objeto	NDVI valor
Vegetación densa	> 0,4
Vegetación media	0,2 – 0,4
Vegetación ligera	0,1 – 0,2
Sin vegetación	< 0,1

Fuente: GÓMEZ (2005)

- *Capacidad y Uso actual de suelo:* Debido a que no existe información de suelo y actividad, en el área de estudio, se tomaron ambos aspectos. En cuanto a este paso, se obtuvo la información y la base de datos del I.G.M. de manera que se incorporaron al software ARCGIS y se calculó el área (Há), para luego extraer el porcentaje de terreno.

¹ NDVI (índice normalizado diferencial de la vegetación). Es una medida cuantitativa de la biomasa fotosintéticamente activa.

Para la definición de la **Taxonomía de sistema de vertientes**, se consideró el marco conceptual establecido en los tipos de mapeo propuestos por ARAYA-VERGARA (1985), PEÑA-MONNÉ (1997), SOTO *et al.* (2007) y CASTRO *et al.* (2009), que permite contribuir al establecimiento y formalización de un procedimiento concreto y de fácil aplicación que ayude a homogeneizar las unidades de los procesos actuales.

ARAYA-VERGARA (1985), indica que los sistemas de vertientes, tienen una influencia estructural y exógena, en la cual inciden diferencialmente en la relación vertiente/*talweg*. En la Tabla N°6, se destaca la doble base de clasificación, estructural y exógena.

Tabla N°6: Taxonomía de Sistemas de Vertientes

INFLUENCIAS ESTRUCTURALES:		INFLUENCIAS EXÓGENAS:	
Estructura Concordante	Cara libre y talud	Según tendencia erosiva	De flanco activo
	Cara libre rugosa y talud		De flanco Pasivo
	Cara libre rugosa		Residual
	Vertiente de Richter		De excavación
	Residual de plateau	Según grado de desgaste de las divisoras	Interfluvios ferales
Vertiente conforme	Interfluvios suavizados		
Vertiente inversa			
Vertientes Discordante indefinida			
Vertientes Hog-back			

Fuente: ARAYA-VERGARA (1985).

SOTO *et al.* (2007), menciona que las relaciones sistemáticas, se destacan en la clasificación de ARAYA-VERGARA (1985). Este último considera que las vertientes deben ser tratadas como sistemas, en donde la composición de varias vertientes particulares, establecen el sistema en su conjunto; ligado, además, a las formas deposicionales sucesivas a éstas. Más aún, se debe incluir la relación que tiene con la acción de la geodinámica externa.

- **Influencia Estructural:** ARAYA-VERGARA (1985), resalta que las influencias estructurales, marcan la posibilidad de afloramientos rocosos que pueden tomarse como potenciales en el aporte de sedimentos. Por esta razón se presentan dos clasificaciones, las cuales son, la estructura concordante y la estructura monoclinal:

- *Estructura concordante*: Afloramientos rocosos que pueden tomarse como viables en el aporte de sedimentos y de depósitos contiguos a la ladera.
 - *Estructura Monoclinal*: Son sistemas de vertientes esculpidas en rocas estratificadas de variada naturaleza, volcánica, sedimentaria y calcárea marina fosilífera, que siguen el buzamiento de los estratos y presentan, un ángulo promedio de 25°- 35°.
- **Influencia Exógena**: El sistema de vertientes se ve afectado y transformado por la acción de agentes morfogenéticos (hielo, agua, viento, entre otros).
 - *Tendencia Erosiva*: Se refieren al grado de actividad relativa de las vertientes. Si en este se advierte oposición de vertientes, es muy posible que una sea activa y la otra pasiva. Así se puede conocer la aptitud de cada una, para abastecer materiales o el potencial de transferencia dentro del sistema.
 - *Grado de desgaste de las divisorias*: Las divisorias entre las cuencas, pueden ser más o menos afiliadas, dando diferentes grados de rugosidad al terreno. El grado de afilamiento de los interfluvios no debe atribuirse sólo al factor tiempo, sino que también a condiciones tectónicas, morfoclimáticas y litológicas.

3.2.2. Trabajos en Terrenos (T):

Con la recopilación de información bibliográfica y primeras identificaciones a partir del software, se prosiguió a demarcar y corroborar las unidades geomorfológicas vistas en el periodo de primer gabinete. De manera que, en dos visitas a terreno, se realizaron los siguientes pasos:

Primer terreno (Tt1): Fechas 12 al 13 de Octubre 2012

- Reconocimiento del área de estudio (primer arrimo). Donde se observaron rasgos de los sistemas de vertientes, emplazamientos y relaciones de las geoformas.
- Realización de registro fotográfico de las vertientes del área de estudio.

Segundo terreno (Tt2): Fechas 08 al 11 de Enero 2013

- Ratificación de formas estructurales en las laderas de media montaña, pendientes, orientaciones y geomorfología; además de procesos gravitacionales en general.
- Observaciones de unidades geomorfológicas menores (geoformas) y sus particularidades.
- Observaciones de los sistemas de drenaje de las laderas junto con la vegetación del lugar.
- Realización de un registro fotográfico de las distintas unidades geomorfológicas y sistemas de drenaje importantes y vegetación. Además de un catastro preliminar de remociones en masa presentes.

3.2.3. Segunda Etapa de Gabinete (G2):**Objetivo Específico 2 y 3**

En cuanto a esta etapa, se centró en 3 fases: Análisis de Agentes Geodinámicos, Índices hidromorfométricos y Susceptibilidad a remociones en masa por factores condicionantes.

En la primera, se realizó un **Análisis de Agentes Geodinámicos**, donde se estudiaron los factores detonantes para la modelación de cambios, tales como precipitaciones y sismología, y cómo éstos influyeron sobre el área de estudio y las geoformas asociadas. Se utilizaron datos concretos y antecedentes del área de estudio (información histórica y actual). Además, de diferentes metodologías, siendo estas:

- **Sismicidad en el área de estudio:** Se realizó una búsqueda de antecedentes sísmicos en la región por medio de diversas fuentes, Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile; Diarios electrónicos (Emol, El Observatorio, La Tercera); Además de páginas web relacionadas al tema, de esta manera, se generó una tabla con los sismos más importantes (con magnitudes considerables) y se describieron los movimientos telúricos más destacables.

Posterior a eso, se relacionaron los antecedentes con la tabla de KEEFER (1984) y RODRÍGUEZ *et al* (1999), donde describe magnitudes mínimas aproximadas para la

formación de remociones en masa (Tabla N°7). Por sismos de magnitudes menores o iguales a 5.3, estableciendo distancias máximas de 50 km entre el foco del sismo y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos desagregados para un evento sísmico de magnitud cercana a 5.5 y de 10 km para flujos de detritos y deslizamientos.

Tabla N°7: Tipos de remoción en masa generadas por sismos

Magnitudes Min. Aprox.(M _L), Según KEEFLER (1984)	Magnitudes Min. Aprox.(M _L), Según RODRÍGUEZ et al (1999)	Tipo de Remoción en masa
4,0	5,5	Caída de rocas, deslizamientos de rocas, caídas de suelos, deslizamiento desmembrados de suelo
4,5		Subsidencias de suelo, deslizamientos de suelo en bloques
5,0	6,5	Subsidencia de rocas, deslizamientos de rocas en bloque, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápidos de suelo, deslizamientos submarinos.
6,0		Avalanchas de rocas
6,5	6,0	Avalanchas de suelo

Fuente: LARA (2007).

- **Comportamiento de Precipitaciones en el área de estudio:** Las precipitaciones fueron analizadas a partir de la información extraída de la base de datos Dirección Meteorológica de Chile (Anuarios Climatológicos 1920 - 2010), tomando como fuente la Estación La Florida (29°54' Lat. S y 71°12' Long. O), ubicada en La Serena. Se investigó sobre otras estaciones más cercanas, pero los resultados fueron negativos, de manera que la información es a nivel regional.

Se tomaron los datos de 30 años, desde 1980 hasta el 2010 (Anexo N°1), se ordenaron de acuerdo al total de mes de cada año y se extrajo un promedio para tener la información anual y mensual para tener el promedio de 30 años, que se visualizaron en gráficos. Además, se incorporaron antecedentes generales de las precipitaciones y del fenómeno ENSO en la zona, y se compararon con la tabla de precipitaciones que la ONEMI trabaja (Tabla N°8).

Tabla N°8: Calificación de precipitaciones la IV Región, Norte Chico

Categorías	Región IV. Precipitaciones (mm.)
Débiles	0 – 0
Débiles a Normales	0 – 1
Normales	2 – 5
Normales a Moderadas	6 – 8
Moderadas	9 – 12
Moderadas a Intensas	13 – 17
Intensas	Más de 18

Fuente: Extraído parcialmente de la Unidad hidrometeorológica de la ONEMI; ARLEGUI (2013).

Además, se calculó el *Índice de Fournier Modificado (IFM)*, que mide la agresividad pluviométrica. Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas son frágiles a la erosión hídrica, razón por la cual es importante la selección de un Índice de agresividad de las lluvias. De esta manera, se propone la siguiente formula:

$$IFM = \sum p_i^2 / P$$

p_i = Precipitación mensual (mm).
 P = Precipitación anual (mm)

El cálculo del IFM debe hacerse para cada año y luego calcular el promedio (Anexo N°2), cuya clasificación se presenta, a continuación (Tabla N°9).

Tabla N°9: Clasificación del ÍNDICE de FOURNIER MODIFICADO (IFM)

IFM	Clasificación
0 – 60	Muy Bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy alto

Fuente: CASTRO et al. (2009)

Cálculo de **Índices hidromorfométricos** para los sistemas del área de estudio. Los índices hidromorfométricos, permiten expresar o calificar en forma indirecta las características de las cuencas de drenaje y su red hídrica, en términos de su comportamiento real o potencial (FERRANDO, 1994).

En esta metodología, el área de estudio se dividió en sistemas hidrológicos, que contenían un cauce o dren principal, y junto a un DEM, a las curvas de nivel y a la red hídrica en general, en ARC GIS 9.3, se lograron identificar 11 sectores a evaluar.

Para obtener los cálculos, lo primero fue extraer datos base de los diversos regímenes hidrológicos, siendo estos:

- Perímetros (Km): [*Attribute Table*> *Calculate Geometry*> *Perimeter*].
- Áreas (Km²): [*Attribute Table*> *Calculate Geometry*> *Area*].
- Alturas máximas, mínimas y medias - cuencas y cauces principales- (m): [*3D analyst*> *Create TIN*> *To Raster*> *DEM*> *Spatial Analyst Tool*> *Zonal*> *Zonal Statistic*]
- Longitudes de las cuencas [*Conversion Tools*>*To KML*> *Google Earth*> *Agregar ruta*> *Regla*]
- Anchos de las cuencas (Km) [*Relación entre el área y la longitud de la cuenca* > $B=S/L$]
- Largo de los cauces principales (m) [*Attribute Table*> *Calculate Geometry*> *Length*].
- Largo total de cauces (Km) [*Attribute Table*> *Calculate Geometry*> *Length*> *Statistic*> *Sum*]

Se clasificaron los sistemas hidrológicos según tamaño, a partir de la superficie o área extraída (Tabla N°10):

Tabla N°10: Clasificación tamaño de la cuenca según superficie

Clasificación tamaño de la cuenca	
Unidad hidrológica	Inferior a 5 km ²
Sector hidrológico	5 a 20 km ²
Microcuenca	20 a 100 km ²
Subcuenca	100 a 300 km ²
Cuenca	Mayor a 300 km ²

Fuente: JIMENEZ (2012).

Con los datos bases, se realizaron los **indicadores hidromorfométricos**:

- Desnivel altitudinal: Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica. Una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Tabla N°11).

$$\text{Desn}_h = H_{\max} - H_{\min}$$

H_{\max} = Altura máxima.

H_{\min} = Altura mínima.

Des_h = Desnivel altitudinal

Tabla N°11: Desniveles altitudinales de los sistemas hidrológicos

Rangos de altitudes	Clases
600 – 1220	Bajo
1221 – 1841	Mediano
1842 – 2462	Alto

Fuente: FUENTES (2004).

- Coefficiente de Compacidad (K_c): Propuesto por GRAVELIUS (1914), este índice compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia. Mientras más bajo sea el índice mayor será la concentración de agua de escurrimiento. Se compara la relación entre el perímetro de una cuenca y el de un círculo que tuviera la misma superficie que la cuenca en estudio (Tabla N°12).

$$K_c = 0.282 * P / \sqrt{S}$$

P = Perímetro de la cuenca.

S = Superficie de la cuenca.

K_c = Coeficiente de compacidad.

Tabla N°12: Indicadores del Coeficiente de Compacidad:

Rangos de K_c	Forma
1.00 a 1.25	Redonda
1.25 a 1.50	Ovalada
1.50 a 1.75	Alargada

Fuente: TRAGSA (1994) en JIMENEZ (2012).

- Coeficiente de Forma (K_f): Por HORTON (1945). La forma de la cuenca genera la pauta en la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su inicio hasta su desembocadura. Por lo tanto, si una cuenca tiene un mayor factor de forma, (< 1), es más susceptible a avenidas rápidas e intensas (Tabla N°13).

$$K_f = S / L^2$$

L = Longitud de la cuenca.
 S = Superficie de la cuenca.
 K_f = Coeficiente de forma.

Tabla N°13: Indicadores del Coeficiente de Forma:

Rangos de K_f	Forma
0,01 a 0,18	Muy poco achatada
0,18 a 0,36	Ligeramente achatada
0,36 a 0,54	Moderadamente achatada

Fuente: FUENTES (2004).

- Índice de Alargamiento: Presentado por HORTON (1945). Relaciona la longitud máxima en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho de ella, medido perpendicularmente. Los sistemas de drenaje que tienen valores altos presentan un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones (Tabla N°14).

$$I_A = L_m / B$$

L_m = Longitud max, sentido del río principal.
 B = Ancho max de la cuenca.
 I_A = Índice de Alargamiento.

Tabla N°14: Indicadores del Índice de Alargamiento:

Rangos de I_A	Clases de Alargamiento
0 a 1.4	Poco alargada
1.5 a 2.8	Moderadamente alargada
2.9 a 4.2	Muy alargada

Fuente: FUENTES (2004)

- Coeficiente de Masividad (K_m): Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Este índice toma valores bajos en cuencas montañosas y altos en cuencas llanas (Tabla N°15).

$$K_m = E_m / S$$

E_m = Elevación media (m).
 S = Superficie de la cuenca.
 K_m = Coeficiente de masividad.

Tabla N°15: Indicadores del Coeficiente de Masividad:

Rangos de K_m	Clases de masividad
0 – 35	Muy montañosa
35 – 70	Montañosa
70 – 105	Moderadamente montañosa

Fuente: JIMENEZ (2012)

- Densidad de Drenaje (D): Corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los drenes de una unidad hidroespacial y la superficie de la misma. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión (Tabla N°16).

$$D = \Sigma L_k / S$$

ΣL_k = Sumatoria del largo total de los cauces
 S = Superficie de la cuenca.
 D = Densidad de drenaje

Tabla N°16: Indicadores del Índice de Densidad de Drenaje:

Rangos de D	Clases
1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Fuente: FUENTES (2004).

- Frecuencia de Drenaje (F): Cuociente entre la sumatoria total del número de drenes de una unidad hidroespacial y su superficie. Una mayor frecuencia de drenes por unidad de superficie permite una más rápida organización y concentración del escurrimiento, lo cual conduce a una mayor prontitud en la evacuación de las aguas desde la zona de captación de una cuenca. Los índices se asocian a la densidad.

$$F = \Sigma n_v / S$$

Σn_v = Sumatoria del número total de cauces
 S = Superficie de la cuenca.
 F = Frecuencia de drenaje.

- Pendiente del cauce principal (P_{cp}): La pendiente del cauce se la puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce L. (Tabla N°17)

$$P_{CP} = H_{max} - H_{min} / L_{CP}$$

H_{max} = Altura Máxima
 H_{min} = Altura Minima
 L_{CP} = Largo del cauce principal
 P_{CP} = Pendiente del cauce principal

Tabla N°17: Valores de pendiente del cauce principal:

Rangos P _{cp}	Clases
0,01 – 0,05	Suave
0,06 – 0,11	Moderada
0,12 – 0,17	Fuerte

Fuente: FUENTES (2004)

- Jerarquizaron de redes de drenaje de las cuencas. Métodos de STRAHLER, (1964) y SHREVE (1967), en la figura (Fig. N°15) se exponen las formas jerárquicas:

Strahler (1964): Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de segundo orden a aquella donde se reúnen 2

corrientes de primer orden, una de tercer orden donde confluyen 2 de segundo orden y así sucesivamente. Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura definida (Tabla N°18).

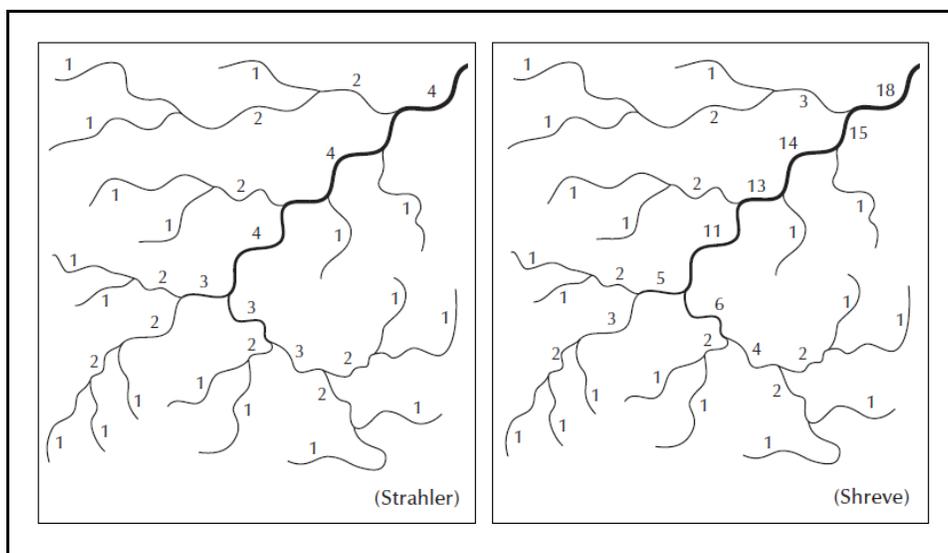
Tabla N°18: Indicadores de la red de jerarquización de Strahler:

Rango de Ordenes	Clases de ordenes
1 – 2	Baja
2.1 – 4	Media
4.1 – 6	Alta

Fuente: STRAHLER (1964)

Shreve (1967): Este método tiene como propósito el demostrar la “magnitud de los canales hídricos, en el sentido de que cada segmento está designado en función del número de segmentos que le alimentan, es decir, considera toda la red de drenaje de la cuenca teniendo una relación con la geomorfología y topología, no incluyendo características geológicas.

Figura N°15: Jerarquizaron de redes. Métodos de STRAHLER (1964) y SHREVE (1967)



Fuente: HUGGETT (2007)

En lo que respecta al tercer proceso, éste se centró en las remociones en masa, determinando la **Susceptibilidad ante remociones en masa por factores condicionantes** en el área de estudio. En la metodología se elaboraron mapas temáticos de los distintos factores condicionantes de las vertientes, siendo considerados:

- Pendiente
- Curvatura
- Exposición
- Geología
- Vegetación
- Geomorfología
- Capacidad y Uso actual de suelo

En cada una de las cartas temáticas, a sus respectivas bases de datos (tablas atributo en el software ARCGIS), se asignaron pesos del 1 al 4, siendo el último número el valor más alto en susceptibilidad. Las pautas de las ponderaciones fueron extraídas a partir de diversos autores y se adecuaron al área de estudio, elaborando una tabla general de todos los factores condicionantes (Tabla N°19). El desglose se explica en el siguiente párrafo:

En cuanto a las pendientes, se consideraron los rangos según el Umbral Geomorfológico de Erodabilidad de FERNANDEZ (2006). En lo que respecta a la Curvatura, se tomó la información de VALDÉS (2010), de las Formas de ladera, de las Tablas de Ponderaciones de Factores a Deslizamientos en Laderas; también del mismo autor se utilizó la Capacidad de Uso de Suelo.

Para exposición se recurrió a la Estimación de Susceptibilidad, según la exposición de laderas de LARA (2007) y CUEVAS (2012), y además, de la última autora se consideró el Uso Actual de Suelo, en la Tabla de Cobertura Vegetal. Todo lo relacionado con vegetación, los rangos fueron obtenidos según la clasificación de GÓMEZ (2005), anteriormente trabajado. En tanto, la información de Geomorfología fue generalizada de MESINA (2003), CHÁVEZ (2005) y PADILLA (2007). Y finalmente para Geología se tomó la tabla de susceptibilidad de litología a los movimientos en masa de MORA y VARHSON (1993; en AGUILAR *et al*, 2002), asociados a los materiales que describieron EMPARAN y PINEDA (2006), para el área de estudio.

Tabla N°19: Rangos de factores condicionantes

Factor Condicionante	Descripción	Pesos	Rangos
Pendiente <small>Fuente: FERNANDEZ (2006)</small>	0° - 2° ; 2° - 5°	1	Bajo
	5° - 10°	2	Medio
	10° - 20° ; 20° - 30°	3	Alto
	30° - 45° ; > 45°	4	Muy Alto
Curvatura <small>Fuente: VALDÉS (2010)</small>	Plano	1	Bajo
	Convexo	2	Medio
	Cóncavo	3	Alto
Exposición <small>Fuente: LARA (2007); CUEVAS (2012)</small>	Este (E) ; Sureste (SE)	1	Bajo
	Suroeste (SO) ; Sur (S)	2	Medio
	Oeste (O) ; Noreste (NE)	3	Alto
	Norte (N) ; Noroeste (NO)	4	Muy Alto
Geomorfología <small>Fuente: MESINA (2003); CHAVEZ (2005); PADILLA (2007)</small>	Flanco de valle pasivo ; Residual de plateau	1	Bajo
	Vertientes conformes	2	Medio
	Vertientes inversas ; Inversas Indiferenciadas ; Flanco de valle activo	3	Alto
	Escarpes ; Cara libre y Talud ; Formas basales; Caos de roca	4	Muy Alto
Geología <small>Fuente: MORA y VARHSON (1993); EMPARAN y PINEDA (2006)</small>	Kig ; JKd ; Jmg	1	Bajo
	MPIc (2) ; MPIcq (1) ; Jas (c)	2	Medio
	MPIj ; MPIc (1) ; Jas (a)	3	Alto
	Qf1 ; Qf2 ; Qa	4	Muy Alto
Vegetación <small>Fuente: GÓMEZ (2005)</small>	Densa	1	Bajo
	Media	2	Medio
	Ligera	3	Alto
	Sin vegetación	4	Muy Alto
Capacidad de uso de suelo <small>Fuente: VALDÉS (2010)</small>	2 ; 3	1	Bajo
	4 ; 5	2	Medio
	6	3	Alto
	7	4	Muy Alto
Uso Actual de Suelo <small>Fuente: CUEVAS (2012)</small>	Plantación de arbustos	1	Bajo
	Matorrales semidensos / suculentas	2	Medio
	Matorrales abiertos	3	Alto
	Terrenos agrícolas	4	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234.

Para el cruce de información de las cartas, y formar un solo elementos, la información fue convertida a raster (sólo los que aún se encontraban en polígonos) y los factores condicionantes, de las bases de datos, fueron evaluados de acuerdo a la mayor importancia, completando un valor 100% entre todas (Tabla N°20). Las ponderaciones absolutas, se determinaron con la investigación de CARTAYA *et al*, (2010) y CUEVAS (2012), y se ajustaron a la información del área de estudio.

Tabla N°20: Ponderaciones máximas de factores condicionantes

Factores	Porcentajes	Ponderación
Pendiente (P)	30%	0,3
Geología (GI)	30%	0,3
Vegetación (V)	15%	0,15
Geomorfología (Gm)	10%	0,1
Exposición (E)	5%	0,05
Curvatura (C)	5%	0,05
Capacidad de uso (Cs)	2,5%	0,025
Uso de suelo actual (Us)	2,5%	0,025

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234.
A partir de CARTAYA *et al*, (2010) y CUEVAS (2012)

El proceso de cruzamiento de cartografías, se desarrolló con la herramienta “*Raster calculator*”, en ARCGIS, a partir del siguiente cálculo:

>*Raster calculator*:

$$(P*0.3) + (GI*0.3) + (V*0.15) + (Gm*0.1) + (E*0,05) + (C*0,05) + (Cs*0.025) + (Us*0.025)$$

Posterior a la elaboración del “*raster*”, se reclasificaron los valores (“*Reclassify*”), en rangos del 1-4. Finalmente, se transformaron los datos a polígono, donde se categorizaron en forma general: Baja, Media, Alta y Muy Alta, según sus resultados.

Resultados Finales:

Objetivo Específico 4

Por último, se integraron todos los temas mencionados y se determinó las zonas más propensas a remoción en masa y se estimó la tendencia evolutiva del sistema de vertientes del área de estudio.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. GEOMORFOLOGÍA DE MEDIA MONTAÑA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los relieves de montaña del área de estudio se insertan esencialmente en un ambiente de media y baja montaña, lo que determina que el relieve sea menos fuerte y más bajo en su conjunto, poseen unidades geomorfológicas marcadas para un ambiente morfogenético del semiárido, según muestra la cartografía (Fig. N°26).

5.1.1. Unidades geomorfológicas de media montaña

5.1.1.1. Sistema de Vertientes:

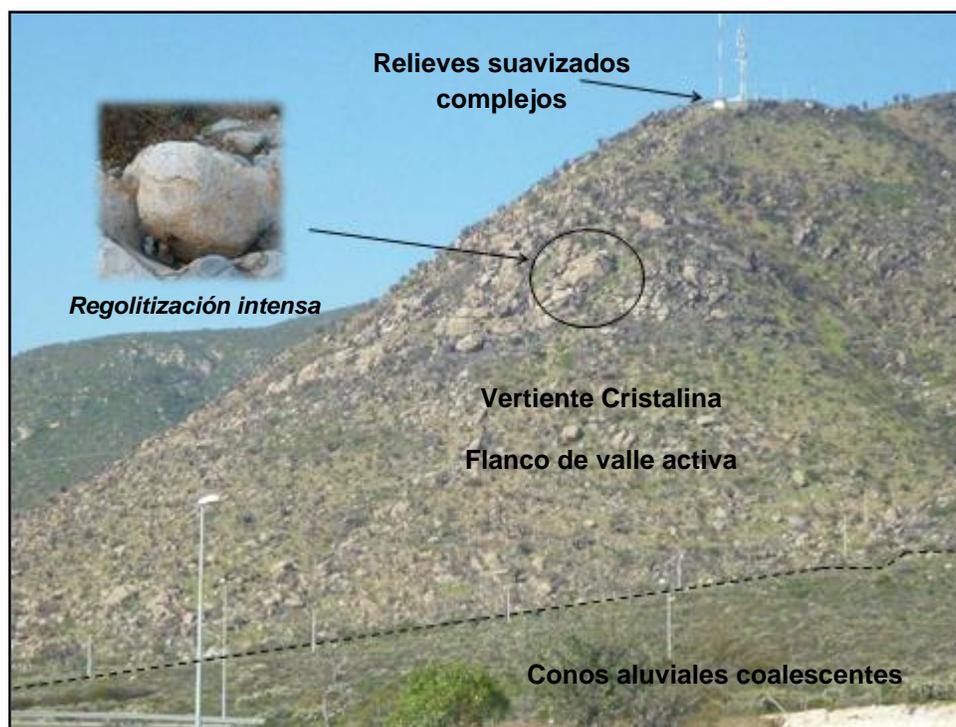
Lo primero que se establece es que en promedio llegan a unos 1.300 m.s.n.m, aprox. En cuanto a los sistemas de vertientes, del área de estudio, se catalogaron de acuerdo a la clasificación de ARAYA-VERGARA (1985), siendo la base la materialidad de la roca, de las cuales se distinguen las vertientes cristalinas, de material geológico intrusivo granítico, y las vertientes monoclinales, de origen volcánico y volcano-sedimentarias. Ambas vertientes se encuentran incididas por los *talwegs* de la zona.

- **Sistema de Vertiente en base Cristalinas:**

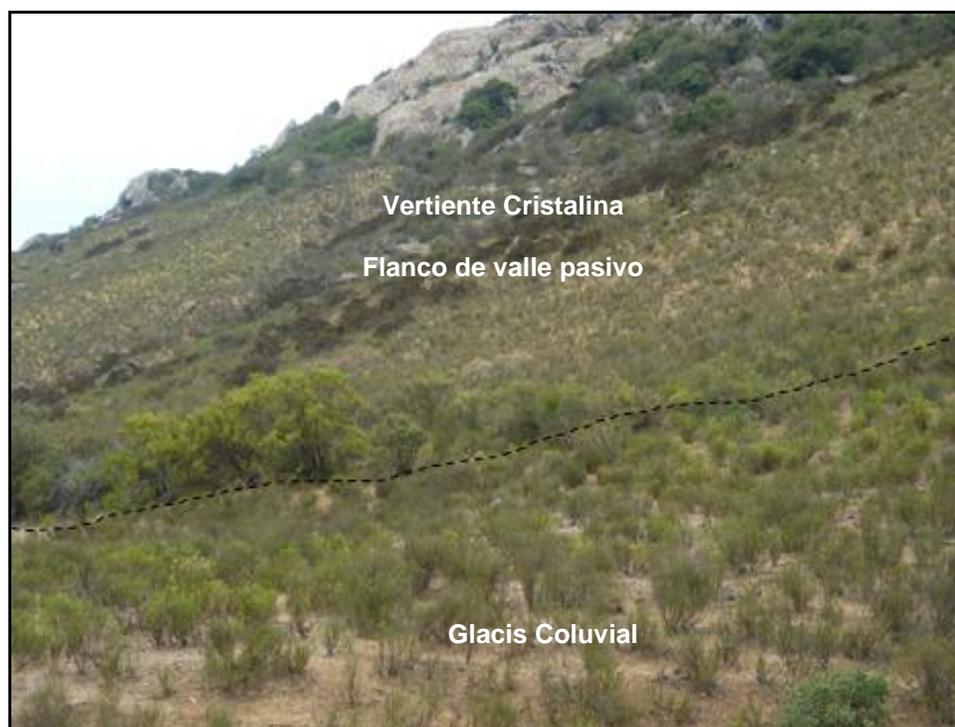
Estas vertientes, configuran un relieve expresado en el rebajamiento general de las formas y en la desestabilidad del sustrato superficial, presentando una red importante de drenaje que incide en ellas. Se observa, además, un importante proceso erosivo dado principalmente por los procesos de alteración esferoidal de los materiales intrusivos, son procesos de meteorización que quedan en superficie por erosión y exhumación posterior de los terrenos, de esta manera se produce que las rocas, que están expuestas, tiendan a presentar esquinas o puntas redondeadas, ya que las esquinas agudas son más fácilmente deterioradas por los agentes climáticos. Estas rocas redondeadas tienden a exfoliar superficialmente a medida que los minerales más expuestos se convierten en materiales más finos. Por lo cual, al hablar de una condición de geodinámica actual se ve manifestada a través de la regolitización intensa de los materiales de las vertientes (proceso de caos de roca). De forma que estos sistemas, deben ser considerados como estructuras actualmente desgastados, en períodos climáticos antiguos (Fig. N°16).

En todo lo que respecta, a la influencia exógena de las vertientes, según ARAYA-VERGARA (1985), se logra identificar laderas cristalinas de particularidad activa (*flanco de valle activa*), a lo largo de las laderas de la zona de estudio, ya que se indican planos rugosos en su superficie junto con importantes disecciones y erosiones superficiales, junto con eso rocas desprendidas, por el proceso mencionado con anterioridad (caos de roca) y por la exposición solar en general de las vertientes (Fig. N°16). No obstante, en espacios reducidos y con menor exposición, se vislumbran laderas de *flanco de valle pasivas* (Fig. N°17), donde presentan pocas indicaciones de erosión superficial como pocos materiales en curso, localizándose al interior de las grandes quebradas y en las zonas donde no existe penetración constante del sol, lo que en aspectos generales se representa como un sector biostático, (mayor vegetación). Es importante destacar, que al albergar mayor vegetación, posee mayor contenido de agua, quedando en evidencia algunos deslizamientos en sus flancos.

Figura N°16: Sistemas de vertientes cristalinas de flanco de valle activa



Vista parcial del Cerro Potrerillos (Guañaqueros). Se presenta una estructura con importante proceso de caos de roca a nivel general. Además de mostrar Flancos de valle activos y relieves con divisorias suavizadas. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234.*

Figura N°17: Sistemas vertientes cristalinas de flanco de valle pasivo

Vista parcial del Cordón Los Colorado (Quebrada de Camarones, en el sector medio). El sistema presente es una estructura de vertientes pasivas, con abundante vegetación, pendientes suaves y escasa erosión superficial. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234.*

De acuerdo al grado de desgaste de las divisorias, la mayor parte de las laderas al ser de media montaña se presentan como *vertientes en relieves suavizados*, estos sistemas poseen divisorias redondeadas, por lo demás los interfluvios son de mayor extensión, debido a la suavidad de las cimas. Para el área de estudio, este desgaste de divisorias se debe a la alteración esferoidal presente, lo provoca que las cimas se redondeen por la meteorización química de las rocas (Fig. N°16).

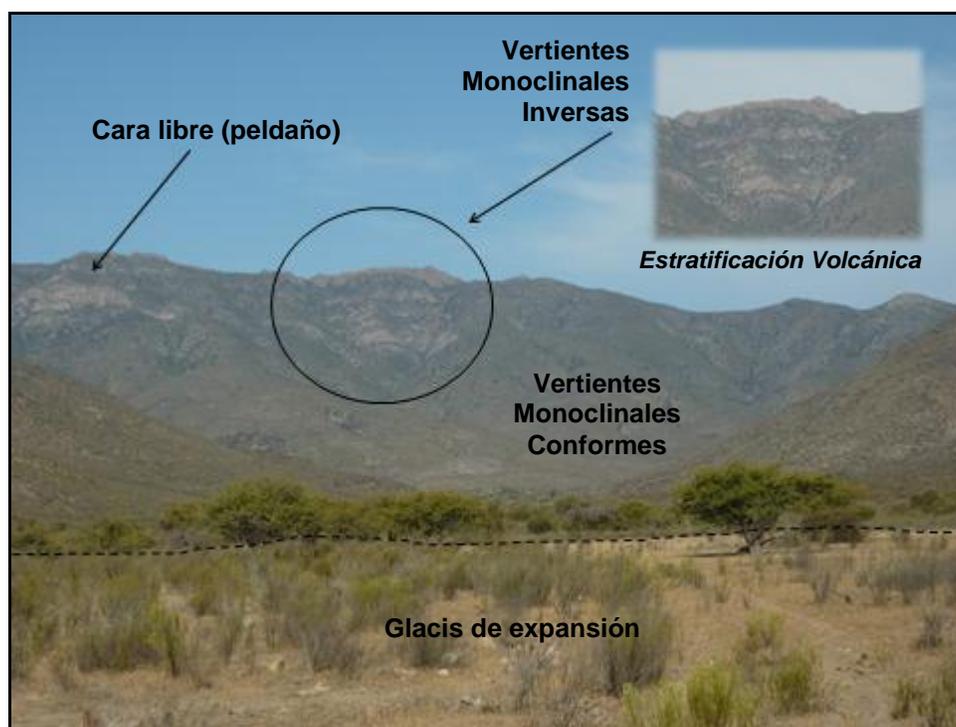
Finalmente, las vertientes cristalinas pueden presentar un potencial de generación de procesos de remoción en masa, especialmente los referidos a flujos de detritos y las caídas de rocas. Asociado a estos grupos intrusivos, en el área de estudio se menciona que comprenden grandes sectores, de Panul, Totoralillo, en Guanaqueros a nivel general, y en las Quebradas de Camarones, Los Almendros y Los Litres, en el Cordón Colorado.

- **Sistema de Vertientes Monoclinales:**

En cuanto a las unidades litológicas del complejo volcánico Agua Salada (Jas), se destacan los sistemas de vertientes modelados en estratos volcánicos y volcano-sedimentarios, por lo cual su Influencia Estructural los clasifica como Monoclinal.

El primero, se presenta en un pequeño sector de la Quebrada de Los Pangues y Camarones, siendo esta las *vertiente Inversas* en estratificación volcánica (facies c), estas estructuras son anaclinales, corresponden a sistemas de vertientes que exponen sus estratos en una pendiente inversa a la inclinación de estos, generando vertientes rugosas con peldaños, puesto que en la sucesión de las caras libres que exhiben la presencia de taludes. Es suave su disposición y sus caras libres se presentan sin vegetación.

Figura N°18: Sistemas monoclinales inversas de estratificación volcánica



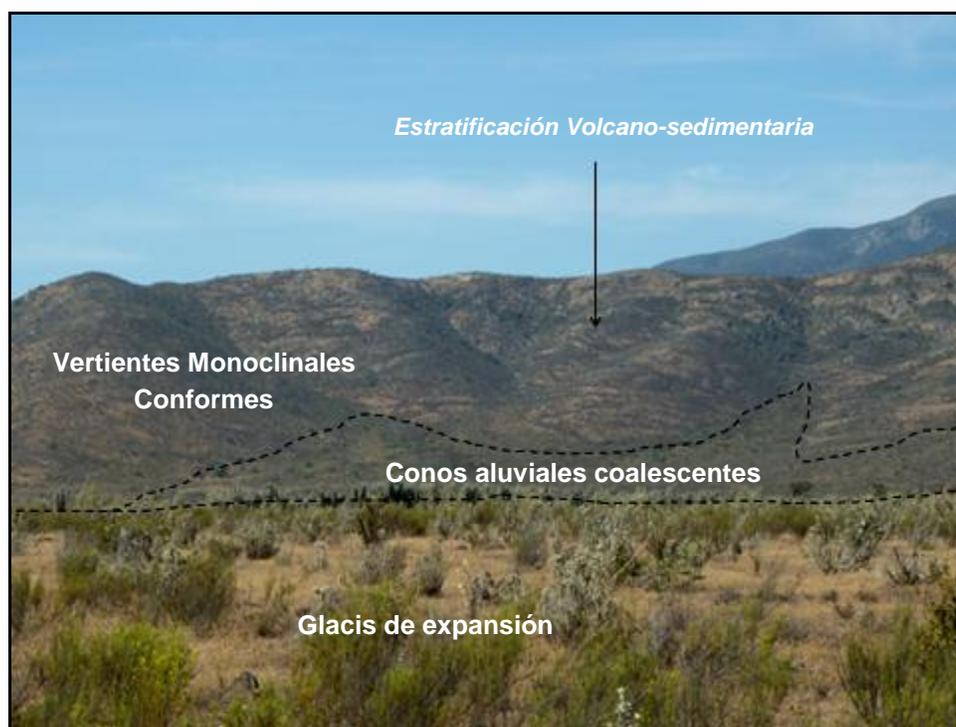
Vista parcial de la Quebrada de Camarones (sector alto, cercano al Rincón Tacitas). Se muestra el cordón Agua Salada con estratificación volcánica, Jas (c). Los estratos están ordenados de forma paralela y dirigida. Esta estratificación intruye a Jas (a) y según la información el grosor de los materiales se debe a una gran actividad volcánica que se presentó en la época. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234*

Se despliegan las también las *vertientes conformes*, en estructuras volcánicas (facies c) y volcano-sedimentaria (facies a), que se manifiestan en gran parte del área de estudio.

Es importante destacar que estas vertientes presentan una rugosidad relativa menor, dado que a que se desarrollan en la misma dirección que los estratos rocosos, es decir, la misma dirección de buzamiento de las capas. Lo que implican de por sí, una condición relativa de más pasividad por su modelo monoclinal, con poca rugosidad y la disección no altera el aspecto liso de la vertiente. Tienen poca cantidad de materiales a ser evacuados, en función del piso y dominio en el cual se encuentren, dando formación en su nivel distal a conos y glacis de derrame (Fig. N°19).

Es importante destacar que este tipo de sistema de ladera, presenta remociones en masa asociado a deslizamientos y flujos.

Figura N°19: Sistemas monoclinales conformes estratificación volcano-sedimentaria



Vista parcial del Cordón Divisadero, Quebrada de Camarones (sector medio). Se presenta el complejo Agua Salada con estratificación volcano-sedimentaria Jas (a), se muestran los estratos ordenados de forma paralela y sin cambios de inclinación. Con areniscas, calizas finas, y materiales volcánicos entre sus estratos. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234.*

5.1.1.2. Formas basales de contacto:

Las formas de contacto se asocian a alturas del orden de los 600 m.s.n.m, aproximadamente. Por otro lado, estas morfologías terminan con la presencia de la Terraza Marina II (TM2), según PFEIFFER (2011), por lo que forma parte, además, del límite del área de estudio. De manera que no se desarrollan pisos más abajos, sino que se convierten en formas polifásicas, con dominancia marina

En lo que pertenece a las morfologías de contacto, están conformadas por los *conos aluviales* y las *superficies de glacis*, estas se conciertan como depósitos directos del sistema de vertientes que desarrollan dinámicas de acuerdo a la cantidad de *talwegs* y al clima del semiárido. Se describen a continuación:

- **Conos aluviales:**

Los conos, a nivel general, tienen una estructura coalescente, que es la capacidad para unirse unas con otras formando un sistema de conos. Estos depósitos, son el quiebre de los sistemas de vertiente, en cuanto se asocie a una importante red fluvial estructurada (Fig. N°20).

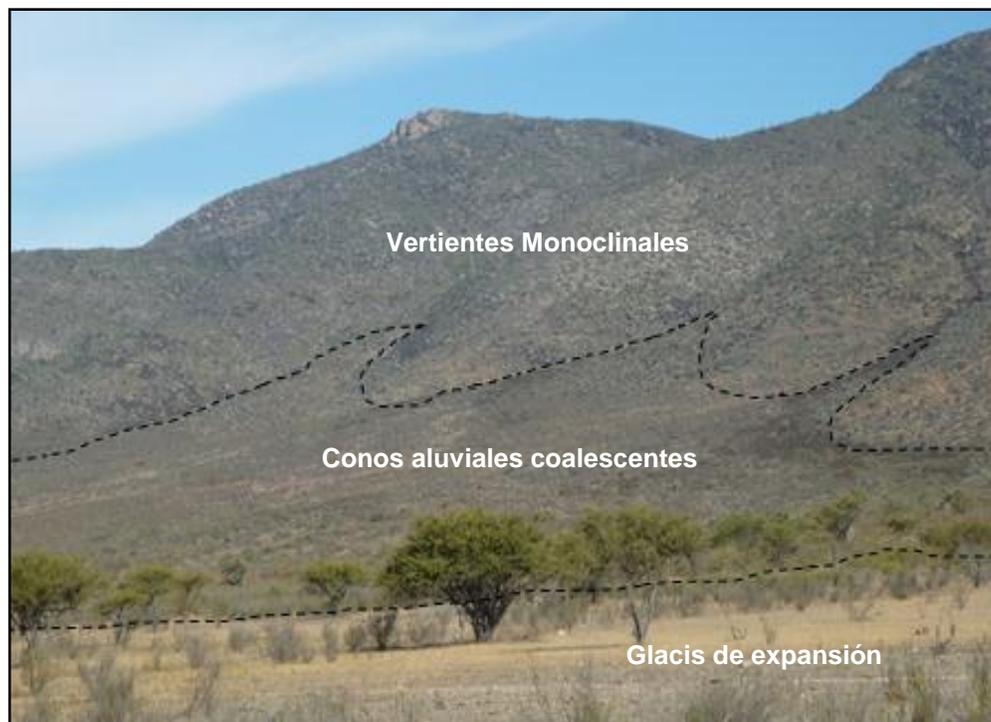
En cuanto a los materiales priman los de tipo bloques y materiales groseros, en los sectores cercanos a los ápices (proximal) y en la zona media; mientras que en las partes distales, por la coalescencia de las formas, presentan materiales más finos que desarrollan los grandes glacis de derrame del área de estudio. Es importante destacar que, el paso de una forma a otra (cono a glacis), se muestra con gran pedregosidad superficial.

A escala de trabajo, es difícil distinguir con respecto a los orígenes de los depósitos (coluvial o aluvional), pues ambos procesos se vinculan tanto en la génesis y como en la dinámica actual de los sistemas basales de contacto de las vertientes.

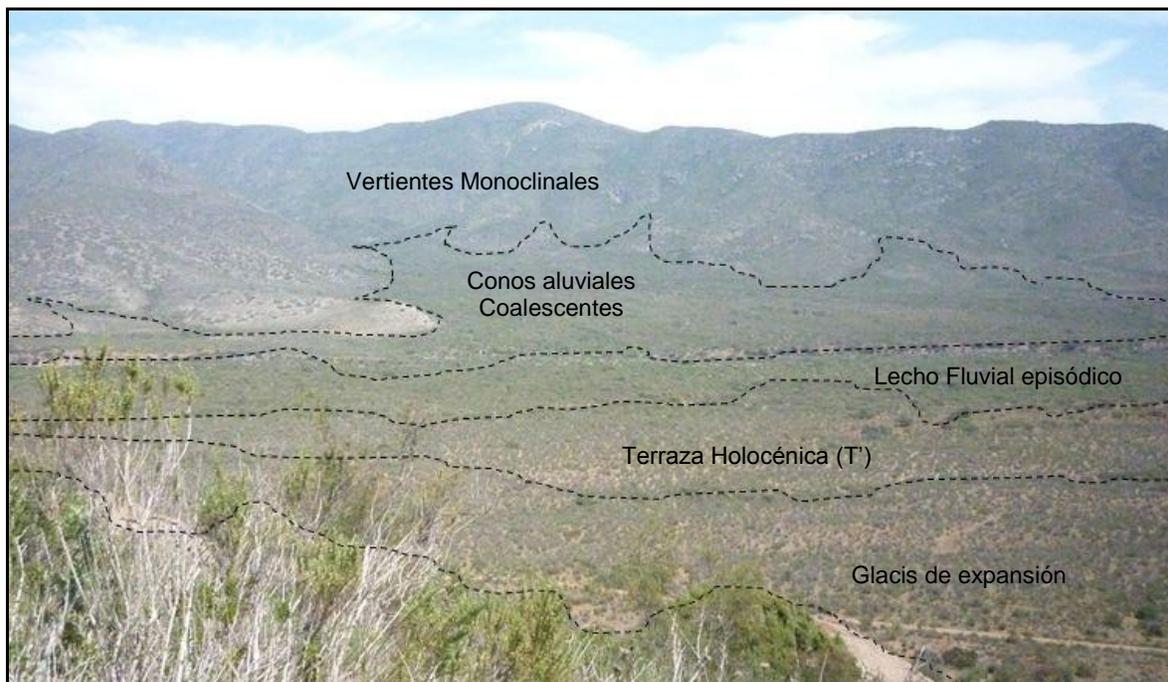
Se presentan en los sectores cercanos a la Quebrada Las Tacas, Los Lazos, Quebrada El Pastor y en el sector de Morrillos, estos conos se encuentran encajados en las terrazas eólicas, en el sector de Guanaqueros, Terrazas que pertenecen a los depósitos eólicos de la Quebrada El Jardín (MPlij), que no representan depósitos de las laderas, pero se encuentran contiguas a las laderas y depósitos. Se manifiestan

también, en las partes más altas de las laderas de las grandes cuencas fluviales, donde los conos son de menor tamaño y en algunos casos aislados, debido a que estos depósitos se encuentran contiguos a las grandes formas de glacia de derrame. Se presentan en las Quebradas de Arrayan (Fig. N°21), Los Pangues, Camarones, Los Almendros y Los Litres.

Figura N°20: Conos aluviales coalescentes del área de estudio



Vista parcial de las Lomas Los Leones (Quebrada de Camarones, Tongoy). El sistema presente es una estructura de vertientes monoclinales con depósitos de conos aluviales coalescentes extensos y que posterior a ella, y con pendientes menores, se forman los glacia de expansión en las partes más bajas. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234*

Figura N°21: Sistema de conos aluviales coalescentes. Quebrada de Arrayan

Vista panorámica del sector medio de la Quebrada de Arrayan (Guañaqueros). En la imagen se muestra el sistema de la quebrada de Arrayan destacando los conos aluviales coalescentes que se ven obstruidos por un escarpe de lecho fluvial episódico. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234*

- **Formas de Glacis:**

En la actualidad bajo un clima semiárido, los glacis aparecen como formas heredadas y potenciales en estos sistemas climáticos. En lo que respecta a los Glacis, se presentan los tipos de glacis coluviales y de expansión (o de derrame) en el área de estudio.

- *Glacis Coluvial:* En cuanto a los glacis coluviales, se encuentran arrimados al pie de la vertiente y asociados al lavado de la ladera superficial actual es lo que destaca del paisaje, más aún presentan materiales rocosos por la regolitización intensa, por lo que presentan materiales de tipo rocoso predominantemente (*Glacis rocoso*). Son formas heredadas que en el Cuaternario, en las que se desarrollan procesos dinámicos actuales, gracias a la acción de los *talwegs* de

tamaño inferior y a la arroyada de manto. Cabe destacar que estas morfologías de contacto tienen forma de rampla que baja suavemente hacia los sectores con menores alturas, en donde los materiales más grandes se ubican al pie de la ladera, mientras que los más finos se desplazan hacia bajo de los sistemas de vertientes (Fig. N°22).

Se visualizan estas formas en gran parte del área de estudio en el sector de Totoralillo, Morrillos, sector de Tongoicillo y en la subcuenca de camarones en el cordón colorado.

Figura N°22: Glacis coluvial del área de estudio



Vista parcial de los cerros paralelos al sector de Totoralillo. En la imagen se muestra a los glacis coluviales, como depósitos de lavado de vertiente que permanecen en constante meteorización, por los procesos de caos de roca en las vertientes graníticas, se muestran depósitos en gran parte de la superficie de este. Es importante mencionar que las vertientes son activas, ya que la imagen fue tomada en un periodo post-precipitaciones (vegetación). *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234*

- *Glacis de derrame o de expansión (D'pendage)*: La forma de glacis, que se presenta en el área de estudio, y que contempla gran parte del paisaje del semiárido de Coquimbo, son los *Glacis de derrame*, se presentan como depósitos de lavado superficial de las laderas, pero asociadas a una cuenca de drenaje importante, o específicamente a las grandes quebradas del área de estudio, que aporta material fino desde los conos aluviales coalescentes en altura y que forma posteriormente este tipo de morfología de contacto, con pendientes suaves y en formas que parecen grandes ramplas de material (Fig. N°23).

Pertenecen a tiempos geológicos anteriores al Holoceno (Mioceno-Pleistoceno), donde se depositaron los materiales por el fuerte trabajo de la erosión laminar. De manera que los que los depósitos que se presentan son bloques, clastos poco procesados y abundante materiales finos, oxidados y alterados (*Glacis Mixtos*). Más aún presentan grandes extensiones abarcando gran parte de la morfología del paisaje de baja altura.

Poseen abundante vegetación en su estructura, aunque del tipo matorral de baja altura, ya que comienza a desarrollar suelos por no presentar pendientes fuertes, junto con lo anterior se vinculan estructuras fluviales anastomosadas en gran parte de estas estructuras.

Es así que, se lograron observar grandes depósitos de glacis de expansión o de derrame en las grandes quebradas de: Arrayán, Camarones, Los Litres, Los Almendros, Los Pangues-Camarones (sector de Divisaderos).

Figura N°23: Glacis expansión o derrame del área de estudio

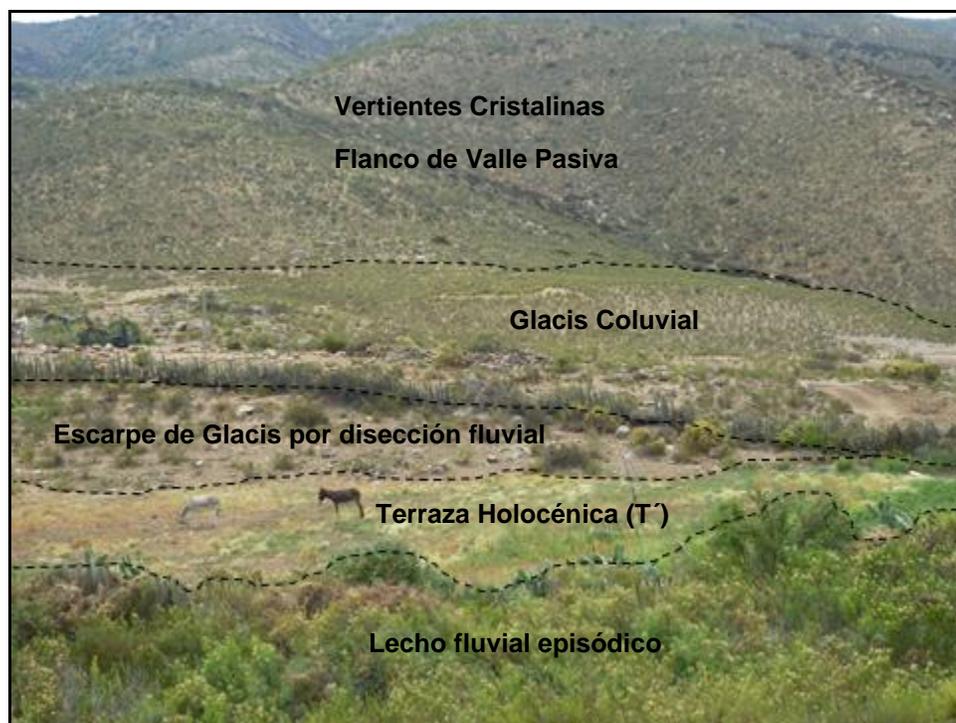
Vista parcial del cordón Colorado (Quebrada de Los Litres, Tongoy). En la imagen se muestra la gran cobertura del glacis de expansión que prosigue a los conos aluviales coalescentes. En el sector se muestra enormes glacis que cubren gran parte del paisaje del área de estudio
Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234

5.1.1.3. Sistema fluvial:

Los sistemas fluviales se presentan bajo los altos escarpes de la zona (Fig. N°24). En estos sistemas no alcanzan a formarse meandros por ser un sector montañoso y por la falta de un flujo de agua constante actual, de manera que, se presentan como *talwegs* anastomosados, principalmente encajados en las formas de glacis y en los conos aluviales coalescentes de gran tamaño. Los sistemas fluviales se presentan principalmente en Tongoy por un mayor desarrollo de cuencas hidrográficas. En cuanto a las geoformas que se presentan en los fondo de las quebradas, se encuentran: las Terrazas Holocénicas (T'), Terrazas fluviales (T1) y Lechos actuales (T°).

Las *Terrazas Holocénicas* (T'), comprenden depósitos de materiales de gravas, arenas y limos no consolidados de cursos fluviales abandonados o esporádicamente inundados. Pueden presentar una cobertura vegetal inicial. Es importante mencionar que los materiales fluviales pertenecen a tiempos recientes (Holoceno), puesto que no posee pátinas (degradación del material) y encontrándose con gran resistencia de este.

Figura N°24: Sistema fluvial de Terraza holocénica y lecho episódico



Vista parcial de la relación vertiente-*talweg* en la quebrada de Camarones (sector medio). Se presentan las estructuras asociadas a la relación en general del área de estudio. Se presenta, además, el sistema fluvial con desarrollo de terrazas holocénicas (primas) y un lecho con un flujo episódico en su cauce. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234*

También en los fondos de los sistemas fluviales, se presentan terrazas elaboradas durante el periodo Pleistocénico, *Terrazas fluviales* (T_1), que en la actualidad se consolidaron. Estas se sitúan en las quebradas de Camarones y Arrayán, con escasa extensión pero con vegetación importante que permite un desarrollo, aunque sea menor, de suelo en la zona.

Los *Lechos actuales* (T°), se evidencia un bajo y nulo caudal en la actualidad, ya que no se presentan caudales de agua constantes, sólo se presentan depósitos en los lechos y abundante vegetación (Fig. N°24). Las quebradas contemplan una condición de flujo estacional (episódico), que cuando el agua irrumpe fuertemente se muestran bloques de grandes tamaños, sin oxidación y semiangulosos; junto con disecciones abruptas (escarpes de lecho episódicos) en las formas basales de contacto del sector (Fig. N° 25).

Figura N°25: Escarpe de glacis disectado por el lecho episódico



Vista parcial del cordón Colorado (quebrada de Camarones, sector proximal). Se muestra al detalle de la importancia del escarpe por disección fluvial y la caja del lecho con flujo actual sin cauce, pero con extensión. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234.*

Los sistemas fluviales continúan por el lecho y se desarrollan los depósitos en ese espacio hasta llegar al mar (sólo las quebradas que tienen gran envergadura se manifiestan depósitos fluviales).

En la Tabla N°21, se muestran los valores de superficies y porcentajes de la geomorfología del área de estudio. En lo que respecta a las áreas de los sistemas, los sectores más representativos, sin duda son las vertientes con un 66%, entre las vertientes que corresponden a Cristalinas y Monoclinales. En lo que respecta a las propias en Influencia exógenas, las de Flanco de Valle activo toman relevancia, de manera que refleja que están más expuestas a rayos solares y poseen menos biota. Mientras que las Monoclinales con clasificación Conforme posee relevancia.

Acorde a las otras geoformas que se presentan significativas, son los Glacis de expansión que poseen un 18% del total del área de estudio y los Conos Aluviales Coalescentes con un 9%.

Luego se presentan los Glacis coluviales y Lechos, con un 5% respectivamente y finalmente el resto que en proporciones son áreas pequeñas fluviales y eólica.

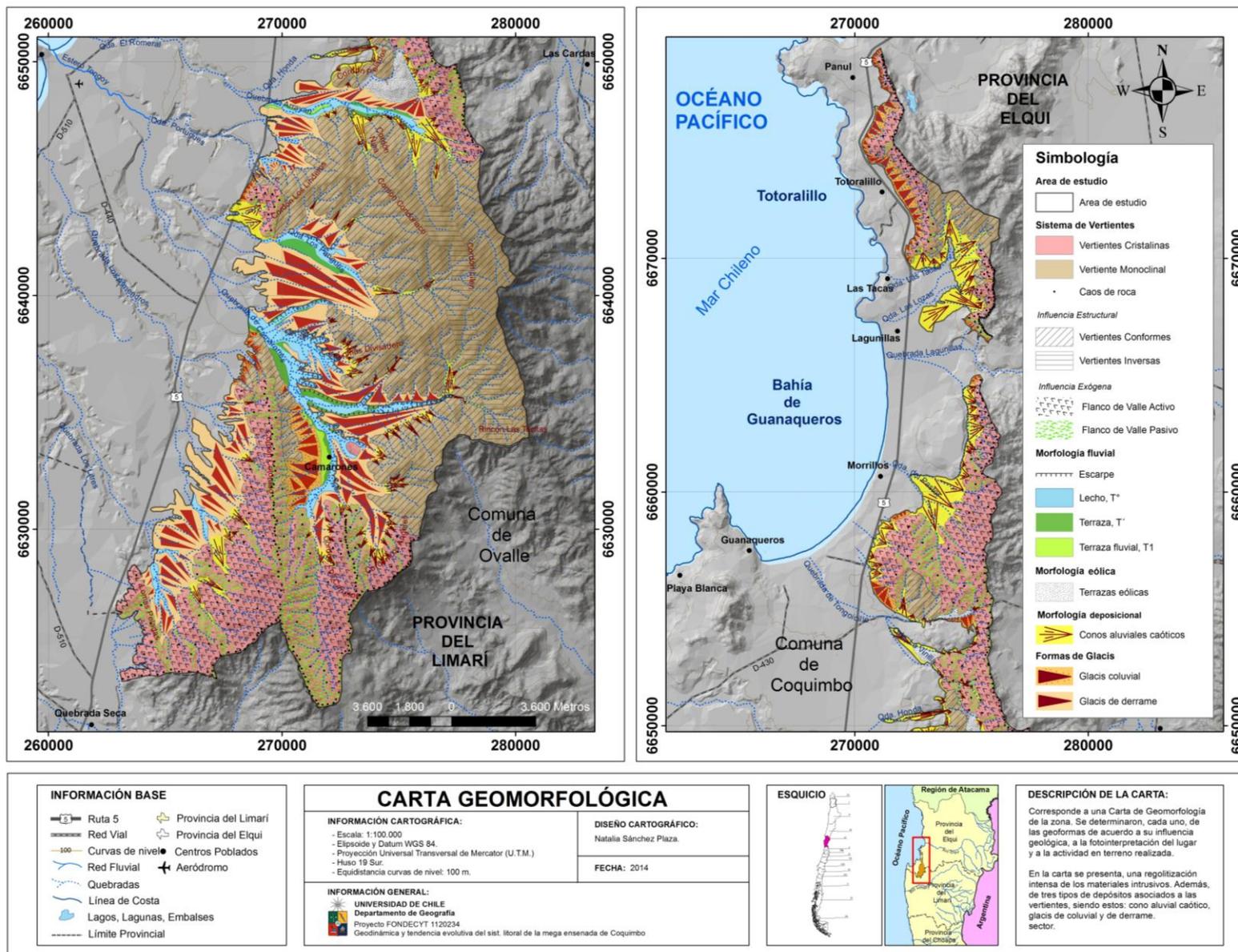
Tabla N°21: Áreas y porcentajes de geomorfología del área de estudio

Geomorfología (Geoformas)	Área (Há)	Porcentaje (%)
Flanco de Valle Activo	6.854	21
Flanco de Valle Pasivo	3.666	11
Vertiente Inversa	1.074	3
Vertiente Conforme	9.302	28
Lecho (T°)	1.549	5
Terrazas Holocénicas (T')	350	1
Terrazas Fluvial (T1)	90	0,3
Terrazas Eólica	351	1
Conos Aluviales Coalescentes	3.210	10
Glacis Coluvial	1.197	4
Glacis de Expansión	5.888	18

Vertientes	Área (Há)	Porcentaje (%)
Cristalinas	10.657	32
Monoclinales	10.377	31

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°26: Cartografía geomorfológica del área de estudio



5.1.2. Fisiografía de media montaña

5.1.2.1. Pendientes:

En el área de estudio, donde hay cambios abruptos de pendiente, las masas en movimiento se desplazan sin mayor resistencia por la inclinación hasta el sector plano del terreno, descargando toda su energía en ellas; Por otro lado, mientras el cambio es gradual y la pendiente es más ligera, la masa se va disipando en forma lenta, de esta manera disminuye la velocidad de la masa aminorando su potencial destructivo.

Es así que, según los datos arrojados en la tabla metodológica del umbral geomorfológico (Tabla N°4), poseen mayor relevancia en el área de estudio las pendientes de 10° - 20° , luego los valores de 20° - 30° y por último los que poseen 0° - 2° (Tabla N°22 y Fig. N°27).

Las pendientes entre los 10° a 20° , poseen inclinación de carácter fuerte, donde se presentan conos aluviales en altura, glacis coluviales y vertientes colindando con los depósitos mencionados. En cuanto a sus condiciones para el desarrollo del suelo y vulnerabilidad a exponerse a amenazas, esta pertenece a un carácter medio, por ende, las amenazas naturales son moderadas y poseen una erosión intensa a leve, para esos datos.

Otros de los valores que predominaron son, las vertientes con inclinaciones entre los 20° - 30° , presentando generalmente mayores alturas. Es una estructura, con un tipo de pendiente de moderadamente escarpado, donde prevalece las vertientes como tal, y algunos los depósitos, entre conos y glacis con alturas preponderantes. Estas inclinaciones poseen dificultades para evolución del suelo y una alta susceptibilidad a la dinámica de caídas, deslizamientos y flujo (remociones en masa).

Por último, el perfil 0° a 2° , del tipo de pendiente horizontal. Son formas planas de fondo de valles, glacis y formaciones de terrazas holocénicas (T'), con erosión nula o leve. Presenta buenas condiciones para el desarrollo del suelo y muy baja susceptibilidad a procesos gravitatorios.

Tabla N°22: Áreas y porcentajes de valores de pendiente del área de estudio

Pendientes (°)	Área (Há)	Porcentaje (%)
0 – 2	5.328	16
2 – 5	3.364	10
5 – 10	3.431	10
10 – 20	9.108	28
20 – 30	7.390	22
30 – 45	3.368	10
> 45	1.039	3

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

5.1.2.2. Curvatura:

Este factor geométrico, menciona tres formas principales: convexo, cóncavo y plano (Fig. N°28). En el área de estudio tiene un potencial marcado a tener una curvatura del tipo *convexo*, aunque la geometría *cóncava* también es significativa (Tabla N°23). En general, la curvatura tiene interés como influyente en fenómenos como la escorrentía superficial, la erosión y los flujos. El área en general es convexa, por lo cual tiene un carácter más erosivo en sus laderas y en los conos aluviales coalescentes, Mientras que la concavidad se manifiesta en la depositación, de conos aluviales y en los grandes glacis (tanto coluvial como de derrame), hacia los fondos de valle.

Tabla N°23: Áreas y porcentajes de las curvaturas del área de estudio

Curvaturas	Área (Há)	Porcentaje (%)
Convexo	18.032	55
Cóncavo	14.911	45
Plano	102	0,3

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°27: Cartografía de pendientes del área de estudio

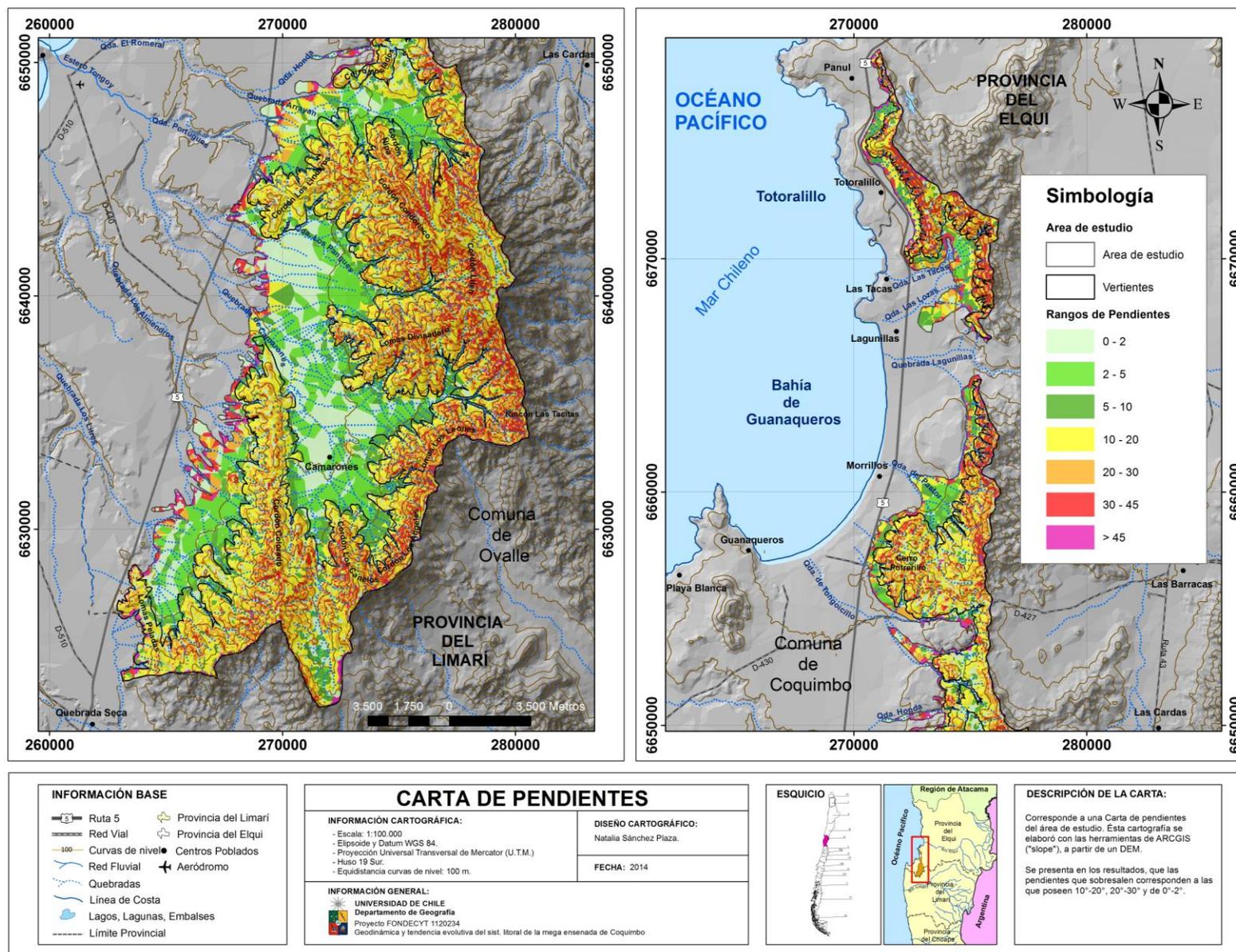
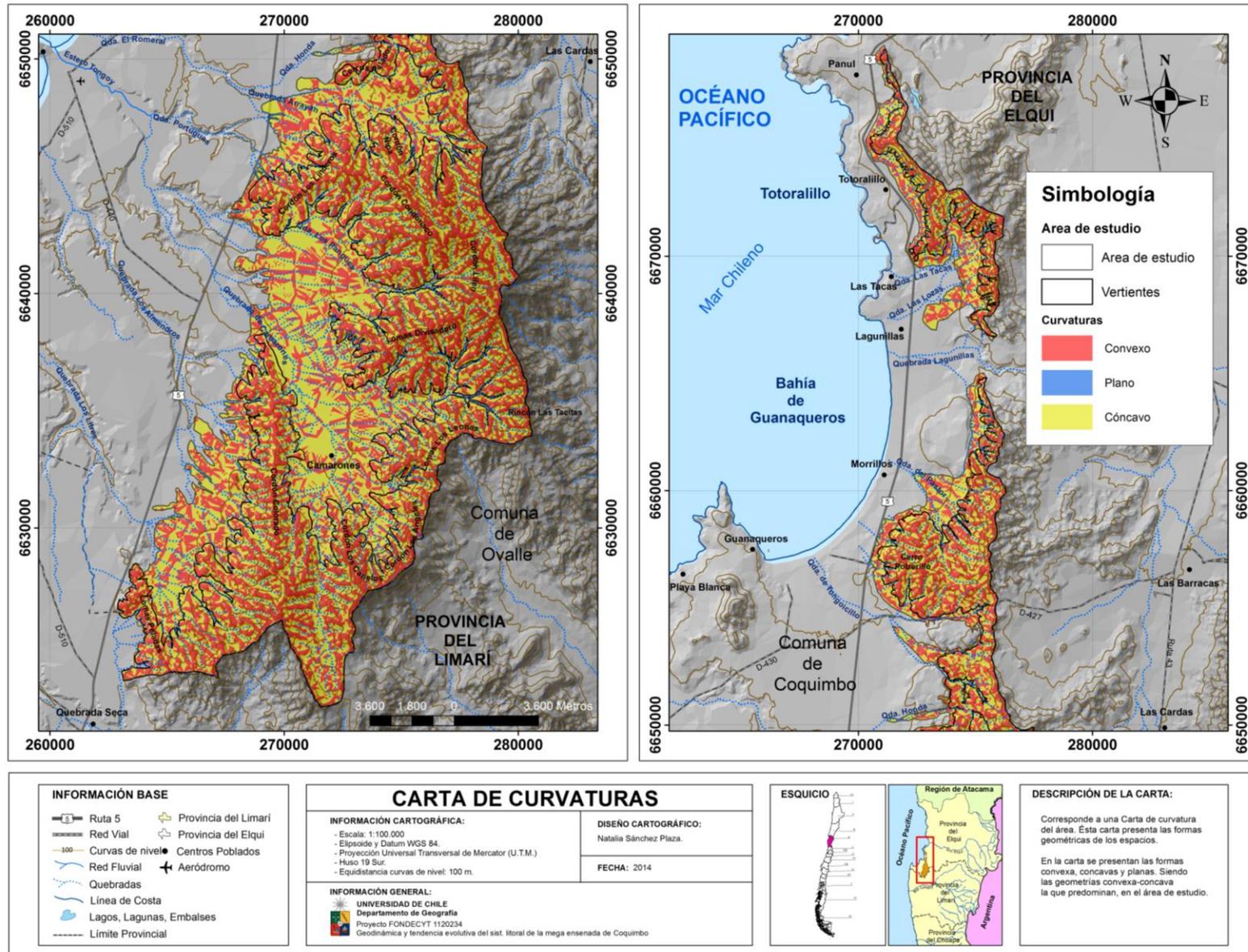


Figura N°28: Cartografía de curvaturas del área de estudio



5.1.2.3. Exposición:

Las vertientes de acuerdo al parámetro de exposición solar, datos que fueron obtenidos a través de un Modelo Digital de Elevación (DEM), arrojaron que las celdas con valores más altos se encuentran en dirección *Norte, Oeste y Noroeste* (Tabla N°24 y Fig. N°29). De manera, que se logra determinar, que en el área de estudio, existe una exposición es del tipo solana, donde los rayos solares impactan fuertemente en el relieve provocando menor humedad y por lo tanto menor cobertura vegetal, abundando los materiales del tipo rocoso. Sin embargo, a pesar de que la vegetación se considere escasa, la ubicación cercana a la costa permite una neblina constante, lo que aporta vegetación abundante del tipo matorral y xerófito.

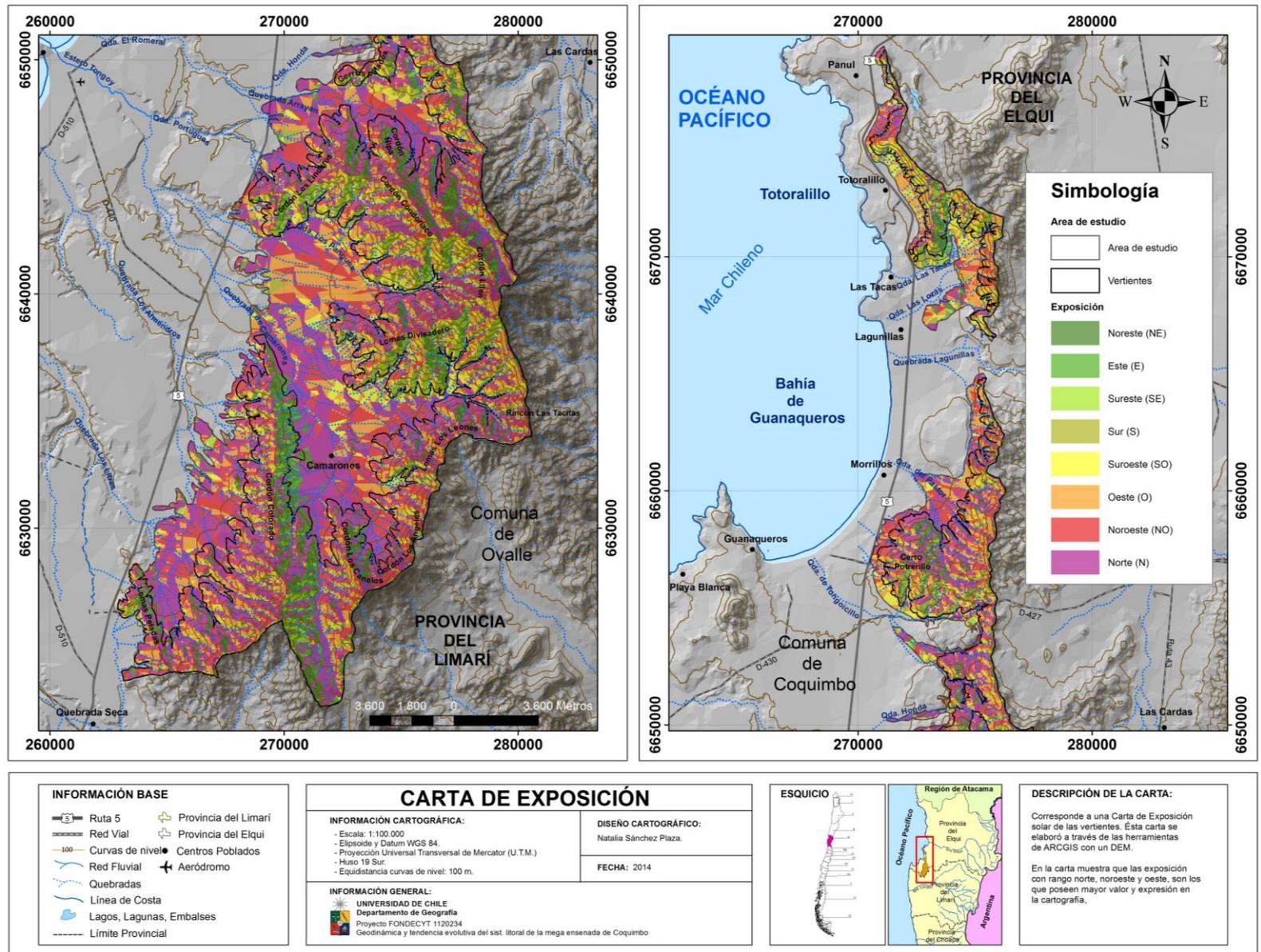
Tabla N°24: Áreas y porcentajes de las exposiciones del área de estudio

Exposición	Área (Há)	Porcentaje (%)
Norte (N)	10.766	33
Noroeste (NO)	5.999	18
Oeste (O)	6.895	21
Suroeste (SO)	3.224	10
Sur (S)	1.807	5
Sureste (SE)	1.143	3
Este (E)	1.254	4
Noreste (NE)	1.942	6

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Sin embargo, al interior de las grandes quebradas, se diversifica el material biogeográfico por su exposición más desarrollada a la exposición sur, y por la influencia de los nublados matinales lo que genera un control reductor a la exportación y transporte de detritos hacia las zonas más bajas, sólo se revela una desestabilización en los sistemas de *talwegs*, durante los episodios de precipitaciones concentradas (actividad estacional o evento torrencial).

Figura N°29: Cartografía de exposición del área de estudio



5.1.2.4. Vegetación:

En cuanto a este factor, se logró estimar a partir del NDVI, que los valores en el área de estudio, se presentan *sin vegetación* (o niveles débiles, que no fueron captados por las imágenes satelitales) y *vegetación ligera (rala)*, es decir, bajos niveles de follaje y muestras de suelos abiertos, junto con materiales rocosos en la laderas (Tabla N°25 y Fig N°32). Esto se debe principalmente a la concentración directa de los rayos solares y las condiciones de semiárido de la zona. Es importante mencionar que al estar en contacto con los sistemas litorales, la vegetación es media (a nivel de matorral, suculentas y algunas arbustos del bosque esclerófilo), en las zonas encajonadas a quebrada y en exposición sur y este (sector de umbria). Por otro lado, los suelos abiertos son predominantes en el área de estudio (Fig. N°31). Las especies con mayor dominancia en el área de estudio son: *Heliotropium stenophyllum* (Palo negro), *Cassia coquimbensis* (Alcaparra) y *Adesmia microphylla* (Pelhuén) (Fig. N°30).

Tabla N°25: Áreas y porcentajes de niveles de vegetación del área de estudio

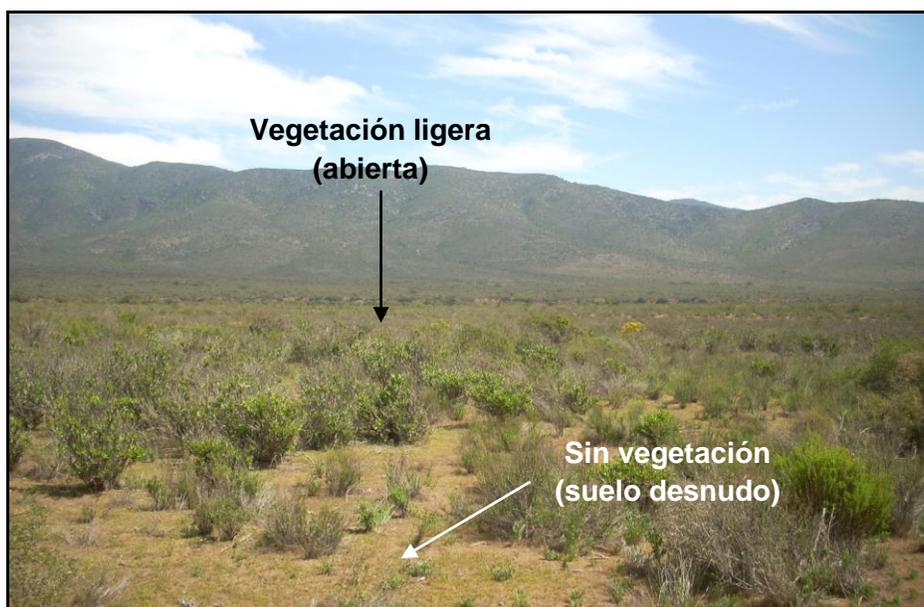
Vegetación	Área (Há)	Porcentaje (%)
Vegetación densa	5	0,02
Vegetación media	2297	7
Vegetación ligera	9093	28
Sin vegetación	21655	66

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°30: Imágenes de especies del Matorral Estepárico Costero



Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234.

Figura N°31: Imagen vegetacional del glacis de expansión del área de estudio

Vista parcial de especies del sector la Quebrada Arrayan, en el Glacis de expansión. La formación vegetal presente es leñosa baja, dispersa y muy abierta (herbácea). *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234.*

5.1.2.5. Capacidad y uso actual de suelo

Tanto la capacidad como el uso actual del suelo, fueron distribuidas en una sola cartografía (Fig. N°33), para complementar de mejor forma el tema del suelo en el área de estudio, debido a que no existe información de suelo para la zona.

Todo lo que relaciona a la capacidad de uso, en el sector, se puede observar en la tabla (Tabla N°26), siendo el uso de suelo imperante el que corresponde a la *clase 6*, luego a la *clase 5* y a la *clase 7*. En cuanto a la capacidad de uso 6, según el Estudio Agrológico de la IV región (CIREN, 2005), este poseen suelos inadecuados para los cultivos y su uso está limitado a pastos y forestales. Los suelos tienen limitaciones continuas, tales como: pendientes pronunciadas, susceptibles a severa erosión; efectos de erosión antigua, pedregocidad excesiva, zona radicular poco profunda y clima severo. Para la clase 5, los suelos son planos o plano inclinado (ladera), pedregosos y que por efectos climáticos no tienen posibilidad de cultivarse, pero poseen buena aptitud para producción de praderas.

La clase 7 menciona que son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos, su uso pertenece al pastoreo y forestal. Las restricciones son más severas que la clase 6, debido a que poseen pendientes abruptas, erosión y suelos delgados.

A nivel general, los suelos del área de estudio son de origen coluvial, de plano inclinado y delgado. De textura superficial franco arenosa y color pardo oscuro con pedregocidad superficial importante.

Tabla N°26: Áreas y porcentajes de las capacidades de uso de suelo

Capacidad de uso de suelo	Área (Há)	Porcentaje (%)
2	13,98	0,04
3	131,2	0,4
4	23,6	0,1
5	6697	20
6	25511	77
7	683	2

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

En lo que respecta al uso actual de suelo, se presenta un área que no tiene actividades humanas importantes, siendo un espacio libre de intervención principalmente. Los usos con mayores valores los contemplan los *matorrales suculentos* y *matorrales abiertos*, y en un tercer lugar los *matorrales semidensos*, pero en general con poca cobertura vegetativa, que lo utilizan animales para pastorear (ganado caprino errante). (Tabla N°27).

En cuanto a las actividades humanas, se presenta la plantación de arbustos y los terrenos agrícolas. En cuanto a las plantaciones de *Atriplex sp*, no es para uso antrópico sino más bien esta medida es para contener el tema de la desertificación de la zona, este plan es encabezado por CONAF y cubre gran parte de los glaciares de expansión del sector de la Quebrada de Los Pangues, además no sólo en la zona presenta este tipo de incentivos, sino más bien en gran parte de la región existen este tipo de plantaciones.

A diferencia de lo anterior, los terrenos agrícolas (cultivos de olivos), si contemplan un uso antrópico, pero sus superficies son a escalas pequeñas y sólo concentran en el sector de la quebrada de Camarones, en las terrazas del Holoceno (T').

Tabla N°27: Áreas y porcentajes de los usos actuales de suelo del área de estudio

Uso actual de suelo	Área (Há)	Porcentaje (%)
Matorral abierto	8.410	25
Matorral pradera	2.210	7
Matorral suculenta	11.608	35
Matorral arborecente	1.678	5
Matorral semidenso	7.674	23
Plantación de arbusto	1375	4
Terrenos agrícolas	114	0,3

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°32: Cartografía de vegetación del área de estudio

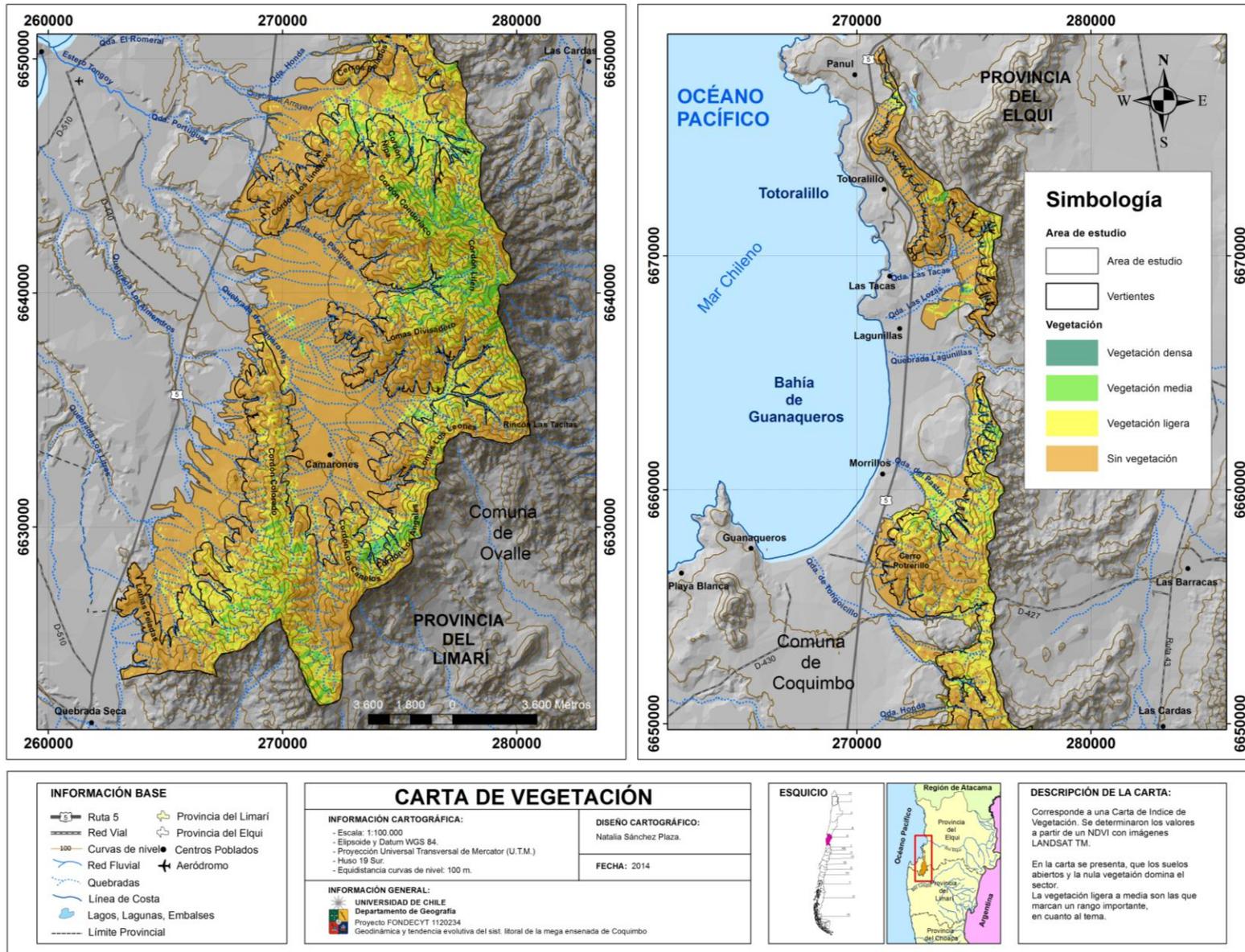
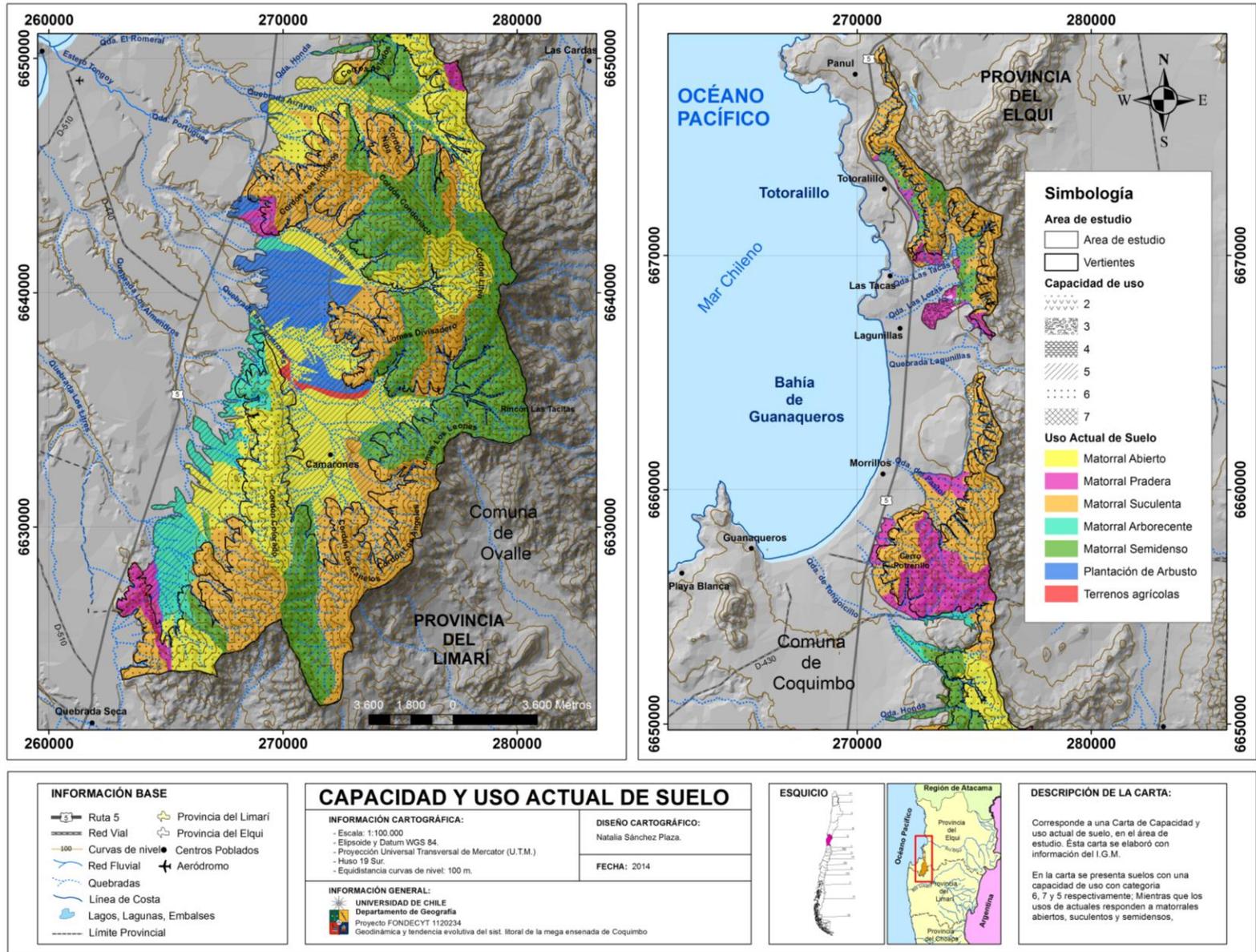


Figura N°33: Cartografía de capacidad y uso actual de suelo del área de estudio



En cuanto a las unidades *geológicas* del área de estudio, que EMPARAN y PINEDA (2006) clasificó, se calculó la superficie de los componentes litológicos y el porcentaje que cada unidad equivale en el área de estudio. Se estimó que el complejo Volcánico (Jas), posee las mayores dimensiones en todo el área de estudio, con 11.373 Há. Luego, viene la Formación Confluencia (MPlc) con 6.233 Há y por último los materiales intrusivos del Jurásico (Jmg y JKd) con 5.220 y 4.525 respectivamente (Tabla N°28).

Tabla N°28: Área y porcentaje de los diferentes componentes geológicos

Geología	Área (Há)	Porcentaje (%)
Qf2	983	3
Qf1	164	0,5
Qa	2.364	7
MPIj	329	1
MPlc	6.233	19
MPlcq	223	1
Kig	1.912	6
JKd	4.525	14
Jmg	5.220	16
Jas	11.373	34

Fuente: Elaboración propia. FONDECYT 1120234

Tanto las estructuras volcánicas como las graníticas, que combinadas tienen una sumatoria de 11.657 Há (36%), son las litologías que se destacan en el área de estudio.

5.2. ANÁLISIS DE AGENTES GEODINÁMICOS

5.2.1. Actividad Sísmica

La zona del Norte-Central de Chile (27° S- 33° S), conocida como la zona de los valles transversales, está caracterizada por la ausencia de volcanismo durante el Neógeno Superior y por la ocurrencia de tsunamis destructivos, cada 20 años, durante el siglo pasado. A continuación, se presenta la siguiente tabla con el registro de sismos con epicentros en la región de Coquimbo (Tabla N°29).

Tabla N°29: Sismos considerables con epicentros en la región de Coquimbo.

Epicentro	Fecha	Hora	Localización		Prof. (Km)	Magnitud (Richter)	Efecto*
	Día /mes/año		Lat. S (°)	Long. O (°)			
Coquimbo	17/12/1849	06:00	-29.950	-71.370	-	7,5	TM
Illapel	15/08/1880	08:48	-31.620	-71.180	-	7,7	-
Coquimbo	14/02/1917	20:48	-30.000	-73.000	-	7	-
Los Vilos	18/03/1931	04:02	-32.500	-72.000	-	7,1	-
Illapel	06/04/1943	12:07	-30.750	-72.000	55	8,3	T
Coquimbo	19/04/1955	16:24	-30.000	-72.000	-	7,1	T
Los Vilos	08/07/1971	23:03	-32.511	-71.207	40	7,5	TM
Coquimbo	13/03/1975	11:30	-29.941	-71.337	4	6,9	-
Ovalle	11/06/1984	02:05	-30.707	-71.179	46	6,3	-
Coquimbo	19/05/1987	12:56	-30.284	-71.484	36	6	-
Illapel	28/11/1992	03:57	-31.809	-72.067	33	6,5	-
Punitaqui	14/10/1997	22:03	-30.773	-71.315	56	7,1	-
Coquimbo	03/09/1998	14:48	-29.302	-71.682	33	6,6	-
La Serena	01/04/2002	19:59	-29.592	-71.677	47	6,2	-
Ovalle	18/06/2002	13:56	-30.826	-71.341	42	6,3	-
Illapel	12/10/2006	18:05	-31.340	-71.702	37	6,2	-

* T: Tsunami / TM: Tsunami moderado. / TD: Tsunami destructor y mayor. / - : Sin información.

Fuente: Elaboración propia a partir del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile; Diarios electrónicos (El Mercurio (Emol) y El Observatorio); Sismo24. Proyecto FONDECYT 1120234

En la tabla anterior, se observa que el terremoto más fuerte alcanzó los Ms 8,3 en Illapel, el 06 de abril de 1943, siendo este movimiento telúrico el más grande en la zona. Registró una intensidad de X grados en la escala de Mercalli y afectó las zonas de: Combarbalá, Illapel, Coquimbo y Aconcagua. Además, generó un tsunami menor que dañó a botes pesqueros en gran parte de Los Vilos.

En cuanto al terremoto de Punitaqui del 14 de octubre de 1997, que ha sido el sismo más fuerte de los últimos 18 años, con una magnitud Mw 7,1, fue un evento del tipo intraplaca continental con profundidad de 56 km. Registró una intensidad de VIII y afectó desde la II a la IX región del país (ONEMI, 2009). Ha sido considerado uno de los más destructores de los últimos años en la zona.

- **Situación de los sismos para provocar remociones en masa**

Al analizar la tabla de KEEFER (1984) y RODRÍGUEZ *et al* (1999), donde describe magnitudes mínimas y profundidades de un sismo, para posibles remociones en masa. Se obtuvo la siguiente tabla con de los sismos importantes en la región (Tabla N°30)

Tabla N°30: Probables remociones en masa causados por sismos

Epicentro	Fecha	Prof.	Magnitud (Richter)	Probables movimientos en masa
	Día /mes/año	(Km)		
Illapel	06/04/1943	55	8,3	Sin remoción
Los Vilos	08/07/1971	40	7,5	Caídas o Deslizamientos
Coquimbo	13/03/1975	4	6,9	Flujo de detritos o Deslizamientos
Ovalle	11/06/1984	46	6,3	Caídas o Deslizamientos
Coquimbo	19/05/1987	36	6	Caídas o Deslizamientos
Illapel	28/11/1992	33	6,5	Caídas o Deslizamientos
Punitaqui	14/10/1997	56	7,1	Sin remoción
Coquimbo	03/09/1998	33	6,6	Caídas o Deslizamientos
La Serena	01/04/2002	47	6,2	Caídas o Deslizamientos
Ovalle	18/06/2002	42	6,3	Caídas o Deslizamientos
Illapel	12/10/2006	37	6,2	Caídas o Deslizamientos

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Al analizar los datos elaborados, se puede estimar que para la región y también para el área de estudio, con la información recopilada de los sismos más fuertes de la zona, se producen mayormente caídas de rocas por poseen una profundidad considerable. Sin embargo, para el sismo de Coquimbo de 1975, la profundidad de este tuvo una distancia de 4 Km, por lo cual se estima que pudo generarse un movimiento de flujo de detritos o deslizamientos en la región. Por otro lado, los sismos con mayor magnitud (Illapel y Punitaqui), por su profundidad no causaron remociones en masa.

Toda el área del estudio se encuentra expuesta a los efectos de la sismicidad, especialmente en aquellos terrenos que poseen de baja cohesión los materiales, condición que se da principalmente en terrenos constituidos por depósitos aluviales y eólicos y glaciares, esto debido a la alta probabilidad que se produzcan aceleraciones intensas en el terreno durante la ocurrencia de eventos sísmicos y además la poca profundidad de los movimientos telúricos.

Para el área de estudio, en lo que respecta a un periodo de retorno de un evento importante, el cálculo de la relación Gutenberg-Richter, ha podido establecer una relación probabilística de eventos sísmicos para fuentes simogénicas de todos los orígenes cada 31 años (7,5 Ms), es decir, según estudios cada 30 años se presentaría un sismo con importancia destructiva en la zona (Tabla N°31).

Tabla N°31: Relación Gutenberg-Richter

Fuente Simogénica	a	b	Magnitud Ms\geq	a-bM	Sismos/año de Magnitud $\geq M$	Periodo recurrencia (años)
<i>Interplaca</i>	4,5587	0,8284	7,5	-1,6543	0,022166647	45,11
<i>Intraplaca profundidad intermedia</i>	5,0981	1,0953		-3,11665	0,000764452	1308,13
<i>Intraplaca cortical</i>	2,1552	0,5582		-2,0313	0,009304649	107,47
Todos los orígenes					0,032235747	31,02

Fuente: SEPÚLVEDA (2013). Proyecto FONDECYT 1120234

5.2.2. Precipitaciones

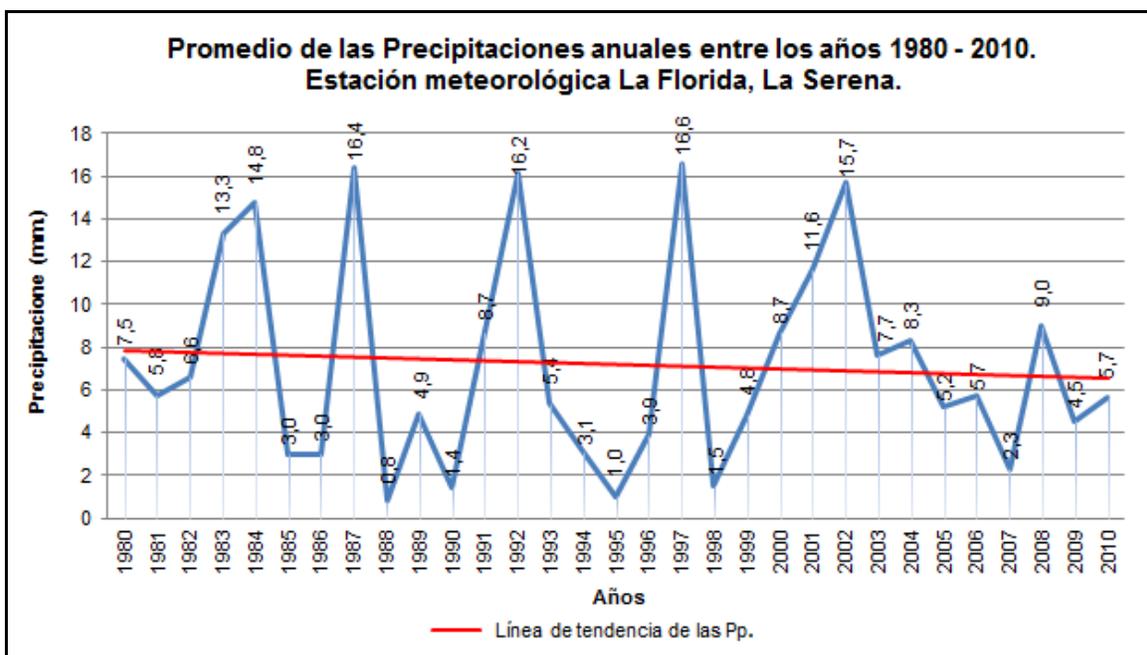
Los datos de precipitaciones a nivel anual y mensual entre 1980 al 2010, se muestran en los siguientes gráficos (Fig. N°34 y Fig. N°35)

En cuanto a las precipitaciones anuales entre los años 1980 -2010, se puede observar que la tendencia va decayendo hacia los años actuales, aproximadamente, en 1 punto, por lo cual se estima una desertificación leve para la zona entre esos años.

Es importante observar, en el gráfico, que existen años en que las precipitaciones fueron intensas, siendo los años 1987, 1992 y 1997, los que presentan mayores alzas en la representación, indicando valores que en promedio son mayores a 16mm, que para la zona son valores que van desde los rangos moderados a intensos, según la tabla de la ONEMI (ARLEGUI, 2013), eso se debe principalmente a periodos de fenómeno de El Niño ocurridos en esos años; a diferencia de los años 1988, 1990 y 1995 que presentan precipitaciones bajas, débiles y sequías en la zona, vinculándose al fenómeno de La Niña.

El promedio general de precipitaciones durante los 30 años, tiene un valor de 7,2 mm, por lo cual al calificarlo en la tabla de la ONEMI, este se sitúa en precipitaciones de normales a moderadas, aunque con potencial a la desertificación.

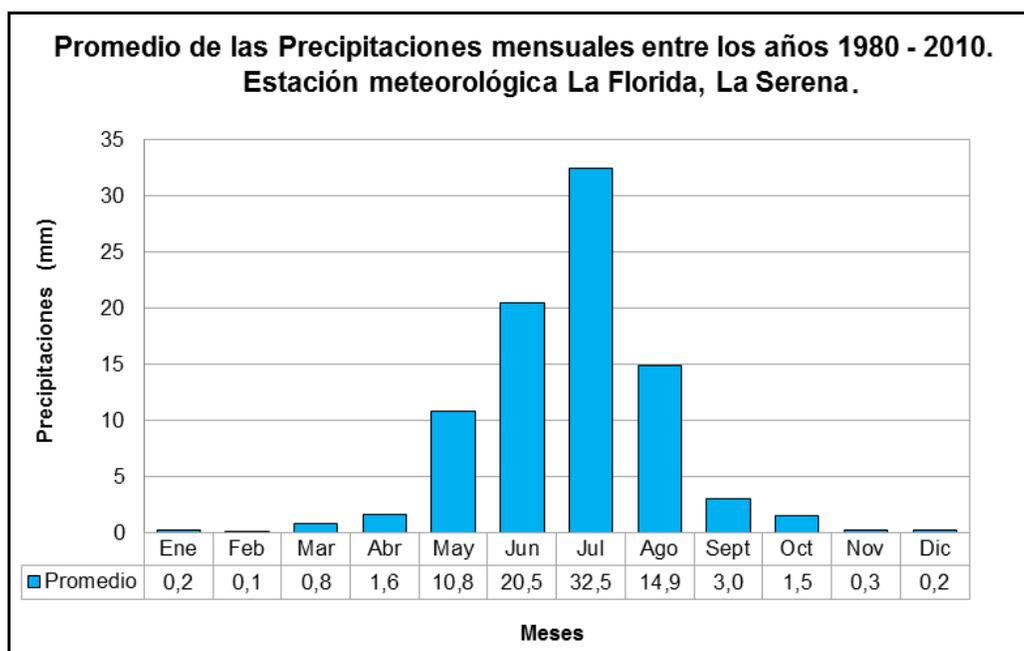
Figura N°34: Gráfico del promedio de las precipitaciones entre 1980 – 2010.



Elaboración propia a partir de los datos de Dirección Meteorológica de Chile. Proyecto FONDECYT 1120234

Por otro lado, en cuanto a las precipitaciones a nivel mensual entre los años 1980 al 2010, se muestran en el siguiente gráfico, que los meses que más se concentran las precipitaciones son los meses de julio, junio y agosto, respectivamente, que comprenden a la temporada de invierno. Es importante mencionar que los otros meses, a excepción de mayo, los niveles de precipitaciones no alcanzan a llegar a los 5 mm, por lo que la región, y el área de estudio, se abastecen con las cantidades que se desprenden de esos meses.

Figura N°35: Gráfico del promedio de precipitaciones mensuales, entre 1980 – 2010.



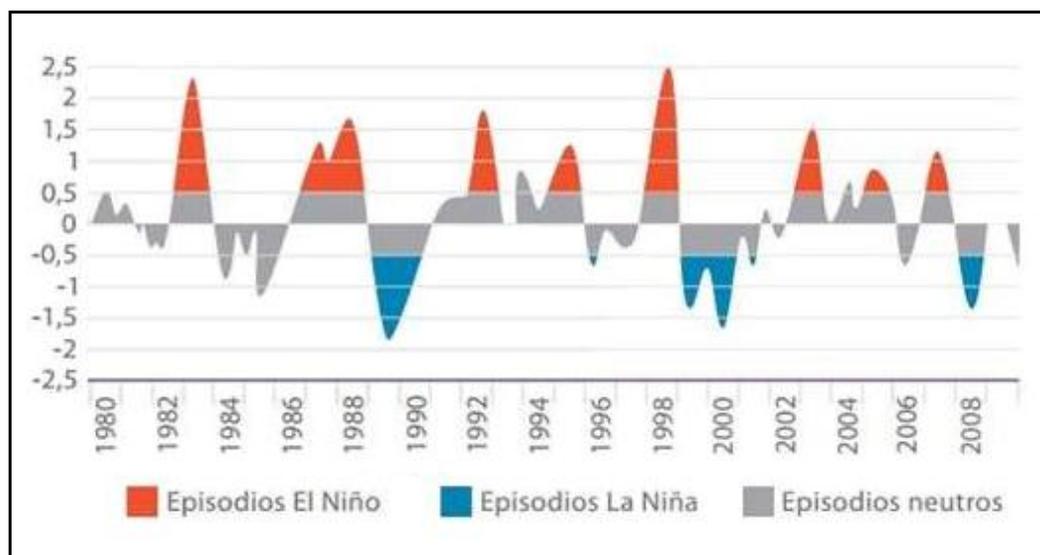
Elaboración propia a partir de los datos de Dirección Meteorológica de Chile. Proyecto FONDECYT 1120234.

En cuanto a los periodos ENSO, el sistema oscila entre cálido (El Niño) y neutral o frío (La Niña). El comportamiento histórico de los eventos muestra una alternancia periódica, donde se presentan los años 1982-1983, 1987-1988, 1991-1992, 1997-1998 y 2002, y un con notables en las precipitaciones de esos años (Fig. N°36 y Fig. N°37).

Los promedios anuales de precipitaciones en periodo Niño para la zona, poseen un valor de 15,5 mm, que se designan como moderadas a intensas, por lo cual según estas condiciones pueden causar posibles alteraciones al ambiente e inestabilidad.

Cabe mencionar, que dentro de los datos como son promedios anuales los valores varían, por ejemplo, para año 1998 se considera Niño, sin embargo, al calcularlo anualmente baja sus valores, por el poco tiempo que duraron las precipitaciones.

Figura Nº36: Gráfico de los periodos ENSO oceánicos, entre 1980 - 2008



Fuente: Extraído parcialmente de COMUNIDAD ANDINA (2009)

Figura Nº37: Tabla de Periodos ENSO entre 1980 - 2009

Años	Eventos	Años	Eventos
1980	Sin Evento	1995	Sin Evento
1981	Sin Evento	1996	Sin Evento
1982	Niño	1997	Niño
1983	Niño	1998	Niño
1984	Sin Evento	1999	Niña
1985	Sin Evento	2000	Niña
1986	Sin Evento	2001	Niña
1987	Niño	2002	Niño
1988	Niña	2003	Niño
1989	Niña	2004	Niño
1990	Sin Evento	2005	Sin Evento
1991	Niño	2006	Niño
1992	Niño	2007	Niña
1993	Niño	2008	Niña
1994	Niño	2009	Sin Evento

Fuente: Extraído parcialmente de MONASTERIO et al, (2011)

- **Situación de Precipitaciones para provocar remociones en masa**

A nivel general, se estima que las precipitaciones, entre esos años, han sido importantes sobre todo cuando se concentran en periodos Niños que son antecidos por fenómenos Niña, es decir, cuando hay periodos secos y luego se presentan lluvias con intensidades significativas, lo que cambia la calificación provocando que exista inestabilidad en los cordones montañosos, generando movimientos en masa.

En lo que respecta al ÍNDICE FOURNIER MODIFICADO (IFM), que mide la agresividad de precipitaciones y sus niveles erosivos (Tabla N°32). Se presentan los años donde hubo mayor agresividad pluviométrica, siendo el año 1984 el más fuerte de todo los registros anuales. Éste se concentra en un mes, específicamente en julio, donde las lluvias alcanzan los 176,7mm, no vinculándose al fenómeno climático a ENSO. Sin embargo, para los años 1983, 1987, 1992 y 1997 si presentan agresividad por Niño. Es importante analizar estos puntos ya que entre el 1987 a 1997, el fenómeno se produjo cada 5 años, por lo cual al haber presentado años seguidos de Niño.

En lo que respecta a los demás años, poseen un rango “Muy bajo” de agresividad (valores de 0-60) por lluvias caídas, por lo cual una dinámica importante y erosiva, en la zona, debe haber ocurrido en los años mencionados ya que poseen significativas agresividades.

Tabla N°32: Resultados representativos del Índice de FOURNIER Modificado

Años	IFM	Clasificación
1983	107,3	Moderado
1984	175,9	Muy alto
1987	149,3	Alto
1992	131,9	Alto
1997	77,6	Bajo

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

En cuanto al promedio, de los periodos de registro (1980 – 2010), se obtuvo un valor de IFM de 43,1, indicando que en 30 años existe un rango “Muy bajo” de agresividades pluviométricas y por ende un grado de erosividad bajo.

HAUSER (1993), menciona que el poder desencadenante de las lluvias en ambientes cordilleranos, en el centro del país, son de 60 mm en 24 horas. Si estos valores se visualizan en ambientes costeros del semiarido, los procesos no son iguales por tener sistemas morfoclimáticos diferentes. Sin embargo, en el área de estudio se presentaron umbrales por sobre los 60 mm en 24 horas, es así que según los datos de las precipitaciones max. en 24 horas, muestran que para julio de los años 1983, 1984, 1987 y 2001, presentaron estos valores de precipitaciones en 1 día. Además, junto con junio del año 1992. De esta manera, se podrían considerar a estas fechas como posibles desencadenadoras de remociones en masa en el área de estudio.

Por otro lado, en cuanto a un periodo de retorno del fenómeno del Niño, ONEMI (2014), menciona que para el presente año, los modelos de pronóstico ENSO no mostraron un cambio significativo, lo que indica la continuación de ENSO-neutral. Sin embargo, los pronósticos de la Temperatura Superficial del Mar de los diferentes centros de monitoreo internacionales, indican que se mantendrá la condición neutra hasta fines de otoño y posteriormente con una mediana probabilidad de iniciar un evento El Niño, desconociéndose hasta ahora cual será su intensidad y duración.

5.3. HIDROMORFOMETRÍA

5.3.1. Sistemas hidrológicos en el área de estudio

A nivel general, el sistema hídrico del área de estudio, se compone de quebradas intermitentes que escurren sólo en estaciones de lluvia (junio, julio y agosto, principalmente). El escurrimiento cesa en periodo estival o inmediatamente después de las tormentas.

Se analizaron 11 sistemas hidrológicos en el área de estudio, que contenían un dren principal (Tabla N°33), siendo estas:

- Las Tacas (Totoralillo)
- Las Lozas (Totoralillo)
- El Pastor (Guanaqueros)
- Tongoicillo (Guanaqueros)
- Honda (Guanaqueros)
- Arrayan (Tongoy)
- Portugues (Tongoy)
- Los Pangués (Tongoy)
- Camarones (Tongoy)
- Los Almendros (Tongoy)
- Los Litres (Tongoy)

En cuanto al tamaño, por medio de su superficie, se clasificó en tres sistemas principales, siendo estos: Los sectores hidrológicos, las microcuencas y una gran subcuenca principal (Fig. N°38).

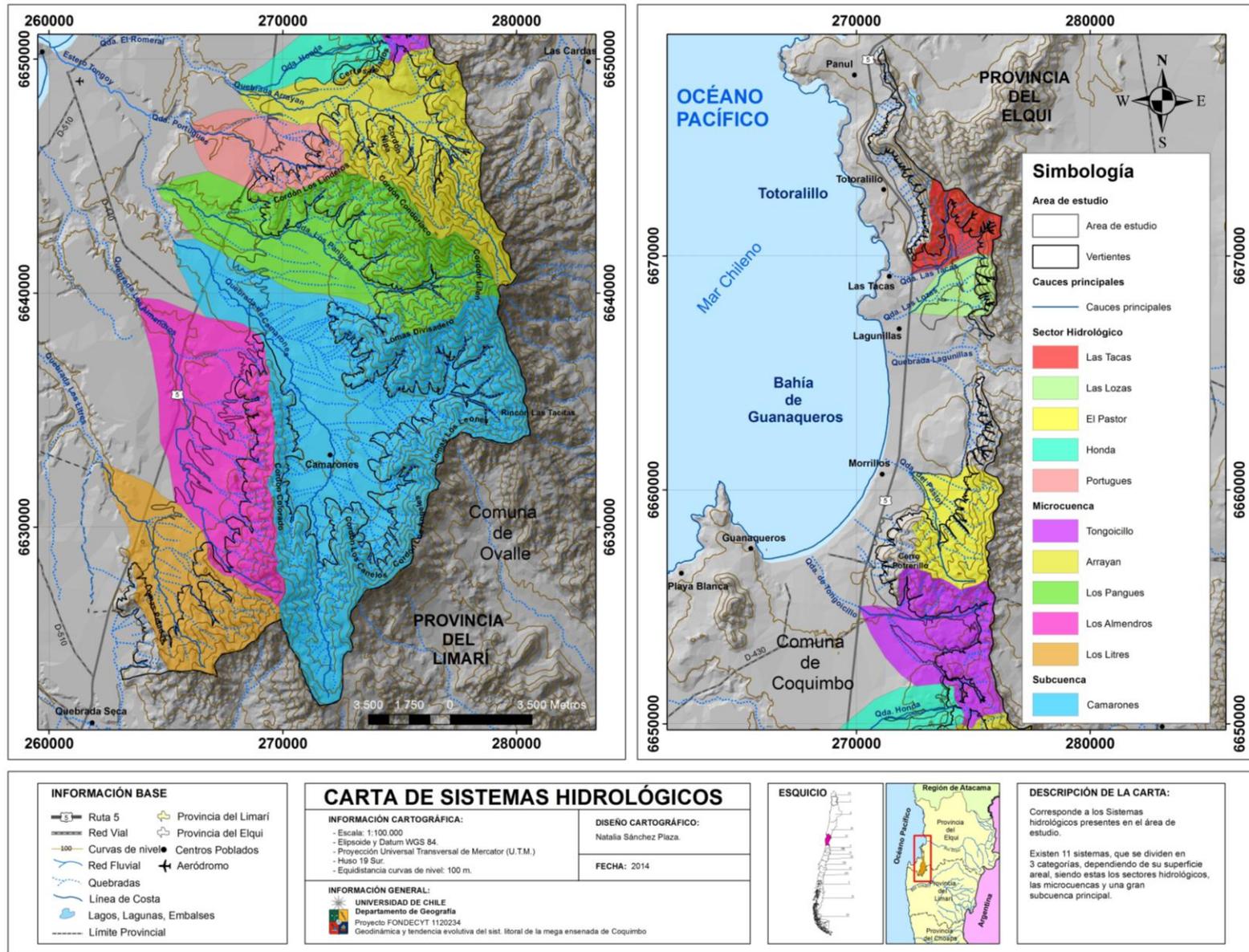
Tabla N°33: Sistemas hidrológicos del área de estudio

	Perimet. (Km)	Área (Km ²)	Clasificación (según área)	Sistema hidrológico					Cauce Principal			Cauces	
				h Max (m)	h Min (m)	h Med. (m)	Long. (Km)	Ancho (Km)	LCP* (m)	h Max (m)	h Min (m)	N°total cauces	LTC* (Km)
Las Tacas	13,9	8,6	Sector hidrológico	700	34	298,6	4,1	2,1	4768	463,4	28,6	15	20,8
Las Lozas	10,7	6,8	Sector hidrológico	650	28,8	169,2	4,3	1,6	4385	355,2	27,2	8	13,2
El Pastor	17,5	14,9	Sector hidrológico	724,2	25,9	301,5	5,4	2,8	6140	409,5	25	20	32,6
Tongoicillo	23,2	23,4	Microcuenca	572,9	75	250,4	5,8	4,0	5885	325	75	23	36,4
Honda	16,3	11,3	Sector hidrológico	475	92,1	193,4	6,8	1,7	7509	325	85,6	9	14,5
Arrayan	38,4	44,3	Microcuenca	1250	100	493,2	14,3	3,1	17627	1150	100	43	79,6
Portugues	17,0	17,1	Sector hidrológico	675	25	173,1	6,9	2,5	7503	592,1	25	12	28,0
Los Pangues	37,2	54,9	Microcuenca	1282,7	25	391	15,3	3,6	17148	1151,1	25	51	97,3
Camarones	64,3	122,7	Subcuenca	1300	50	421,8	20,7	5,9	26192	715,7	50	196	289,4
Los Almendros	33,9	49,8	Microcuenca	865,7	50	210,6	14,5	3,4	17395	788	50	34	68,7
Los Litres	27,2	30,6	Microcuenca	925	100	302,7	10,3	3,0	11374	615,1	100	23	52,2

* LCP: Largo Cauce Principal / LTC: Largo Total Cauces

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°38: Cartografía de Sistemas hidrológicos del área de estudio



5.3.2. Índices hidromorfométricos

En la Tabla N°34 y Fig. N°42, se muestran los resultados de los índices hidromorfométricos para el área de estudio. Se calcularon individualmente los 11 sistemas (Anexo N°3), y se agruparon según tamaño para el siguiente análisis.

- **Sector Hidrológico:**

Los sectores hidrológicos, corresponden a Las Tacas, Las Lozas (Fig. N°39), El Pastor, Honda y Portugues, estos asumen parámetros Hidromorfométricos bajos mayoritariamente (inversamente proporcionales), de manera que según resultados indican que a menor valor hidromorfométrico mayor potencial a formaciones de crecidas poseen y por ende mayor amenaza a remociones con carácter de flujo y deslizamiento.

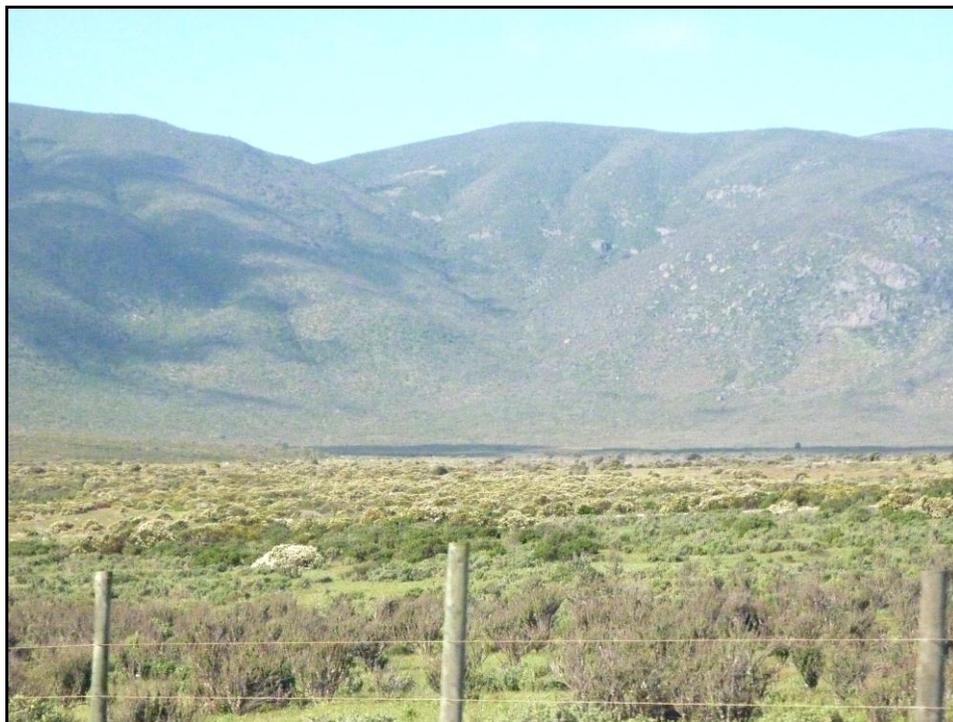
En cuanto a sus desniveles altitudinales poseen pisos bajos, donde existe escasa protección climática, porque no poseen ecosistemas desarrollados, por lo cual, las precipitaciones al impactar son de gran fuerza, lo que genera concentraciones en los escurrimientos superficiales y formaciones de crecidas. Más aún cuando sus resultados de compacidades poseen rangos ovalados a redondos (más redondos mayor crecida).

Por otro lado, en cuanto a la forma de los sectores hidrológicos estos son moderadamente achatados, lo que indica que tienen una dinámica rápida de las aguas abajo, debiéndose a la escasa cantidad de drenes que las sustentan (se corrobora con sus estructuras y jerarquías de redes de drenaje, ya que exhibieron resultados de medio a bajo). Por lo demás, presentan indicadores de poco alargamiento en sus estructuras mostrando una insuficiencia evolutiva al absorber mejor las lluvias de los lugares, ya que al ser alargados poseen más distancia y por tanto mayor cantidad de drenes.

También, tienen ubicaciones del tipo semi-montañosa a montañosa, permitiendo pendientes fuertes, tanto para el relieve como para el cauce principal. Es así que se generan un transporte de material importante, con una densidad y frecuencia moderada.

A nivel general, estos espacios tienen un potencial a erosivo importante, vinculándose a secciones con procesos gravitacionales significativos, por sus concentraciones de agua.

Figura N°39: Sector hidrológico Las Lozas



Vista panorámica del sector hidrológico de Las Lozas (Totoralillo). En se muestra un sistema donde está poco desarrollado, sólo se ve un sistema principal en el cual presenta una escasez de afluentes. Además las inclinaciones son importantes lo que tienen una dinámica rápida aguas abajo. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234*

- **Microcuencas:**

Las microcuencas presentes en el área de estudio, se toma a Tongoicillo, Arrayán (Fig. N°40), Los Pangues, Los Almendros y Los Litres, estos sistemas muestran, en su mayoría, semejanzas en cuanto a su nivel medio a alto, en los indicadores (por lo cual poseen potenciales erosivos medios a bajos). Es así que, con respecto a los desniveles altitudinales poseen pisos de bajos a medianos, por lo cual existe un desarrollo de ecosistemas que atenúan las precipitaciones y las temperaturas en la zona, por lo cual las lluvias impactan de menor forma, causando que los flujos se desplacen de manera calma y mitigando los procesos de crecidas. Junto con los desniveles, los parámetros de compacidad que presentan son de ovalados a alargados, por lo cual las concentraciones

de escurrimientos superficiales son de carácter más suave, comprendiendo que la dinámica de los cauces es más ligera, por sus niveles de achatamiento (forma) y alargamiento, que vinculan un desarrollo evolutivo de los sistemas al infiltrar las aguas.

En cuanto a su localización se presentan en sectores montañosos, pero al tener superficies con mayores áreas extensiones, estos presentan pendientes moderadas lo que genera cauces con pendientes medias en su trayecto total.

Sus estructuras de redes de drenaje contemplan valores medios con ramas dendríticas importantes y desarrollando un sistema complejo de cauces, de manera que al tener mayores *talwegs*, se puede tomar desde dos visiones, uno que contempla un mayor transporte de material y un potencial de desgaste por existir más flujos y otra es que posee menos fuerza y velocidad erosiva (densidad y frecuencia).

Figura N°40: Microcuenca de Arrayán



Vista panorámica de la microcuenca de Arrayán (Guañueros). Se presenta en la fotografía que el sistema tiene una extensión importante donde los afluentes se congregan en un gran flujo principal. Tiene una mejor estructura en sus drenes y en sus forma en general. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Octubre 2012. Proyecto FONDECYT 1120234*

En general, estas microcuencas tienen un potencial a erosivo moderado, ya que posee una estructura que hace que los materiales desciendan más lentos, sin embargo, al presentar una cantidad mayor de drenes genera que exista un potencial a los flujos y deslizamientos en la zona, pero menos arrasador.

- **Subcuenca:**

La subcuenca de Camarones representa la más significativa, en tamaño y en parámetros hidromorfométricos (Fig. N°41). Esta subcuenca posee los indicadores más estables en los regímenes hidrológicos, debido a que posee indicadores que resultaron con mayor valor; es así que este sistema se muestra con un desnivel altitudinal con un rango mediano, indicando que sus pisos altitudinales son módicos y que comprenden ecosistemas para la protección climática en general. En lo que respecta a la compacidad, se presenta alargado, con concentración baja de agua de los cauces superficiales. Lo mismo ocurre con su forma achatada, que sujeta menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas en su estructura.

Además, esta subcuenca, posee un sistema de drenaje con un alto grado de evolución, teniendo la capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones (indicador de alargamiento). Junto con ello la densidad y frecuencia de sus drenes son moderadas revelando un menor transporte de materiales y potencial de erosión. Esto se debe, principalmente a que tiene una estructura jerárquica de drenes altas y complejas, lo que la hace que los sistemas sean estables y ordenados; no obstante, a pesar de su nivel alto de drenes existe un desarrollo importante de flujos y deslizamientos pero más paulatino.

Finalmente, a pesar de su ubicación montañosa, con alturas y pendientes fuertes, su superficie es extensa lo que genera bajas considerables de inclinación logrando que los drenes y el cauce principal posea una pendiente suave, dando una velocidad baja a escurrimiento y a los depósitos asociados que trae consigo.

Figura N°41: Subcuenca de Camarones



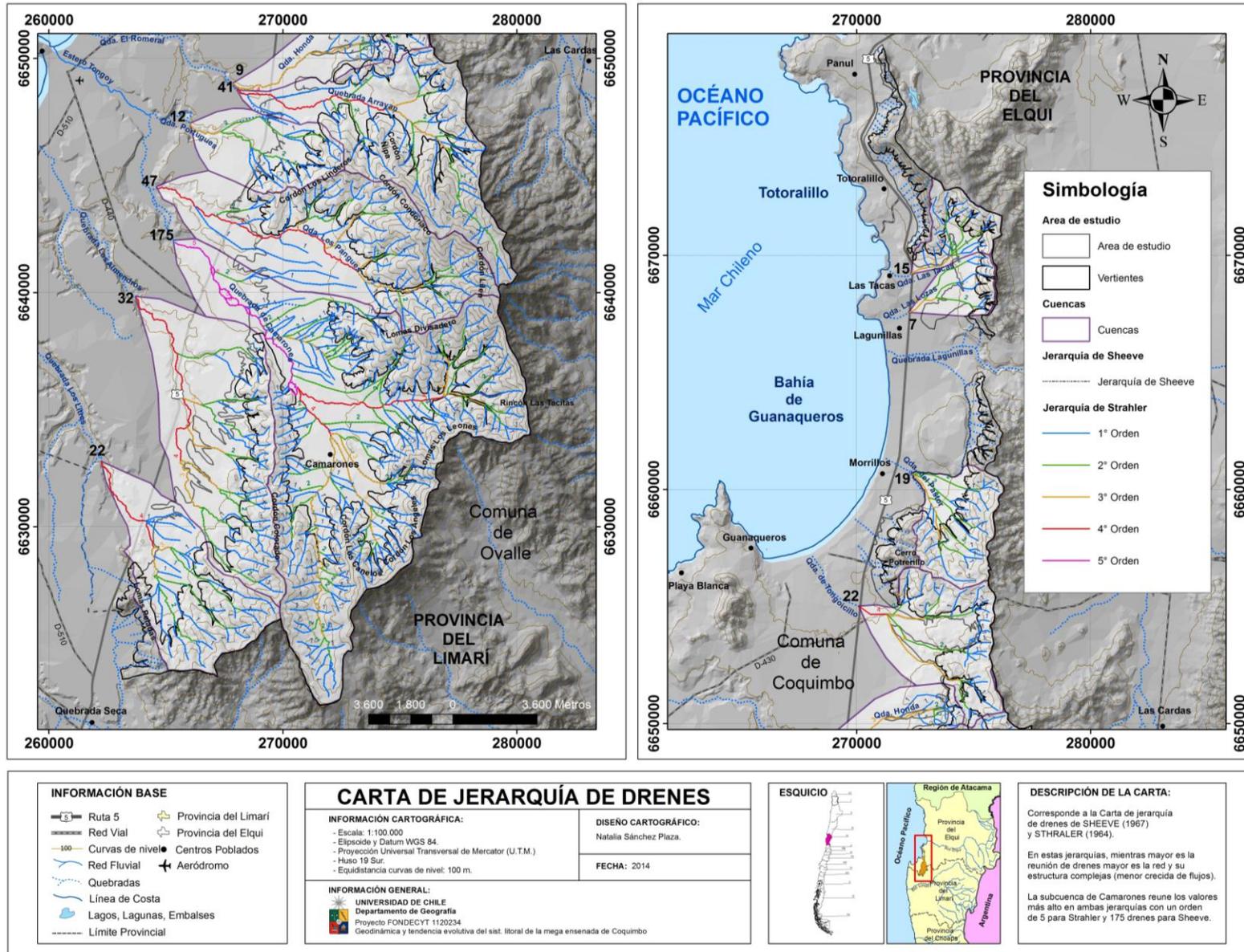
Vista panorámica de la subcuenca de Camarones (Tongoy). Se aprecia una estructura con dimensiones que abarcan kilómetros. Por otro lado, se muestra una compleja red de drenes que se dirigen a un flujo principal. Es un sistema bien desarrollado y con una alta evolución. *Fotografía: Elaboración propia en campaña de terreno, Enero 2013. Proyecto FONDECYT 1120234*

Tabla N°34: Índices Hidromorfométricos de los sistemas del área de estudio

	Desnivel altitudinal (Desn)	Coef. de Compac. (K _f)	Coef. de Forma (K _f)	Índice de Alargam. (I _A)	Coef. de Masividad (K _m)	Densidad de drenaje (D)	Frecuencia de drenaje (F)	Pend. cauce principal (P _{cp})	Jerarquización	
									Strahler (1964)	Shreve (1967)
Las Tacas	666	1,34	0,51	1,99	35	2,42	1,74	0,09	3	15
Las Lozas	621,2	1,16	0,37	2,64	25	1,94	1,17	0,07	3	7
El Pastor	698,3	1,28	0,51	1,93	20	2,19	1,34	0,06	3	19
Tongoicillo	497,9	1,35	0,70	1,43	11	1,56	0,98	0,04	4	22
Honda	382,9	1,37	0,24	4,15	17	1,29	0,80	0,03	3	9
Arrayan	1150	1,63	0,22	4,59	11	1,80	0,97	0,06	4	41
Portugues	650	1,16	0,36	2,76	10	1,63	0,70	0,08	3	12
Los Pangues	1257,7	1,41	0,23	4,26	7	1,77	0,93	0,07	4	47
Camarones	1250	1,64	0,30	3,50	3	2,36	1,60	0,03	5	175
Los Almendros	815,7	1,36	0,24	4,20	4	1,38	0,68	0,04	4	32
Los Litres	825	1,39	0,29	3,45	10	1,71	0,75	0,05	4	22

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

Figura N°42: Cartografía de Jerarquía de drenes del área de estudio



5.4 SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA

5.4.1. Índice de susceptibilidad a Remoción en masa

El análisis que se realizó situaba a una superficie amplia, de manera que los cálculos que arrojaron corresponden a una ponderación general del territorio a susceptibilidad a remociones en masa por factores condicionantes (Tabla N°35 y Fig. N°43).

Tabla N°35: Áreas y porcentajes de los valores de Susceptibilidad a Remoción en masa

Susceptibilidad	Área (Há)	Porcentaje (%)
Baja	10.297	31
Media	8.440	26
Alta	12.158	37
Muy Alta	1.423	4

Fuente: Elaboración propia. Proyecto FONDECYT 1120234

La respuesta de susceptibilidad, por factores condicionantes, corresponde a datos de carácter Alto, con un 31% en el área de estudio. Sin embargo, existen áreas importantes que se encuentran con una susceptibilidad con rangos Bajos y Medios (31% y 26%, respectivamente).

Es así que la susceptibilidad alta, indica que son sectores altamente preponderantes a las dinámicas de remociones, en el cual se presentan materiales fracturados, con pendientes por sobre los 20°, aproximadamente. El material se encuentra con una inestabilidad tras actuaciones naturales muy intensas. Posee una vegetación un poco firme al igual que los suelos. Más aún, presentan un sistema fluvial poco desarrollado lo que influye en un desplazamiento rápido de las aguas generando alteraciones en el transporte de los materiales. Sin embargo, al no poseer población no es un riesgo constante, pero representa una amenaza potencial aunque los sectores bajos disminuyan su intensidad. Son susceptibles el sector de las quebradas de: Las Tacas y Las Lozas, Arrayán, Los Pangues y Camarones, entre los más destacados.

Por otro lado los valores medios y bajos, también poseen un valor significativo y esto se debe a que el área comienza a desarrollarse en su extensión. En las áreas moderadamente inestables, por lo general son zonas de transición hacia otros pisos, que

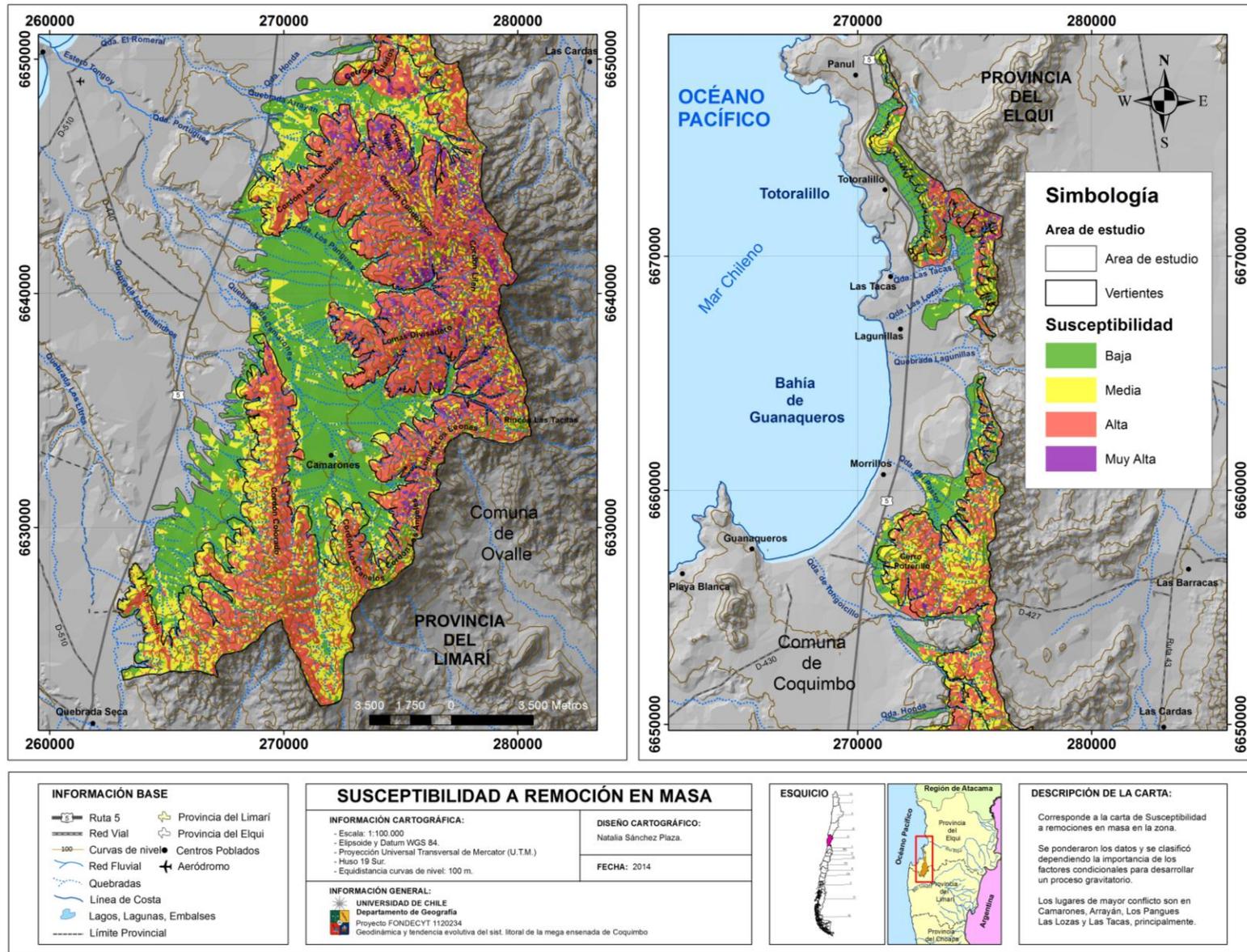
se pueden considerar como límites de estabilidad. Se presentan generalmente en los bordes de las laderas, como inicios de depósitos (conos aluviales coalescentes). Presentan suelos que se están desarrollando y pendientes más bajas; mientras que los valores bajos, que representan la segunda área más importante, son espacios con pendientes bajas y desarrollo de suelo, son espacios que al producirse un factor detonante, el terreno tiene las facultades para no desencadenar amenazas en general. Posee grandes extensiones y representan los grandes depósitos de glaciares de expansión y terrazas fluviales e incipientes terrazas marinas.

En cuanto a las zonas con susceptibilidades muy altas, que comprenden sectores pequeños del área de estudio, en especial en la zona de la Quebrada de Arrayán y Camarones, estos sectores son inestables que tras pequeñas y reducidas actuaciones de los factores naturales en el material, también de presentar pendientes mayores a 30° en general, con materiales muy sueltos y meteorizados.

En lo que respecta a cada remoción, en el área de estudio, las caídas de rocas son una amenaza de nivel medio a alto, ya que la zona, en especial, en las divisorias, se caracterizan por tener alteraciones esferoidales (procesos de caída de rocas) en sus extensiones, de manera que existe gran cantidad de material rocoso (bloques y rocas), sueltos en el área, de forma que se presentan un peligro potencial en este aspecto, sobre todo ante un evento telúrico y pluvial importante, pues la fuerza es capaz de desprender estos materiales, que se encuentran inestables; es importante recalcar, en general, que al ser altitudes poco significativas (la mayor altura representa 1200 m.), representan un carácter estable; sin embargo, sus inclinaciones abruptas pueden, en algunos sectores, pueden generar que esos niveles medio-altos pasen a ser muy altos (por la actividad inesperada de los agentes geodinámicos).

Para los deslizamientos y flujos, que para la zona son de carácter alto también, estos se deben a que el sector comprende un sistema Morfoclimático del semiárido, de manera que el lugar posee climas constantemente secos y al verse enfrentados a eventos pluviométricos fuertes y de corta duración (ENSO principalmente), los materiales se comporten inestablemente. Más siendo condicionalmente poco estable en gran parte del área de estudio (escasa vegetación, inclinaciones abruptas en ciertos sectores, poco desarrollo de suelo, además de niveles de crecidas, entre otros).

Figura N°43: Cartografía de susceptibilidad a remociones en masa del área de estudio



CAPITULO VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

6.1. Discusión

- *Dinámica de vertiente de media montaña*

La identificación geomorfológica del área de estudio, estuvo enfocada al análisis de las vertientes, los sistemas depositacionales y los talwegs asociados. Las vertientes fueron clasificadas en general como modeladas en rocas graníticas y laderas volcánicas y volcano-sedimentarias. De acuerdo a lo observado en el área de estudio y concordando con lo que ARAYA-VERGARA (1980, 2000) expone, las vertientes configuradas en materiales graníticos presentan una importante cobertura detrítica no consolidada, destacando la presencia de caos de roca, como producto de la erosión intensa del granito. Este proceso, SOTO et al. (2006, 2014), lo menciona como un activo detrificador, siendo para el área de estudio un potencial agente de movimientos en masa.

Por otro lado, las vertientes volcánicas y volcano-sedimentarias, de la Formación Agua Salada (Jas), se presentan como monoclinales del tipo conformes e inversas. Las conformes mantienen una estabilidad en cuanto a sus materiales; estas estructuras poseen poca rugosidad y la disección no altera el aspecto liso de la vertiente, como lo trabajado por SOTO *et al*, (2010), en Salamanca. Las vertientes poseen poca cantidad relativa de materiales a ser evacuados, en función del piso y dominio en el cual se encuentren con un dominio morfoclimático del semiárido es menor; mientras que las vertientes inversas exponen sus estratos en sentido contrario al buzamiento, siendo vertientes rugosas con peldaños, pero no presentando depósitos de talud. SOTO *et al* (2006), trabajó en alta montaña con estas vertientes y al igual que ellas se pueden observar caras libres marcadas por la rugosidad y desprovista de vegetación, sin embargo, ésta se presenta en un sector reducido en Camarones, por lo que no presenta dominancia. Las estructuras estratigráfica, en general, tienen un potencial a provocar deslizamiento o flujos, según la acción de agentes geodinámicos exógenos y endógenos, o simultáneamente.

SOTO et al, (2006) menciona que la relación vertiente-*talweg* (proceso dinámico), y las vertientes son los sistemas aportadores de masa y los *talwegs*, los exportadores de esta hacia otros sistemas menores, que llegan a la red de drenaje y que permiten un traspaso

de material de un sistema a otro menor, por lo cual las formas de contacto que se encuentran en el área, sean, los conos aluviales coalescentes y los glaciares, representan un proceso de *continuum* deposicional desde las vertientes hasta los *talwegs*, como lo alude HARVEY (2005), ya que mucho material sedimentario se acumula y desciende hacia niveles altimétricos en forma lenta, producto de la gravedad, como lo complementa SEREÑO (2012), en su investigación en Taltal y tal como son las evidencias encontradas en el área de estudio.

Estas formas basales, no se muestran como depósitos actuales sino más bien, concordando con ARAYA-VERGARA (1980) y SOTO *et al*, (2010), son formas desarrolladas en periodos anteriores al Holoceno (subtropical seco), perteneciente al Mioceno-Pleistoceno, de la Formación Confluencia (EMPARAN y PINEDA, 2006), con un potencial pluviométrico importante a diferencias del actual; eso se evidencia en la magnitud y ancho de las grandes formas de glaciares, que no representan el carácter de la acción morfogenética existente, tal como analiza CASTRO *et al*, (2005), en otros sistemas geomorfológicos de la zona del semiárido. Estas formas son heredadas y relictas (SOTO *et al*, 2014) y en la actualidad se reactivan ocasionalmente en eventos ENSO, en etapa El Niño.

En lo que respecta a los sistemas fluviales, estos están asociados a las cuencas de media montaña, y en consecuencia son sistemas hidrológicos de baja altura, siendo la que posee mayor altura con 1300 m. la subcuenca de Camarones y la menor con 475 m. la de Honda, los que drenan directamente a la bahía Tongoy. Los lechos fluviales están incididos en las formas de glaciares de derrame, principalmente generando un paisaje de lechos anastomosados encajados, sobre todo en las terrazas marinas y en la zona costera, que continúa al área de estudio. En los fondos de valle, se observan incipientes terrazas holocénicas, representadas por las terrazas T' y T°, sobre todo en las cuencas de Arrayán, Los Pangues y la subcuenca de Camarones, siendo esta última, junto con Arrayán, las que poseen además evidencias de pequeñas terrazas pleistocénicas (T1). Es importante destacar, como lo afirma SOTO *et al*, (2010), que estos sistemas constituyen vías de difusión morfodinámica, debido a que son lugares que permiten la exportación de materiales de un lugar a otro.

- *Dinámica y Agentes geodinámicos*

Como lo indica PADILLA (2007), la montaña como paisaje geomorfológico constituye un sistema complejo donde comienzan a interactuar una serie de geofactores, que diversifican e intensifican a diversas escalas la acción de procesos morfogenéticos. El área de estudio, se ve afectado por los agentes geodinámicos, pluviometría y sismicidad, en eventos extraordinarios.

Es importante indicar que según lo que dice HAUSER (2000) y VALDÉS (2010), cuando ocurren eventos sísmicos se configuran escenarios favorables para la generación de caída de rocas, y que cuando se producen lluvias intensas en periodos cortos de tiempo, existirá una mayor propensión al desarrollo de movimientos en masa del tipo flujos y deslizamientos. Es así que, concordando con la investigación de CASTRO et al, (2009), las precipitaciones en el área de estudio se asocian a un clima en que se caracteriza por la escasez o irregularidad meteorológica, con precipitaciones esporádicas e intensas, que aceleran considerablemente la erosión del suelo tal con las fluctuaciones de El Niño, que reactivan el funcionamiento de las cuencas, con una gran torrencialidad, que permite una variación en el grado de erosividad lo que propicia el desencadenamiento de flujos y deslizamientos en masa. En cuanto a los datos que arrojó Índice de Fornier Modificado (IFM), registró que para el año 1984, presentó una pluviosidad alta y concentrada lo que se entiende que hay una erosión importante y una alta probabilidad de remoción en masa, no obstante, para ese evento no se presentó el fenómeno del Niño; mientras que los otros valores significativos, del índice, se vincularon a épocas ENSO, en general.

En cuanto a los procesos de sismicidad, para el área de estudio, los datos determinaron magnitudes considerables con profundidades sobre los 10 km, y la probabilidad a remociones se vincula a deslizamientos y caídas, según KEEFER (1984), RODRÍGUEZ (1997) y LARA (2007), ya que los materiales desagregados se alteran con movimientos telúricos y pierden la estabilidad, pero a mayor profundidad disminuye.

Mientras que los datos arrojados por la relación Gutenberg-Richter, que propone determinar la frecuencia de sismos para un determinado período de tiempo, menciona que cada 31 años se producirá un movimiento de cualquier fuente sismogénica. De esta manera la modelación de datos extraída indica que la productividad sísmica de la región

es menor, entre los 28° a 31° Lat. Sur, debido a la a la dominancia del tipo de subducción “*flat slab*” (subducción plana), donde el cambio de ángulo de subducción llega a menos de 10°.

- *Metodologías para determinar lugares de dinámica (remociones en masa)*

Es significativo mencionar que similar al trabajo de SOTO et al, (2010), el análisis se basa en el modelo del terreno, de manera que la investigación sólo permite una primera aproximación de la distribución espacial de la susceptibilidad y no enfoca puntos específicos.

El análisis de susceptibilidad por factores condicionantes, según CARRASCO et al. (2002), el principal problema a resolver es la definición de los factores implicados y los pesos, ya que puede variar en función del contexto del lugar. De esta manera, y de acuerdo a la metodología planteada, los rangos definidos fueron las pendientes, ya que CARTAYA et al, (2010) indica que la inclinación revela las condiciones de rugosidad natural del terreno (grados de inclinación), de forma que la relación entre la ocurrencia de movimientos de laderas y la pendiente es innegable (CARDOZO, 2013), de forma que se hace entendible su alta ponderación (pesos). Junto con lo anterior, la geología también es una de las variables más significativas, debido a que la resistencia de cada material, determina la estabilidad de la vertiente o talud, según coinciden CARTAYA et al, (2010) y CUEVAS (2012), razón por la cual ambas categorías califican con los mismos pesos altos. Por otro lado, la vegetación, posee una ponderación importante, puesto que como MESINA (2003) y CHAVEZ (2005) plantean, la vegetación tiene un rol de protección contra los procesos de remociones en masa, de manera que al poseer poco, como ocurre en el área de estudio, se transforma en un condicionante importante.

En lo que concierne a la respuesta de susceptibilidad por factor condicionante para el área de estudio, el método arrojó que existe un nivel alto a susceptibilidad, principalmente en Las Tacas y Las Lozas (Totoralillo), Arrayán, Los Pangues y Camarones (Tongoy).

En cuanto al método hidromorfométrico, los rangos están establecidos por autores clásicos, de manera que no hay que combinar ni asociar pesos a diferencia de la

metodología anterior. Los valores bajos generan crecidas de escurrimiento, que son potenciales en ocurrencia de flujos y deslizamientos. Entre los valores más bajos y propensos se encuentran los sectores hidrológicos de: Las Tacas, Las Lozas, El Pastor, Honda y Portugues.

Sí se complementa la información hidromorfométrica con la condición susceptibilidad de las laderas, la subcuenca de Camarones posee los indicadores más estables en los regímenes hidrológicos, debido a que la cuenca posee una superficie con dimensiones considerables, además de una estructura jerárquica de drenes altos y complejos (según todos los indicadores utilizados), lo que hace que los sistemas sean estables y ordenados. De esta manera, tiene factores condicionantes que los desfavorece, pero a la vez, al tener un nivel alto a desarrollo estructura de cuencas y de drenes, sustentan el proceso de una remoción en masa en el sector. De igual manera ocurre con la quebrada de Arrayan y Los Pangues. Sin embargo, en Las Tacas y Las Lozas, los rangos de susceptibilidad y mediciones hídricas de las cuencas, manifiestan un sector proclive a situaciones de remociones en masa, ya que presenta una baja red hidrológica y altos valores Hidromorfométricos, además de una susceptibilidad a remociones por factores condicionantes alta.

6.2. Conclusión

A modo de conclusión, de acuerdo a los objetivos trabajados, se puede decir que los sistemas de media montaña poseen una dinámica estable en cuanto a la condición propia de los sistemas y a los agentes geodinámicos.

En lo que respecta al análisis del área de estudio, es importante indicar que estos paisajes de media montaña, en ambiente de cordillera de la costa con influencia litoral, presentan una condición dinámica determinada como moderada, si se compara con ambientes de alta montaña o de otros dominios morfoclimáticos.

El primer objetivo de la investigación, las unidades geomorfológicas identificadas fueron las vertientes graníticas y monoclinales, los conos aluviales coalescentes y las formas de glacis, como formas de contacto; junto con las formas fluviales con características anastomosadas y desarrolladas bajo los grandes escarpes. Los depósitos y sistemas

fluviales representan un origen anterior al Holoceno (principalmente Mioceno-Pleistoceno). Todos los sistemas se ven relacionados bajo una respuesta dinámica a eventos pluviométricos y sísmicos.

El análisis de los agentes geodinámicos (como segundo objetivo), en la actualidad se mantienen estables por los últimos 10 años, por lo cual se considera una dinámica media a baja. El análisis de 30 años pudo establecer que los agentes geodinámicos han provocado ciertos movimientos en masa, en eventos extraordinarios que deben ser analizados con mayor atención, (ENSO para pluviometría y para sismos magnitudes sobre 7,5 Ms). Los periodos de retornos para los sismos se pronostican cada 31 años aproximadamente y para las lluvias por Fenómeno del Niño, se estima que se están presentando las condiciones para que el 2015 aparezca el evento, por lo cual se debe estar en constante monitoreo en la zona.

En cuanto a los indicadores hidromorfométricos, como tercer objetivo, los valores más altos representaban sistemas hidrológicos estables, con niveles estructurales más desarrollados y sistemas de drenajes complejos y mayores (mayor desnivel altitudinal, mayor compacidad, forma achatada, mayor alargamiento, entre otros indicadores), lo que permite una susceptibilidad menor; mientras que los valores bajos generan crecidas de escurrimiento, y sistemas menos desarrollados que son potenciales en ocurrencia de flujos y deslizamientos. Entre los valores más bajos y propensos se encuentran los que se clasificaron como sectores hidrológicos, siendo Las Tacas, Las Lozas, El Pastor, Honda y Portugués.

Por otro lado, el cuarto objetivo, susceptibilidad de remociones en masa por factores condicionantes, el área de estudio presenta una situación de carácter alto en cuanto a propensión a remociones, tomándose como factores principales la pendiente, geología y vegetación. Las zonas con mayor susceptibilidad fueron los sectores de las quebradas de Las Tacas, Las Lozas, El Arrayán, Los Pangues y Camarones.

En cuanto a la definición de la tendencia evolutiva de los sistemas del área de estudio, a partir de las características morfoestructurales y geodinámicas, se establece como moderada debido a que no se presentan materiales nuevos, siendo los únicos lugares donde hay procesos de transferencia de materiales en lechos de los sistemas fluviales.

Junto con lo anterior al hablar de dinámica actual es imposible no asociar a procesos de remociones en masa, de esta manera al cruzar la información de los sistemas Hidromorfométricos y de susceptibilidad a factor condicionante se estima que los lugares más propensos a desarrollar procesos de remociones en masa son los sectores próximos a la quebrada de Las Tacas y Las Lozas, potencian más su susceptibilidad, por su condición estructural de poca contención a crecidas de agua.

6.3. Recomendaciones

Los métodos de trabajo utilizado en la investigación contemplan varias metodologías que tratan de mostrar en planos generales los procesos de los sistemas de media montaña del área de estudio. No obstante, se sugiere realizar estudios más detallados de factores detonantes para la zona, puesto que varios temas no fueron tratados en esta investigación y que deben ser estudiados con mayor profundidad.

A modo de recomendación, además, se estima que se debe generar un catastro completo de remociones de la zona, para determinar a una escala adecuada la tipología de remoción presentes, ya que una de las limitantes del estudio, fue el realizar el inventario de remociones en el área de estudio por la dificultad al acceso del lugar, puesto que comprendía varias hectáreas por lo cual se hizo imposible visitarla por completo, más en dos periodos de terreno (de 3 días cada uno). Otra dificultad que se presentó en realizar el catastro fue que el área de estudio pertenecía a diferentes propiedades privadas que en algunos casos se nos prohibió la entrada.

Por otra parte, como propuesta para las zonas en cuanto a su nivel de amenaza media a alta, es importante advertir y evaluar cualquier tipo de construcción en las laderas identificadas, junto con generar una protección y forestación de las vertientes que estén propensas a sufrir remociones en masa para permitir al suelo una mayor estabilidad.

CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, G; RIQUELME, R; MARTINOD, J; DARROZES, J. 2013. Rol del clima y la tectónica en la evolución geomorfológica de los Andes Semiáridos chilenos entre los 27-32°S. *Andean Geology. Revista Geológica de Chile*, vol. 40 (1) (pág. 79-101).

AGUILAR, V; MENDOZA, D. 2002. Aproximación a un modelo de Susceptibilidad a movimientos en masa en el Eje Cafetero, Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

ARAYA, C; ACUÑA, D. 2012. Proyecto Central Eléctrica Luz Minera. Informe De Riesgos Naturales. Presentación al Servicio Evaluación Impacto Ambiental (SEIA). CODELCO.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1980. Evolución de las Vertientes y Morfogénesis Fluvial en el Dominio Subtropical Seco según la Carta Geomorfológica detallada (Ej: Chile Semiárido). *Revista Informaciones Geográficas*, vol. 27 (pág. 3-44). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1985. Análisis de la Carta Geomorfológica de la Cuenca del Río Mapocho, *Revista Informaciones Geográficas*, vol. 32 (pág. 31-47). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ARAYA-VERGARA, J.F. 2000. Desarrollo de Superficies de Aplanamiento Disectadas sobre Coast Range en la Región del Maule, Chile Central. *Revista Informaciones Geográficas*, vol. 34 (pág. 67-90). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ARLEGUI, M. 2013. Modelo para la gestión de riesgo por remoción en masa: flujos de barro en la zona central, aplicación en San José de Maipo. Informe de práctica profesional. Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI). Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Universidad de Chile.

BARRIENTOS, S; KAUSEL, E. 1993. Principales características sísmicas del terremoto de marzo de 1985. In *Ingeniería Sísmica, el caso del sismo del 3 de marzo de 1985*. Instituto de Ingenieros de Chile. Ediciones Pedagógicas Chilenas S.A., pp. 41 – 63.

BELLO, M; MATURANA, J; MANLEY, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. Departamento de Oceanografía. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA)

BLAIR, T; MC PHERSON, J. 1994. Alluvial Fans Processes and Forms. *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman & Hall, London.

BOX, M. 1983. Un aspecto del modelado de la Cuenca de Busot: los glaciares. *Investigaciones Geográficas*, vol. 1 (pág. 181-198). Universidad de Alicante, Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.

CARDOZO, C. 2013. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Tesis de Magister en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias.

CARRASCO, R; DE PEDRAZA, J; MARTÍN-DUQUE, J; MATTERA, M; BODOQUE, J; SANZ M; DÍEZ-HERRERO A. 2003. Cartografías de Zonas de Susceptibilidad o Propensión a los Movimientos en Masa en el Valle de Jerte (Sistema Central Español). En AYALA-CARCEDO, F; COROMIDAS, J. *Mapas de Susceptibilidad a los Movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España*. Instituto Geológico y Minero de España, 133-154.

CARTAYA, S; PACHECO, H; MENDEZ, W; CARRERA, J. 2010. Validación de la técnica compensatoria aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa. SAPIENS. vol.11

CASTRO, C; BRIGNARDELLO, L. 2005. Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos. Orientaciones para la protección, usos y aprovechamiento sustentables del sector de Los Choros, Comuna de la Higuera, IV Región. Revista de Geografía Norte Grande, vol. 33 (pág. 33-58)

CASTRO, C; SOTO M. V; FERNÁNDEZ, R; MARKER, M; RODOLFI, G. 2009. Impacto en la geodinámica actual del valle de Nantoco, cuenca del río Copiapó, asociado a la reconversión productiva. Revista geográfica Norte Grande, vol. 42 (pág. 81-99).

CEPEDA, J. 2008. Los Sistemas Naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena (pág.13-37).

CHÁVEZ, C. 2005. Amenazas Naturales en Media y Baja Montaña asociados al Corredor de Comercio Las Leñas, VI Región Del Libertador Bernardo O'Higgins. Universidad de Chile. Memoria para optar al título de Geógrafa. Profesora Guía: Carmen Paz Castro.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN), 2005. Estudio Agrológico IV Región. Descripciones de Suelos. Materiales y Símbolos. Publicación 129. Ministerio de Agricultura. Chile.

CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL UNIVERSIDAD DE CHILE [en línea] <<http://www.sismologia.cl/>> [consulta: octubre 2013]

COMUNIDAD ANDINA. Atlas de las Dinámicas del Territorio Andino 2009. Por Encima de la Tierra [en línea] <http://www.comunidadandina.org/predecan/atlasweb/chapters/el_nino_y_la_nina/index.html> [consulta: julio 2013]

COROMINAS, J. 1989. Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. En: J. Corominas (Ed.). Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales. Monografía

COROMINAS, J. 2004. Tipos de rotura en laderas y taludes. In Carlos López Jimeno (editor). Ingeniería del Terreno (Ingeo. Ter 4). E.T.S. I. Minas.

CRUDEN, D. M; VARNES D.J. 1996. Landslide types and processes. In A. K. Turner y R.L. Schuster (Editores): Landslides. Investigation and mitigation.

CUEVAS, M. 2012. Análisis de Susceptibilidad de Remoción en Masa en la Localidad de Cocholgue, Comuna de Tomé, Región del Biobío. Chile. Universidad de Concepción. Tesis para optar al título de Geógrafo. Profesor Guía: Dra. Carolina Del Pilar Martínez Reyes

DE PEDRAZA J, 1996. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid. Cap. 8 Procesos Glaciares. (pág.150).

DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL PLAN REGULADOR COMUNAL DE COQUIMBO. 2006. Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo IV Región De Coquimbo. I. Municipalidad De Coquimbo.

DELGADO, E. 2007. Geodinámica y valoración del nivel potencial de riesgo natural en alta montaña. Cuenca del Río Las Leñas, vertiente occidental de Los Andes Centrales. Memoria para optar al título de Geógrafo. Profesor guía: María Victoria Soto B.

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. Anuarios Climatológicos 1920–2010 [en línea] <<http://www.meteochile.gob.cl/climatologia.php>> [consulta: julio 2013]

DUQUE, G. 2003. Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales

EL MERCURIO (EMOL) [en línea] <<http://www.emol.com/especiales/2010/nacional/terremotos/chile.html>> [consulta: octubre 2013]

EL OBSERVATORIO [en línea] < <http://elcomentarista.blogspot.com/2009/04/terremotos-cuando-la-tierra-despierta.html>> [consulta: octubre 2013]

EMPARAN, C; PINEDA, G. 2006. Geología del Área Andacollo-Puerto Aldea, Región de Coquimbo. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Serie Geología Básica 96, Santiago, Chile.

FERNÁNDEZ, R. 2006. Evaluación Espacial de Procesos Erosivos y su Influencia sobre el Corredor de Comercio Las Leñas. VI Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Universidad de Chile. Profesor Guía: Carmen Paz Castro Correa.

FERRANDO, F; MUÑOZ, M. 1977. Estudio de las Agrícolas. 6 Geomorfología. Comunidades de la IV región. Estudio realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Inscripción N°46.

FERRANDO, F. 1994. La Cuenca Andina del Río Mapocho: Determinación de su estado de equilibrio morfodinámico. Informe Final Proyecto FONDECYT 1000-91. Inédito.

FERRANDO, F. 2005. Características físico-ambientales y riesgos de la comuna de Lampa, Región Metropolitana de Santiago, Chile. Suplemento N°2, Geografía Económica. Ciencia y Técnica Administrativa (CyTA), Argentina.

FUENTES, J. 2004. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional Pico de Tancitaro. Dirección general de investigación de ordenamiento ecológico y conservación de ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología. 47 pp.

GACITUA, D. 2003. Gestión en la Planificación Territorial, Comunas de La Serena y Coquimbo, IV Región, Chile. Universidad de Santiago. Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Ambiente. Profesor guía Víctor Herrera González

GAJARDO, R. 1995. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, (pág. 43-44).

GALLART, F. 1977. Los glaciares: Problemas de nomenclatura, clasificación y génesis. Instituto Jaime Almera (C.S.I.C.). Sección de Geomorfología. Acta Geológica Hispánica. XII (Pág. 12-17)

GARCÍA-RUIZ, J. M. 1990. Geoecología de las áreas de montaña. Geoforma Ediciones. Logroño, España.

GARCÍA, V. 2000. Fenómenos de remociones en masa asociados a la ocurrencia de anomalías atmosféricas, Santiago Oriente. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

GÓMEZ, A. 1996. Abanicos Aluviales: Aportación teórica a sus aspectos más significativos. Cuaternario y Geomorfología, 10(3-4), (pág. 77-124)

GÓMEZ, M. 2005. Índice de Vegetación en Áreas del Bosque Seco del Noroeste del Perú a partir de Imágenes Satelitales. Tesis para optar el Título de Ingeniero industrial y de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Área Departamental de Ciencias de la Ingeniería. Universidad de Piura. Perú. (Pág. 43-44)

GONZÁLEZ, C. 2005. Estudio Áreas de Riesgo Geomorfológico de la Zona Urbana y de Expansión de la Comuna de San Antonio, V Región. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Universidad de Chile. Profesora Guía: María Victoria Soto B.

GOLUBEV, G. 1969. Avalanchas y corrientes e barro en Chile. Rev. Inf. Geog. Universidad de Chile. Santiago. Vol. 17 (pág. 31-74).

HAGEMAN, W. 2012. Geomorphic and geologic controls on alluvial-fan processes along the Coastal Cordillera (northern Atacama Desert, Chile). Department of Earth Sciences. Utrecht University. Nederland.

HARVEY, A; MATHER, A; STOKES, M. 2005. Alluvial fans: geomorphology, dynamics-introduction. A review of alluvial-fan reseach. Geological Society, London, Special Publications. Vol. 251 (pág. 1-7)

HAUSER, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Boletín N°45. Santiago.

HAUSER, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Boletín N°59. Santiago.

HUGGETT, R. 2007. Fundamentals of Geomorphology. Second Edition. Routledge, Fundamentals of Physical Geography Series. New York.

INFRACON, 2008. Diagnóstico áreas de riesgos localidades costeras, Región de Coquimbo, Etapa 3. Modelación, Santiago: Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo Coquimbo.

JIMÉNEZ, C. 2012. Estudio de cuencas Altiplánicas Endorreicas de la segunda región de Chile. Caracterización, Tipología y Potencialidades de uso. Universidad de Chile. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Profesor Guía: Francisco Ferrando.

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. Universidad De Chile. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias. Mención Geóloga. Profesor Guía Sergio Sepúlveda.

MARTÍNEZ-ZAVALA, L. 2005. Clasificación automática de elementos geomorfológicos en la cuenca del río Tepalcatepec (México) a partir de un modelo digital de elevaciones, Rev. C&G, 19, pp.3-4.

MESINA, A. 2003. Análisis del Sistema Físico Natural en la detección de Peligros Naturales: Definición de áreas de Riesgo Natural. Corredor Comercial Paso Doña Rosa, IV Región de Coquimbo. Universidad de Chile. Memoria para optar a título de Geógrafa. Profesora Guía Carmen Paz Castro.

MINTEGUI, A; ROBREDO, C. 2008. Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques en cuencas de montaña, PHI UNESCO, pág. 178, Montevideo (Uruguay).

MONASTERIO, P; PIERRE, F; BARRETO, T; MARIN, C; MORA, O; TABLANTE, J; MATURET, W; MENDOZA, C. 2011. Influencia del fenómeno el niño/oscilación del sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio peña, estado Yaracuy, Venezuela el niño/southern. *Agronomía Trop.* 2011, vol.61 (pág. 59-72).

MUÑOZ, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del Mar, V Región. Magíster en Ciencias, Mención Geología.

NOVOA, J.E; LÓPEZ, D. 2001. Capítulo 2 IV Región: El escenario Geográfico Físico en Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena, Chile, vol. 2 (pag.13-28).

OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA DEL MINISTERIO DEL INTERIOR y SEGURIDAD PÚBLICA (ONEMI). 2009. Consolidado N°2: Sismo destructivo de Punitaqui, 14 octubre 1997. Informe Consolidado. División de Protección Civil, Unidad Riesgos de Origen Natural. Chile.

OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA DEL MINISTERIO DEL INTERIOR y SEGURIDAD PÚBLICA (ONEMI). 2014. Perspectivas de riesgo hidrometeorológico para Chile durante el otoño 2014 conforme a la evolución del sistema océano-atmósfera del pacífico ecuatorial. Centro Nacional de Alerta Temprana. 19 pp.

PADILLA, R. 2007. Dinámica Geomorfológica Actual del Paisaje de Montaña, Correspondiente al Bloque Sur-Oeste de la Región Metropolitana. Universidad de Chile. Memoria para optar al título de Geógrafo. Profesora Guía: María Victoria Soto B.

PASKOFF, R. 1970. Geomorfología de Chile semiárido. Traducción al español José Enrique Novoa Jerez, 1993. Universidad de La Serena, Facultad de Humanidades. La Serena.

PFEIFFER, M. 2011. Evolución y Génesis de Calcretas Pedogénicas en la Paleobahía de Tongoy. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología. Universidad de Chile. Profesor Guía: Jacobus Le Roux

PLAN DE DESARROLLO COMUNAL. 2013-2018. PLADECO de Coquimbo. Secretaría Comunal de Planificación (SECPLA) Municipalidad de Coquimbo

PLAN REGULADOR COMUNAL. 2008. Plan Regulador Comunal de Coquimbo. Centros Urbanos de Coquimbo, Guanaqueros, Tongoy y Puerto Aldea. Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo IV Región Coquimbo. Municipalidad De Coquimbo.

PERUCCA, L; ANGILIERI, E. 2008. La Avalancha de rocas las Majaditas: Caracterización Geométrica y posible relación con eventos Paleosísmicos (Precordillera de San Juan, Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 21(1-2).

SANTACANA, J. 2001. Análisis de la Susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat

SANTIBÁÑEZ, F. ROA, P. & SANTIBÁÑEZ, P. 2008. CAPÍTULO I. El Medio Físico. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos. Segunda edición actualizada. CONAMA.

SEPÚLVEDA, S. 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

SEPÚLVEDA, S. 2013. Ley Gutenberg-Richter para el territorio comprendido entre Punta de Choros y Tongoy. Inédito. Proyecto FONDECYT 1120234, Geodinámica y tendencia evolutiva del sistema litoral de la mega ensenada de Coquimbo: hacia una prognosis de amenazas naturales para escenarios de cambios ambientales endógenos y exógenos. Universidad de Chile.

SFEIR, R. 2006. Estudio e Identificación de Clusters Exportadores Regionales, Región de Coquimbo. Informe Final. Programa Regional de Investigación Científica y Tecnológica. CONICYT.

SISMO 24 [en línea] <<http://www.sismo24.cl/500sismos/720chciudades.html>> [consulta: octubre 2013]

SOTO, M.V; CASTRO, C. 2003. Geodinámica moderna de vertientes periglaciares de altura, alta montaña de la cuenca del río Cachapoal, Chile. Investigaciones Geográficas, vol. 37 (pág. 1-19).

SOTO, M.V; CASTRO, C; CHÁVEZ, C. 2004. Caracterización Geomorfológica del corredor de comercio Las Leñas, valle del río Cachapoal, Andes de Chile Central. Revista de Geografía Norte Grande, vol. 31. (pág. 85-98).

SOTO M.V; CASTRO, C; MARKER, M; RODOLFI, G; PADILLA, R. 2006. Procesos geodinámicos actuales en ambiente de media y baja montaña. Borde meridional de la cuenca del río Maipo, Región Metropolitana de Santiago. Revista de Geografía Norte Grande, vol. 35 (pág. 77-95).

SOTO M.V; CASTRO, C; RODOLFI, G; FERNÁNDEZ, R; PADILLA, R; RUGIERO, V. 2007. Carta geomorfológica de la sección central y occidental de la Región Metropolitana de Santiago. Investigaciones geográficas, vol. 39.

SOTO M.V; MARKER, M; ARRIAGADA, J; CASTRO, C; RODOLFI, G. 2010. Evaluación de la amenaza natural en ambiente semiárido, sustentada en la geomorfología y el modelamiento de índices topográficos. Salamanca, Región de Coquimbo, Chile. Proyecto FONDECYT N° 1071098. Investigaciones Geográficas. Santiago, vol. 42 (pág.19-36)

STEEL, R; GLOPPEN, T. 1980. Late Caledonian Devonian basin formation, western Norway: signs of strike-slip tectonics during infilling. Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol. 4,79-103

STRAHLER, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chot", V. T. (ed.): Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill. New York.

STRAHLER, A; STRAHLER, A. 1986. Geografía Física. Editorial Omega. Traducido por Marta Barrutia y Pere Sunyer

SHREVE, R. 1967. Infinite topologically random channel networks. University of California, Los Angeles.

SUÁREZ, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander. Colombia

TARBUCK, E; LUTGENS, F; TASA, D. 2005. Ciencias de la Tierra. Edit. Prentice Hall, trad. de 8ª ed.

TRICART, J. 1981. La tierra, planeta viviente. Ed. Akal-Universitaria, Madrid.

URIARTE, A. 2010. Historia del Clima de la Tierra (2da. Edición). Editor Eusko Jaurlaritzza Gobierno Vasco.

VALDÉS, F. 2010. Evaluación del Riesgo Natural Asociado a Movimientos en Masa en la Cuenca del Estero Paine. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Universidad de Chile. Profesora Guía: María Victoria Soto B.

ZAPATA, R. 2006. Química de los procesos Pedogenéticos. Escuela de Geociencias. Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia

ANEXOS**Anexo N°1: Datos pluviométricos de 1980 – 2010. IV Región.**

	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Septi	Oct	Nov	Dic	Sum	Prome
1980	0	0	0	25,4	0,2	8,6	48,8	5,4	0,6	0	0,5	0	89,5	7,4583
1981	0	0	0,2	0	40,8	5,7	16,6	4,2	0,7	1,1	0	0	69,3	5,775
1982	0	0	0	0	13,5	18,3	7,8	36,5	1,8	0	1,7	0	79,6	6,6333
1983	0	0	0	0	3,4	3,5	129	22,5	1,2	0,2	0	0,3	160,	13,341
1984	0,2	0	0,4	0	0	0,2	176,	0	0	0	0	0	177,	14,791
1985	0,4	0	1	1,1	0	0	30,5	1,1	0,7	1,2	0	0	36	3
1986	0	0	0,2	0	17,7	6,2	0,2	11,2	0	0,1	0,3	0,2	36,1	3,0083
1987	0,1	0	2	0,1	14,2	0	170,	6,4	0,1	1,3	1,5	0,2	196,	16,366
1988	0,4	0,1	0,6	0,4	0,8	5,7	0,4	0	1,1	0	0	0	9,5	0,7916
1989	0	0	0,2	0,5	12,9	0	2,8	42,1	0	0,4	0	0	58,9	4,9083
1990	0,1	0	0,2	0	0	0,2	15,1	0,6	0,5	0,2	0,3	0,1	17,3	1,4416
1991	0	0	0,5	0	0,2	79,4	21,4	1,1	1,8	0	0	0,4	104,	8,7333
1992	0	0	14	2,8	2,1	158,	0,8	13,1	1,2	0,8	0,4	0	193,	16,158
1993	0	0,2	0,2	3,7	34,7	0,9	2,6	17,4	1,2	0,4	1,7	1,2	64,2	5,35
1994	2,1	0,6	1,2	1,8	1,4	20,8	8	0,3	0,3	0,3	0,7	0	37,5	3,125
1995	0	0	0	0,6	1,4	2,5	1,8	0	3,5	0,2	0,5	2	12,5	1,0416
1996	0	0,2	0	0	0	5,5	33	5,8	0,1	2,2	0	0	46,8	3,9
1997	0	0	0	0	0,1	104,	18	63,4	3	9,6	0	0	199	16,583
1998	0	0,1	0	0,9	0	15,2	0,5	0	0	1	0	0,3	18	1,5
1999	0,3	0,6	0,5	4	3,4	0,1	1,6	17,8	13,9	15,6	0	0	57,8	4,8166
2000	0,1	0,1	0	0,1	6,2	57,8	7,1	0	31	1,7	0	0	104,	8,675
2001	0	0,2	0,4	0,6	0,2	0	78,3	36,2	21,4	2,2	0	0,2	139,	11,641
2002	0	0	0	1,8	57,4	20,2	69,2	38,4	0,6	0	0	0,6	188,	15,683
2003	0,4	0	1,6	0,2	68,6	4,8	16,4	0	0	0	0	0	92	7,6666
2004	0	0	0	5,1	0	4,4	71,6	15	1,8	1	0,4	0	99,3	8,275
2005	0	0	0	0,4	29,2	1,8	6,2	19	3	2,4	0	0,2	62,2	5,1833
2006	0	0	0	0	0,4	15	48,8	0,6	0,2	3,4	0,2	0	68,6	5,7166
2007	0	0	0,2	0	0	9	0	15,4	0,6	1	0,2	1,2	27,6	2,3
2008	0,8	0	0,2	1,4	7,6	29,2	14,8	53,6	0,4	0	0	0	108	9
2009	0	0	0	0	0	18,2	3,2	32,8	0	0,3	0	0	54,5	4,5416
2010	1,4	0	0,4	0	18,2	37,2	5,2	1,8	3,4	0,2	0	0	67,8	5,65
Prome	0,20	0,06	0,77	1,64	10,7	20,4	32,4	14,8	3,03	1,50	0,27	0,22		7,1954

Fuente: Elaboración propia, a partir de los Anuarios Climatológicos 1920 – 2010. Dirección Meteorológica de Chile.

Anexo N°2: Resultados anuales de ÍNDICE de FOURNIER MODIFICADO (IFM) para la IV Región.

Año	IFM	Clasificación
1980	35,0	Muy bajo
1981	32,5	Muy bajo
1982	24,1	Muy bajo
1983	107,3	Moderado
1984	175,9	Muy alto
1985	26,0	Muy bajo
1986	13,2	Muy bajo
1987	149,3	Alto
1988	3,7	Muy bajo
1989	33,1	Muy bajo
1990	13,2	Muy bajo
1991	5,4	Muy bajo
1992	131,9	Alto
1993	23,9	Muy bajo
1994	13,6	Muy bajo
1995	2,3	Muy bajo
1996	24,7	Muy bajo
1997	77,6	Bajo
1998	13,0	Muy bajo
1999	13,6	Muy bajo
2000	42,2	Muy bajo
2001	56,6	Muy bajo
2002	53,0	Muy bajo
2003	51,8	Muy bajo
2004	54,4	Muy bajo
2005	20,4	Muy bajo
2006	38,2	Muy bajo
2007	11,6	Muy bajo
2008	37,1	Muy bajo
2009	26,0	Muy bajo
2010	25,9	Muy bajo
TOTAL ANUAL	43,1	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°3: Resultados hidromorfométricos por unidad hidrológica

Sector hidrológico: LAS TACAS	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	666	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,34	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,51	Moderadamente Achatada	Índica tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas)
	I _A	1,99	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	35	Montañosa	ubicación semi-montañosa, con alturas y pendientes medias
	D	2,42	Moderada	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	1,74		Frecuencia moderada, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,09	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es medida.
	Strah.	3	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
Sheev	15	No tiene una estructura de drenaje compleja		

Sector hidrológico: LAS LOZAS	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	621,2	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,16	Redonda	Tiende a la circularidad, por lo tanto concentración fuerte de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,37	Moderadamente Achatada	Índica tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas)
	I _A	2,64	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	25	Muy montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,94	Moderada	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	1,17		Frecuencia moderada, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,07	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es medida.
	Strah.	3	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
Sheev	7	No tiene una estructura de drenaje compleja		

Sector hidrológico: EL PASTOR	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	698,3	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,28	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,51	Moderadamente Achatada	Índica tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas)
	I _A	1,93	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	20	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	2,19	Moderada	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	1,34		Frecuencia moderada, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,06	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es mesurada.
	Strah.	3	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	19		No tiene una estructura de drenaje compleja

Microcuenca: TONGOICILLO	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	497,9	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,35	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,70	Moderadamente Achatada	Índica tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas)
	I _A	1,43	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	11	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,56	Baja	Estructuración fluvial insuficiente, con un bajo transporte y potencial de erosión.
	F	0,98		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,04	Suave	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es suave.
	Strah.	4	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	22		Tiene una estructura media de redes drenaje

Sector hidrológico: HONDA	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	382,9	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,37	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,24	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	4,15	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	17	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,29	Baja	Estructuración fluvial insuficiente, con un bajo transporte y potencial de erosión
	F	0,80		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,03	Suave	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es suave.
	St	3	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sh	9		No tiene una estructura de drenaje compleja

Microcuenca: ARRAYAN	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	1150	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,63	Alargada	Concentración baja de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,22	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	4,59	Muy Alargada	Sistema de drenaje con un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones.
	K _m	11	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,80	Baja	Estructuración fluvial insuficiente, con un bajo transporte y potencial de erosión
	F	0,97		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,06	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es mesurada.
	Strah.	4	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	41		Tiene una estructura media de redes drenaje

Sector hidrológico: PORTUGUES	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	650	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,16	Redonda	Tiende a la circularidad, por lo tanto concentración fuerte de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,36	Moderadamente Achatada	Índica tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas)
	I _A	2,76	Moderadamente Alargada	Sistema hidrológico prolongado, lo que influye en la dinámica rápida del agua en los drenajes y un potencial erosivo.
	K _m	10	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,63	Baja	Estructuración fluvial insuficiente, con un bajo transporte y potencial de erosión
	F	0,70		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,08	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es medida.
	Strah.	3	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	12		Sin estructura de redes drenaje complejas

Microcuena: LOS PANGUES	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	1257,7	Mediano	Pisos altitudinales módicos, con ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,41	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,23	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	4,26	Muy Alargada	Sistema de drenaje con un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones.
	K _m	7	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,77	Baja	Estructuración fluvial insuficiente, con un bajo transporte y potencial de erosión
	F	0,93		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,07	Moderada	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es medida.
	Strah.	4	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	47		Tiene una estructura media de redes drenaje

Subcuenca: CAMARONES	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	1250	Mediano	Pisos altitudinales módicos, con ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,64	Alargada	Concentración baja de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,30	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	3,50	Muy Alargada	Sistema de drenaje con un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones.
	K _m	3	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	2,36	Moderada	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	1,60		Frecuencia moderada, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,03	Suave	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es suave.
	Strah.	5	Alta	Jerarquía alta en cuanto a su estructura de red de drenaje.
Sheev	175	Estructura de redes drenaje compleja		

Microcuenca: LOS ALMENDROS	Índices	Valor	Clase	Descripción
	Desn.	815,7	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,36	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,24	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	4,20	Muy Alargada	Sistema de drenaje con un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones.
	K _m	4	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,38	Baja	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	0,68		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,04	Suave	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es suave.
	Strah.	4	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
Sheev	32	Tiene una estructura media de redes drenaje		

	Índices	Valor	Clase	Descripción
Microcuenca: LOS LITRES	Desn.	825	Bajo	Pisos altitudinales bajos, con escasos ecosistemas para la protección climática
	K _c	1,39	Ovalada	Concentración mediana de los escurrimientos superficiales.
	K _f	0,29	Ligeramente Achatada	Sujeta a menos crecidas, siendo las aguas lentas y continuas
	I _A	3,45	Muy Alargada	Sistema de drenaje con un alto grado de evolución y que está en capacidad de absorber mejor las lluvias sin generar una crecida de proporciones.
	K _m	10	Muy Montañosa	ubicación montañosa del sistemas hidrológico, con alturas y pendientes fuertes
	D	1,71	Baja	Estructuración fluvial moderada, con un módico transporte y potencial de erosión.
	F	0,75		Frecuencia baja, a que encuentren un cauce en un tiempo determinado
	P _{cp}	0,05	Suave	La velocidad del escurrimiento principal, por inclinación, es suave.
	Strah.	4	Media	Jerarquía media en cuanto a su estructura de red de drenaje.
	Sheev	22		Tiene una estructura media de redes drenaje