



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

Amenaza de origen natural asociadas a la Dinámica de los Sistemas de vertientes del flanco cordillerano costero entre Punta Teatinos y Cuenca Aguas Saladas. Región de Coquimbo.

Memoria para optar al Título de Geógrafa

Mariapía Sánchez Espinosa

**Profesor Guía**

María Victoria Soto Bäuerle

SANTIAGO - CHILE, 2015

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, por su esfuerzo durante de toda mi vida y la suya, a mi padre y familia por su apoyo, a mis amigas y amigos, y a todos los que hicieron y hacen mi vida más bella.

A mi profesora María Victoria Soto por su paciencia y apoyo, y a Misael Cabello por su disposición incondicional.

Gracias a las personas y a la vida por darme la oportunidad de estudiar.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3 ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	6
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO .....</b>	<b>7</b>
2.1 GEOMORFOLOGÍA .....	7
2.1.1 SISTEMA DE VERTIENTE .....	7
2.1.2 FORMAS BASALES DE CONTACTO .....	9
2.1.3 CAOS DE ROCAS .....	11
2.2 PROCESOS DE MOVIMIENTO EN MASA .....	15
2.2.1 TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA .....	15
2.2.2 AGENTES DESENCADENANTES .....	18
2.2.3 FACTORES CONDICIONANTES .....	19
2.3 RIESGO - AMENAZA .....	23
<b>CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>24</b>
3.1 CLIMA .....	24
3.2 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS .....	25
3.3 ANTECEDENTES GEOMORFOLÓGICOS .....	27
3.3.1 CORDILLERA DE LA COSTA O <i>COAST RANGE</i> .....	27
3.3.2 FORMAS MARINAS .....	28
<b>CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>31</b>
4.1 MATERIALES .....	31
4.2 MÉTODOS .....	31
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
5.1 CONDICIONES GEODINÁMICAS .....	43
5.1.1 GEOMORFOLOGÍA .....	43
5.2 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTO EN MASA .....	52

5.2.1 PENDIENTE.....	52
5.2.2 VEGETACIÓN .....	53
5.2.3 CURVATURA.....	55
5.2.4 EXPOSICIÓN .....	56
5.2.5 SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTO EN MASA.....	57
5.3 CONDICIONES HIDROMORFOMÉTRICAS .....	58
5.3.1 ÍNDICE HIDROMORFOMÉTRICO.....	58
5.3.2 JERARQUIZACIÓN DE DRENES.....	59
5.3.3 PERFIL LONGITUDINAL CANALES PRINCIPALES .....	59
5.3.4 SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTO EN MASA DE FLUJOS.....	61
5.4 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS AMENAZADAS.....	63
5.4.1 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS .....	63
5.4.2 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS AMENAZADAS .....	64
<b>CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
6.1 DISCUSIÓN.....	66
6.2 CONCLUSIÓN.....	68
<b>CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1	ÁREA DE ESTUDIO .....	5
FIG. 2	FORMACIÓN DE GLACIS Y CONO RESPECTIVAMENTE .....	11
FIG. 3	MODELO DE DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE TERRAZAS MARINAS .....	12
FIG. 4	ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE TERRAZAS MARINAS. ....	12
FIG. 5	TERRAZA DE ABRASIÓN Y TERRAZA DE DEPÓSITO.....	13
FIG. 6	PLATAFORMA DE ABRASIÓN, PUNTA DE LOBO, CHILE.....	14
FIG. 7	TIPOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	17
FIG. 8	TIPOS DE MOVIMIENTO DE CAÍDA DE ROCAS .....	18
FIG. 9	GRÁFICO DEL PROMEDIO DE LAS PRECIPITACIONES ENTRE 1980- 2010 .....	24
FIG. 10	CARTA GEOLÓGICA ÁREA DE ESTUDIO .....	25
FIG. 11	BLOQUE DE DIAGRAMA QUE REPRESENTA A LA REGIÓN DE COSTAS ABRASIVAS Y EROSIVAS TECTÓNICAS CON BAHÍAS LOBULADAS PROTEGIDAS .....	28
FIG. 12	PERFIL DE TERRAZAS MARINAS EN PUNTA TEATINOS .....	29
FIG. 13	CLASIFICACIÓN DE DRENES .....	39
FIG. 14	ORGANIGRAMA METODOLOGÍA.....	40
FIG. 15	PLAYAS DE RODADOS.....	44
FIG. 16	PLATAFORMA DE ABRASIÓN, STACKS.....	44
FIG. 17	VERTIENTE .....	45
FIG. 18	CONOS TORRENCIALES .....	46
FIG. 19	CAOS DE ROCAS .....	47
FIG. 20	CARTA GEOMORFOLÓGICA TRAMO 1.....	48
FIG. 21	CONOS TORRENCIALES CUENCA AGUAS SALADAS.....	50
FIG. 22	CARTA GEOMORFOLÓGICA TRAMO 2.....	51
FIG. 23	CARTA DE PENDIENTES .....	52
FIG. 24	CARTA DE VEGETACIÓN .....	53
FIG. 25	VEGETACIÓN ENDÉMICA .....	54
FIG. 26	CARTA DE CURVATURA .....	55
FIG. 27	CARTA DE EXPOSICIÓN.....	55
FIG. 28	CARTA DE SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA.....	57
FIG. 29	CARTA DE UNIDADES HIDROLÓGICAS ESCOGIDAS PARA LA APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES HIDROMORFOMÉTICOS .....	58

FIG. 30 CARTA DE JERARQUIZACIÓN DE DRENES SEGÚN MÉTODO STRAHLER.....	59
FIG. 31 CARTA DE PERFIL LONGITUDINAL DE CANALES DE DRENAJE PRINCIPAL.....	60
FIG. 32 CARTA DE ÍNDICES HIDROMORFOMÉTRICOS.....	62
FIG. 33 CARTA DE USO DE SUELO.....	63
FIG. 34 VIVIENDAS BAJO CAOS DE ROCAS.....	62
FIG. 35 AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA.....	64
FIG. 36 SISTEMA EN CONOS DE DEYECCIÓN, QUEBRADA ARRAYÁN...	66

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 SISTEMA DE VERTIENTES.....	8
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE CONO DE DEYECCIÓN Y GLACIS .....	10
TABLA 3 TIPOS DE MOVIMIENTO DE MOVIMIENTO EN MASA. ABREVIADO DE LA VERSIÓN DE VARNES. CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN PENDIENTE.....	16
TABLA 4 CLASIFICACIÓN DE REMOCIÓN EN MASA SEGÚN INTENSIDAD DE SISMO .....	19
TABLA 5 UMBRAL GEOMORFOLÓGICO Y PROCESOS ASOCIADOS A UNA VERTIENTE.....	32
TABLA 6 CLASIFICACIÓN NDVI.....	33
TABLA 7 CLASIFICACIÓN DE VERTIENTES.....	34
TABLA 8 CLASIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN .....	35
TABLA 9 PESO DE VARIABLES CONDICIONANTES.....	36
TABLA 10 CLASIFICACIÓN TAMAÑO DE CUENCA.....	37
TABLA 11 CLASIFICACIÓN $K_F$ .....	38
TABLA 12 CLASIFICACIÓN $D$ .....	39
TABLA 13 CLASIFICACIÓN $K_M$ .....	39
TABLA 14 CLASIFICACIÓN MÉTODO STRAHLER .....	40
TABLA 15 RESULTADOS ÍNDICES HIDROMORFOMÉTRICOS .....	58

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es identificar las condiciones de amenaza de origen natural desde los sistemas de vertientes, específicamente movimientos en masa, como caída de rocas y flujos, en el flanco cordillerano costero entre Punta Teatinos y Cuenca Aguas Saladas , IV región.

La diversidad, características y organización en la disposición espacio-temporal de los procesos morfogenéticos del relieve, constituyen la base de la metodología aplicada para identificar lugares susceptibles a caída de rocas o flujos.

La geodinámica del sector muestra dos grandes sistemas: el litoral y el continental, siendo este último, en sus vertientes, el lugar donde se concentra el estudio.

Los resultados muestran que en el área de estudio existe una amenaza alta a caída de rocas pero baja a flujos. Esto por las características de la vertiente granítica y de las unidades hidrológicas en la misma, las cuales presentan un tamaño pequeño y su capacidad de transportar material es baja, sin embargo las incisiones entre las formas dan a deducir que en casos de pluviosidad intensa los *talwegs* pueden volver a activarse, afectando potencialmente la conectividad de la ruta panamericana.

**Palabras claves: Amenaza, Caída de rocas y Flujos**



# **CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

La costa es un sistema natural y antrópico de gran importancia, ya que en él convergen tres ambientes naturales distintos: Atmósfera, océano y superficie, y además alberga los principales asentamientos humanos (Davidson-Arnot, 2009). Las Actividades antrópicas que se llevan a cabo en la zona costera, tales como transporte, extracción de alimentos, recreación, son un factor importantes al momento de atraer población, ya que pueden representan mayores posibilidades económicas y sociales (Cifuentes, 1991).

A nivel mundial, más de un tercio de la población vive dentro de los cien kilómetros de las costas. En América Latina y el Caribe, 60 de 77 de las ciudades más grandes están en la costa, alcanzando un 60% de población, la cual está expuesta a los cambios del sistema marino y costero (ONU-PNUMA/ORPALC, 2004).

Chile no es la excepción a este proceso, la mayoría de sus ciudades se encuentran en la costa, desde el extremo norte, Arica Iquique, Antofagasta, La Serena, en el centro Valparaíso, San Antonio, ciudades puerto de gran importancia, y en el sur Talcahuano, Puerto Montt, entre otras.

Esta tendencia de ocupación de la costa tiene distintas consecuencias, tanto para el sistema natural como para el antrópico. El sistema natural es afectado por el hombre y a su vez éste se encuentra vulnerable a un entorno físico, el que muta bajo procesos naturales. El hombre al no comprender los procesos de su territorio no es consciente de lo anterior, por lo que habita en lugares cambiantes, originando situaciones de riesgo con distintos niveles de vulnerabilidad. Esta situación quedó explícita en Chile luego del terremoto del año 2010, evento que llevó a plantear la necesidad de analizar los ambientes litorales para saber de qué manera los asentamientos poblados se pueden ver afectados por eventos de origen natural.

Uno de los eventos que puede presentar riesgos al ser humano son los movimientos en masa, proceso en el cual depósitos ceden a la fuerza de gravedad. El objetivo de esta memoria es identificar condiciones de amenaza a movimiento en masa, asociados a la dinámica del paisaje en el sector entre Punta Poroto - Punta Blanca y Cuenca Aguas Saladas, al norte de La Serena.

El sector presenta un uso de suelo residencial, de segunda vivienda en su mayoría. Las actividades antrópicas han aumentado en sectores donde es posible que ocurran eventos de caída de roca y flujo, afectando la condición de vulnerabilidad de la población.

La investigación consta de variadas etapas, parte con el análisis de las condiciones geológicas y geodinámicas del área de estudio, luego se escogen variables para identificar lugares susceptibles a movimientos en masa y además se analizan las condiciones hidromorfométricas de unidades hidrológicas, escogidas por su tamaño y forma, para identificar lugares susceptibles a flujos. Con esta información se busca identificar lugares susceptibles a movimiento en masa: Caída de rocas y Flujos. Por último se identifican a detalle actividades humanas en el sector, para establecer cuales pueden verse afectados por los procesos de movimiento en masa.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los movimientos en masa constituyen una amenaza importante al sistema antrópico. Las variables para que ocurran son distintas para cada tipo de remoción, sin embargo en su mayoría dependen en general de la pendiente, características de suelo y desestabilización de la ladera. Para que estas variables se activen y se produzca un fenómeno de movimiento de masa debe haber un agente desencadenante, tal como sismo o precipitaciones intensas y concentradas.

El área de estudio de esta memoria se ubica en la Región de Coquimbo, la cual presenta características singulares: en Demografía, según el INE para el año 2002 ocupó el segundo lugar de las regiones que más creció en 10 años, atrayendo población por sus características económica y paisajísticas. La conectividad terrestre de la región está asociada a la Panamericana Norte (Ruta 5 norte), vía que conecta el norte con el centro sur del país, además de con toda América Latina. La vía se emplaza en la región de Coquimbo por las planicies litorales, que en algunos sectores son extensas, alcanzando un ancho de 30 km en el sector de La Serena, mas en otros sectores no existen o son angostas. Dentro de sus características geográficas, es de importancia que frente a la costa de la mega ensenada de Coquimbo, se presenta un gap sísmico (Vigny *et al.*, 2009), que podría ser factor detonante de procesos de gran impacto en la línea de costa, los cuales podrían incidir en cambios de altura del nivel de la costa, transferencia sedimentaria litoral y en la generación de procesos de movimiento en masa. El área corresponde a un sector de subducción de bajo ángulo de profundidad intermedia (Pardo *et al.*, 2002) y presenta antecedentes de sismicidad alta que la han afectado desde 1730. Los más importantes sismos que afectaron a este gap tuvieron lugar en Copiapó el año 1922 con 8,3 a 8,5 grados (Beck *et al.*, 1998; Comte *et al.*, 2002) y con un tsunami que afectó desde Chañaral hasta La Serena y en el año 1943 en Illapel de 7,9 grados afectando también con un tsunami (Beck *et al.*, 1998).

Las variables anteriores dan como resultado un escenario particular: una región con un crecimiento demográfico, acentuado en la época estival, lo que ha hecho crecer a la ciudad

fuera de sus límites. Principalmente por la instalación de segundas residencias, en la salida norte de La Serena. Zonas que no se consideraron a ocupar como uso residencial, según el PRDU de la Región de Coquimbo (2006), el cual las clasifica en áreas de aptitud preferentemente agrícola y áreas de sensibilidad ecosistémica. Ello implica que el área de estudio sea una zona con posibles amenaza y vulnerable por la presencia del GAP sísmico y sus efectos sinérgicos. Entonces es necesario el estudio para conocer parte del dinamismo físico del territorio, anteponiéndose a situaciones de riesgo y poder evitarlas o disminuirlas.

El área de estudio, se divide en dos tramos que incluyen la ruta 5, viviendas o medios humanos. Tramo 1: Ensenada Poroto - Punta Blanca; Tramo 2: Cuenca Aguas Saladas o Cuesta Buenos Aires.

### **1.3 ÁREA DE ESTUDIO**

El área a estudiar está emplazada en la zona norte de Chile, Región de Coquimbo. Ésta limita al norte con la Región de Atacama, al sur con la Región de Valparaíso, al este con Argentina y al oeste con el Océano Pacífico. Se encuentra entre las coordenadas 29° 54' 28" S, 71° 15' 15" W (Figura 1). La compone en tramo desde Punta Teatinos hasta Cuenca Aguas saladas (Cuesta Buenos Aires).

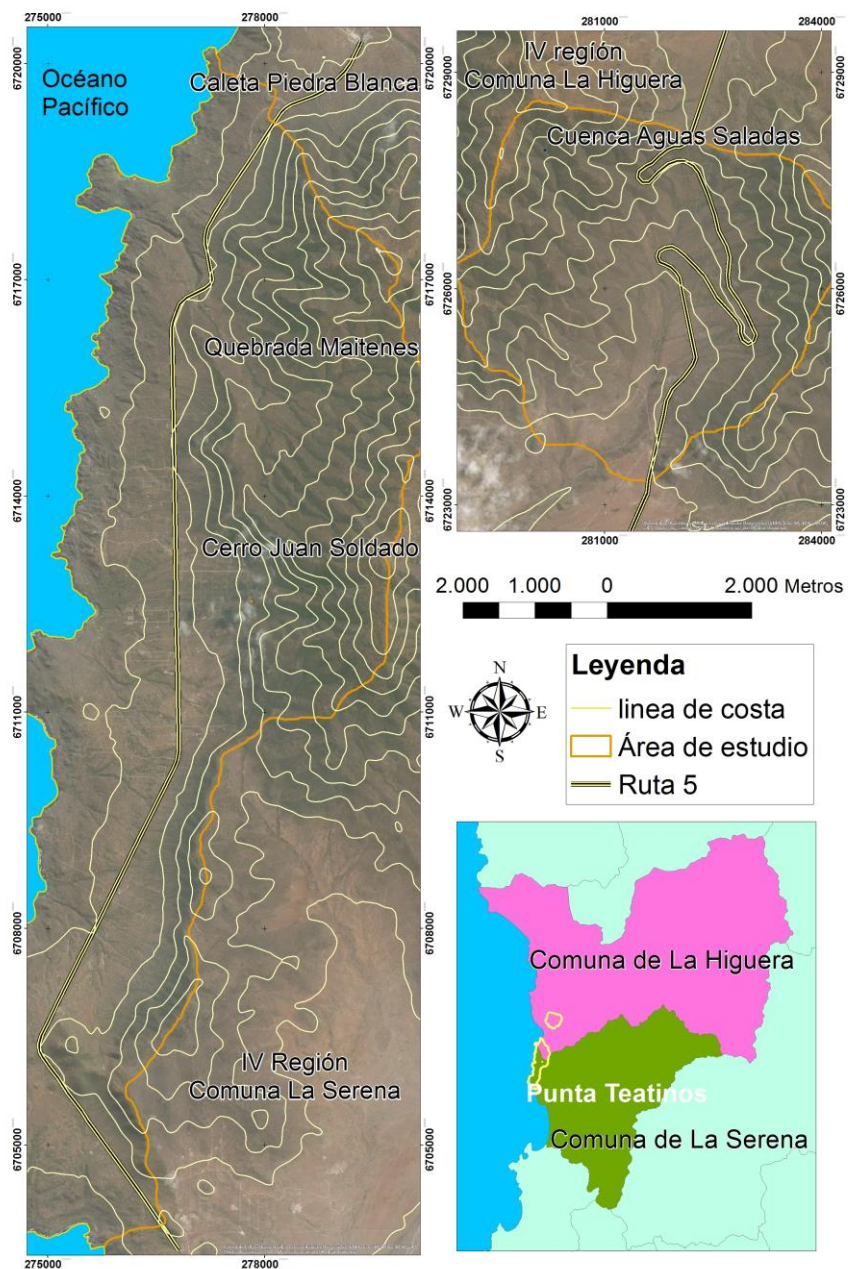
Está inmersa en la zona semi-árida del oeste de Sudamérica, al sur del desierto de Atacama, abarcando un área de 40.462 km<sup>2</sup>, equivalentes al 5,3% del territorio nacional (Sánchez & Morales, 1998, en Novoa & López, 2001). El relieve lo compone la Cordillera de los Andes, Cordillera de la Costa, y formas marinas, como las características terrazas marinas del Pleistoceno (Paskoff 1970). Los factores que pudieron haber contribuido al alzamiento de las formas y con esto a la configuración del paisaje pudieron ser: el aumento en la convergencia de placas a partir del Oligoceno (Pilger *et al.*, 1984; Wortel, 1984; Pardo-Casas y Molnar, 1987; Somoza, 1998; Kendrick *et al.*, 2003 en Aguilar, 2013) y la migración de norte a sur de la subducción de la dorsal de Juan Fernández (Yañez *et al.*, 2001 en Aguilar 2013) ocurrida entre los 16 y 12 Ma.

La Cordillera de Los Andes o Cordillera Principal se compone de dos subunidades, según Aguilar (2013): Cordillera Principal y Cordillera Principal Occidental, expuesta como valles transversales de oriente a poniente que desaparecen la depresión intermedia denominando a la región como Región de los Valles transversales o cordones transversales. (Novoa & López, 2001).

La división administrativa es definida por las principales cuencas de la región, que dan nombre a las provincias: Provincia de Elqui- capital Coquimbo; Provincia de Limarí- capital Ovalle; Provincia de Choapa,- capital Illapel. Divididas en un total de 15 comunas.

En su economía se destaca la actividad minera, produciendo molibdeno, cobre (6,1% total nacional) y oro, además de ser la única productora de manganeso y lapislázuli. La agricultura es producida intensamente en los valles de Elqui, Limarí y Choapa, favorecidos por sus condiciones climáticas. El turismo es otra actividad económica importante destacándose el Valle de Elqui y las playas como La Serena, Tongoy y Los Vilos (Castro *et al.*, 2005), donde se concentra en 97% de la población.

**Fig. 1 Área de estudio**



**Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234**

## **1.4 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Identificar las condiciones de amenazas de origen natural asociadas a la dinámica de los sistemas de vertientes del flanco cordillerano costero entre Punta Teatinos y Cuenca Aguas Saladas. Región de Coquimbo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las condiciones geológicas y geodinámicas del área de estudio en el contexto del dominio costero semiárido.
- Identificar la susceptibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.
- Analizar las condiciones hidromorfológicas de las microcuencas insertas en las vertientes del flanco cordillerano costero.
- Identificar actividades antrópicas que pueden ser afectadas por la acción dinámica de los sistemas de vertientes y *talwegs* asociados (movimientos en masa).

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO**

### **2.1 GEOMORFOLOGÍA**

El paisaje físico es el resultado de transformaciones del terreno en una extensión de tiempo de miles de años, donde ocurren cambios de clima, alzamientos, ascensos del nivel del mar, etc.

#### **2.1.1 SISTEMA DE VERTIENTE**

Se considera que las vertientes son sistemas dinámicos abiertos producto de múltiples sucesos (tectónicos, volcánicos, glaciaciones, etc), donde los efectos de desgaste, permiten el transporte de materiales pendiente abajo (Hamblin, 1992). Existen teorías sobre la evolución de las vertientes. Penk (1924) fundamenta desde los movimientos de la corteza terrestre relacionando la forma, con la proporción de alzamiento seguido por la erosión de la corteza (Aguilar y Mendoza, 2002 en Cuevas, 2012). Postula una erosión de los talwegs en los períodos de ascenso, formando convexidad en la vertiente, lo que declina el ritmo de erosión, generando valles inicialmente rectos, para terminar en formas cóncavas.

El proceso de formación de la vertiente depende de la interacción de fuerzas internas y externas, las cuales modelan el relieve (Rivera, 2005). Así también, la estabilidad de la misma dependerá del comportamiento de esas fuerzas.

Las vertientes son las más importantes aportadores de material hacia planos inferiores (Padilla, 2007) Dos Puntos importante en el sistema de vertiente que diversifican el desarrollo de las geoformas son la exposición y la pendiente, ya que la exposición diferencia el aporte de luz solar e hídrico sobre las vertientes (Soto et al, 2003, 2004; Padilla, 2007). Y la segunda representa la fuerza de inercia y comprendiendo su funcionamiento se pueden establecer relaciones de causalidad en base a geometría y procesos tipo (Pedraza, 1996).

Araya- Vergara (1985), también expone a las vertientes como sistema y no como vertiente individual simple. Entendiéndola como una combinación de vertientes individuales que conforman el sistema y los depósitos correlativos a estos. Para clasificar las vertientes se reconocen características de los interfluvios, los cuales se separan por los colectores de orden más avanzado en la cuenca y su papel en la morfogénesis del sistema (Araya-Vergara, 1985) (Tabla 1). Resaltan:

- 1) Influencias estructurales**, identifican posibilidad de afloramiento rocoso, que puede ser un potencial aporte de sedimentos. Cada estructura tiene una combinación

característica entre afloramiento y formas coluviales. Además de una combinación característica con los distintos buzamientos de las capas. Con la influencia estructural, queda implícita la acción de la geodinámica interna frente a cada morfoestructura (Araya- Vergara, 1985).

2) **Influencias exógenas**, se analiza la tendencia erosiva y el aspecto de las divisorias. Las características de las vertientes en base a influencias exógenas, variarán por razones morfo climáticas, por lo tanto, bióticas (Araya- Vergara, 1985). En la media montaña, hay poca o nula influencia del frío y las formaciones superficiales cubren mejor las morfoestructura (Araya- Vergara, 1985).

**2. a Según tendencia erosiva:** Refiriéndose al grado de actividad relativa de las vertientes, comparándolas entre sí e insertas dentro de una forma mayor, por ejemplo un valle. Pudiendo así conocer la aptitud de cada una para poder abastecer de materiales o el potencial de transferencia de la misma dentro del sistema.

**De flanco Activo:** Formas con superficie rugosa, por la disección, con señales recientes de erosión, regolitos móviles o suelos remanentes y materiales en curso. La base puede mostrar acumulación importante (Araya- Vergara, 1985).

**De flanco Pasivo:** Formas con superficie relativamente regular y lisa, pocas señales de erosión reciente, regolitos estables, posible cubierta continua de suelo, casi nada de materiales en curso (Araya- Vergara, 1985).

**Tabla 1 Sistema de vertientes**

<b>INFLUENCIAS ESTRUCTURALES</b>	<b>INFLUENCIAS EXÓGENAS</b>
<b>Estructura concordante</b>	<b>Según tendencia erosiva</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cara libre y talud</li> <li>• Cara libre rugosa y talud</li> <li>• Cara libre rugosa</li> <li>• Vertiente de <i>Richter</i></li> <li>• Residual de <i>plateau</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De flanco activo</li> <li>• De flanco pasivo</li> <li>• Residual</li> <li>• De excavación</li> </ul>
<b>Estructura monoclinal</b>	<b>Según grado de desgaste de las divisorias</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiente conforme</li> <li>• Vertiente inversa</li> <li>• Discordante indefinida y <i>Hog back</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfluvios ferales</li> <li>• Interfluvios suavizados</li> </ul>

Fuente: Araya- Vergara (1985).

## 2.1.2 FORMAS BASALES DE CONTACTO

Los procesos de transporte, evacúan los materiales proporcionados por la vertiente, produciendo al mismo tiempo fenómenos de deposición (Elmes, 2006).

Estas formas de deposición son producto de la dinámica desarrollada durante el Cuaternario, pero además son reguladores de la dinámica actual hacia el fondo de valle (Araya – Vergara, 1985). La dinámica de los depósitos modernos, se caracteriza porque es el desarrollo de rápidos movimientos gravitacionales de detritos rocosos (Blirka *et al.* 1998, en Elmes, 2006) que se depositan en el fondo de valle.

Entre las formas de contacto se identifican conos y glacis (Schmidt –Thomé, 1996) (Figura 2) (Tabla 2), que corresponden a depósitos de materiales proporcionados por la ladera en movimientos antiguos.

### 2.1.2.1 CONOS

**De deyección:** Hacen referencia a taludes y depósito de material, principalmente detritos y escombros de la ladera que se desarrollaron en una época postglacial, creando formas de cono cortos, profundos y coalescentes provenientes desde un *Talweg* (Blirka *et al.*, 1998, en Elmes, 2006).

**Cono de deyección caótico:** Contiene abundantes bloques, abombamientos separados por *talwegs* y comúnmente hay un desarrollo del suelo que sustenta vegetación. Proviene de cuencas pequeñas de drenaje (Ferrando, 2005), se asocian con los glacis (Araya- Vergara, 1985).

**Cono de deyección regular:** Se asocian a grandes cuencas y pueden ser fondo de valle por su extensión, presentan pendientes suaves (Araya- Vergara, 1985).

### 2.1.2.2 GLACIS

Pedraza (1996) define glacis como una superficie plana inclinada. Dávila (2011), clasifica los glacis en ambientes áridos y semiáridos como *pediment*. Se pueden definir como superficies suavemente inclinada, de un perfil longitudinal más o menos cóncavo. Son depósitos provenientes de la vertiente y no dependen de un *talweg* en particular (Figura 2).

**Glacis de derrame o de expansión:** El cual presenta un predominio de sedimentos finos, sus materiales gruesos son más bien angulosos y difícilmente pasan el tamaño de una grava, sus suelos son más profundos lo que indica condiciones inferiores de drenaje que los suelos de los conos; si hay presencia de arcilla con el agua esta da adhesividad al suelo, volviéndose muy duro y compacto al secarse (Ferrando, 2005).



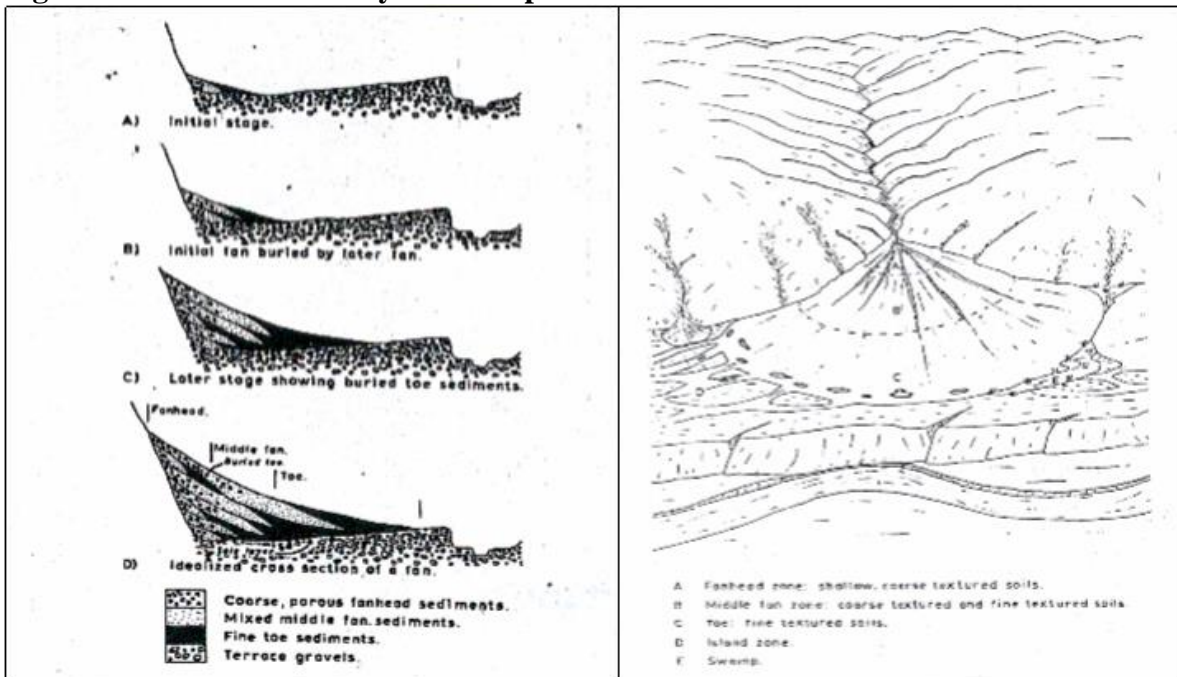
**Glacis coluviales:** estos glacis están ajenos a las cuencas de drenaje principal y se asocian a los conos de deyección coluvial (Tricart, 1972 en Araya- Vergara, 1985).

**Tabla 2 Clasificación de Cono de deyección y Glacis**

<b>UNIDAD GEOMORFOLÓGICA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>SUELO ASOCIADO</b>
<b>Cono de deyección caótico</b>	Depósito de material más bien grueso, formado por pequeñas cuencas	No existe un suelo desarrollado
<b>Cono de deyección regular</b>	Conos formados por las grandes cuencas, por lo tanto, su dimensión es mucho mayor que el cono de deyección caótico. Con formas suaves y con pendientes notoriamente menores que los conos de deyección caóticos.	Se asocia a suelos con pendiente caso planas y texturas más bien francas
<b>Glacis coluvial</b>	Se asocia a procesos ligados con transporte por hilos de aguas anastomosadas. Este glacis está en contacto directo con la vertiente, la cual provee directamente los materiales, sin mediación de una cuenca importante de drenaje concentrado	Suelos con pendientes que pueden alcanzar hasta los 10°, constituido por materiales más o menos finos con pocos materiales gruesos
<b>Glacis de derrame</b>	Proviene tanto de la cuenca de drenaje asociada al cono de deyección, como de lavado selectivo de éste por el sistema de canales anastomosados y de las aguas subterráneas asociadas. Dando con hilos de agua anastomosados con fuerte carga de sedimentos finos.	Suelos cuya pendiente es menor que la del glacis coluvial y está formado por material generalmente fino

Fuente: Tricart (1972) en Araya- Vergara (1985)

**Fig. 2 Formación de Glacis y Cono respectivamente**



Fuente: Schmidt- Tome (1956).

### 2.1.3 CAOS DE ROCAS

Bruggen (1940) señala que hay una forma frecuente de descomposición de las rocas magmáticas y eruptivas, esto lo vio en los cortes de camino, donde aparecen rocas descompuestas en arena suelta, las cuales en su parte central yacen grandes bloques duros, mostrando capas concéntricas que forman la transición de la descomposición, siendo más fuerte en los cantos de los bloques, otorgándoles una forma redondeada, a la masa suelta se le da el nombre de gruss si no ha sido transportado. Esta fachada es por el debilitamiento en el tiempo de los materiales, se da por una acción combinada de los procesos, donde la roca es atacada y fragmentada por la exposición prolongada a los agentes atmosféricos. Cambiando la resistencia y composición de la roca o sedimento original. (Elmes, 2006).

Lo anterior es un factor importante, ya que el proceso prepara los materiales para ser transportados por los agentes de erosión terrestre (Strhaler, 1977), por lo que es el primer paso para los procesos gravitacionales (Tarbuck, 2005). Sin embargo, para que esto ocurra debe pasar largos períodos de tiempo.

La lluvia lava el granito, quedando en la ladera un mar de bloques, además de “ríos de bloques” que son acumulaciones de trozos rocosos de todo tamaño que tienden a juntarse, por efecto de la lluvia o gravitación.

El granito se muestra como roca tierna o como roca dura y según Flores (2000), bajo clima árido o semiárido es sensible a la penetración del agua pues lo poco que cae es suficiente para disminuir la cohesión de la roca y facilitar su desmenuzamiento.

## 2.1.4. FORMAS MARINAS

### 2.1.4.1 TERRAZAS MARINAS

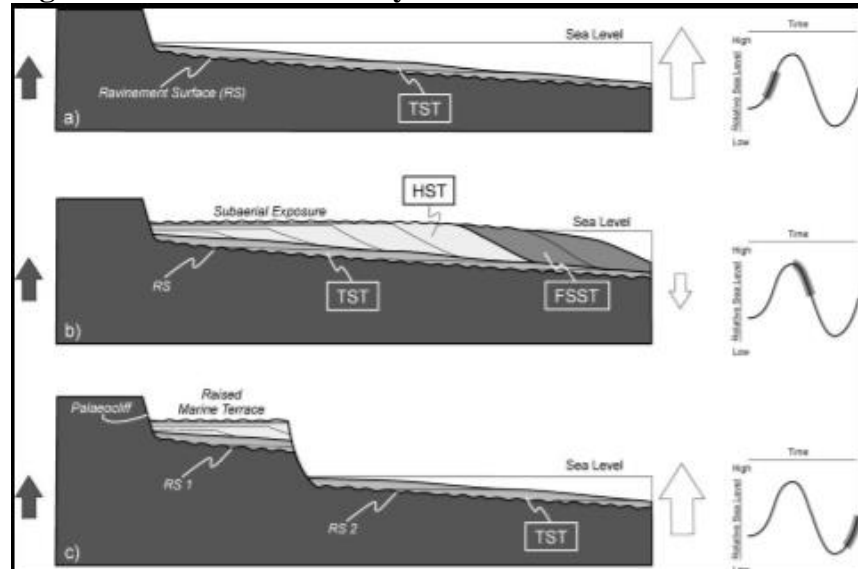
Los ciclos marinos del Plio-Cuaternario, dejaron huellas en el territorio: terrazas marinas formadas por las características topográficas y geológicas que eran propicias para el registro morfológico de los cambios del nivel del océano (Paskoff, 1970).

Se define terraza marina como

superficies más o menos planas, con cierta inclinación debidas a la acción erosiva del mar y localizadas a cierta altura a causa de un alzamiento por sobre el nivel del mar actual (Figura 3) (Saillard, 2008).

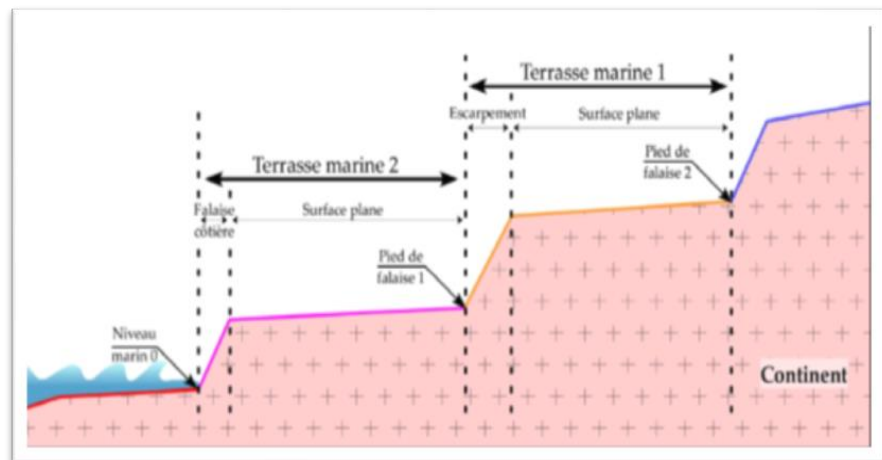
En su génesis se van depositando tanto materiales de origen marino como continental, debido a la acción de las glaciaciones e interglaciaciones (Figura 4), (Saillard, 2008).

**Fig. 3 Modelo de desarrollo y evolución de terrazas marinas**



**Fuente: Saillard (2008).**

**Fig. 4. Esquema de las principales características de terrazas marinas.**



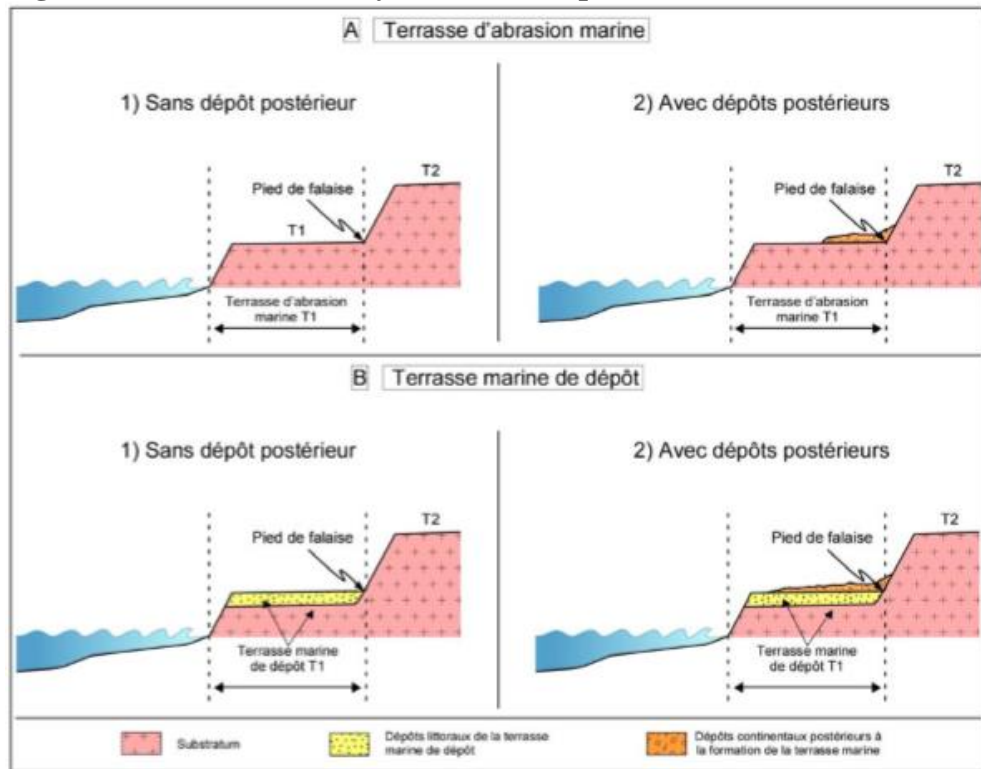
**Fuente: Saillard (2008)**

Las terrazas marinas, son el resultado entre las fluctuaciones del nivel del mar y los movimientos tectónicos, en un tiempo de actividad (Saillard, 2008), su formación dependerá de la disposición, litología y tectónica. La naturaleza y la disposición del material rocoso del margen continental, condicionan la acción de las olas oceánicas, permitiendo o no la sedimentación (Paskoff, 1970). La tectónica permite el alzamiento del terreno.

Pueden formarse sucesiones de terrazas marinas, siendo las más altas, las más antiguas. Las terrazas pueden ser erosionadas luego de su formación en un movimiento de hundimiento o elevación, por lo que no siempre una secuencia de terrazas marinas es una secuencia cronoestratigráfica completa.

Se distinguen dos tipos de terrazas (Figura 5), A) Terrazas de abrasión, que son superficies marinas, con abrasión de la roca madre, no cubierta con una cantidad significativa de sedimentos. Estas superficies, fueron en un pasado plataformas de abrasión que estaban a la altura de la terraza en formación, fueron erosionada por el mar y luego levantada, quedando en la actualidad como huellas de este proceso (Saillard, 2008). B) Terrazas marinas de depósitos sedimentarios, cuyo espesor es variable (Saillard, 2008).

**Fig. 5 Terraza de abrasión y terraza de depósito**



**A) Terraza de abrasión: A.1 sin depósito anterior A.2 con depósito anterior B) Terraza de depósito B.1 son depósito anterior B.2 con depósito anterior (Fuente: Saillard, 2008)**

#### 2.1.4.2 PLATAFORMAS DE ABRASIÓN

Dependiendo de la exposición de la costa y su protección, esta puede ser una zona sometida a erosión costera (acantilado) o una zona protegida de energía de las olas (bahías, estuarios). En las zonas sujetas a erosión marina, la morfología de la costa generalmente consiste en un acantilado a lo largo de la plataforma de abrasión. Esta es un piso, erosionado por la acción de las olas que se desarrolla en dos direcciones: hacia el interior por la erosión de las olas y en lo profundo de la columna de agua (Saillard, 2008). El ancho y pendiente de la plataforma dependerán de la resistencia de la roca. Se pueden identificar plataformas de abrasión, creadas por la erosión hacia el interior y *stacks* que son promontorios rocosos en un ambiente arrecifal. (Figura 6).

**Fig. 6** Plataforma de abrasión, Punta de Lobo, Chile



Fuente: Sociedad geológica

#### 2.1.4.3 PLAYAS

Playa es un sistema costero que cubre dos terceras partes de la costa libre en el mundo (Short, 1999). La playa estará conformada por sedimentos que ahí se depositan y la acción de las olas (Komar, 1976).

Las variaciones en la línea de costa, determinadas por condiciones en alta mar, batimetría y orientación de la costa, determinan la cantidad de energía transferida a las playas y la cantidad de sedimentos transportados entre células litorales adyacentes (Horta *et. al.* 2013).

Dependiendo, entonces de la acción marina y la litología continental se desarrolla la línea de costa, que puede alternar acantilados, *bluffs*, *pocket beach*, (Araya- Vergara, 1983) estas últimas protegidas por promontorios y plataformas marinas (Horta *et. al.* 2013).

Las playas están compuestas por materiales sueltos, no consolidados, maleables, sean de arenas y/o guijarros (Hasllet, 2009 en Amaya, 2013). En las playas opera la interacción de los agentes costeros (corrientes, mareas, vientos) (Bird, 2008), en tal sentido Short (1999) señala que una playa es la acumulación de sedimentos depositados por el oleaje, entre la profundidad máxima en la cual las olas pueden transportar material sedimentario hacia tierra (base de la ola), y el límite hacia tierra de la acción sub-aéreas de la ola y el transporte de los sedimentos (límite de *swash* ) (Torres, 2010 en Amaya, 2013), por lo tanto las playas están sujetas a constantes cambios morfológicos y topográficos (Castro & Morales, 2006 en Amaya, 2013).

## **2.2 PROCESOS DE MOVIMIENTO EN MASA**

Los fenómenos de movimiento en masa se pueden definir como procesos de transporte de material, de movilización lenta o rápida, con un determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones y generada por una serie de factores (Hauser, 1993 en Lara, 2007).

### **2.2.1 TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA**

El tipo de movimiento puede ser caída, deslizamiento, flujo o licuefacción (USGS, 2004). Los diferentes tipos de movimiento en masa, dejan distintos tipos de depósitos como huellas en el terreno. Se pueden entonces diferenciar movimientos en masa muy antiguos, llevadas a cabo en contextos totalmente distintos al actual. Movimientos en masa contemporáneas, son producidos en las actuales condiciones y por distintos agentes desencadenantes.

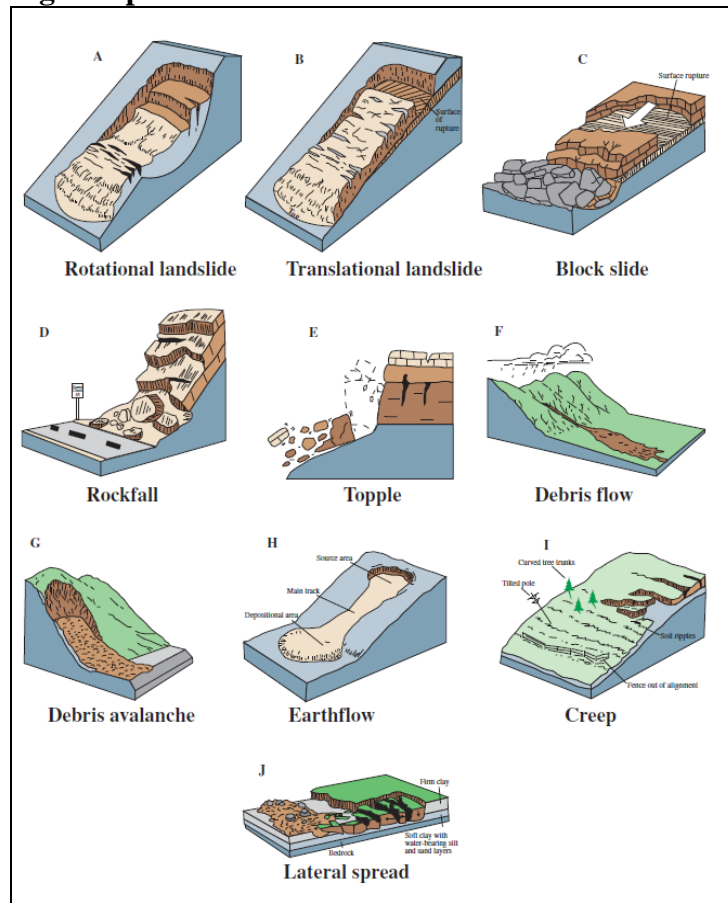
Los tipos de deslizamientos son diferenciados por la forma del movimiento y el tipo de material (Tabla 3, Figura 7), sin embargo hay otros sistemas de clasificaciones que incorporan otras variables tales como contenido de agua, aire o hielo en el material. Los movimientos en masa, normalmente se asocian a niveles montañosos, pero también pueden llevarse a cabo en lugares con poca pendiente.

**Tabla 3 Tipos de movimiento de movimiento en masa. Abreviado de la versión de Varnes. Clasificación de movimientos en pendiente**

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow	Debris flow	Earth flow
		(deep creep)	(soil creep)	
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Fuente: Varnes (1978)

**Fig. 7 Tipos de remoción en masa**

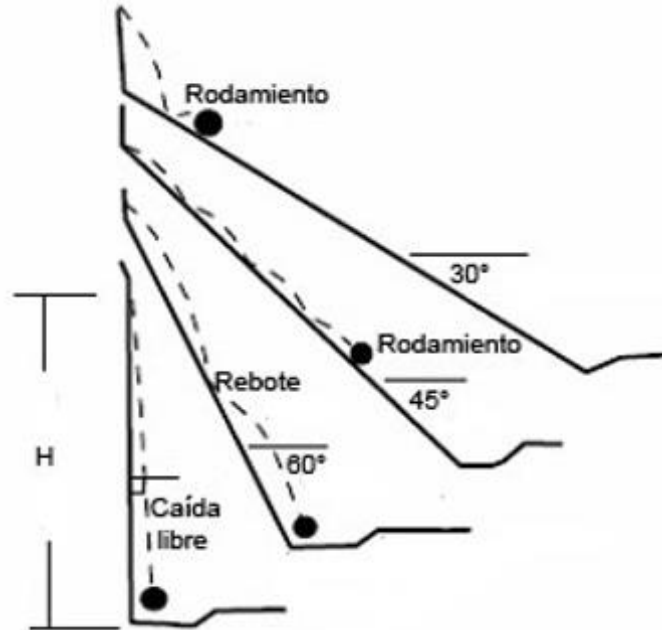


Fuente: USGS (2004)

### 2.2.1.1 CAÍDAS DE ROCAS

Son movimientos bruscos de material geológico, tal como roca o cantos rodados, que se desprenden a lo largo de discontinuidades como fracturas o planos de estratificación. El movimiento puede ser por caída libre, rebote y balanceo o rodamiento, dependiendo de la geometría de la ladera y características específicas de la roca (Figura 8) (USGS, 2004).

**Fig. 8 Tipos de movimiento de caída de rocas**



**Fuente:** Lara (2007).

Al estar la roca expuesta prolongadamente a agentes atmosféricos, sufre el proceso de meteorización donde la roca es atacada y fragmentada, pudiendo ser transportada por agentes erosivos como el agua, hielo, viento, etc.

Por la inclinación de la pendiente y la fuerza de gravedad, los materiales sueltos y fragmentados tienden a rodar hacia el pie de las laderas, originando una acumulación de materiales (Elmes, 2006).

En la caída se puede adquirir alta energía, lo que les permite abarcar una amplia área a los pies de la ladera (Lara, 2007), además las dimensiones del material influyen considerablemente en la trayectoria de éste. La caída de rocas, entonces, dependerá en su mayoría de la pendiente de la ladera, meteorización, y la presencia de agua (USGS, 2004).

### 2.2.1.2 FLUJOS

Según USGS (2004) se definen 5 tipos de flujos: Flujo de escombros, Avalancha de escombros, flujo de tierra, inundaciones de lodo, *creep*.

**Flujo de Escombros:** (Figura 8f) Referido a un movimiento de masa rápido, en que hay una combinación de tierra suelta, roca, materia orgánica, aire y agua que se deslizan por



pendientes pronunciadas. Se caracterizan porque sus materiales presentan menos de la mitad de materiales finos. Pueden ser causados por precipitaciones extremas o deshielo rápido, que erosiona y moviliza tierra o rocas sueltas en pendientes. Las zonas que se relacionan con este tipo de flujos son barrancos escarpados, que si presentan baja vegetación, intensifican la vulnerabilidad de este tipo de pendientes (USGS, 2004).

## **2.2.2 AGENTES DESENCADENANTES**

Se reconocen 3 agentes desencadenantes de un evento de movimiento en masas, según la USGS, 2004 de los cuales serán descritos 2, ya que son los posibles de encontrar en el área de estudio.

**2.2.2.1 AGUA** La saturación del suelo por agua es una causa primaria, se puede dar por lluvias intensas, derretimiento de nieve, cambios en niveles de agua subterránea, cambios de nivel de agua en las costas, presas de tierra, lagos, embalses, canales, etc. (USGS, 2004).

Las precipitaciones son el principal factor desencadenante de movimientos en masa (González et al., 2002 en Lara, 2007), Así, se entiende que precipitaciones de poca intensidad en períodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en períodos cortos pueden desencadenar eventos de movimientos en masa en zonas susceptibles (Lara, 2007). Dependerá de las condiciones de la zona, la cantidad de precipitaciones necesarias para superar el umbral de ocurrencia de movimientos en masa.

Se hace necesario destacar el papel del fenómeno del niño (García, 2000 en Lara, 2007), en el cual se tiende al exceso de precipitaciones (inviernos con más días de lluvias y más intensas) lo que aumenta caudales y escorrentía. En Chile central se probó una correlación entre el fenómeno del niño y el desarrollo de tormentas desencadenantes de eventos como flujo de barro y detritos. (García, 2000; Sepúlveda et al., 2006 en Lara, 2007).

**2.2.2.2 SISMICIDAD** Los sismos aumentan en gran medida la probabilidad de que se produzcan movimientos en masa, ya sea por el sismo mismo, el cual genera un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera (Lara, 2007) o porque se puede causar una dilatación de materiales que permite una rápida infiltración del agua. Los sismos también pueden dar paso a desprendimientos de rocas.

Keefer (1984) estableció los posibles movimientos en masa en caso de sismos de distintas magnitudes, en un estudio realizado en EEUU con sismos bajo 5.3° estableciendo una distancia máxima de 50 km entre el sismo y la remoción. Sin embargo, luego se establecieron otros factores, y no sólo la magnitud, que tendrían influencia en la distancia máxima entre el foco del sismo y el lugar donde se genera la remoción, como son las variaciones que podría tener el movimiento del suelo durante un sismo y las condiciones

geológicas. Rodríguez (1999) amplió la fuente de datos de Keefer (1984), como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4 Clasificación de remoción en masa según intensidad de sismo**

<b>MAGNITUDES MÍNIMAS APROXIMADAS (M<sub>L</sub>) SEGÚN KEEFER (1984)</b>	<b>MAGNITUDES MÍNIMAS APROXIMADAS (M<sub>L</sub>) SEGÚN RODRIGUEZ et al. (1999)</b>	<b>TIPO DE REMOCIÓN EN MASA</b>
<b>4,0</b>	5,5	Caída de rocas, deslizamiento de roca, caída de suelo, deslizamiento desmembrados de suelo
<b>4,5</b>	5,5	Subsidencias de suelo, deslizamiento de suelo en bloques
<b>5</b>	6,5	Subsidencia de roca, deslizamiento de roca en bloque, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápido de suelo, deslizamiento submarino
<b>6</b>	6,5	Avalancha de roca
<b>6,5</b>	6	Avalancha de suelo

Fuente: Lara (2007).

Sepúlveda (2004), estudió factores como la amplificación topográfica de ondas sísmicas como causa de la generación de fallas en ladera de roca, encontrando relación entre la dimensión y forma de la ladera, con la longitud de onda dominante que favorecen la amplificación topográfica y la consecuente generación de deslizamientos (Lara, 2007).

### **2.2.3 FACTORES CONDICIONANTES**

Existen ciertos factores condicionantes para llevar a cabo procesos de movimientos en masa, ya que pueden generar una situación de inestabilidad en el terreno. Hauser (1993) expone que estos factores serían principalmente las características del relieve, geología, geotecnia y vegetación los cuales pueden hacer más vulnerables distintas zonas. Cada tipo

de movimiento en masa tendrá injerencia de distintos factores, ya que no todos son causados por las mismas razones (Lara, 2007).

**2.2.3.1 GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA** Este factor dice relación con el tipo de depósito y su material, se debe caracterizar su densidad, permeabilidad, plasticidad y humedad; para las rocas influirá su estructura, meteorización y alteración.

Para remociones en suelo el tipo de material condiciona el comportamiento del depósito, ya que influye en la resistencia y/o equilibrio. Por ejemplo los depósitos volcanoplásticos, glaciales, escombros de falda, aluviales, coluviales y de antiguos flujos pueden ser movilizados y/o removilizados, ya que sus materiales son permeables fácilmente saturables (Lara, 2007).

Para el caso de rocas, la litología es el factor que influirá en la resistencia a la meteorización y alteración de la roca, la presencia de minerales secundarios (ceolitas, arcillas, sericita, clorita), característicos de alteraciones hidrotermales, aceleran los procesos de meteorización e influyen de manera importante en la pérdida de resistencia, incorporan agua con facilidad e incrementan la porosidad (Jacoby, 2001).

La caracterización de la roca es importante, ya que está relacionado con la generación de material detrítico o bloques que pueden ser objeto de remociones.

**2.2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE** Los rasgos geomorfológicos que serán factores importantes para un posible evento de movimiento en masa son principalmente topografía, pendiente de la ladera, cambios fuertes de pendiente y la extensión y altura de la ladera, incidiendo todas en velocidad, volumen y energía del movimiento.

Además se cuentan como factor la forma y superficie de las hoyas hidrográficas, orientación de laderas y su consecuente exposición al sol.

Pendiente: Las pendientes son el primer factor a reconocer, ya que favorecen la generación de flujos, deslizamiento y derrumbes. En algunos casos la generación de flujos se favorece por pendientes abruptas, ya que otorgan una alta capacidad de transporte y energía a los flujos. Así tributarios cortos pero con mayor pendiente, rectos y estrechos concentran el transporte del material incrementando su energía cinética (Jacoby, 2001 en Lara, 2007). Pendientes sobre 25° en las cabeceras de las hoyas son favorables para el desarrollo de flujos (Hauser, 1993, en Lara, 2007) aunque algunos podrían generarse sobre pendientes menores que no sobrepasan los 15° (Sauret, 1987, en Sepúlveda, 1998).

La caída de rocas por su parte ante un sismo, pueden generarse a partir de rocas fracturadas o meteorizadas o poco resistentes, pero con una pendiente  $\geq 40^\circ$ .

Exposición de las laderas: La exposición al sol de la ladera influye con acciones de deshielo, efectos erosivos y de meteorización del material. Además la vegetación disminuye en las laderas más expuestas.

Se entiende que para que ocurra una remoción debe existir material susceptible a ser movilizado. Lo que hace necesario identificar depósitos de antiguos deslizamientos o flujos, depósitos coluviales que se ubican por lo general a los pies de la ladera y quebradas donde están en una situación límite de equilibrio.

**2.2.3.3 HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA** Es de importancia ya que están relacionados con la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos materiales. Cuando el suelo se satura presenta variaciones en sus rangos de cohesión dependiendo de su granulometría. En suelo cuando el agua se incorpora al material genera una disminución en su resistencia, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros (Lambe & Whitman, 1972 en Lara, 2007). En roca, al agua puede contribuir a la pérdida de resistencia infiltrándose en las estructuras ejerciendo tensiones.

Para el caso de los flujos, en su mayoría se producen por saturación del material, lo cual al provocar un aumento en la presión de poros disminuye su resistencia.

Si bien los flujos de detritos se asocian a suelos saturados, el flujo puede ir adquiriendo líquido en el trayecto, generándose en un principio por la inestabilidad del suelo condicionada por la resistencia, el ángulo de fricción interna y el grado de saturación del suelo (Yoshida et al., 1991 en Lara, 2007). Pueden además existir movimientos de ladera complejos, que pueden venir de un flujo de detritos o un flujo seco, dependiendo si se incorpora agua al material transportado (Varnes, 1978). Por otro lado, en las vertientes escarpadas o acantilados se puede infiltrar el agua entre las fracturas de la roca ayudando a la separación de la roca y la posterior pérdida de contacto entre las paredes de la roca que la mantienen estable.

**2.2.3.4 VEGETACIÓN** Selby (1993, en Lara 2007) propone que la vegetación contribuye a disminuir el efecto erosivo en el suelo causado por el clima, propiedades del suelo y topografía. Los árboles permiten la absorción de agua, evitando una saturación del suelo, además las raíces ayudarían a la estabilización, considerando siempre que en algunos casos la estabilización es superficial. Según el mismo autor la vegetación ideal para la estabilización corresponden a bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, argumentando que la vegetación interceptaría el agua caída, disminuiría la capacidad de erosión y aumentaría la resistencia del suelo y su porosidad. Sumándose que se aumentaría la evapotranspiración del agua, disminuyendo el grado de saturación del suelo y produciría compactación en el suelo más profundo (Greenwood & Norris, 2006, en Lara, 2007).

**2.2.3.5 CLIMA** Los principales agentes que generan erosión en las laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones las más importantes.

Las precipitaciones condicionarán la estabilidad del macizo, ya que disminuyen la resistencia de las estructuras al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. Lo que puede producir caída de rocas, puesto que el agua infiltra por arriba y las caídas suelen producirse cerca de la cumbre de las laderas. Los flujos de detritos y barro también son producidos por lluvias intensas, asociadas con saturación del material por lluvias antecedentes al día del evento, las que en este caso estarían actuando como condicionante en la estabilidad de la ladera.

El viento, influirá en el ángulo de incidencia de las gotas de lluvia y además en la desestabilización de las laderas abruptas con árboles.

La radiación solar, influye en condición de humedad del material, disminuyendo la resistencia de las laderas mientras mayor grado de humedad estas presenten.

**2.2.3.6 ACTIVIDAD ANTRÓPICA** El factor humano es muchas veces primordial en la estabilidad de las laderas, algunas actividades que las pueden desestabilizar son excavación de las laderas, sobrecargar las pendientes en su cima, rellenos, deposición de depósitos, cambios en uso de suelo, extracción de áridos, deforestación, riego, vibración artificial. Lo anterior puede influir en la estabilidad de la ladera, como también puede ser contribución de material para futuros movimientos en masa.

También a escala global, las actividades antrópicas en el último tiempo han afectado directamente en el cambio climático terrestre, lo cual asocia a variaciones en las temperaturas, tipo e intensidad de precipitaciones y su distribución, influyendo directamente en la generación de remociones que derivan en desastres.

### **2.3 RIESGO - AMENAZA**

RIESGO, evoca a la idea de pérdidas y daños a las distintas esferas de la actividad humana, el riesgo está supeditado a la existencia de AMENAZAS, eventos físicos que cambian el estado estático del territorio; VULNERABILIDAD, referida a una situación proveniente de un proceso social que hace que algún elemento de la estructura social se encuentre expuesto a sufrir algún daño o pérdidas al ser impactado por algún evento físico (Lizardo *et.al.*, 2009).

La gama de amenazas que enfrenta el ser humano es diversa y tiende a aumentar constantemente, sus orígenes pueden ser naturales o antropogénicos, las primeras se asocian a la dinámica geológica, geomorfológica atmosférica y oceanográfica, y son el resultado de la interacción entre el mundo natural y las prácticas sociales. Las segundas son producto de la actividad humana, como explosiones, derrames de materiales tóxicos, contaminaciones, etc. (Lavell, 2005).

Amenaza natural está definida por el Sistema de Información Ambiental de Colombia como "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él. Se refiere específicamente, a todos los fenómenos hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos). Ferrando (1994) agrega que estos fenómenos por su localización, severidad y frecuencia, tienen el potencial para afectar adversamente a los seres humanos. La calificación natural excluye a todo lo causado por el hombre. En áreas donde no hay intereses humanos, los fenómenos naturales no constituyen amenazas ni tampoco resultan en desastres.

Para poder conocer las amenazas naturales es necesario estudiar casi todos los fenómenos físicos que se producen en el planeta.

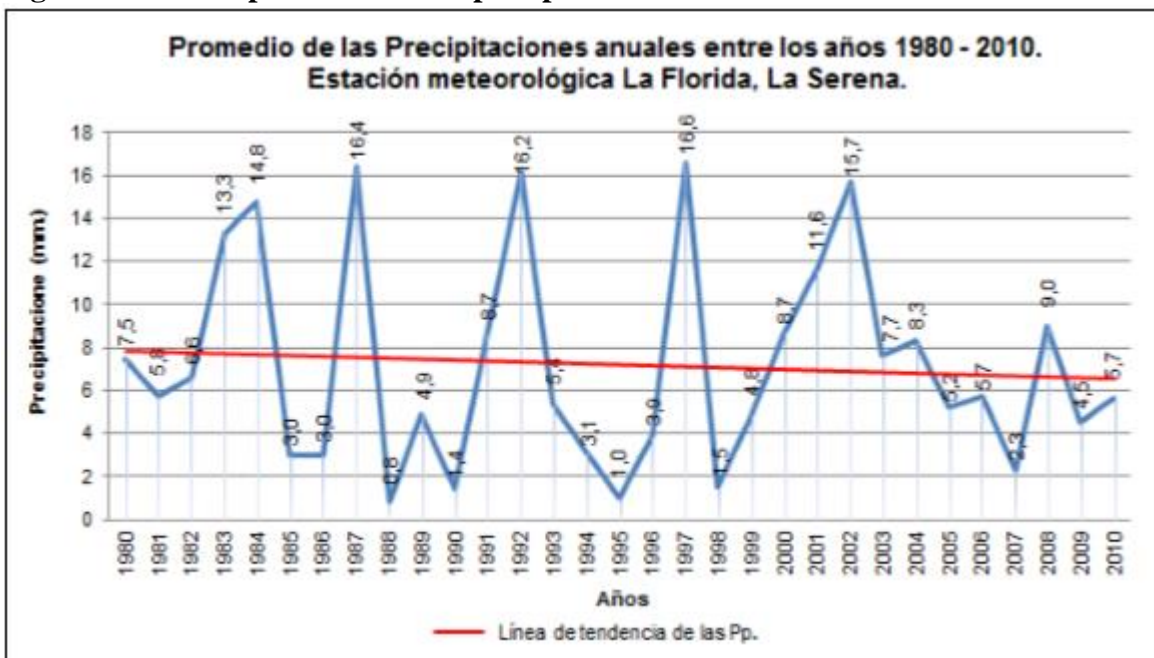
## CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO

### 3.1 CLIMA

La Región de Coquimbo se encuentra en una zona de transición climática entre el clima mediterráneo desértico y semi-desértico. Es una zona semi-árida del oeste de Sudamérica, al sur del Desierto de Atacama, (Sánchez & Morales, 1998, en Squeo, *et al.*, 2001). Debido al relieve, el clima presenta distintos matices, húmedo y nuboso en el litoral, y estepario cálido en el interior.

En la costa se presenta alta humedad (85%) y mucha nubosidad, manifestada por nieblas frecuentes y lloviznas que tienden a disipar al mediodía (Novoa *et al.*, 2001, en Squeo *et al.*, 2001). La cercanía al mar produce baja amplitud térmica. Gracias a la nubosidad y el relieve se permite la conservación de restos de bosque tipo valdiviano de épocas preglaciales ubicado en Altos de Talinay y el Parque Nacional Fray Jorge. Las temperaturas son moderadas; media anual de 14,7°C (La Serena) y una oscilación térmica diaria que no sobrepasa los 6°C. Las precipitaciones para esta zona, son variadas, Según Sánchez (2010) quien realiza un estudio de las precipitaciones entre los años 1980 - 2010, estas suben su promedio en años con fenómeno del niño (1987, 1992 y 1997) y lo disminuyen en años de fenómeno niña (1988, 1990 y 1985) (Figura 9).

**Fig. 9 Gráfico del promedio de las precipitaciones entre 1980- 2010**



Fuente: Sánchez (2010)

### 3.2 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

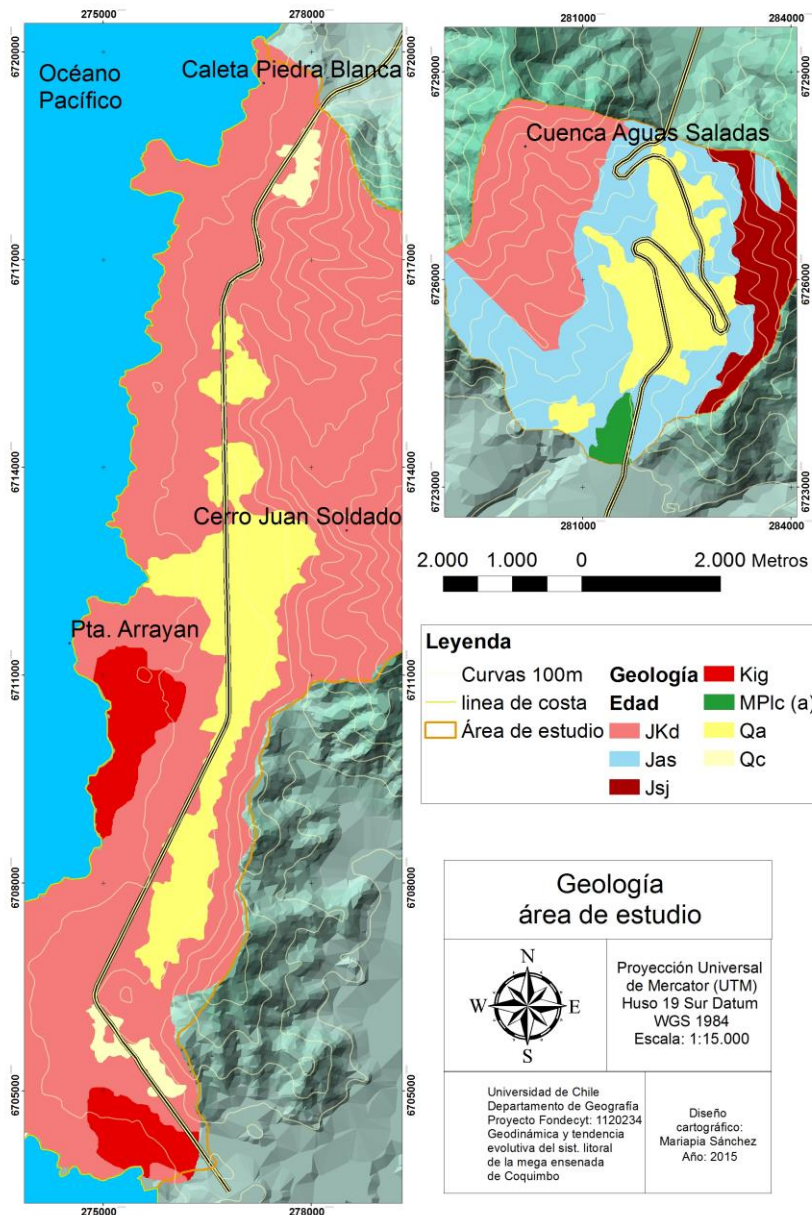
La geología del territorio estudiado, es de importancia por ser esencial para el posterior modelado de las geoformas (Bird 2008). El basamento litológico constituye un factor condicionante para el posterior desarrollo geomorfológico (Fig. 10).

Al encontrarse el basamento litológico de la Cordillera de la Costa a pocos metros de la línea de costa, este actuó, en el Mioceno, como barrera para la formación de secuencias sedimentarias,

sólo permitiendo la creación de pequeñas terrazas marinas de abrasión.

La disponibilidad de estudios en la zona sólo permite realizar el análisis geológico a través de la carta geológica Área La Higuera- La Serena de Emparán & Pineda (2000). Escala 1:100.000.

**Fig. 10 Carta geológica Área de estudio**



Fuente: Emparán & Pineda (2000)



## LEYENDA ASOCIADA A LA FIGURA 10

### Unidades Geológicas

#### I. Jurásico- Cretácico:

##### I. 1 Rocas Intrusivas

a) Intrusivos dioríticos (JKd) (ca. 145 Ma): Afloramientos dispersos a lo largo de la zona costera, ubicados en cuesta Buenos Aires. Localizadas al Nor-este del área de estudio. Instruyen el complejo sub-Volcánico Agua Salada, de la misma edad (Emparán & Pineda, 2000).

b) Plutón San Juan (Jsj) (ca. 148 Ma): Cuerpo intrusivo, compuesto por dioritas porfíricas de piroxeno y anfíbola. Forma un cordón montañoso al Este de la quebrada Agua Salada, que destaca por su altura.

##### I.2 Rocas Volcánicas

a) Complejo sub- Volcánico Agua Salada (Jas): Ubicado en la cuenca Agua Salada, que aflora al Este de la zona de falla Romeral. Quebrada Salada está instruido por el Plutón San Juan y por dioritas datadas en ca 145 Ma. (Emparán & Pineda, 2000)

#### II. Cretácico inferior:

##### II.1 Rocas intrusivas

a) Intrusivos granitoides (Kig) (131-125 Ma): Constituyen dos plutones en el área de estudio, Plutón Cerro el Cobre y Plutón Península de Coquimbo. El primero instruye al complejo sub- volcánico Agua Salada y a las dioritas del Jurásico- Cretácico y es formado en su mayoría por esquistos milóníticos. El Plutón península de Coquimbo, se ubica en Punta La Herradura, que según la edad reportada por diversos autores, se interpreta como cercana a la cristalización (Emparán & Pineda, 2000).

#### III. Depósitos del Mioceno y Pleistoceno:

##### III.1 Secuencias Sedimentarias

a) Formación Confluencia (MPlc): Ubicada en Quebrada Honda. Secuencia de gravas gruesas redondeadas, incluye facies fluviales y aluvionales, que engranan entre sí o superponiéndose las facies aluvionales sobre las fluviales (Emparán & Pineda, 2000).

#### IV. Depósitos del Cuaternario:

IV.1 Depósitos aluvionales (Qa): Brechas no consolidadas que son rellenos de quebradas y formas de conos aluvionales, que cubren los depósitos fluviales antiguos (Emparán & Pineda, 2000).

IV.2 Depósitos coluviales (Qc): Sedimentos no consolidados, adosados a las laderas y engranados en las cabeceras de abanicos aluvionales (Emparán & Pineda, 2000).

### **3.3 ANTECEDENTES GEOMORFOLÓGICOS**

#### **3.3.1 CORDILLERA DE LA COSTA O *COAST RANGE***

La Cordillera de la Costa a la altura del semiárido entre los 27°- 32° S es un paisaje maduro con cumbres convexas de altitudes de hasta 2.000 msnm. Las cumbres aguas abajo, dan paso a pedimentos que en sus partes más distales se definen como superficies planas con una ondulación dada por la coalescencia con abanicos aluviales. La altura de los pedimentos desde la parte oriental al borde costero comienza en 1.500 msnm y termina 500 msnm. En su drenaje se diferencian 2 tipos de incisiones: (1) Cauces principales de las grandes cuencas que provienen de la cordillera principal con una incisión vertical de menos de 200msnm. (2) red de drenaje que incide desde el océano, sin llegar al eje central longitudinal de la cordillera de la Costa (Aguilar, 2013).

Las pendientes según Aguilar (2013), revelan una predominancia de una morfología de pedimentos, la cual no presenta una mayor incisión por la red de drenaje. Sin embargo a la altura de las cuencas del Elqui y Limarí hay una degradación de los niveles del pedimento dada por la densificación e incisión de esta red, mostrando un paisaje relativamente joven.

A la altura de la cuenca del Elqui ocurre algo interesante, la incisión aumenta, afectando incluso a las cuencas tributarias de menor orden cuya incisión vertical no supera los 100 msnm. Una probable explicación es la presencia de la morfología de bahías en la línea de costa que permite una mayor influencia del ambiente costero hacia el continente, que resulta en un clima local más húmedo y en un relieve más susceptible a la incisión como resultado de cambio de base del océano.

Son relieves que no superan los 2.000 msnm y que junto a las formas de disección que los recorren, configuran una unidad, limitando a occidente en el contacto con formas de erosión y depósito, tanto marinas como continentales (Ferrando & Muñoz, 1977).

Las laderas de estos relieves, presenta por lo general un perfil rectilíneo que adquiere hacia la base una débil forma cóncava, por la presencia de conos de derrubio, depósitos coluviales y lentes de deslizamiento (Ferrando & Muñoz, 1977).

La parte media y alta de las laderas muestran una cubierta de sedimentos, que varía desde una carácter regolítico, hasta un espesor considerable de grava y gravilla, con bloques angulares y subangulares en una matriz arcillo limosa con arena, formada por la alteración de la roca en períodos húmedos del pleistoceno (Ferrando & Muñoz, 1977). La cubierta sedimentaria es discontinua, por lo que hay numerosos afloramientos rocosos que resistieron a la intemperización o que sufrieron deslizamientos o caídas por gravedad.

El paralelismo entre la línea de costa y la alta cordillera, sugiere una relación de primer orden entre el alzamiento andino y la localización de la línea de contacto continente-oceano (Paskoff, 1970).

En el área de estudio, según la carta topográfica del IGM año 1967, escala 1:50.000 las alturas máximas ocurren en el cerro Juan Soldado con 1198 msnm y al norte de Quebrada Maitenes, 1060 msnm.

Las formas de erosión continental, en el área de estudio son representadas por los *talwegs* marcados por disección pluvial en los óptimos climáticos del cuaternario (Ferrando & Muñoz, 1977).

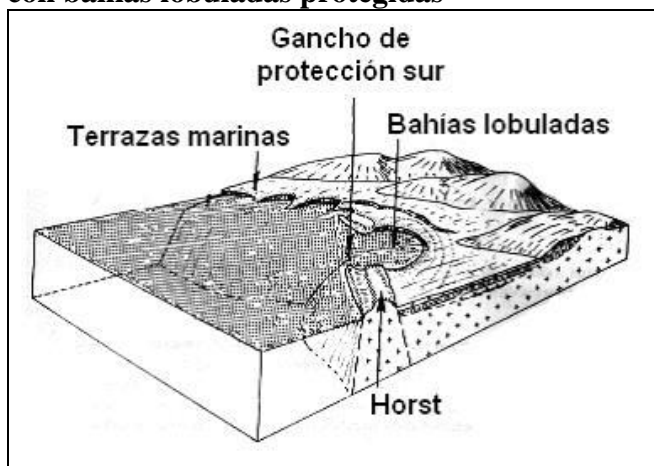
Las formas de contacto o deposición, que se formaron en la zona, son conos y glacis, considerados como los principales depósitos correlativos a las formas de erosión de montañas. Estas formas son manifestaciones de la dinámica del Cuaternario, que rebajaron la superficie del nivel marino, dejando aparecer terrenos miocénicos subyacentes. Los conos según Ferrando & Muñoz (1977) son conos de deyección torrencial formados por la mayor pluviosidad del pleistoceno, en la actualidad inactivos en espera de mayor energía. Entre La Serena y Pan de Azúcar los conos se prolongan por embahiamientos que escotan el marco montañoso donde este no es muy elevado (Paskoff, 1970).

### 3.3.2 FORMAS MARINAS

Araya Vergara (1971 y 1972), propone una división de las costas de Chile, que caracteriza al área de estudio como una zona con bahías amplias, algunas lobuladas y otras con forma de herradura, que indican procesos locales de regularización. El mar tiene un papel abrasivo que da cuenta en las salientes que separan las bahías. Los ganchos de protección son *Horts* que muestran influencia tectónica en el conjunto, al igual el alineamiento insular (Figura 11).

Los factores de mayor importancia en el desarrollo de la costa serán la litología, ya que la disposición y naturaleza del material rocoso, condiciona el trabajo de las olas oceánicas y la tectónica (Paskoff,

**Fig. 11** Bloque de diagrama que representa a la región de costas abrasivas y erosivas tectónicas con bahías lobuladas protegidas



Fuente: Araya- Vergara (1976).

1970). La costa entre Tal Tal y Tongoy muestran una mayor alternancia entre rocas blandas y rocas duras, lo que situadas de forma compleja, contribuye al grado de indentación de las costas (Araya- Vergara, 1976), corresponden a una costa abrasivo tectónico, con bahías lobuladas protegidas.

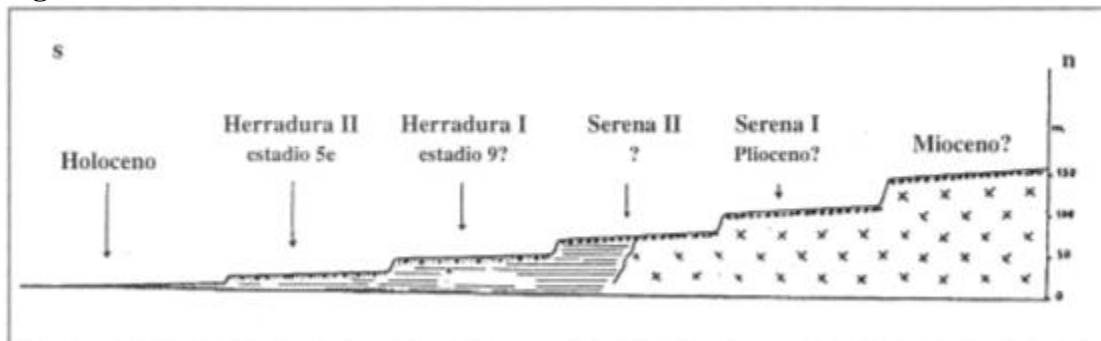
La litología del Chile semi árido, presenta afloramientos de formaciones paleozoicas o más antiguas, que no fueron alcanzadas a por las manifestaciones eruptivas el mesozoico (Paskoff, 1970).

Además, Novoa & López (2001) plantea que es en el litoral central de la región, donde dominan las terrazas marinas.

La bahía de Coquimbo presenta un conjunto de gradas marinas en la línea de costa (Paskoff, 1970). Al norte del área de estudio, en Punta Teatinos se identifica 5 niveles marinos pliocuaternarios, cubiertos de depósitos de playa fosilíferos y separados entre sí por acantilados. Estos niveles atestiguan posiciones sucesivas de la línea de costa, en sus movimientos de retroceso desde el plioceno a su ubicación actual (Paskoff, 1970).

De Oeste a Este se identifican las terrazas marinas como, Veguienze, Herradura II, Herradura I, Serena II y Serena I (Figura 12).

**Fig. 12 Perfil de terrazas marinas en Punta Teatinos**



**Fuente: Paskoff (1999). Interpretación cronológica de las terrazas marinas escalonadas en Punta Teatinos.**

La alta terraza, es un elemento esencial en el paisaje, (Sereniense I y II) es el nivel más ancho y extenso de los niveles marinos, alcanza una altura de 290 msnm y disminuye a medida que se avanza hacia la línea de costa. En punta teatinos está bien desarrollada y tallada a la vez en el sustrato granítico o metamórfico y en los depósitos del mioceno (Paskoff, 1970).

La primera terraza media (Herraduriese I) surge como un nivel, perteneciente a la unidad inferior de la formación Coquimbo, erosionado por el océano, con una altitud, quizá, ligeramente más elevada que en otros lugares de 40 - 45 msnm, esta terraza está desfigurada por acciones continentales, pudiendo encontrar acumulaciones dunarias,

depressiones circulares, conos de deyección y taludes pronunciados. La segunda terraza media (Herraduriense II), es un cuarto nivel de terraza con un ancho aproximado de 500 m y con una altitud máxima de 15 - 20 msnm, está separada del nivel inferior (Veguiense) por un acantilado inactivo.

La terraza baja (Veguiense) parte en la orilla actual y termina a los 5- 7 msnm al pie de una acantilado muerto. Alrededor de la bahía Coquimbo, Punta Teatinos y Tortuga, la costa es rocosa, pero a poca distancia de la orilla actual. La terraza baja limita por un acantilado muerto y se reconoce como una estrecha plataforma de abrasión que el mar no recubre. Presenta formaciones de depósitos turbosos o de conchas, abandonados en el momento de su emersión. Clastos redondeados que le suceden hasta la base, correspondiente de una etapa anterior, transgresiva, de este mismo episodio. Se supone, que la terraza baja debe ser una plataforma de abrasión tallada en areniscas miocénicas (Paskoff, 1970).

En el área de estudio en específico estas formas desaparecen y se muestran terrazas de abrasión las que Saillard (2008) propone tienen origen en el proceso de formación de las terrazas marinas, donde pueden ocurrir dos tipos de costa una de erosión y otra de acumulación, ambas se encuentran a una misma altura, sin embargo la primera es sometida a la erosión costera, mientras que la segunda es protegida de la energía de las olas.

## CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 4.1 MATERIALES:

- Software Google Earth
- Software ArcGIS 10.1
- Carta topográfica IGM año 1967, escala 1:50.000
- Carta geológica Comuna de La Higuera de Emparán & Pineda (2000), SERNAGEOMIN, escala 1:100.000
- Modelo de elevación digital (DEM), de resolución 30 mt.
- Imagen Landsat TM 19 octubre 2009
- Imagen Google Earth 23 octubre 2014
- Terreno
- Base bibliográfica de: Paskoff (1970); Ferrando & Muñoz (1977) Araya - Vergara (1985); Pedraza (1996); Padilla (2007); Saillard (2008); Aguilar (2013).

### 4.2 MÉTODOS

La metodología consta de 7 etapas, vinculadas a los distintos objetivos (Figura 14).

#### I) Etapa de gabinete 1

En este primer paso se recopila información sobre el terreno, con esto se busca una visualización y entendimiento general de él, para esto se utiliza el software Google Earth e investigaciones anteriores del área o cercana a ellas: Paskoff (1970), Ferrando & Muñoz (1977), Saillard (2008), Aguilar (2013). Luego se concreta el área de estudio, escogiendo para este caso las divisorias de aguas, que permiten limitar el *coast range* por sus alturas máximas.

Otro punto a determinar en este paso es la escala, la cual debe servir para identificar detalles que sean de importancia para poder cumplir los objetivos, por la dimensión del área de estudio en específico se decidió ocupar una escala 1:15.000.

Con toda esta información se realiza una carta geomorfológica del área de escritorio, identificando:

- *Talwegs* dominantes y menores trazados por fotointerpretación con el Software Google Earth y la ayuda de cartas topográficas. Para un dibujo final se utiliza el Software Arcgis 10.1.

- Unidades geológicas y su período (edad) presentes en el área, Esta información fue extraída de la carta geológica realizada por Emparán & Pineda (2000) y se digitalizó con el Software Arcgis 10.1.
- Vertientes, las cuales fueron limitadas en base a Padilla (2007).
- Geoformas, trazadas por fotointerpretación en Google Earth y la ayuda un modelo de elevación digital (DEM), que permitió identificar diferencia en alturas. El dibujo final se realizó con el Software Arcgis 10.1.

## II) Terreno 1

El terreno se realizó con el objetivo de contrastar la carta geomorfológica llevada a cabo en escritorio con la realidad del terreno, para así completar la información con la observación del área. En esta etapa además se tomaron fotografías de formas importantes, se reconoce el suelo y estado del terreno.

## III) Etapa de gabinete 2

Realización definitiva de la carta geomorfológica, reuniendo la información de la Etapa de gabinete 1 y Terreno 1, agregando una clasificación de vertientes según la taxonomía de Araya - Vergara (1985).

## IV) Etapa de gabinete 3

Esta etapa es para reclutar variables que puedan influir en procesos de remoción de masa posibles en el área de estudio (Caída de rocas y Flujos), estas variables varían según el proceso y se escogieron en base a las investigaciones de Lara (2007) y Sánchez (2014)

El método utiliza dos escalas una a nivel de pixel para identificar si la ladera aporta con caída de rocas y otra a nivel de unidad hidrológica, para identificar si los materiales pueden formar flujo.

### Variables nivel Pixel

- a) **Pendiente:** La Pendiente es una variable importante, ya que en general, sus grados se correlacionan con la capacidad del material de ceder. Desde un modelo de elevación (DEM) el Software Arcgis 10.1 con la extensión "*3D analyst*" - herramienta "*Slope*", crea una superficie *raster* de pendiente, esta se reclasifica con la herramienta "*reclassify*" según el umbral geomorfológico de Araya & Borgel (Tabla 5).

**Tabla 5 Umbral geomorfológico y procesos asociados a una vertiente**

GRADO	TIPO DE PENDIENTE	FISIOGRAFÍA	UMBRAL GEOMORFOLÓGICO	DINÁMICA (SUELOS Y VULNERABILIDAD)
0-2°	Horizontal	Llano: Lomas	Erosión nula o leve	Buenas condiciones

2-5°	Suave	Fondos y Terrazas	Erosión débil, difusa, inicio de regueros y soliflucción fría.	para el desarrollo del suelo (salvo en pendientes mínimas y muy baja vulnerabilidad)
5-10°	Moderada	Glacis	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal	Buenas condiciones para el desarrollo del suelo y baja vulnerabilidad.
10-20°	Fuerte	Cuesta, Conos (de detritos o aluviones)	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas insipientes	Buenas condiciones para el desarrollo del suelo y vulnerabilidad media
20-30°	Moderadamente escarpada	Talud, Cono de detritos	Cárcavas frecuente. Movimientos en masa. Reptación	Dificultades para evolución del suelo y alta vulnerabilidad
30-45°	Muy Escarpada	Escarpe: Acantilado, cornisas,	Coluviamiento, soliflucción intensa. Inicio de derrubación	Escaso desarrollo y alta vulnerabilidad en los suelos
45- <°	Acantilada	Aristas o crestas	Desprendimientos y derrumbes, corredores de derrubios frecuentes	

Fuente: Conceptos integrados por Sánchez (2014). Araya & Borgel (1972), Young (1975), Ferrando (1993); Tabla extraída de Mesina (2003) más la información incorporada por Pedraza (1996)

- b) **Vegetación:** Se procesó una imagen satelital Landsat TM, del 19 de octubre del 2009 en Arcgis 10.1, ocupando un índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, que muestra el vigor de la vegetación presente en la zona. Este índice varía de -1 a 1 los más cercanos a 1 presentan un vigor mayor que los cercanos a -1. Los datos se reclasificarán en base a Gómez, 2005 (Tabla 6).

**Tabla 6 Clasificación NDVI**

TIPO DE OBJETO	NDVI VALOR
Vegetación Densa	< 0,1
Vegetación Media	0,1 - 0,2
Vegetación Ligera	0,2 - 0,4
Sin Vegetación	> 0,4

Fuente: Gómez 2005



c) **Tipo de Vertiente:** El tipo de vertiente fue clasificado en el proceso de carta geomorfológica (Tabla 7), en esta etapa la vertiente fue caracterizada según su tendencia erosiva. El "vector" se transformó a "raster" y se le otorgó valor.

**Tabla 7 Clasificación de vertientes**

INFLUENCIAS ESTRUCTURALES		INFLUENCIAS EXÓGENAS	
<b>Estructura Concordante</b>	Cara libre y talud	<b>Según tendencia erosiva</b>	De flanco activo
	Cara libre rugosa y talud		De flanco pasivo
	Cara libre rugosa y talud		Residual
	Vertiente de <i>Richter</i>		De excavación
	Residual de <i>plateau</i>	<b>Según grado de desgaste de las divisorias</b>	Interfluvios ferales
<b>Estructura Monoclinal</b>	Vertiente conforme		Interfluvios suavizados
	Vertiente inversa		
	Vertiente discordante indefinida		
	Vertiente <i>Hog-back</i>		

Fuente: Araya- Vergara, 1985

d) **Curvatura:** La curvatura corresponde a una variable topográfica que representa el grado de cambio de la pendiente en el espacio (Martínez, 1999). Para aplicaciones geomorfológicas e hidrológicas, la curvatura es influyente en fenómenos de escorrentía superficial, canalización de aludes, erosión y flujos en general (Cardozo, 2013).

Para determinar los datos de curvatura, se utiliza nuevamente el modelo digital de elevación (DEM). Arcgis 10.1 en su extensión "3D analyst"- herramienta "Curvature", otorga los datos pixel por pixel, ajustada a través de la celda y sus vecinos circundantes. Una curvatura positiva indicará que la superficie es convexa en todo el pixel, una curvatura negativa es cóncava y un valor 0 indica una superficie plana (Lee & Evangelista, 2008). Mientras más negativo el valor, la probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera aumenta (Kumar, et al., 2000 en Cardozo, 2013).

La curvatura fue reclasificada en 3 categorías, (1) Valores negativos, curvatura cóncava; (2) valores positivo, curvatura convexa; y (3) valores 0, superficie plana.

e) **Exposición:** Corresponde a la orientación de la ladera, la cual diferenciará la cantidad de luz solar recibida, por tanto la humedad en el terreno. Para identificar la exposición se utilizó el DEM. Arcgis 10.1 en su extensión "Spatial analyst"-herramienta "Aspect", otorga los datos por pixel. La exposición se categorizó en base a parámetros técnicos, a través de la página [www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com), se pueden

obtener la órbita del sol en la latitud exacta, con lo que se hace un promedio de aporte según exposición (Tabla 8).

**Tabla 8 Clasificación de la Exposición**

Ángulo de exposición	Nivel de exposición
0- 100°	Muy Alto
100- 240°	Bajo
240- 300°	Medio
300- 360°	Alto

Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234

### **Variables por Unidad hidrológica:**

Para determinar unidades hidrológicas se clasificó el área de estudio en Sistemas hidrológicos y unidades de drenaje elemental, Las variables a estudiar son llevadas a cabo en los sistemas hidrológicos, a través de índices hidromorfométricos, los cuales son analizados en la etapa de procesamiento de la información.

### **V) Terreno 2**

En este segundo terreno se busca observar y caracterizar detalladamente si alguna variable se comporta radicalmente distinta a lo visualizado en la etapa anterior, si esto ocurre el proceso es mapeado.

### **VI) Procesamiento de la información**

Esta etapa es cuando se mezclan las variables, el proceso se realizó con el Software Arcgis 10.1, primero se visualizan las variables en el espacio, luego se clasifican según importancia, entre mayor influencia tiene la variable para el proceso de movimiento en masa mayor peso obtendrá. Se parte desde la primicia que es la vertiente la que aporta los materiales para los proceso de movimiento en masa, por lo que el estudio se reduce a la vertiente.

Entonces como primer paso las variables se acotan en el área de estudio a la vertiente, segundo paso es dividir las categorías de las variables en 4 jerarquías, dándole un peso de 1 a 4 según favorezca al movimiento en masa, es decir, entre más favorezca, mayor peso tiene.

Todas las variables deben tener los mismos rangos de jerarquías para poder comparar entre mismos máximos y mínimos. Terminado ese paso se procede a combinar las variables en una suma ponderada según sea su importancia en la movimiento en masa, los porcentajes se

llevaron a cabo según Cartaya, *et al.*, (2010) y Cuevas (2012) pero adaptados al área de estudio.

### **Pesos de variables por pixel**

Las variables ya caracterizadas e identificadas se mezclarán de acuerdo a la tabla 9, que otorga pesos y porcentajes, es importante recordar que la siguiente tabla está construida en base a lo expuesto anteriormente.

**Tabla 9 Peso de variables condicionantes**

<b>FACTOR CONDICIONANTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PESO</b>	<b>RANGO</b>	<b>PORCENTAJE EN SUMA PONDERADA</b>
<b>Pendiente</b>	0-5°	1	Bajo	35
	5-10°	2	Medio	
	10-30°	3	Alto	
	30-45°	4	Muy Alto	
<b>Exposición</b>	100-240°	1	Bajo	5
	240- 300°	2	Medio	
	300-360°	3	Alto	
	0-100°	4	Muy Alto	
<b>Curvatura</b>	Plano	1	Bajo	17
	Convexo	3	Alto	
	Cóncavo	4	Muy Alto	
<b>Vertiente</b>	Vertiente Pasiva	1	Bajo	30
	Vertiente Activa	4	Muy Alto	
<b>Vegetación</b>	Densa	1	Bajo	13
	Media	2	Medio	
	Ligera	3	Alto	
	Sin Vegetación	4	Muy Alto	

**Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234**

Las superficies se trabajan en Arcgis 10.1, todas en archivo "raster", con una resolución de 30 mt por pixel, desde la extensión "3D Analyst" - herramienta "Raster calculator" utilizando una suma ponderada basada en *Cartaya, et al., (2010)* y *Cuevas (2012)*:

$$\text{SPRM} = \text{P} * 0.45 + \text{C} * 0.1 + \text{VR} * 0.2 + \text{V} * 0.2 + \text{E} * 0.05$$

**SPRM:**SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

**P:** PENDIENTE

**C:** CURVATURA

**VR:** GEOMORFOLOGÍA

**V:** VEGETACIÓN

**E:** EXPOSICIÓN

### Variables por unidad hidrológica

Comportamiento hidrológico: Esta variable afectará sí y solo si el agente desencadenante es precipitación y es para medir la susceptibilidad sólo de flujos. Ya que se pretende modelar el comportamiento potencial o real de la unidad hidrológica calificando las características de la cuenca de drenaje y su red hídrica (Ferrando, 1994).

Para llevar a cabo los índices hidromorfométricos el área de estudio se dividió en: Sistemas hidrológicos, que contiene un cauce o dren principal y Unidades hidrológicas elementales, que se refiere a vertientes básicas incididas por *talwegs*.

- a) **Clasificación tamaño de cuenca:** Se clasificaron los sistemas hidrológicos según tamaño, para comprender la magnitud de las unidades que serán sometidas al estudio (Tabla 10).

**Tabla 10 Clasificación tamaño de cuenca**

CLASIFICACIÓN TAMAÑO DE CUENCA	
<b>Unidad Hidrológica</b>	Inferior a 5 km <sup>2</sup>
<b>Sector Hidrológico</b>	5 a 20 km <sup>2</sup>
<b>Microcuenca</b>	20 a 100 km <sup>2</sup>
<b>Subcuenca</b>	100 a 300 km <sup>2</sup>
<b>Cuenca</b>	Mayor a 300 km <sup>2</sup>

Fuente: Jiménez, (2011 en Sánchez, 2014)

Luego se estudian las unidades en base a: Coeficiente de forma, Densidad de drenaje y coeficiente de masividad. El coeficiente de forma nos mostrará cómo será el suministro del agua en la unidad, el coeficiente de masividad nos dirá si esta forma tiene obstáculos de relieve para dejar fluir el agua y la densidad de drenaje dirá como puede escurrir el agua. A estos se agrega la clasificación de drenes de Strahler (1964) que indica el grado de estructura de la red de drenaje, mientras mayor jerarquía, mayor es la red y su estructura definida y el perfil longitudinal de drenaje que determina desniveles topográficos que puedan conferir energía a los flujos.

- b) **Coeficiente de forma ( $K_f$ ):** Por Horton, (1945). La manera como se suministra el agua al cauce principal se genera por la forma de la cuenca, desde su inicio hasta su desembocadura. El índice muestra la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud axial (Línea recta entre el punto más alto y el punto más bajo de la cuenca) de la misma.

Entre más aumenta el área, la relación de la formula disminuye, lo cual indica tendencia al alargamiento en cuencas grandes.

Este índice plantea que si una cuenca tiene un mayor factor de forma ( $<1$ ), es más susceptible a venidas rápidas e intensas (Tabla 11)

**Tabla 11 Clasificación  $K_f$**

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

$K_f$ : Coeficiente de forma  
 S: Superficie  
 L<sub>2</sub>: Perímetro al cuadrado

$$K_f = S/L_2$$

Fuente: Fuentes (2004 en Sánchez, 2014)

- c) **Densidad de drenaje ( $D$ ):** Es la división entre la sumatoria del largo total de los drenes de la unidad hidrológica y la superficie de la misma. Entre mayor densidad se indica una mayor estructuración de la red fluvial o que tiene mayor capacidad de erosión, dependiendo de la distribución de los *Talwegs* (Tabla 12).

**Tabla 12 Clasificación D**

RANGOS DE D	CLASES
1- 1,8	Baja
1,9- 3,6	Media
3,7- 5,6	Alta

Fuente: Fuentes (2004 en Sánchez, 2014)

D: Densidad de drenaje  
 $\Sigma$  Sumatoria largo de drenes  
 A: Área

$$D = \Sigma / A$$

- d) **Coefficiente de masividad ( $K_m$ ):** Representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Este índice será bajo en cuencas montañosas y alto en cuencas llanas (Tabla 13).

**Tabla 13 Clasificación  $K_m$**

RANGOS DE $K_M$	CLASES DE MASIVIDAD
0-35	Muy montañosa
35-70	Montañosa
70-105	Moderadamente montañosa

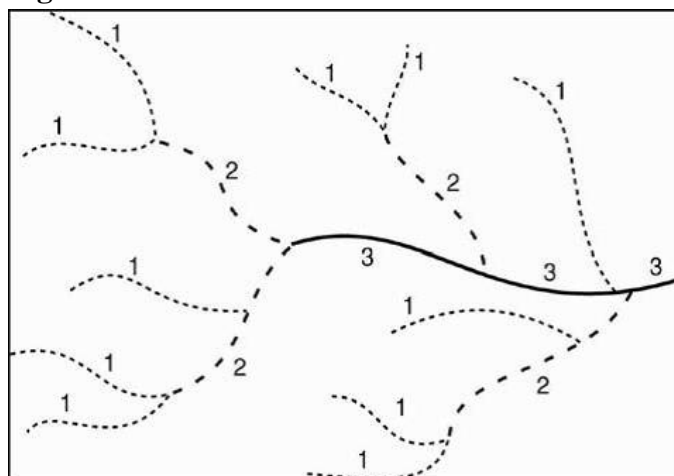
Fuente: Jiménez (2012 en Sánchez, 2014)

$K_m$ : Coeficiente de masividad  
 $E_m$ : Elevación media (m)  
 A: Área de la cuenca

$$K_m = E_m / S$$

- e) **Strahler:** Es un índice que se obtiene por la agregación de corrientes, aumenta el orden cada vez que se unan drenes del mismo orden. Strahler (1964) muestra la estructura de la red de drenaje, entre más rango mayor es su estructura. (Figura 13) (Tabla 14).

**Fig. 13 Clasificación de drenes**



Fuente: Strahler (1964)

**Tabla 14 Clasificación método Strahler**

<b>RANGO DE ORDENES</b>	<b>CLASES DE ORDENES</b>
1-2	Baja
2,1-4	Media
4,1-6	Alta

**Fuente Strahler (1964)**

- f) **Perfil Longitudinal Canal de drenaje:** El perfil lo calcula el Software Arcgis 10.1 con una *red irregular de triángulos (TIN)* creado desde el *Modelo de elevación digital (DEM)* con la extensión "*3D analyst*". En la misma extensión- herramienta "*interpolate shape*" se interpola la línea del *talweg* con el *TIN* logrando determinar desniveles topográficos que puedan conferir energía a los flujos.

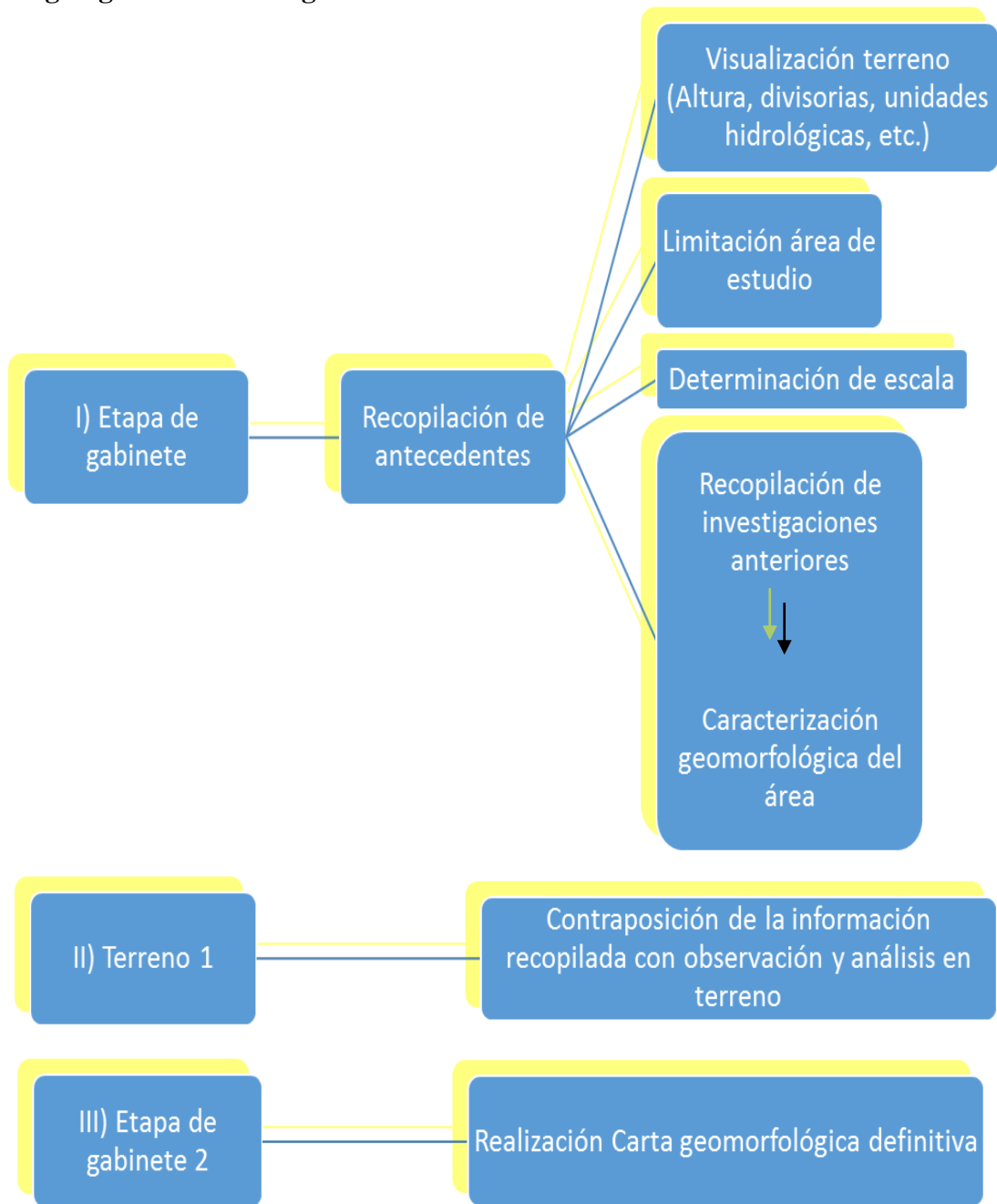
### **VI) Etapa gabinete 3**

Esta última etapa de gabinete se enfoca al objetivo 4, consta de dos etapas. La primera tiene como objetivo determinar los insumos humanos presentes en el área de estudio en general, visualizado a través del Software Google Earth y dibujado en Arcgis 10.1 identificando:

- Red vial: Ruta 5 y caminos internos
- Viviendas

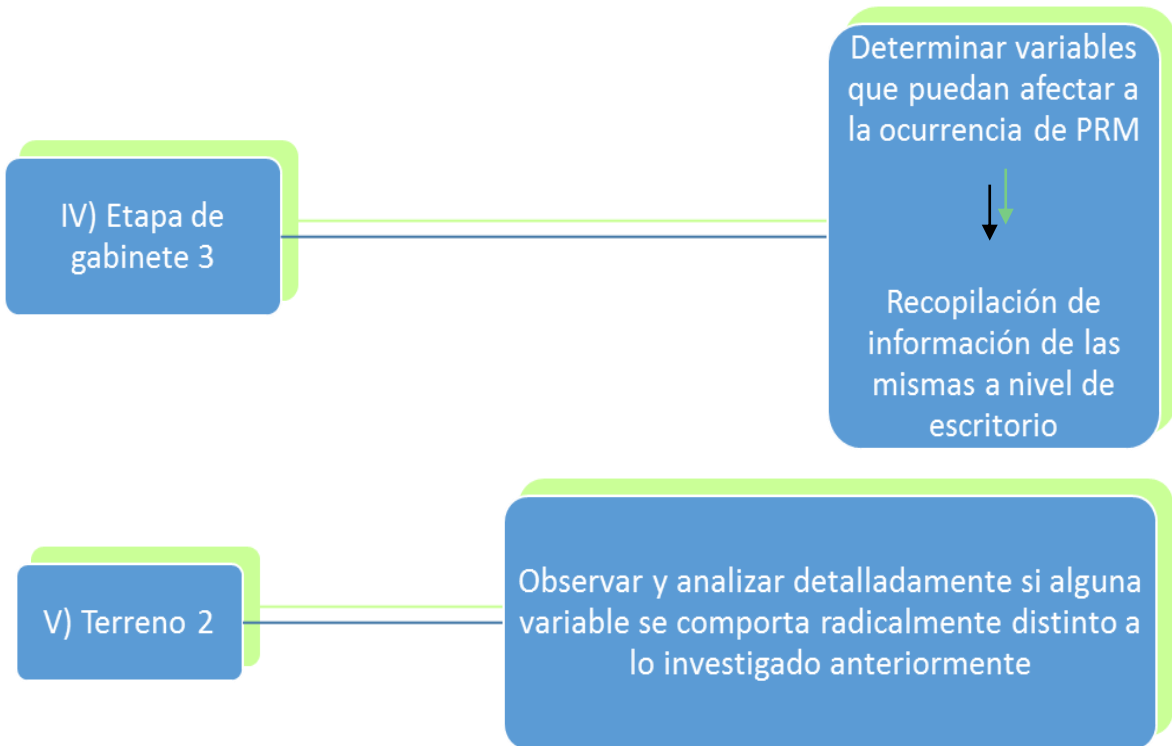
La segunda etapa contiene la información de actividades humanas y lugares susceptibles a caída de rocas y flujos. Este traslape de información permitirá visualizar las actividades humanas expuestas a amenazas en el área de estudio. Esto se realiza en Arcgis 10.1 donde la información es trabajada en forma de capas.

**Fig. 14 Organigrama metodología**

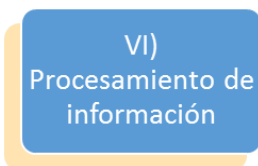


**Objetivo 1**

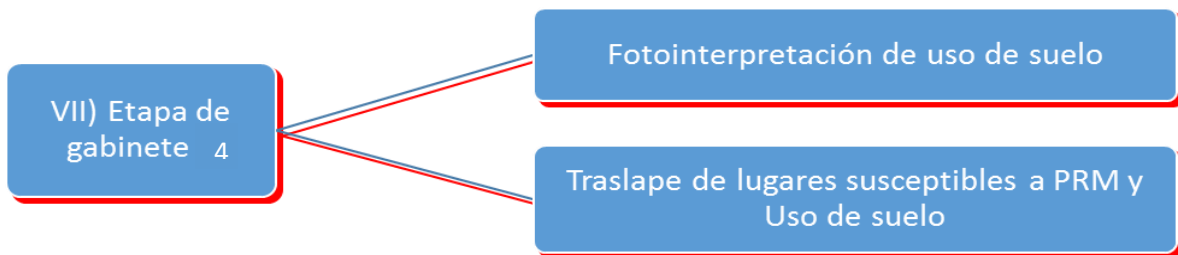




## Objetivo 2



## Objetivo 3



## Objetivo 4

Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234

## **CAPÍTULO 5: RESULTADOS**

### **5.1 CONDICIONES GEODINÁMICAS**

#### **5.1.1 GEOMORFOLOGÍA**

##### **5.1.1.1 TRAMO 1 ENSENADA POROTO- PUNTA BLANCA**

Los resultados serán expuestos, según la carta geomorfológica reproducida (Figura 20), desde la línea de costa, hacia la vertiente occidental del *coast range*, diferenciando los procesos que ocurren en cada sector. La descripción incluye observaciones realizadas en terreno, apoyadas en la carta geológica y los estudios realizados por Paskoff (1970), Araya-Vergara (1980) y Ferrando & Muñoz, (1977).

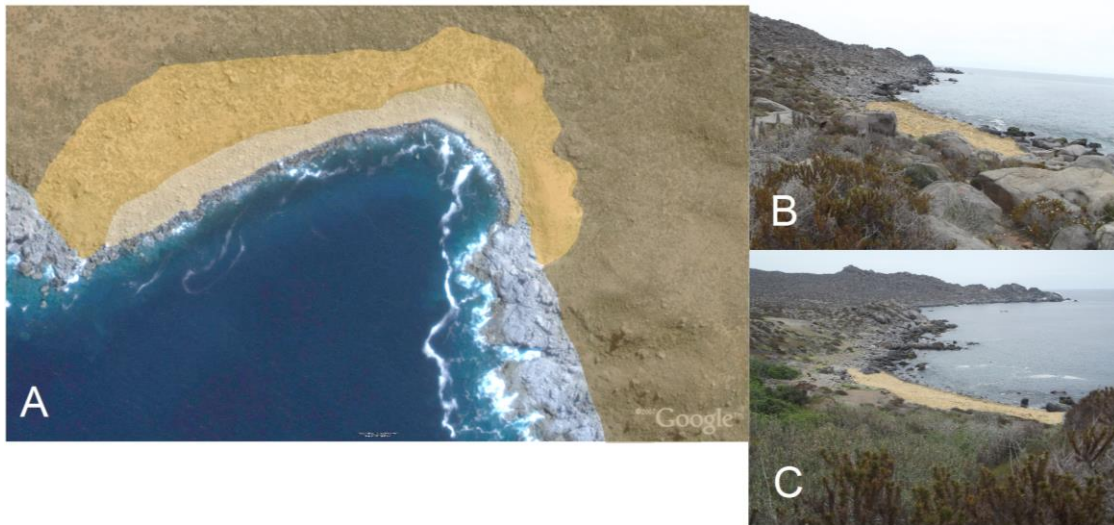
#### **SISTEMA LITORAL**

Debido a la exposición de la línea de costa, la acción marina y tectónica dan forma en el área a una costa rocosa, con niveles de terrazas de abrasión y poca presencia de playas. Al no existir importantes salientes rocosas que protejan la sedimentación, se condiciona la acción marina de los trenes de ola, pudiéndose formar sólo costa de carácter abrasivo. Las quebradas y los depósitos continentales tienen un rol importante en la contribución de sedimentos, si bien no son flujos constantes, se presume que en eventos climáticos de precipitación pueden aportar al sistema sedimentológico.

#### **PLAYAS**

Las playas presentes en el área de estudio corresponden a playas de rodados, de sur a norte su distribución comienza en Ensenada Poroto (Figura 15a), esta playa es de extensión amplia pero estrecha, de unos 40m de ancho aproximado. Presenta una pendiente moderada, según Araya-Vergara, & Borgel (1972) de 14% y limita al norte con una secuencia de terrazas de abrasión. Al norte de Punta Arrayan se encuentran dos playas de rodados, la primera (Figura 15b) de sur a norte, tiene un extensión aproximada de 70m y un ancho de 20m. La segunda (figura 15c), presenta una extensión de 90m, y un ancho de 18m. Ambas, por sus dimensiones, pueden denominarse *pocket beach* de rodados y tienen una pendiente moderada de 20%. En los materiales de la segunda playa se pueden contabilizar algunos provenientes del cono aluvial con el que limita al oriente. Ambas playas presentan gravas redondeadas y aplanadas.

**Fig. 15 Playas de rodados**

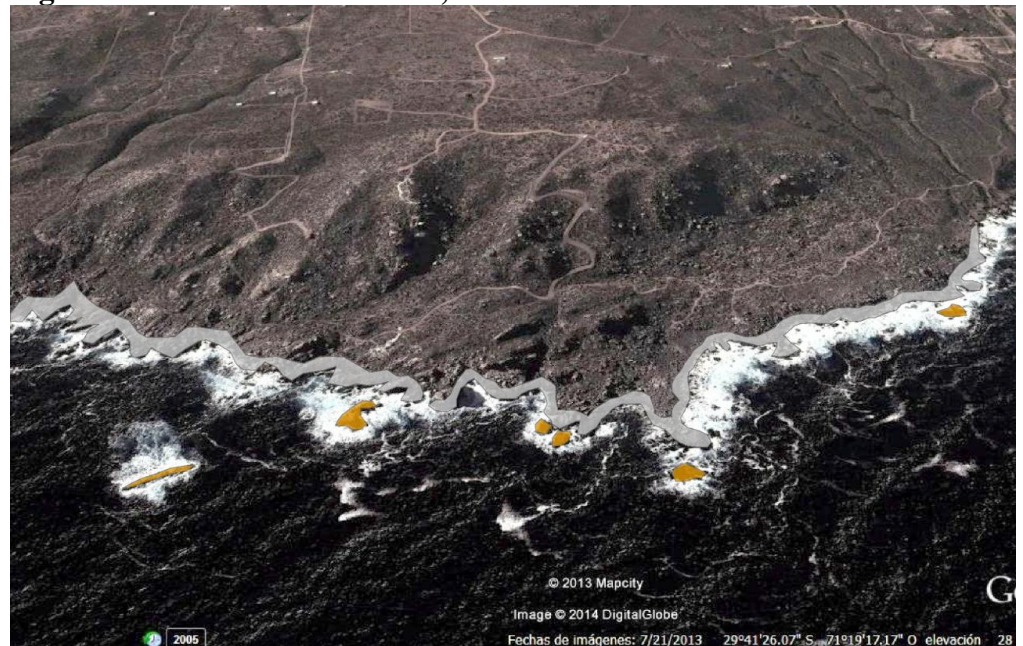


**A.** Playa de Rodados y terrazas de abrasión marina, Ensenada Poroto. (Fuente: Google earth); **B y C.** Playas de rodados, Punta Arrayán (Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234)

## PLATAFORMAS DE ABRASIÓN

Corresponde a la terraza en formación y constituye una costa de erosión en la misma. Se presentan de sur a norte en la mayoría del área de estudio, siendo más notoria en Punta Poroto, Caleta Las Minitas (Figura 16), Punta El Viento, y Caleta Piedra Blanca. Las plataformas son cubiertas en momentos de pleamar, y presentan rodados en superficie. En la actualidad las plataformas se presentan diaclasadas, lo que podría facilitar la acción del oleaje, pudiendo disgregar bloques a medida que progresa la erosión. Se distinguen también *stacks*, que dan cuenta del actual arrecife.

**Fig. 16. Plataforma de abrasión, Stacks**



■ Plataforma de abrasión; ■ Stacks Caleta Las Minitas (Fuente: Google Earth)

## TERRAZAS DE ABRASIÓN MARINA

Las terrazas de abrasión marinas son antiguas plataformas de abrasión que por producto de alzamiento, quedaron como remanente en el territorio. A escala 1:15.000 se pueden distinguir 2 terrazas de abrasión, distribuidas de norte a sur, siendo la occidental más baja que la oriental, esta última además presenta depósitos de material continental sobre ella, perteneciente a los cono aluviales provenientes de la vertiente. A una escala más pequeña se logran distinguir 4 alturas de terrazas de abrasión, la más baja corresponde a la actual terraza en formación, y las siguientes tres ganan altura de occidente a oriente y se muestran claramente sobre la playa de rodados de ensenada Poroto (Figura 15).

## SISTEMA CONTINENTAL

### VERTIENTE

La cadena está representada en el cordón del cerro el Cobre y Cerro Juan Soldado. Los *talwegs* en la actualidad son afuncionales (Ferrando & Muñoz, 1977), sin embargo puede identificarse erosión en las laderas con materiales en curso por la meteorización de la roca, además de quebradas disectadas, (Figura 17 A Y B). En general la vertiente, según su tendencia erosiva puede clasificarse en sistema de vertiente de flanco de valle activo, (Araya – Vergara, 1985), por presentar una superficie rugosa a causa de la disección, y materiales en curso sobre la superficie de la ladera. Solo al sur del tramo se presenta una vertiente de flanco de valle pasivo.

Según el grado de desgaste de sus divisorias, la vertiente puede clasificarse como sistema de Vertiente en relieves suavizados complejos, por ser una vertiente convexa, que muestra interfluvios de mayor extensión, debido a la suavidad de las cimas.

**Fig. 17 Vertiente**



**A) Material rocoso en la superficie de la vertiente; B) Talwegs en la vertiente (Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234)**

## FORMAS DE CONTACTO

Las formas de contacto en el área de estudio, están constituidas por glacis y algunos conos aluviales.

## GLACIS

Los glacis son las formas mayoritarias en el tramo 1, son formas de acumulación que reciben material de la vertiente, se encuentran en vertientes que sólo presentan regueras y no *talwegs* de importancia (unidades hidrológicas elementales), se distribuyen a lo largo de toda el área de estudio, y sólo son interrumpidos por algunos conos torrenciales en Quebrada Arrayán y Cerro El Cobre.

## CONOS DE DEYECCIÓN

Los conos de deyección son depósitos de material provenientes de quebradas. Los más representativos y de mayor magnitud se encuentran en Punta Arrayán, procedentes de la quebrada ubicada en el cerro Juan Soldado. Este sector presenta conos de deyección torrenciales, que abarcan desde la vertiente hasta la costa, de una longitud aproximada de 2.3 kilómetros. Estos conos son disectados entre ellos por una quebrada de 2.3mt. (Figura 18c) con señales de activación desde hace a lo menos 20 años, esto deducido por la vegetación, hay presencia de *Puya chilensis* que demora de 12 a 15 años en florecer, además de vegetación tupida. Los conos muestran material torrencial, detritos de gran magnitud, angulosos y sub angulosos (Figura 18b), su ápice está a una altura aproximada de 335 msnm y su parte distal a 25 msnm. (Figura 18a).

**Fig. 18 Conos de deyección caóticos**



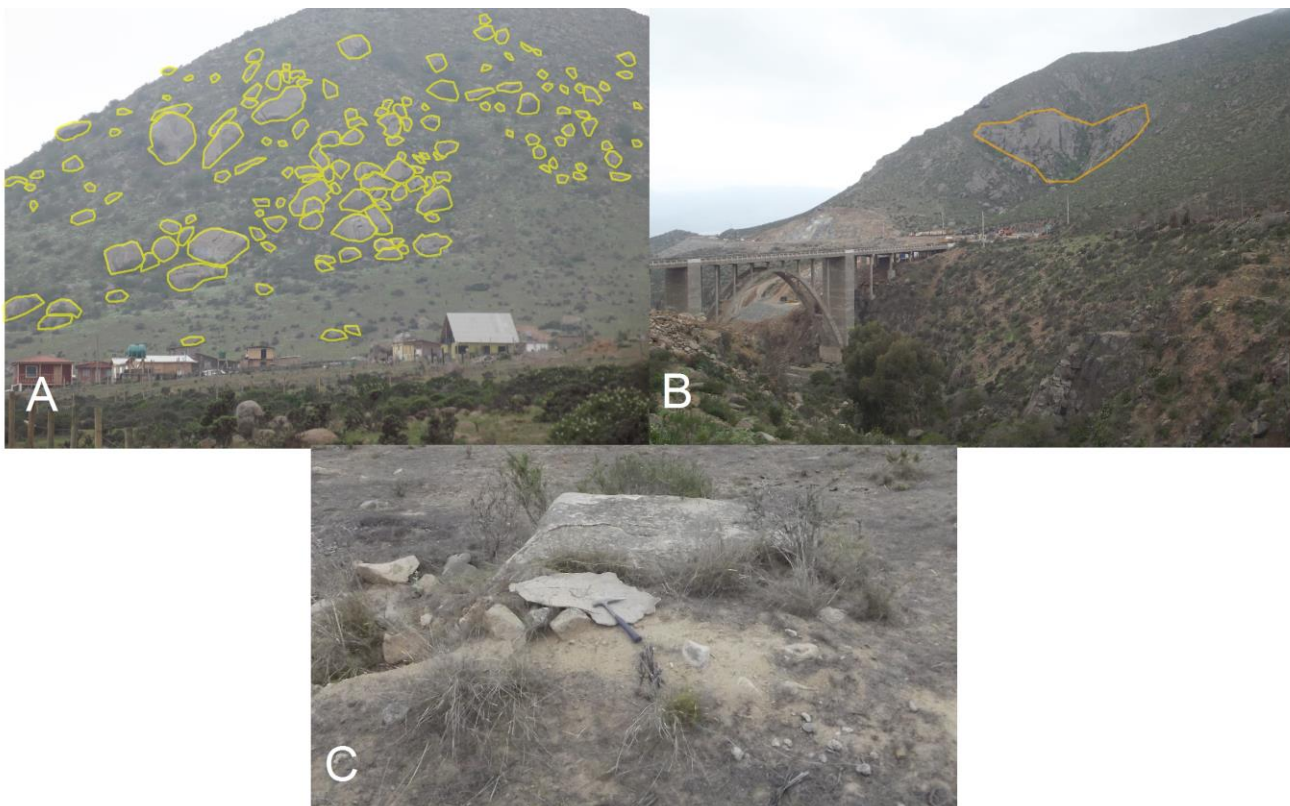
**A) Conos aluviales coalescentes. Punta Arrayán; B) Corte de cono aluvial con material torrencial anguloso y sub anguloso. Punta Arrayán; C) Zona de contacto entre los conos aluviales de Punta Arrayán (Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234).**

## CAOS DE ROCA

El caos de rocas se presenta en toda la ladera, son *in situ*. Los afloramientos rocosos, fábrica importante del caos de roca se presentan a los intermitente en todo el área de estudio (Figura 19b).

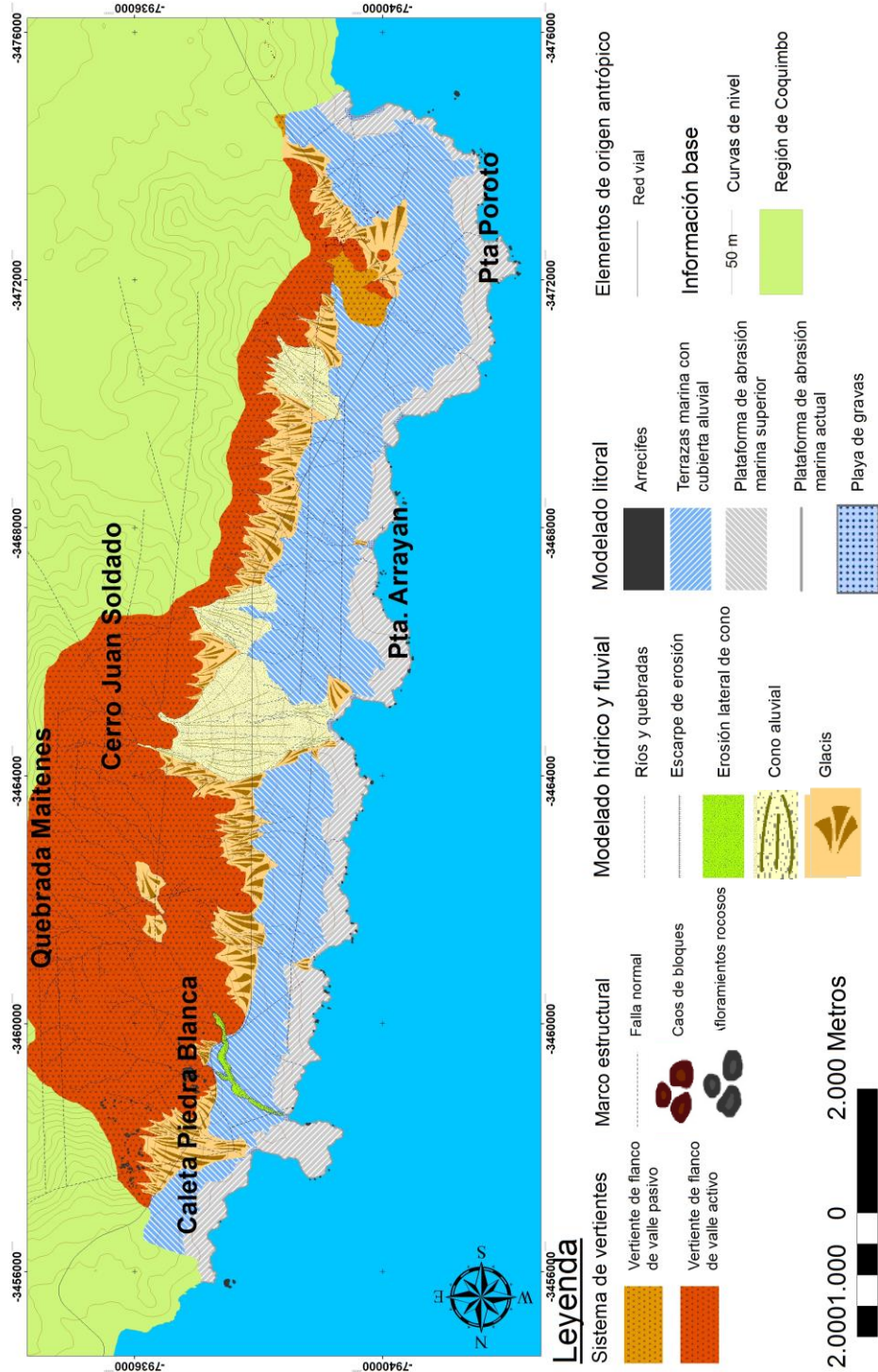
Todo el área presenta materiales en curso, producto de una meteorización de la roca, los bloques en el tramo se muestran de tamaño métrico (Figura 19a), redondeados, con capas concéntricas en el exterior de la roca (Figura 19c) y con una cobertura de maicillo que lo rodea. Este maicillo presenta arcilla y muestra ser un suelo permeable.

**Fig. 19** Caos de rocas



**A) Caos de rocas B) Afloramiento rocoso al norte de Quebrada Maitenes C) Meteorización por escamas de bloque exhumado (Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234).**

Fig. 20 Carta Geomorfológica Tramo 1



Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234

### **5.1.1.2 TRAMO 2 CUENCA AGUAS SALADAS**

Los resultados serán expuestos, según la carta geomorfológica reproducida (Figura 22), el tramo sólo presenta sistema continental y la descripción toma como base la carta geológica de Emparán & Pineda (2000).

#### **VERTIENTE**

La vertiente, en este tramo, corresponde a una litología intrusiva, se presenta con una superficie relativamente regular, tiene pocas señales de erosión reciente y una cubierta continúa de suelo, sin embargo se visualizan materiales en curso de variado tamaño. La vertiente puede ser clasificada según la taxonomía de Araya- Vergara (1985) como vertiente de flanco de valle pasivo con relieves suavizados complejos.

#### **FORMAS DE CONTACTO**

##### **CONO**

La cuenca Aguas Saladas, que alberga la cuesta Buenos Aires, presenta a diferencia del tramo 1, grandes conos aluviales (Figura 21a) que tienen dirección hacia el fondo de valle. Los *talwegs* que les dan forma son intermitentes en la actualidad, sólo activándose en eventos pluviométricos concentrados. Los conos aluviales constituyen el piedmont y ancho de valle presente en la cuenca. Litológicamente, están representados por depósitos aluvionales, que tienen brechas no consolidadas y cubren los depósitos fluviales antiguos (Emparán & Pineda, 2000) (Figura 21b). En la parte distal de la cuenca colisionan las terrazas fluvio - marinas y terrazas fluviales. Formadas por los procesos de sedimentación al cual aportó cuenca costera Caleta Hornos, que alberga a la Cuenca Aguas Saladas. Las terrazas fluvio - marinas avanza hacia la línea de costa y termina en una playa arenosa.

##### **CAOS DE ROCA**

El tramo 2 muestra afloramientos rocosos al norte de la cuenca, sobre los 720 msnm. Además se observa roca en los cortes de la carretera, provenientes de conos de deyección caóticos, con huellas de descomposición, prueba de la meteorización de la roca. Los bloques exhumados se encuentran en la vertiente sobre los 510 msnm. su tamaño es variado.



**Fig. 21 Conos torrenciales Cuenca Aguas Saladas**



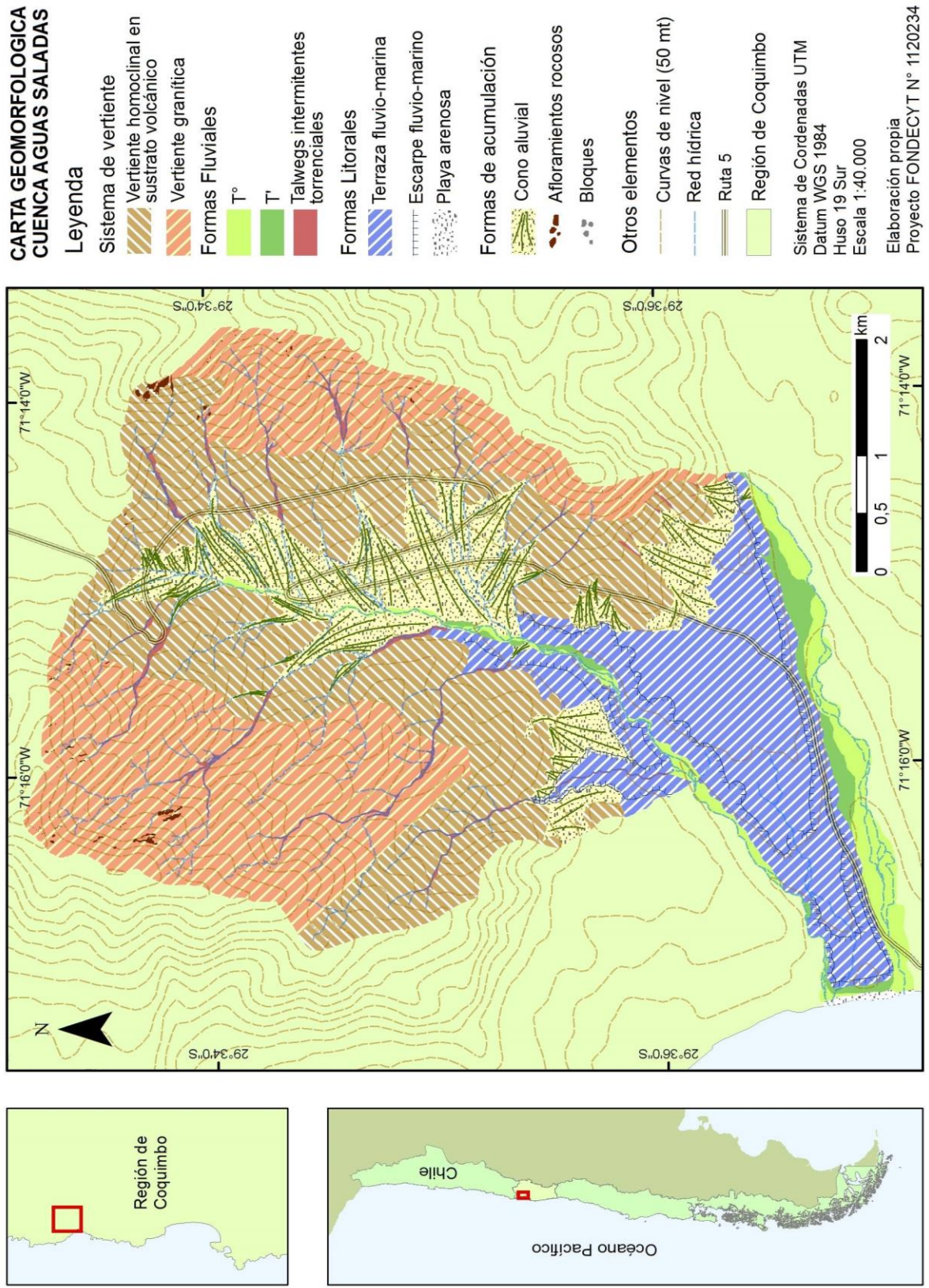
A) Cono de deyección de Cuenca Aguas Saladas



B) Corte frontal de un cono de deyección caótico, Cuenca Buenos Aires

(Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234).

**Fig. 22 Carta Geomorfológica Tramo 2**



**Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234**

## 5.2 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTO EN MASA

### 5.2.1 PENDIENTE:

#### Tramo 1

Las Pendientes de las vertientes que más favorecen a la ocurrencia de procesos de movimiento en masa en el tramo 1, se presentan de norte a sur sobre los 270 msnm., a excepción de Quebrada Maitenes y cerro Juan Soldado, la primera tiene pendientes moderadas en su quebrada la que parte sobre los 360 msnm. El cerro Juan Soldado (Altura máxima 570 msnm.), presenta pendientes desde acantiladas a moderadas en la quebrada que da forma a los dos conos coalescentes.

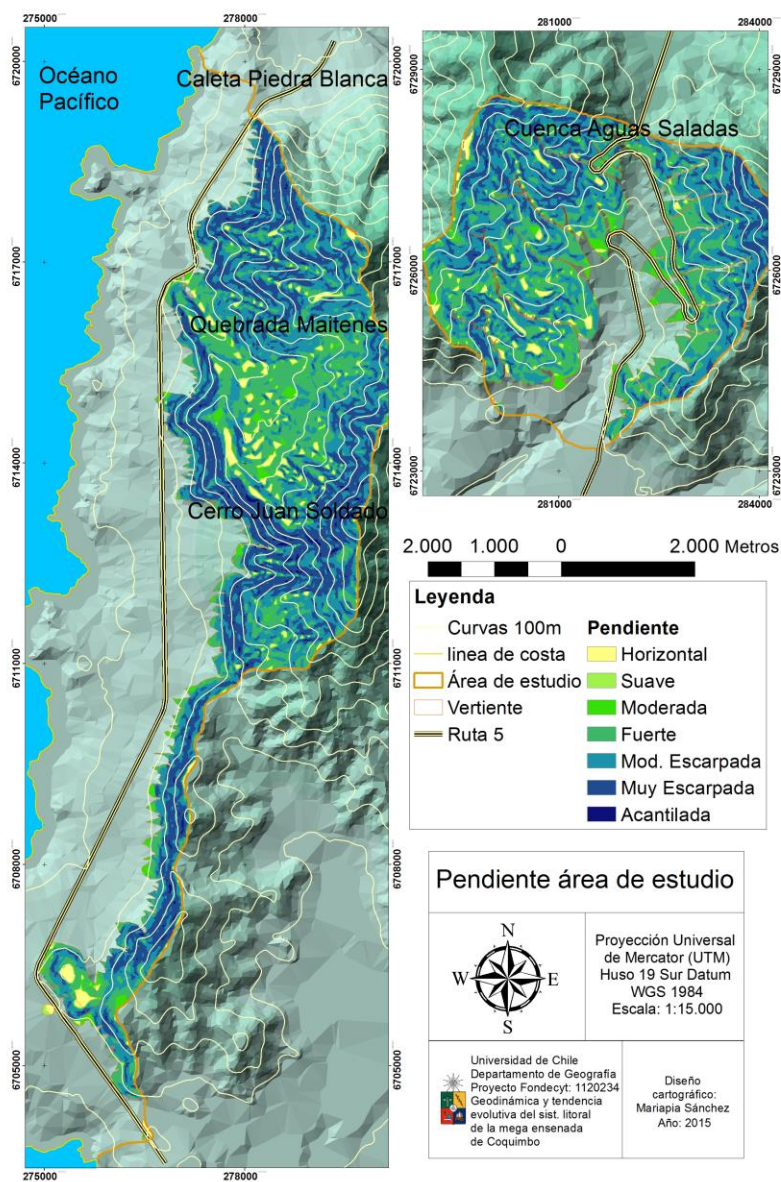
Al centro del área, la vertiente se hace más angosta, los cursos de agua son unidades elementales y la pendiente varía desde suave a acantilada.

En el sur, se concentran las mayores pendientes, volviéndose la vertiente más angosta (Figura 23).

#### Tramo 2

Las pendientes acantiladas se concentran en lo alto de la cuenca y moderadas en la cuenca baja.

**Fig. 23 Carta de pendientes**



**Fuente: Proyecto Fondecyt: 1120234**

## 5.2.2 VEGETACIÓN

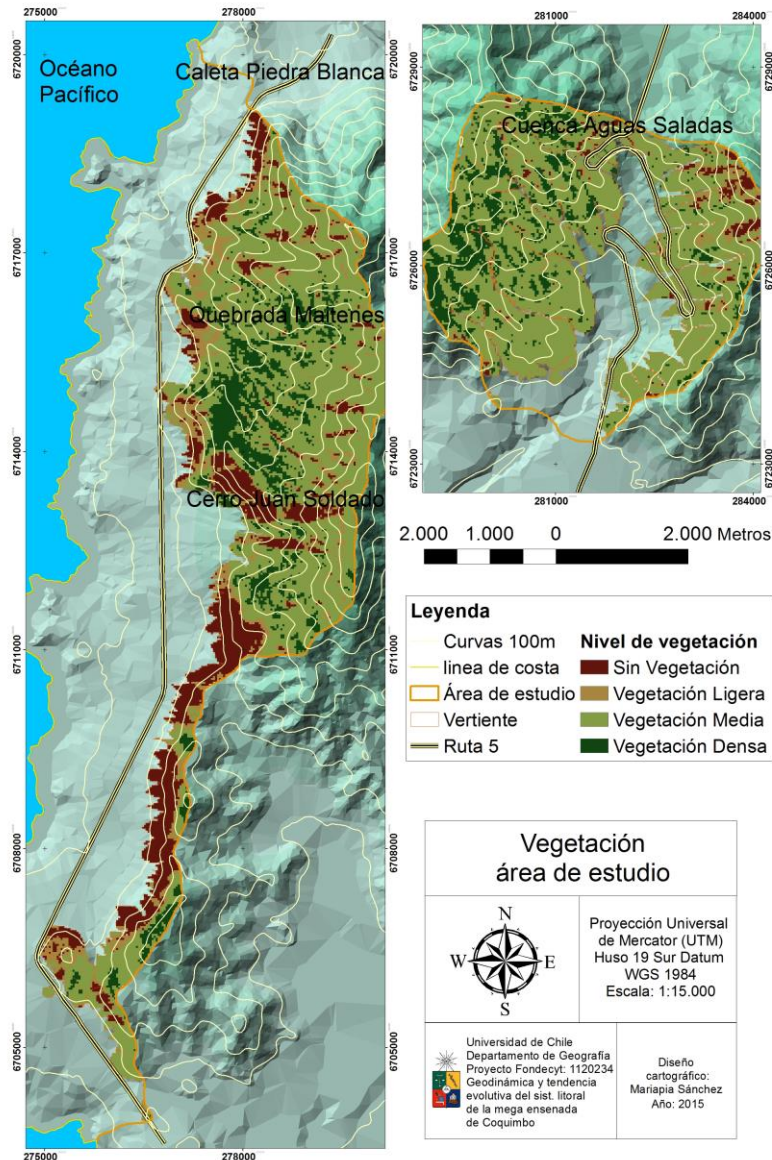
### Tramo 1

La vegetación en este tramo se presenta en menor medida al sur de la quebrada en el cerro Juan Soldado. Desde ese punto al norte se presentan las vertientes con vegetación media a ligera. La vegetación densa sólo se observa en la altura de la cuenca de Quebrada Maitenes (Figura 24).

### Tramo 2

Cuenca Aguas Saladas presenta su vegetación en general media, en altura al poniente se puede observar un poco de vegetación densa mientras que al oriente en las alturas se muestra sin vegetación, esto puede ser resultado de la exposición de las laderas, ya que el sector sin vegetación, de la vertiente oriental, coincide con una exposición media y alta. Lo mismo en la vertiente occidental, donde los sectores con mayor vegetación reciben menos exposición. (Figura 24).

**Fig. 24 Carta de vegetación**



**Fuente: Proyecto Fondecyt: 1120234**

Ambos tramos se caracterizan según el libro rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo (Squeo, *et al*, 2001) por ser una zona donde de 186 especies, 136 (73%) son endémicas de Chile y 15 (8%), endémicas de la región (Figura 25).

**Fig. 25 Vegetación endémica**



*A) Adesmia littoralis*



*B) Aristolochia bridgesii*



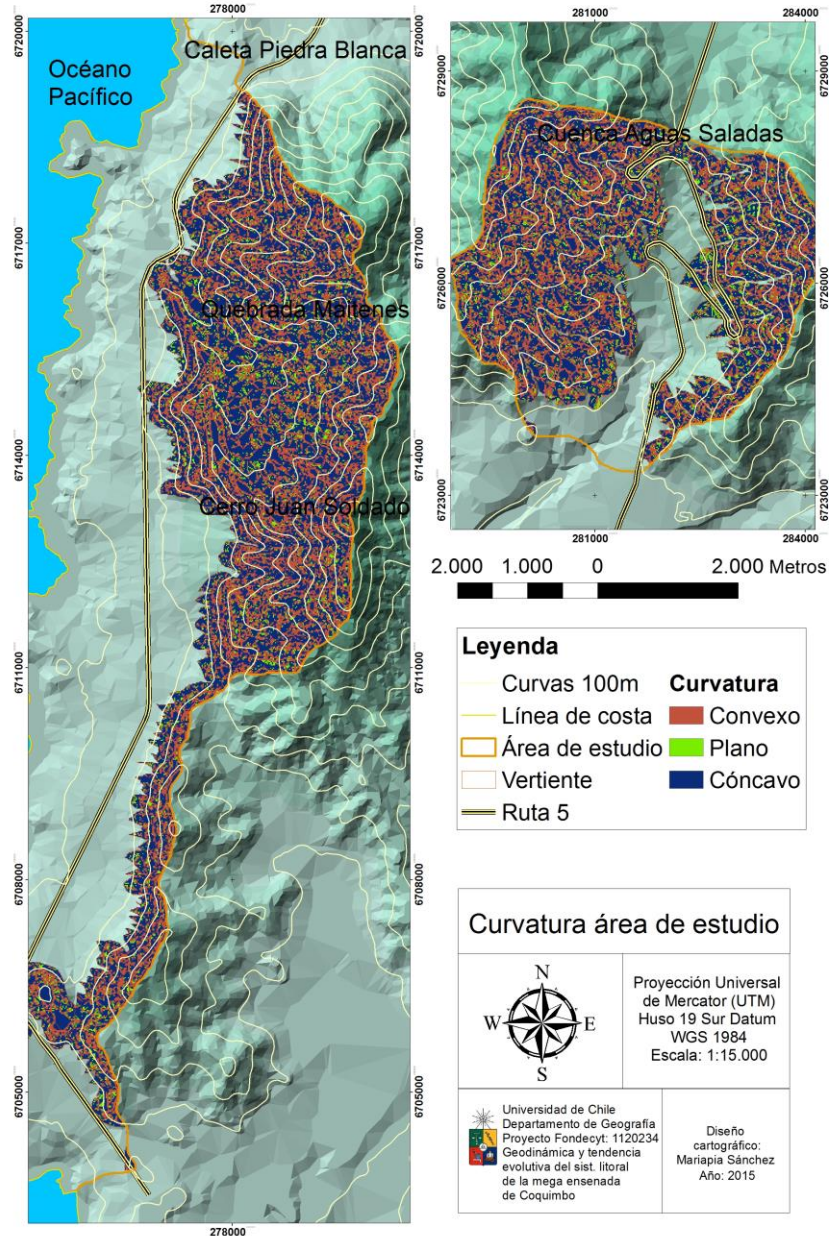
*C) Chorizanthe frankenioides*

Fuente: Chileflora.com

### 5.2.3 CURVATURA

En general ambos tramos, muestran curvatura heterogénea, se puede decir que los espacios cóncavos se observan en los *talwegs* y los espacios convexo y plano se distribuyen en la vertiente presentándose pocos espacios planos (Figura 26).

**Fig. 26 Carta de curvatura**

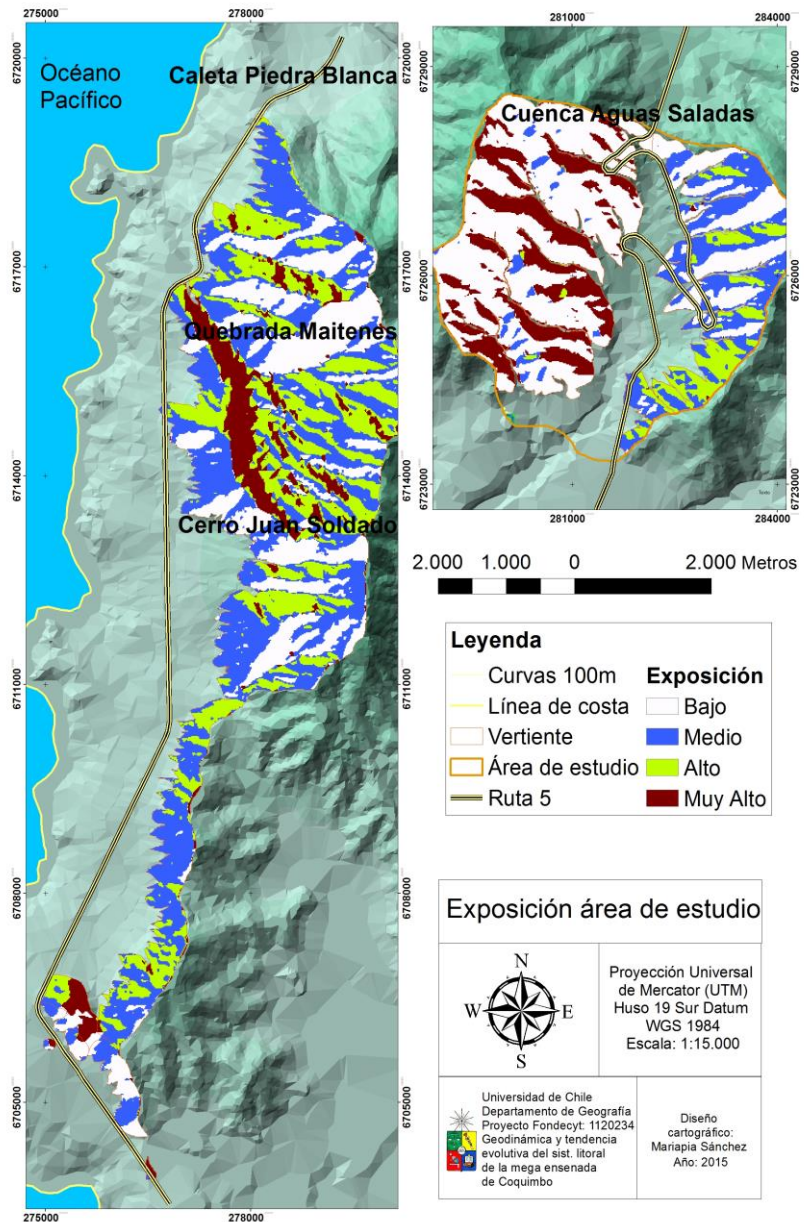


**Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt: 1120234**

## 5.2.4 EXPOSICIÓN

Exposición es la variable que menos peso tiene, pero la más variada y determinada dentro del área (Figura 27). En el tramo 1 la exposición varía y se muestra más menos homogénea por intervalo de ladera. Los valores Muy Altos se encuentran en Quebrada Maitenes y al sur del tramo, mientras que la baja está, en su mayoría, entre quebrada maitenes y cerro Juan Soldado, además del sur del tramo donde hay vertientes de drenaje elemental. Los valores medios y bajos se distribuyen a lo largo del tramo. En Cuenca Aguas Saladas, la exposición se ubica distinta, para la vertiente occidental, los valores predominantes son muy alto y bajo, en cambio en la vertiente oriental, se distribuyen los valores Alto, medio y bajo.

**Figura 27 Carta de Exposición**

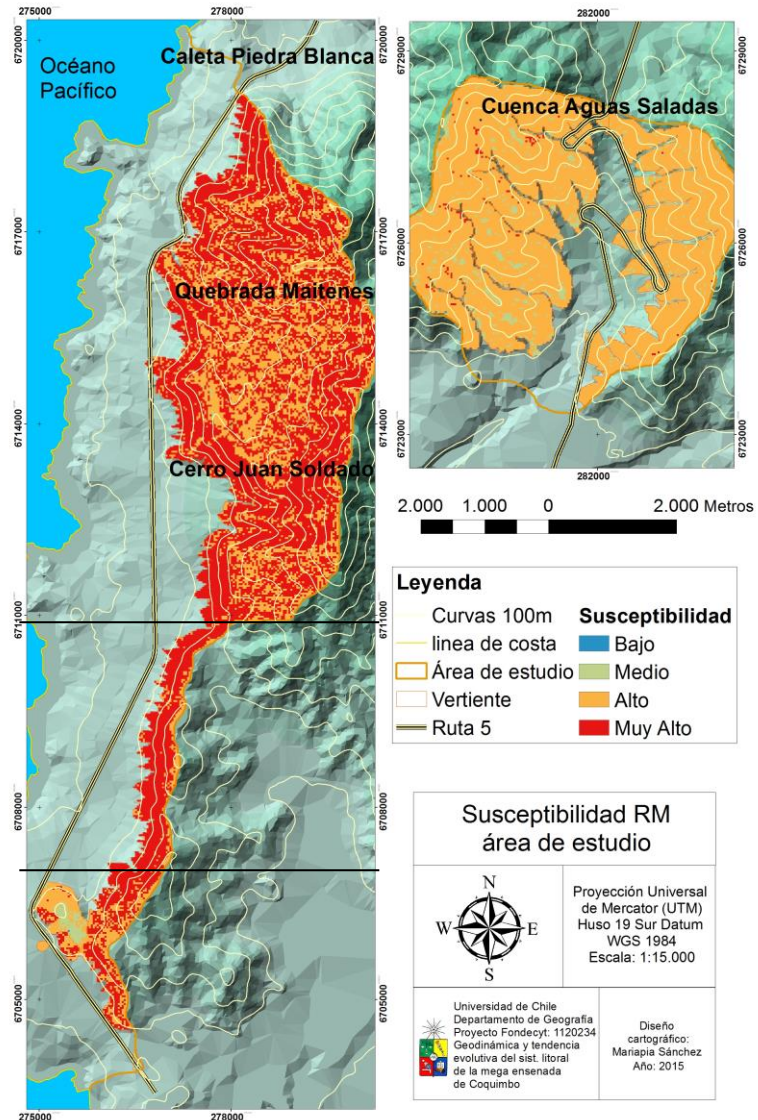


**Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt: 1120234**

## 5.2.5 SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTO EN MASA

En el área, el tramo 1 (Figura 28), presenta 3 sectores que se pueden separar por sus características. El primero conformado por la quebrada Maitenes y cerro Juan Soldado, el segundo al centro en los drenajes elementales y el tercero al sur del tramo, en la única vertiente pasiva del área. En el área en general la susceptibilidad Muy Alta ocurre bajo los 300 msnm. A excepción del tercer sector donde se presenta susceptibilidad alta bajo esa altura, esta era la única vertiente pasiva del tramo. En el centro del área, en las unidades elementales de drenaje, la susceptibilidad es muy alta, acá se mostraban pendientes altas y baja vegetación. El primer sector, por su parte da como resultado susceptibilidad alta y muy alta sobre los 300 msnm., coincidiendo con la microcuenca de Quebrada Maitenes, mientras que bajo esta altura se concentra la susceptibilidad muy alta. La microcuenca que da origen a los conos frente a Punta Arrayán, tiene susceptibilidad muy alta.

**Fig. 28 Carta de susceptibilidad a remociones en masa**



**Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234**

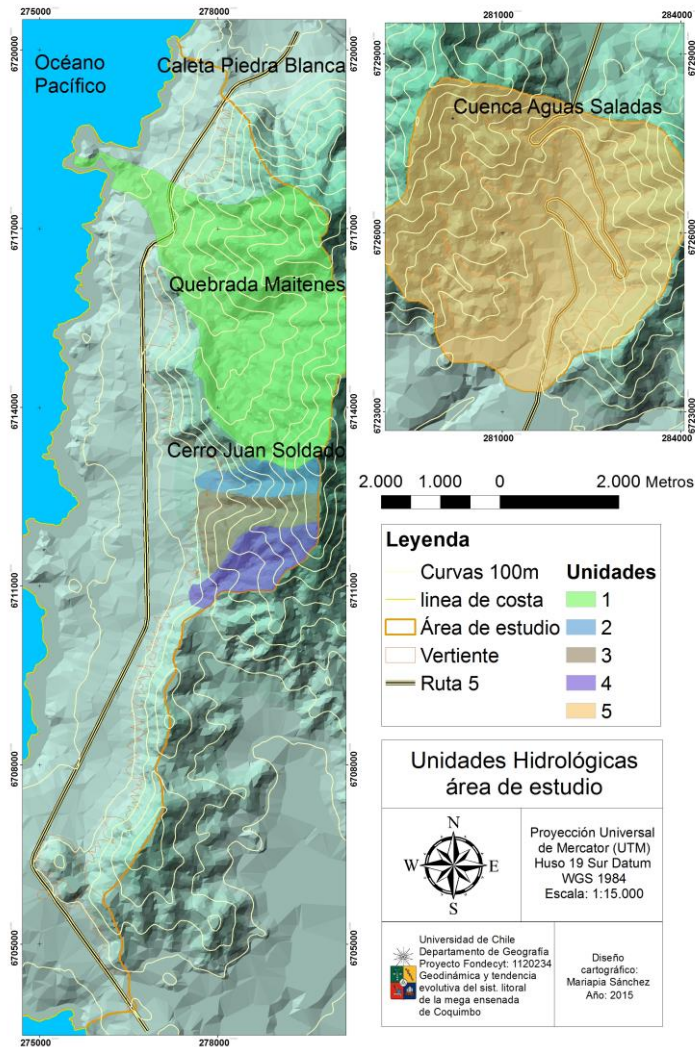
El tramo 2, dio como resultado una susceptibilidad Alta de movimientos en masa y muy alta en los Talwegs de la vertiente occidental.



## 5.3 CONDICIONES HIDROMORFOMÉTRICAS

### 5.3.1 ÍNDICES HIDROMORFOMÉTRICOS

**Fig. 29 Carta de unidades hidrológicas escogidas para la aplicación de los índices hidromorfométricos**



Para estudiar índices hidromorfométricos se dividió el área de estudio en microcuencas, a las cuales luego se les aplicaron los índices hidromorfométricos.

Las microcuencas limitan en su parte distal con las formas de contacto, ya que se entiende que hacia la costa donde se ubican las terrazas marinas es otro sistema anterior y trabajado de distinta forma.

El tramo 1, contempla 4 microcuencas y el tramo 2, solo 1, tal como se observa en la figura 29. Los resultados de los índices muestran sectores hidrológicos muy poco achatados (no susceptible a avenidas rápidas), muy montañosos y con una densidad de drenaje baja a media (Tabla 15).

Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234

**Tabla 15 Resultados Índices hidromorfométricos**

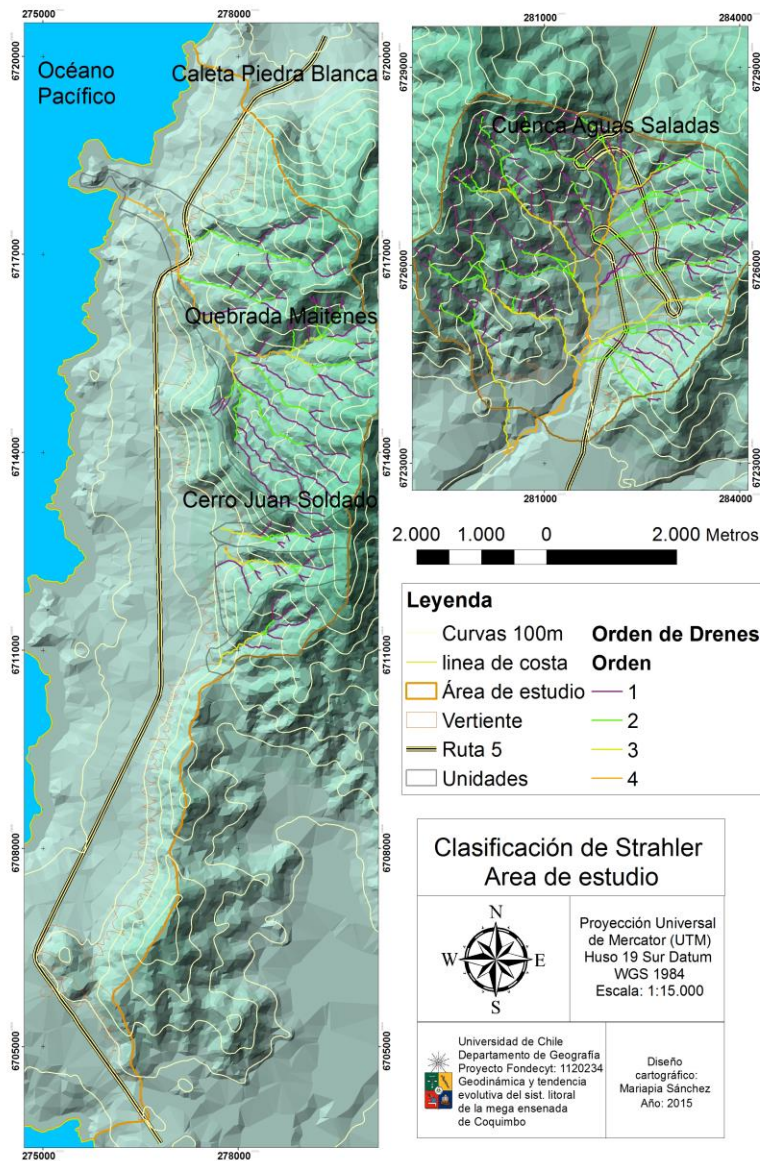
Unidad	Índice	1	2	3	4	5
<b>Nombre según tamaño</b>		Sector Hidrológico	Unidad Hidrológica	Unidad Hidrológica	Unidad Hidrológica	Sector Hidrológico
<b>Coefficiente de forma</b>		0,037522	0,036382	0,039169	0,040581	0,0606417
<b>Índice de masividad</b>		5,26481	7,282	4,29	4,3	2,9466
<b>Densidad de drenaje</b>		3,845365	3,152922	2,54896	2,753598	0,0045366

Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234

### 5.3.2 JERARQUIZACIÓN DE DRENES

Ambos tramos muestran una jerarquización nivel media llegando a un rango de 4 máximo, para el tramo 1 este rango lo alcanza el sector hidrológico 1, de la quebrada Los Maitenes, las demás exponen un máximo rango de 3, es decir, una capacidad de erosión no tan alta. Para el tramo 2 se puede comparar la jerarquización (Figura 30) por exposición de ladera occidental se muestra con mayor cantidad de drenes los que llegan al cauce principal con rango 4, la ladera de oriental por su parte muestra menos drenes y la mayoría de orden 1. Por lo que el mayor riesgo de erosión lo muestra la vertiente occidental.

**Fig. 30 Carta de jerarquización de drenes según método Strahler**

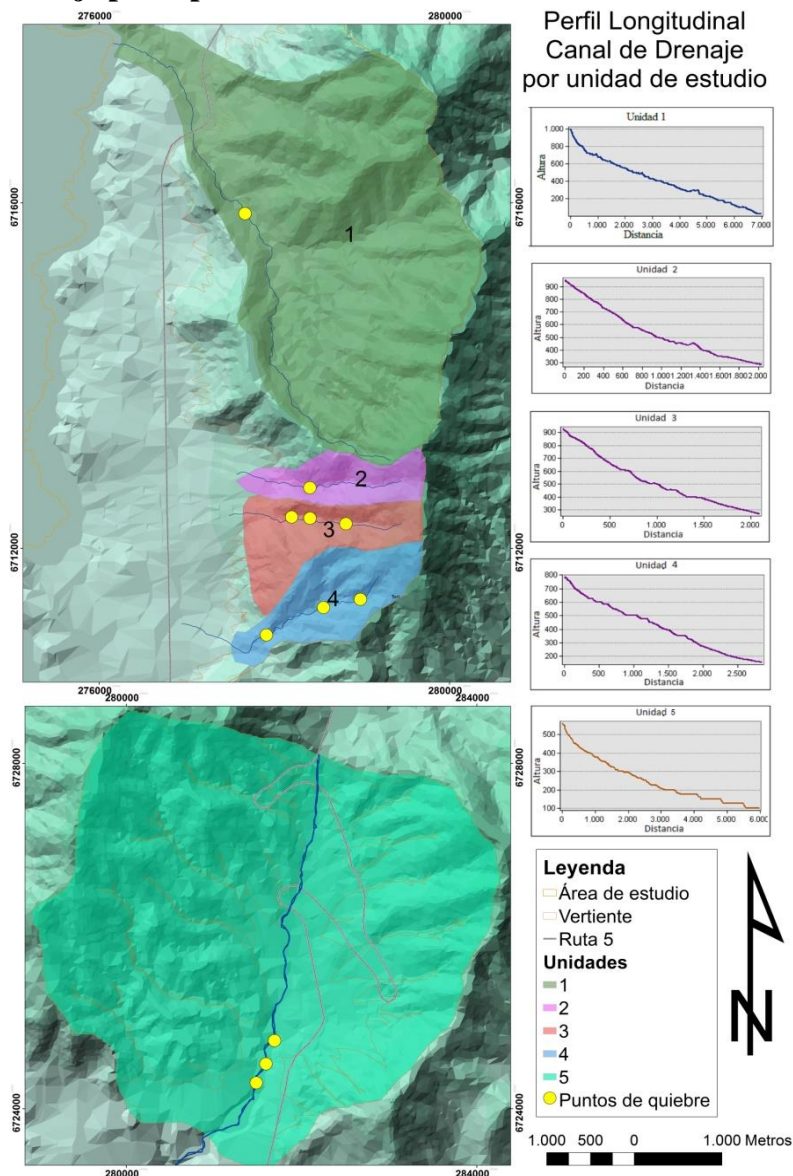


Fuente: Elaboración propia, proyecto Fondecyt: 1120234

### 5.3.3 PERFIL LONGITUDINAL CANALES PRINCIPALES

Los perfiles de los canales principales son de importancia porque cualquier quiebre en ellos puede dar impulso a flujos, la unidad 1 muestra un desnivel interesante, ya que la altura del canal aumenta más o menos 50 m a la altura de 400 msnm., esto quiere decir que si hay materiales estancados en el lugar., con un poco de presión pueden salir de ese estancamiento, la unidad 3 muestra un quiebre importante a la altura de 600 msnm. que se repite a los 4400 y 500 msnm. La unidad 4 muestra un quiebre menos importante a los 500m. En el tramo 2, los quiebres se encuentran en la parte sur de la cuenca a una altura de menos de 200 msnm. (Figura 31).

**Fig. 31 Carta de perfil longitudinal de canales de drenaje principal**



Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234

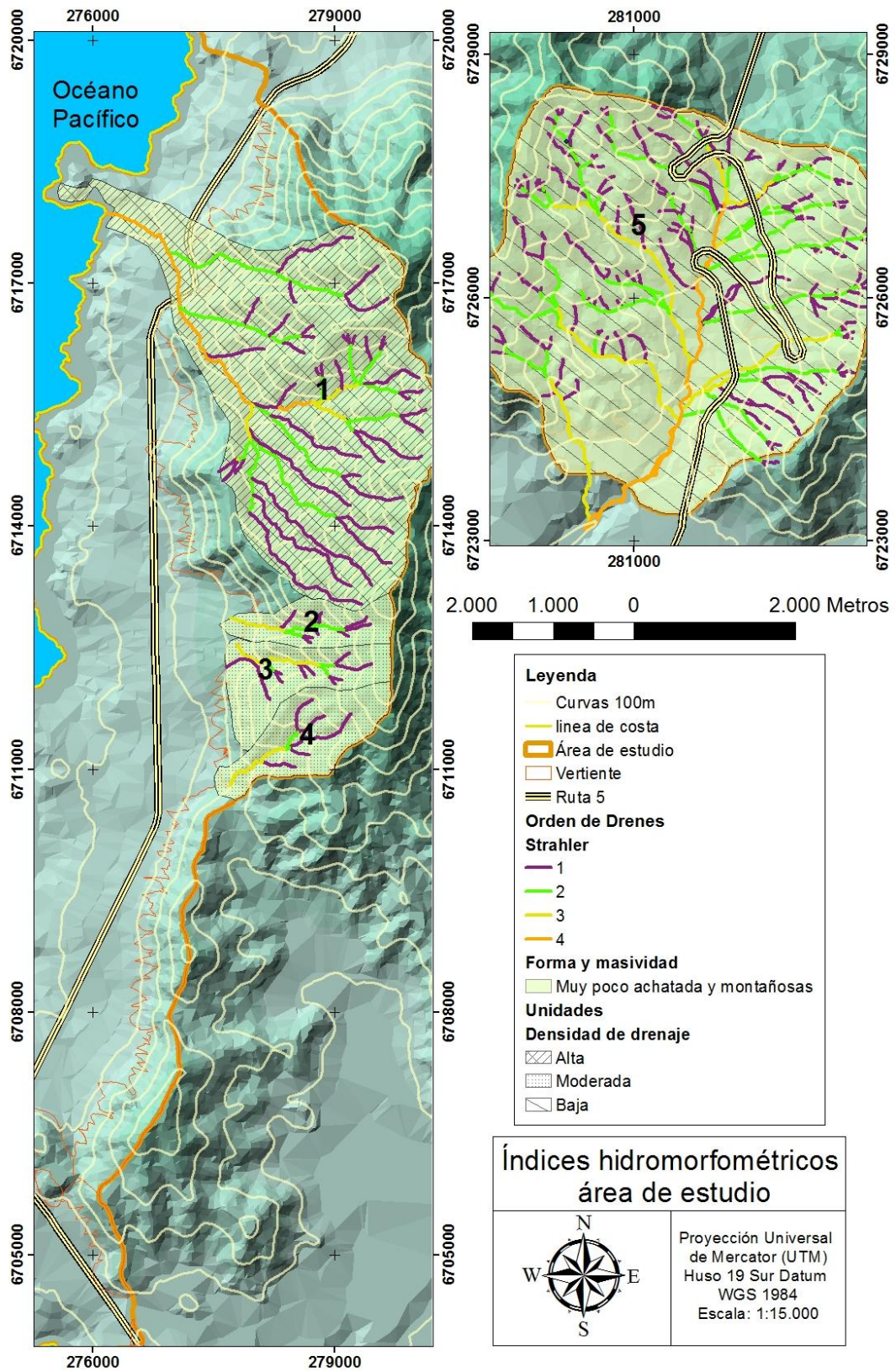
#### 5.3.4 SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE DETRITOS

Con la información recopilada y como resultado de la ecuación expuesta en el capítulo de planteamiento metodológico se puede estimar que la vertiente sí es apta para un proceso de movimiento en masa, ella si puede aportar material en caso de que exista el agente desencadenante. Sin embargo para identificar si existen posibilidades de flujo se debe agregar a lo anterior los resultados de índices hidromorfométricos (Figura 32).

Según el coeficiente de forma todas las unidades son muy poco achatadas por lo que no tiene un peligro de venidas, además tienen un alto índice de masividad que quiere decir que son muy montañosas. El índice densidad de drenaje es el único que se diferencia en las unidades mostrando la unidad 1 alto valor, lo que quiere decir que presenta una concentración de *talwelgs*, lo que también lo dice la clasificación de Strahler (1964), que da un nivel 4 a sus drenes. Estos juntos aportarían gran cantidad de material en caso de precipitaciones. Las unidades 2, 3 y 4 tienen una densidad moderada y la unidad 5 muestra una densidad baja. Con estos datos se puede decir que la unidad 1 es la microcuenca con mayor susceptibilidad a flujos por mostrar mayor densidad de drenaje, sin embargo no presenta peligro a avenidas rápidas, por su forma y es muy montañosa lo que hace más difícil el tránsito de materiales.

Para el tramo 2 los índices dejan en claro que la posibilidad de flujo desde la microcuenca no es viable, sin embargo visto desde las vertientes, la vertiente oriental muestra mayor susceptibilidad a flujo por sus talwegs, ya que se concentran en esta vertiente y tiene un nivel 4 según Strahler (1964). Alta capacidad de erosión.

**Fig. 32 Carta de Índices hidromorfométricos**



Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234

## 5.4 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y AMENAZAS.

### 5.4.1 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

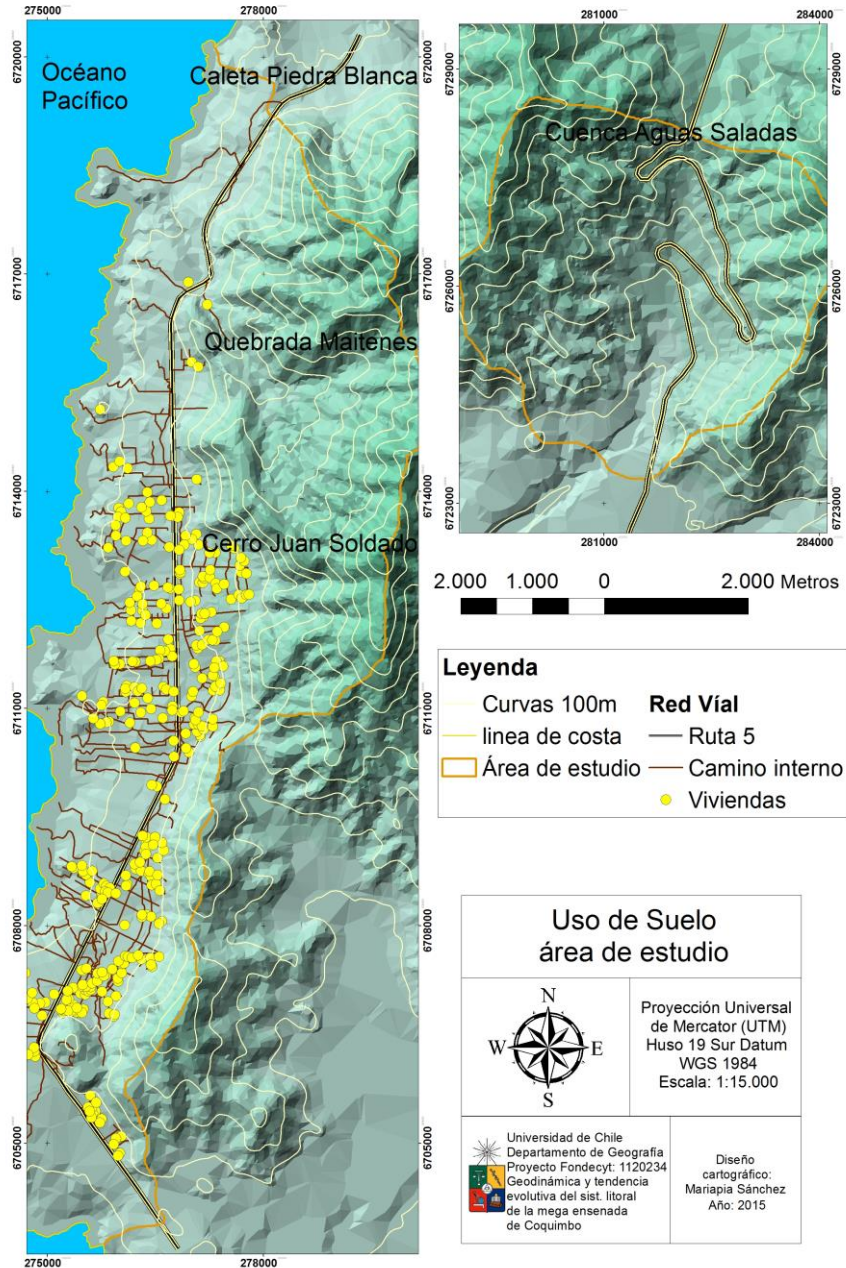
Para identificar el uso del suelo se utilizó una imagen de Google Earth del 23 de octubre del 2014.

Las actividades antrópicas en el área de estudio se restringe a: Territorios parcelados y Ruta 5. Los territorios que fueron parcelados presentan caminos internos que llevan a las nuevas viviendas y a la playa (Figura 33). Estos terrenos parcelados son vendidos por particulares e inmobiliarias, que se pueden identificar en anuncios del camino y avisos de internet.

La mayoría de las casas corresponden a segundas residencias y no son sitios urbanizados, el servicio agua es

otorgado por camiones aljibe, que la distribuyen en sistema de copas y la electricidad, en algunas partes el plan de electrificación fue aprobado, pero en otras las inmobiliarias dicen otorgar el servicio a través de paneles solares y energía eólica.

**Fig. 33 Carta de Uso de suelo**



**Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234**

La ruta 5, por su parte es el principal y único acceso a la región que conecta todo Chile, además de con el norte del continente.

#### **5.4.2 ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y AMENAZAS**

La vertiente del tramo 1, después de mezclar las capas de información de las variables para la ocurrencia de fenómenos de movimientos de masa, tiene como resultado una Susceptibilidad Alta y Muy Alta a la ocurrencia de estos fenómenos, pudiendo ser caída de rocas por la estructura de la vertiente, la cual evidencia meteorización del granito. El granito por su descomposición deja bloques redondeados exhumados y maicillo, material permeable que tiene más posibilidades de perder la estabilidad (Lara, 2007) y caer sobre las segundas residencias ubicadas sobre las formas de contacto (Figura 34).

En caso de flujo en Quebrada Maitenes, sólo hay una casa, en la orilla con un huerto en la misma quebrada.

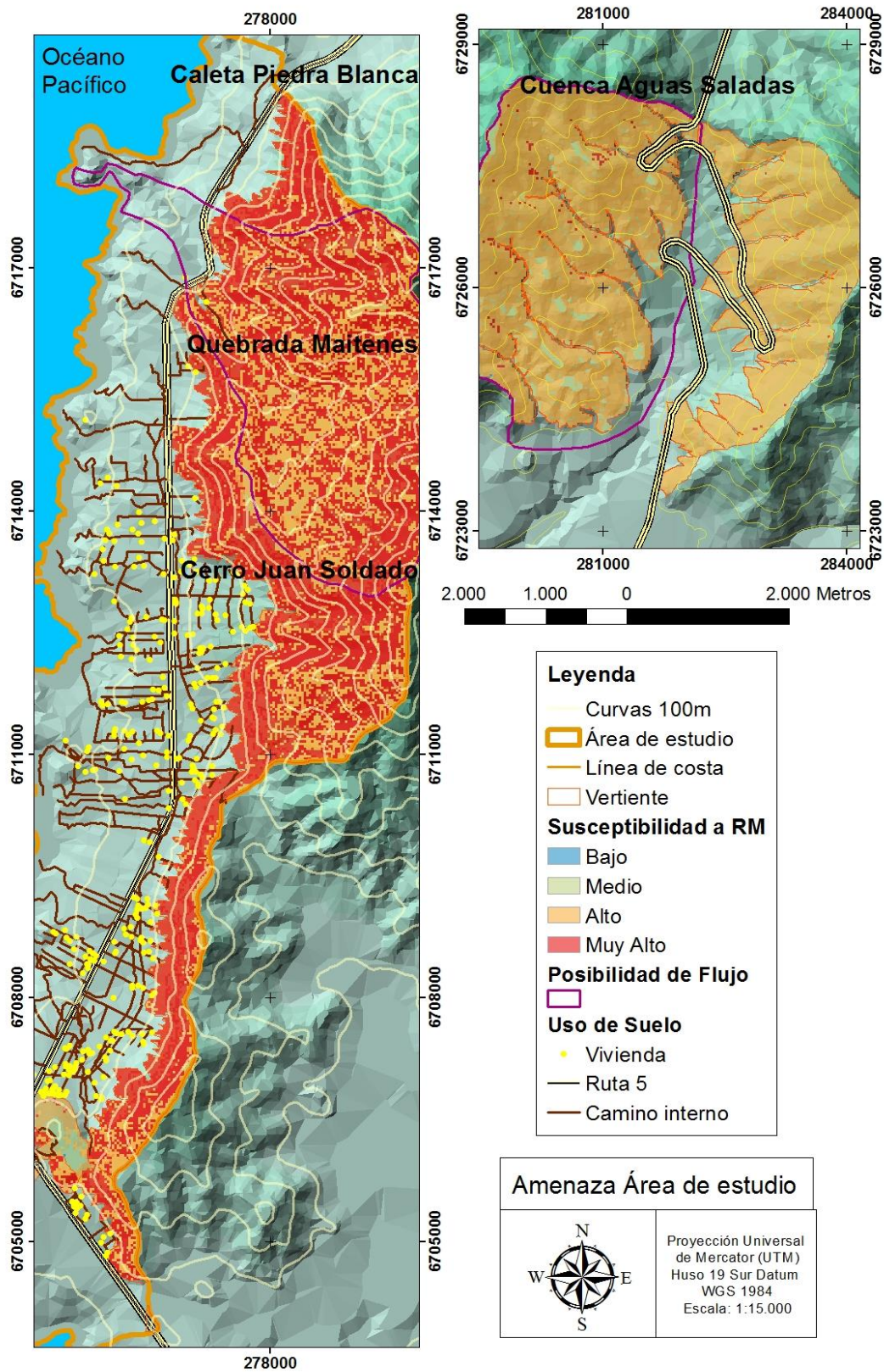
El tramo 2 de cuenca Aguas Saladas, tiene como resultado una susceptibilidad Alta a movimientos en masa, y de ocurrir afectaría a la ruta 5, la única conexión. En caso de flujo, como sistema hidrológico el área no tiene posibilidades de llevar a cabo un flujo, sin embargo se analizan las vertientes por separado, la vertiente occidental tiene una jerarquía de drenes alta, por lo que su capacidad de erosión y transporte es posible, además muestra en sus *Talwegs* susceptibilidad muy Alta a movimientos de masa, lo que hace sensible al terreno (Figura 35).

**Fig. 34 Viviendas bajo Caos de roca**



**Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234)**

**Fig. 35 Carta Amenaza por Movimientos en masa**



Fuente: Elaboración propia, Proyecto Fondecyt 1120234



## CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

### 6.1 DISCUSIÓN

La forma y funcionamiento del relieve en el área de estudio, son el producto de la interacción de los sistemas litoral, continental y atmosférico.

La Cordillera de la Costa en esta región se asocia a un sistema magmático que generó grandes complejos intrusivos y secuencias volcánicas, cuyos remanentes erosionados la conformaron (Aguilar, 2010). Pese al tiempo, desde el cretácico superior, la cordillera ha sido muy poco denudada (Cembrano *et al.*, 2003, en Aguilar, 2010).

Sus vertientes son graníticas en proceso de descomposición, compuesta por bloques de granito redondeado, con señales de erosión por escama, junto a un gruss permeable, lo que concuerda con Araya-Vergara (2000) que expone que las vertientes de materiales graníticos presentan una cobertura detrítica no consolidada, en donde se destacan los caos de roca.

Fueron caracterizadas como de flanco de valle activa y con divisorias suavizadas en su mayoría, según la clasificación de Araya- Vergara (1985) y Presentan *talwegs* intermitentes, como los descritos por Ferrando & Muñoz (1977) en el Limarí.

En relación a las formas de contacto, Ferrando & Muñoz (1977) señalan que en la Cordillera de la Costa estas formas son una herencia de los óptimos climáticos del Pleistoceno, cuando una mayor pluviosidad dio paso al arrastre de materiales desde las vertientes. Los vestigios de este proceso, en el área de estudio se observan en los conos torrenciales, en el tramo 1. Frente a Punta Arrayán, estas formas se presentan desde la vertiente hasta la costa y se componen de material caótico, es decir materiales angulosos y sub angulosos sin un promedio de dimensiones (Figura 36). En el tramo 2 los conos se ubican bajo la vertiente, formando el fondo de valle de la cuenca. Según Soto *et al.*, (2014), estas formas son heredadas y relictas y en la actualidad se reactivan ocasionalmente en eventos ENSO, en etapa El Niño.

En el tramo 1, en los conos frente a Punta Arrayán hay *Talwegs* inactivos, donde se presenta una vegetación densa en el cual se pueden distinguir *Lobelia tupa* (tabaco del diablo) (Figura 36A), *Echinopsis chiloensis* (quisco) (Figura 36B) y *Puya chilensis* (chagual) (Figura 36C), es importante reconocerla porque las tres plantas tienen una característica en común, se encuentran sobre los conos de deyección, todas tienen como característica necesitar un suelo con buen drenaje para subsistir, además la *Puya chilensis* demora de 11 a 20 años en florecer, lo que hace deducir que esos *talwegs* no han sido activados durante ese tiempo (Zizca, et al., 2009). También un suelo permeable, es más susceptible a movimientos del mismo.

En este conjunto de sistemas, las altas pendientes se concentran en las vertientes del *coast range*, mientras que bajo ellas se sitúa un terreno más bien plano donde las formas continentales muchas veces están sobrepuestas a las formas marinas, lo que muestra también que las formas continentales son posteriores a las terrazas de abrasión marina. Lo anterior tiene como resultado que sólo en las vertientes pueden darse fenómenos de movimiento en masa, son ellas quienes aportan los materiales y tienen pendientes aptas para ello.

Se pueden encontrar variadas metodologías para identificar la susceptibilidad a movimientos en masa, todas ellas desde distintas disciplinas estudiando y caracterizando el terreno desde distintos puntos de vista, sin embargo, algunos factores se mantienen. El más importante y el que desencadena remociones en masa es la pendiente (Cartaya, 2010); la vegetación, la cual supone que las raíces de ella son las que mantienen compacto el suelo. Exposición, que da cuenta de cuanta luz solar recibe la zona y a cuanta sequedad estará expuesta. Calidad del suelo, si bien, algunos estudios realizan análisis geotécnicos, la estructura del suelo también puede identificarse en terreno y calificarlo por su composición, vista.

Según los resultados obtenidos, la susceptibilidad a caída de rocas es mayor en el tramo 1 que en el tramo 2, variando entre Alta y Muy Alta, mientras que el tramo 2 sólo presenta Alta. La posibilidad de flujos es baja, aunque si existe, el sistema hidrológico 1 (Quebrada Maitenes) en tramo 1, es la con mayor susceptibilidad a movimientos en masa de flujos, por mostrar mayor densidad de drenaje y un rango 4 dentro de la clasificación de Strahler (1964), lo que quiere decir que tiene una capacidad erosiva alta. Sin embargo en base a su forma y masividad, hacen difícil pensar un alto potencial cinético de un eventual flujo. Para el mismo tramo y más allá del análisis de índices hidromorfométricos, en las incisiones entre los conos de Quebrada Arrayán (Figura 36), los cuales quedaron fuera de los análisis de estudio, por metodología, por lo visto en terreno se puede concluir que la incisión es un *talweg* capaz de activarse en caso de pluviosidad alta y ser vía de transporte de materiales. Para el tramo 2, la posibilidad de flujo, podría darlo la vertiente occidental de la cuenca Aguas Saladas, ya que es la que presenta más cantidad de *talwegs*, con una jerarquía alta según el método de Strahler (1964).

**Fig. 36 Sistema en Conos de deyección, Quebrada Arrayán**



A)



B)



C)



A) Cono de deyección compuesto por material caótico, disectado por un Talwegs de 4 metros de altura aproximadamente, B) Talwegs inactivos disectando cono de deyección. C) De izquierda a Derecha: *Lobelia tupa*; *Puya chilensis*; *Echinopsis chiloensis*.  
(Fuente: Proyecto Fondecyt 1120234)

## 6.2 CONCLUSIÓN

El área de estudio constituye la resultante de la dinámica de los grupos de formas del sistema andino costero y la acción del mar. Destaca la presencia de playas de rodados y plataformas de abrasión. En la zona continental representada por la vertiente occidental del *Coast Range*, se caracteriza por la presencia de formas adecuadas para la ocurrencia de procesos de remoción de masa en el sector, ya que presenta pendientes sobre los 20° y la estructura física es favorable para estos procesos, puesto que su composición muestra una vertiente de granito en descomposición, con bloques exhumados, detritos y *gruss* alrededor, materiales permeables lo que los hace más inestable.

Las vertientes muestran Alta y Muy Alta susceptibilidad a movimientos en masa de caída de rocas, en sectores donde la pendiente, vegetación, exposición, vegetación y curvatura son favorables. Para el caso de movimientos de masa de Flujos, a través de los índices hidromorfométricos el sector presenta una microcuenca capaz de llevar a cabo ese proceso, Quebrada Maitenes, sin embargo, fuera del análisis de los índices hidromorfométricos, se encontraron incisiones considerables en el terreno, las cuales fueron y serán vías de transporte de flujos en momentos de gran pluviosidad, como en fenómenos del niño. Estos *talwegs* pueden activarse y volver a disectar.

Las actividades antrópicas expuestas a los movimientos en masa corresponden a segundas residencias en terrenos parcelados y la ruta 5, las primeras no están en la vertiente, si no que en las formas de contacto bajo ésta, y reciben potencialmente los materiales aportados por la vertiente, por lo que las segundas residencias sí se consideran expuestas a procesos de movimientos en masa. La ruta 5, es una obra expuesta continuamente, ya que está construida, en primer lugar bajo la vertiente y luego dentro de una cuenca.

Las posibilidades de flujo que se encuentran en el área, afectaría a pocos medios humanos. Los sectores que son susceptibles a flujo, no tienen actividades humanas cercanas, por lo que lo que ese tipo de movimiento no tendría consecuencias considerables.

Las parcelas de segundas residencias son actividades que no han contemplado los instrumentos de planificación de la región, y se han llevado a cabo como respuesta al incremento de población en ésta. El sector es un lugar rural, no contemplado en el plan regulador y esta normado por el Plan Regional de Desarrollo urbano PRDU (2006), el cual le otorga la categoría de Áreas de aptitud agrícola y Áreas de sensibilidad ecosistémica, lo que le deja fuera de cualquier estudio de riesgos, dejando a las actividades humanas del sector desprotegidas por un desconocimiento del territorio.

## **CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUILAR, G. 2010. "Erosión y transporte de materia en la vertiente occidental de los Andes semiáridos del Norte de Chile (27-32°S): desde un enfoque a gran escala temporal y espacial, hasta la evolución cuaternaria de un sistema fluvial". Tesis de Doctorado de la Universidad Católica del Norte (Chile) y de la Université de Toulouse.

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.

AMAYA, H. 2013. "Geodinámica actual de una cuenca costera de dominio semiárido. Ccaleta hornos, Región de Coquimbo". Memoria para optar al grado de Geógrafo. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ARAYA-VERGARA, J. 1971-2. "Bases geomorfológicas para una división de las costas de Chile". *Revista investigaciones Geográficas Número 18*.

ARAYA – VERGARA, J.F. & BORGEL 1972. "Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño". ONEMI/PNUD.

ARAYA-VERGARA, J. F.1976. "Reconocimiento de tipos de individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile". *Revista investigaciones Geográficas Chile Número 22*.

ARAYA- VERGARA, J.F. 1980. "Evolución de las vertiente y morfogenesis fluvial en el dominio subtropical seco según la carta geomorfológica detallada (Ej. Chile semiarido)" *Revista investigaciones Geográficas Número 27*.

ARAYA-VERGARA, J. 1983." Influencias morfogenéticas de los desalineamientos y líneas de costa contrapuestas en el litoral de Chile central". *Revista investigaciones Geográficas Chile Número 30*.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1985. "Análisis de la Carta Geomorfológica de la Cuenca del Río Mapocho". *Revista investigaciones Geográficas, Número 32*.

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. 6790). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

BECK, S; BARRIENTOS, S; KAUSEL, E; REYES, M. 1998. "Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone". *Journal of South American Earth Sciences*.

BIRD, E. 2008. "Coastal Geomorphology: an introduction" Geostudies, University of Melbourne, Australia.

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

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 movimiento en masa". SAPIENS. vol.11

CASTRO, CONSUELO; BRIGNARDELLO, LUIGI, 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.

CIFUENTES, JUAN LUIS; TORRES, PILAR; FRÍAS MARCELA 1991. "El Océano y sus Recursos XXI: El Futuro de los océanos". <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/100/html/oceano12.html>

COMTE, D; HAESSLER, H; DORBATH, L; PARDO, M; MONFRET, T; LAVENU, A; PONTOISE, B; HELLO, Y. 2002. "Seismicity and stress distribution in the Copiapo, northern Chile subduction zone using combined on- and off- shore seismic observations". Physics of the Earth and Planetary Interiors.

CUEVAS, M. 2012. "Análisis de Susceptibilidad de Movimiento en masa en la Localidad de Cocholgüe, Comuna de Tomé, Región del Biobío. Chile". Tesis para optar al título de Geógrafo, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

DAVIDSON-ARNOT, D. 2009. "Introduction to coastal processes and geomorphology". Cambridge University Press, Cambridge.

DAVILA, JORGE, 2011. Diccionario geológico.

ELMES, MAX., 2006. "Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el piedmont de la comuna de puente alto" Memoria para optar a título de Geógrafo, Universidad de Chile. Santiago de Chile.

EMPARAN & PINEDA. 2000. Área La Serena- La Higuera, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos. No 18. 1 mapa escala 1:100.000.

FERRANDO & MUÑOZ, 1977. "Estudio de las Agrícolas. Geomorfología." Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales. No. 20. Santiago.

FERRANDO, F.1994" Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales y Criterios para su Diseño". Santiago, Chile. ONEMI / PNUD Universidad de Chile.

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

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.

GONZALEZ DE VALLEJO, L.I; FERRER, M; ORTUÑO, L; OTEO, C. 2002. "Ingeniería Geológica." Editorial Prentice Hall.

HAMBLIN, W. 1992. "Earth's Dynamic Systems". Sixth Edition. New York, EE.UU. Capitulo 11.

HORTON, RE (1945) "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology". Geological. Society. America Bull. 56.

KEEFER, D.K.. 1984. "Landslides caused by earthquakes." Geological Society of America Bulletin, vol. 95.

KOMAR, P.D. 1976. "Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, Englewood Cliffs", NJ.

LARA, M. 2007. "Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de movimientos en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago oriente, Región Metropolitana." Tesis de Magíster, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.

LAVELL, A. Riesgo y Desastre en América Latina: Cambios y Evolución en el estudio y en la práctica: 1980-2001. [en línea] Red de Bibliotecas Virtuales de Ciencias Sociales de América Latina y el Caribe de la red CLACSO, 2005. <<http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/flacso/secgen/lavell.pdf>> [consulta: 12 de marzo 2015].

LEE, S; EVANGELISTA, D. 2008 "Landslide Susceptibility Mapping using Probability and Statistics Models in Baguio City". Institute of Geoscience and Mineral Resources Philippines Geoscience Information Center, Korea.

LIZARDO, N; LAVELL, A; PERÉZ, O. 2009. "La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos". Proyecto de apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN. Perú.

NOVOA, JE & LÓPEZ, DAVID. 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.

ONU-PNUMA/ORPALC, 2004. "Manual de Capacitación: GEO Juvenil".

PADILLA, R. 2007. "Dinámica Geomorfológica Actual del Paisaje de Montaña, Correspondiente al Bloque Sur-Oeste de la Región Metropolitana". Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

PARDO, I; M. ALVAREZ; J. CASAS; J. MORENO, S.; VICAS, N; BONADA, J; ALBATERCEDOR, P; JÁIMEZ-CUELLAR, G; MOYA, N; PRAT, S; ROBLES, M; SUAREZ, M. TORO; M. VIDAL-ABARCA. 2002. "El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de habitat W". Limnetica.

PASKOFF, R. 1970. "Geomorfología de Chile semiárido." Trad. por J. Novoa (1993). Facultad de Humanidades, Universidad de La Serena.

PATHAK, S; NILSEN, B. 2004. "Probabilistic rock slope stability analysis for Himalayan condition". Bulletin of Engineering Geology and the Environment No. 63.

PEDRAZA, J. 1996. "Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones." Editorial Rueda. Madrid.

PENK, W. 1924. "Die morphologische analyse". Engelhorn, Stuttgart.

PLAN REGIONAL DE DESARROLLO URBANO. 2006. Región de Coquimbo.

RODRIGUEZ, C.E; BOMMER, J.J.; CHANDLER, R.J.1999. "Earthquake-induced landslides: 1980-1997". Soil Dynamics and Earthquake Engineering,

SAILLARD, M. 2008. "Dynamique du soulèvement côtier des Andes centrales: Etude de l'évolution géomorphologique et datations (10Be) de séquences de terrases marines (Sud Pérou-Nord Chili)." Ph.D Thesis, Université de Toulouse.

SÁNCHEZ, N. 2014. "Geodinámica del sistema de vertientes de media montaña, asociado al sector de Totalillo, Guanaqueros y Tongoy, Región de Coquimbo". Memoria para optar al título de Geógrafa. Universidad de Chile. Santiago, Chile.



SCHIMIDT – TOMÉ, P. 1996. "Korrelation von Reliefformen und der Vergessellschaftung von Bodentypen im südlichen Teil des Längstal von Santiago de Chile". Rheinischen Frierich – Wilhelms Universiäi. Bonn.

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. Santiago, Chile.

SEPÚLVEDA, S.A;MURPHY, W; PETLEY, D.N; 2004. "The Role of Topographic Amplification Effects on the Generation of Earthquake-Induced Rock Slope Failures. In: Landslides, Evaluation and Stabilization". Lacerda, W.A., Ehrlich, M., Fontoura, S.A.B. and Sayao, S.F. (eds.), Balkema, vol.1.

SHORT, A. D. 1999." Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics." A. Short (Ed). John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.

SQUEO, FA; ARANCIO, G; GUTIÉRREZ, JR; L, LETELIER: ARROYO, 2001. "Libro rojo de la flora nativa y de sitios prioritarios para su conservación. Región de Coquimbo." Ediciones Universidad de La Serena, Chile.

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

USGS. 2004. "Landslide Types and Processes" U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey.

VARNES, D. J. 1978. "Slope movement and types and processes. In R. L. Schuster and R.J. Krizek (eds) Landslides:Analysis and Control (Transportation Research Board Special Report 176)". Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

VIGNY, C., RUDLOFF, A., RUEGG, J.C., MADARIAGA, R.CAMPOS, J., ALVAREZ, M. 2009. "Upper plate deformation measured by GPS in the Coquimbo Gap, Chile. Physics of the Earth and Planetary Interiors".

ZIZKA G, M SCHMIDT, K SCHULTE, P NOVOA, R PINTO & K KÖNIG (2009) Chilean Bromeliaceae: diversity, distribution and evaluation of conservation status. Biodiversity and Conservation 18 (9): 2449-2471

