

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO.  
FACULTAD DE CIENCIAS.  
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS.  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL.

ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE GENERAN PROCESOS  
DE REMOCIÓN EN MASA EN LA QUEBRADA  
SAN MARTÍN DEL CERRO CORDILLERA, VALPARAÍSO.

PROPUESTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL  
RIESGO.

ALUMNO TESISISTA: RUBÉN GUTIÉRREZ CABRERA.

PROFESOR GUÍA: MARÍA ELIANA PORTAL.

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.

JUNIO DE 2005.

## INDICE.

Página.

<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Asentamientos Urbanos y Medioambiente.....	1
1.2 La sociedad y el riesgo natural.....	1
1.3 Amenazas.....	2
1.3.1 Amenazas naturales.....	2
1.3.2 Amenazas socionaturales.....	2
<b>II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....</b>	<b>4</b>
2.1 Remoción en masa.....	4
2.2 Remociones en Masa en Chile.....	6
2.3 Definición y Descripción de los principales tipos de procesos de Remoción en Masa en Chile.....	7
2.4 Flujos.....	7
2.4.1 Flujos de Barro.....	8
2.4.2 Flujos detríticos.....	11
2.4.3 Flujos Laháricos.....	13
2.4.4 Creep o reptación lenta y solifluxion.....	14
2.4.5 Flujos asociados al colapso de depósitos de residuos mineros.....	15
2.5 Deslizamientos.....	16

2.5.1	Deslizamientos laminares traslacionales.....	17
2.5.2	Deslizamientos rotacionales.....	18
2.5.3	Deslizamientos multirrotacionales.....	19
2.5.4	Deslizamientos de bloques rocosos.....	20
2.5.5	Deslizamientos de detritos.....	20
2.6	Desprendimientos.....	21
2.7	Avalanchas (Aludes).....	22
2.8	Jokulhlaup.....	24
2.9	Subsidencia y Hundimiento.....	24
2.10	Análisis de las variables que inciden en la Remoción en Masa.....	30
2.10.1	Pendiente.....	30
2.10.2	Exposición.....	30
2.10.3	Precipitación.....	31
2.10.4	Vegetación.....	31
2.10.5	Suelo de Fundación.....	31
2.10.6	Intervención Antrópica.....	32
<b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>		<b>32</b>
<b>IV. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....</b>		<b>33</b>
4.1	Objetivo General.....	33

4.2	Objetivos Específicos.....	33
<b>V. METODOLOGIA.....</b>		<b>34</b>
<b>VI. DIAGNOSTICO DEL AREA EN ESTUDIO.....</b>		<b>38</b>
6.1	Descripción del Problema en el Área de Estudio.....	38
6.2	Características Ambientales del Área de Estudio.....	40
6.2.1	Geología y Geomorfología.....	40
6.2.2	Clima.....	41
6.2.3	Vegetación.....	42
6.3	Características Socioeconómicas de la Población.....	43
<b>VII. RESULTADO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.....</b>		<b>45</b>
7.1	Pendiente.....	45
7.2	Exposición y Vegetación.....	46
7.3	Precipitaciones.....	48
7.4	Intervención Antrópica sobre la Vegetación.....	49
7.4.1	Aplicación del Índice de Disimilitud.....	50
7.5	Calidad y Características del Suelo de Fundación en la Quebrada San Martín...51	
7.6	Bosquejo de la Quebrada San Martín.....	54

<b>VIII. PROPUESTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA QUEBRADA SAN MARTÍN.....</b>	<b>57</b>
<b>IX. DISCUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>X. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>XI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>

**INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y FOTOGRAFÍAS.**

Página.

Figura N°1: Diagrama Indicativo de un Flujo de Barro.....	9
Figura N°2: Diagrama Indicativo de un Flujo de Detritos.....	11
Figura N°3: Trayecto de un Flujo Lahárico, en el Volcán LLaima.....	14
Figura N°4: Mecanismo de Reptación Lenta.....	15
Figura N°5: Esquema de un Deslizamiento Traslacional.....	18
Figura N°6: Diagrama de un Deslizamiento Rotacional.....	18
Figura N°7: Esquema Clásico de un Deslizamiento Multirrotacional.....	19
Figura N°8: Bosquejo de un Deslizamientos de Bloques Rocosos.....	20
Figura N°9: Desprendimiento en una Zona Litoral.....	21
Figura 10: Diferencia en los cursos de una Avalancha.....	23
Figura N°11: Hundimiento de la Torre de Piza.....	25
Figura N°12: Distribución de los Elementos Biótico-Abióticos en la Quebrada San Martín.....	54
Tabla N°1: Rangos de Pendiente.....	30
Tabla N°2: Coordenadas de los Sectores de Estudio en la Quebrada san Martín.....	34
Tabla N°3: Remociones en Masa Ocurridos en la Ciudad de Valparaíso.....	39
Tabla N°4: Vegetación presente en la Quebrada San Martín.....	42
Tabla N°5: Especies Vegetales, Quebrada San Martín según grado de Exposición.....	47
Tabla N°6: Precipitaciones v/s Remociones en masa.....	48
Tabla N°7: Especies Vegetales Nativas en la Quebrada Ficher.....	49

Tabla N°8: Especies Vegetales Nativas en la Quebrada San Martín.....	50
Tabla N°9: Especies introducidas Quebrada San Martín.....	51
Fotografía N°1: Tranque de Relave Activo o en Uso.....	15
Fotografía N°2: Deslizamientos de Bloques Rocosos en Avda España.....	27
Fotografía N°3: Obras de Construcción en la Salida del Mirador 21 de Mayo.....	28
Fotografía N°4: Procesos de Fortificación, en la obra del Túnel de Acceso Puerto.....	29
Fotografía N°5: Mediciones de Pendiente en la Quebrada San Martín.....	35
Fotografía N°6: Quebrad Ficher.....	36
Fotografía N°7: Dificultad en las Instalaciones de Servicios Básicos.....	38
Fotografía N°8: Vista Satelital de la Quebrada San Martín.....	40
Fotografía N°9: Intervención Antrópica de la Quebrada San Martín.....	43
Fotografía N°10: Asistencia Técnica, Viviendas Cerro Las Cañas.....	44





## **RESUMEN.**

En el presente trabajo, se dan a conocer los procesos de Remoción en Masa en Chile, los factores desencadenantes, la tipología y magnitud de éstos, en donde determinados volúmenes de suelo, roca o ambos, se desplazan a una cota o nivel inferior al original, a velocidades relativas, provocando la destrucción de todo lo que se interpone en su curso.

Este riesgo natural, poco conocido por el común de la gente, se describe en el diagnóstico realizado a la quebrada San Martín del Cerro Cordillera, en donde habitan un gran número de personas de bajos recursos y en condiciones de extrema pobreza. Esta condición se agrava aun mas cuando, por falta de una planificación urbana eficiente de parte de las autoridades de la región, las poblaciones allí emplazadas, viven expuesta a Remociones en Masa de tipo Flujos de Barro y Detritos, causantes durante décadas, de la destrucción de viviendas y pérdidas de vidas humanas, tanto en ésta, como en el resto de de las quebradas del Gran Valparaíso.

Se analizaron exhaustivamente las variables que generan estos procesos en la Quebrada San Martín y se identificaron los sectores de mayor riesgo. Como los eventos de Remoción en Masa son procesos asociados a la corteza terrestre, no son susceptible de un total manejo, sin embargo el riesgo que generan si puede ser evitable, por lo que se generaron propuestas de tipo estructurales capaces de controlar o encausar el curso físico del evento, con obras principalmente de ingeniería y propuestas no estructurales, basadas en acciones de tipo educativas o aplicaciones normativas de gestión y organización. Ambas propuestas con el fin de aminorar y mitigar los efectos que provocan los procesos de remoción en masa en una población altamente vulnerable.

## **I. INTRODUCCION.**

### **1.1 Asentamientos Urbanos y Medioambiente.**

Las ciudades y todo lo que ellas involucran en términos de estructuras inertes y vivas en coexistencia no se construyen en el aire (aún) o sobre espacios homogéneos o sin capacidad de reacción, sino todo lo contrario, sobre sistemas naturales complejos y operativos, permanente o aleatoriamente.

La naturaleza tiene su propia dinámica, la tierra es un planeta vivo, y ante ello el hombre debe aprehender esta dinámica, respetar las tendencias de la evolución, e insertarse en ella con el más bajo nivel de interferencia posible, evitando romper el equilibrio natural y el desarrollo de los procesos. La naturaleza traza sus propios caminos y el hombre debe asumir los resguardos adecuados si quiere cruzarse con ellos.

Las ciudades se posicionan y expanden generando grandes y graves desequilibrios en el medio ambiente biosférico. Cada vez que el hombre interviene provoca alteraciones. Los efectos en el corto, mediano o largo plazo son negativos o desastrosos, y la naturaleza se encarga inexorablemente de volver las cosas a su sitio, tanto violenta como pausada e imperceptiblemente.

Estudios recientes nos permiten concluir, que ciertos episodios de la dinámica natural se transforman en desastres sólo por la existencia y ocupación que hace el hombre del medio natural.

### **1.2 La sociedad y el riesgo natural.**

El riesgo, o la probabilidad de daños y pérdidas, es un concepto fundamental que supone la existencia de dos factores: amenazas y vulnerabilidades. La idea de amenaza se refiere a la probabilidad de la ocurrencia de un evento físico dañino para la sociedad: la vulnerabilidad refiere a la propensión de una sociedad, o elemento de la sociedad, a sufrir daño.

El riesgo se crea en la interrelación o intersección de estos dos tipos de factores, cuyas características y especificidades son sumamente heterogéneas. Aun cuando para fines analíticos se suelen separar estos dos factores, estableciendo una aparente autonomía de ambos, en la realidad es imposible hablar de amenaza sin la presencia de vulnerabilidad y viceversa. Para que haya una amenaza tiene que haber vulnerabilidad.

Si no existe una propensión a sufrir daño al encontrarse frente a un evento físico determinado, no hay amenaza, sino solamente un evento físico natural, social o tecnológico sin repercusiones en la sociedad.

### **1.3 Amenazas**

#### **1.3.1 Amenazas naturales**

La ubicación originaria de un número importante de los centros urbanos a escala mundial se explica por su proximidad a diversos recursos naturales, aun cuando, con cambios en las estructuras y lógicas económicas y en las tecnologías de comunicación y transporte, estos factores hayan perdido peso con el paso del tiempo. La proximidad a mares, océanos, lagos y ríos o a depósitos de minerales y la ubicación en valles tectónicos o en las faldas de volcanes, entre otras, se explica por el acceso a recursos que facilitan el transporte de bienes, la producción pesquera, agrícola o industrial y la interrelación comercial y poblacional en general.

Sin embargo, por el mismo proceso de la naturaleza, los recursos que ofrecen oportunidades para la vida humana se convierten en distintos momentos en amenazas para ella misma y sus creaciones. Inundaciones, sismicidad, volcanismo, tsunamis, sequía, remoción en masa son algunas de estas amenazas.

#### **1.3.2 Amenazas socionaturales.**

Los procesos y eventos naturales establecen límites o fronteras “naturales” al desarrollo de la sociedad y de las ciudades. Son inmutables, en gran medida, a pesar de que la tecnología permite, en determinadas circunstancias, una modificación de su comportamiento e impacto en la sociedad, como es el caso de la construcción de presas, diques, paredes de retención, por ejemplo.

Sin embargo, existe una serie creciente de eventos físicos que afectan a las ciudades, que aparentan ser naturales, pero en su esencia son creados por la intervención humana. Estos eventos se gestan en la intersección de la sociedad con los procesos de la naturaleza, y pueden convenientemente denominarse eventos o, en su caso, amenazas socionaturales, hundimientos y de sequías que afectan a muchas ciudades, particularmente en los países pobres, cuyos orígenes se encuentran en el inadecuado manejo del entorno natural de la ciudad y de su región circundante.

La construcción de la ciudad implica automáticamente un cambio en los sistemas ecológicos y ambientales originarios. El ambiente natural se transforma en un ambiente construido, o social. La conversión de suelos naturales en tierras urbanas significa la remoción de la cobertura vegetal natural y su sustitución con asfalto, cemento u otros materiales industriales. Esto inevitablemente cambia la dinámica de las descargas fluviales y la dinámica fluvial de los ríos "urbanos", con graves consecuencias en términos de inundaciones, si el proceso natural de control pluvial y fluvial no es compensado por la construcción de adecuados sistemas de drenaje urbano. El minado, tanto de materiales para la construcción, como del agua subterránea, para proveer a la ciudad de recursos y medios para su crecimiento, conduce muchas veces a procesos de hundimiento, deslizamiento o de sequía urbana. La contaminación de aguas, tierras y aire, por desechos industriales y domésticos, transforma los recursos en amenazas para la vida humana, socavando las bases de la salud y de la productividad del medio. Pero, a diferencia de los eventos de verdaderas características naturales, aquellos son previsibles y prevenibles a través de la acción humana planificada, consciente del impacto negativo de la transformación social sobre el ambiente.

En las últimas décadas, el número de personas afectadas por catástrofes naturales, ha aumentado significativamente. Cada año un 6%, lo cual es tres veces el crecimiento de la población mundial. (Hauser, A 1993).

## **II MARCO TEORICO CONCEPTUAL.**

### **2.1 Remoción en masa**

Entre los riesgos naturales, los procesos de remoción en masa han aumentado notablemente los últimos 30 años, debido al crecimiento de la población mundial y a la inadecuada planificación urbana, que se manifiesta aun más en países sub desarrollados, en donde la geología y topografía no es considerada en el diseño urbano.

Remoción en masa, se refiere a los procesos de “movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores” (Hauser, A; 1993).

Los movimientos de remoción en masa corresponden, intrínsecamente, a procesos gravitatorios, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original.

Tales fenómenos pueden o no ocurrir a través de un plano de deslizamientos, que a su vez puede ser recto o curvo. Pueden ser extremadamente lentos o muy rápidos e incluir desde roca sólida a barro como masa desplazada.

En consecuencia, el estudio del proceso de remoción en masa, utiliza como base conceptual, tanto la mecánica de suelos como la de rocas, más la hidrogeología y la geología.

Entre las características que se deben estudiar, existen las internas o propias del material, ya sea la litología, estructura, comportamiento hidrogeológico, estados tenso-deformativos, propiedades físicas, y las de carácter externo como la aplicación de cargas estáticas o dinámicas, variaciones en las condiciones hidrogeológicas, factores climáticos, alteraciones en la geometría de taludes.

Las características internas del material, participan decisivamente en la tipología, mecanismo y modelo de ruptura, mientras que las segundas controlan en gran medida, los volúmenes comprometidos en las remociones.

En términos de velocidad, los dos extremos están dados por los procesos de reptación (inestabilidad de ladera) de suelos y materiales no consolidados, que avanzan algunos centímetros por año.

El otro extremo, constituido por caídas o rodados de roca puede alcanzar velocidades de unos 300 km/h. Una velocidad de este tipo se observó en la corriente de barro y rocas generada en el cerro Huascarán, Perú, en 1970, a consecuencia de un sismo. La corriente, que incluía rocas, nieve y sedimentos glaciales, cubrió en solo tres minutos el pueblo de Yungay, con 1.5 a 3 metros de derrubio, destruyéndolo junto con sus habitantes (Oyarzún, J; 2001).

El agua constituye uno de los principales agentes desencadenantes de los procesos de remoción en masa, al originar drásticas disminuciones de la resistencia al corte y presiones intersticiales a lo largo de potenciales planos o superficies de ruptura. En esencia en estos procesos suelen actuar dos fuerzas fundamentales:

- a. Esfuerzo cortante o de **cizalla** que tiende a producir un deslizamiento pendiente abajo.
- b. La resistencia al corte o **cizallamiento** que se opone al anterior. La estabilidad de la ladera y sus depósitos dependerá del equilibrio entre ambas fuerzas.

Las causas que pueden provocar el esfuerzo cortante, inestabilidad e inducir el movimiento, pueden ser muy variadas y combinarse entre sí. Las más destacadas son:

- *Fuerte Pendiente:* El aumento del ángulo de pendiente se produce por agentes naturales o desmontes artificiales. Al aumentar la pendiente se incrementa la inestabilidad. En general, cuando los ángulos de pendiente empiezan a ser bastante importantes, además de la inestabilidad se incrementa la tasa de escorrentía y la intensidad de la erosión.
- *Aumento del peso en la superficie de la ladera,* por acumulación de derrubios y /o agua.
- *Alternancia de estratos de diferentes materiales.*
- *La presencia de Fracturas.*
- *Presencia de suelos arcillosos saturados de agua.*
- *Descalces o excavaciones naturales por cursos de agua, erosión, etc.; o por acción antrópica.*

Los fenómenos de remoción en masa, independiente de su tipología y magnitud, provocan deterioro en el relieve comprometido y daño al suelo y vegetación. Una remoción puntual, constituye el punto de partida para el desarrollo de remociones posteriores y de mayor alcance.

## 2.2 Remociones en Masa en Chile.

Como ocurre en las regiones montañosas de Europa, Asia y Sudamérica, en Chile los procesos de Remoción en Masa cobran particular relevancia, conjugándose una serie de factores geográficos, climáticos, tectónicos y geológicos que interactúan positivamente en el tiempo y espacio para favorecer su desarrollo, además de variados mecanismos de ruptura, condicionados por una amplia gama de magnitudes y tipologías.

Entre los factores de mayor importancia, que inciden en los fenómenos de Remoción en Masa en Chile, tenemos:

- **Primer factor:** Chile se ubica en el margen de una activa zona de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamérica. La subducción de la litosfera oceánica del Pacífico ha controlado la evolución geológica, tectónica, volcánica y sísmica del territorio desde el Paleozoico hasta la actualidad, desarrollándose estructuras geológicas frágiles y complejas (cadenas montañosas que, al incorporar abundantes rasgos deformativos, crean morfologías empinadas), zonas de fallas y/o fracturas (propicias al desarrollo de terrenos geomecánicamente débiles), actividad volcánica (erupciones de variado tipo y magnitud) y actividad sísmica (terremotos frecuentes).
- **Segundo factor:** La ubicación geográfica del territorio, enfrentado al vasto océano Pacífico, ejerce un decisivo efecto para controlar el régimen climático, a través del desplazamiento de masas de aire polar y/o ecuatorial. El tránsito de éstas por diversas latitudes del país, en función de mecanismos propios de la circulación atmosférica, genera variados regímenes de precipitación con intensidades marcadamente crecientes hacia el sur. La cordillera de los Andes juega un papel decisivo frente al comportamiento de las masas de aire. Como resultado de este carácter, en la zona altiplánica de las regiones I y II, las precipitaciones se concentran en el período Diciembre- Febrero; mientras que en el resto del país prevalecen en la estación invernal ( Junio- Julio, especialmente), cuando la actividad frontal genera lluvias intensas, propicias a desencadenar remociones en masa (flujos Detríticos).
- **Tercer factor:** la situación morfológica del país contribuye a que los asentamientos humanos se emplacen en torno al margen litoral, al pie de relieves empinados o en zonas llanas adyacentes a ríos caudalosos, incrementando su vulnerabilidad frente a los fenómenos de remoción en masa (Hauser, A; 1993 ).

### 2.3 Definición y Descripción de los principales tipos de procesos de Remoción en Masa en Chile.

A continuación, se explican los principales tipos de remociones en masa que ocurren en las distintas regiones del país. A través de datos de diversos autores y anónimos se puede observar desde la formación del proceso de remoción, hasta su manifestación, y como éste no solo provoca daños económicos al dañar importantes estructuras (camino, viviendas, represas), sino también la pérdida de muchas vidas humanas.

Cada uno de los diversos tipos de remociones en masa de ocurrencia en Chile, admiten una definición particular en términos de: **a-** ambiente geográfico, geológico, morfológico, tectónico y climático; **b-** factores desencadenantes; **c-** recurrencia y magnitud; **d-** riesgo inducido; y, **e-** medidas de prevención y/o control.

### 2.4 Flujos.

El término flujo es utilizado para designar movimientos de masas de mayor o menor velocidad, propios de materiales sin cohesión, que tienen lugar en suelos muy susceptibles de experimentar una considerable pérdida de resistencia con el movimiento; los materiales involucrados actúan, temporalmente, como un fluido, experimentando una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definida (Varnes, D; 1978).

Admiten 4 categorías de acuerdo con el tipo y características de los materiales comprometidos: **a- flujos de barro**, **b- flujos detríticos**, **c- flujos laháricos**, **d- solifluxión o flujo lento** y **e- flujos de relaves** asociados a colapsos de tranques o depósitos de residuos mineros.

El término flujo, invariablemente se asocia con agua y ésta, en realidad se encuentra presente en la mayoría de los flujos en movimiento. Sin embargo, suelen producirse flujos secos en situación de alcanzar magnitudes catastróficas, los que comprometen, en la generalidad de los casos, lenguas detríticas en movimiento muy lento y que irradian desde abruptas laderas rocosas, alimentándose a partir de material fragmentario coluvial; cuando el aporte fragmentario alcanza gran volumen, producto de un importante desprendimiento y en una zona montañosa muy escarpada, la remoción puede desplazarse a gran velocidad, generando los llamados ríos de detritos o avalancha de rocas. Debido al hecho que poseen coeficientes de fricción anormalmente bajos y no obedecen las leyes normales que relacionan la altura vertical con la distancia

de desplazamiento horizontal, se movilizan a extraordinarias distancias del punto de caída, incluyendo avances contrapendientes.

No obstante, el principal agente desencadenante de los flujos corresponde al agua; su incorporación induce una pérdida de resistencia de los materiales comprometidos. La gran mayoría de los flujos, independientemente de su naturaleza, se asocian en su etapa inicial a deslizamientos y/o desprendimientos, activados en períodos lluviosos.

Las zonas llanas aledañas al borde preandino de Chile Central (32-35° S), vastamente pobladas, presentan alto riesgo potencial frente a procesos aluvionales (flujos de barro y detritos) propios de la integración de importantes caudales de agua con gran carga de sólidos y considerable energía destructora.

En las quebradas andinas con escurrimiento efímero, cuyo cauce está enmarcado por gruesos depósitos coluviales con baja compacidad, por tanto muy sensibles a la erosión hídrica, el riesgo de formación de flujos de barro o detritos es muy alto; una vez activados, interrumpen caminos, tanto por derrames sobre carpetas o losa, como por obstrucción de obras de arte (alcantarillas, fosos, drenes), erosiones y desarrollo de cárcavas en terraplenes.

#### **2.4.1 Flujos de Barro.**

Extensos segmentos de nuestro territorio, en particular en la zona altiplánica y la zona andina de Chile Central, están sometidos a permanente riesgo de flujos de barro; morfologías empinadas, integradas por rocas superficialmente tectonizadas (fallas y/o fracturas) con una gruesa cubierta de suelos residuales y materiales transportados, desprovistos de cobertura vegetacional, en ambientes bajo condiciones climáticas propicias a abundantes e intensas lluvias, resultan muy favorables para el desarrollo de flujos de barro. Una vez desencadenados, escurren con velocidad variable (en respuesta a su contenido de agua y pendiente local), ocupando cauces preexistentes, por lo tanto, de acuerdo a trayectorias preestablecidas. La magnitud del flujo, en términos volumétricos y energía de avance, es función de la intensidad de las precipitaciones y de la disponibilidad de material fragmentario en el lecho de las estructuras de porteo (Ver figura N°1).

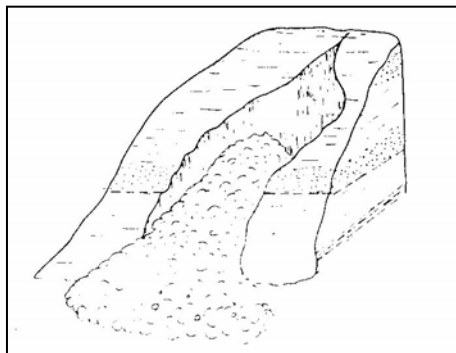


Figura N°1: Diagrama Indicativo de un Flujo de barro.

En la zona altiplánica y parte del sector andino del norte y centro del país, los términos bajadas, coladas y avenidas son utilizados con frecuencia para designar a los flujos de barro. Estos ejercen severo daño en caminos, sendas, redes de telecomunicaciones y conductos de aguas; registros históricos detectan evidentes interrelaciones con precipitaciones pluviales vinculadas al llamado 'invierno boliviano' (meses de Diciembre-Marzo). Los flujos adquieren particular gravedad en zonas donde la condición morfológica y la aptitud de los suelos obliga a los lugareños a disponer sus viviendas, desarrollar cultivos y trazar vías de acceso sobre amplias llanuras, las que conforman el fondo de quebradas provistas de escurrimiento efímero. En estos casos, la forzada trayectoria de los flujos provoca, con reiterada frecuencia, daños de magnitud catastrófica.

Ya en 1964 se identificaron y caracterizaron una serie de fenómenos de remoción en masa en la zona andina de la Provincia de Copiapó (Región IV, paralelos 27-28°S). Allí, los flujos de barro adoptan morfologías, tanto de conos, en torno al punto donde quebradas de escurrimiento efímero descargan a llanos aluvionales, como de verdaderos mantos continuos suprayacentes a segmentos de terrazas fluvio-aluvionales. Unos y otros se asocian, genéticamente, a tormentas que provocan precipitaciones de gran intensidad en zonas de relieve abrupto, desprovistas de cobertura vegetal y/o suelos, conformadas por rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas, generalmente afectadas por importante alteración y/o fracturamiento superficial. Flujos del tipo cono fueron descritos en las quebradas Cerrillos y Paipote; en el extremo sur de Laguna del Negro Francisco y ladera norte del cerro Bramador; flujos laminares se han detectado en sectores de Quebrada Paipote y en torno al Tranque Lautaro, en el valle del río Copiapó.

(Ramírez y Gardeweg.; 1982), describieron flujos aluvionales de barro, adquiriendo la morfología de abanico, en una zona árida en torno al llano de la Paciencia, al este de

Calama, Región II las corrientes, genéticamente, se vinculan a tormentas estacionales que provocan precipitaciones instantáneas de gran intensidad. En sectores, abanicos aluvionales coalescentes lateralmente, modelan superficies llanas con leve inclinación (6° al este). El aporte detrítico proviene de la fragmentación superficial de rocas sedimentarias clásticas poco compactadas, asignadas a las formaciones Purilactis y Tambores.

En Febrero de 1981 se desarrollo en la zona (23°53'S-68°38'W) un voluminoso flujo de barro que cubrió una superficie cercana a 1 km<sup>2</sup>.

(Segerstrom *et al.* 1964, p. D147), citaron el desarrollo de voluminosos flujos de barro, ocurridos el día 18 de Abril de 1959 en respuesta a fuertes lluvias; comprometieron varios segmentos del valle del río Maipo y sus afluentes; uno de ellos destruyo una importante extensión del Canal Yeso de la Central Hidroeléctrica El Volcán de Chilectra Metropolitana S.A. (CHILECTRA).

Lluvias mayores que 5,0 mm en 24 horas suelen provocar repentinos flujos de arena golpe o torrente de arena en sectores del litoral de la Región V: Reñaca y Concón. Se generan, localmente, a partir de los taludes de terrazas costeras empinadas constituidas por paleodunas con escasa cementación; fluyen con particular energía, invadiendo la calzada del camino que une Viña del Mar y Concón; en oportunidades, han comprometido, por efecto erosivo, las fundaciones de algunas viviendas poniendo en riesgo su estabilidad.

Un flujo de barro, con un volumen estimado en 200.000-300.000 m<sup>3</sup>, se produjo en septiembre de 1983, en el flanco oeste del valle del río Ortiga, afluente del Mapocho, inmediatamente aguas abajo del portal de salida del túnel Ortiga, de la Compañía Minera Disputada de las Condes (CMD).

A raíz de copiosas precipitaciones pluviales asociadas al invierno boliviano, el día 7 de Febrero de 1972, a las 18 horas, gran parte de las instalaciones de la mina Sagasca, Región I, fueron destruidas por una avenida de barro, los cuantiosos daños que se registraron en la planta de ácido sulfúrico, chancadoras, estanques de lixiviación, secadores, bodegas, campamento, ductos de agua potable y proceso, y caminos de acceso, aunque sin causar perdidas de vida, obligaron a una prolongada paralización de faenas, con elevados costos financieros.

Los flujos, una vez activos en su desplazamiento ladera abajo, invaden extensos sectores de la plataforma de caminos, obstruyendo parcial o totalmente las obras de arte adyacentes y reduciendo su seguridad operacional: Fosos, drenes, alcantarillas, puentes menores.

La gran mayoría de los flujos asociados a regolitos graníticos se originan en respuesta a lluvias de gran intensidad; inicialmente, se expresan como deslizamientos multirrotacionales; posteriores licuefacciones espontáneas, ligadas a la incorporación de mayor cantidad de agua, desencadenan los flujos; se relacionan con un incremento en la presión de poro, descenso en la resistencia al corte y aumento en el peso del material granular suelto.

#### 2.4.2 Flujos detríticos.

Las variables que controlan el origen y magnitud de los flujos detríticos incluyen: superficie de la hoya de drenaje, perfil hidráulico, suministro de detritos y condición climática. La hoya debe poseer una superficie compatible con la posibilidad de provocar saturación del detrito en torno al cauce principal de descarga; en situación normal, pendientes superiores a  $25^\circ$  favorecen el desarrollo de flujos en torno a las cabeceras de hoyas; lluvias de gran intensidad contribuyen a desencadenar este tipo de remociones en ambientes desprovistos de vegetación (Ver figura N°2).

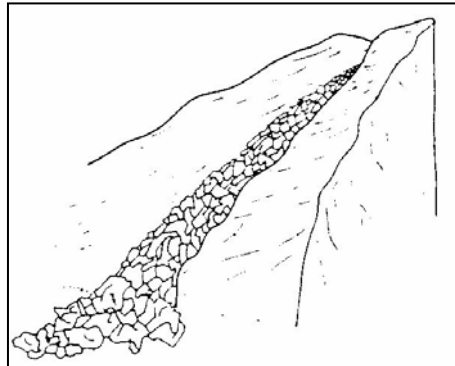


Figura N°2: Diagrama Indicativo de un Flujo de Detritos.

Las cabeceras de hoyas hidrográficas en las zonas andinas de Chile Central, próximas a glaciares activos en proceso de retroceso, normalmente liberan voluminosas acumulaciones de rocas fragmentadas en situación de equilibrio límite, las que resultan muy propicias para el desarrollo de flujos detríticos.

Los glaciares introducen una serie de variables en la ocurrencia de flujos detríticos que, normalmente, no tienen relación con la morfometría e hidrometeorología de las respectivas hoyas.

Como en su generación intervienen una serie de factores condicionantes, no es posible aplicar cálculos de periodos de retorno al estudio de riesgo de flujos detríticos; por ello, mas que asignar probabilidades de riesgo, es importante establecer la ocurrencia relativa del riesgo.

Mediante el análisis de causas y efectos, se estableció que precipitaciones superiores a 60 mm en 24 horas provocan flujos detríticos en la zona preandina de la Región Metropolitana.

Anualmente, este tipo de precipitaciones genera voluminosos flujos detríticos a lo largo del eje de la quebrada Las Amarillas, 1,5 km al sur de la localidad de Baños Morales, Región Metropolitana.

Dependiendo de su grado de turbulencia, los flujos de barro y detritos, además de sus componentes sólidos y líquidos, contienen cantidades considerables de aire; este determina, en forma decisiva, las propiedades dinámicas de los flujos de barro y detritos.

No debe ser desatendido el hecho que el poder destructivo de los flujos se incrementa notablemente por represamientos efímeros en el cauce de las quebradas de porteo. Las ondas de crecida generadas, junto con provocar sobreelevaciones instantáneas del flujo, incrementan su energía destructora. La acción del Hombre, carente de una planificación rigurosa, incluyendo la opción de utilizar el terreno llano en torno del cauce inmediato de quebradas o ríos, incrementa significativamente la vulnerabilidad de las estructuras allí emplazadas; viviendas, servicios públicos (agua potable, energía eléctrica, red de alcantarillado, sistemas de telecomunicación) e infraestructura vial urbana (carreteras de acceso y/o enlace, viaductos, calles y veredas). El hecho que los flujos de barro y detritos, al abandonar los ámbitos preandinos e ingresar al llano del Valle Central, condicionen el desarrollo de claros rasgos morfológicos, favorece la materialización de efectivas delimitaciones espaciales, conducentes a disminuir el riesgo y grado de vulnerabilidad de las obras civiles allí emplazadas.

La experiencia ha demostrado que la construcción de badenes de mampostería en el sitio de cruce de quebradas vulnerables a flujos detríticos, constituye una alternativa eficaz para mitigar el riesgo de este tipo de remociones respecto de obras viales.

### **2.4.3 Flujos Laháricos.** (Fairchild, L.; 1987).

En general, el término lahar adquiere la connotación de un flujo hiperconcentrado, vinculado a procesos de origen volcánico, cuyo comportamiento, energía, velocidad y producto difiere sustancialmente de cualquier otro tipo de flujos.

Las características y potencial destructivo de los lahares depende de sus respectivos procesos de iniciación y de cómo éstos cambian, en la medida del avance ladera abajo; incluyen contenido de agua y granulometría de flujo, así como su volumen, duración y caudal máximo.

Se dispone de antecedentes respecto de lahares originados en los flancos de volcanes durante períodos de quietud, asociados a lluvias de gran intensidad; se les denomina lahares de lluvia. La mayoría de los flujos laharicos ocurridos en nuestro vasto territorio se relacionan con los ciclos eruptivos de una serie de volcanes con importante actividad histórica; los volcanes Llaima ( Ver figura N°3) y Villarrica en la región IX, y Calbuco, en la región X concitan la mayor atención; la altura de sus cima (3126, 2530, y 2460 m.s.n.m., respectivamente) y su localización geográfica, afecta a condiciones climáticas extremas, propicias a la acumulación de voluminosos casquetes glaciales semipermanentes, conforman un ambiente favorable al desarrollo de flujos laháricos. La considerable energía calórica liberada en las fases iniciales de cada ciclo eruptivo es suficiente para provocar la fusión del hielo y/o nieve del casquete. Los cuantiosos volúmenes de agua generados proporcionan el mecanismo para activar el flujo de la cima. En su desplazamiento ladera abajo, adquieren, paulatinamente, mayor volumen, al incorporar material fragmentario suelto.

Cauces preexistentes conducen los flujos hasta su sitio de detención, en llanuras o lagos adyacentes, no sin antes haber arrasado cuanto obstáculo se antepone a su paso, condicionando un claro riesgo respecto a la seguridad del *Hombre y sus actividades*.

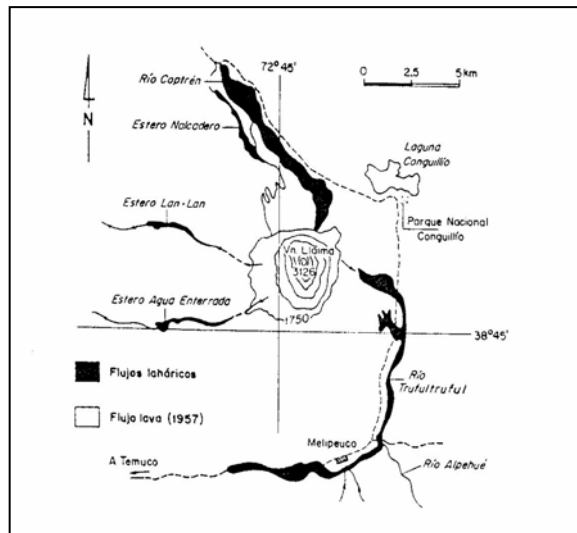


Figura N°3: Trayectoria de Flujos Laháricos en el Volcán Llaima.  
Fuente: Hauser, 1993.

#### 2.4.4 Creep o reptación lenta y solifluxion.

El termino creep, o reptación lenta, corresponde a inestabilidad de ladera, caracterizada por procesos de deformaciones superficiales que pueden dar lugar a posteriores movimientos tipo solifluxion o deslizamientos, bajo la influencia del agua y la gravedad (Ferrer, M.; 1987).

Normalmente, compromete suelos residuales, rocas blandas y/o coluvios con abundante matriz arcillosa, susceptible de experimentar deformación elasto-plástica. Tratándose de procesos que se desarrollan a nivel superficial, afectando volúmenes reducidos de materiales, su identificación en el terreno no es fácil; normalmente, se reconocen por leves inclinaciones en el tronco de árboles mayores, deformaciones en muros de contención y cercos y desarrollo de ondulaciones en el suelo superficial (Ver figura N°4).

Solifluxion corresponde a un movimiento rápido, vinculado a acciones de hielo-deshielo que afecta, normalmente, a suelos de grano fino, limo-arcillosos y de poco espesor (menor que 1 m). En sectores con gruesas coberturas de suelos y/o rocas intensamente alteradas, muy sensibles a incorporar agua, los procesos de reptación lenta crean condiciones propicias al desarrollo de flujos de tierra (earth-flows) o coladas de barro.

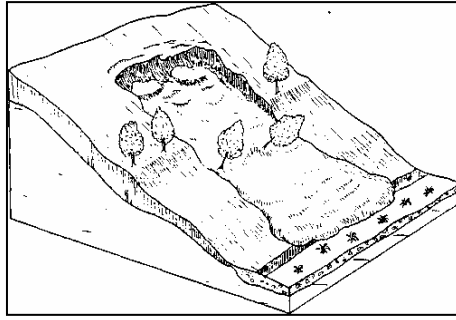


Figura N°4: Mecanismo de Reptación Lenta.

#### 2.4.5 Flujos asociados al colapso de depósitos de residuos mineros.

La importante y sostenida actividad minera que se desarrolla en Chile desde comienzos de siglo, ha obligado a construir un gran número de depósitos de residuos, asociados, especialmente, a explotaciones de minerales de cobre. Estos corresponden a estructuras artificiales y estables que albergan los materiales liberados de los procesos de extracción: (molienda y flotación); incluyen, principalmente, fracciones limo-arenosas que son objeto de transporte y depositación en medio acuoso (relaves). Sometidos a sollicitaciones sísmicas, tienen un elevado potencial de licuefacción, adquiriendo la consistencia de un fluido de baja viscosidad, que puede escurrir por cauces preexistentes, favorecidos por la pendiente local del terreno.

Los enormes volúmenes de explotación diaria que alcanza nuestra minería cuprífera, en yacimientos de leyes bajas (1,0-1,5%), incrementan cada día los volúmenes de residuos producidos (Ver fotografía N°1).



Fotografía N°1: Tranque de Relave Activo o en Uso.

Con los actuales niveles de explotación, siete de nuestros mayores yacimientos cupríferos (Chuquicamata, Mantos Blancos, El Salvador, El Soldado, La Andina, Los Bronces y El Teniente) producen en un año, aproximadamente  $73 \times 10^6 \text{ m}^3$  de residuos o relaves que exigen importantes obras de ingeniería para su almacenamiento. Considerando que la mayoría de dichos yacimientos se ubican en ambientes andinos, las estructuras de almacenamiento, necesariamente, tienen que ser emplazadas en los cauces de valles fluviales, con el fin de optimizar las disponibilidades de espacio, normalmente precarias. Ello crea condiciones de riesgo de falla, cuando la construcción de los muros o prismas resistentes no consideran la utilización de un adecuado diseño, cuidadosa construcción y eficiente operación.

Ocurrida la ruptura de la estructura, el depósito previamente acumulado se desplaza como un flujo de gran energía, devastando todo lo que se antepone a su paso; a partir de este momento, adquiere las características de un proceso de remoción en masa.

## **2.5 Deslizamientos**

Corresponden a remociones en las que masas de rocas o suelos se deslizan de acuerdo a superficies de rotura más o menos netas, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en conjunto (Ferrer, M.; 1987).

En Chile, los deslizamientos, en sus diversas formas, ocurren a lo largo de todo su extenso territorio, comprometiendo una variadísima gama de ambientes geográficos, climáticos, estructurales y geológicos. Los volúmenes incluidos en estas remociones varían desde algunas decenas hasta varios millones de  $\text{m}^3$  y adquieren magnitud catastrófica. Su identificación, reconocimiento y detección de la fecha de ocurrencia tienen directa relación con la posibilidad de determinar posibles riesgos respecto de las actividades humanas, en torno a sitios poblados.

Normalmente, los deslizamientos de ocurrencia reciente, al generar claras expresiones morfológicas respecto del modelado circundante, son muy fáciles de reconocer: escarpes, grietas y deformaciones frescas, constituyen signos irrecusables en este sentido. Con el tiempo, estos rasgos disminuyen, reintegrándose al modelado local preexistente; ello limita su identificación plena.

Las causas que provocan los deslizamientos se relacionan, principalmente, tanto con las propiedades inherentes de las unidades rocosas (presencia de minerales secundarios susceptibles de expansión, alteración, baja resistencia, presencia de discontinuidades regulares: fracturas, fallas, foliación, estratificación), como con factores

externos: efecto de la gravedad (a través de erosión y/o precipitaciones) y acciones humanas (excavaciones para caminos y canales). En un país con gran sismicidad como Chile, las sollicitaciones inducidas por estos fenómenos constituyen efectivos mecanismos desencadenantes o contribuyentes.

La proximidad a los epicentros y la magnitud de los sismos determinan la severidad de las remociones. Relieves andinos con morfología abrupta, integrados por secuencias tectonizadas, en zonas carentes de cobertura de suelo y/o vegetación, constituyen ambientes propicios al desarrollo de deslizamientos.

Los deslizamientos pueden ser divididos en 5 categorías:

**a - laminares traslacionales**

**b- rotacionales**

**c- multirrotacionales**

**d- de bloques rocosos**

**e- de detritos**



cada uno admite un análisis en particular

### **2.5.1 Deslizamientos laminares traslacionales.**

En la zona austral del país (41 -53°S), la peculiar condición geológica, tectónica, morfológica, edafológica y climática del territorio determina el desarrollo de remociones del tipo deslizamientos laminares traslacionales.

Estos consisten en remociones gravitacionales de masas de suelo, con una gran cantidad de restos vegetales; se deslizan como mantos o laminas sobre una superficie de rotura lisa, formada por rocas inalteradas, producto de abrasión glacial, en empinados flancos de valle (Ver figura N°5). Este particular tipo de remociones en suelos no tiene un equivalente en las clasificaciones más conocidas; en unidades rocosas, en cuanto a tipología y mecanismos de rotura, semejan deslizamientos del tipo 'resbalamiento' o deslizamientos de bloques rocosos, rock block slide.

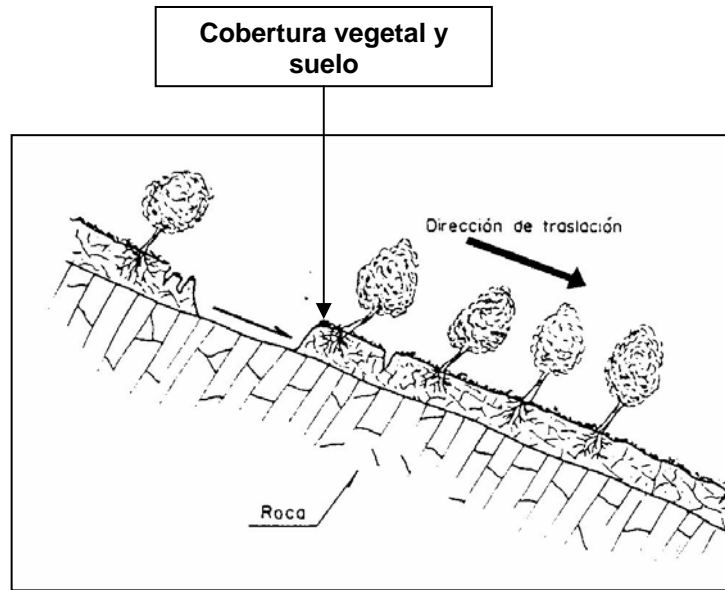


Figura N°5: Esquema explicativo de un Deslizamiento Traslacional.

### 2.5.2 Deslizamientos rotacionales.

Se refiere a deslizamientos en los que la rotura profunda o superficial ocurre a través de superficies curvas que pueden ser o no circulares, dependiendo de la uniformidad del material . Se desarrollan, normalmente, en suelos cohesivos uniformes o macizos rocosos muy fracturados, carentes de estructura (Ver figura N°6).

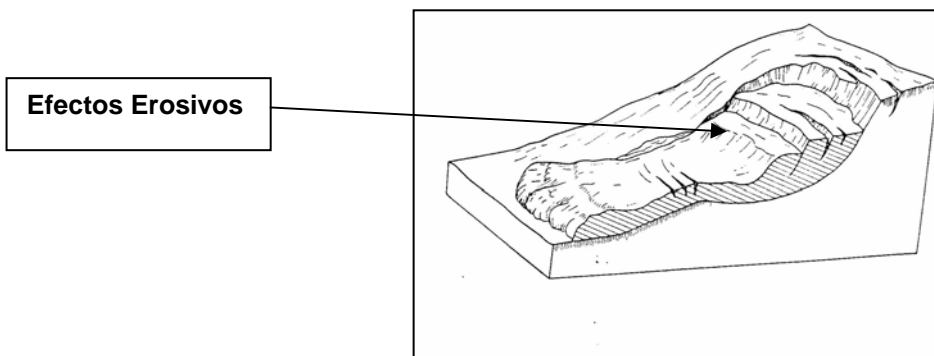


Figura N°6: Diagrama de Bloque de un Deslizamiento Rotacional.

### 2.5.3 Deslizamientos multirrotacionales.

La rotación múltiple ocurre cuando se desarrollan varios deslizamientos que van englobándose sucesivamente de acuerdo a superficies de rotura curvas; se desarrollan, principalmente, de arcillas duras y fracturadas, junto a arcillas blandas muy sensitivas, conformando morfologías con pendientes cercanas al ángulo de equilibrio (Ver figura N°7).

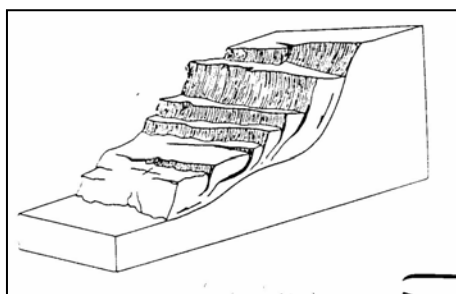


Figura N°7: Esquema clásico de un deslizamiento Multirrotacional.

En el país, un numero muy importante de deslizamientos multirrotacionales se producen en relación con trabajos viales; la acción de perturbación externa relacionada con la ejecución de cortes, resulta determinante para inducir estas remociones, vía eliminación del confinamiento natural y aumento temporal en la presión del agua en los poros; normalmente, el deterioro progresivo de la resistencia del suelo por saturación se produce durante lluvias torrenciales.

Generalmente, es posible detectar rasgos indicadores de remociones inminentes, lo cual permite adoptar medidas de control; estos corresponden a deformaciones superficiales del terreno, acompañadas de abundante agrietamiento, que enmarca las zonas sometidas a riesgos.

Practicas conservadoras de construcción vial, exige al respecto: **a-** rigurosos programas de exploraciones y ensayos; **b-** elección de los ángulos de taludes en función de un cuidadoso y razonable equilibrio entre los requerimientos económicos y la seguridad y; **c-** incorporación de eficientes sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

### 2.5.4 Deslizamientos de bloques rocosos.

Corresponden al termino rock slide de Varnes (*op. cit.*) y resbalamiento o corrimiento de designan a remociones de masas rocosas que comprometen una o más

unidades (bancos o estratos) de acuerdo con superficies planas (fallas, fracturas, estratificación); se desarrollan en ambientes montañosos, en los que episodios deformativos de tipo compresivo han generado complejas estructuras de plegamiento (anticlinales y sinclinales). Particularmente sensibles a este tipo de deslizamientos son las laderas de valles conformadas por secuencias volcanoclásticas muy bien estratificadas (Formación Abanico), con rumbo paralelo al eje del valle y fuerte inclinación (35-50°) hacia la cara libre de la ladera. Como factores desencadenantes contribuyen: **a-** acciones climáticas (fuertes precipitaciones, congelamiento-deshielo); **b** procesos erosivos glaciales y/o fluviales que pueden provocar una eliminación considerable del confinamiento natural; **c-** sollicitaciones sísmicas, actuando independientemente o en combinación con a y b (Ver figura N°8).

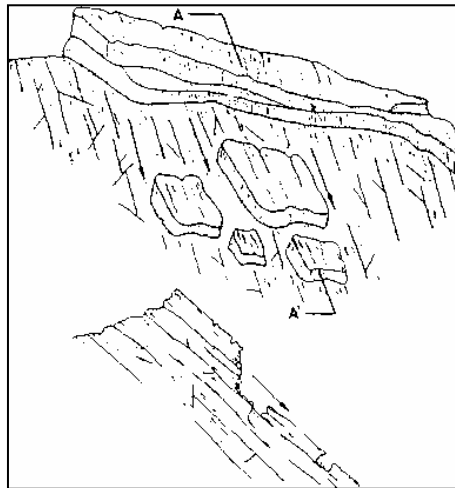


Figura N° 8: Bosquejo de un mecanismo de remoción correspondiente a un Deslizamiento de Bloque Rocoso.

### 2.5.5 Deslizamientos de detritos.

Corresponde al termino debris slide de Varnes (*op. cit.*) y corrimiento de detritos que se refieren a una remoción lenta, en la cual el material movilizado experimenta una importante deformación, o consisten en numerosas unidades semi-independientes, estructuralmente controladas por superficies de debilidad (fallas, fracturas o pianos de estratificación).

## 2.6 Desprendimientos. (Ferrer, M.; 1987).

Se define como desprendimiento, la caída de bloques de rocas y/o suelo semiconsolidado a partir de una ladera con fuerte empinamiento, cornisa o acantilado rocoso, de acuerdo con una caída libre, al menos en parte de su trayectoria. Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Genéticamente, la gran mayoría de los desprendimientos se vinculan a la pérdida de resistencia en los planos de discontinuidades, asociada tanto a la presencia de agua (con desarrollo de presiones intersticiales actuando sobre tales estructuras), como a congelamiento al incrementar su abertura.

En Chile, a nivel territorial, los desprendimientos se concentran, predominantemente, en dos ambientes: andino y litoral; en ambos prevalecen condiciones morfológicas, geológicas, tectónicas y climáticas muy propicias a provocar este tipo de remociones.

En la zona andina, la intensa modelación glacial y fluvial ha determinado el desarrollo de relieves provistos de laderas con fuerte inclinación, en secuencias volcanoclásticas, sedimentarias y volcánicas, cuyo grado de fracturamiento superficial y disposición estructural favorece la generación de desprendimientos; un clima particularmente riguroso contribuye en este sentido.

A lo largo de nuestro extenso borde litoral, en cambio, los desprendimientos adquieren distinto carácter y magnitud y están genéticamente vinculados a diversos mecanismos desencadenantes. Prevalecen en segmentos donde la interacción neotectónica litoral-abrasión marina ha creado importantes acantilados (Ver figura 9).

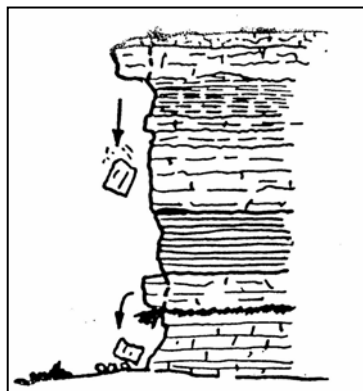


Figura N°9: Esquema clásico de un Desprendimiento en una Zona Litoral.

Los riesgos de desprendimientos en torno a los acantilados costeros cobran especial relevancia, puesto que en numerosos sectores del territorio estos sirven de asiento a variadas actividades humanas que comprometen importantes intereses económicos (pesca, turismo, instalaciones portuarias, vivienda).

Por muy prudentes y racionales que sean las medidas de planificación urbana, en zonas sometidas al riesgo de desprendimientos, no siempre es fácil adoptar procedimientos efectivos de mitigación; la ocupación ilegal de terrenos para destino de vivienda de poblaciones de bajos ingresos incrementa el riesgo.

## **2.7 Avalanchas (Aludes)** (López, M.; 1987).

El termino avalancha se reserva, aquí, para caracterizar una gran masa de nieve o hielo que suele estar acompañada de otros materiales (suelo y/o fragmentos rocosos), que se moviliza abruptamente y con gran energía desde las laderas de relieves montañosos es sinónimo de alud, por lo tanto, ambos términos son utilizados indistintamente en este trabajo.

La definición proporciona el marco espacial en que los fenómenos tienen lugar, así como su recurrencia y estación en que ocurren. Los ambientes andinos de Chile Central (31-36°S), a partir de los 2.200 m.s.n.m., resultan propicios al desarrollo de avalanchas de nieve o hielo durante la estación invernal (meses de Junio-Agosto).

Tratándose de fenómenos que comprenden zonas andinas, por lo tanto con baja densidad de población, sus efectos solo se dejan sentir en torno a establecimientos mineros y recintos destinados a la recreación invernal (centros de esquí); ocasionalmente, imponen grave riesgo respecto de quienes practican actividades laborales o deportivas en las montañas (turismo, escalamiento, pastoreo de animales, prospecciones mineras).

El importante numero de víctimas y las cuantiosas perdidas materiales provocadas por las avalanchas de nieve en Chile, han obligado a comprometer elevadas inversiones en obras de mitigación o defensa, así como en la investigación de la nieve, su dinámica y factores que participan en el desencadenamiento de este tipo de remociones.

En lo que compete a las faenas mineras en Chile, 4 empresas han desarrollado los mayores esfuerzos técnicos orientados a prevenir y racionalizar el manejo de situaciones de alto riesgo frente a avalanchas: Compañía Minera El Indio, en la Región

IV; Compañía Minera Disputada de Las Condes, en la Región Metropolitana; Compañía Minera El Teniente, en la Región VI y Compañía Minera Andina, en la Región V.

Algunas de estas compañías han obtenido efectivos resultados en la atenuación de riesgos, mediante la aplicación de técnicas orientadas a desencadenar artificialmente aludes con el empleo de elementos de artillería, en momentos favorables.

Las avalanchas pueden originarse por variadas causas: **a-** espontáneas (aumento progresivo de las tensiones, lenta disminución de la resistencia), y **b-** accidentales (caída de rocas, árboles, ruidos fuertes, explosiones artificiales).

La cantidad de nieve, el viento y la temperatura son factores condicionantes de riesgo. Nevadas de gran intensidad reducen la estabilidad de la nieve caída. La orientación de las laderas respecto de la dirección del viento y la insolación constituyen, adicionalmente, factores muy importantes.

Las avalanchas o aludes pueden producirse: a partir de laderas o flancos empinados de valles andinos en ausencia de confinamiento, y encauzados o confinados en corredores correspondientes a cauces de quebradas (Ver figura N° 10).

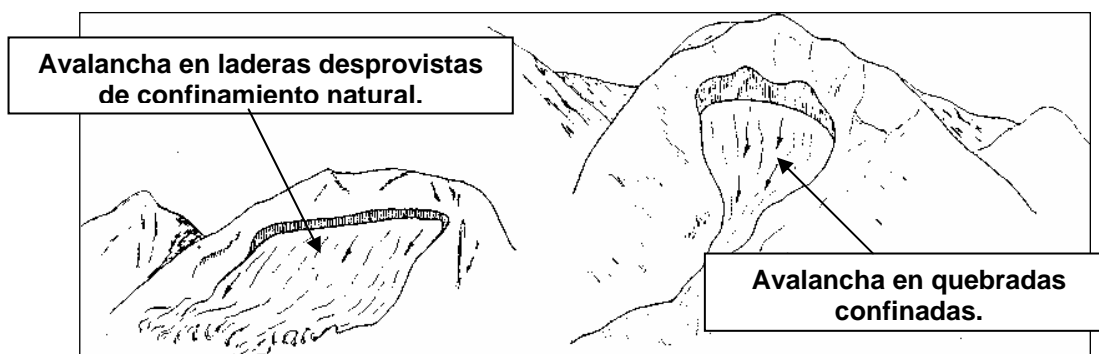


Figura 10: Diferencia en los cursos de una Avalancha según Confinamiento de Laderas.

La experiencia chilena indica que las laderas más expuestas al desarrollo de avalanchas corresponden a aquellas cuya inclinación varía entre 35° y 55°. En inclinaciones mayores, la nieve solo logra acumularse en torno a sitios puntuales, donde prevalecen manchas de árboles o arbustos, cornisas o salientes rocosas. La rugosidad del sustrato rocoso favorece la estabilidad de la nieve acumulada en laderas del valle.

El carácter recurrente de las avalanchas de nieve, de acuerdo con trayectorias muy similares, permite delimitar zonas determinadas en estudios de riesgo, con el fin de

procurar la seguridad de las actividades en la montaña.

En relación con avalanchas en Chile, la mayor tragedia documentada corresponde a la ocurrida a las 18:50 horas del día 8 de Agosto de 1944 cuando se produjo una avalancha que afectó varios edificios del antiguo Campamento de la Compañía Minera Braden, en la actualidad Compañía Minera El Teniente, en la localidad de Sewell, Región V. Se origina en la quebrada Chica, luego de un intenso periodo de precipitación nival; una vez puesta en acción, la voluminosa masa de nieve, con abundantes bloques rocosos y material detrítico, descargo al valle del río Coya, arrasando con parte del campamento. Se registraron, aproximadamente, 100 muertos y cuantiosos daños materiales; la emergencia obligó a diseñar un completo plan destinado a construir un complejo sistema de estructuras de desviación, atenuación y/o retención de avalanchas.

## **2.8 Jokulhlaup** (Thorarinson, S.; 1979).

El término jokulhlaup designa un flujo aluvional producido por el abrupto colapso de un lago glacial en USA y Canadá se utiliza el término outburst, mientras que en Francia, debacle. En nuestro país, este tipo de remociones se incluyen en el término aluviones.

Aun cuando este tipo de remoción en masa se manifiesta como un flujo, se ha optado por clasificarlo separadamente, considerando que poseen características muy distintivas en relación con los ambientes geográficos en que ocurren (zonas periglaciales) y los mecanismos que los desencadenan (colapso de las barreras de lagos).

## **2.9 Subsistencia y Hundimiento.** (Duran, V.; 1987)

Se entiende por subsidencia un descenso lento y paulatino del suelo; hundimiento o colapso es un movimiento brusco en la vertical, más o menos puntual, de una porción del terreno corresponden a procesos de ocurrencia común en ambientes geológicos cársticos (con rocas carbonatadas), en conexión con mecanismos de disolución por activa circulación de agua subterránea.

Hay que señalar que procesos de subsidencia y hundimiento ocurren, también, como resultado de la actividad del Hombre, referida a laboreos mineros. La creación de voluminosas cavernas, producto de la extracción de minerales, crea condiciones propicias al respecto.

El origen de ambos procesos (subsistencia/hundimiento) corresponde al colapso estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. La morfología resultante de las actividades mineras, en el caso de subsistencia, crea verdaderas chimeneas cuya profundidad, normalmente, excede el diámetro de la abertura superficial.

La dinámica de este tipo de remociones provoca, con frecuencia, activos procesos que pueden derivar en riesgos naturales, inducidos por la intervención o actuación del Hombre.

El hundimiento de la Torre de Piza (Ver figura N°11), quizás el mas famoso caso de subsistencia, se atribuye a una capa de 2 m de arcilla compresible, situada a sólo 1 m bajo la fundación de la Torre, que a su vez está a solo 2 m bajo la superficie. Iniciada la inclinación, aumenta la presión ejercida por la Torre sobre el lado inclinado, disminuyendo en el opuesto, fenómeno que se acentuó progresivamente, llegando a ser de 9.8 y 2.7 kg / cm<sup>2</sup> respectivamente.

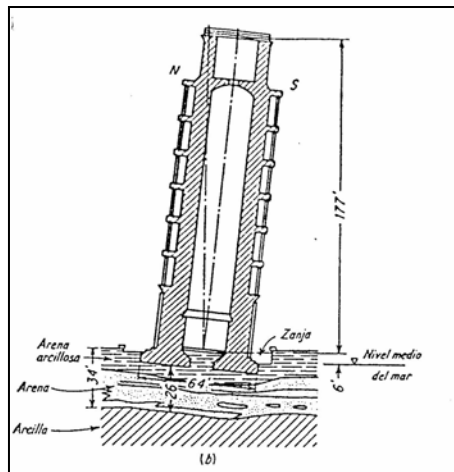


Figura N°11: Hundimiento de la Torre de Piza (Subsistencia).

En el caso de la V región, los procesos de remoción en masa antes mencionados son comunes en la alta cordillera; sin embargo es frecuente observar algunos de ellos en el borde costero de Valparaíso (deslizamientos y desprendimientos), en los cerros y quebradas, que por su configuración morfológica, están constantemente expuestos a la ocurrencia de estos fenómenos, principalmente en las estaciones lluviosas (Flujos de Barro y Detritos).

En Chile y en especial en la ciudad de Valparaíso, la falta de políticas avocadas al ordenamiento territorial, la no consideración en éste de estudios geológicos y la falta de asesoramiento técnico, en los asentamientos urbanos ha provocado que un gran número de personas, habiten en zonas vulnerables a un riesgo natural.

Respecto a las medidas enfocadas a prevenir o mitigar los procesos de remoción en masa en la ciudad de Valparaíso, se puede concluir que tales medidas son solo reactivas, es decir, apuntan a intervenir el resultado o la consecuencia del proceso en sí. Como un ejemplo claro de éste tipo de medida, tenemos el caso del deslizamiento de bloques rocosos ocurrido el mes de agosto del año 2002 en Avenida España (Ver fotografía N°2), en donde no hubo víctimas fatales, pero hubo pérdidas millonarias para la ciudad, ya que el deslizamiento, obligo a cortar el tránsito por las dos pistas que van hacia Viña del Mar, lo anterior causó grandes congestiones de tránsito de hasta 6 horas, durante tres días y por ende la pérdida económica no solo para locomoción colectiva, sino también para el sector comercial, industrial y el servicio público en general.

La solución planteada por el municipio, fue habilitar dos pistas en Avenida España y un by pass por los terrenos de Saam para el flujo de la locomoción colectiva. Lo que respecta a los deslizamientos de rocas de hasta 15 toneladas, la solución planteada en un principio por el director del Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU , 2002) Manuel Hernández, fue el de dinamitar la falla de rocas graníticas, que se forman en las profundidades de la tierra y que en contacto con el Aire (centenares de años) se descompone y desintegra al punto que se desmoronan con facilidad, pero luego y por motivos que se desconocen se optó por la construcción de un muro de contención al pie del talud, el que tuvo un costo de 150 millones de pesos (SERVIU), además se colocó una malla y fijadores que impiden el desprendimiento del material y se cortó el cerro en tres terrazas, que posteriormente serían pavimentadas y que además contarían con canaletas de aguas lluvias que recojan y suelten las aguas hacia abajo por resumideros especiales, de manera que no haya absorción de las mismas.



Fotografía N°2: Deslizamientos de Bloques Rocosos en Avda España.

Los eventos de Remoción en Masa, son procesos relacionados con la corteza terrestre, por lo tanto, no son susceptibles de un total manejo; sin embargo el riesgo que generan si puede ser evitable.

Dentro de las medidas para reducir el riesgo tenemos medidas estructurales y medidas no estructurales.

#### **a.- Medidas estructurales.**

Estas se refieren a la intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería. Intervención directa de la amenaza o vulnerabilidad para impedir la ocurrencia del fenómeno o controlar los efectos del mismo.

Al intervenir la amenaza se debe modificar las condiciones físicas del proceso, esto se hace a través de medidas estructurales, que tienden a controlar o encausar el curso físico de un evento, o reducir la magnitud y frecuencia del mismo.

Una medida estructural típica, basada en obras de ingeniería y estudios geotécnicos aplicados, se realizó en la construcción del Túnel de Acceso Portuario, a la ciudad de Valparaíso, principalmente en la salida de éste, ubicada a los pies del mirador 21 de Mayo (Ver fotografía N°3).



Fotografía N°3: Intervención Física, en el pie de talud del cerro. (Salida del Túnel de Acceso, al Puerto de Valparaíso).

Se intervino la amenaza de deslizamientos y derrumbes, debido a que un gran porcentaje de la locomoción colectiva y particular, pasaba a una distancia de menos de tres metros de la obra en sí (exposición), en la cual, las constantes vibraciones provocadas por las explosiones de dinamita, proceso constante en la primera etapa de la construcción, producían un riesgo inminente que era necesario manejar. A continuación se explica el proceso realizado para contener el cerro, en donde se ubico la salida del Túnel de Acceso Puerto, una de las mayores obras de ingeniería realizadas en la ciudad de Valparaíso.

El túnel 1 del camino a la Pólvora, tiene aproximadamente 2160 m de largo, antes de efectuar las obras de excavación, se realizaron trabajos previos consistentes en el sostenimiento del talud del cerro.

Para ello se hizo un estudio detallado de la calidad de la roca que forma la estructura principal del cerro y estudios de mediciones (mecánica de rocas), para determinar el grado de sostenimiento que va a necesitar el talud.

Una vez que se identificó la roca principal que forma el cerro, esto, a través, de estudios geológicos, se procede a remover todo material suelto o sobrecarga, utilizando maquinaria pesada. Posteriormente se fortifica la roca con una malla de pernos de distintos largos, dependiendo del grado de fractura o estructuras de bloques presente.

Los largos para los pernos, en la obra del túnel de acceso portuario, fueron de alrededor de seis metros, los cuales van glauteados con hormigón, posteriormente se coloca una capa de hormigón proyectado.

Finalmente se instalan estaciones de convergencia, a través, de unos pernos especiales, los cuales indican si el talud del cerro ha sufrido algún desplazamiento mientras se realizan las excavaciones en su interior (Ver Fotografía N°4).



Fotografía N°4: Procesos de Fortificación, en la obra del Túnel de Acceso Puerto.

#### **b.- Medidas No Estructurales.**

Corresponden a aquellas acciones más de tipo educativas o de aplicación legislativa de gestión y organización, que se adelanten para disminuir los efectos de un evento, en general complementan las medidas estructurales. Algunas de estas medidas pueden ser:

- Elaboración de Mapas de Amenaza Y Riesgo, con la ayuda de los pobladores.
- Programas educativos, que permitan un uso adecuado de las quebradas.
- Planes efectivos de Ordenamiento Territorial.
- Manejo adecuado de las basuras, en las quebradas, para así evitar el colapso de los cauces de arrastres de aguas lluvias.
- Políticas destinadas a construir viviendas seguras, aunque estas no estén bajo el Plan Regulador.
- *Recuperación y compactación del suelo a través de especies vegetales con raíces profundas.*

## 2.10 Análisis de las variables que inciden en la Remoción en Masa.

Las variables de mayor incidencia o desencadenantes de los procesos de Remoción en Masa, independiente de su tipología son:

### 2.10.1 Pendiente.

Topográficamente, la pendiente es la mayor o menor inclinación de una recta sobre o bajo el horizonte. Esta variable expresa científicamente el modelado de un lugar, representando una relación directa con ciertos umbrales de los procesos morfodinámicos, como el de transporte, al agregar energía al material por efecto de la gravedad

Tabla N° 1: Rangos de Pendiente.

Denominación.	Rango en Grados.		Fenómenos.
Plano.	0	5	
Moderado.	5	15	Erosión superficial débil.
Fuerte.	15	25	Erosión y formación de cárcavas.
Muy Fuerte.	25	35	Flujos, Deslizamientos.
Escarpado.	35	50	Flujos, Deslizamientos, Derrubios.
Muy escarpado.	>	50	Desprendimientos.

Fuente: Hernández, S. 1995.

### 2.10.2 Exposición.

Según su orientación posibilita la presencia de vegetación, incidiendo en la existencia de procesos morfodinámicos. De acuerdo con la orientación y la latitud de un lugar, existirán vertientes de Solana, en las que el sol incide con mayor intensidad y vertientes de Umbría, en las que el sol incide con menor intensidad. La luz (radiación) consiste en ondas electromagnéticas de una gran variación de longitud de onda, tanto la calidad de la luz (longitud de onda), su intensidad (la energía real medida en calorías/gramos) y su duración (largo del día) es un factor vital y limitativo en todo ecosistema, en especial para las especies vegetales. Éste factor limitativo, que genera presencia o ausencia de los vegetales, es a su vez, la clave para entender la pérdida y disminución en la cohesión del suelo y por ende, la vulnerabilidad de éste a sufrir procesos de remoción en masa.

### 2.10.3 Precipitación

La lluvia esta formada por gotas de entre 5 y 6 mm, que adquieren su velocidad límite cuando han recorrido más de 20 metros en caída libre (Hernández, S. 1995).

Su velocidad al llegar al suelo, que depende del viento, le proporciona una gran energía cinética que se disipa esparciendo las partículas de suelo y disgregando los pequeños gránulos superficiales, por lo tanto, es un agente altamente erosivo y uno de los factores desencadenantes de las remociones en masa, esto al disminuir el roce entre las partículas y transformarse en un medio de transporte del material, cuando forma cauces de gran volumen.

#### **2.10.4 Vegetación.**

La estabilidad del suelo frente a la acción de las precipitaciones es función de la presencia de cobertura vegetal. La vegetación actúa disminuyendo la velocidad de caída del agua; absorbiendo y reteniendo humedad. Una distribución homogénea de la vegetación mantiene un escurrimiento difuso, mientras que las agrupaciones en mancha favorecen la concentración del escurrimiento aumentando la energía erosiva en un punto determinado. Además, mantiene cohesionados los materiales sueltos en las laderas, previniendo las remociones en masa.

#### **2.10.5 Suelo de Fundación.**

Bajo el concepto de "suelo de fundación" se entiende aquel suelo destinado a resistir la carga de una estructura y comprende todas las capas afectadas por la misma incluyendo sus características físicas e hidrológicas (Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, 1963). Un suelo de fundación no apto, se refiere a todo aquel suelo incapacitado a resistir la carga de una estructura y comprende las capas afectadas por la misma incluyendo las características físicas e hidrológicas. Debe considerarse la interrelación entre estructura y suelo de fundación, ya que la profundidad del suelo de fundación, depende del tipo de construcción que se realiza.

#### **2.10.6 Intervención Antrópica.**

Los asentamientos urbanos, generan grandes y graves desequilibrios en el medio ambiente, al modificar las condiciones naturales de éste. Los efectos en el corto, largo o mediano plazo son negativos y desastrosos.

Con respecto a los fenómenos de Remoción en Masa, la intervención antrópica, provoca un aumento del proceso, principalmente por la pérdida de cohesión en los suelos a causa de la erosión por deforestación, asentamientos urbanos en zonas expuestas al proceso, sobrecargas en laderas inestables, etc. Las variables que inciden en los procesos de remoción en masa, pueden combinarse entre si, dependiendo el ambiente geográfico, geológico, morfológico, tectónico y climático.

### III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Valparaíso, por sus características topográficas, socioeconómicas y la carencia de planificación urbana, se enfrenta constantemente al peligro inminente de manifestaciones de remoción en masa, lo que no sólo conlleva a un costo adicional al erario municipal, ya que éste solo aplica medidas reactivas y no preventivas, sino también, a causado la muerte de familias completas. Por tales motivos se asume la necesidad de realizar estudios exhaustivos a fin de manejar esta problemática. En dicho contexto, el presente trabajo pretende ser un aporte al conocimiento de este proceso geológico y a la solución y mitigación del mismo.

En las quebradas de Valparaíso, habita cerca del 40 % de la población total de la ciudad, es decir, unas 120 mil personas (Ilustre Municipalidad de Valparaíso, año 2005), en donde el plan regulador de la región establece en forma explícita que: " las quebradas son terrenos que deberán permanecer libres de edificación de cualquier tipo, permitiéndose solamente obras de proyección de las aguas lluvias y las propias a la infraestructura vial".

La quebrada San Martín, es un suelo de fundación no apto, por lo que se encuentra incapacitado a resistir la carga de una estructura, pero sin embargo, existen poblaciones allí asentadas, esto debido a las débiles políticas de urbanización que no consideran un adecuado ordenamiento territorial.

Remociones en masa de tipo flujos de barro, desencadenados principalmente en periodos de lluvia (OREMI), han provocado en la quebrada San Martín pérdidas materiales cuantiosas a las personas que allí habitan.

El presente trabajo estudia las variables que inciden en la manifestación de remociones en Masa en la quebrada San Martín del cerro Cordillera. Estas variables se manifiestan en la mayoría de los procesos de Remoción en Masa, su estudio en la quebrada San Martín, se hará con el propósito de visualizar una situación recurrente en nuestro litoral y con el fin de incorporar propuestas de manejo no solo reactivas, sino preventivas y aplicables en otras quebradas expuestas a dicho proceso geológico.

## **IV OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

### **4.1 Objetivo General.**

- Contribuir al conocimiento de las variables que generan procesos de Remoción en Masa en la Quebrada San Martín del Cerro Cordillera, Valparaíso, aportando bases conceptuales y técnicas orientadas a la prevención y mitigación del riesgo.

### **4.2 Objetivos Específicos.**

- Identificar las principales áreas de riesgos asociadas a procesos de remociones en masa que se generan en la quebrada San Martín.
- Evaluar el impacto que genera la intervención antrópica en la quebrada San Martín y como éste influye en los procesos de Remoción en Masa.
- Proponer medidas de prevención y mitigación que permitan manejar los procesos de Remoción en Masa y sus efectos.

## V METODOLOGIA.

La metodología utilizada se orientó a la elaboración de pautas que facilitarán la identificación de los sectores de riesgo en la quebrada San Martín. Para ello se realizaron visitas a terreno en donde se contó con un posicionador geográfico satelital (GPS) con el fin de tener una ubicación exacta de cada punto estudiado.

Se seleccionaron tres puntos específicos de la quebrada San Martín, de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, esta selección no fue aleatoria, sino que, recomendada por la OREMI (Oficina Regional de Emergencia), basándose en información de los propios pobladores, sobre los continuos deslizamientos de terrenos allí existentes.

A continuación se presentan las coordenadas (UTM), de los sectores estudiados:

Tabla N°2: Coordenadas de los Sectores Estudiados en la Quebrada San Martín.

<b>Sectores Estudiados.</b>	<b>Altura (m.s.n.m).</b>	<b>Coordenadas.</b>
Sector 1	165	19 H 0253177 UTM 6340761
Sector 2	166	19 H 0253126 UTM 6340564
Sector 3	165	19 H 0253143 UTM 6340654

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó un conteo de las viviendas ubicadas en el área de estudio, en donde se observó el tipo de material con el cual estaban construidas y posteriormente, a través, de un censo simple, se conoció la cantidad de personas que habitaban en ellas.

Se observaron y fotografiaron las condiciones del suelo y los dos cauces de la quebrada, se midieron además las *pendientes* en donde se ubicaban las viviendas, esto a través de un taquímetro facilitado por la escuela de arquitectura de la universidad de Valparaíso y con la ayuda de los estudiantes de topografía Paula Gutiérrez Cabrera y Mitsael González Sáez. El terreno fue realizado el día 1 y 2 de Noviembre del 2004, desde las 14:15 hasta las 17:30 hrs. en los tres sectores de estudio correspondientes a la quebrada San Martín del Cerro Cordillera (ver fotografía N° 5), presentándose una

condición atmosférica parcial a despejado lo que nos permitió obtener un óptimo resultado, ya que la luz natural es vital para una lectura adecuada de los datos.

El instrumento nos arrojó las distancias horizontales y verticales con respecto al punto de inicio, en este caso, los pies de cada ladera en donde se ubico el instrumento.

A través de un cálculo simple trabajado en unidad gradianes, se obtienen las pendientes de cada ladera en unidad grados.



Fotografía N° 5: Mediciones de Pendiente, en la Quebrada San Martín del Cerro Cordillera, Valparaíso

La exposición Solar de los sectores en estudio, se midió en dos ocasiones, donde las condiciones atmosféricas eran favorables, permitiendo así una mejor observación de la orientación e intensidad del sol en las tres laderas. Con la ayuda de una brújula se obtuvieron los cuadrantes de exposición solar.

Los datos de precipitación no pudieron ser medidos en terreno ya que la tesis fue realizada en un periodo estival y no en periodos de lluvia como hubiese sido óptimo. Por lo tanto, se hizo necesario la obtención de datos de inviernos anteriores, que fueron obtenidos en el SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile).

Se realizó además una recolección, que permitió identificar la totalidad de las *especies vegetales* de la quebrada San Martín y Ficher, siendo esta última, la quebrada piloto, que no presenta intervención antropica, ubicada entre los Cerros Esperanza y Recreo, con la cual, *utilizando el índice de disimilitud, se obtendrá la diferencia entre ambas quebradas.*

Cabe destacar que las especies vegetales de ambas quebradas, fueron recolectadas en laderas con iguales *umbrales de exposición*. Esto nos permite disminuir el grado de error asociado que nos arroje el índice antes mencionado.

La labor de identificación de especies vegetales, fue realizada en colaboración con el Dr. Sergio Zunino, docente de la Universidad de Valparaíso.

Para medir la intervención antrópica se consulto a material bibliográfico, que nos permitiera obtener un índice de medición para esta variable, no obteniendo resultados positivos.

Al conocer la totalidad de las especies vegetales de ambas quebradas, tanto la quebrada en estudio (quebrada San Martín), como la quebrada piloto (quebrada Ficher), se compararan la cantidad de especies vegetales introducidas, esto sumado al índice de disimilitud, nos podría indicar el grado de intervención antrópica de la quebrada San Martín.

En el área de estudio existe un asentamiento urbano y por ende una modificación en el ambiente natural impuesta por el hombre. Por el contrario el área de baja intervención (muestra) , corresponde a la quebrada Ficher, ubicada entre los cerros Esperanza y Recreo (Ver fotografía N° 6), en donde la acción antrópica es casi inexistente.



Fotografía N°6: Quebrada Ficher.

#### Índice de Disimilitud: 1 – Jackard.

Índice de Jaccard (Saiz, F. 1980):

$S_j = c / a + b + c$  donde:

a : elementos exclusivos de la condición A.

b : elementos exclusivos de la condición B.

c : elementos comunes por presencia a las condiciones A y B.

n : total de elementos considerados en la dupla A y B = a + b + c + d.

Los rangos existentes en el Índice de Jaccard se encuentran entre 0 y 1.

Valores altos en el Índice de Disimilitud ( $> 0.5$ ), nos permitirá concluir que la Quebrada San Martín, presenta una diferencia notable con respecto a la quebrada piloto, en cuanto a especies vegetales se refiere.

El suelo de Fundación en donde se encuentran emplazadas las poblaciones de la quebrada San Martín, fue obtenido del estudio del “Suelo de fundación de la Región de Valparaíso”, realizado en el año 1963, por el Instituto Geológico y Minero de Chile.

## VI. DIAGNOSTICO DEL AREA EN ESTUDIO.

### 6.1 Descripción del Problema en el Área de Estudio.

El número de habitantes de la comuna de Valparaíso se acerca a las 300 mil personas, de las cuales el 94%, es decir casi 280 mil, viven encaramadas en los cerros (Ilustre Municipalidad de Valparaíso, año 2005). Esto sumado a débiles políticas de urbanización, que no consideran un adecuado ordenamiento territorial, ha provocado que solo un 60% de la población habite en territorios aptos para la vivienda, es decir, enmarcados bajo el Plan Regulador Comunal de la ciudad.

El caso de la quebrada San Martín del Cerro Cordillera, el Plan Regulador en su Capítulo III de "Definiciones Generales y Normas de Uso del Suelo, Subdivisión y Edificación de Aplicación En toda el Área Urbana, en el artículo 22 letra d establece: "las quebradas son terrenos que deberán permanecer libres de edificación de cualquier tipo, permitiéndose solamente obras de proyección de las aguas lluvias y las propias a la infraestructura vial", situación aplicable al caso del área en estudio (Quebrada San Martín).

La falta de políticas de urbanización, mencionadas anteriormente arrastra consigo que un considerable número de personas habite terrenos no aptos para la construcción de viviendas (quebradas), es decir, con pendientes sobre 15º, consideradas como "Fuerte", esto provoca también, que la instalación de servicios básicos se dificulte por la topología abrupta del lugar (Ver fotografía N° 7).



Fotografía N°7: Dificultad en las Instalaciones de Servicios Básicos.

Sumando las condiciones climáticas, topográficas y geológicas, más la fuerte intervención antrópica que ha provocado la pérdida de gran parte de la cobertura vegetal, tenemos una zona altamente erosionada y suelo con estructuras débiles a la resistencia de corte, por lo que se dan las condiciones necesarias para la activación de los procesos de Remoción en Masa.

La quebrada San Martín, es un área típica de riesgo de deslizamientos de laderas, es decir, existe una alta probabilidad de que ocurra un desastre si un fenómeno de remoción en masa se desarrollase sobre condiciones o situaciones vulnerables, como población en sectores de peligro, viviendas mal construidas y erróneamente localizadas, entre otras.

También el área de estudio, por el hecho de ser una quebrada, es un Suelo de fundación no apto; este concepto refiere a todo aquel suelo incapacitado a resistir la carga de una estructura y comprende las capas afectadas por la misma incluyendo las características físicas e hidrológicas. Entre estos suelos tenemos las playas, rellenos artificiales, rellenos artificiales apoyados sobre arena y quebradas.

Flujos de Barro y de detritos provocan principalmente en periodos de lluvia tanto pérdidas materiales como de vidas humanas en la quebrada San Martín y en la mayoría de las quebradas del Gran Valparaíso (Ver Tabla N°3).

Tabla N° 3: Remociones en Masa ocurridos en la Ciudad Valparaíso.

<b>AÑO</b>	<b>SECTOR</b>	<b>TIPO DE REMOCIÓN</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>Mm AGUA*DÍA</b>	<b>DAÑOS, LESIONADOS y MUERTOS.</b>
1987	TRANQUE SAN FRANCISCO	COLAPSO TRANQUE.	45 m <sup>3</sup>	57 mm	7 VIVIENDAS DESTRUIDAS, 9 LESIONADOS Y 1 PERSONA MUERTA.
1997	QUEBRADA JAIME C° MARIPOSAS.	FLUJO DE BARRO.	29 m <sup>3</sup>	56 mm	4 VIVIENDAS DESTRUIDAS Y 2 PERSONAS MUERTAS.
2000	C° YUNGAY, SECTOR RUDA PONIENTE.	FLUJO DE BARRO Y DETRITOS.	12 m <sup>3</sup>	51 mm	4 VIVIENDAS DESTRUIDAS Y 6 PERSONAS LESIONADAS.
2002	C° LA CRUZ, QUEBRADA JAIME.	FLUJO DE BARRO.	30 m <sup>3</sup>	60 mm	3 VIVIENDAS DESTRUIDAS Y 2 PERSONAS LESIONADAS.

Fuente: Oficina Regional De Emergencia (Oremi).

## 6.2 Características Ambientales del Área de Estudio.

La Quebrada San Martín, es una de las 4 quebradas que forma parte del Cerro Cordillera y éste a su vez es uno de los 44 cerros que integran el anfiteatro natural con vista al océano Pacífico (Fotografía N°8), de la ciudad de Valparaíso. Ubicada a 166 m. s. n. m., con coordenadas 19 H 0253126, UTM 6340534 (coordenadas obtenidas en los terrenos, utilizando el GPS).



Fotografía N°8: Vista Satelital de la Quebrada San Martín.

### 6.2.1 Geología y Geomorfología.

La geología y geomorfología del área estudiada, cabe dentro de un área macro, ya que los estudios geomorfológicos abarcan la totalidad de la superficie de la región. Podemos decir que el relieve se caracteriza por formas llanas separadas por pendientes más o menos abruptas ( $35^{\circ}$ - $50^{\circ}$ ).

Valparaíso presenta formas topográficas típicas de una costa de regresión. Los rasgos geomórficos más conspicuos son las terrazas de abrasión marina y de depositación, el cliff o acantilado costanero, y las profundas quebradas que cortan las terrazas. El acantilado está interrumpido, en parte, por playas de arena.

La zona urbana de la ciudad de Valparaíso, está construida sobre una antigua playa cubierta por relleno artificial y se ha extendido considerablemente hacia quebradas y terrazas adyacentes.

Las rocas que componen la región de Valparaíso son principalmente metamórficas de supuesta edad precámbrica, fuertemente plegadas e instruidas por un plutón granodiorítico de probable edad paleozoica superior. La intrusión de este cuerpo ha producido una extensa aureola de neis granítico en la parte occidental del área. Cerca de la costa y en los valles mayores se presentan estratos sedimentarios marinos, estuariales y eólicos que varían en edad desde terciario a reciente.

Debe tenerse en consideración que las abruptas pendientes de las numerosas quebradas, entre ellas la quebrada San Martín del Cerro Cordillera, están sujetas a deslizamientos. Las rocas graníticas se encuentran, en general, profundamente meteorizadas y son erosionadas con gran rapidez por las aguas lluvias en la época de invierno, constituyendo un serio problema en Valparaíso, donde las calles se cubren por gruesas capas de barro y arena provenientes de los cerros.

En cuanto a los cursos fluviales de la región siguen líneas aproximadamente rectas. Esta característica se destaca, sobre todo, en los esteros de dirección general noroeste. La alineación del drenaje esta acondicionada por la red de fallas y diaclasias que cortan las rocas fundamentales, facilitando la erosión a lo largo de ellas. Las fallas mas prominentes son las de dirección noreste y norte; las quebradas principales han sido erodadas siguiendo esas líneas de debilidad de la corteza.

### **6.2.2 Clima.**

El clima de la quebrada San Martín, es representativa del clima de Valparaíso, es decir posee un único y privilegiado clima, llamado Clima Templado Cálido Occidental.

Dicho clima está determinado por corrientes marinas frías, que barren las costas y los vientos del mar que moderan las temperaturas. Como consecuencias poseen poca diferencia de temperaturas durante todo el año y en general son zonas de moderadas lluvias de invierno y sequía en verano.

La precipitación anual tiene una media de 462 mm. de lluvia, concentrada en los meses de mayo a octubre; los meses de noviembre a abril son considerados secos (Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada de Chile, año 2004).

La temperatura media en verano es de 20°C a las 13 hrs y en invierno 15° C°. La diferencia media entre las temperaturas del día y la noche en invierno y verano es de 5°C. La humedad media relativa del aire es de 65%.

Los vientos dominantes durante la mayor parte del año son del sur oeste. En inviernos los vientos son principalmente del norte o del noroeste. Con frecuencia se desarrollan neblinas matinales, las que se sitúan particularmente sobre el puerto de Valparaíso.

### 6.2.3 Vegetación.

La vegetación en el área de estudio, es muy variable, ya que se presentan lugares en donde hay poca intervención antrópica (viviendas emplazadas), lo que permite la presencia de un número considerable de especies típicas de las quebradas con exposición Sur-Este. También existen especies de árboles frutales que en su totalidad han sido introducidos a través del tiempo, lo que demuestra la modificación que el hombre ha realizado en el sector, pero que, sin embargo, forman una cobertura vegetal efectiva, que disminuye la velocidad de caída del agua y la erosión que ésta provoca.

Entre las especies vegetales con mayor presencia tenemos:

Tabla N°4 Vegetación de la Quebrada San Martín (exposición 50° Sur-Este).

<b>Nombre vulgar.</b>	<b>Nombre Científico.</b>
Brea	Tessaria absunthioides (nativa)
Quilo	Muehlenbeckia hastula (nativo)
Cardoncillo	Eryngium paniculatum (introducido)
Pasto salado	Distichlis spicaza (nativa)
Zarzamora	Rubus ulmifolius(introducido)
Higuerilla	Ricinus comunis (introducido)

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo en la quebrada existen áreas donde la intervención antrópica es de tal magnitud, que el terreno esta desprovisto totalmente de una cubierta vegetal, por lo que los suelos presentan un alto nivel de erosión (Ver fotografía N°9).



Fotografía N°9: Intervención antrópica de la Quebrada San Martín.

### **6.3 Características Socioeconómicas de la Población.**

La quebrada San Martín, está habitada por aproximadamente 300 personas (elaboración propia), de las cuales su totalidad se encuentra formando parte de la clase con mayor pobreza dentro de la región, superada solo por los indigentes y vagabundos.

Las viviendas emplazadas en el área de estudio, 70 aproximadamente, son en su totalidad de material ligero, y habitada por un promedio de 7 individuos (Elaboración Propia), por lo que existe una paupérrima calidad de vida, que se acentúa aun más si consideramos que una parte considerable de esta población no cuenta con los servicios básicos como agua potable, luz y alcantarillado.

Otro punto que cabe destacar, es que la mayoría de las viviendas que cuentan con servicios básicos, presentan instalaciones de mala calidad, sobre todo en lo que respecta al servicio eléctrico en donde generalmente es la propia gente la que realiza las instalaciones sin asistencia técnica, ya que existen los denominados “colgados”, esto, porque la mayoría de los pobladores percibe un sueldo inferior o cercano al mínimo.

Instituciones Municipales como el Departamento Social y Técnico, Departamento de Asistencia Técnica (DAT), Dirección de Obras, interviene en estas poblaciones cuando existen viviendas afectadas, apoyándolos con mano de obra, maquinarias de trabajo pesado, en la construcción de muros de contención, sistema de descarga de aguas lluvias y si es necesario en la demolición de construcciones en mal estado (Ver

fotografía N°10), todo esto a través del plan de ayuda municipal a sectores de bajos recursos.



Fotografía N°10: Asistencia Técnica, a las Viviendas destruidas, por un flujo de barro, en la quebrada San Martín, Junio 2001.

## VII. RESULTADOS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

### 7.1 Pendiente.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones de pendiente obtenidas en las tres laderas del área en estudio:

**Qb:** Quebrada.

**hi:** Altura Instrumental.

**< Hz:** Angulo Horizontal.

**< V:** Angulo Vertical.

**HS:** Hilo Superior.

**HM:** Hilo Medio

**HI:** Hilo Inferior.

**Di:** Distancia Inclínada.

**DHz:** Distancia Horizontal.

**ΔH:** Delta H.

**Dv:** Desnivel.

**G:** Generador.

**Nota:** Todos los cálculos son realizado en unidad Gradianes.

Qb	hi	< Hz	< V	HS	HM	IM	Di	DHz	ΔH	Dv
1	1.45	396,32	135,10	11,03	10,17	1,00	1003,00	727,72	447,58	456,30

$$\begin{aligned} \text{Pendiente} &= (-456,3013 / 727,7151) * 100 \\ &= -62,70^\circ \end{aligned}$$

Qb	hi	< Hz	< V	HS	HM	HI	Di	DHz	ΔH	Dv
2	1.46	3,50	138,01	1,22	1,25	1,00	12,50	8,55	-5,81	-5,48

$$\begin{aligned} \text{Pendiente} &= (-5,48 / 8,55) * 100 \\ &= -64,1^\circ \end{aligned}$$

Qb	hi	< Hz	< V	HS	HM	HI	Di	DHz	ΔH	Dv
3	1.58	381,73	143,01	1,33	1,13	1,00	13,10	9,70	-7,78	-7,33

$$\begin{aligned} \text{Pendiente} &= (-7,33 / 9,70) * 100 \\ &= -75,49^\circ \end{aligned}$$

**Fórmulas:**

$$Di: G * 100$$

$$DH_z: Di * \text{sen}^2 V$$

$$\Delta H: DH_z / \text{Tan } V$$

$$D_v: HI - HM \pm \Delta H$$

$$G: (HS - HI) * 100$$

Las tres pendientes de las quebradas, arrojan valores negativos, debido a que la medición del ángulo se realizó instalando el taquímetro en el punto más alto de la ladera y no en los pies de ésta, ya que así, se facilitaba la lectura en la mira métrica, logrando una mejor lectura en los datos que el instrumento arroja.

Las tres pendientes resultantes, clasifican al área de estudio, según la tabla N°2 (Rangos de Pendiente), en una zona muy escarpada, lo que nos indica que no solo esta expuesta a sufrir remociones en masa de tipo flujo, sino también deslizamientos y desprendimientos.

**7.2 Exposición y Vegetación.**

Diferencias microclimáticas muy importantes son creadas por características topográficas del paisaje. En el caso de la Quebrada San Martín del Cerro Cordillera existen tres pendientes expuestas a distintas vertientes solanas. Como existe una diferencia notable en la radiación solar, es imposible separar estas dos variables, ya que la presencia o ausencia de especies vegetales, depende del grado de exposición solar en las que éstas habitan. El área de cada ladera de estudio, es de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, y se obtuvieron la totalidad de las especies que en estas existen (Ver Tabla N°5).

Tabla N°5: Especies Vegetales presentes en la Quebrada San Martín, según el Grado de Exposición Solar.

Exposición.	Coordenadas.	Especies Vegetales.	
		Nombre Común.	Nombre Científico.
80° Sur-Este	165 m. 19 H 0253177 UTM 6340761	- Higuera.	Ricinus comunis.
		- Zarzamora.	Rubus ulmifolius.
		- Ciruelo de flor.	Prunus sp.
		- Álamo.	Populus nigra.
		- Brea.	Tessaria absinthiodes.
50° Sur-Este	166 m 19 H 0253126 UTM 6340564	- Lilen.	Azara celastrina.
		- Ciruelo de flor.	Prunus sp.
		- Brea.	Tessaria absunthiodes.
		- Pasto Salado.	Distichlis spicata.
		- Higuera.	Ricinus comunis.
40 Sur-Este	165 m 19 H 0253143 UTM 6340654	- Álamo.	(Populus nigra).

Fuente: Elaboración Propia.

De los datos de la tabla N°5, podemos deducir que la exposición solar de los tres puntos de la Quebrada San Martín, son de un cuadrante similar (Sur- Este), con una leve variación en el ángulo, por lo que la diferencia en cuanto a la presencia o ausencia de especies vegetales, se debe principalmente a la intervención Antrópica del sector.

Se puede concluir también, que los puntos con coordenadas, 19 H 0253177, UTM 6340761, exposición 80° Sur-Este y 19 H 0253126, UTM 6340564, exposición 50° Sur-Este, presentan una cobertura vegetal cerrada, lo que evita los efectos negativos del agua sobre el suelo.

El suelo en estos puntos está bastante compactado, por lo que presenta menos vulnerabilidad a un posible evento de remoción en masa.

El punto con coordenada 19 H 0253143, UTM 6340654, exposición 40° Sur-Este, presenta solo algunas coberturas vegetales del tipo manchones, pero un gran porcentaje de la superficie esta desprovista de vegetación. Se pudo observar también que existen cursos marcados de flujos de barro, por lo que es un sector que presenta un alto grado de riesgo a sufrir un desastre, en el caso de un evento de remoción en masa.

### 7.3 Precipitaciones.

El régimen de precipitaciones de la quebrada San Martín, se manifiesta constantemente durante los meses de Abril y Octubre, siendo el factor desencadenante de remociones en masa de tipo flujo de barro, las lluvias de mas de 50 mm de agua/día (ver tabla N°6), debido a que produce un ablandamiento del terreno y disminuye la resistencia al corte en zonas donde existen potenciales planos de ruptura, esto sumado a pendientes muy escarpadas (mayores a 50°), presentes en la quebrada San Martín, aumentan la cinética del agua y por ende su poder erosivo y de transporte de material.

A medida que avanza el agua pendiente abajo, adquiere un gran poder destructivo, ya que lleva consigo partículas de suelo, chatarras e incluso viviendas abandonadas, esto a una gran velocidad, típica de un flujo.

La totalidad de los eventos de Remoción en Masa en el Cerro Cordillera, son en las estaciones de lluvias, por lo que esta variable es fundamental, para entender la dinámica de estos procesos, asociados a la corteza terrestre.

Tabla N°6: Remociones en Masa en la Quebrada San Martín año 2000, y Precipitaciones asociadas al evento.

<b>Fecha.</b>	<b>Tipo de Remoción.</b>	<b>Milímetros Agua *día.</b>	<b>Lesionados</b>	<b>Viviendas Dañadas.</b>
06 de abril.	Flujo.	<b>56</b>	2	3
02 de mayo.	Subsidencia	<b>57</b>	2	2
12 julio	Flujo.	<b>54</b>	3	4
26 julio.	Flujo.	<b>50</b>	0	1

Fuente: OREMI

#### 7.4 Intervención Antrópica sobre la Vegetación.

A continuación se presenta el índice de disimilitud, que nos permitió conocer la diferencia que existen respecto a la quebrada San Martín y la quebrada Ficher (muestra), en cuanto a especies vegetales nativas se refiere. Para ello se presentan las especies vegetales no introducidas de la Quebrada Ficher (Ver Tabla N°7), versus las especies vegetales no introducidas de la Quebrada San Martín (Ver Tabla N°8).

En ambas quebradas, ya sea la de baja intervención antrópica (Quebrada Ficher) y la Quebrada San Martín, intervenida casi en su totalidad, se consideró la misma exposición Solar, 50° Sur-Este, para así, descartar esta variable que influye notablemente en la presencia o ausencia de vegetación y solo enfocarnos en la degradación que el hombre ha realizado en la quebrada San Martín.

Tabla N°7: Especies Vegetales Nativas, Exposición 50° Sur-Este, presentes en la Quebrada Ficher.

<b>Nombre Científico.</b>	<b>Nombre Vulgar.</b>
1. <i>Tessaria absinthiodes.</i>	Brea.
2. <i>Trevoa trinervis.</i>	Tebo.
3. <i>Muehlenbeckia hastulata.</i>	Quilo.
4. <i>Azara celastrina.</i>	Lilen.
5. <i>Colliguaja odorifera</i>	Colliguay.
6. <i>Otholobium glandulosum</i>	Culen.
7. <i>Distichlis spicata.</i>	Pasto Salado.
8. <i>Baccharis pingraea.</i>	Vautro.
9. <i>Peumus boldus.</i>	Boldo.
10. <i>Schinus latifolius.</i>	Molle.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°8: Especies Vegetales Nativas, Exposición 50° Sur-Este, Quebrada San Martín.

Nombre Científico.	Nombre Vulgar.
1. Tessaria absinthiodes.	Brea.
2. Distichlis spicata.	Pasto Salado.
3. Azara celastrina.	Lilen.
4. Litraea caustica.	Litre.

Fuente: Elaboración Propia

#### 7.4.1 Aplicación del Índice de Disimilitud.

Indice de Disimilitud = 1 – Jackard.

Indice de Jaccard:

**Sj = c / a + b + c** donde:

a : elementos exclusivos de la condición A.

b : elementos exclusivos de la condición B.

c : elementos comunes por presencia a las condiciones A y B.

n : total de elementos considerados en la dupla A y B = a + b + c + d.

$$Sj = 3 / 7 + 1 + 7 = 0.2$$

$$\text{Indice de Disimilitud} = 1 - 0.2 * 100 = 0.8 * 100 = 80\%$$

El resultado obtenido (0.8), nos indica que existe una diferencia notable entre las especies vegetales de la quebrada San Martín y las especies vegetales de la quebrada Ficher. Existe mayor presencia de especies vegetales nativas en la quebrada piloto (quebrada Ficher)

En la quebrada San Martín, la mayor parte de la de la vegetación existente, corresponden a especies introducidas (ver tabla N°9), por el contrario, las especies vegetales nativas, representan un porcentaje muy bajo y aún mayor son los espacios en que el suelo se encuentra desprovisto de vegetación, por lo que se puede deducir, que existe un alto grado de intervención antrópica, si consideramos que la quebrada Ficher,

en donde no existen asentamientos urbanos, las condiciones son totalmente diferente, ya que las especies vegetales introducidas son casi inexistentes y no existen espacios sin una cubierta vegetal.

Tabla N°9 Especies vegetales introducidas en la quebrada San Martín.

<b>Nombre Científico.</b>	<b>Nombre Vulgar.</b>
Eryngium Paniculatum (introducido).	Cardoncillo.
Rubus Ulmifolius.	Zarzamora.
Ricinus cumunis.	Higuerilla.
Prunas sp.	Ciruelo de flor.
Populus nigra.	Alamo.

Fuente: Elaboración Propia.

### **7.5 Calidad y Características del Suelo de Fundación en la Quebrada San Martín.**

Una representación según calidad del suelo, como juicio exhaustivo de las características del subsuelo, mediante numerosas indicaciones de cartas de suelo de fundación o mediante cualquier otro esquema de juicio, no tiene objeto. Sería un esquema rígido que no consideraría las diversas condiciones de una estructura en especial. Además falta una escala de juicio uniforme, valedera en todos los casos, para establecer la calidad del suelo.

Además, la carta del suelo de fundación no puede reemplazar los ensayos normales de suelo que se requieren para una construcción determinada, ya que la consideración última de las medidas a tomar para las fundaciones se derivará del conocimiento de las características constructivas y estáticas del programa de construcción, la que dependen de la Inter-relación construcción-suelo de fundación.

El contenido y el tipo de representación de una carta del suelo de fundación dependen del objetivo que se persiga con ella y de los antecedentes y trabajos previos con que se cuenta para su elaboración. La carta pretende dar al constructor una idea

general acerca de las características del suelo sobre el que se pretende edificar. Debe contener, por tanto, la información necesaria acerca de los tipos de suelo y de roca, sus características físicas y su comportamiento mecánico. Además, debe permitir sacar conclusiones acerca de las características hidrológicas que puedan afectar la estructura en si, incluyendo la etapa de construcción.

Como en las poblaciones de la Quebrada San Martín, no existen programas de construcción planificadas y tampoco una asesoría técnica, la información sobre el suelo de fundación de Valparaíso, que en la mayoría de los casos establecen como objetivo de estudio la roca firme, la roca suelta y el relleno artificial, resulta inviables aplicarlos a la quebrada, debido a dos aspectos fundamentales:

1. Las estructuras comprometidas, son viviendas extremadamente livianas, construidas sobre la primera capa de humus o bien sobre la roca meteorizada o suelta.
2. Las quebradas de los cerros son terrenos prohibidos para cualquier tipo de construcción, así lo establece el Plan Regulador de Valparaíso, esto debido a que las pendientes existentes, como en el caso de la Quebrada San Martín del Cerro Cordillera, sobrepasan los 65°, lo que supera con creces los 15° considerados como moderados o aptos para la construcción.

A continuación se presentan algunas de las características generales del suelo de fundación de la región de Valparaíso obtenidos del estudio de "Suelo de Fundación de la región de Valparaíso", realizado por el Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile en el año 1963, que nos permitirán obtener datos y características fundamentales para el manejo de un terreno en el cual se pretende construir.

La *roca fresca* aflora escasamente en el área estudiada, en comparación con los otros grupos de suelo de fundación, ya que generalmente está cubierta por una gruesa capa de roca meteorizada; se encuentra en paredes casi verticales de la costa, en algunas pendientes fuertes de las quebradas profundas y, en pocos casos, en cortes profundos de algún camino.

Por las razones expresadas, la roca fresca será utilizada pocas veces como suelo de fundación, es decir, como área directa de fundación de edificios altos. En relación a la capacidad de carga no representará ningún problema, puesto que la roca fresca constituye el suelo de fundación más seguro.

Desde el punto de vista geotécnico, la roca fresca del área estudiada se clasifica dentro del grupo de las rocas silíceas homogéneas totalmente compactadas. El grado de división natural por diaclasamiento y formación de bancos es irregular y forma, en su mayor parte, masas rocosas limitadas por diaclasa de pequeña dimensión. En las zonas de falla se ha producido división natural intensa. La roca se clasifica, desde el punto de vista de su técnica de extracción, como roca que debe ser dinamitada.

Al realizar trabajos técnicos de excavación en los que se produce una alteración de la tensión natural y del equilibrio, por ejemplo en la construcción de túneles (como el caso del túnel de acceso al puerto a la ciudad de Valparaíso) y galerías, cortes profundos para caminos, etc., a menudo se pueden producir movimientos en los planos de estratificación y de fractura, que pueden ocasionar derrumbes y deslizamientos de rocas. Especialmente peligrosas son las pendientes en las zonas de fractura y las áreas con estratificación paralela a la pendiente. En esas zonas debería hacerse un cuidadoso estudio de las condiciones del suelo de fundación, antes de iniciar las construcciones.

La roca es muy buena como material para la construcción de caminos, relleno de terraplenes, grava y adoquinado de base para el cimiento, así como para gravilla triturada con ligazón bituminosa y de alquitrán para pavimentos.

*La roca meteorizada* cubre el área más grande de la zona estudiada. Se clasifica en el grupo de rocas sueltas, pero sus características de mecánica de suelos son diferentes de aquellas masas originalmente sueltas depositadas por el agua o por el viento.

La corteza meteorizada superficial, que alcanza hasta 7 m, está constituida por un material pardo-rojizo que se ha descompuesto totalmente formando un limo muy arenoso con escasas cantidades arcillosas. En el producto subyacente desintegrado a gran profundidad (localmente hasta más de 30 m), se puede reconocer la textura y estructura de la roca cristalina original, pero los minerales individuales ya no tienen una ligazón fuerte entre sí, lo que hace que la roca sea relativamente deleznable; este tipo de material ha sido designado en Chile con el nombre de *maicillo*.

A pesar de su alto contenido de arena, este material se clasifica entre los suelos coherentes. Esto significa que es compresible bajo cargas, originándose asentamientos, los que debido al alto contenido de arena del material se producen rápidamente; por esta razón el mayor asentamiento ocurre durante la etapa de construcción.

La resistencia es bastante buena en estado seco. El contenido de agua natural en la época seca del año está bajo el límite plástico y varía aproximadamente entre 10% y 15%, es decir, su consistencia es semisólida a sólida. Sin embargo, con poca humedad, el material se aproxima al límite líquido y tiene un comportamiento muy diferente; se desliza aun en pendientes suaves y, sobre todo, ofrece poca resistencia a la erosión.

El *relleno artificial* como suelo de fundación, es de poca importancia para el estudio de las quebradas de los cerros, ya que éste no es parte de su formación, debido a que cubre solo la parte llana de la zona urbana de Valparaíso. Está constituido por materiales muy diversos y el tipo de suelo varía en distancia muy cortas.

Cabe destacar la importancia de realizar análisis técnico, antes de construir en superficies rellenadas artificialmente. En la medida en que el relleno artificial no contenga material orgánico susceptible de pudrirse, se podría mejorar el suelo de fundación por compactación del material, en caso contrario, se debe reemplazar por un relleno bien compactado de grava y arena.

## 7.6 BOSQUEJO DE LA QUEBRADA SAN MARTÍN.

A continuación se presenta en forma gráfica, la Quebrada San Martín, en donde se interrelacionan, los resultados de la variables consideradas en su estudio (Ver Figura N°12).

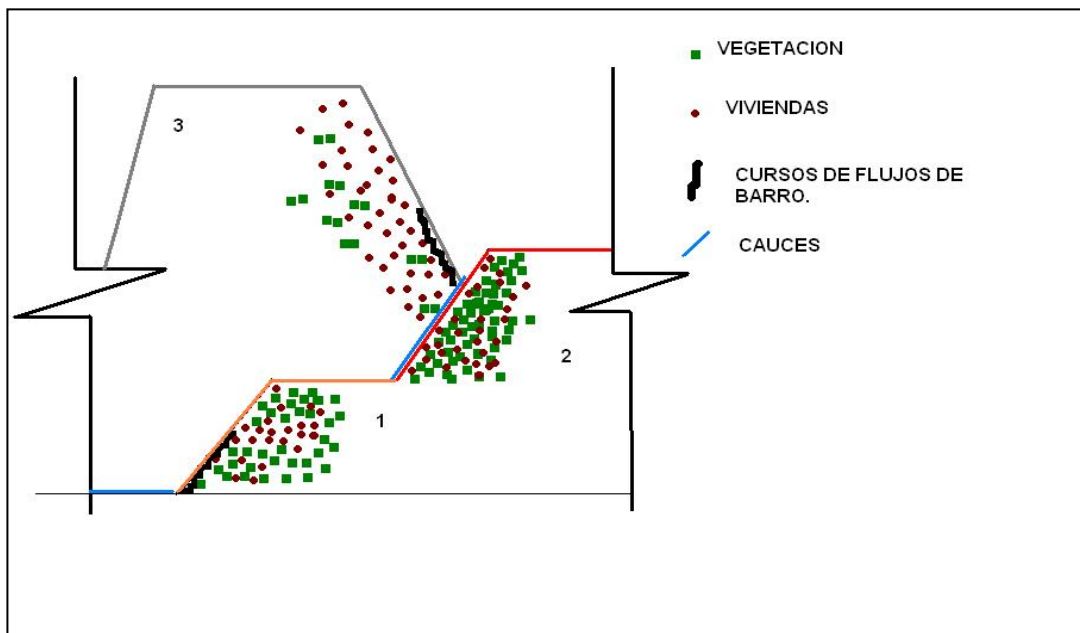


Figura N°12: Distribución de los Elementos Biótico-Abióticos en la Quebrada San Martín.

El presente esquema, visualiza la coexistencia de estructuras inertes y vivas sobre un sistema natural complejo, como es el caso de la Quebrada San Martín.

La intervención antrópica ha provocado que los procesos de Remoción en Masa se acentúen y se transformen en un riesgo, para gran parte de las poblaciones allí emplazadas.

#### **a.- Análisis Ladera 1.**

La ladera 1, presenta 25 viviendas, en donde habitan alrededor de 170 personas en su mayoría niños, en un área de 500 m<sup>2</sup> aproximadamente. Estas viviendas están construidas en una zona escarpada, con una pendiente de 62,70°.

Presenta una exposición 80° Sur-Este, una altura de 165 m.s.n.m, con coordenadas 19 H 0253177, UTM 6340761.

La vegetación del lugar presenta una cobertura abierta, pero bastante homogénea, formada principalmente por especies introducidas de árboles frutales, por lo que el suelo presenta un grado medio de compactación.

Los terrenos más erosionados se encuentran a los pies de la ladera, en donde es posible observar cursos marcados de Flujos de Barro, por lo que existe una amenaza que se debe tener en cuenta, ya que una vez activado un flujo de barro, se tiene un punto de partida para flujos de mayor volumen y frecuencia.

La presencia de desechos domésticos y materiales pesados como chatarras de automóviles, neumáticos, lavadoras y otros, potencia aún más el riesgo, si se desencadenara un flujo de barro, ya que la magnitud y fuerza de arrastre de éstos, sumado a la elevada pendiente arrastraría todo a su paso y las colisiones que se producirían con las viviendas que en su totalidad son de material ligero serían destruidas totalmente.

#### **b.- Análisis Ladera 2.**

La ladera 2 ocupa un área aproximada de 500 m<sup>2</sup>, presenta 15 viviendas, en donde habitan alrededor de 90 personas, estas viviendas están construidas en una zona escarpada, con una pendiente de 64,1°.

Presenta una exposición 50° Sur-Este, una altura de 166 m.s.n.m, con coordenadas 19 H 0253126, UTM 6340564.

La vegetación presente en esta ladera es abundante, con presencia mayoritaria de especies introducidas de árboles frutales, arbustivas y herbáceas. La cobertura

vegetal es cerrada, por lo que el suelo esta compactado y menos vulnerable a flujos de barro, ya que esta cobertura permite un escurrimiento difuso del agua, lo que disminuye su acción erosiva.

No se aprecian cursos marcados de flujos de barro, esto se atribuye principalmente a la vegetación presente en el lugar, la que no ha sido eliminada por las personas que habitan en el sector.

### **c.- Análisis Ladera 3.**

La ladera 3 ocupa un área de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, presenta 35 viviendas, en donde habitan alrededor de 200 personas, estas viviendas están construidas en una zona escarpada, con una pendiente de 75,49°.

Presenta una exposición 40° Sur-Este, una altura de 165 m.s.n.m, con coordenadas 19 H 0253143, UTM 6340654.

Es esta ladera, la que presenta un mayor riesgo, en el caso de desencadenarse una Remoción en Masa de tipo Flujo, principalmente por la vulnerabilidad a la que están expuestas la gran cantidad de personas.

La vegetación en el lugar es casi inexistente, esto sumado a la fuerte pendiente, a la pésima calidad de las viviendas, a la cantidad de desechos y materiales pesados que se encuentran en la totalidad del sector, la presencia de cursos de flujos de barro y a las precipitaciones constantes en los meses de de invierno, hace necesaria la pronta reubicación de las personas que habitan en este sector.

Cabe destacar que las tres laderas, presentan un suelo de fundación No apto para la vivienda, por sus elevadas pendientes, por ende, son previsibles y prevenibles todos los riesgos que aquí se generen, siempre y cuando exista una acción humana planificada, sobre todo en los emplazamientos urbanos.

## VIII. PROPUESTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA QUEBRADA SAN MARTÍN.

En la quebrada San Martín, existen áreas es necesaria la reubicación de familias que viven en zonas de alto riesgo, en donde no es posible realizar medidas que eviten la manifestación del proceso de remoción en masa, dado que la construcción de obras de mitigación no sería viable técnica, económica y ambientalmente. Las familias en alto riesgo son aquellas que:

- Sus viviendas presentan destrucción parcial y total, por un flujo de barro que manifiesta ese curso.
- Sus viviendas presentan alto riesgo de colapso estructural, en caso que se manifestara un proceso de Flujo.
- También es necesaria la reubicación de las viviendas con alto riesgo, en donde se han realizado obras de mitigación.

En la Quebrada San Martín, estos sectores de riesgos se presentan en la ladera 1 y 3, en donde existen viviendas emplazadas en el curso de flujos de Barro, por lo que su vulnerabilidad ante una manifestación similar es alta.

Dentro de la obras de ingeniería que se pueden realizar en la Quebrada San Martín tenemos:

- Rebajas en la pendiente del corte.
- Obras de drenaje en el sector amenazado.
- Construcción y mejoramiento de las redes de alcantarillados sanitario y pluvial.
- Sistemas de contención lateral, (muros de contención, anclaje y pernos en roca, muros en tierra reforzada, filtros, zanjas, canales periféricos).
- Remoción de las sobrecargas.

Una medida eficiente, como la intervención del suelo con especies vegetales, es la opción más factible de realizar en la quebrada San Martín, debido a su bajo costo de inversión, pero por sobre todo, los beneficios que se obtienen en un corto plazo, si se hace en forma planificada en conjunto con la comunidad.

Es importante tener en cuenta, que las especies vegetales deben tener un manejo adecuado, ya que los incendios forestales son comunes en las quebradas de Valparaíso, por lo que la vegetación debe ser limpiada cada verano, dejando el banco de semillas disponible para la próxima temporada.

Si nos centramos en el aspecto general, no se hace factible en el área de estudio formaciones de tipo bosque, debido a la lentitud y cuidado en el crecimiento, y por ser una quebrada altamente intervenida por los asentamientos urbanos, sin embargo, formaciones del tipo arbustos, matas y herbáceas, forman un equilibrio vegetación-suelo y condiciones que evitan notablemente el ataque del agua sobre el suelo. Algunas de estas ventajas son:

**a) Disminución del batido del agua sobre el suelo:** El resultado de este impacto de las gotas sobre la superficie del suelo, si está desprotegido de vegetación, es la formación de partículas finas y la proyección en cada caída de pequeñas gotitas que arrastran en todas direcciones partículas de suelo.

Por una parte, las pequeñas partículas van obturando poco a poco los poros del suelo, dificultando la filtración, y por otra, el suelo humedecido adquiere una cierta cohesión que favorece el rebote de las partículas.

El efecto del rebote de partículas por el impacto de la gota, supone en los terrenos de la quebrada San Martín, que presentan una elevada pendiente, un transporte real de suelo en la dirección de la pendiente; ya que el recorrido del agua y partículas salpicantes es mayor en el sentido descendente que en el ascendente. Por lo tanto, la erosión hídrica en suelos desnudos depende, desde luego, de la intensidad de las precipitaciones, pero también, de la susceptibilidad de los suelos al ataque de las gotas de agua.

**b) La vegetación retrasa la formación de corrientes superficiales:** en condiciones de lluvias constantes e irregularidades del terreno (caso de la Quebrada San Martín), se forman pequeños hilillos de agua (microcauces), que van evacuando pendiente abajo el agua de estas minúsculas microcuencas. En ellos la velocidad del agua va aumentando y con la acumulación de diferentes hilillos, se forman surcos y regueros, con el consiguiente incremento del caudal. La energía del agua va creciendo y ya no solo son arrastradas las pequeñas partículas del suelo, sino que ruedan pendiente abajo elementos cada vez mayores, como desperdicios, chatarras y otros.

El siguiente paso es la formación de cárcava, de tamaños crecientes y grandes remociones en masa, de preferencia flujos de barro, si las circunstancias son propicias.

Solo la vegetación puede evitar este grave deterioro de suelo. La capa herbácea evita perfectamente el batido del agua y su perjudicial efecto de goteo. No permite la formación de la capa de removido de finos que impide o reduce la permeabilidad del suelo. Impide además la formación de hilillos de corriente superficial y aumenta el recorrido de ésta al tener que sortear los propios tallos de la vegetación, lo que se traduce en una mejora de las condiciones para la infiltración, al tiempo que reduce la energía del agua en su camino de descenso. Retiene el suelo incluso en los surcos, evitando la erosión.

**c) El Humus retiene el agua:** Sabemos que el humus y la materia orgánica residentes en el suelo aumentan la capacidad de cambio de iones y forman los complejos fosfo-húmicos, que transforman el suelo en almacén de alimentos para las plantas. Pero el humus ejerce un efecto de suma importancia sobre la estructura del suelo, al aglomerar las partículas y permitir una fácil circulación del agua y del aire. El humus es un gran estabilizador de la estructura de los suelos, y la materia húmica y los coloides órgano-arcillosos aumentan la capacidad de retención de agua del suelo.

Por ende es necesario evitar la pérdida de suelo en la Quebrada San Martín, ya que así, habrá una mejora sustancial en la capacidad de infiltración y se aumentara considerablemente la retención superficial.

**d) La vegetación evita riadas:** Como consecuencia de los efectos comentados (interceptación de la lluvia, imposibilidad del batido sobre el suelo, retraso en la formación de corrientes superficiales y retención de agua por humus), se produce además una drástica disminución de la esorrentía, por una parte, y un retraso en los escurrimientos, por otra, que tienen como resultado: una disminución en los caudales máximos en los cauces que desaguan en la quebrada.

Estas grandes acumulaciones de agua, si no son controladas adecuadamente, se potencian al juntarse con restos de escombros incontrolados, chatarras, las construcciones ilegales dentro o en el curso del cauce y los productos de la erosión, provocando un río de gran fuerza potencial pendiente abajo, causando los típicos flujos de barro y detritos, comunes en las quebradas del Gran Valparaíso.

Es conveniente destacar, que en la mayoría de las quebradas de Valparaíso, el introducir vegetación herbácea y posteriormente arbustiva, será la solución más adecuada, simple y factible económicamente, para detener los procesos de remoción en masa, pero deberán igualmente adoptarse medidas alternativas, según los estudios de análisis de riesgo, en poblaciones que no pueden ser reubicadas.

El estudio, diagnóstico y tratamiento de cada quebrada, deben ser el objetivo prioritario de las autoridades respectivas, para ordenar y proyectar los diferentes planes urbanísticos, pensando en la gran cantidad de personas que vivieron, viven y vivirán expuestas en las quebradas que conforman la ciudad.

## **IX DISCUSIONES.**

Las laderas del área en estudio, presentan pendientes sobre los 50°, por lo que las viviendas emplazadas, no solo están expuestas a sufrir remociones en masa del tipo flujos, sino también, deslizamientos y desprendimientos, en donde el aporte de agua al suelo, no es relevante en el causal de éstos.

La falta de una cubierta vegetal efectiva, principalmente en la ladera tres, permite la existencia de cursos de flujo de barro, debido a que no existe un suelo compacto capaz de resistir la fuerza cinética del agua, en su caída por la abrupta pendiente.

Los datos aportados por la OREMI, nos indican que la totalidad de los eventos de flujos de barro en la quebrada San Martín, se han manifestado con precipitaciones mayores a 50 mm de agua/día. Esto no nos asegura que con precipitaciones de menor intensidad, no se manifestarán tales eventos, ya que un suelo puede saturarse de agua, con precipitaciones de menor intensidad, pero de mayor duración en cuanto a días, y posteriormente activarse un plano de ruptura, al potenciarse ciertas variables (pendiente, sobre cargas, etc) .

Si pensamos que existen siete meses de lluvia en la región, podemos deducir que en las estaciones secas, la quebrada San Martín, no presentara remociones en masa del tipo flujo. Sin embargo, un aporte de agua ajeno a una precipitación, sucedió el mes de Marzo del presente año, en el Cerro Las Cañas de Valparaíso, en donde la ruptura de una matriz de ESVAL en mal estado, realizo el aporte de agua suficiente, para que se activara un flujo de barro y un socavón (subsistencia), dejando cuantiosas perdidas materiales.

Si consideramos que la ausencia de vegetación en la Quebrada San Martín, por causa exclusiva de la deforestación que el hombre ha realizado, para construir sus viviendas, es una causa importante para que los procesos de remoción en masa del tipo flujo se manifiesten, no podemos desconocer además que la sola presencia del hombre en la quebrada, convierte a un evento natural como las remociones en masa, en un riesgo natural.

Un suelo de fundación, esta relacionado con la estructura que se pretende construir, en el caso de las viviendas emplazadas en la Quebrada San Martín, estas no cuentan con ningún tipo de acesoría técnica, por lo que se potencia aun más, el efecto destructivo de una remoción en masa.

La falta de un ordenamiento territorial eficiente por parte de la Municipalidad de Valparaíso, ha permitido que muchas personas, principalmente de bajos recursos, habiten en quebradas no aptas para la vivienda, y que posteriormente se regularicen con los accesos a servicios básicos como el alcantarillado y la electricidad.

Se debe cambiar la forma de tratar los eventos de remoción en masa en la quebrada San Martín, y en el resto de las quebradas pobladas de la región, ya que las respuestas reactivas del municipio han sido ineficientes, como lo manifestó el Alcalde Aldo Cornejo, luego de concurrir al derrumbe de tres viviendas, provocadas por un flujo de barro en el Cerro Las Cañas.

Medidas estructurales, en donde se apliquen conceptos de ingeniería y maquinaria pesada, resultan inviables en la Quebrada San Martín, principalmente por la falta de recursos del municipio y segundo por que resulta ilógico aplicar estructuras de gran magnitud a quebradas, en donde el Plan Regulador prohíbe en forma explícita el uso del suelo para la construcción de viviendas.

## **X. CONCLUSIONES.**

El diagnóstico exhaustivo y las variables consideradas, para el estudio de la quebrada San Martín, con respecto a los procesos de remoción en masa, nos confirman que la totalidad de las poblaciones que habitan en el lugar, presentan un alto grado de vulnerabilidad, en el caso que se manifestará el proceso antes mencionado.

Los tres puntos georreferenciados en el área de estudio, presentan una pendiente mayor a 50°, por lo que los terrenos en donde se emplazan las viviendas, están en un constante riesgo de sufrir procesos asociados a la corteza terrestre (remociones en masa).

Los terrenos en donde se realizó el diagnóstico, recomendado por la OREMI, debido a los avisos de los pobladores, por los constantes deslizamientos, se encuentran sin una cubierta vegetal efectiva, es decir, el ataque de factores erosivos como el agua y el viento, se potencian aun más, por la falta de vegetación en el área.

Es sin duda alguna, el aporte del agua por precipitaciones, la causa fundamental de las remociones en masa de tipo flujo de barro y detritos, ya que provoca el ablandamiento de terreno y por ende la disminución del roce de las partículas que conforman el suelo como tal. También es la causa fundamental en el transporte del material pendiente abajo.

El nivel de degradación de los suelos en el área de estudio, se atribuye a la intervención antrópica que la Quebrada San Martín y la mayoría de las quebradas que conforman los cerros de la región han sufrido durante mas de 50 años.

El suelo de fundación de la quebrada San Martín, es un suelo no apto para construcciones de ningún tipo, debido a sus abruptas pendientes. Este dato lo corrobora, el Plan Regulador en su Capítulo III de "Definiciones Generales y Normas de Uso del Suelo, Subdivisión y Edificación de Aplicación En toda el Área Urbana" en el artículo 22 letra d) establece: "las quebradas son terrenos que deberán permanecer libres de edificación de cualquier tipo, permitiéndose solamente obras de proyección de las aguas lluvias y las propias a la infraestructura vial".

Dentro de las propuestas planteadas en el presente trabajo, la reubicación de las viviendas con alto riesgo a un evento de remoción en masa, se hace primordial, para evitar un aumento en las pérdidas de vidas humanas y pérdidas materiales que se manifiestan a la luz pública cada invierno y que luego con la llegada de la época estival son olvidados.

Dentro de las propuestas planteadas, la más aplicable a la quebrada San Martín corresponde a una medida no estructural, basada en la recuperación de la cubierta vegetal, para así, evitar la fuerza cinética del agua y por ende la manifestación de flujos de barro. Esta medida resulta bastante eficiente y ha sido aplicada con éxito en países como Colombia y Bolivia. (Suaza, Doris; 1999).

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- **Fairchild, L.U.; 1987.** The importante of lahar initiation process. Geological Society of America, Reviews in Engineering Gology. Vol. 7; p. 51-56.
- **Ferrer, M. 1987.** Flujos y avalanchas: Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero, p. 175-192. Madrid, España.
- **Hauser, A.; 1993.** Remociones en masa en Chile. Boletín N°45, Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile.
- **Hernández, S. 1995.** Ecología Para Ingenieros. El Impacto Ambiental. 1ª Edición 1987, 2ª Edición ampliada, 1995.
- **Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, 1963.** Suelo de Fundación de Valparaíso. Corporación de Fomento de la Producción y Departamento del Cobre. Agustina 785, casilla 10465, Santiago de Chile.
- **Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2005.** Características geográficas de la Ciudad de Valparaíso.
- **López, M.J. 1987.** El riesgo debido a los aludes; riesgos geológicos. Instituto Geológico y Minero, serie geología Ambiental, N° 16, p.133-155. Madrid.
- **Masure, P.; 2001.** Amenazas Socionaturales, Congreso Internacional de Geología, Madrid España.
- **Oyarzún, J.; 2001.** Riesgos Naturales, Manejo y Mitigación. Universidad de La Serena.
- **Ramírez, C.; Gardeweg, M. 1982.** Corrientes de barro en abanicos fluviales del Llano de la Paciencia, en la Provincia del Loa. In Congreso Geológico Chileno, N.3, Actas, Vol 3, p. 108-124. Concepción.
- **Saiz, F. 1980.** Experiencia en el Uso de Criterios de Similitud en el Estudio de Comunidades., Universidad Católica de Valparaíso.
- **Sagerstrom, K.; 1964.** Mass wastage in north central Chile. Apartado. In International geological Congress, India.

- **Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 2005.** Datos Meteorológicos, ciudad de Valparaíso.
- **Suaza, Doris 1999.** Mitigación de Riesgos Naturales. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, Bogota.
- **Thorarinson, S. 1979.** On damage caused by volcanic eruption, whit special referente to tephraand gases. In Volcanic Activities and Human Ecology, Academic Press, p.125-159. US.A.
- **Varnes, D.; 1978.** Slope movement types and processes. In Landslides; analysis and control (Schuster, L.L; Krinzks, R.J.; editors). Transportation Research Board, National Research Council, Special Report, N°.176, p11-33. Washington, Dc.