

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos del Estudio</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Alcance del Estudio</b>	<b>2</b>
3.1	Primera Etapa	2
3.2	Segunda Etapa	4
<b>4</b>	<b>Evaluación Preliminar</b>	<b>5</b>
4.1	Descripción General del Área	5
4.2	Análisis de Información Antecedentes	6
4.2.1	Programa de Mejoramiento de Barrios	7
4.2.2	Plan Maestro de Desagües Pluviales y de Desagües Cloacales	9
4.3	Relevamientos de Campo	10
<b>5</b>	<b>Estudios Geotécnicos</b>	<b>24</b>
5.1	Alcance de los Estudios Geotécnicos	24
5.2	Ensayos de penetración dinámica	24
5.3	Perforaciones en roca	25
5.4	Ensayos de laboratorio	25
5.5	Selección de sitios de sondeo	26
5.6	Resultados	30
5.6.1	Tareas de investigación	30
5.6.2	Trabajo de Gabinete	31
<b>6</b>	<b>Estudio Hidrológico</b>	<b>36</b>
6.1	Descripción general del área y objetivos	36
6.2	Recopilación de información	37
6.2.1	Estudios Hidrológicos	37
6.2.2	Información Planialtimétrica	37
6.2.3	Información Aerofotográfica y Satelital	38
6.2.4	Información de Tipo y Uso de Suelos	38
6.2.5	Información General	38
6.3	Modelo de transformación lluvia - caudal	38
6.4	Determinación de Cuencas y Subcuencas. Características Físicas	39
6.4.1	Características de los suelos y su cobertura	41
6.4.2	Tiempos de concentración	42
6.5	Análisis de las Precipitaciones	44

6.5.1	Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia	44
6.5.2	Tormenta de proyecto	46
6.6	Determinación de caudales máximos	47
<b>7</b>	<b>Estudio de Riesgo Geológico</b>	<b>51</b>
7.1	Objetivos y alcance del estudio	51
7.2	Ubicación de las observaciones realizadas	51
7.3	Metodología	51
7.4	Geología	52
7.4.1	Marco geológico general	52
7.4.2	Geología de detalle del Polígono de Acción PROMEBA y sus áreas adyacentes (Mapa Geológico)	54
7.5	Geomorfología	80
7.5.1	Marco geomorfológico general (Mapa Geomorfológico)	80
7.5.2	Geomorfología de detalle del polígono de acción de promeba y sus áreas adyacentes (mapa geomorfológico)	82
7.6	Peligro Geológico	92
7.6.1	Peligro de Remoción en Masa	92
7.6.2	Peligro de Inundación	104
7.7	Vulnerabilidad	112
7.7.1	Vulnerabilidad Alta	112
7.7.2	Vulnerabilidad Media	113
7.7.3	Vulnerabilidad Baja	113
7.8	Conclusiones	113
7.9	Recomendaciones	114
7.10	Bibliografía	115
<b>8</b>	<b>Mapas Temáticos</b>	<b>117</b>
8.1	Mapa Base	117
8.2	Mapa DEM Regional	117
8.3	Mapa DEM Área de Estudio	117
8.4	Mapa Fotografía Aérea IGM (1969)	118
8.5	Mapa Fotografía Aérea CFI (1994)	118
8.6	Mapa Mosaico Fotográfico	118
8.7	Mapa Estudio Geotécnico - Sondeos	118
8.8	Mapa Cuencas de Aporte en ladera sur del cerro Curruhinca	118
8.9	Mapa Cuencas de Aporte en casco urbano norte	118
8.10	Mapa Geomorfológico	119
8.11	Mapa Geológico	119
8.12	Mapa Esguimientos Superficiales	119
8.13	Mapa Usos de la Tierra	119
8.14	Mapa de Peligro Geológico	119
8.15	Mapa de Vulnerabilidad	119
8.16	Mapa de Vulnerabilidad (detalle Polígono PROMEBA)	120

8.17	Mapa de Obras de Mitigación Proyectadas	120
<b>9</b>	<b>Lineamientos Estratégicos de Planificación Urbana</b>	<b>121</b>
9.1	Introducción	121
9.2	Objetivo	121
9.3	Diagnostico General	122
9.3.1	<i>Vulnerabilidad del Medio Urbano</i>	122
9.3.2	<i>Aspectos conceptuales que hacen a la definición de riesgo</i>	123
9.3.3	<i>Identificación de problemáticas</i>	124
9.3.4	<i>Identificación de variables con potencialidades a ser desarrolladas</i>	124
9.3.5	<i>Expansión urbana sobre áreas de peligrosidad</i>	125
9.4	Metodología	125
9.4.1	<i>Lineamientos metodológicos para proyectos de relocalización poblacional</i>	126
9.4.2	<i>Políticas, Acciones e Instrumentos para la gestión Urbana en Riesgo</i>	126
9.4.3	<i>Demanda de suelo urbano</i>	128
9.5	Estrategias de optimización de la planta urbana	128
9.5.1	<i>Análisis sobre la expansión urbana en áreas de peligrosidad</i>	129
9.6	Conclusiones y recomendaciones	129
<b>10</b>	<b>Medidas de Mitigación</b>	<b>131</b>
10.1	Medidas Estructurales	131
10.1.1	<i>Relocalización de la población y control de la urbanización</i>	132
10.1.2	<i>Obras de mitigación parcial</i>	132
10.2	Medidas No Estructurales	133
10.3	Sistemas contra caída de rocas	134
10.3.1	<i>Barreras flexibles</i>	135
10.3.2	<i>Refuerzo superficial</i>	147
10.3.3	<i>Cómputo y Presupuesto</i>	153
10.4	Azudes de control y retención	153
10.5	Obras de drenaje superficial y control de erosión	163
10.5.1	<i>Red de drenaje principal</i>	165
10.5.2	<i>Obras de Descargas</i>	170
10.5.3	<i>Manejo de escurrimientos menores</i>	175
10.5.4	<i>Cómputo y Presupuesto</i>	179
10.6	Muros de contención	179
10.7	Presupuesto de las obras de mitigación	199

## Anexos

### Anexo 1 - Mapas Temáticos

#### 1.1. Listado Mapas

#### 1.2. Mapas

## **Anexo 2 - Estudio Geotécnico**

## **Anexo 3 - Sistemas contra caída de rocas**

### **3.1. Refuerzo superficial - Informe de cálculo**

## **Anexo 4 - Azudes de control y retención - Verificación estructural**

### **4.1. Condición en crecida**

### **4.2. Condición permanente**

## **Anexo 5 - Muros de contención - Verificación estructural**

### **5.1. Muro tipo de altura 2.0m**

### **5.2. Muro tipo de altura 2.5m**

### **5.3. Muro tipo de altura 3.0m**

### **5.4. Muro tipo de altura 3.5m**

### **5.5. Muro tipo de altura 4.0m**

### **5.6. Muro tipo de altura 5.0m**

## **Anexo 7 - Cómputo y Presupuesto**

### **7.1. Sistemas contra caída de rocas**

### **7.2. Azudes de control y retención**

### **7.3. Obras de drenaje superficial y control de erosión**

### **7.4. Muros de contención**

## **Anexos (en carpeta)**

## **Anexo 6 - Planos de Obras de Mitigación**

### **6.1. Listado de Planos**

### **6.2. Planos**



## 1 Introducción

La ciudad de San Martín de los Andes se localiza al Sur Oeste de la Provincia del Neuquén, conformada sobre un valle glaciario en el extremo este del Lago Lacar, con una elevación media de 670msnm, y distante a 420km de la capital provincial.

La expansión periférica de la ciudad se encuentra limitada por fuertes restricciones topográficas, condición que originó el asentamiento clandestino en sectores no aptos para la urbanización. Específicamente sobre los faldeos del Cerro Curruhuinca se establece un asentamiento poblacional, que tiene su desarrollo desde la década del 70, conformando un tejido urbano irregular y no planificado, gobernado por las distintas oleadas de inmigrantes de bajos recursos que como sitio de emplazamiento de sus viviendas, eligieron la ladera media inferior del cerro, de acuerdo a la disponibilidad de espacio existente.

El presente estudio evalúa las condiciones naturales y antrópicas que pueden generar daño a locaciones particulares e infraestructura pública y ponen en riesgo la vida de las personas que habitan sobre el faldeo del Cerro Curruhuinca.

## 2 Objetivos del Estudio

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades, sin embargo muy pocas personas son conscientes de su importancia.

Las zonas montañosas son muy susceptibles a sufrir problemas de caída de rocas y deslizamientos de suelo debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como: la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos.

Para la cuantificación del Riesgo y la implementación de las remediaciones efectivas a minimizarlo es fundamental la etapa de recopilación de información y procedimientos de investigación.

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución.

El presente estudio tiene por objetivo principal evaluar las condiciones de la ladera del Cerro Curruhuinca, identificando los procesos naturales y antrópicos que generen condiciones de peligrosidad al asentamiento poblacional desarrollado en dicha zona, así como el proyecto de obras de mitigación que atenúen los riesgos detectados.

La identificación de procesos, su zonificación y evaluación del nivel de peligrosidad son herramientas necesarias en el ordenamiento territorial y diseño de medidas correctivas u obras de mitigación que mejoren las condiciones actuales y planifiquen la evolución futura de la problemática.

### **3 Alcance del Estudio**

Para la ejecución del “Estudio de Diagnóstico y Evaluación del Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación” se propuso una división en dos etapas de desarrollo: una primera etapa donde el estudio se concentra fundamentalmente en la elaboración del Diagnóstico de la Situación Actual y una segunda etapa que contempla el desarrollo a nivel de Proyecto Ejecutivo de las obras propuestas para la mitigación del riesgo presente. Los contenidos y alcances de ambas etapas se detallan a continuación.

#### **3.1 Primera Etapa**

##### **(a) Evaluación Preliminar**

Se realizó una evaluación preliminar que comprende:

- Descripción General del Área
- Análisis de Información Antecedente
- Relevamiento de Campo

## **(b) Estudio Geotécnico**

Los estudios geotécnicos realizados incluyen tanto trabajos de investigación, como trabajos de gabinete. Los trabajos de investigación comprendieron tareas de campo como la ejecución de sondeos y ensayos de laboratorio para caracterizar los suelos y rocas extraídas en campo. Los trabajos de gabinete aportaron la descripción del perfil de suelos, caracterización geológica y afloramientos rocosos, alternativas de fundación para obras de mitigación, parámetros geotécnicos y capacidades de carga, recomendaciones para excavaciones y cálculo de presión lateral, y ensayos de agresividad al hormigón.

## **(c) Estudio Hidrológico**

El objetivo de los estudios hidrológicos fue el de obtener caudales de diseño, correspondiente a los cursos de agua temporarios que atraviesan la ladera urbanizada del cerro, necesarios para el proyecto de las obras planteadas para mitigar la problemática presente en el área de estudio.

## **(d) Estudio de Riesgo Geológico**

Se realizó un estudio de riesgos que permite evaluar el tipo y magnitud de los riesgos geológicos que tienen ocurrencia en la zona y el daño que las instalaciones de origen antropogénico podrían llegar a tener con motivo de su desarrollo. Especialmente se analizaron los riesgos a la remoción en masa rápida, inundación y aluviación súbita, como así también la posible caída del material pétreo superficial producto de los movimientos antes descriptos por la acción del peso propio o la actividad sísmica.

El análisis del riesgo constituye la tarea medular del presente estudio ya que el resultado del mismo será la base en la que se deberán sustentar las posteriores acciones en relación a los asentamientos existentes en zonas bajo riesgo.

## **(e) Mapas Temáticos**

Completando los estudios anteriores se confeccionaron una serie de mapas temáticos que describen las condiciones geográficas de la zona de interés, detallando los resultados obtenidos de los diferentes estudios.

## **(f) Planificación Urbana**

El estudio de planificación urbana consistió en realizar un diagnóstico de la situación actual y la elaboración de recomendaciones en cuanto a las medidas necesarias a implementar para responder de manera sustentable a las demandas de desarrollo urbano actuales y futuras, en relación a la temática del estudio.

### **(g) Medidas de Mitigación**

Durante la primera etapa del estudio se identificaron y describieron las alternativas de medidas estructurales y no estructurales para mitigar la problemática identificada.

### **3.2 Segunda Etapa**

Durante la segunda etapa del estudio se desarrollará el proyecto ejecutivo de las medidas estructurales seleccionadas para mitigar los riesgos identificados durante la primera etapa. Las obras proyectadas tienen como objetivo disminuir los riesgos en relación a los asentamientos existentes en la zona bajo estudio.

## 4 Evaluación Preliminar

### 4.1 Descripción General del Área

En primer lugar se propone una definición del área de estudio, dividiendo su alcance en dos áreas características:

- Área de aporte hidrológico: comprende la superficie de aporte a las cuencas afluentes al asentamiento sobre la ladera del Cerro Curruhuinca (ver Mapas N° 1 y 2). En esta área se desarrollan los procesos que originan los riesgos geológicos bajo estudio.
- Polígono de Acción PROMEBA: comprende el sector que ocupan los asentamientos poblacionales sobre la ladera del Cerro Curruhuinca (ver Mapa N° 3), en donde se realizó la intervención del programa PROMEBA.

El área de aporte hidrológico tiene una extensión aproximada de 290Ha, la cual se encuentra urbanizada en su parte inferior con una superficie del orden de las 15Ha (Polígono de Acción PROMEBA), abarcando los barrios de Calderón, Obeid, Godoy, Parque Sur, Vallejos y Tres de Caballería.

El polígono de acción PROMEBA se definió cubriendo la superficie de los barrios en donde intervino el Programa de Mejoramiento de Barrios. Dicha región de la ciudad es el sector de interés específico del presente estudio.

Biogeográficamente la ciudad de San Martín de los Andes se encuentra en una región enmarcada dentro del Distrito Andino-Patagónico, con un clima mayoritariamente frío y húmedo. Las masas de aire húmedo provienen del Océano Pacífico, conjuntamente con los vientos predominantes. Estos al encontrarse con el cordón montañoso de la Cordillera de los Andes, descargan la humedad en forma de lluvias o nieve; los vientos continúan secos hacia el Este. Esto determina un marcado gradiente de precipitaciones en sentido Oeste-Este, con isoyetas que van desde los 3.000mm/año en el límite internacional con la República de Chile a los 800mm/año a sólo 70km al Este de dicho límite. La temperatura media anual oscila entre los 6° C y los 11° C, con temperaturas mínimas extremas por debajo de 0° C en los meses de Junio y Julio (estación húmeda).

Fitogeográficamente se encuentra ubicado en el sector norte de la Provincia Subantártica, caracterizada por bosques templados-fríos, con hojas perennes o caducifolias, que cubren densamente las laderas y ciertos valles. Dada su variedad climática, de relieve y de suelos, brinda un escenario sin igual para el desarrollo de casi todas las especies arbóreas del bosque

andino, predominando bosques mixtos de *Nothofagus* spp (raulí, roble pellín, lenga, ñire y coihue) con ciprés y radial, y un sotobosque de cañas y otros arbustos.

El sistema pluvial se lo denomina Pocahullo, que recolecta las aguas de una serie de afluentes como los arroyos Calbuco, Trabunco, Maipú, La Escuela, Chacay, Pichi Chacay, Cull Rani y otros que son temporarios.

Con respecto a la geomorfología, el relieve de la cuenca Pocahullo está definido por un bloque montañoso, con valles que han sido modelados por la acción glacial y glaciofluvial asociados. Los aportes pluviales que se producen en las micro cuencas peri urbanas, son canalizados a través de cauces naturales o artificiales. Dichos cauces, pueden tener agua durante la mayor parte del año o bien estar secos, y funcionar sólo ante el registro de lluvias.

El arrastre de sedimentos de las aguas que bajan del cerro genera obstrucciones de las acequias y alcantarillas de la ciudad, las cuales conducen sus aguas hacia el arroyo Pocahullo. En su paso a través de los barrios periféricos, las aguas provenientes de las micro cuencas peri urbanas, sufren diversos grados de contaminación por el aporte de aguas servidas y de residuos sólidos urbanos.

Las secciones de escurrimiento de los canales a cielo abierto que atraviesan los barrios periféricos son en general insuficientes, si bien en algunos casos los cursos temporarios de agua presentan un encauzamiento o conducción, gran parte del los escurrimientos superficiales no están sistematizados generando diversas afectaciones.

Las viviendas del asentamiento han sido construidas sin seguir prácticas de urbanización, lo que ha resultado en situaciones que presentan riesgos importantes de estabilidad, en algunos casos por construcciones muy próximas a los cursos de agua, en otras por inestabilidad de taludes o rocas próximas a las construcciones.

Desde el punto de vista topográfico, la zona montañosa se caracteriza por un relieve accidentado, con grandes y continuos contrastes de pendientes. La zona del valle debe su origen a procesos glaciales y fluviales con asociación a procesos de remoción en masa, entre los que se encuentra el arroyo Pocahullo, donde se emplaza la ciudad (casco histórico con una superficie aproximada de 45Ha).

## **4.2      Análisis de Información Antecedentes**

La problemática en estudio cuenta con dos antecedentes principales:

- Programa de Mejoramiento de Barrios (PROMEBA, 2005)

- Plan Maestro de Desagües Pluviales y de Desagües Cloacales (TEAM – COWI, 1996)

Estos antecedentes fueron analizados y evaluados, extrayendo de los mismos toda la información base, estudios diagnósticos y diseño de obras que puedan ser de utilidad para el desarrollo del presente estudio. A continuación se describen los contenidos principales y alcances de los antecedentes evaluados.

#### **4.2.1 Programa de Mejoramiento de Barrios**

En el marco del Programa de Mejoramiento de Barrios -PROMEBA- se realizó una Licitación Pública y Contratos para la Ejecución de Obras financiadas con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo -BID-, en un todo de acuerdo con lo establecido en el Contrato de Préstamo BID 940/OC-AR.

El proyecto de intervención del Programa “PROMEBA” correspondiente a la ciudad de San Martín de los Andes, Provincia de Neuquén, se localiza en barrio “Faldeo Cerro Curruhuinca”, incluye 6 sectores con un total de 42 bloques y 370 lotes, beneficiando a 508 familias.

El proyecto apunta a mejorar la calidad de vida de esta población con necesidades básicas insatisfechas, carencias de infraestructura urbana, problemas ambientales y de regularización dominial.

La obra en general comprende la ejecución de:

##### ***Infraestructura Pública***

- Sistema de abastecimiento de agua potable: comprende la ampliación de la red de abastecimiento en todos los sectores, incluyendo las conexiones domiciliarias, los nudo-encuentros e hidrantes.
- Sistema de desagües cloacales: comprende la ampliación de la red existente de trazado irregular de todos los sectores que incluyen las conexiones domiciliarias, bocas de registro, etc.
- Sistema de desagües pluviales superficiales: consta de la construcción de cordones cuneta y badenes de hormigón para favorecer el escurrimiento de las aguas superficiales de toda el área.
- Red vial: este proyecto prevé la ejecución de la calzada para la circulación vehicular de todos los sectores en forma de huellas de hormigón armado premoldeado integrándola a las tramas existentes de la ciudad.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- Red eléctrica: comprende la ejecución de las conexiones domiciliarias sobre la totalidad de los sectores.
- Red de gas natural: se ejecutaran las conexiones domiciliarias en los sectores de intervención con el fin de dotar de servicio a cada uno de los lotes comprendidos en el programa.
- Red peatonal: comprende la ejecución de un sistema de escaleras y veredas con elementos de hormigón premoldeados y barandas metálicas en todos los sectores de intervención con el fin de regularizar su uso y forma.
- Provisión de Contenedores: consiste en la provisión y colocación de contenedores para residuos en todos los sectores de intervención según proyecto de recolección del municipio.

### **Infraestructura Privada**

- Abastecimiento de agua potable: el proyecto prevé las conexiones intradomiciliarias a la red de agua potable.
- Conexión cloacal a red: consistirá en la ejecución de las conexiones intradomiciliarias a la red cloacal.
- Conexión de gas: consistirá en la ejecución de las conexiones intradomiciliarias a la red de gas natural.
- Núcleos sanitarios nuevos: el proyecto prevé la construcción de núcleos sanitarios completos para aquellas viviendas que no lo posean.
- Completamiento de núcleos sanitarios: el proyecto incluye el completamiento de aquellos sanitarios que cuenten solamente con mampostería y losa a los que se les agregará los ítems faltantes hasta su terminación.
- Saneamiento y relleno de pozos ciegos: se ejecutará en todos los casos que sea necesario.

### **Equipamiento Comunitario**

- Sede de Organización Social:
  - S.U.M.Godoy: el proyecto cuenta con dos salones de usos múltiples dispuestos uno en planta baja y otro en planta alta, cada uno con un sector de servicios (Office), dos baños



(1 acondicionado para uso de discapacitados), un hall en planta baja. Totalizando una superficie de 125,12 m<sup>2</sup>.

- S.U.M.Obeid: el proyecto consta de un salón de usos múltiples, una cocina y un baño conformando un sector de servicio. Totalizando una superficie de 97,17 m<sup>2</sup>.

### **Obras Complementarias**

- Nexo de desagües pluvial superficial: consta en la ejecución de cordones cunetas fuera del polígono de intervención, a fin de completar la conexión con la red existente en la ciudad.
- Nexo Vial: consta en la ejecución de pavimento de hormigón fuera del polígono de intervención, a fin de completar la conexión con la red existente en la ciudad.

### **Obras de Mitigación**

- Desagües pluvial a cielo abierto: comprende la ejecución de canales diseñados según proyecto que verterán sus aguas a la red existente de desagüe pluvial del casco urbano.
- Muros de Contención: comprenden la ejecución de una serie de muros de sostenimiento en diversos sectores del faldeo cerro Curruhuinca.

#### **4.2.2 Plan Maestro de Desagües Pluviales y de Desagües Cloacales**

El objetivo general de dicho antecedente fue la elaboración de un Plan Maestro o marco general técnico de referencia para el desarrollo y crecimiento del sistema cloacal y del sistema pluvial, y definiendo la estrategia de desarrollo de largo plazo, así como proporcionar herramientas para la planificación y gestión para el corto y mediano plazo.

El Plan Maestro de desagües pluviales y de desagües cloacales fue destinado fundamentalmente a orientar los criterios de desarrollo futuro de estos dos sistemas en el ámbito geográfico definido por la cuenca del arroyo Pocahullo, partiendo de pautas existentes de desarrollo urbanístico que son proyectadas a lo largo del período de análisis.

En dicho estudio antecedente se plantearon las siguientes áreas de trabajo:

- Los escurrimientos por aportes pluviales y nivales en toda la cuenca del arroyo Pocahullo, planteando el drenaje hídrico global tanto de sectores urbanos como rurales.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- Los escurrimientos por aportes pluviales y nivales urbanos, planteando el drenaje hídrico local, principalmente de los sectores urbanos.
- Los desagües cloacales.
- Los aspectos de calidad ambiental, principalmente los relacionados a los ríos y arroyos, y al lago Lacar.

El Informe Final del Plan Maestro de Desagües Pluviales y de Desagües Cloacales elaborado por TEAM – COWI (enero de 1997) contiene el desarrollo de los siguientes puntos:

- Bases de estudio y enfoque metodológico
- Información recopilada y estudios básicos
- Diagnóstico del Sistema Pluvial de la Cuenca
- Diagnóstico de los Drenajes Pluviales Urbanos
- Sistema de agua potable
- Diagnóstico del sistema de desagües cloacales
- Diagnóstico del Sistema de Tratamiento y planteo de alternativas
- Análisis ambiental

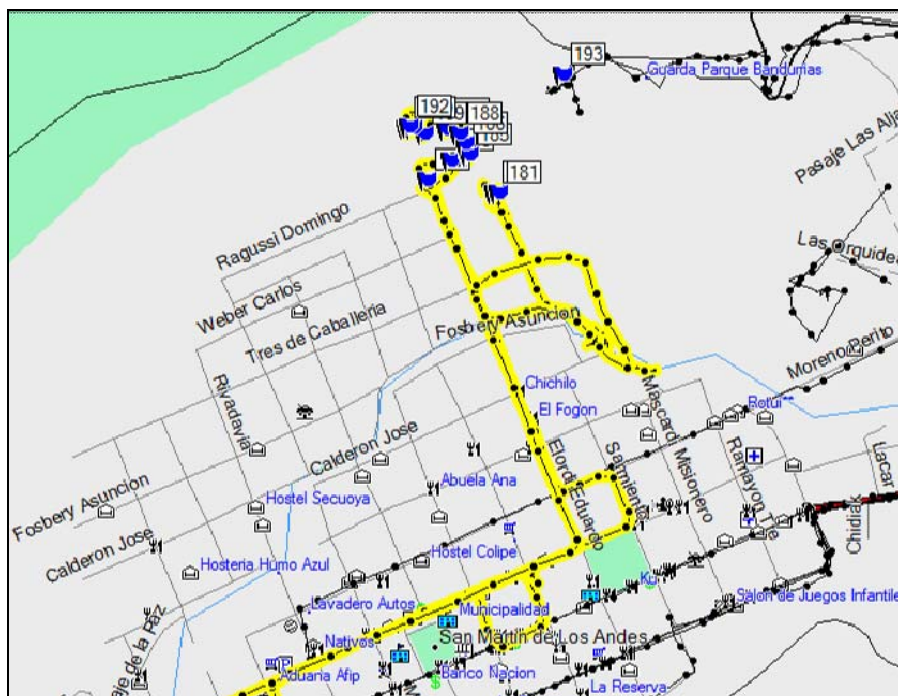
#### **4.3 Relevamientos de Campo**

En el transcurso de las visitas realizadas a la zona de estudio por el equipo consultor, se realizaron una serie de relevamientos de campo con los siguientes objetivos:

- Reconocimiento regional del área de estudio
- Reconocimiento local de sectores de interés
- Relevamiento de superficie para caracterización geológica
- Relevamiento de la infraestructura urbana (pública y privada) del asentamiento
- Relevamiento de obras realizadas por PROMEBA
- Identificación de procesos o situaciones como origen de riesgo

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

La visita al sitio realizada el 17 de diciembre se focalizó en los Barrios Tres de Caballería y Vallejos. En la Figura 4-1 se presentan los sitios relevados en dicha visita.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

del asentamiento, identificando condiciones de riesgo que son desarrolladas en adelante.

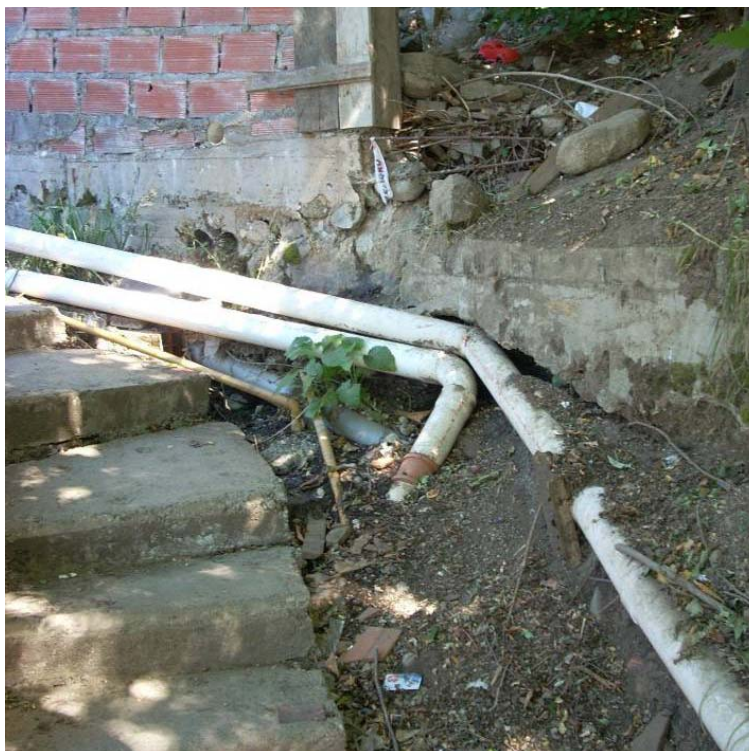
En las Figuras 4-3, 4-4, 4-5 y 4-6 se observa una problemática habitual en el tendido de redes de servicios (agua potable, cloacas y gas natural) en zonas urbanas de terreno escarpado y sin planificación previa, en donde la falta de espacio público (calles y veredas), suelos sin cobertura y escurrimientos superficiales poco sistematizados, generan socavaciones que permiten la exposición y rotura de tuberías.



**Figura 4-3 - Tendido de ducto cloacal expuesto**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-4 -Tendido de gas y cloaca expuesto**



**Figura 4-5 -Tendido de gas expuesto sobre lateral de escalera**

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

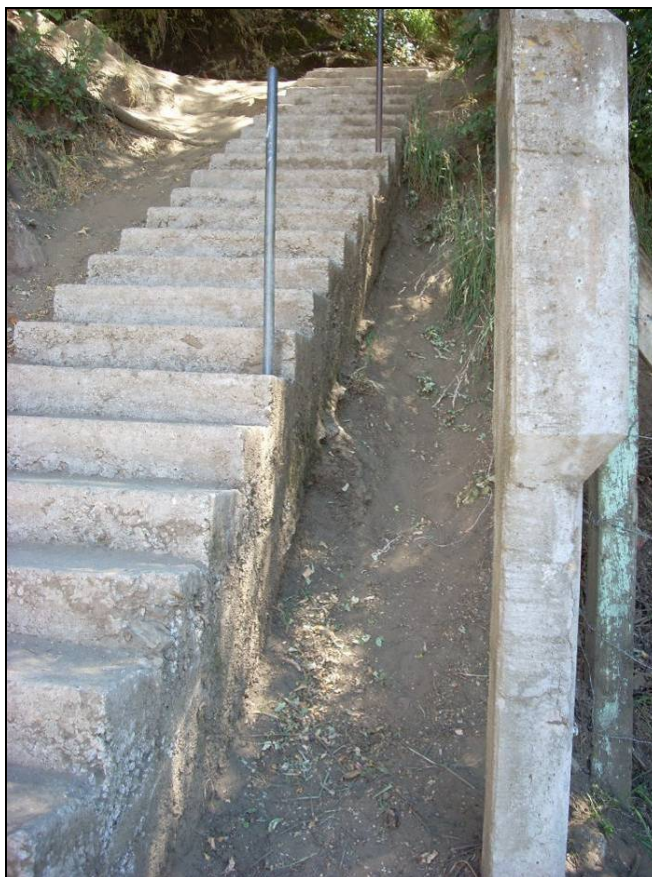


**Figura 4-6 -Tendido de gas y cloaca expuesto por falta de espacio**

En las Figura 4-77 y 4-8 se aprecian casos típico de problemas de erosión generados por el emplazamiento de infraestructura urbana (escalera peatonal) en donde la interferencia de la estructura con el terreno produce concentración de escurrimiento, socavación y posterior descalce y rotura de las obras.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-7 - Erosión en escalera peatonal**



**Figura 4-8 - Socavación al pie de escalera peatonal**

Otro caso que se repite en algunos puntos de la urbanización es la presencia de estructuras o locaciones precarias sobre el cauce de un curso temporario de agua (arroyo), en donde una crecida podría generar un colapso de dicha estructura aumentando la peligrosidad aguas abajo. La Figura 4-9 presenta un caso en donde el cauce de un arroyo fue ocupado por un relleno de suelo y muro de piedra de construcción precaria y dudosa estabilidad frente a un evento de crecida o pérdida gradual de la porción fina del suelo de relleno.



**Figura 4-9 – Relleno, muro precario y conducto sobre cauce de arroyo**

La falta de espacio y el desarrollo permanente de la urbanización producen la ocupación de nuevas locaciones, generando fuertes alteraciones al terreno como excavaciones o rellenos (ver Figura 4-10).



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-10 – Emplazamiento de nuevas locaciones en excavación sobre ladera**

Estas alteraciones pueden provocar inestabilidades locales de los taludes o muros precarios de contención. La Figura 4-11 muestra un ejemplo de ello, en donde un deslizamiento de suelo afectó la estructura de una vivienda provocando el derrumbe de una habitación. Estas situaciones de alto riesgo deben evitarse controlando la edificación y alteraciones del terreno mediante programas de censo y supervisión.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-11 – Derrumbe de vivienda por inestabilidad geotécnica**

La restricción de espacio y falta de planificación urbana ha generado inadecuadas disposiciones de algunas vivienda o estructuras precarias, emplazadas sobre el cauce de un cursos de agua (arroyos), produciendo una condición de alto riesgo para la vivienda o estructura que interfiera al escurrimiento natural, y a sectores aguas abajo que puedan ser afectados por alteraciones del escurrimiento o torrentes fuera de cauce (Figura 4-1212, 4-13 y 4-14).



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-12 - Vivienda sobre cauce de arroyo**



**Figura 4-13 – Interferencias en cauce de arroyo**





**Figura 4-14 - Vivienda sobre cauce del arroyo**

La insuficiencia de desagües pluviales del asentamiento y alteración de los cursos de agua que atraviesan al mismo, producen condiciones de riesgo para gran parte de la urbanización, en donde la ocurrencia de crecidas torrenciales o lluvias muy intensas pueden generar socavación y destrucción de viviendas e infraestructura pública más expuesta (Figura 4-1515 y Figura 4-1616).

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-15 - Curso de agua no encauzado**



**Figura 4-16 - Curso de agua no encauzado**



Los conductos dispuestos para el paso del escurrimiento por debajo de las viviendas u otras obras urbanas pueden ser afectados por el depósito de sedimentos, basura, troncos o cualquier elemento que restrinja el espacio disponible. Esta situación generará un potencial riesgo frente a fuertes lluvias o crecidas, en donde la pérdida de capacidad de conducción produce sobreniveles, desbordes y escurrimientos alternativos en sectores no preparados para ello. La vulnerabilidad del terreno, dada por su pendiente pronunciada y presencia mayoritaria de suelos finos (limos y arenas), colabora a una situación de elevada peligrosidad para la infraestructura urbana y sus habitantes. Por lo tanto es necesario contar con obras de drenaje urbano correctamente proyectadas y mantenidas.

La Figura 4-17 muestra un ejemplo de una canalización de desagüe con presencia de sedimentos y basura.



**Figura 4-17 – Sedimentos y basura en canal de hormigón**

La Figura 4-18 presenta un caso de escurrimiento no encausado y desborde lateral que afecta una locación ubicada en el área de estudio.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 4-18 - Curso de agua no encauzado y desborde lateral**



## **5 Estudios Geotécnicos**

### **5.1 Alcance de los Estudios Geotécnicos**

El objetivo general de los estudios geotécnicos es el de evaluar las características particulares y generales de los suelos y afloramientos rocosos alojados en el área bajo estudio. Particularmente se describen los siguientes objetivos:

- Caracterización geotécnica de los suelos y afloramientos rocosos explorados.
- Información de detalle complementaria a la caracterización geológica regional.
- Información de detalle utilizada en caracterizaciones geológicas locales.
- Determinación de parámetros geotécnicos a ser aplicados en el diseño y cálculo de obras de mitigación u otras estructuras

En la selección de los trabajos de campo se tuvo en cuenta una serie de consideraciones que restringen o limitan el desarrollo de ciertos trabajos en el área de estudio, en donde las condiciones adversas del terreno, dificultades de acceso, características del subsuelo (roca o suelos de depósito) y posibles riesgos generados a partir de vibraciones producto de las perforaciones, son cuestiones fundamentales a la hora de evaluar el tipo de ensayo a practicar y el sitio específico del mismo.

Dadas las características del terreno y objetivos del estudio, se propusieron los siguientes trabajos de campo:

- Ensayo de penetración dinámica y extracción de muestras
- Calicata o excavación a cielo abierto
- Perforaciones en roca con sacatestigo

Las muestras de suelo o testigos del roca extraídos mediante los trabajos de campo se sometidos a ensayos de laboratorio para su clasificación y análisis.

### **5.2 Ensayos de penetración dinámica**

En los sitios caracterizados por suelos finos, se realizaron ensayos de penetración dinámica, con penetrómetro según norma DIN 4094 hasta encontrar un techo de roca o interferencia con gravas o fragmentos de roca que impidan el avance del ensayo. El ensayo de penetración permite evaluar el grado de compactación o cementación que caracteriza a un suelo fino



(arcilla, limo o arena). Cada ensayo será acompañado con una perforación con pala barreno y extracción de muestras cada metro de avance o en cada cambio de perfil.

### **5.3 Perforaciones en roca**

En los afloramientos rocosos seleccionados se realizaron perforaciones en roca con sacatestigo con corona de diamantes (NX 76mm) de una profundidad aproximada de 2.0m a 3.0m. El sitio final de la perforación se ajusto en campo según observación detallada del área y condiciones de acceso al sitio con equipos necesarios.

### **5.4 Ensayos de laboratorio**

De las muestras de suelo obtenidas de perforaciones o calicatas se realizaron las siguientes determinaciones de laboratorio:

- Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materia orgánica, óxidos, etc.
- Peso Unitario Húmedo y Seco.
- Contenido natural de humedad referido al peso del suelo secado en estufa a 110°C.
- Granulometría: se realizará el ensayo granulométrico con zarandas de 8", 6", 4", 3", 1/12", 3/8", 3/4" y tamices N° 4, 10, 40, 60, 100 y 200, para la construcción de las curvas granulométricas correspondientes.
- Sobre el material que pasa el Tamiz N°40 se determinarán los límites de consistencia de Atterberg: límite líquido y límite plástico.
- Delimitación de la fracción menor a 74 micrones (limo + arcilla) por lavado sobre tamiz standard N°200.
- Clasificación de los suelos por textura y plasticidad conforme al Sistema Unificado de Casagrande.
- Parámetros de resistencia de suelo: sobre muestras típicas de suelos cohesivos se realizarán ensayos de compresión triaxial por etapas múltiples, en condiciones de drenaje impedido, con la medición de los parámetros de resistencia al corte.
- Ensayos de agresividad: ensayos químicos de suelos y aguas para determinar la agresividad del medio sobre los materiales de la construcción (hormigón, acero y fundiciones dúctiles).

En el caso de muestras o testigos de roca obtenidos de las perforaciones en roca se determinará el índice de recuperación porcentual (R), el índice de calidad de roca (RQD) y resistencia a la compresión simple.

## 5.5 Selección de sitios de sondeo

Luego de un reconocimiento detallado del área de estudio, se seleccionaron una serie de sitios para la ejecución de los estudios geotécnicos antes descriptos. Los sitios seleccionados se dividen en dos grupos, los correspondientes a depósitos de detritos, en donde se ejecutaron los ensayos de penetración, y los sitios de afloramiento de roca, en donde se efectuaron las perforaciones en roca.

En la tabla a continuación se listan las coordenadas geográficas de los sondeos realizados, de los cuales 12 puntos corresponden a ensayos de penetración y los 2 puntos restantes a perforaciones en roca.

SONDEO N°	ESTUDIO GEOTÉCNICO	COORDENADAS GEOGRÁFICO		OBSERVACIÓN
1	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 49.39" S	71° 21' 7.98" O	
2	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 49.98" S	71° 21' 10.44" O	
3	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 49.06" S	71° 21' 11.69" O	
4	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 48.53" S	71° 21' 9.76" O	
5	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 45.47" S	71° 20' 56.32" O	
6	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 45.04" S	71° 21' 3.04" O	
7	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 45.45" S	71° 21' 03.43" O	
8	ENSAYO DE PENETRACION	40° 9' 3.70" S	71° 21' 37.42" O	
9	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 56.19" S	71° 21' 23.84" O	
10	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 55.87" S	71° 21' 24.76" O	
11	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 52.83" S	71° 21' 24.25" O	Sobre acumulación al pie de afloramiento rocoso
12	ENSAYO DE PENETRACION	40° 8' 54.54" S	71° 21' 27.04" O	Sobre acumulación situada al pie de bloque

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

SONDEO N°	ESTUDIO GEOTÉCNICO	COORDENADAS GEOGRÁFICO		OBSERVACIÓN
13	PERFORACION EN ROCA	40° 8' 55.71" S	71° 21' 24.58" O	
15	PERFORACION EN ROCA.	40° 9' 04.30" S	71° 21' 39.51" O	

La ubicación geográfica de los sondeos realizados se aprecia en el Mapa N° 6 (Estudios Geotécnicos – Sondeos). Dicha ubicación se ajustó durante las tareas de campo en donde se evaluaron las condiciones del terreno, accesibilidad, desplazamiento e implantación de los equipos de perforación, afectación a estructuras y otros condicionantes.

En las Figuras 5-1, 5-2, 5-3, 5-4 y 5-5 se pueden apreciar los equipos utilizados en los trabajos de campo, así como algunos sitios de sondeos y ejecución de los ensayos.



**Figura 5-1 – Equipo de perforación**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

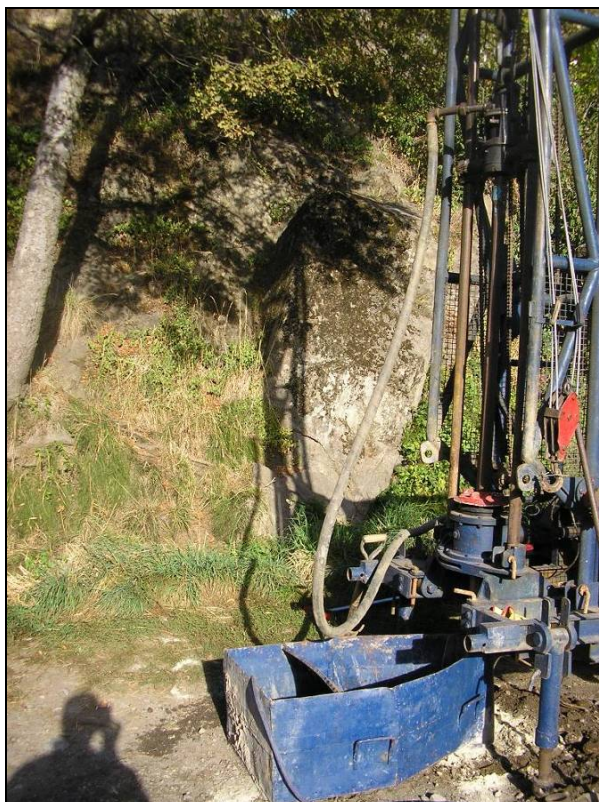


Figura 5-2 – Equipo de perforación



Figura 5-3 – Excavación manual con pala tipo vizcachera



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 5-4 – Ensayo de penetración dinámica**



**Figura 5-5 – Ensayo de penetración dinámica**

## 5.6 Resultados

El resultado de los estudios geotécnicos tiene como objetivo describir y caracterizar el perfil de suelos y afloramientos rocosos encontrados, describir una caracterización geológica y brindar los parámetros geotécnicos necesarios para diseñar y calcular las fundaciones de obras de mitigación u otras estructuras dentro de la ladera urbanizada del Cerro Curruhuinca, correspondiente a la ciudad San Martín de los Andes.

A continuación se detallan las tareas investigativas (tanto en el campo como en el laboratorio) y determinaciones de Gabinete.

### 5.6.1 Tareas de investigación

#### (a) Tareas de Campo

En el lugar de estudio se ejecutaron doce sondeos para definir el perfil de suelos y sus variaciones, y dos perforaciones en roca. Los ensayos se realizaron con un equipo de perforación manual percutiva en el suelo y con una perforadora rotativa provista de un saca testigos BX en la roca. Se perforo con trepano de corona de diamante diámetro (BX 50mm) hasta una profundidad de tres metros. Los testigos de roca fueron acondicionados en cajas de madera típicas de este tipo de ensayo para su posterior reconocimiento y análisis.

Mediante la inspección tacto visual del muestreo se limitaron los estratos que componen el perfil. Las muestras de suelo para ensayar en el laboratorio se tomaron con el avance del sondeo, simultáneamente con los ensayos de resistencia a la penetración dinámica.

Se realizó el ensayo liviano de penetración normalizado DPL según ISSMFE 1988 (Internacional Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) y DIN 4094, para valorizar la densidad relativa del material.

DPL = dynamic probing light = penetrómetro dinámico ligero.

Estos ensayos denominados DPL se relacionan directamente con el SPT, normalizado según Norma ASTM D 1586/84. Permiten conocer el grado de densidad relativa de los suelos de tipo granular. Se tomaron muestras para realizar los ensayos químicos y así poder valorar la agresividad al hormigón.

En correspondencia con los ensayos de penetración se efectuaron excavaciones manuales con pala tipo vizcachera y extracción de muestras cada metro de avance o en cada cambio de perfil. La profundidad de las perforaciones se efectuó hasta encontrar el techo de roca o rocas

mayores a 6". En todos los casos, el techo de roca se encontraba a escasa profundidad ( $< 3\text{m}$ ) y en ningún ensayo pudo detectarse presencia de nivel freático.

Los testigos de roca extraídos se colocaron mediante tiradas en cajas de madera para su traslado y posterior medición de los porcentajes de testigo recuperado y de la recuperación modificada para poder estimar el índice de calidad.

Los lugares de estudio se pueden observar en el Mapa N° 6 (Estudios Geotécnicos – Sondeos).

### **(b) Ensayos de Laboratorio**

Con los ensayos de laboratorio se completó la estratigrafía del lugar. Se siguió con los lineamientos de la norma ASTM D 2488/93.

#### **1) De clasificación:**

Granulometrías realizadas por vía húmeda con lavado en Tamiz N° 200 de la serie Tyler. Plasticidades, en la parte fina. Se clasificaron las muestras según el Sistema Unificado de acuerdo a la norma ASTM D 2487.

En roca identificación microscópica.

#### **2) De caracterización:**

Determinaciones de humedad natural y propiedades.

Medición de pesos unitarios (tanto en su condición seca como saturada) y de pesos específicos de los materiales.

En roca clasificación mediante las mediciones de la longitud de testigo recuperado y de la recuperación modificada para calcular el índice de calidad RQD.

El ángulo de fricción interna de los estratos granulares se comparó por correlación con el ensayo SPT, utilizando el gráfico de Peck, Hanson and Thornburn.

Tanto el ítem de ensayos de laboratorio como el de perfil de suelos se describen en planillas adjuntas con el detalle de los resultados de los dos sondeos.

## **5.6.2 Trabajo de Gabinete**

### **(a) Perfil de Suelo**

Como resultado de la obtención de muestras de suelo y la clasificación de las mismas puede describirse el perfil de suelos del lugar según se observa en las planillas adjuntas.

Sintéticamente se trata de un estrato desde superficie de limo arenoso y arena limosa marrón clara con una compacidad muy suelta a suelta hasta profundidades variables entre 0,30 / 0,40 mts como mínimo (donde prácticamente aflora la roca) hasta 1,80 / 2,20 mts como máximo (sectores donde está más profundo el estrato de roca). Luego se desarrolla el material cementado en formación rocosa.

En todos los ensayos de penetración el número de golpes fue bajo, denotando muy baja capacidad de carga para fundar dentro del manto de suelo; a medida que el penetrometro se aproximaba al techo de roca, la resistencia al avance se incrementaba.

Se observaron filtraciones de líquidos en varios de los sectores perforados.

### **(b) Caracterización geológica y afloramiento rocoso**

En forma general podemos caracterizar la zona dentro de la región geológica de los Andes Norpatagónicos, donde predominan las rocas ígneas paleozoicas, sedimentitas marinas - continentales triásicas – cretácicas y cubierta de suelos fluvio glaciales modernos.

En nuestro sector los afloramientos de roca ígnea corresponden a la Serie Granodiorítica del paleozoico superior, definiendo las muestras estudiadas un “granitoide” compuesto de Cuarzo (50%), Plagioclasa (20%) y Mafitos como Piroxenos y Anfíboles que podría clasificarse como “Diorita”.

Las Granodioritas, Tonalitas, Adamelitas y Granitos son rocas típicas de la serie.

Se observó una leve orientación de minerales prismáticos, finas vetas de Cuarzo, superficie de fracturas tipo diaclasas y una leve meteorización superficial de carácter químico (óxidos e hidróxidos de hierro).

Los minerales de la muestra, holocristalino, están desarrollados en 1 a 6 mm.

La roca es fresca, densa (con un valor de peso específico de  $2,68 \text{ gr/cm}^3$ ) y de alta resistencia (con valor promedio en los ensayos de compresión de más de  $1.200 \text{ kg/cm}^2$ ).

### **Parámetros de la Roca**

Identificación: se trata de una roca ígnea de la familia de la Diorita y el Granito.

Clasificación: según su estructura y estado se clasificó en roca sana con leve meteorización química superficial.

Peso específico:  $G = 2,68 \text{ tn/m}^3$ .

Resistencia a la compresión simple promedio:  $1.260 \text{ kg/cm}^2$ .



Índice de recuperación total:

En testigo completo = 91%

En testigo cortado (por posible fractura tipo diaclasa) = 75%

Índice de calidad (RQD):

En testigo completo = 76%

En testigo cortado = 58%

### **(c) Alternativas de fundación para obras de contención ó mitigación**

De acuerdo al perfil de suelo y roca encontrados, sería posible fundar cualquier estructura de sostenimiento, contención ó mitigación dentro del estrato rocoso pasando la zona superficial de roca levemente meteorizada que se debe descartar.

Es necesario en estos casos diseñar un sistema de anclajes entre el cimiento y el macizo rocoso en pendiente y también (ante la posible presencia de grietas tipo diaclasas) la utilización de banderillas de anclaje perpendiculares a la pendiente del terreno bajo el nivel de fundación (ver croquis).

### **(d) Parámetros geotécnicos y capacidades de carga**

Tipo de cimentación: Placa ó zapata de hormigón armado.

Profundidad de fundación:

D = Variable según el sector, dentro del estrato rocoso.

Según los sondeos realizados la variación es entre 0,30 y 2,20 mts. (referido al terreno natural).

Se deberá verificar que penetre en la roca.

Presión admisible:

El valor es muy alto por cualquiera de las metodologías de estimación del mismo.

Si tomamos como referencia el Uniform Building Code se fija la carga admisible como un porcentaje de la resistencia a la compresión simple, siguiendo el criterio de Parsons.

Según Teng las cargas admisibles usuales oscilan entre el 20 y el 12,5% de la resistencia a rotura en compresión simple en probeta cilíndrica (testigos de sondeos).

En nuestro caso aunque se tome el menor valor obtenido de los ensayos para cubrir la posibilidad que en la obra quede algún sector con presencia de la roca levemente meteorizada, la tensión admisible supera los 100 kgs/cm<sup>2</sup>.

Recomendaciones Geotécnicas:

En estos casos sugerimos como imprescindible estudiar en detalle el sistema de drenaje.

Respecto a la estructura de sostenimiento ó contención podría utilizarse un método sencillo como lo constituyen los mechinales que consisten normalmente en caños ó agujeros rectangulares que la atraviesan de lado a lado.

Deben complementarse con cuneta al pie de la estructura para recolectar el agua y que no se infiltre en el terreno.

También puede utilizarse un dren interno longitudinal paralelo a la estructura y extendido en toda su longitud con pendiente del orden del 2% para desaguar en un punto bajo adecuado.

La disposición de drenaje más conveniente es la inclinada siguiendo la pendiente base del terreno tal que genere un flujo vertical en el relleno y no produzca un aumento de empuje sobre la estructura por presión de filtración.

Recomendamos realizar “cuñas” de drenaje en la ladera natural arriba y dentro de la urbanización tal que no se acumule el agua y los líquidos porque podrían dar lugar a una importante carga hidráulica, potencialmente peligrosa para la zona y para la obra de contención.

Y en referencia al material de relleno en los sectores donde haga falta, lo ideal es un suelo granular con pocos finos que ayude al diseño de drenaje de todo el sistema.

#### **(e) Recomendaciones para excavaciones y cálculo de presión lateral**

Presión para diseño de entibaciones:

$$P_a = 0,65 * K_a * \gamma * z \quad (\text{t/m}^2).$$

Sobrecarga Q (si la hubiera):

$$P_{aq} = K_a \cdot Q$$

Diagramas uniformes.

$$K_a = 0,35.$$

$$\gamma = 2,05 \text{ tn/m}^3.$$

z = profundidad en metros

**(f) Ensayos de agresividad al hormigón**

Se realizaron según las Normas CIRSOC 201. En las muestras ensayadas los valores de sales totales y sulfatos son menores a los máximos permitidos, con una cantidad de cloruros moderada. Por lo tanto no se deberán tomar precauciones especiales con el cemento.

Tipo de cemento = Común, con  $AC3 \leq 8\%$ .

Relación agua / cemento = Menor a 0,50.

## **6 Estudio Hidrológico**

### **6.1 Descripción general del área y objetivos**

El estudio se desarrolla en el sector norte de la ciudad de San Martín de los Andes, en las cuencas de aportes al faldeo Norte del casco urbano, comprendiendo a los barrios ubicados sobre la ladera del cerro Curruhuinca.

Este trabajo tiene por finalidad actualizar el estudio hidrológico de las cuencas de drenaje mencionadas, determinando caudales máximos e hidrogramas a ser utilizados en el desarrollo del proyecto.

El régimen de escurrimiento de las cuencas en estudio es de tipo pluvio – nival. Las características climáticas de la zona están fuertemente influenciadas por la orografía, originando el desarrollo de vegetación típica de los bosques andino - patagónicos. El clima es de tipo templado – húmedo, con temperaturas medias de 10° C y variaciones estacionales que van desde 16° C en los meses más cálidos (Ene-Feb) hasta 3.5° C de media en los meses más fríos (Jun-Jul).

La humedad relativa ambiente es en promedio el 70%, siendo el mes más seco Enero y el más húmedo Junio.

Las precipitaciones se originan básicamente debido al movimiento de masas de aire húmedo que se desplazan desde el anticiclón del Pacífico, descargando sobre la cordillera de los Andes. Asimismo es posible también la presencia de precipitaciones por ascenso orográfico debido a vientos del Este.

Las precipitaciones anuales resultan son más abundantes hacia el oeste de la región, disminuyendo paulatinamente al este, alcanzando en San Martín de los Andes unos 1400 mm anuales. Estas precipitaciones se concentran fuertemente en el período Mayo – Setiembre (fin de otoño – invierno), en el cual se tiene un 70% del total anual.

Teniendo en cuentas las variables que mayor influencia tienen en el balance hídrico superficial (bajas temperaturas e importantes precipitaciones), se tiene que en dicho período el suelo se encuentra saturado.

El cerro Curruhuinca presenta fuertes pendientes (valores medios entre el 12 – 50%), con abundante vegetación de bosque. Debido a estas fuertes pendientes los tiempos de concentración de las cuencas varían entre unos pocos minutos hasta aproximadamente 20 minutos en las cuencas de mayor área.

El bosque está constituido por Coihues y Roble pellín, especies que en estado adulto llegan hasta 30-40 m de altura. Esta comunidad de bosque mixto está asociada a un sotobosque de arbustos y herbáceas que tienen escasa cobertura vegetal.

Los suelos característicos del faldeo son mezclas de arenas, detritos de roca de variados tamaños y limos, variando los porcentajes en los que se integran, así como también coexisten afloramientos rocosos.

En la franja inferior del cerro se han desarrollado una serie de barrios, aún en áreas de gran pendiente.

Sobre este medio se desarrollan precipitaciones que originan incrementos abruptos en los caudales de los pequeños cursos en que son trasladados. Estos escurrimientos, según la zona en la que se producen, pueden estar acompañados de un importante arrastre y transporte de sedimentos.

## **6.2 Recopilación de información**

### **6.2.1 Estudios Hidrológicos**

- Estudio hidrológico de cuencas aluvionales en la Provincia del Neuquén y curvas generalizadas para el cálculo hidráulico de estructuras viales. INCYTH-CRA, Buenos Aires, 1980
- Estudio de cuencas aluvionales de la provincia de Neuquén – INCYTH (CRA). año 1976.
- Plan Maestro de desagües pluviales y de desagües cloacales de San Martín de los Andes. Team – Cowi, año: 1997.
- Actualización de aspectos hidrológicos del plan director de manejo de aguas pluviales de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Consejo Federal de Inversiones - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL). 2007.

### **6.2.2 Información Planialtimétrica**

- Planialtimetría Plano Microcuencas Hidrológicas Faldeo Norte – PROMEBA. 03/2003, E: 1:12500. Contiene curvas de nivel cada 25 metros y delimitación de cuencas.

- Planialtimetría Plano RP-01-1, Área de Intervención. Faldeo Cerro Curruhuinca – PROMEBA 10/2003, E: 1:2500. Contiene curvas de nivel cada 25 metros y delimitación de cuencas.
- Carta IGM, hoja S. M. Andes, E=1:50000 año 1937. Curvas de nivel con equidistancia 25m.

### **6.2.3 Información Aerofotográfica y Satelital**

- Fotografías aéreas. Escala =1:20.000, de 1994. SMA-CFI
- Imágenes satelitales Landsat – Conae, 2004.
- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) que fue desarrollado por el Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) de Japón y United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Resolución: 30m.

### **6.2.4 Información de Tipo y Uso de Suelos**

- Mapa de Suelos de la República Argentina (INTA), 1995.

### **6.2.5 Información General**

- Informe Riesgos Geológicos. Faldeos del Curruhuinca. San Martín de los Andes. Neuquén. Programa mejoramiento de Barrios. Préstamo BID 940 OC. (Lic. Horacio F. Matarasso – Lic. Gonzalo Salaberry. Diciembre 2006).

## **6.3 Modelo de transformación lluvia - caudal**

El modelo “HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) v.3.1.0.” desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers fue utilizado para transformar eventos de precipitación en caudales. Su aplicación es muy flexible y permite la selección de diferentes métodos para determinar las pérdidas al escurrimiento, el hidrograma de escurrimiento directo y el flujo base en cada cuenca, así como el traslado de estos hidrogramas a través de ríos, canales o lagos, su suma o derivación hacia otras cuencas, entre otras posibilidades.

Entre los métodos posibles de aplicar para obtener caudales, el método del hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos fue seleccionado (US SCS), el

cual tiene un único parámetro ( $T_p$ ) dependiente del tiempo de concentración de la cuenca en estudio.

Para determinar las pérdidas al escurrimiento, se utiliza el método del Número de curva CN, del servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos. Se adoptó un valor ponderado del parámetro CN en función de las características de la zona: tipo de suelo, cobertura y la presencia de condiciones favorables (o no) para la infiltración.

Para el aporte en tramo de las cuencas urbanas entre la ladera del cerro y la desembocadura en el Pocahullo. Dada la pequeña influencia relativa de estas cuencas frente a los caudales provenientes del cerro Curruhuinca, se optó por aplicar el método racional para estimar los caudales picos provenientes del área urbana. Las hipótesis básicas del método racional son satisfechas en el presente caso, y tiene la ventaja de ser extremadamente simple de aplicar. La ecuación básica del método propone

$$Q_p = C.i.A / 360$$

Donde  $Q_p$  = caudal pico, en  $m^3/s$

$C$  = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

$i$  = Intensidad de lluvia (en  $mm/hr$ ) para una duración de tormenta igual o mayor al tiempo de concentración de la cuenca

$A$  = Área de la cuenca, en hectáreas

Se adoptó un valor de  $C$  igual a 0.8 (relativamente conservativo, ya que corresponde a techos y zonas asfaltadas) y una intensidad de lluvia correspondiente a 30 minutos de duración (coincidente con las tormentas adoptadas para las cuencas del cerro), para cada período de retorno considerado.

#### **6.4 Determinación de Cuencas y Subcuencas. Características Físicas**

Las cuencas hidrológicas en la ladera del cerro Curruhuinca presentadas en la versión anterior del presente informe (Junio 2009) fueron refinadas en base a nuevos datos provenientes de visitas de campo y curvas de nivel derivadas del modelo digital del terreno de la NASA. Las principales diferencias entre la versión previa y la actual consisten en la modificación de la subdivisión de las cuencas C1a y C1b (resultando ahora la subcuenca C1a significativamente mayor que la C1b), la separación de la cuenca C4 en dos subcuencas (C4a y C4b), el corrimiento del límite de cuenca que separa las cuencas C6 y C7 y, finalmente, el refinamiento

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

de las cabeceras de las cuencas, resultando en un leve incremento de la suma total de área de cuencas (304Ha versus 288Ha de la versión previa).

El mapa 7a (“Cuenca de aporte en la ladera sur del cerro Curruhuinca”) presenta las nuevas cuencas y subcuencas, cuyos parámetros físicos se detallan a continuación.

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (ha)	L (Km)	Sm (%)	CN II	CN III
C1	C1a	67.6	2.15	32%	78	89
	C1b	6.8	0.58	55%	78	89
C2	C2	55.3	2.04	33%	78	89
C3	C3	5.7	0.44	47%	82	91
C4	C4a	5.0	0.67	45%	78	89
	C4b	39.6	1.45	43%	78	89
C5	C5	14.9	0.77	46%	79	90
C6	C6	36.9	1.43	33%	78	89
C7	C7a	66.0	1.82	22%	78	89
	C7b	5.9	0.64	26%	78	89

**Parámetros Físicos Cuencas**

Donde:

L: longitud del curso principal

Sm: pendiente media de la cuenca

CN II. Curva número adoptada para condición de humedad antecedente II (promedio)

CN III. Curva número adoptada para condición de humedad antecedente III (húmedo) A su vez, a los fines del dimensionamiento de los conductos pluviales, es necesario considerar los aportes en tramo, en este caso correspondiente al área urbana entre la ladera del cerro y la desembocadura en el Pocahullo. Las cuencas urbanas determinadas pueden verse en el mapa 7b (“Cuencas de aporte en casco urbano norte”). La siguiente tabla resume el área de aporte de las subcuencas urbanas, separadas por tramo de conducto pluvial al que aportan.

SUBCUENCA	ÁREA [HA]
Perfil 2 Tipo 2	5.09
Perfil 3 Tipo 2	1.80
Perfil 4 Tipo 2	1.66
Perfil 4 Tipo 3	10.75
Perfil 5 Tipo 3	3.18



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

SUBCUENCA	ÁREA [HA]
Perfil 5 Tipo 4	4.67
Perfil 5 Tipo 5	5.63
Perfil 6 Tipo 4	0.36
Perfil 7 Tipo 2	1.29
Perfil 7 Tipo 3	4.47

#### 6.4.1 Características de los suelos y su cobertura

Los valores de CN dependen del grupo de suelo y del uso del mismo. En las cuencas se observan tres tipos básicos:

- áreas cubiertas con bosques (mayor porcentaje)
- áreas cubiertas con pastizales
- áreas urbanizadas (sector inferior)

Teniendo en cuenta que la pendiente del terreno incrementa el potencial de escurrimiento, los grupos de suelo que se desarrollan en las cuencas en estudio, acordes a la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, pueden ser considerados del tipo C (alto potencial de escurrimiento) y del tipo D (muy alto potencial de escurrimiento). Estos últimos corresponden a zonas con rocas aflorantes o a muy poca profundidad y a suelos finos saturados.

Las Tablas completas para determinación del CN se pueden obtener a partir del NRCS (ex SCS) de los Estados Unidos, de la publicación “Urban Hydrology for small watersheds (TR-55)”, o de sus traducciones realizadas por el INCYTH, o en forma resumida en Chow (1993).

Se realizó asimismo un análisis del grado de urbanización que presentan las cuencas. La tabla adjunta presenta una estimación del porcentaje (%) de área urbanizada en cada cuenca (no debe interpretarse urbanizada como impermeabilizada respecto al escurrimiento).

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (ha)	% ÁREA URBANIZADA
C1	C1a	67.6	1.23	1.8%
	C1b	6.8	0.06	0.8%
C2	C2	55.3	1.44	2.6%
C3	C3	5.7	2.24	39.3%
C4	C4a	5.0	0.21	4.2%
	C4b	39.6	0.75	1.9%
C5	C5	14.9	3.41	22.9%

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (ha)	% ÁREA URBANIZADA
C6	C6	36.9	1.07	2.9%
C7	C7a	66.0	0.80	1.2%
	C7b	5.9	0.00	0.0%

Se observa que en general el % de urbanización respecto a la cuenca es sumamente bajo, a excepción de las subcuencas C3 y C5.

Teniendo en cuenta las importantes pendientes que se desarrollan y las restricciones existentes en la ciudad de San Martín de los Andes (viabilidad ambiental de nuevos proyectos), se asume que el crecimiento de los barrios hacia las zonas superiores de estas cuencas será prácticamente nulo. No obstante, y producto del propio desarrollo de las urbanizaciones es altamente probable que se incremente el porcentaje de impermeabilización en las zonas actualmente ocupadas.

A efectos de analizar un valor probable de urbanización futura (dentro de las zonas urbanizadas), se adoptó una impermeabilización total futura del 60% en las áreas urbanas.

En función de las consideraciones realizadas se utilizó un valor del parámetro CN ponderado para cada cuenca y subcuenca, los cuales se presentan en la Tabla de características físicas de cuencas.

Para el cálculo de las cuencas urbanas (a través del método racional) se adoptó un valor de C igual a 0.8.

#### 6.4.2 *Tiempos de concentración*

Para la estimación de los tiempos de concentración asociados a cada cuenca, se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Kirpich

$$t_c = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

L = longitud de curso principal (pies)

S = pendiente del canal (m/m)

- Tiempos de traslado

$$t_c = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

tsheet = suma de tiempo de traslado en segmentos de flujo laminar sobre la superficie de la cuenca =  $0.007 * (N * L)^{0.8} / ((P2)^{0.5} * S^{0.4})$

L= longitud de escurrimiento

P2= precipitación de 24hs y 2 años de recurrencia (pulgadas)

S= pendiente

N= rugosidad del flujo superficial

tshallow = suma de tiempos de traslado en segmentos de flujo de bajo tirante =  $L_s / V_s$

$V_s = 16.1345 * S^{0.5}$  = velocidad promedio en superficies no pavimentadas

tchannel = suma de tiempos de traslado en segmentos de canal =  $L_c / V_c$

Lc = longitud del canal / curso

Vc = velocidad media (ecuación de Manning)

- Ecuación de Epsey-Winslow

$$tc = 4.096 * L^{0.23} * S^{-0.25} * I^{-0.18} * \Phi^{1.57}$$

donde tc = tiempo de concentración (minutos)

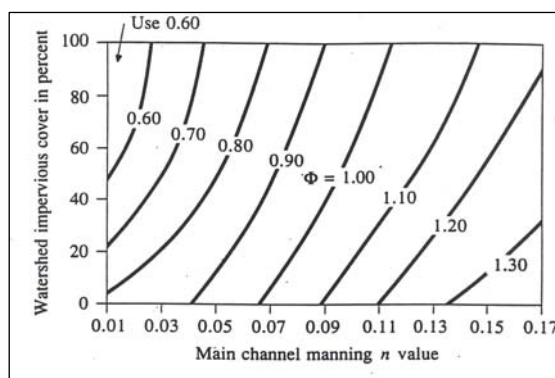
L = longitud hidráulica del canal principal (m)

S = pendiente del canal principal (m/m)

I = la porción de la cuenca que puede ser considerada impermeable (%)

$\Phi$  = factor adimensional (watershed conveyance factor)

La representación gráfica de  $\Phi$  se muestra en la Figura 6.1 en función de la rugosidad del canal ("n" coeficiente de Manning).



**Figura 6-1 – Epsey Winslow Watershed Conveyance Factor ( $\Phi$ )**



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

La tabla adjunta presenta la estimación de tiempos de concentración, en base a las expresiones de Kirpich, tiempos de traslados del SCS y Epsey Winslow.

**ESTIMACION DE TIEMPOS DE CONCENTRACION - cerro CURRUHUINCA**

DENOMINAC. DE LA CUENCA	AREA	LONGITUD	DESNIVEL	tc por KIRPICH	tc por tiempo de traslado	tc por Epsey Winslow	tc adopt.	lag time
	[Ha]	[m]	[m]	[min]	[min]	[min]	(min)	[min]
<b>C1a</b>	67.6	2150	680	11.2	24.4	16.4	17.3	10.4
<b>C1b</b>	6.8	577	315	3.3	11.9	10.6	8.6	5.2
<b>C2</b>	55.3	2043	675	10.6	23.5	15.9	16.7	10.0
<b>C3</b>	5.7	437	205	2.8	11.6	7.5	7.3	4.4
<b>C4a</b>	5.0	674	300	4.0	13.3	11.3	9.6	5.7
<b>C4b</b>	39.6	1450	630	7.3	18.3	13.8	13.1	7.9
<b>C5</b>	14.9	765	350	4.4	13.8	9.5	9.2	5.5
<b>C6</b>	36.9	1429	465	8.1	19.6	14.7	14.1	8.5
<b>C7a</b>	66.0	1817	405	11.3	24.4	17.3	17.6	10.6
<b>C7b</b>	5.9	642	170	4.7	15.5	13.1	11.1	6.7

Se adoptó como representativo un valor promedio entre las estimaciones, el cual resulta en general muy similar al obtenido por la expresión de Epsey – Winslow. Esta expresión tiene como ventaja respecto a las anteriores el utilizar en forma explícita un factor que depende del porcentaje de impermeabilidad de la cuenca, lo cual resulta muy útil para evaluar el impacto hidrológico de nuevas urbanizaciones.

## 6.5 Análisis de las Precipitaciones

### 6.5.1 Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia

En el Plan Maestro de desagües pluviales y cloacales de la ciudad de San Martín de los Andes (2003), se utilizaron curvas intensidad-frecuencia-duración (I-F-D) elaboradas específicamente para San Martín de los Andes por el Ing. Rühle.

Se presenta como lluvia de diseño la definida por la siguiente tabla, donde se expresan las intensidades en milímetros por hora para distintas duraciones de tormentas y recurrencias:

RECURRENCIA (años)	1 HORA mm/h	2 HORAS mm/h	3 HORAS mm/h
2	21	14	11,5
5	27	18	14
10	30	21	16
25	34	24	19
50	38	26	20,5
100	42	28	22

Se propone la siguiente expresión, para recurrencias de 2, 5 y 10 años:

$$I = \frac{2.256,76 * R^{0,2427}}{(d + 65,28)}$$

donde:

**I:** intensidad de la lluvia en mm/h

**R:** recurrencia en años.

**d:** Duración de la lluvia en minutos

Por otra parte, en forma reciente, el Departamento Provincial de Aguas (DPA) de Río Negro a través de un convenio con el Consejo Federal de Inversiones (CFI, 2007) elaboró curvas IDF a partir de registros en intervalos cortos de tiempo para la ciudad de San Carlos de Bariloche, estando ubicado dicho instrumento en una zona cuyo clima puede considerarse similar al de San Martín de los Andes. Se ajustaron ecuaciones del tipo:

$$I=A/(d+B)^C$$

donde:

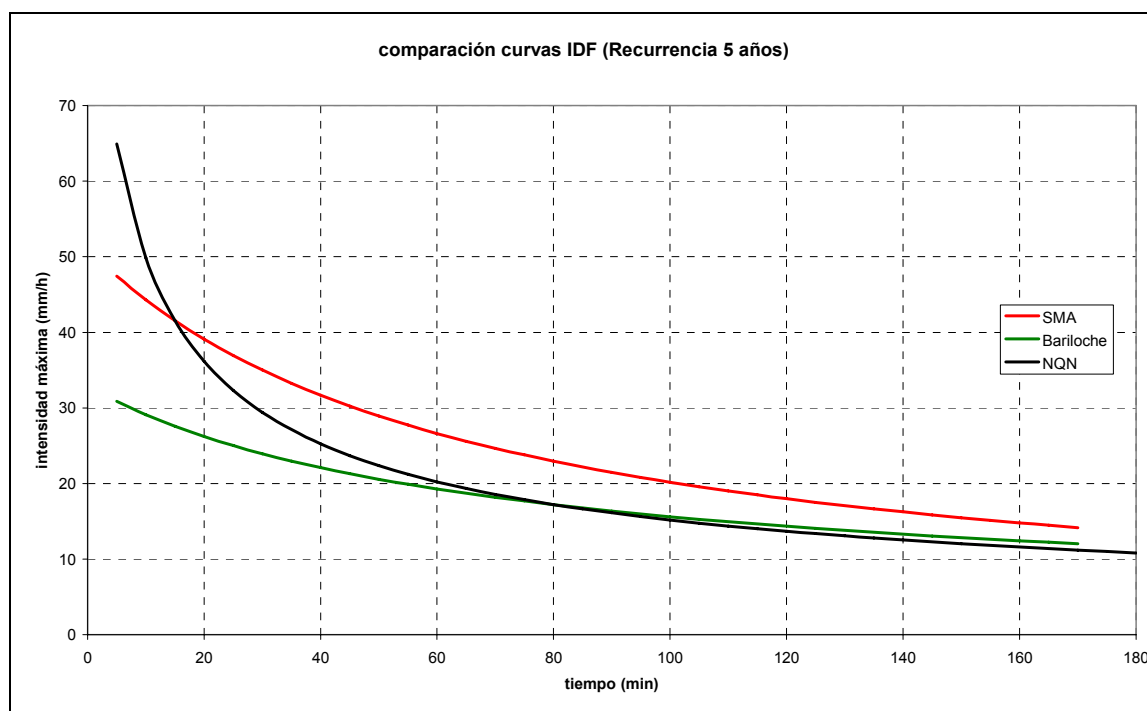
**A, B, C:** coeficientes

**I:** intensidad (mm/h)

**d:** duración (minutos)

COEFICIENTE	T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años
<b>A</b>	93.40	471.62	962.46
<b>B</b>	23.62	50.09	57.95
<b>C</b>	0.42	0.68	0.78

En la Figura 6-2 se presenta una comparación entre las expresiones analíticas para 5 años de recurrencia.



**Figura 6-2 – Comparación de curvas IDF**

Se ha incluido a efectos comparativos el modelo I-D-F propuesto por estudios de la Universidad del Comahue, (Rapacioli y otros (1999)), para la ciudad de Neuquén. Las relaciones para la ciudad de Neuquén responden a un patrón de lluvias diferentes, donde los eventos convectivos son los de mayor relevancia.

Teniendo en cuenta el análisis comparativo realizado, donde para duraciones de 30 minutos las intensidades determinadas para San Martín de los Andes son mayores, y no teniendo otros elementos de juicio a considerar, se utilizará la ecuación que se propone en el Plan Maestro.

### 6.5.2 Tormenta de proyecto

Las características de las precipitaciones regionales muestran que se producen situaciones de lluvia que pueden abarcar largos períodos de tiempo, incluso de 2, 3 o más días de duración, en algunos casos con lluvias débiles y persistentes. También en ciertos casos se suceden eventos lluviosos de varias horas de duración, con interrupciones y variaciones importantes del monto de lluvia entre evento y evento.

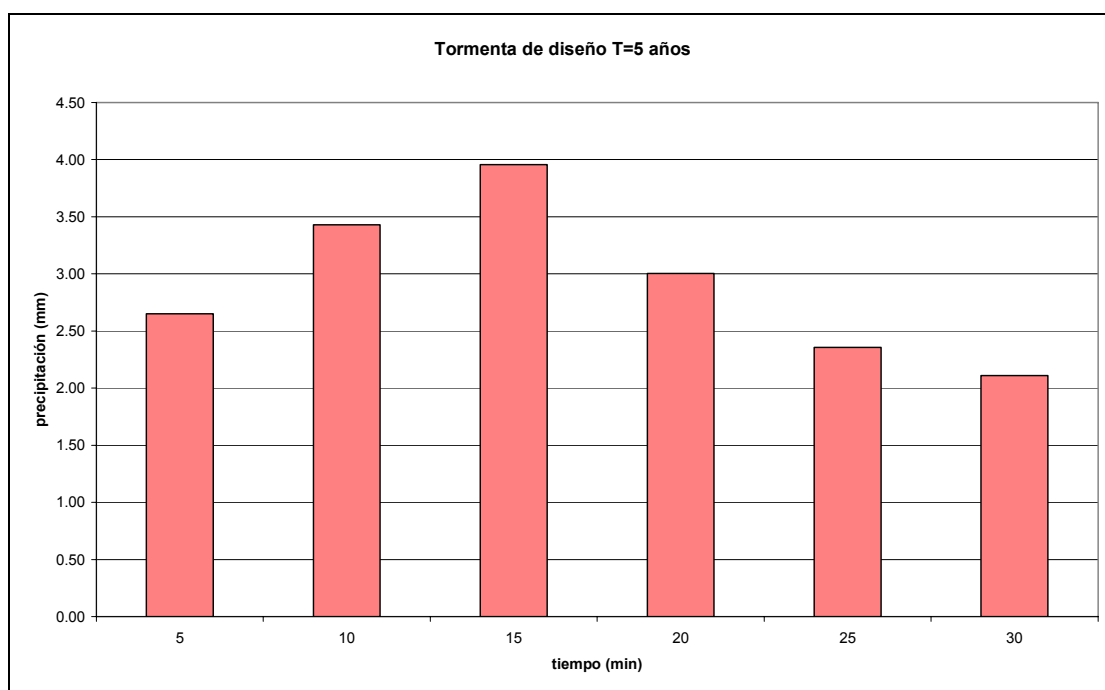
Análisis del patrón temporal de tormentas realizados en Bariloche muestran una distribución relativamente centrada del valor máximo de las tormentas con respecto a su duración.



Teniendo en cuenta lo mencionado previamente y los tiempos de concentración de corta magnitud existentes, en todos los casos menores a media hora, se tomaron las siguientes consideraciones para definir al evento de diseño:

- Tormenta con patrón temporal definido por el método de bloques alternos (Chow, 1994), para una duración de la tormenta de 30 minutos, de manera de asegurar que se supere el tiempo de concentración de las cuencas involucradas.
- El pico de la tormenta de diseño se ubicó en un 50% de la duración total de la misma.
- Condición de humedad antecedente tipo III (suelo húmedo al momento de producirse la tormenta)
- No se aplica coeficiente de abatimiento areal de tormentas, debido a que las áreas de estudio son mucho menores a los límites establecidos para aplicar este coeficiente (5 a 10km<sup>2</sup>)

En la Figura 6-3 se presenta la tormenta de proyecto adoptada para 5 años de recurrencia.



**Figura 6-3 – Tormenta de diseño para una recurrencia de 5 años**

## 6.6 Determinación de caudales máximos

Se realizaron simulaciones del modelo con el objetivo de obtener caudales máximos producto del escurrimiento de tormentas de recurrencias T= 2, 5 y 10 años.

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

La Tabla adjunta presenta caudales pico en puntos característicos (ver Mapa N° 7a – Cuencas de Aporte en ladera sur del cerro Curruhinca), para una tormenta de 30 minutos de duración sobre la cuenca.

CUENCA	SUBCUENCA	Qmax T= 2 años (m <sup>3</sup> /s)	Qmax T= 5 años (m <sup>3</sup> /s)	Qmax T= 10 años (m <sup>3</sup> /s)
C1	C1a	0.82	1.50	2.24
	C1b	0.11	0.18	0.27
	suma	0.90	1.65	2.47
C2	C2	0.68	1.25	1.86
C3	C3	0.13	0.20	0.28
C4	C4a	0.08	0.13	0.19
	C4b	0.54	0.98	1.44
	suma	0.62	1.11	1.63
C5	C5	0.27	0.46	0.65
C6	C6	0.49	0.89	1.31
C7	C7a	0.79	1.45	2.17
	C7b	0.09	0.15	0.22
	suma	0.87	1.60	2.38

**Caudales máximos estimados (m<sup>3</sup>/s) cerro Curruhuinca – método SCS**

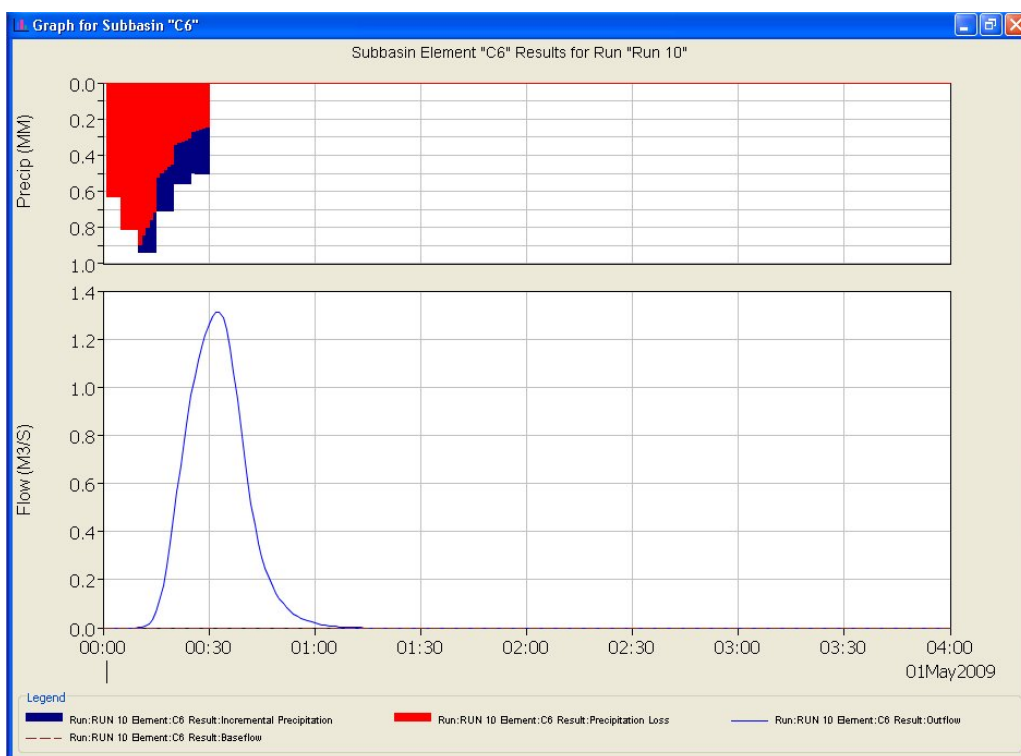
Los caudales máximos indicados en la Tabla anterior representan el escurrimiento directo, debiéndoseles incorporar un flujo base cuya magnitud será dependiente de la época del año, pero que en virtud de las observaciones realizadas en las visitas alcanzan sólo a valores del orden de 0.02 m<sup>3</sup>/s en las cuencas de mayor área.

Debe tenerse en cuenta que las recurrencias utilizadas pueden resultar apropiadas para el diseño de obras de drenaje urbano, siempre y cuando la superación de las mismas no implique riesgos hacia las viviendas cercanas. Para el caso de requerirse obras de defensa u de otro tipo, resultará apropiado obtener caudales para recurrencias más importantes.

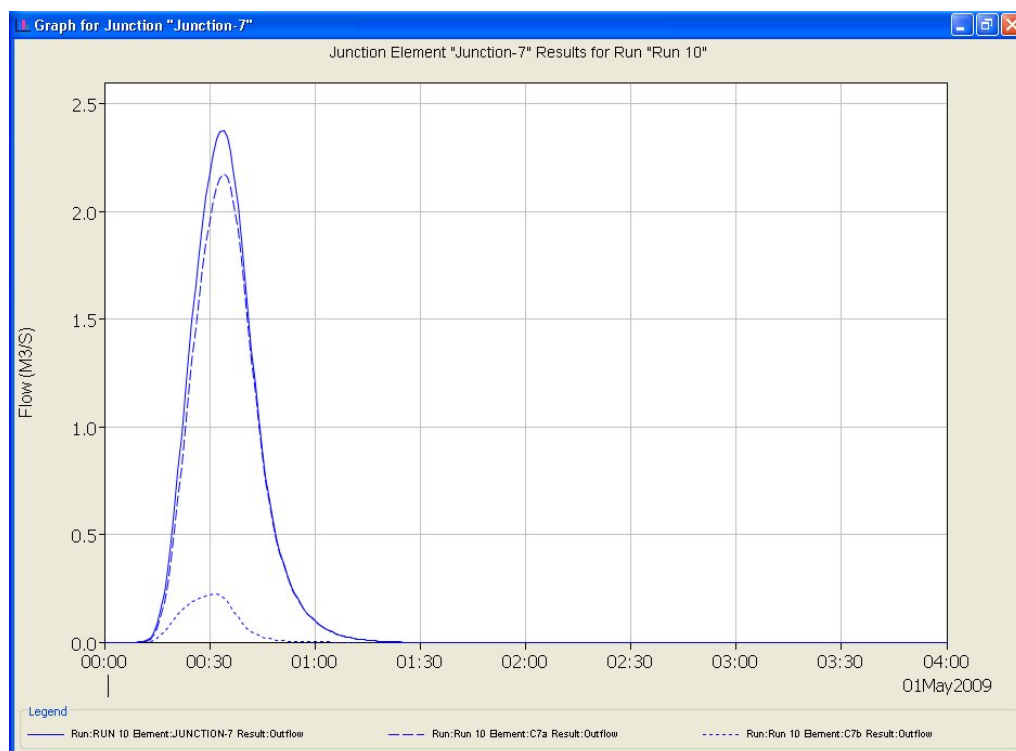
Los caudales pico totales (“suma”) de las cuencas subdivididas (cuencas 1, 4 y 7) en algunos casos no coinciden con la suma algebraica de los picos de las respectivas subcuencas, ya que éstos picos no ocurren necesariamente en simultáneo.

En las Figuras 6-4 y 6-5 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos de las corridas en HMS.

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 6-4 – Hidrograma e Hietograma T= 10 años cuenca C6**



**Figura 6-5 – Hidrograma T= 10 años cuenca C7 (C7a + C7b)**



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

La siguiente tabla muestra los caudales máximos correspondientes a las cuencas urbanas, calculadas mediante el método racional descrito (ver Mapa N° 7b – Cuencas de Aporte en casco urbano norte).

SUBCUENCA	ÁREA [ha]	Qp [m³/s]		
		2 años	5 años	10 años
Perfil 2 Tipo 2	5.09	0.32	0.40	0.47
Perfil 3 Tipo 2	1.80	0.11	0.14	0.17
Perfil 4 Tipo 2	1.66	0.10	0.13	0.15
Perfil 4 Tipo 3	10.75	0.67	0.84	0.99
Perfil 5 Tipo 3	3.18	0.20	0.25	0.29
Perfil 5 Tipo 4	4.67	0.29	0.36	0.43
Perfil 5 Tipo 5	5.63	0.35	0.44	0.52
Perfil 6 Tipo 4	0.36	0.02	0.03	0.03
Perfil 7 Tipo 2	1.29	0.08	0.10	0.12
Perfil 7 Tipo 3	4.47	0.28	0.35	0.41

## **7 Estudio de Riesgo Geológico**

### **7.1 Objetivos y alcance del estudio**

El presente estudio tiene los siguientes objetivos:

- Definir zonas de localización de riesgos geológicos del tipo Remoción en masa, Inundación, Sísmico, Volcánico, Erosión y Acumulación fluvial que están presentes en el faldeo Sur del Cerro Curruhuinca, determinando su tipología, dinámica, recurrencia e importancia.
- Caracterizar la vulnerabilidad ambiental de las obras existentes sobre las unidades de paisaje ante los riesgos geológicos identificados, específicamente los relacionados con Remoción en masa, Inundación, Erosión y Acumulación fluvial.
- Obtener una cartografía temática que permita el manejo ambiental de la peligrosidad geológica detectada y la planificación y ordenamiento urbano del polígono de acción del PROMEBA.

### **7.2 Ubicación de las observaciones realizadas**

Con la finalidad de resolver el objetivos planteados, se realizaron estudios de detalle de gabinete y de campo sobre la sección inferior del faldeo Sur del Cerro Curruhuinca, área sobre la cual esta situado el polígono de acción del PROMEBA. Este estudio se extendió además sobre zonas aledañas, especialmente hacia la zona superior del valle, con la finalidad de contener al polígono referido en el marco geológico general e individualizar posibles procesos dinámicos destructivos que pudiesen provenir desde las cotas mas elevadas.

### **7.3 Metodología**

El estudio se concreto mediante las siguientes tareas de gabinete y de campo.

Una primera etapa de gabinete consistió en la recopilación de publicaciones e informes inéditos existentes, su análisis crítico y su validación a los fines de la presente evaluación.

En este sentido, entre los antecedentes más relevantes sobre la estratigrafía del sitio se consulto la siguiente información: Turner ((1965,1973); Turner y Cazau (1978); Caminos y Llambias (1984); Dalla Salda et al., (1990a); Dalla Salda et al (1991 y Dalla Salda et al (1999).

Además de la revisión referida, y formando parte de las tareas de gabinete, se efectuó el análisis e interpretación geológica de la comarca, específicamente dirigido a la peligrosidad geológica que presenta. Esta actividad se realizó mediante el uso de imágenes satelitales digitales multibanda del tipo Landsat TM y fotografías aéreas estereoscópicas. En este último caso se utilizaron los registros de dos vuelos, uno realizado en 1969 por el IGM, a una escala 1:60.000 y el restante realizado en 1994 por el CFI, a una escala 1:30.000.

El procesamiento digital y el posterior análisis e interpretación de las imágenes satelitales y las fotografías aéreas a escala 1:60.000 permitió obtener el marco geológico general en el cual se sitúa el faldeo Sur del Cerro Curruhuinca.

Por su parte, el análisis e interpretación realizado sobre las fotografías aéreas estereoscópicas a escala 1:30.000 permitió definir las características geológicas de detalle que están presentes en el faldeo Sur del Cerro Curruhuinca y sus áreas aledañas sobre el cual está situado el polígono de acción del PROMEBA. El referido análisis fue realizado mediante un estereoscopio de espejos, tarea que permitió obtener la cartografía temática preliminar utilizando como base de mapeo a las referidas fotografías aéreas.

A continuación se realizaron dos etapas de estudios de campo durante los cuales fue validada y completada la cartografía temática preliminar, mediante la realización de observaciones locales de detalle sobre las rocas y acumulaciones existentes. Durante estos estudios se realizó, además, la toma de muestras, se midieron perfiles, se identificaron y establecieron los parámetros estructurales de los sistemas de fracturación, se reconocieron las características geomórficas del paisaje, especialmente las relacionadas con movimientos de remoción en masa, y se fotografiaron los ambientes geológicos más representativos y destacados.

A partir de la información recogida durante las actividades de campo indicadas, en una segunda etapa de estudios de gabinete se elaboró la cartografía temática definitiva y la presente memoria técnica.

## **7.4 Geología**

### **7.4.1 Marco geológico general**

En la comarca general abarcada por esta investigación, la cual contiene al área de estudios de detalle correspondiente al polígono de acción de PROMEBA, las unidades de mayor antigüedad son las rocas graníticas de edad pre-Carbónica, las que se presentan según diferentes tipos entre los que se destacan: granitos, granodioritas, tonalitas, migmatitas,

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

esquistos y filitas cuarzosas. Los afloramientos más sobresalientes se localizan en la mayor parte del lateral derecho del valle, sobre la pendiente Sur del Cerro Curruhuinca, sector en el cual estas rocas están parcialmente cubiertas por acumulaciones clásticas mas modernas.

Previa relación discordante y sobre un paisaje erosivo labrado sobre las referidas unidades líticas, se apoyan los depósitos de origen glaciario de edad pleistocena. Estas unidades glaciogénicas son de variada topología y baja compactación. Se destacan como los depósitos de mayor desarrollo los niveles de till alojado compuesto de fracciones clásticas de granulometría variable que va desde arcillas y limos hasta arenas gruesas, en las cuales están inmersos bloques aislados de dimensiones métricas. En menor porcentaje están presentes acumulaciones de till de ablación, integrado de bloques y gravas gruesas en las cuales las arenas y limos están en menor proporción. En algunas secciones se observa, en cambio, acumulaciones glaciogénicas complejas en las cuales, acompañando al till alojado y al till de ablación, se interestratifican depósitos glacialacustres y glacialfluviales, estando en general todo el conjunto deformado por empuje glaciario. En estas últimas acumulaciones los depósitos lacustres son de granulometría variable, con estratificación paralela de fina laminación cíclica, que grada desde limo arcilloso a arena fina, mientras que los bancos glacialfluviales están integrados de arenas y gravas medianas y gruesas, con estratificación entrecruzada a paralela.

Las acumulaciones modernas postglaciares están representadas por depósitos lacustres, depósitos fluviales y depósitos de remoción en masa. Las acumulaciones lacustres se circunscriben al margen Este del Lago Lacar. Se componen de arenas gruesas y gravas. Por su parte las acumulaciones fluviales de mayor desarrollo se sitúan a lo largo del arroyo Pocahullo, sobre los cauces que descienden por la pendiente Sur del Cerro Curruhuinca, varios de los cuales atraviesan el polígono de acción de PROMEBA y sobre conos aluviales de poco desarrollo. En el primer caso (arroyo Pocahullo) estos depósitos se componen de bloques subredondeados, gravas gruesas y medianas, arenas y limos. Por su parte, las acumulaciones situadas en los cauces que descienden por la vertiente austral del Cerro Curruhuinca se integran de bloques angulosos a subredondeados de un diámetro medio de 5 cm, arenas y limos. Los porcentajes de cada una de estas fracciones clásticas varía en cada cauce en relación a la existencia de la mayor o menor cubierta clástica que presentan los afloramientos rocosos. Finalmente, los depósitos de remoción en masa son de varios tipos. Se presentan como carpetas de talud integradas por bloques, arenas, limos y arcillas, como cenoglomerados compuestos de arenas, limos y bloques, y como carpetas de bloques exclusivamente.



#### **7.4.2 Geología de detalle del Polígono de Acción PROMEBA y sus áreas adyacentes (Mapa Geológico)**

##### **(a) Estratigrafía**

El polígono de acción de PROMEBA se extiende como una faja sobre el pie de la pendiente Sur del Cerro Curruhuinca. En su mayor parte se sitúa sobre depósitos de till alojado y en menor medida, sobre rocas pertenecientes al Basamento Cristalino pre-Carbónico, acumulaciones de cenoglomerados, y depósitos glaciafluviales y glacialacustres. Un sector menor y muy localizado se ubica sobre depósitos de cono aluvial. A continuación se describen las características de las unidades geológicas referidas, desde las más antiguas a las más modernas y las cualidades geotécnicas que presentan.

##### *Basamento Cristalino Pre-Carbonífero*

En el sector superior del polígono de acción de PROMEBA afloran remanentes de un basamento cristalino pre-Carbonífero. Estos afloramientos se despliegan además en la región noroccidental andina a lo largo de una faja que se extiende desde Aluminé, pasando por San Martín de los Andes hasta Bariloche.

Entre los trabajos de síntesis de mayor trascendencia que han sido publicados sobre esta unidad se destacan los de Turner (1965,1973), Turner y Cazau (1978), Caminos y Llambias (1984), Dalla Salda et al., (1990a), Dalla Salda et al (1991) y Dalla Salda et al (1999).

A partir de la composición y el significado geotectónico que presentan estas rocas, se han diferenciado regionalmente dos fajas de terrenos ígneo-metamórficos: La occidental, que esta representada por las rocas del Complejo Coiohuincul y granitoides asociados, y la oriental que se compone por la Metamórfica Cushamen y el Granitoide Mamil Choique.

La denominación y descripción original del Complejo Coiohuincul corresponde a Turner (1965,1973), quien para el basamento de la comarca de Junín de los Andes, localidad situada a 33 km al Noreste de San Martín de los Andes, identificó a dos unidades: Formación Coiohuincul y Formación Huechulafquen. Para la Formación Coiohuincul este autor describe aegirinas, considerando que la variedad litológica de estas rocas es grande pero que los tipos litológicos principales pueden reducirse a tres, entre los cuales hay transiciones. Ellos son: esquistos, filitas cuarzosas y cuarcitas. Por su parte, para la Formación Huechulafquen describe granitos, granodioritas, tonalitas y migmatitas.

Para los afloramientos situados en San Martín de los Andes, en la comarca del área bajo estudio, Turner (1965,1973) indica la existencia de la formación Coiohuincul. Por su parte, para

esta misma localidad, Dalla Salda et al. (1991), propusieron aplicar el término de Complejo Coiohuincul para la íntima asociación de metamorfitas y migmatitas existentes. En esta localidad, estos autores reconocieron dos grupos de granitoides, que denominaron Tonalita San Martín de los Andes y Granodiorita Lago Lacar. Debido a la cubierta clástica y al bosque, es difícil establecer el contacto entre estas rocas.

Las metamorfitas situadas en el ámbito de San Martín de los Andes, son principalmente gneises de grano medio y fino, los que están acompañados por escasas intercalaciones de esquistos micáceos y cuarcitas. Los gneises presentan un bandeado fino, milimétrico, bien marcado y replegado, tal como se puede observar en los afloramientos situados en el sector superior del barrio Godoy (Figura 7-1). La textura es combinada grano y lepidoblástica, en la cual se reconocen variedades tonalíticas con biotita y sillimanita, tonalíticas con biotita y moscovita, tonalíticas con biotita y epidoto y granodioríticas con biotita y hornblenda.



**Figura 7-1 – Afloramiento del Complejo Coiohuincul correspondiente a gneises de grano medio y fino situado en el sector superior del barrio Godoy**

Según Turner y Cazau (1978), estas rocas pertenecen a un mismo complejo sedimentario-metamórfico, formado a partir de los sedimentos depositados en un ambiente marino, los que posteriormente fueron afectados por procesos tectónicos y magmáticos. Dalla Salda et al. (1991) y otros autores interpretan que las metamorfitas derivaron de areniscas grauváquicas, con delgadas intercalaciones de pelitas y areniscas cuarzosas, sujetas a un metamorfismo variable en grado entre bajo y medio-alto.

Por su parte, las migmatitas son principalmente epibolitas, asociadas a agmatitas y embrechitas. La deformación de las mismas se adapta al estilo de los gneises y se presentan



frecuentemente relacionadas a una venación cuarzo-feldespática, con biotita. La Tonalita San Martín de los Andes se integra con cuerpos menores, dispuestos con su eje mayor coincidente con la dirección de esquistosidad dominante en el Complejo Colónuincul. Hay dos variedades composicionales de tonalitas, una de ellas con biotita y la otra con biotita y hornblenda.

La Granodiorita Lago Lácar está compuesta por cuerpos de rocas grises y grano mediano, variando en composición entre granodioritas biotíticas y granodioritas biotítico-hornbléndicas. Los afloramientos más característicos de estas rocas situados en la comarca bajo estudio, se localizan en el sector Oriental (Figura 7-2).



**Figura 7-2 – Afloramiento de granitoides asociados al Complejo Coiohuincul**

La edad del Complejo Coiohuincul y sus granitoides asociados, ha sido investigada aplicando las metodologías K-Ar, Rb-Sr y Sm-Nd. Párica (1986) comunicó una edad Rb-Sr de  $714 \pm 10$  Ma para esquistos y gneises del lago Curruhué Grande. Por el método Rb-Sr se han datado los componentes del basamento de San Martín de los Andes (Dalla Salda et al., 1991); la antigüedad del principal evento metamórfico corresponde a un valor de  $860 \pm 23$  Ma y una relación  $Sr\ 87/Sr\ 86$  inicial de  $0.7012 \pm 0,0003$ ; la edad de la Tonalita San Martín de los Andes es de  $620 \pm 30$  Ma ( $Sr\ 87/Sr\ 86$ :  $0,7032 \pm 0,0003$ ). Análisis por el método Sm-Nd fueron llevados a cabo sobre gneises del Complejo Coiohuincul y sobre la Tonalita San Martín de los Andes (Dalla Salda et al., 1991); en ambos casos las edades modelo sugieren una instalación en la corteza del protolito de este basamento, entre los 1250 y 800 Ma de antigüedad.

Dalla Salda et al., (1990b) han interpretado a los conjuntos rocosos basamentales descriptos, en el marco de una colisión entre dos placas continentales precámbricas. El evento colisional es dividido en tres etapas: inicial, principal y final, la primera de las cuales está vinculada al ciclo tectónico Pampeano (Proterozoico superior-Cámbrico) y las otras dos al ciclo tectónico Famatiniano (Ordovícico-Devónico). La fase inicial está relacionada con un proceso de subducción y comienzos de engrosamiento cortical; el metamorfismo va acompañado del emplazamiento de los primeros granitoides (Ej. Tonalita San Martín de los Andes; Granodiorita Lago Lacar), datados en el Proterozoico más alto a Cámbrico y con bajas relaciones iniciales de estroncio, que sugieren un origen mantélico.

Las estructuras relícticas conservadas en rocas de la Formación Coiohuincul son de orientación aproximada este-oeste. La fase principal está caracterizada por un máximo de engrosamiento cortical, con fusión parcial en niveles de mesozona y generación de extensos complejos migmáticos. En el mismo se genera la foliación más penetrativa (orientada nornoroeste), se emplazan los granitoides sintectónicos Mamil Choique y recrystalizan las ectinitas Cushamen bajo condiciones de presión media de la facies de anfibolita. El evento tiene un pico térmico en el Ordovícico, alrededor de 480 Ma.

El alzamiento regional habría ocurrido durante el Ordovícico superior a Silúrico inferior. La cadena montañosa en ascenso sería la fuente de provisión de materiales detríticos que posteriormente constituirían el prisma de acreción de la Cordillera de la Costa chilena. La fase final, entre el Silúrico medio a Carbonífero inferior, habría operado en un nivel epizonal, y en la misma se emplazarían granitos de altas relaciones isotópicas de estroncio.

La evolución descrita para el norte de la Patagonia se entiende que forma parte de escala continental (Dalla Salda et al., 1992a, 1992b, 1993). El Terreno Coiohuincul sería parte de una unidad mayor, el Terreno Occidentalía, con afloramientos saltuarios desde Arequipa (Perú) a la Patagonia Occidentalía, el que ha sido considerado parte de un continente (Laurentia oriental), colisionante en el Paleozoico inferior con el borde sudoeste gondwánico (cratón Africano - Brasileño).

- Estructura:

El Complejo Coiohuincul y sus granitoides asociados están afectados por un sistema de fracturas de inclinación y rumbo variable. Desde un análisis regional, la comarca bajo estudio queda incluida en la Faja Batolítica de Aluminé (Ramos, 1978), caracterizada por la existencia de un sistema tensional subordinado de rumbo oeste-noreste, con plegamiento casi inexistente



y segmentada en numerosos bloques menores, con ascenso vertical relativo mayor hacia la zona axial cordillerana.

Como resultado del análisis general realizado para este estudio sobre registros remotos (imágenes satelitales y fotografías aéreas) se determinó, especialmente en la sección Occidental de la pendiente Sur del Cerro Curruhuinca, la existencia de un sistema de fracturas principales que definen líneas de debilidad que han sido aprovechadas por la erosión fluvial, la que ha excavado cauces a lo largo de ellas. Al respecto se destacan tres juegos. El mas desarrollado presenta un rumbo Norte 60° Oeste, el segundo juego, subordinado al anterior, tiene un rumbo que varia desde N 75° Oeste a Norte 85° Oeste. Finalmente el tercer juego, de menor importancia y poco desarrollo, tiene un rumbo Norte 30° Oeste (Ver Mapa Geológico).

A partir de la investigación local efectuada durante las tareas de campo, se pudo reconocer además la presencia de un denso y variable sistema de fracturas, en su mayor parte diaclasas, cuya existencia constituye un elemento estructural de importancia crítica en la materialización de los movimientos de remoción en masa que tienen lugar en la ladera del Cerro Curruhuinca.

Este sistema se compone de una serie de juegos, cada uno de los cuales esta constituido por diaclasas paralelas o subparalelas que mantienen características de rumbo e inclinación similares a lo largo de los afloramientos rocosos del Complejo Coihuincul, situados en el ámbito y adyacencias del polígono de acción de PROMEBA.

En el indicado sistema de fracturación se han podido agrupar los siguientes tres juegos o familias de diaclasas principales.

El juego de fracturas de mayor desarrollo areal queda definido mediante fisuras de rumbo general Norte 50° Este, que puede presentar variaciones locales que van desde Norte 45° Este a Norte 30° Este (Figura 7-3).



**Figura 7-3 – Fracturas de rumbo Norte 30° Este, con planos de disposición vertical, presente en los afloramientos situados en la zona superior del barrio Vallejos.**

Este juego presenta valores de inclinación algo irregulares. El mas reiterado es subvertical, con variaciones en su inclinación general hacia el cuadrante Sudeste que van desde los 90° (Figura 7-4) a los 65° (Figura 7-5). Para el caso de los valores mas empinados, algunos planos conservan el rumbo referido pero llegan a inclinar parcialmente en forma opuesta, hacia el cuadrante Noroeste con un valor de 85°, dando lugar a paredes colgantes.

Los valores de inclinación mas elevados de los planos de fracturación (90°) y, especialmente, las paredes extra plomo que se generan cuando se desarrollan inclinaciones hacia el cuadrante Noroeste, promueven movimientos de remoción en masa en la cara libre de la pendiente del Cerro Curruhuinca según tipologías que van desde volcamientos a caída de rocas.



**Figura 7-4 – Plano de fracturación vertical a parcialmente colgante sobre la cara libre del afloramiento. Este juego de diaclasas da lugar a movimientos de remoción en masa del tipo volcamiento y caída de rocas**

Por su parte el valor de inclinación menos pronunciado de los indicados ( $65^\circ$ ) da lugar, sobre la cara libre de la pendiente, a deslizamientos traslacionales extremadamente rápidos, los que pueden llegar a culminar como avalanchas de rocas en la sección distal de la ladera.

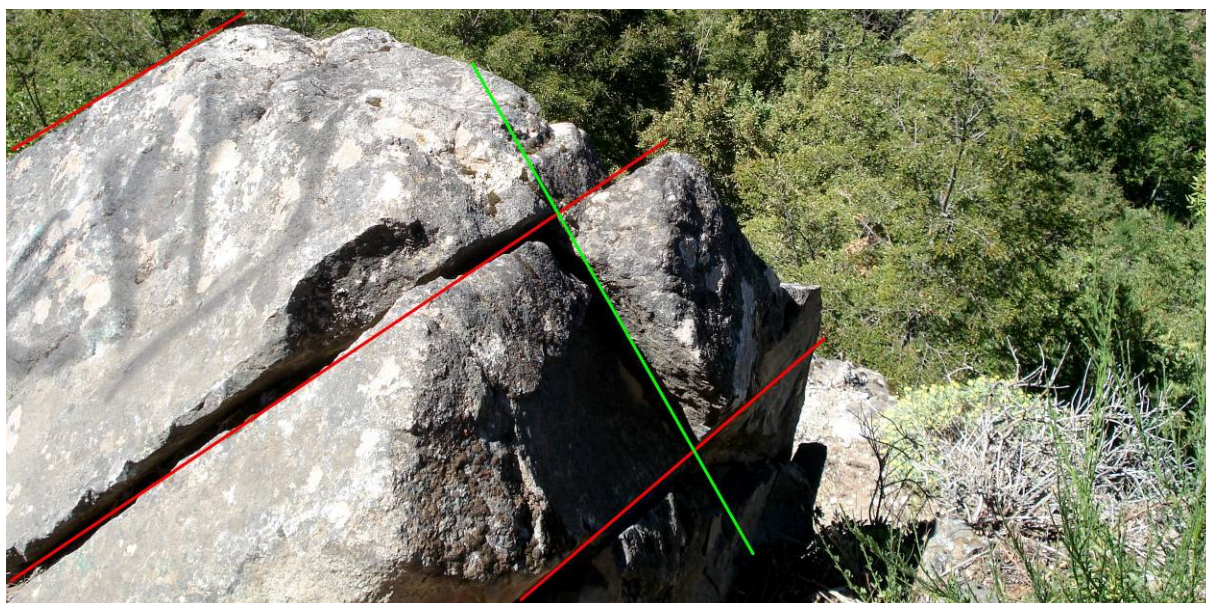
Subordinado al precedente y de menor frecuencia que éste, se observa un segundo juego de fracturas de rumbo frecuente Norte  $60^\circ$  Oeste, el que en general es perpendicular al juego indicado (Figura 6). En este caso, los planos de discontinuidad tienen una inclinación variable que oscila entre los  $50^\circ$  y  $45^\circ$  al Sudoeste.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 7-5 – Plano de fracturación expuesto sobre el faldeo Sur del Cerro Curruhuinca, el que presenta un valor de inclinación de 65° hacia el cuadrante Sudeste. Este juego de fracturas da lugar a movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento traslacional extremadamente rápido que puede culminar como una avalancha de rocas.**



**Figura 7-6 – Afloramiento afectado por un sistema de diaclasas ortogonales. La traza color verde indica la presencia de una fractura perteneciente al juego secundario de rumbo general Norte 60° Oeste. Las trazas rojas señalan fracturas pertenecientes al juego de mayor desarrollo y de rumbo general Norte 30° Este.**



En su mayor parte, este juego de fracturas posibilita la separación de bloques menores condicionando el tamaño que estos tienen cuando se desprenden del afloramiento y se desplazan sobre la pendiente.

Un tercer juego de fracturas, de menor desarrollo que los anteriores, se presenta como diaclasas que van desde subhorizontales a valores de inclinación del orden de los 20° a 30°.

En el primer caso (diaclasas subhorizontales), estas discontinuidades no facilitan la generación de movimientos de remoción en masa y solo actúan condicionando el tamaño de los bloques que puedan desprenderse a favor de la existencia de otros planos de fracturación. En el segundo caso (diaclasas con inclinaciones de 20° a 30°) podrían dar lugar a movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento traslacional moderadamente rápidos ante la existencia de disparadores adecuados y si el plano de fracturación intercepta la pendiente al inclinar como esta pero con un valor angular menor (Figura 7-7).



**Figura 7-7 – Mediante la flecha se señala la superficie de un plano de fractura que presenta una inclinación de 30° hacia el cuadrante Sudeste. El bloque que esta apoyado sobre esta superficie puede desplazarse por un movimiento del tipo deslizamiento traslacional, ante la aparición de un factor promotor a este tipo de remoción en masa.**

En la zona del polígono de acción de PROMEBA situada en los barrios Godoy (sector occidental) y Calderón, la distribución de los sistemas de fracturas es algo diferente. En esta sección se observan dos juegos principales y dos secundarios.



El primer juego principal tiene planos de discontinuidad de rumbo variable que oscila entre Norte 65° Este y Norte 45° Este. En ambos casos las superficies de fracturación inclinan hacia el cuadrante Sudeste según un valor que va desde 40° a 65° (Figura 7-8).



**Figura 7-8 – Pendiente sobre las metamorfitas del Complejo Coiohuinca en la cual se observa el control estructural que imponen la presencia de fracturas que inclinan 40° (indicada con flecha roja) y 65° (indicada con flecha verde)**

Sistemas de fracturas que promueven movimientos del tipo deslizamiento trasnacional pueden observarse sobre las pendientes que se extienden por encima del Barrio Calderón (Figura 7-9).

El siguiente juego principal tiene un rumbo aproximadamente ortogonal al anterior, con planos de fracturación de rumbo Norte 35° Oeste y una inclinación del orden de los 70° al Sudoeste. Estas estructuras de fracturación se comportan como efectivos factores que posibilitan deslizamientos traslacionales de rápida velocidad sobre la cara libre de las pendientes.

Por su parte, los dos juegos secundarios y de menor frecuencia tienen inclinaciones contrastantes. El primer juego secundario se manifiesta como fracturas subverticales de rumbo Norte-Sur, las que posibilitan movimientos locales de remoción en masa del tipo volcamiento y



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

caída de rocas en el lateral de quebradas de rumbo aproximadamente meridional. El segundo juego secundario configura planos de diaclasamiento que van desde una posición subhorizontal a un valor de inclinación máximo que varía entre  $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  (Figura 7-10).



**Figura 7-9 - La flecha indica la exposición de un plano de diaclasamiento de gran desarrollo que inclina como la pendiente pero según un ángulo mas tendido, configurando así una superficie de deslizamiento traslacional**



**Figura 7-10 – La flecha indica la superficie de un plano de fracturación de baja inclinación presente en las rocas metamórficas del Complejo Coiohuincul.**

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Estos últimos planos de fracturación no llegan a configurar superficies de deslizamiento traslacional por dos causas principales, la primera de ellas es que inclinan en forma opuesta a la pendiente, mientras que la segunda se relaciona con la baja inclinación que tienen. De todas formas, ejercen un fuerte control estructural sobre la pendiente dando lugar a una serie de resaltos en su perfil longitudinal, los que se manifiestan morfológicamente como aterrazamientos locales.

**- Condiciones Geotécnicas:**

A partir del estudio de detalle realizado se puede comprobar que, en casi su totalidad, los sistemas de fracturación locales observados durante la investigación de campo corresponden a diaclasas. Salvo algunas excepciones, se trata de diaclasas abiertas, de superficies muy planas a suavemente onduladas, características que se mantiene hasta niveles de profundidad superiores a los 10 m, valor que ha sido posible determinar sobre las pendientes abruptas mas desarrolladas. Las mayores aberturas se observan en las cercanías de las pendientes empinadas, zonas en las cuales se advierte un fuerte desacomodamiento de los bloques a lo largo de la ladera. En estos sectores las separaciones entre bloques son del orden de 15 cm (Figura 7-11), con valores máximos de 20 centímetros.



**Figura 7-11 – Diaclasas abiertas con separación de 15 cm, sector marginal de la pendiente situada en la sección superior del Barrio Vallejos.**

La referida separación se atenúa a medida que se consideran sitios mas alejados de la cara libre de la pendiente, aunque se destaca que mantienen aberturas de hasta 2 cm a distancias de 10 m del borde de la escarpa. Esta última particularidad es de gran importancia y debe ser seriamente considerada y evaluada si se planifican medidas estructurales tendientes a



estabilizar estas pendientes mediante la aplicación de micropilotes, muros y pantallas de pilotes anclados, anclajes pasivos, anclajes activos y/o bulones.

Las diaclasas tienen un desarrollo longitudinal variable. Los juegos más importantes se extienden varias decenas de metros y pueden observarse hasta que son cubiertas por depósitos de talud y acumulaciones glacigénicas, mientras que las de menor desarrollo alcanzan extensiones longitudinales de pocos metros. No se ha observado que estas diaclasas estén selladas por cementación secundaria, destacándose en cambio que en general presentan evidencias de meteorización en los planos, los que configuran vías de circulación del agua proveniente de la precipitación pluvial y fusión de nieve.

La separación del diaclasamiento, definido como el espaciamiento que existe entre diaclasas adyacentes, es variable. Por ejemplo, en la sección correspondiente a los barrios Vallejos y Parque Sur, la separación entre diaclasas pertenecientes al sistema de mayor desarrollo es del orden de los 2 m a 3 m. Por su parte, el espaciamiento que tiene el juego secundario y ortogonal a éste, es más reducido. De esta forma, la intersección de ambos juegos da lugar a bloques de dimensiones métricas, situación que favorece movimientos de remoción en masa del tipo volcamiento y caída de grandes rocas.

En cambio, en los afloramientos situados en el sector superior de los barrios Godoy y Calderón, especialmente en este último, la densidad que presentan los juegos de diaclasas existentes es muy elevada de tal forma que los afloramientos se presentan fuertemente fracturados (Figura 7-12 y 7-13), en bloques de un tamaño medio que oscila entre los 15 cm y 30 cm de lado (Figuras 7-14 y 7-15), con valores máximos de hasta 1 metro (Figura 7-16).



**Figura 7-12 – Diaclasamiento de elevada densidad en los afloramientos situados en la sección superior del Barrio Calderón.**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 7-13 - Detalle de la figura 12**



**Figura 7-14 - Bloque desprendido de composición granítica.**

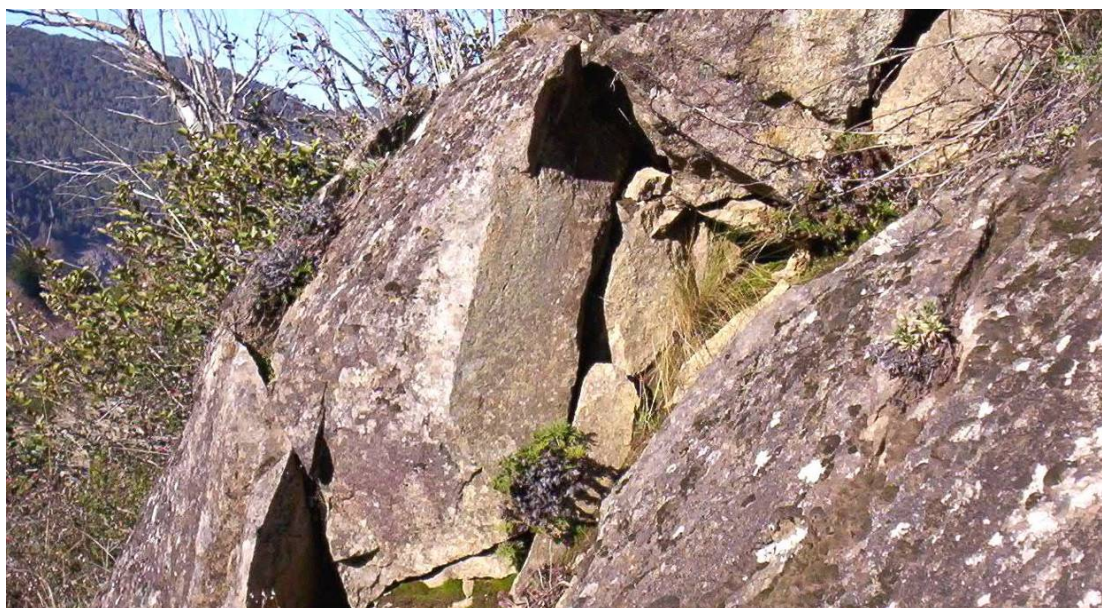


**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 7-15 - Bloques desprendidos de rocas graníticas en posición inestable sobre la pendiente.**

Debido a que en esta última localidad los planos de discontinuidad ortogonales afloran en la superficie del talud en forma oblicua, tiene lugar la formación de bloques prismáticos por efecto de rupturas en cuña. El desprendimiento de los referidos bloques deja sobre la pendiente depresiones con forma de diedros (Figura 7-17), situación que incrementa su inestabilidad. Este tipo de fraccionamiento clástico favorece los movimientos de remoción en masa del tipo avalancha de rocas.



**Figura 7-16 - Bloques sueltos de hasta 1 m de lado de rocas graníticas en posición inestable sobre la pendiente.**





**Figura 7-7 – Formación de diedros sobre el talud por desprendimiento de bloques prismáticos Barrio Calderón.**

A pesar de la tenacidad que presentan las litologías pertenecientes al Complejo Coiohuincul, las pendientes que están labradas sobre ellas ofrecen condiciones geotécnicas poco favorables debido a la existencia del sistema de diaclasamiento descrito, el que ha desmejorado en forma crítica la resistencia que tienen estas superficies a los esfuerzos de corte, razón por la cual a gran parte de ellas se las considera muy inestables.

### Depósitos Glaciarios del Pleistoceno

El análisis e interpretación realizada para este estudio sobre registros remotos (imágenes satelitales y fotografías aéreas) y la investigación local efectuada durante las tareas de campo, permitió determinar la presencia de potentes depósitos glaciarios situados sobre los laterales y piso del valle del arroyo Pocahullo. Fueron acumulados cuando este ambiente fue recurrentemente ocupado por lenguas de hielo, las que durante el Pleistoceno provenían desde el Oeste. Las rocas del Complejo Coiohuincul están parcialmente cubiertas por estas unidades según una relación discordante.

Estas secuencias glaciogénicas son de diverso tipo. Las de mayor desarrollo areal están situadas en los laterales y pie de la pendiente del Cerro Curruhuinca. Se componen de till alojado, till de ablación y till complejo. Estructural y granulométricamente presentan variaciones substanciales:

El till alojado se compone mayoritariamente de arcillas y limos con menor porcentaje de arenas, mezcla en la cual se observan bloques angulosos y subangulosos aislados, con un tamaño que



va desde varios centímetros hasta 3 m de lado. Los bloques son de procedencia local y alóctona ya que además de las rocas pertenecientes al Complejo Coihuincul se observan otras petrografías que no están presentes en la comarca. Este tipo de till, comparado con el till de ablación y el till complejo, es el que presenta el mayor grado de compactación y resistencia a la erosión fluvial.

El till de ablación se compone mayoritariamente de gravas gruesas y bloques, elementos clásticos que permanecen en contacto pero entre los cuales hay arenas y limos. Se presenta en menor proporción que el till alojado, y a diferencia de este, el grado de compactación es menor y resistencia a la erosión fluvial más baja.

El till complejo es una mezcla de till alojado y till de ablación en el cual también se interestratifican depósitos glacialacustres y glaciafluviales, estando todas estas facies deformadas y mezcladas por empuje glaciario. En estas acumulaciones los depósitos glacialacustres son reconocibles a pesar de la deformación que presentan ya que tienen una granulometría característica, con estratificación original paralela de fina laminación cíclica, que grada desde limo arcilloso a arena fina. También son reconocibles los prismas deformados correspondientes a los depósitos glaciafluviales, integrados de arenas y gravas medianas y gruesas, con estratificación singénica entrecruzada a paralela. También en este depósito el grado de compactación y la resistencia a la erosión fluvial es bajo. Configuran además, acumulaciones inestables cuando se sitúan sobre pendientes empinadas.

Otras acumulaciones glacialacustres y glaciafluviales puras, relacionadas con el agua de ablación procedente del repliegue de la Última Glaciación y que no presentan deformación alguna, se despliegan especialmente en el actual piso del valle sobre el cual se asienta el tendido urbano de la ciudad de San Martín de los Andes.

Las acumulaciones directamente depositadas por el empuje del hielo (till alojado, till de ablación y till complejo) han sido separadas en este estudio en tres cuerpos principales. Se considera que se trata de los productos de al menos dos glaciaciones diferentes.

Las acumulaciones correspondientes a la glaciación más antigua o Penúltima Glaciación, fueron depositadas por la acción del empuje frontal de un lóbulo de hielo oscilante y solo parcialmente encauzado, que se movió en esta comarca especialmente hacia el cuadrante Norte. Estos eventos dieron lugar a dos cuerpos de till principales. El más desarrollado se sitúa sobre la pendiente media y superior de la ladera Sur del Cerro Curruhuinca, mientras que el de menor despliegue lo hace en la zona más baja de la pendiente y parcialmente en el contacto entre el pie de esta y el piso del valle. Este último cuerpo glaciario se sitúa en el ámbito del

polígono de acción de PROMEBA y a diferencia del anterior, corresponde a acumulaciones que se situaban en la base de los glaciares que se desplazaron por este valle.

Por su parte, las acumulaciones correspondientes a la Última Glaciación se emplazan en el extremo Noreste de la comarca relevada, inmediatamente al Norte del arroyo Pocahullo y a diferencia de la glaciación anterior, fueron depositadas por una lengua de hielo oscilante que estaba más encauzada en el valle y a una cota más baja que el lóbulo precedente. Esos últimos depósitos no serán tratados en detalle debido a la lejanía que tienen con el polígono de acción de PROMEBA.

#### - Depósitos de la Penúltima Glaciación – Pleistoceno:

Constituyen las acumulaciones de mayor potencia y desarrollo. Se ubican según dos cuerpos principales en el sector Norte de la comarca, zona en la cual ocupan la sección media, superior e inferior de la pendiente, llegando incluso a configurar la divisoria de aguas local que en este sitio se sitúa a los 880 m de altura.

El cuerpo situado en la pendiente superior y media, se manifiestan topográficamente como una serie de cinco colinas elongadas y morfológicamente como un sistema de morenas frontales o terminales. Visto en planta el conjunto se dispone en forma concéntrica según un patrón sinuoso. Cada una de las referidas colinas fue construida a partir de la acción de lóbulos de hielo que recurrente avanzaron y retrocedieron por el valle al ritmo de variaciones climáticas que oscilaban desde periodos de bajas temperaturas (Estadiales) a periodos de mayor temperatura (Interstadiales). La disposición concéntrica que presentan se debe a que cada avance o Estadial fue de menor magnitud que el inmediatamente precedente.

El avance glaciario más antiguo de los reconocidos, dejó al retirarse un arco morénico externo, cuyo depósito es identificado en este estudio como Estadial I. Los posteriores avances y retrocesos que ocurrieron dentro de esta glaciación dieron lugar a los restantes cuatro cordones internos, el último de los cuales se identifica como Estadial V (Ver Mapa Geológico y Mapa Geomorfológico). Las acumulaciones relacionadas con estos cinco estadales son en su mayor parte del tipo till complejo y en menor proporción till de alojamiento y till de ablación. Entre los referidos cordones morénicos existen además bolsillos con acumulaciones glaciafluviales y glacialacustres no deformadas por empuje glaciario.

Entre el depósito de till correspondiente al Estadial V y la cota de los 700 m, las acumulaciones glaciogénicas no presentan manifestaciones morfológicas destacables debido a que configuran una cubierta discontinua de poco espesor, la que por sectores está ausente, permitiendo así la

exposición intermitente de las rocas del Complejo Coihuincul. Este último depósito está mayoritariamente integrado por till alojado. Por debajo de los 700 m y hasta el piso del valle, se localiza el segundo cuerpo de till destacable, el que alcanza un desarrollo importante en cuanto a continuidad y espesor de tal forma que la mayor parte de los barrios Calderón, Godoy y Julio Obeid se sitúan sobre esta unidad. En menor medida lo hacen los barrios Parque Sur, Vallejos y 3 de Caballería. De esta forma el polígono de acción de PROMEBA está en su mayor parte situado sobre depósitos de till alojado y en menor medida, sobre rocas pertenecientes al Basamento Cristalino pre-Carbónico, depósitos glacifluviales y glacialacustres de piso de valle acumulaciones de cenoglomerados y depósitos fluviales modernos.

Durante los estudios de campo se pudieron definir las características granulométricas, estructurales y la potencia máxima expuesta de estas acumulaciones en varios sitios en los cuales están presentes excavaciones artificiales. Frecuente se trata de acumulaciones de arcillas y limos, con arena fina a mediana subordinada, mezcla en la cual se sitúan clastos y bloques polígenos flotantes subangulosos a subredondeados. Dentro de este tipo litológico general existen algunas variaciones menores.

Por ejemplo, las exposiciones de till alojado que se despliegan en las cotas más bajas situadas en el barrio Obeid, son acumulaciones de arcillas y limos en las cuales existe un bajo porcentaje de bloques (Figura 7-18), mientras que los afloramientos situados algunos metros más arriba, presentan mayor abundancia de bloques subangulosos con tamaño medio de 2 a 5 cm y tamaño máximo de 20 cm de diámetro (Figura 7-19).



**Figura 7-18 - Exposición de till alojado con mínimo porcentaje de bloques en un corte artificial situado en el Barrio Obeid.**



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 7-19 - Till alojado expuesto en un corte artificial situado en el Barrio Obeid, en el cual se incrementa el porcentaje de bloques y gravas.**

Por su parte, los afloramientos de till alojado que se observan en el barrio Vallejos, se compone de fracciones limo arcillosas en las cuales están inmersos bloques de metamorfitas y granitos de gran tamaño con un diámetro medio cercano a los 2 m (Figura 7-20).



**Figura 7-20 - Till alojado expuesto en un corte artificial situado en el Barrio Vallejos. Las flechas señalan los bloques redimensiones métricas que están parcialmente incluidos en el deposito limo arcilloso.**

Finalmente, las exposiciones de till alojado observadas en el barrio Godoy presentan una fracción limo arcillosa en menor porcentaje que los tipos mencionados precedentemente, con abundantes bloques subangulosos y subredondeados con tamaños que van desde 4 cm a 60 cm de diámetro (Figura 7-21).



**Figura 7-21 - Till alojado expuesto en un corte artificial situado en el Barrio Godoy.**

Todas estas acumulaciones presentan un incipiente grado de compactación, el que es mayor en los depósitos de till alojado en los cuales la presencia de bloques es reducida. Asimismo, la mayor erosionabilidad se observa en los cuerpos de till donde la participación de bloques es la mayor. El espesor mas importante de till alojado fue observado en un corte artificial donde se midieron 6 m de potencia, considerándose que se trata de un espesor mínimo ya que en el piso de la excavación continuaba el deposito.

#### - Condiciones Geotécnicas:

Las acumulaciones de till descriptas tienen comparativamente bajos niveles de cohesión al no presentar cementación. La causa de esta situación se debe su relativa juventud, ya que fueron depositas durante el Pleistoceno medio - Pleistoceno superior y por lo tanto no han alcanzado un grado de diagénesis apropiado. Esta particularidad es aplicable para los tres tipos de till reconocidos: till alojado, till de ablación y till complejo.

No obstante, existen variaciones substanciales entre ellos especialmente entre el till alojado y los otros dos. La diferencia radica en el hecho que el till alojado configura un depósito que se localizaba en la base de un glaciar que tenia un espesor de entre 800 m y 1100 m, cuyo peso le confirió un grado de compactación mas elevado que el presente en los depósitos de till ablación y till complejo, los que se acumularon en la superficie del relieve por empuje del frente del glaciar.



Esta característica permite que las excavaciones artificiales labradas sobre el till alojado, con exposición de perfiles verticales, mantengan en general grados de estabilidad relativamente confiables. Sin embargo, como ya se indicó precedentemente, las variaciones faciales laterales y verticales que este depósito llega a presentar, tanto en su granulometría como en su estructura, pueden modificar negativamente esta particularidad. Especialmente se destaca que la estabilidad del till alojado es afectada cuando en él se incrementa el porcentaje de gravas y bloques.

Debe tenerse en cuenta además, que el till alojado es el tipo de acumulación glaciogénica que se localiza preferencialmente en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA y por lo tanto configura el medio en el cual tienen su fundación las estructuras y viviendas que en él se despliegan.

Por su parte, las acumulaciones de till de ablación y till complejo no tienen presencia en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA, pero lo hacen sobre los niveles topográficos de la pendiente que se extiende por encima de esta zona. A diferencia del till alojado no tienen grados de compactación sobresalientes razón por la cual son fácilmente erosionados por la acción fluvial dirigida y la hídrica difusa. Parte de estas acumulaciones, especialmente las relacionadas con el till complejo, pueden participar en la generación de movimientos de remoción en masa del tipo flujos encauzados y avalanchas de suelos y detritos.

Localmente se observaron bolsillos con acumulaciones glacialacustres compuestas por gravas gruesas y arenas con estratificación entrecruzada y depósitos glacialacustres de limos y arenas finas con estratificación horizontal hasta laminar. También en este caso la tenacidad del depósito es muy baja, situación que favorece su rápida erosión, incluso a partir de la acción hídrica difusa.

#### *Depósitos lacustres, fluviales, de talud y de remoción en masa del Holoceno*

Las acumulaciones modernas post glaciares están representadas por depósitos lacustres, depósitos fluviales, depósitos de detritos de talud y depósitos de remoción en masa del tipo cenoglomerados.

- Depósitos lacustres:

Los depósitos lacustres actuales se sitúan en el sector costero Oriental del Lago Lácar y se integran de arenas gruesas y gravas. No son tratados en detalle debido a la lejanía que tienen con el área de acción de PROMEBA.



- Depósitos fluviales:

Los depósitos fluviales de mayor desarrollo se localizan a lo largo del arroyo Pocahullo, fuera del polígono de acción de PROMEBA, razón por la cual tampoco son tratados en detalle.

Acumulaciones fluviales de menor desarrollo que las precedentes se emplazan en el piso de los cauces que descienden por la pendiente Sur del Cerro Curruhuinca, varios de los cuales atraviesan el polígono referido. Depósitos de este tipo también son reconocidos sobre conos aluviales de poco desarrollo, los que se localizan al pie de la pendiente situada en el Barrio Godoy.

Las situadas en los referidos cauces, en general relacionados con arroyos de régimen estacional, se componen de bloques angulosos a subredondeados, de procedencia local, que tienen un tamaño medio de 5 cm de diámetro, al que acompañan arenas gruesas, medianas y limos. Tanto los porcentajes de cada una de estas fracciones clásticas como la potencia del depósito varían en cada cauce ya que estas particularidades guardan directa relación con la mayor o menor cubierta clástica que presentan los afloramientos rocosos atravesados por estas quebradas principales, la densidad del diaclasamiento que presentan los afloramientos rocosos, la profundización que tienen los cauces y la magnitud de la cuenca fluvial asociada a ellos. En todos los casos se trata de acumulaciones sueltas.

Por ejemplo, uno de los cauces mas desarrollados situado en el Barrio Godoy presenta un valle profundo en cuyo piso se observa un depósito inconsolidado de potencia limitada compuesto de fracciones clásticas angulosas proladas y subredondeadas, de tamaño medio entre 3 cm y 5 cm de diámetro y tamaño máximo de 15 cm, acompañadas por arenas y limos (Figura 22), provenientes de la erosión directa de las rocas metamórficas del Complejo Coihuinca y de la cubierta discontinua de till alojado que aquí afloran en los laterales de la quebrada.



**Figura 7-22 - Acumulaciones fluviales situadas en el piso de los cauces de régimen estacional. Barrio Godoy**

#### - Depósitos de detritos de talud:

Tienen una amplia distribución sobre la mayor parte de la superficie del faldeo austral del Cerro Curruhuinca. Se componen fundamentalmente de limos y arenas, con menor participación de gravas gruesas y bloques, los que eventualmente pueden llegar a tener tamaños de hasta 4 m de lado. No llegan a desarrollar espesores importantes y en general se forman a expensas de la erosión de las acumulaciones discontinuas de till alojado que tapizan las pendientes que se sitúan por debajo de los depósitos morénicos correspondientes al Estadial V de la Penúltima Glaciación y de los espesores de suelo que se localizan sobre ellas.

Para el caso de las acumulaciones de detritos que se sitúan al pie de los afloramientos rocosos verticales del Complejo Coiohuinca, las granulometrias más comunes son bloques angulosos, algunos de tamaño métrico, con participación muy subordinada de arenas y limos.

En todos los casos se trata de acumulaciones inconsolidadas, muy inestables, sobre las cuales es muy clara la existencia de reptaje e, incluso, solifluxión local para las que tienen las granulometrías más finas.

No presentan una morfología claramente definida ya que se disponen como carpetas clásticas sobre las irregularidades de la pendiente. Configuran superficies de elevada inclinación y pronunciada inestabilidad. Las que se componen mayoritariamente de limos y arenas con menor participación de gravas gruesas y bloques, son fácilmente erosionables por la acción

fluvial dirigida y la hídrica difusa. La primera da lugar a cárcavas pronunciadas que solo son limitadas en su profundización por la exposición de las rocas duras subyacentes pertenecientes al Complejo Coihuinca. Por su parte la acción hídrica difusa que actúa sobre estos depósitos, lo hace en forma limitada debido a la presencia de una densa cubierta vegetal que da lugar a una disminución de la velocidad de la escorrentía y un descenso de la erosión al aumentar el índice de rugosidad sobre la pendiente.

Estas acumulaciones inestables favorecen la generación de movimientos de remoción en masa del tipo avalancha de suelos y rocas y eventualmente, a flujos encauzados al orientarse en las quebradas existentes.

-Depósitos de remoción en masa:

Los depósitos de remoción en masa son de varios tipos. Se presentan como:

- Cenoglomerados compuestos de arenas, limos y bloques asociados con flujos rápidos que se encauzaron en las quebradas existentes y se expandieron al pie de la pendiente
- Acumulaciones de bloques exclusivamente relacionadas con avalancha de rocas locales
- Bloques individuales de tamaño métrico generado por caída de rocas y deslizamientos traslacionales proveniente de frentes empinados.

Sus particularidades geomórficas detalladas y sus localizaciones son tratadas en los ítems Geomorfología y Peligro Geológico.

- Condiciones Geotécnicas:

Los depósitos fluviales, de talud y de remoción en masa descriptos son inconsistentes y no presentan mayor cohesión, salvo el caso de los cenoglomerados en los cuales esta última cualidad es incipiente.

De esta forma, las excavaciones artificiales con exposición de perfiles abruptos labradas sobre las acumulaciones fluviales y, especialmente, sobre depósitos de talud, son muy inestables y es muy alta la posibilidad que ante los cortes que se realicen sobre ellos se desencadenen, en el inmediato a corto plazo, movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento, avalancha de suelos y avalancha de rocas. En cambio son más estables las excavaciones de este tipo que se realicen sobre las acumulaciones de cenoglomerados en los cuales la participación de granulometrias finas es mayoritaria y el grado de cohesión mayor.



Asimismo, las acumulaciones fluviales deben ser descartadas como soporte de fundaciones, como por ejemplo se ha observado en el Barrio Godoy (Figura 23), ya que mas allá de constituir ambientes con un elevado riesgo a la erosión fluvial, pueden configurar mezclas clásticas sobre las que pueden darse procesos de fluidificación, dando lugar a una pérdida significativa de su resistencia y a la generación de asentamientos diferenciales, pérdida de capacidad portante, y/o oscilaciones del terreno por la densificación súbita de arenas sueltas.

Este comportamiento, denominado licuefacción y que en general es disparado por un sismo, se produce por el desarrollo de grandes presiones en el agua que ocupa los poros de depósitos clásticos de granulometría fina. Estas grandes presiones porales son inducidas cuando se aplican a la masa del deposito esfuerzos o deformaciones de corte en condiciones que no se le permite su liberación inmediata. Bajo estas circunstancias las arenas saturadas tienden a densificarse ocupando un menor volumen. Si el drenaje es lento o inexistente, la presión de poros se puede incrementar hasta anular el esfuerzo efectivo, con lo cual sobreviene la flotación de las partículas y la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante.



**Figura 7-23 - Vivienda parcialmente fundada sobre acumulaciones fluviales actuales. Barrio Godoy**

En un depósito sometido a este efecto se producen grandes deformaciones para muy bajos esfuerzos de corte, las cuales causan daños a las estructuras fundadas sobre ellos. Los factores más destacados que potencian el proceso de fluidización son: la Magnitud del sismo que da lugar a la vibración del terreno, la duración del sismo, la granulometría del depósito, su densidad relativa y la profundidad del nivel freático.

Teniendo en cuenta estos aspectos, son más susceptibles a sufrir fluidización los depósitos modernos de relleno de canal fluvial constituidos por arenas finas y limos desagregados, con clastos redondeados, en acumulaciones que presentan niveles freáticos libres situados a profundidades menores que 10 metros.

Salvo en el las propiedades granulométricas, estas condiciones están presentes en las acumulaciones fluviales situadas en la comarca analizada. De todas formas, si bien los depósitos situados en los cauces analizados tienen mezclas granulométricas más variadas que las ideales, es conveniente destacar que la licuefacción se puede dar ocasionalmente en depósitos bien gradados con tamaños granulométricos hasta de gravas.

## **7.5 Geomorfología**

### **7.5.1 Marco geomorfológico general (Mapa Geomorfológico)**

La comarca general comprendida en este estudio y en la cual están incluidas las observaciones de detalle realizadas en el polígono de acción de PROMEBA, configura un valle glaciario labrado sobre las rocas del Basamento Cristalino pre-Carbónico por la acción erosiva del hielo durante el Pleistoceno, el que al retirarse dejó una serie de acumulaciones glaciogénicas particulares entre las que se destacan Morenas frontales, Morenas basales y planicies glaciales y glacialacustres. Posteriormente, los procesos dinámicos post glaciares dieron lugar a geoformas fluviales, lacustres y de remoción en mas.

Las Morenas frontales se disponen según dos sistemas principales bien diferenciados, los que fueron construidos por un mínimo de dos Glaciaciones principales separadas por un periodo Interglacial. Estas glaciaciones representan las últimas dos de las seis que han sido reconocidas en la región correspondiente a la Cordillera Patagónica (Malagnino 1980, 1995, 2009)

El Sistema Morénico más antiguo representa una glaciación anterior a la última. Este sistema se caracteriza por presentar una faja compuesta de cinco morenas terminales, las que observadas en los registros remotos se presentan como una serie de colinas sinuosas y

concéntricas situadas sobre el sector Norte y Noreste de la comarca. El cordón más externo, definido como Estadial I, es el de mayor antigüedad mientras que el más interno, denominado Estadial V, es el más joven de la serie.

Cada cordón morénico representa un periodo de avance del frente del glaciar, el que durante esta Penúltima Glaciación estaba solo parcialmente encauzado en el actual valle inundado del lago Lacar, configurando un lóbulo amplio que se desplazaba en forma difluente hacia el cuadrante Norte, superando así la divisoria de aguas local. La existencia de los indicados cinco cordones concéntricos implica que durante esta glaciación el frente del glaciar avanzó y retrocedió en cinco oportunidades, de tal forma que cada avance fue algo menor que el precedente. Estas oscilaciones glaciarias tuvieron ocurrencia dentro de una misma glaciación. A los reavances se los define con el nombre de Estadiales, mientras que a cada retroceso se los clasifica como Interstadiales.

Durante su formación, cada cordón morénico se apoyaba sobre la empinada pendiente austral del Cerro Curruhuinca, de tal forma que cada vez que el glaciar avanzaba lo hacía remontando la ladera. De esta forma, mientras construía una morena frontal de empuje, entre el margen externo de esta y la pendiente del Cerro Curruhuinca se depositaban acumulaciones glacifluviales y glacialacustres perimorénicas. El progresivo avance del glaciar incorporaba estos depósitos a la morena en formación dando lugar a morenas complejas integradas por till de diverso tipo mezclado con los depósitos glacifluviales y glacialacustres, estando el conjunto intensamente deformado por empuje del glaciar. Paralelamente, mientras tenía lugar la formación de los referidos cordones morénicos, en la base del glaciar tenía lugar la formación de las acumulaciones de till basal.

Con el retiro total de esta glaciación, el valle quedó liberado del hielo y sobre la pendiente quedaron los registros morénicos frontales referidos y en su piso quedó expuesta una Morena basal.

Luego de un intervalo interglacial, tuvo lugar un nuevo cambio climático global hacia condiciones de temperaturas más bajas que dio lugar a una nueva glaciación, la que alcanzó su clímax hace aproximadamente 24.000 años. En este caso, se formó un glaciar, que a diferencia del precedente se encauzó claramente en el valle y dirigiéndose hacia el Noreste, se situó a una cota inferior a la del glaciar precedente. Esta nueva glaciación también tuvo oscilaciones similares a la glaciación anterior de tal forma que dejó una serie de cinco morenas frontales, las que se localizan en el sector Noreste de la comarca, inmediatamente al Norte del arroyo Pocahullo.



Con el retiro de esta glaciación, el piso del valle fue inundado transformándose en un lago mas extenso que el actual, medio en el cual se depositaron secuencias glacialacustres y posteriormente, glacifluviales. Además, la pérdida del soporte lateral que ofrecía el glaciar dio lugar a la inestabilidad de las pendientes expuestas, de tal forma que tuvieron lugar movimientos de remoción en masa cuyas geoformas son reconocibles actualmente. Paralelamente la evolución fluvial del arroyo Pocahullo y sus tributarios, y la lacustre marginal del actual lago Lacar, dieron lugar a las formas fluviales y lacustres actuales que se observan en la comarca.

### **7.5.2 Geomorfología de detalle del polígono de acción de promeba y sus áreas adyacentes (mapa geomorfológico)**

#### **(a) Subunidades geomórficas**

En el ámbito del polígono de acción de PROMEBA y sus áreas aledañas de influencia se reconocen las siguientes geoformas de acumulación y de erosión: Morena basal, Rocas cantereadas y aborregadas, Cono aluvial y Geoformas de Remoción en Masa de diversa tipología. Sus características se describen a continuación.

#### *Morena Basal*

La mayor parte del polígono de acción de PROMEBA se despliega sobre esta subunidad geomórfica.

No presenta una morfología distintiva ya que se dispone como una faja elongada de rumbo Sudoeste-Noreste suavemente recurvada. Abarca parte de la sección inferior de la pendiente, el pie de la misma y una zona menor del piso de valle. El ancho es variable, alcanzando su mayor desarrollo en el Occidente y adelgazándose rápidamente hacia el Oriente hasta desaparecer. Esta morena se apoya en su totalidad sobre las rocas del Basamento Cristalino pre-Carbónico y en su margen austral esta parcialmente sepultada por depósitos glacialacustres y glacifluviales que se depositaron en el valle luego del repliegue de la Ultima Glaciación.

Es probable que la configuración del lateral Norte que el valle presenta en esta zona (con forma general de anfiteatro) sumada la tendencia que tuvo la dirección de desplazamiento del glaciar durante la Penúltima Glaciación, hayan contribuido para que esta morena presente la forma referida. Las características internas de esta morena basal han sido desarrolladas detalladamente en el ítem: *Depósitos Glaciares del Pleistoceno*

### Rocas cantereadas y aborregadas

La acción erosiva glaciaria, además de excavar y profundizar el valle por el que se encauzo, dejó una serie de formas erosivas menores sobre los afloramientos rocosos del Complejo Coiohuincul. Entre estas se destacan las rocas aborregadas, los lomos de ballena, las rocas cantereadas y los pulimentos y estriaciones. Las rocas aborregadas, lomos de ballena y perfiles cantereados se pueden observar en diversas localidades pero alcanzan gran desarrollo en el sector superior del Barrio Obeid en el punto  $40^{\circ} 8'55.71''S$  y  $71^{\circ}21'24.58''O$ , a los 695 m de altura aproximadamente (Figuras 7-24 y 7-25) y en el Barrio Calderón (Figura 7-26).



**Figura 7-24 - Lomo de ballena, con superficie pulida y estriada, labrado sobre los afloramientos rocosos del Complejo Coiohuincul. El hielo se movía desde el extremo izquierdo hacia el extremo derecho. Hacia la derecha continua el sector cantereado ilustrado en la figura 7-25**



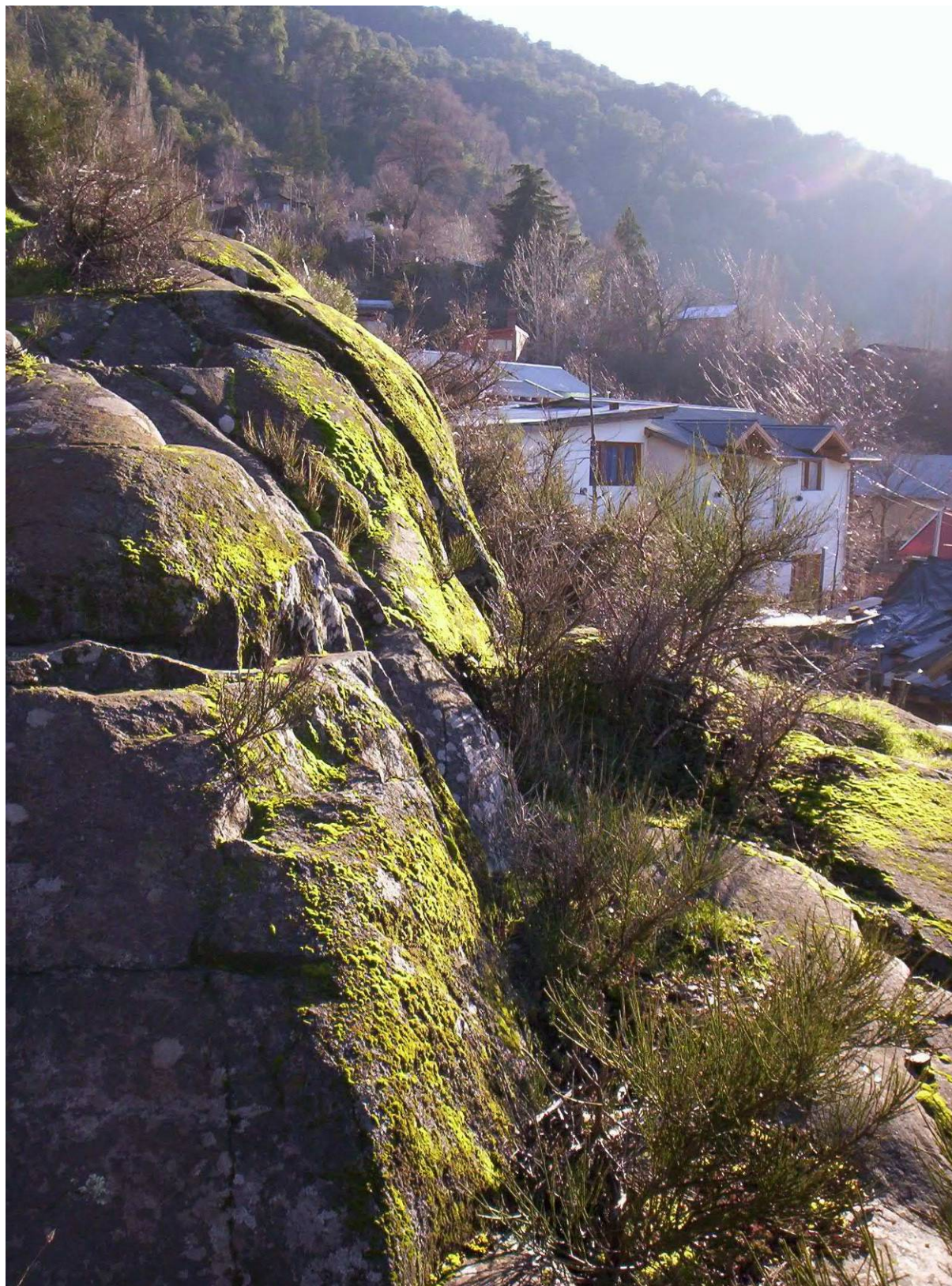


**Figura 7-25 - Roca cantereada labrada sobre los afloramientos rocosos del Complejo Coihuinca. El glaciar que actuó en este sitio se movía desde el extremo izquierdo hacia el derecho. El arranque fue favorecido por la existencia de un sistema de diaclasas de elevada densidad, el que puede reconocerse sobre la superficie cantereada de la figura.**

En esta localidad se observan rocas cantereadas (Figura 7-25) generadas por el efecto erosivo del hielo según un proceso de arranque en el sector del afloramiento situado a sotavento del movimiento del glaciar. También se reconocen lomos de ballena, rocas aborregadas (Figura 7-24), pulimentos y estriaciones, generadas por el efecto abrasivo del hielo en la zona de choque directo sobre el afloramiento. Todas estas geoformas indican que en este sector el desplazamiento del lóbulo de hielo de la Penúltima Glaciación fue hacia el Noreste.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 7-26. Acción erosiva alaciaría en el ámbito del Barrio Calderón.**



### Cono aluvial

Configura una geoforma de dimensiones reducidas que se sitúa en el sector marginal Sur del Barrio Godoy. En planta presenta un típico patrón morfológico con forma de abanico, con un perfil longitudinal de mínima inclinación.

#### (b) Geoformas de Remoción en Masa

Durante las observaciones realizadas se determinaron claras evidencias morfológicas de movimientos de remoción en masa, indicadoras de la existencia de los siguientes tipos principales de desplazamientos gravitacionales: Caída de Rocas, Volcamiento, Deslizamiento traslacional, Avalancha de rocas, Avalancha de suelo y detritos, Flujo rápido, Flujo lento y Movimientos complejos.

##### - Caída de Rocas:

Las morfologías relacionadas con Caída de rocas se observan en los sectores donde los afloramientos del Basamento Cristalino pre-Carbónico presentan paredes verticales, las que en algunas secciones llegan a ser parcialmente colgantes.

Los bloques que se desprendieron lo hicieron a favor de la existencia de sistemas de fracturas particulares, las que ya han sido descriptas en los puntos Estructuras y Condiciones Geotécnicas del ítem: Basamento Cristalino Pre-Carbonífero. Las fracturas que promovieron la caída de los bloques observados presentan una inclinación pronunciada hacia la cara libre, que aquí se manifiestan como escarpas verticales, interceptándola a varios metros por encima del pie de la pendiente. Los bloques que se separaron del afloramiento lo hicieron por la existencia de éste y otros juegos de planos de debilidad de muy alto ángulo.

La densidad que presentan los sistemas de fracturación existentes condiciona el tamaño de los bloques que se desplomaron. Como esta particularidad es variable a lo largo de los afloramientos, en los taludes sobre los cuales esta presente este tipo de dinámica, se acumulan bloques individuales que tienen tamaños que gradan de varios metros de lado (zona Oriental y Central del polígono de acción de PROMEBA, barrios Vallejos, Parque Sur, Julio Obeid), a sectores donde se observan carpetas de rocas con tamaños que oscilan desde los 20 a los 60 cm de lado (pendiente superior del Barrio Godoy).

##### - Volcamiento:

Geoformas relacionadas con este tipo de movimientos de remoción en masa se localizan en el área correspondiente a los afloramientos del Basamento Cristalino pre-Carbónico situados en el sector superior del Barrio Vallejos.

En este caso y a diferencia del movimiento precedentemente indicado para la caída de rocas, los bloques desplazados se separaron del afloramiento por la existencia de una fractura vertical profunda y un descalce basal que permitió su oscilación hacia delante. De esta forma el bloque pivoteó sobre su base y se volcó sobre la pendiente.

Estos movimientos solo se dan cuando la altura del bloque en movimiento supera sensiblemente sus parámetros de ancho y largo. Como resultado de este movimiento el bloque volcado fue afectado por un parcial fraccionamiento.

- Deslizamiento Traslacional:

Los movimientos del tipo Deslizamiento traslacional también se localizan en el ámbito de los afloramientos del Basamento Cristalino pre-Carbónico y como los ejemplos precedentes, la generación de este desplazamiento gravitacional esta fuertemente influenciado por el sistema de fracturación que estas rocas presentan.

Las geoformas observadas corresponden a bloques que se desplazaron patinando sobre superficies de deslizamiento, la que están relacionadas con la existencia de planos de fracturación que inclina en la misma dirección de la pendiente pero en menor grado que esta. En un caso se observa un bloque que se desplazo parcialmente sin llegar a realizar un recorrido total. En otro ejemplo el bloque se traslado mas allá del afloramiento depositándose sobre una carpeta de detritos de talud.

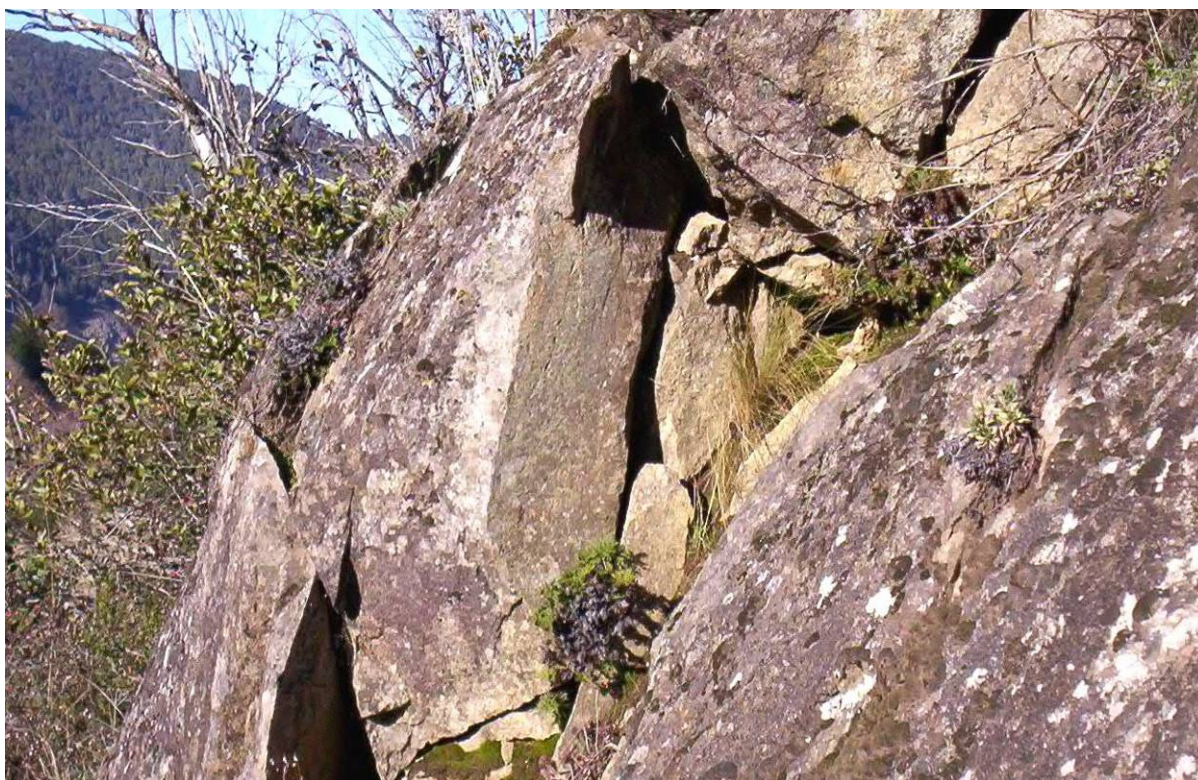
La morfología resultante para este tipo de movimiento de remoción en masa depende de la densidad que presentan las estructuras de fracturación. Cuando esta densidad es baja, el espaciamiento entre fracturas es del orden de varios metros y por lo tanto, los bloques deslizados tienen tamaños mayores que reflejan esta característica y aparecen aisladamente sobre la pendiente, como ocurre en el Barrio Vallejos. Si en cambio la densidad de fracturación es importante, al deslizarse el bloque se fracciona en componentes clásticos de menor tamaño que se acumulan sobre la pendiente o al pie de ella como una carpeta de bloques, como se observa en el Barrio Godoy y en el Barrio Calderón (Figuras 7-27 y 7-28).



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura7-27 - Acumulación de bloques generados por deslizamientos traslacionales. Pendiente superior del Barrio Calderón. El recuadro señala la localización de la Figura 7-28.**



**Figura 7-28. Detalle de la Figura 7-27.**



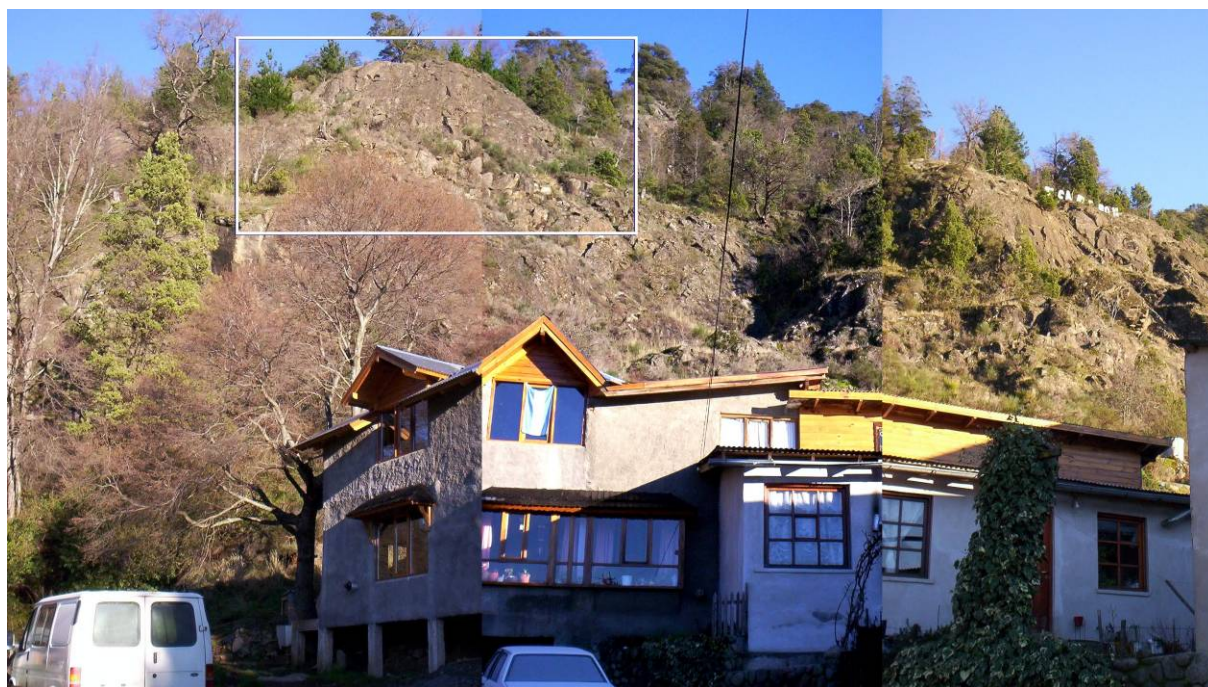
Estas morfologías también se despliegan en las pendientes que coronan a los barrios Vallejos, Parque Sur y Julio Obeid.

- Avalancha de Rocas y Avalancha de Suelo y Detritos:

Las geoformas relacionadas con movimientos del tipo Avalancha de rocas y Avalancha de suelo y detritos se localizan en las pendientes situadas por encima del polígono de acción de PROMEBA. A diferencia de las precedentes, en estas no se reconoce una superficie previa de deslizamiento como tampoco bloques individuales de varios metros de lado. En este caso el material en movimiento se comporta como un flujo denso y sufre una profunda deformación y mezcla durante el evento, razón por la cual se presenta con una morfología particular.

En el primer caso (Avalancha de rocas) la morfología resultante se manifiesta como una carpeta de bloques donde estos componentes líticos pueden llegar a tener un tamaño grande, eventualmente de hasta 1 m de lado, mientras que en el segundo caso (Avalancha de suelo y detritos) se presenta como una carpeta compuesta de fracciones clásticas finas, limo arenosas con subordinada participación de bloques.

Se localizan en los sectores superiores de los barrios Vallejos, Parque Sur, Julio Obeid, Godoy y Calderón (Figuras 7-29 y 7-30).



**Figura 7-29 - Avalancha de rocas local en la pendiente superior del Barrio Calderón. El recuadro indica la localización de la Figura 7-30.**



**Figura 7-30 - Detalle de la Figura 7-29. Se puede observar una acumulación de bloques sobre la pendiente como resultado de una avalancha de rocas.**

#### - Flujo Rápido:

Los movimientos del tipo Flujo rápido observados se relacionan con los afloramientos de rocas duras y con las acumulaciones morenicas, carpetas de detritos de talud y niveles de suelo. En todos los casos observados se pudieron identificar las áreas de arranque superior, las secciones de conducción intermedias y el sector distal de acumulación de varios episodios de este tipo.

Estos movimientos de remoción en masa detuvieron su recorrido cuando llegaron al pie de la pendiente o su cercanía, sector en el cual se expandieron dando lugar a una forma espatulada, que es la morfología de acumulación mas común asociada con este tipo de evento. Otros rasgos morfológicos diagnóstico, como por ejemplo es la cicatriz superior o zona de arranque del material que posteriormente se desplaza encauzado y culmina su recorrido depositándose al pie de la pendiente, son reconocibles en el sector Oeste y el sector Este del lateral Sur de Cerro Curruhuinca.

En este tipo de movimiento de remoción en masa el material que se traslada no lo hace sobre un plano de deslizamiento, de tal forma que la presencia o no de esta estructura no condicionan su existencia.



Las morfologías relacionadas con estos movimientos se observan claramente en dos zonas principales.

Una de ellas involucra parte del polígono de acción de PROMEBA debido a que la sección Oriental del Barrio Parque Sur y la sección Occidental del Barrio Vallejos están ubicadas sobre un antiguo flujo denso que en esta zona presenta el sector de expansión distal de planta espatulada. De hecho, este sector esta topográficamente sobreelevado como resultado del deposito referido. Hacia la sección superior de la pendiente se observa el canal de conducción por el que se desplazo el flujo y mas arriba, entre las cotas de 720 m y 750 m, se observan dos cicatrices semicirculares que marcan la corona superior del área afectada por el evento de remoción en masa y área de proveniencia del material removido.

La segunda localidad se sitúa en la pendiente superior del Barrio Calderón, aunque en este caso las geoformas de acumulación no llegaron a irrumpir en el área de lotes y viviendas. Aquí se pueden reconocer cuatro morfologías distintivas que indican la generación de otros tantos movimientos de este tipo. El de mayor tamaño se sitúa entre las cotas de 675 m y 825 m, punto este último en el que se observa una extensa corona semicircular de 150 m de extensión que marca el límite superior de la zona removida. Las restantes tres geoformas de remoción en masa de este tipo se localizan entre las cotas de 650 m y 690 m. En los cuatro casos referidos, las morfologías de acumulación originales han sido afectadas severamente por procesos erosivos fluviales posteriores, de tal forma que su reconocimiento es dificultoso.

- Flujo Lento, Reptaje:

Las morfologías relacionadas con movimientos del tipo Flujo lento o Reptaje se presentan como carpetas de detritos de talud que se apoyan sobre las secciones de pendientes mas empinadas de la vertiente Sur del Cerro Curruhuinca. Se localizan en los sectores superiores pero externos de la mayor parte del área de acción de PROMEBA, aunque en la sección correspondiente al Barrio Calderón tiene mínima presencia.

- Movimiento Complejo:

Las geoformas relacionadas con movimientos del tipo Complejo son de naturaleza híbrida, en las cuales se reconoce que participaron procesos dinámicos relacionados con movimientos de remoción en masa de distinta naturaleza. En general se puede inferir que comenzaron como deslizamientos traslacionales y culminaron como avalancha de rocas a lo largo del mismo evento. En otros casos se trata de geoformas que fueron generadas por deslizamientos traslacionales o avalancha de rocas y suelo y posteriormente se desplazaron como flujos

rápidos encauzados, parcialmente encauzados o no encauzados. Dentro de esta categoría se incluyen los movimientos que en el Mapa Geomorfológico se definen como Flujo parcialmente encauzado y Flujo no encauzado.

## **7.6 Peligro Geológico**

A partir del análisis e interpretación realizada sobre registros remotos (imágenes satelitales y fotografías aéreas) a la que se sumo la investigación local efectuada durante las tareas de campo, se pudo establecer cual es el grado de peligrosidad geológica que presenta la comarca.

La faja correspondiente al polígono de acción de PROMEBA y sus áreas adyacentes se encuentra emplazada en un medio geológico que se caracteriza por presentar unidades geológicas que presentan diferentes y, en general, elevado grado de susceptibilidad a los procesos de Remoción en Masa, Erosión Fluvial, Inundación y Sismicidad. De esta forma, cada uno de estos Peligros Geológicos se encuentran claramente asociados a la naturaleza de las rocas aflorantes, a los sistemas de fracturación que las afecta, a la topografía, a los procesos geodinámicos y a las características climáticas de la región.

De esta forma se pudieron identificar los siguientes peligros geológicos:

- Peligro a la Remoción en Masa
- Peligro a la Inundación
- Peligro a la Erosión Fluvial
- Peligro Sísmico

Teniendo en cuenta los objetivos principales planteados en este estudio y el grado de importancia y magnitud que alcanzan los peligros geológicos reconocidos, de todos ellos se destacan especialmente el Peligro a la Remoción en Masa, el Peligro a la Inundación (Ver Mapa de Peligro Geológico) y el Peligro Sísmico.

Las características, localizaciones e impactos relacionados con cada uno de los riesgos que afectan al polígono de acción de PROMEBA y sus áreas adyacentes se detallan a continuación.

### **7.6.1 Peligro de Remoción en Masa**

#### **(a) Descripción del problema**

Tomando como base el relevamiento geológico integral efectuado en este estudio, se identificaron áreas claramente inestables en las cuales están presentes geoformas relacionadas con diversos tipos de movimientos de remoción en masa. Además, se pudieron definir otras zonas donde estas morfologías no están presentes, pero en cambio son muy numerosos los factores internos y externos que promueven movimientos gravitacionales, razón por la cual configuran áreas potencialmente inestables. En todos estos ambientes se evaluaron los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad que están presentes a partir de la identificación de cada uno de los factores referidos, ya que se comportan como condicionantes y desencadenantes de movimientos de remoción en masa.

Este análisis detallado permitió establecer, en la comarca abarcada por el polígono de acción de PROMEBA y sus áreas aledañas, una zonación de peligrosidad a la remoción en masa, en la cual se determinaron cinco niveles de riesgo. Esta información está representada en la cartografía temática correspondiente al Mapa de Peligro Geológico.

Los niveles de peligro a la remoción en masa definidos son:

- Peligro Muy Alto
- Peligro Alto
- Peligro intermedio
- Peligro Bajo
- Peligro Muy Bajo

En todos los casos se trata de valores de peligrosidad relativa entre las zonas delimitadas, aclarándose que esta clasificación es de carácter cualitativo. Asimismo se destaca que algunos niveles de peligro adyacentes, presentan un cierto grado de incertidumbre en la definición del límite entre ambos. Esta situación se debe a que en varias zonas con el mismo nivel de peligro geológico están presentes geoformas de remoción en masa de diferente tipo y que geoformas del mismo tipo pueden presentarse en zonas con niveles de peligro diferente.

#### (b) Descripción de tipologías, procesos y localización

Como se indicó precedentemente en el ítem: *Geoformas de Remoción en Masa*, los movimientos gravitacionales de Remoción en Masa rápidos identificados, que en gran parte definen los cinco niveles de peligrosidad definidos, son los siguientes:



- Deslizamiento traslacional
- Caída de Rocas
- Volcamiento
- Avalancha de rocas - Avalancha de suelo y Detritos
- Flujo rápido
- Movimientos complejos

Los movimientos registrados en este estudio han tenido lugar debido a que la resistencia al corte en los macizos rocosos o en las acumulaciones inconsolidadas o débilmente compactadas comprometidas en el movimiento, fue superada por las fuerzas que generan la ruptura. Esta situación ocurre cuando los factores internos y externos que conducen a la caída de la pendiente superan la magnitud de los factores que la resisten. Por lo tanto resulta de importancia crítica identificar a cada uno de ellos y establecer sus magnitudes, especialmente para definir el grado de estabilidad que tienen las unidades de superficie sobre las cuales todavía no han sucedido desplazamientos gravitacionales.

La mayoría o solamente algunos de los factores de este tipo que fueron identificados en este estudio, al concurrir sinérgicamente dieron lugar a la generación de los movimientos de remoción en masa que se describen a continuación en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA y sus sectores aledaños, un ambiente geológico susceptible a este tipo de Peligro Geológico, el que es de ocurrencia inmediata ante disparadores naturales y antropogénicos.

- Deslizamiento Traslacional:

Como ya fue referido, se localizan sobre las rocas del Complejo Coihuinca, y se producen cuando los planos de discontinuidades estructurales, en este caso diaclasas abiertas sin cementación secundaria, interceptan la superficie de la pendiente al inclinar con valores menores que esta.

En estos casos el referido control estructural configura una superficie de deslizamiento de tal forma que toda la unidad de roca que se sitúa sobre ella se desliza rápidamente hacia el pie de la pendiente.

La velocidad de desplazamiento depende de la inclinación que presenta la superficie de patinaje, si esta supera los 75° de inclinación el bloque puede desplazarse a velocidades del orden de los 3 m/s (Varnes 1978).

Después del evento, además de la rampa que oficio de plano de deslizamiento basal, en la sección superior se observa una cicatriz de paredes planas subverticales relacionada con el sistema de diaclasas que posibilitaron el desprendimiento del bloque. Es decir, para que se de este movimiento debe existir un sistema de diaclasas según tres juegos: dos aproximadamente ortogonales y subverticales y un tercer juego aproximadamente normal a estos y con ángulo de inclinación menor al de la pendiente.

En el caso de los movimientos de este tipo que ocurren en el faldeo Sur del Cerro Curruhuinca se han reconocido, además de las referidas fracturas, una serie de factores naturales internos y externos que posibilitan que este tipo de eventos presente una ocurrencia bastante común. Estos factores son de dos tipos:

a) Factores externos naturales condicionantes y promotores del corte y caída:

- Pendiente empinada
- Stress transitorio por onda sísmica
- Precipitaciones pluviales y nívicas, las que actúan de diversas formas promoviendo e incrementando la magnitud de factores internos y externos tales como el aumento de peso sobre la pendiente, el incremento de la presión poral, la meteorización de los planos de fracturación abiertos, etc.
- Cambios bruscos de temperatura
- Congelamiento y descongelamiento del agua contenida en las diaclasas abiertas
- Crecimiento de árboles en las fracturas abiertas

b) Factores internos naturales condicionantes y promotores del corte y caída:

- Existencia de superficies de discontinuidad (diaclasas) que favorecen la presencia de planos potenciales de deslizamiento.

A los factores naturales referidos deben sumarse la actividad antropogénica de deforestación.

Los sectores donde se producen movimientos del tipo deslizamiento traslacional y en los cuales las condiciones geotécnicas son apropiadas para que estos desplazamientos se reiteren ante disparadores adecuados, se localizan en los niveles de pendiente superior de los barrios Vallejos, Parque Sur, Julio Obeid y Godoy.

- Caída de rocas:

Su generación involucra la presencia de estructuras similares a las referidas para los deslizamientos traslacionales, motivo por el cual se sitúan en los mismos ambientes geológicos que estos. La diferencia se basa únicamente en que en este tipo de movimiento el plano de deslizamiento debe localizarse a varios metros por encima del pie de la pendiente o cara libre del afloramiento rocoso, que en este caso además debe ser subvertical o colgante.

Iniciado el desprendimiento, el bloque resbala sobre el plano de deslizamiento y cae al pie de la escarpa subvertical, haciéndolo sobre el talud que en la mayoría de los casos observados tiene inclinaciones muy elevadas. Si el bloque es equidimensional, la altura de la caída es elevada y la roca no se fragmenta en componentes menores con el impacto, la misma mantendrá la suficiente energía cinética como para desplazarse hacia el pie de la pendiente mediante rebotes y arrastre sobre el talud. El recorrido total que el bloque pueda realizar desde su zona de arranque hasta su posición final se denomina sombra de caída.

Los bloques inestables que se localizan en el sector superior del Barrio Vallejos ( $40^{\circ} 8'49.25''S$  y  $71^{\circ}21'11.75''O$ ), lo hacen a una cota aproximada de 742 metros. Se ubican en el borde de una pendiente vertical, la que a partir de su pie continúa a lo largo de un talud inclinado que culmina en el contacto que este tiene con el piso del valle. Este último punto se sitúa a una cota de 685 metros.

Asimismo, la distancia entre éste quiebre de pendiente (contacto del talud con el piso del valle), y el sitio en el cual se localizan los bloques inestables es de aproximadamente 167 m, mientras que la diferencia de altura entre estos dos puntos es de 57 metros. Estas magnitudes permiten estimar que el ángulo de sombra es de aproximadamente  $23^{\circ}$ .

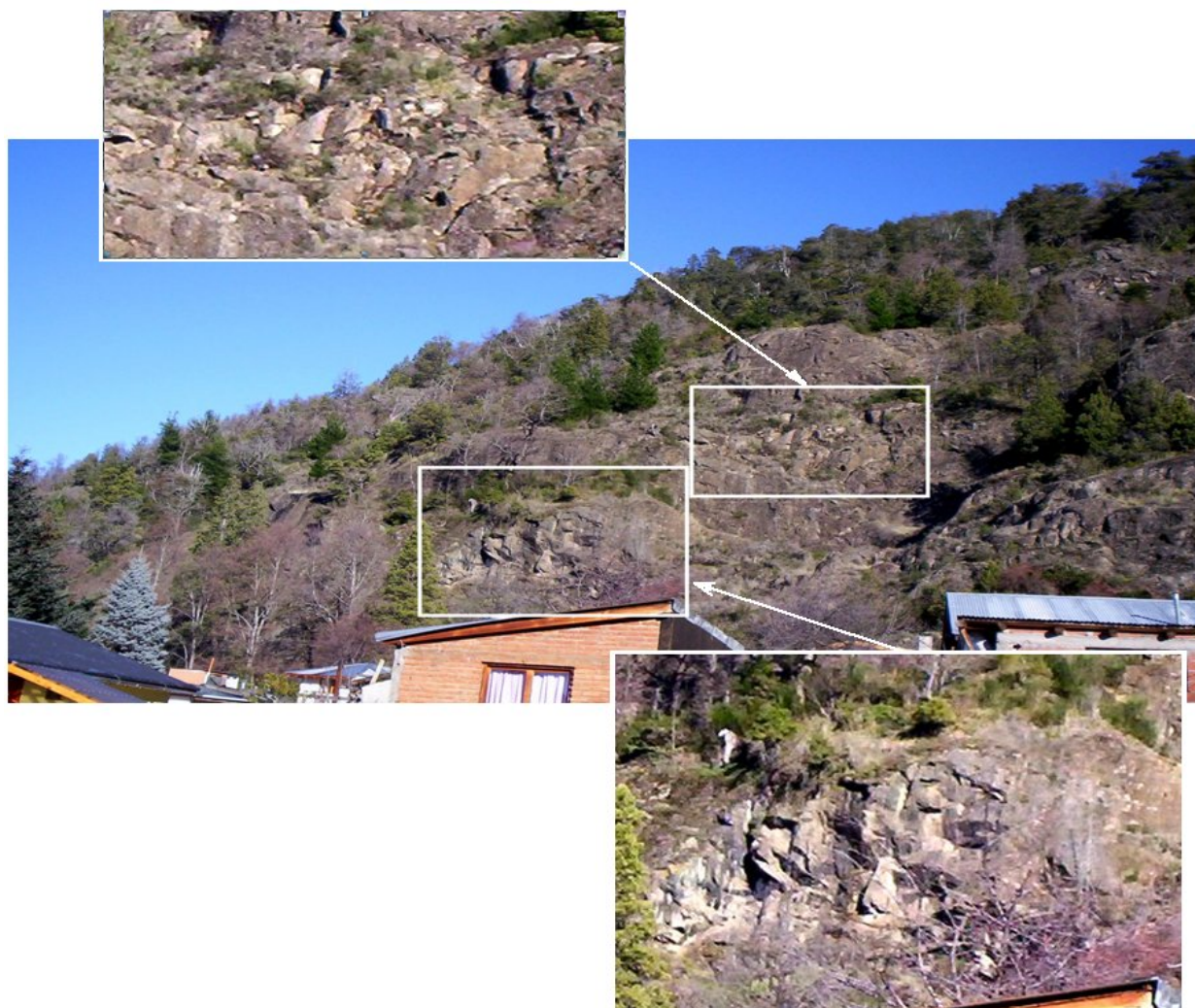
Teniendo en cuenta los sistemas de fracturas que están presentes en esta localidad, los bloques individuales pueden llegar a tener un tamaño medio de  $6 \times 3 \times 2$  m de lado con un volumen de  $36 \text{ m}^3$ . Para bloques de esta magnitud y ángulos de pendiente como los que están presentes en esta localidad, el recorrido de estas rocas desde la zona de arranque hasta su posición final o línea de sombra de caída, es del orden de los 120 metros. Esta situación implica que la caída de uno de estos bloques podría atravesar perpendicularmente la mayor parte del Barrio Vallejos en este sitio. Además, la energía cinética que tendría el bloque durante las primeras decenas de metros, antes de perder energía por rozamiento y choque por rebotes, sería sumamente elevada, muy por encima de los 300 kJ, que es el valor límite que corresponde a la energía de impacto que puede ser soportada por una pared de hormigón armado.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

Los factores naturales externos e internos que condicionan y promueven la caída de rocas son lo que se definieron precedentemente para movimientos del tipo deslizamiento traslacional.

En las áreas en las cuales se dan movimientos del tipo Caída de rocas, también esta presente una elevada susceptibilidad del medio geológico a su reiteración. Estos sectores se localizan en las pendientes situadas por encima de los barrios Vallejos, Parque Sur, Julio Obeid , Godoy y en menor medida, en el Barrio Calderón (Figuras 7-31 y 7-32)



**Figura 7-31 - Cicatrices generadas por caída de rocas recientes. Pendiente superior del Barrio Calderón.**





**Figura 7-31 - Cicatriz superior y acumulación de bloques inferior relacionada con caída de rocas reciente. Barrio Calderón.**

#### - Volcamiento:

Este tipo de movimiento de remoción en masa tiene una presencia limitada. Se lo ha identificado solamente en el sector superior del Barrio Vallejos afectando a las rocas del Basamento Cristalino pre-Carbónico.

Para que ocurra un volcamiento deben conjugarse una serie de particularidades que en general solo son de concurrencia local para el sitio referido y poco frecuentes en el resto de la comarca: debe estar presente un juego de diaclasas verticales y subverticales profundas, estas ultimas con planos de inclinación opuestos al de la pendiente, la morfometría del bloque inestable debe tener una altura muy superior a su ancho y largo, el bloque en su conjunto debe formar un prisma irregular mas abultado en la sección superior que en la inferior y debe producirse un descalce en la base del bloque, especialmente en su margen externo.

Como resultado del volcamiento el bloque inestable caerá sobre la pendiente del talud desplazándose sobre el, aunque con una velocidad y recorrido final inferior al indicado para una caída de rocas. Dependiendo de cual es la densidad del diaclasamiento presente en el bloque, se podrá desagregar en componentes menores, los que a continuación de la caída podrían desplazarse como una avalancha de rocas, incrementando el radio de peligrosidad.

- Avalancha de rocas - Avalancha de suelo y Detritos:

A diferencia de lo que ocurre con los deslizamientos, en este tipo de movimiento el material que se desplaza no se mantiene coherente sino que se deforma trasladándose como un flujo. Tampoco se reconoce una superficie de deslizamiento sobre la cual el material se traslada. Por estas características quedan incluidos dentro de la clasificación de flujos.

La distinción que se hace en dos tipos diferentes de avalancha se basa en consideraciones relacionadas con la naturaleza y granulometría de sus componentes líticos. Por ejemplo, las avalanchas de rocas están presentes en el ámbito de los afloramientos correspondientes al Basamento Cristalino pre-Carbónico y se integran mayoritariamente de bloques aproximadamente equidimensionales de tamaño medio entre 20 cm y 60 cm, mientras que las avalanchas de suelo y detritos se vinculan con los sectores en los cuales se localizan acumulaciones morenicas discontinuas y por lo tanto presentan una granulometría areno limosa, con clastos subordinados.

Con respecto a las velocidades que pueden alcanzar estos tipos de flujo, Varnes (1978), indica valores que van desde rápidos (18-20 metros por hora) a extremadamente rápidos (3 metros por segundo). Teniendo en cuenta las características granulométricas de los componentes líticos que se relacionan con los movimientos de este tipo detectados en la ladera del Cerro Curruhuinca y la inclinación de la pendiente sobre las que se desplazaron, pueden considerarse como más probables velocidades intermedias para las avalanchas de rocas y las más rápidas para las de suelo y detritos.

Estos movimientos gravitacionales se localizan en los sectores superiores de los barrios Vallejos, Parque Sur, Julio Obeid, Godoy y Calderón (Figura 32 y Figura 33). En estas áreas están presentes una serie de factores naturales externos e internos que incrementan la susceptibilidad de estas pendientes a ser afectadas por movimientos de este tipo. Como estos factores también están presentes en sitios adyacentes a los referidos y en los cuales no se han producido estos movimientos, la superficie que potencialmente podría tener avalancha de rocas excede a la indicada, tal como se puede observar en el Mapa de Peligro Geológico.



Entre los factores externos que contribuyen a incrementar el stress y posterior caída en las pendientes situadas en las localidades referidas se destacan los siguientes:

- Precipitaciones pluviales y nivas, que actúan promoviendo e incrementando la magnitud de factores internos y externos
- Pendiente empinada
- Pendiente general cóncava que tienden a la convergencia del agua de escorrentía
- Incremento de carga por depósitos de remoción en masa
- Stress transitorio por onda sísmica
- Fusión rápida de la nieve
- Variaciones climáticas de mediano y largo plazo
- Erosión fluvial dirigida



**Figura 7-32 -. Corte de pendiente situada a 940 m de altura, y a 300 m por encima del Barrio Calderón. Se observan gran número de planos de diaclasas que favorecen movimiento del tipo deslizamiento traslacional y avalancha de rocas. El recuadro indica la localización de la Figura 7-33**





**Figura 7-33 - Detalle de la Figura 32. Las flechas indican tres juegos de diaclasas ortogonales que facilitan los movimientos de remoción en masa referidos precedentemente.**

Entre los factores internos que contribuyen a incrementar el stress y posterior caída en las pendientes analizadas se destacan los siguientes:

- Bajo grado de cohesión interna por ausencia de cementación en los sedimentos glaciares
- Bajo grado de cohesión interna por incremento de la presión poral
- Bajo grado de cohesión interna por meteorización
- Bajo grado de agregación o compactación entre los componentes clásticos de los depósitos de talud
- Secuencias con alternancia de acumulaciones con diferente grado de permeabilidad
- Presencia de materiales expansivos
- Plasticidad de algunos depósitos

- Hidratación y desecación recurrente de arcillas

A los factores naturales referidos debe sumarse la acción modificadora antropogénica a partir de las siguientes acciones:

- Deforestación, practica produce un incremento en la tasa de erosión de las laderas promoviendo así su inestabilidad
- Corte de pendientes inestables a partir de la excavación de locaciones para fundación de viviendas, actividad que da lugar a la caída local de la pendiente
- Emisión de efluentes domiciliarios, que generan un Incremento de la presión poral, la que aumenta la magnitud de las fuerzas que promocionan la generación de fallas
- Incremento de peso
- Incremento de vibraciones

- Flujo rápido:

Los movimientos de este tipo tienen una presencia destacada en el ámbito y adyacencias del polígono de acción de PROMEBA. Presentan los sectores proximales (cicatriz superior) sobre el ambiente de rocas del basamento Pre-Carbónico y cubiertas discontinuas de sedimentos mas modernos, mientras que las secciones distales se ubican en el quiebre de pendiente.

En todos los casos se trata de movimientos de masas que involucran suelo, detritos y bloques rocosos y en los cuales la participación del agua cumplió un rol destacado ya que, en general, es el disparador del proceso y, además, permite que los materiales clásticos en movimiento se comporten como un fluido encauzado, desplazándose por deformación y sin presentar un plano de deslizamiento ni superficies de ruptura.

Su generación dio lugar a una serie de cicatrices o zonas de arranque superior, en la mayoría de los casos de planta subcircular (Ver Mapa Geomorfológico) que se conecta con una sección de conducción, que en general es una quebrada, culminando con un depósito distal en piso del valle.

Las velocidades comprometidas en este movimiento son variables, ya que dependen de varios factores tales como: granulometría de los componentes del flujo, cantidad de agua incorporada durante el suceso, grado de inclinación de la pendiente de transporte, volumen en movimiento, índice de tortuosidad de la quebrada conductora, etc., oscilando entre valores de menos de 1 m/segundo hasta 15 m/segundo (Varnes, 1978).



Una característica particular que presentan estos movimientos es su reiteración en el tiempo, razón por la cual es altamente probable la materialización de nuevos eventos en los sectores donde ya han ocurrido, como es el caso de la sección Oriental del Barrio Parque Sur, la sección Occidental del Barrio Vallejos y el Barrio Calderón. Estas localizaciones específicas son indicadoras de un nivel de debilidad particular en las rocas del basamento Pre-Carbónico, la que probablemente este relacionada con una zona de fallamiento. Al respecto se señala que es justamente en el Barrio Calderón donde los afloramientos del basamento Pre-Carbónico presentan una densidad de fracturación muy elevada (ver en ítem *Basamento Cristalino Pre-Carbonífero*, el tema Estructura).

En estos sitios los factores naturales que condicionan y promueven a estos movimientos no han variado y, por lo tanto, las pendientes existentes mantienen elevados niveles de inestabilidad. Los referidos factores son:

Factores externos:

- Precipitaciones pluviales y nivas, las que actúan de diversas formas promoviendo e incrementando la magnitud de factores internos y externos tales como el aumento de peso sobre la pendiente, empinamiento de la pendiente como consecuencia de corte por acción erosiva, incremento de la presión poral, meteorización de los planos de fracturación abiertos, etc.
- Pendiente empinada
- Pendiente local cóncava que tienden a la convergencia del agua
- Fusión rápida de la nieve

Factores internos:

- Bajo grado de cohesión interna por ausencia de cementación en los sedimentos glaciares
- Bajo grado de cohesión interna por incremento de la presión poral
- Bajo grado de cohesión interna por meteorización
- Bajo grado de agregación o compactación entre los componentes clásticos
- Secuencias con alternancia de acumulaciones con diferente grado de permeabilidad
- Presencia de materiales expansivos
- Plasticidad de algunos depósitos

- Hidratación de arcillas
- Existencia de superficies de discontinuidad de elevada densidad que favorecen la presencia de planos potenciales de deslizamiento y la debilidad estructural.

A los factores naturales referidos debe sumarse la acción antropogénica. En este sentido se mencionan las siguientes:

- Deforestación
- Corte de pendientes inestables a partir de la excavación de locaciones para fundación de viviendas
- Emisión de efluentes domiciliarios
- Incremento de peso
- Incremento de vibraciones

- Movimientos complejos:

A tratarse de formas híbridas comparten los factores internos y externos que condicionan y promueven a los movimientos del tipo deslizamiento, avalancha y flujo. Por la misma causa, tiene una amplia distribución en la comarca relevada.

### (c) Impacto

Los eventos de remoción en masa que están presentes en la comarca producen una serie de impactos de gran severidad sobre las actividades antropogénicas y las obras que se localizan en este ambiente. Entre los más críticos se destacan los siguientes:

- Costo en vidas
- Destrucción de viviendas
- Incremento del riesgo de inundación por aluviación de cauces

## 7.6.2 Peligro de Inundación

### (a) Descripción del problema

El curso fluvial de mayor importancia en la comarca es el arroyo Pocahullo, sin embargo, dada su lejanía con el ámbito del polígono de acción de PROMEBA, no tiene una incidencia directa en este ambiente. Si bien este arroyo configura para el tendido urbano formal un riesgo geológico a tener en cuenta, en los mapas relevados no se lo ha considerado y por lo tanto no

se ha evaluado el grado de peligrosidad que presenta por la razón indicada. Esta situación difiere de la que presentan una serie de arroyos secundarios tributarios de este curso fluvial, que descendiendo por la ladera Sur del Cerro Curruhuinca, atraviesan en forma normal al referido polígono.

Se trata de cursos fluviales de régimen temporario relacionados con cuencas locales de desarrollo variable. Las tres mas extensas se vinculan con los arroyos situados en el margen Occidental del polígono (Barrios Godoy y Calderón), le sigue en magnitud otras dos cuyos cauces troncales atraviesan el extremo Oriental del polígono (Barrio Vallejos) y completan el sistema fluvial tributario otras ocho cuencas de menor entidad cuyos cauces en general cortan el polígono en la zona central (Barrios Julio Obeid y Parque Sur) y una cuenca muy reducida situada en el margen Norte del Barrio 3 de Caballería.

La red fluvial asociada con cada uno de los arroyos referidos tiene un diseño subdendrítico, de densidad intermedia a baja, con algunos cauces controlados por fracturas principales. Las quebradas relacionadas con estos cursos fluviales, especialmente los troncales principales, presentan variaciones notables tanto en los perfiles transversales como a lo largo de sus perfiles de equilibrio longitudinales.

Esta particularidad se debe a la existencia de los afloramientos del Basamento Cristalino pre-Carbónico (Complejo Coihuinca) que en el faldeo del Cerro Curruhuinca llegan a disponerse escalonadamente como masivos resaltos subhorizontales ejerciendo un fuerte control estructural en la red fluvial.

La referida componente estructural da lugar a perfiles de equilibrio no regularizados en los cuales cada escalón se comporta como un nivel de base local, existiendo entre ellos una inclinación muy fuerte de la pendiente. En el sector distal (zona del polígono de acción de PROMEBA) esta inclinación disminuye abruptamente con la llegada de estos arroyos al piso del valle sobre el que se asienta la ciudad de San Martín de los Andes. Asimismo, los perfiles transversales de las quebradas también son muy variables ya que pasan rápidamente de ser profundos y encajados en el terreno a casi desaparecer sin mostrar mayores transiciones.

Si bien, como se indico, el régimen general de estos arroyos es de carácter estacional, hasta intermitente, su existencia implica un factor de riesgo a la inundación considerable ya que ante precipitaciones extraordinarias pueden concentrar caudales importantes y dar lugar a eventos de inundación locales, además de convertirse en el medio de conducción de flujos rápidos, situación esta ultima que ha ocurrido en el pasado reciente.



El riesgo de inundación se potencia especialmente en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA, debido a que en estos sectores los cauces pierden rápidamente su inclinación y profundización, difuminado su entidad, situación que da lugar a desbordes y anegamientos. Otros factores de importancia crítica que dieron lugar a un incremento del peligro de inundación son las modificaciones antropogénicas introducidas en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA.

Teniendo en cuenta las particularidades señaladas para los sistemas fluviales locales, y la que surge del reconocimiento de numerosos factores internos y externos que promueven procesos de inundación en el ámbito de las subcuencas investigadas, se logra establecer un Peligro de Inundación Muy Alto para siete de las 14 cuencas reconocidas (Ver Mapa de Peligro a la Inundación). Para las restantes 7 cuencas se considera un Peligro de Inundación Bajo a Muy Bajo debido a que se trata de subcuencas de desarrollo muy limitado.

En las cuencas con Peligro de Inundación Muy Alto, el anegamiento esta directamente vinculado con las lluvias locales y/o fusión rápida de nieve.

#### (b) Cualidades del evento

El retraso es muy breve, dada la limitación areal que tienen las cuencas.

La magnitud del área anegada varía rápidamente. Durante la primera etapa de la inundación, queda definida por la morfometría de los cauces incisos en el relieve, por lo tanto configura una franja inundada de ancho regular que coincide con esta unidad geomórfica. Al aumentar el nivel de inundación, el agua se desplaza localmente cubriendo las áreas inmediatas. El referido desborde es de mayor importancia hacia el sector distal de la cuenca, zona donde los cauces pierden entidad y se produce una rápida atenuación de la inclinación de la pendiente.

La frecuencia de la inundación debe considerarse estacional y de recurrencia anual. Debido al régimen que tienen estos cursos fluviales, guarda directa relación con los periodos de mayor precipitación pluvial y nival.

La duración del episodio de inundación es limitada y guarda directa relación con la duración de las precipitaciones y fusión de la nieve caída en cada subcuenca.

#### (c) Factores Condicionantes y Promotores

Los factores naturales reconocidos que condicionan y promueven el peligro de inundación son:

Factores externos:

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- Precipitaciones pluviales y níveas
- Perfiles de equilibrio no regularizados
- Pendiente general cóncava que tienden a la convergencia del agua
- Perdida de inclinación abrupta en la sección distal del cauce
- Fusión rápida de la nieve

Factores internos:

- Impermeabilización parcial
- Bajo índice de percolación

A los factores naturales referidos debe sumarse otros de naturaleza antropogénica. En este sentido se mencionan que fueron observadas en el estudio de campo:

- Deforestación
- Emisión de efluentes domiciliarios
- Desvió de cauces naturales
- Endicamientos locales
- Modificación de la morfometría fluvial original
- Colmatación de cauces

#### (d) Impacto

Los eventos de inundación que están presentes en el ámbito del polígono de acción de PROMEBA, especialmente en su sección inferior, impactan sobre las actividades y las obras que se localizan en este ambiente. Entre los más críticos se destacan la destrucción de viviendas e infraestructura.

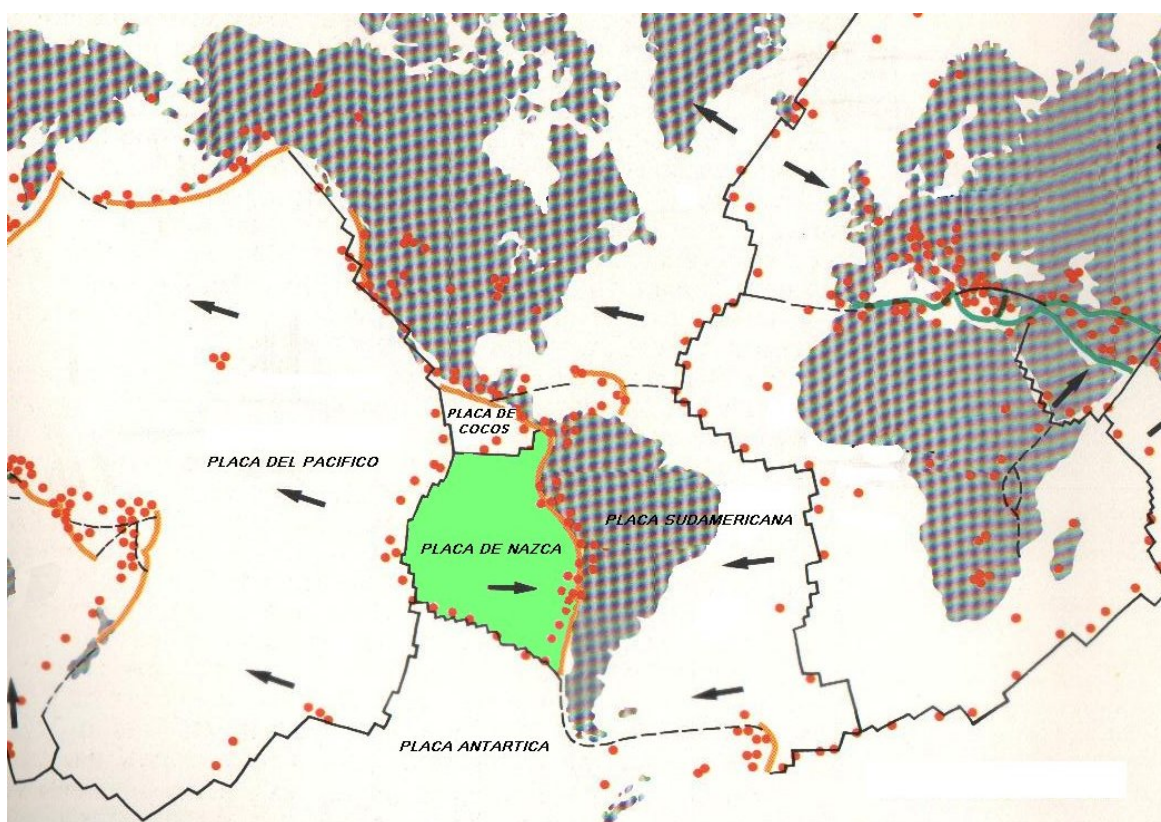
#### (e) Peligro Sísmico

El conocimiento de cuales son las características que presenta el marco tectónico regional de la localidad bajo estudio, es de capital importancia ya que brinda información acerca del desarrollo de la actividad sísmica, la que constituye uno de los aspectos que deben tenerse seriamente en cuenta debido a la capacidad que tiene para actuar como uno de los mecanismos disparadores de los procesos de remoción en masa.

La región correspondiente a San Martín de los Andes presenta un nivel de peligro sísmico variable

Esta peligrosidad proviene de los procesos dinámicos de naturaleza endógena vinculados con la geotectónica global. Bajo este aspecto se reconoce que el fondo oceánico Pacífico se encuentra dividido en numerosas placas rígidas en movimiento de las cuales la Placa de Nazca y su relación con la Placa Sudamericana es la clave en el entendimiento de la sismicidad que presenta la región analizada.

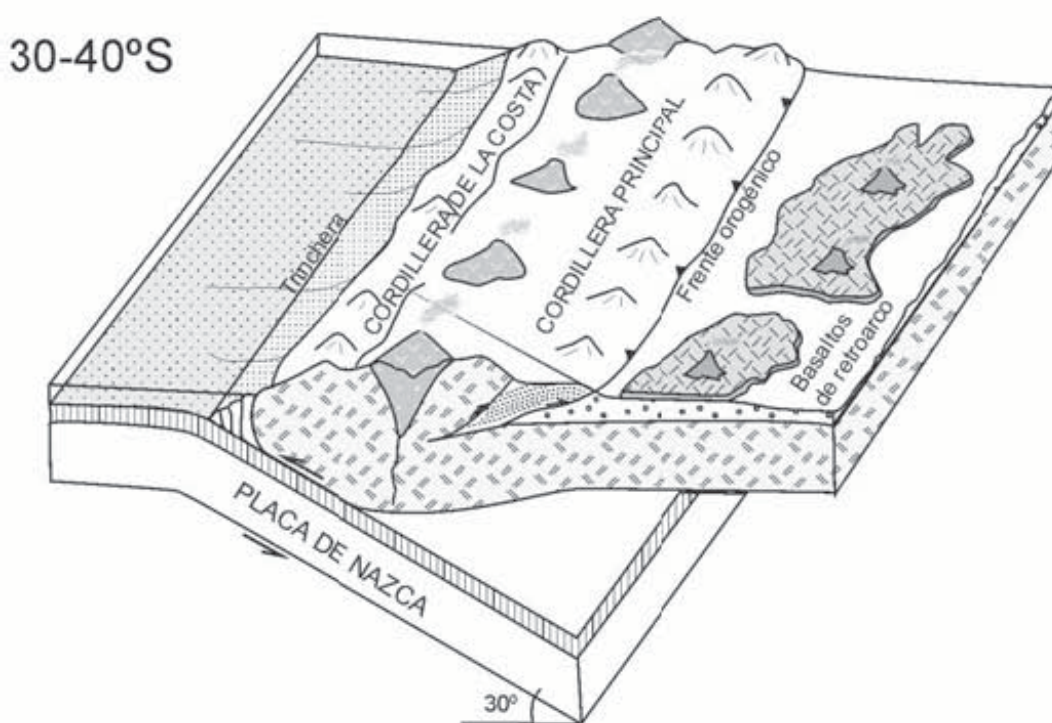
Esta placa se localiza en el Este del Océano Pacífico, junto a la costa occidental de Sudamérica, limitando al sur con la Placa Antártica, al Oeste con la Placa del Pacífico y al norte con la Placa de Cocos, siendo todas estas placas de naturaleza oceánica y circunscritas entre si por fallas transformantes y cordilleras centro oceánicas (Figura 7-34). Por su parte, y a diferencia de las relaciones indicadas, el borde oriental de la Placa de Nazca, al desplazarse progresivamente hacia el Norte 80° Este, a una velocidad de convergencia limitada, colisiona con la Placa Sudamericana de naturaleza continental y se sumerge progresivamente por debajo de ella (Figura 7-35)



**Figura 7-34 - Localización de la Placa de Nazca y su relación con las restantes placas oceánicas y continentales adyacentes. El trazo anaranjado indica la zona de colisión entre la placa oceánica de Nazca y**



la placa continental Sudamericana, los puntos rojos muestran la posición general de sismos de gran magnitud, la flecha el movimiento neto de la placa y el trazo negro irregular las líneas de separación a partir de fallas transformantes y la localización de dorsales oceánicas.



**Figura 7-35 - Sección transversal del arreglo tectónico global en región bajo análisis. Modificado de Jordan et al. (1983)**

Este hundimiento se da a lo largo de una discontinuidad geológica definida como Zona de Subducción, lo que implica que este margen continental es de carácter activo en cuanto al grado de vulcanismo, tectonismo y, por lo tanto, de sismicidad que presenta.

Si bien la evolución de esta placa solo ha sido parcialmente interpretada debido a la complicada relación que guarda con las restantes, es conocido e indiscutido el hecho que los procesos geológicos de carácter endógeno que se relacionan con el movimiento de subducción de la misma, y de las restantes placas situadas a lo largo del margen pacífico, son los que han dado origen a la Cordillera Andina en su conjunto y a la Fosa marina Chilena-Peruana.

Dentro del referido contexto global, la zona de colisión-subducción mas cercana a la comarca estudiada se sitúa sobre la faja conocida como segmento sur de los Andes Centrales, lugar donde el ángulo de subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental de América del Sur es del tipo normal (Figura 35). Este margen de placa activo,

genera los esfuerzos compresivos que dan origen al ascenso de la Cordillera de los Andes y la fusión de la losa oceánica que regula la actividad volcánica

El referido rozamiento y los complejos procesos geodinámicos que tienen lugar en esta interfase dan origen inicialmente a sismos de foco poco profundo que comienzan a evidenciarse a partir de aproximadamente 100 Km. al Oeste de la costa, sitio del inicio del hundimiento de la placa de Nazca, el que además queda evidenciado en la topografía del fondo oceánico por la existencia de la zona mas profunda de la fosa Chileno-Peruana (Figura 36). Desde esta posición y hacia el Este la zona de rozamiento se ahonda cada vez más por debajo de Chile y la Provincia de Neuquén.



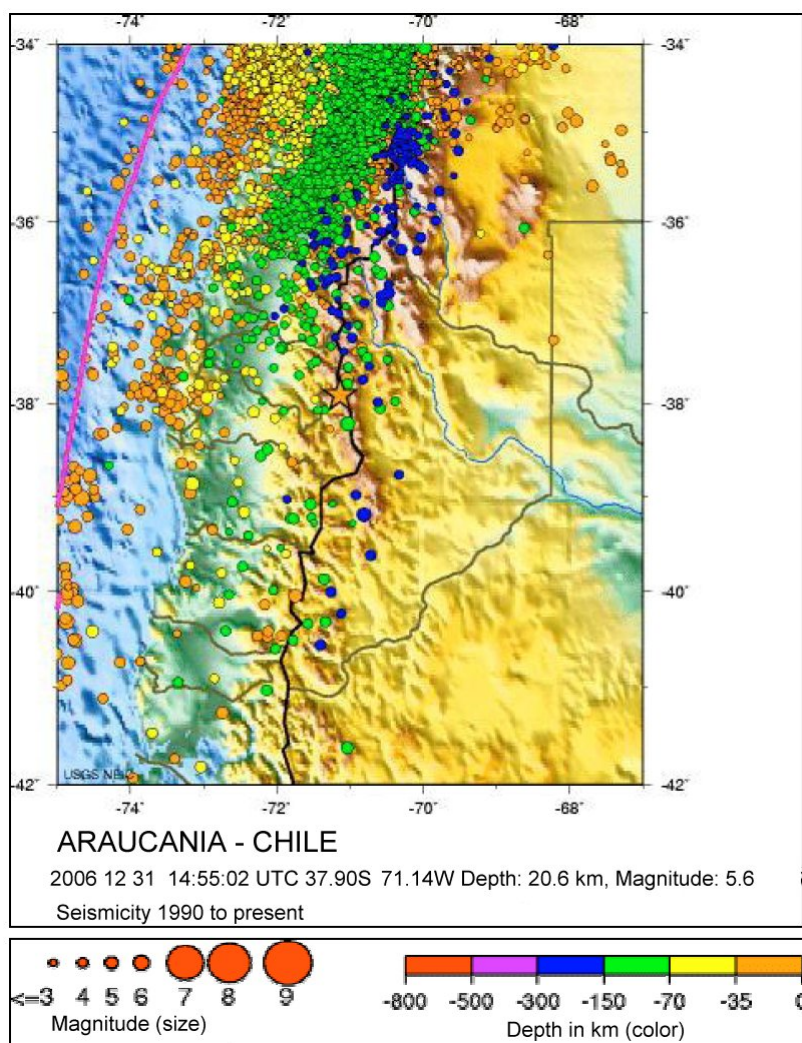
**Figura 7-36**

Salminci (2007), indica que el segmento comprendido entre los 39° y los 45° está caracterizado por la subducción levemente oblicua, con un vector de convergencia de 79° de azimuth, de la placa de Nazca bajo la placa de América del Sur a los 46° 30'S. Esta componente oblicua produciría movimientos transcurrentes en la zona de arco volcánico, cuyo frente es paralelo a la trinchera oceánica como resultado de la geometría de la zona de Benioff.

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Estos movimientos están atestiguados por sismos superficiales a los 39° y a los 45°, cuyos mecanismos focales sugieren componentes dextróginas en las fallas meridianas a la región (Cembrano y Lavenu 1997). Este esquema fue extendido al hacia el norte hasta los 39°S por López Escobar et al. (1995) y Lavenu et al. (1997), entre otros. La actividad sísmica responde al cuadro tectónico descrito precedentemente, donde los terremotos son mayoritariamente de intraplaca correspondientes a focos superficiales y de profundidad intermedia, con una densidad de eventos baja y magnitudes que alcanzan los 6 puntos (Figura 7-37) en la escala de Richter.

Si bien la frecuencia de la sismicidad es baja, los valores históricos que ha presentado constituyen un peligro geológico potencial debido a que las intensidades que ha tenido configuran un disparador apropiado para que se materialicen diversos tipos de movimientos de remoción en masa en las pendientes inestables que están presentes en el Cerro Churruica.



**Figura 7-37 - Mapa de sismicidad de la región. Fuente USGS.**



- Impacto:

Los sismos que potencialmente podrían ocurrir en la comarca afectarían el ámbito del Polígono de Promebea y producirían:

- Promoción generalizada de movimientos de remoción en masa del tipo Caída de rocas, Deslizamiento Traslacional, Volcamiento y Avalancha de rocas y suelo.
- Costo en vidas.
- Masiva destrucción de viviendas e infraestructura.

## **7.7 Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad se define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos que estan bajo riesgo si se diera la ocurrencia de un evento dinámico de magnitud destructiva.

Teniendo en cuenta esta definición, la vulnerabilidad depende de la intensidad del referido evento destructivo y de las características que tienen los elementos considerados bajo riesgo.

En el estudio realizado, el referido evento dinámico de magnitud destructiva es la manifestación de un peligro geológico. Por su parte, los elementos considerados bajo riesgo son las viviendas y la infraestructura de servicios que se sitúan en el polígono de acción de PROMEBA.

El carácter de la evaluación es cualitativo y en este estudio se definieron tres categorías que son las siguientes:

- Vulnerabilidad Alta
- Vulnerabilidad Media
- Vulnerabilidad Baja.

### **7.7.1 Vulnerabilidad Alta**

La categoría de Vulnerabilidad Alta abarca la mayor parte del polígono de acción de PROMEBA. Incluye aproximadamente el 85% de su superficie total, a la que además excede al avanzar parcialmente sobre el tendido urbano formal marginal de la ciudad de San Martín de los Andes. Incluye viviendas e infraestructura de servicios.

Analizada por barrio, la Vulnerabilidad Alta se despliega en el sector Norte del Barrio 3 de Caballería abarcando el 50 % de su superficie total. Además abarca la franja Norte y Oriental del Barrio Vallejos ocupando esta categoría el 65 % de su superficie. En el Barrio Parque Sur se sitúa en su sector Occidental ocupando el 50% de este loteo. Hacia el extremo Oeste del

polígono cubre la totalidad del Barrio Julio Obeid y aproximadamente el 60 % de los barrios Godoy y Calderón.

### **7.7.2 Vulnerabilidad Media**

Solo esta presente en tres barrios según superficie similares. En el Barrio Parque Sur abarca la zona Este del mismo, extendiéndose al barrio lindero de Vallejos. En este último hay una segunda área menor con esta categoría de Vulnerabilidad Media. El restante sector se localiza en el Barrio Calderón.

### **7.7.3 Vulnerabilidad Baja**

Esta presente en tres barrios, aunque con desigual magnitud. La superficie más extendida se localiza en el Barrio Godoy, de menor desarrollo es la que se sitúa en la margen Oeste del Barrio 3 de Caballería y mas reducida todavía es la que se localiza en el sector centro Sur del Barrio Vallejos

## **7.8 Conclusiones**

La pendiente Sur del Cerro Curruhuinca se caracteriza por presentar condiciones morfológicas, petrológicas, sedimentológicas, estructurales y geomórficas que le confieren a sus pendientes un muy elevado nivel de inestabilidad. Esta característica da lugar a la generación de una variada tipología de Peligros geológicos.

En este estudio se ha determinado que entre los de mayor importancia, por el elevado potencial de riesgo que implican, se destacan el Peligro de Remoción en masa (Avalancha de rocas, Deslizamiento trasnacional, Volcamiento, Flujos encauzado y Caída de rocas), el Peligro de Inundación y el Peligro Sísmico, este último en relación con la propiedad que tiene como eficaz disparador de Movimientos de Remoción en Masa.

Asimismo se ha podido determinar que la mayor parte de la comarca incluida dentro del polígono de intervención de PROMEBA, esta bajo la influencia de los referidos peligros geológicos. Solo unos pocos sectores del área correspondiente al PROMEBA queda fuera de sus áreas de influencia.

Si bien la percepción social señala a la Caída de rocas como el problema de mayor gravedad, se destaca que este tipo de remoción en masa, por ser de ocurrencia local, no ha sido considerado en este estudio como el de mayor gravedad. En cambio si lo son otros

movimientos gravitacionales no tan evidentes a la observación superficial tales como Avalancha de rocas, Deslizamiento traslacional, Volcamiento, Flujo encauzado e Inundación.

A partir de la superposición de las diversas capas temáticas obtenidas en este estudio, se pudo determinar que la Vulnerabilidad que tienen las estructuras urbanas que están presentes en el polígono de intervención de PROMEBA es notablemente elevado ya que mas del 60% de las referidas instalaciones presentan el máximo nivel de Vulnerabilidad (vulnerabilidad Alta). Asimismo, la precariedad de la infraestructura que esta presente implica un incremento mayor a la vulnerabilidad de base.

Los referidos peligros geológicos se caracterizan por no tener una ocurrencia cíclica, más allá de los incrementos estacionales anuales en el caudal de los arroyos que atraviesas la comarca. Los disparadores están, en cambio, relacionados con acontecimientos del tipo plurianual (incremento de caudales vinculados con precipitaciones extraordinarias en coincidencia con derretimiento rápido de nieve estacional) o con promotores de índole endógena, tales como los movimientos sísmicos, los que no pueden ser pronosticados con antelación.

## **7.9 Recomendaciones**

Teniendo en cuenta la complejidad y desarrollo areal que presentan los peligros geológicos detectados se concluye que, salvo localizaciones particulares en las cuales se pueden aplicar soluciones ingenieriles particulares para la resolución de problemas de baja magnitud, en el resto de la comarca el manejo estructural de los riesgos naturales, especialmente el de remoción en masa, involucra gastos iniciales formidables en obras defensivas, no es sustentable en el tiempo debido a fuertes requerimientos económicos en el mantenimiento de esas obras, no es aconsejable ya que involucra daños ambientales severos en el medio ambiente y muchas veces resulta ineficiente. Por lo tanto, se recomienda la relocalización de la planta urbana que actualmente se sitúa sobre las unidades de pendiente de mayor peligrosidad e impedir la ocupación de nuevos espacios. Esta opción implica que aproximadamente el 60% de la infraestructura debería desplazarse del sector en el cual se encuentra actualmente y transformar esos sitios en ambientes naturales.

El mantenimiento de las condiciones actuales implica un crecimiento progresivo de la ocupación inicialmente informal y luego estructural, de un medio natural que, además de ser muy inestable y peligroso, tiene una elevada sensibilidad geomórfica. Por lo tanto, los factores que tienden a la inestabilidad y caída de las pendientes se irán incrementando acompañando el crecimiento urbano, como ya se observa en la elevación de la presión poral, corte de



pendientes, vibraciones y sobrepeso por causa antropogénica, de tal forma que los niveles de peligrosidad serán cada vez mas elevados y las soluciones cada vez mas complejas.

## 7.10 Bibliografía

- CAMINOS, R. y LLAMBÍAS, E.J., 1984. El Basamento Cristalino. IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 37-63.
- CEMBRANO, J. Y LAVENU, A. 1997. Coeval Transpressional and Trantensional magmatic arc tectonic in the Southern Andes. Actas 8º Congreso Geológico Chileno, 3: 1613-1616. Antofagasta.
- DALLA SALDA, L. H., CINGOLANI, C. y VARELA, R., 1990a. El basamento de la región occidental del Macizo Norpatagónico. Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 11-14
- DALLA SALDA, L. H., CINGOLANI, C. y VARELA, R., 1990b. The origin of Patagonia. Simposio Proyecto IGCP 279, Terranes of South América. Revista Comunicaciones, 41:55-64 Santiago.
- DALLA SALDA, L. H., CINGOLANI, C. y VARELA, R., 1991. El basamento pre-andino ígneo metamórfico de San Martín de los Andes, Neuquén. Revista Asociación Geológica Argentina, 46(3-4): 223-234.
- DALLA SALDA, L. H., CINGOLANI, C. y VARELA. R., 1992a. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South América: Result of Laurentia-Gondwana colisión? Geology, 20: 617-620.
- DALLA SALDA, L. H., DALZIEL, I. H., CINGOLANI, C. y. VARELA, R., 1992b. Did the Tacóme Appalachians continué into South América?. Geology, 20: 1059-1062.
- DALLA SALDA, L. H., VARELA, R. y CINGOLANI, C., 1993. Sobre la colisión de. Laurentia-Sudamérica y el Orógeno Pamatiniano. XII Congreso Geológico Argentino, Actas: 3: 358-366.
- DALLA SALDA, L. H., VARELA, R. y CINGOLANI, C., 1999. El Basamento Precámbrico-paleozoico inferior de la Patagonia, Islas Malvinas y Antártida. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (5): 107-132, Buenos Aires, 1999.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- LAVENU, A., CEMBRANO, J., ARANCIBIA, G., DERUELLE, B., LÓPEZ ESCOBAR, L. Y MORENO, H., 1997. Neotectónica tranpresiva dextral y volcanismo, falla Liquiñe Ofqui, sur de Chile. Actas 8º Congreso Geológico Chileno, 1: 129-133. Concepción.
- MALAGNINO, E. C., 1980. Geología de la cuenca del Lago Buenos Aires y comarcas adyacentes, 120 p, 10 planos geológicos y geomorfológicos escala 1:50.000. Centro de Investigaciones de Recursos Geológicos.
- MALAGNINO, E. C., 1995 The discoverey of the oldest extra-andean glaciation in the lago Buenos Aires basin (Argentina) and new interpretation of the Patagonian moraine sequence in the area. Quaternary of South America & Antartic Peninsula. Vol 9 : 73-87 pp
- MALAGNINO, E. C., 2009. Las Glaciaciones en la Cuenca del Lago Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. TI y TII Inédito.
- PÁRICA, C., 1986. Resultados geocronológicos preliminares de las Formaciones Coihuinca y Huechulafquen, Neuquén. Revista Asociación Geológica Argentina, 1-2 : 201-205.
- Prian et al. (1994)
- RAMOS, V. A., 1978. Estructura. VII Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 99 -111.
- TURNER, J.C., 1965. Estratigrafía de la comarca de Junín de Los Andes (Neuquén). Academia Nacional Ciencias Córdoba, Boletín 44: 5-51.
- TURNER, J.C., 1973. Descripción geológica de la Hoja 37 a-b, Junín de los Andes, Neuquén. Servicio Geológico Nacional, Boletín 38:1-88.
- TURNER, J.C. Y CAZAU, L. B., 1978. Estratigrafía del Pre-jurasico. VII Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 25 -36.

## **8 Mapas Temáticos**

Para cada uno de los capítulos del presente informe se confeccionaron una serie de mapas temáticos que describen las características geográficas de la región y los resultados obtenidos de los diferentes estudios. A continuación se enumeran los mapas elaborados, resumiendo el contenido de los mismos.

### **8.1 Mapa Base**

El mapa N° 1 denominado Mapa Base, presenta en Escala 1:12.000 la ubicación general del ejido urbano y peri-urbano de San Martín de los Andes, detallando la topografía mediante curvas de nivel con una equidistancia de 25m (fuente: Programa de Mejoramiento de Barrios) y el trazado de las diferentes cuencas de aporte al Polígono de Acción PROMEBA.

### **8.2 Mapa DEM Regional**

El mapa N° 2 denominado DEM Regional, presenta en Escala 1:12.000 la topografía de la zona general de estudio mediante un modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 30m (Fuente: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) que fue desarrollado por Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) de Japón y United States National Aeronautics and Space Administration (NASA)), conocido usualmente por sus siglas en inglés DEM (Digital Elevation Model), en escala cromática cada 5m hasta cota 800mIGM y en adelante cada 25m, en conjunto con curva de nivel con equidistancia cada 25m generadas a partir de la misma fuente.

### **8.3 Mapa DEM Área de Estudio**

El mapa N° 3 denominado DEM Área de Estudio, presenta en Escala 1:4.000 la topografía de la zona del Polígono de Acción PROMEBA, mediante un modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 30m (Fuente: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) que fue desarrollado por Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) de Japón y United States National Aeronautics and Space Administration (NASA)) en escala cromática cada 5m y curvas de nivel con equidistancia de 25m generadas a partir de la misma fuente, logrando una mejor definición en el sector de interés.



#### **8.4 Mapa Fotografía Aérea IGM (1969)**

El mapa N° 4-a denominado Fotografía Aérea IGM (1969), presenta en escala 1:12.000 el área de estudio según fotografía aérea del IGM (Instituto Geográfico Militar), año de vuelo 1969, escala 1:60000, OJ.107.7843.

#### **8.5 Mapa Fotografía Aérea CFI (1994)**

El mapa N° 4-b denominado Fotografía Aérea CFI (1994), presenta en escala 1:4.000 el área de estudio según fotografía aérea del CFI (Centro Federal de Inversiones), año de vuelo 1969, escala 1:30000, CFI C 01-05.

#### **8.6 Mapa Mosaico Fotográfico**

El mapa N° 5 denominado Mosaico Fotográfico, presenta en Escala 1:8.000 el relevamiento fotográfico realizado en campo sobre la base de la fotografía aérea IGM (fuente: IGM, año de vuelo 1969, escala 1:60000, OJ.107.7843).

#### **8.7 Mapa Estudio Geotécnico - Sondeos**

El mapa N° 6 denominado Estudio Geotécnico - Sondeos, presenta en Escala 1:4.000 la ubicación de los sondeos ejecutados en el estudios geotécnicos sobre la base topográfica con modelo digital de elevaciones (fuente: shuttle radar tomography Misión-NASA, 2000) y curvas de nivel cada 25 mts fuente: Programa de Mejoramiento de Barrios).

#### **8.8 Mapa Cuencas de Aporte en ladera sur del cerro Curruhinca**

El mapa N° 7-a denominado Cuencas de Aportes en ladera sur del cerro Curruhinca, presenta en escala 1:10.000 el trazado de las cuencas de aporte al Polígono de Acción PROMEBA , los cursos secundarios correspondientes (análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994), las trayectorias del escurrimiento sobre el lateral del valle y curvas de nivel con equidistancia cada 25m.

#### **8.9 Mapa Cuencas de Aporte en casco urbano norte**

El mapa N° 7-a denominado Cuencas de Aportes en casco urbano norte, presenta en escala 1:4.000 el trazado de las cuencas de aporte del casco urbano norte a la red de drenaje proyectada y planta urbana de la ciudad (fuente: Programa de Mejoramiento de Barrios).

### **8.10 Mapa Geomorfológico**

El mapa N° 8 denominado Mapa Geomorfológico, presenta en escala 1:7.500 las diferentes características del relieve, los tipos y sus relaciones con la estructura y dinámica representado de acuerdo a las unidades geomorfológicas (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.11 Mapa Geológico**

El mapa N° 9 denominado Mapa Geológico, presenta en escala 1:7.500 los diferentes tipos de materiales geológicos representado en un cuadro estratigráfico de acuerdo a su composición y a su edad geológica (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.12 Mapa Escurrimientos Superficiales**

El mapa N° 10 denominado Mapa Escurrimientos Superficiales, presenta en escala 1:7.500 los cursos secundarios y la trayectoria local del escurrimiento sobre el lateral del valle (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.13 Mapa Usos de la Tierra**

El mapa N° 11 denominado Mapa de Uso de la Tierra, presenta en escala 1:7.500 la clasificación de superficies con respecto a su utilización urbana y grado de conservación natural (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.14 Mapa de Peligro Geológico**

El mapa N° 12 denominado Peligro Geológico, presenta en escala 1:7.500 la clasificación de superficies con respecto al peligro a la remoción en masa e inundación (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.15 Mapa de Vulnerabilidad**

El mapa N° 13-a denominado Mapa de Vulnerabilidad, presenta en escala 1:7.500 la clasificación de superficies en diferentes grados de vulnerabilidad geológica (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.16 Mapa de Vulnerabilidad (detalle Polígono PROMEBA)**

El mapa N° 13-b denominado Mapa de Vulnerabilidad (detalle Polígono PROMEBA), presenta en escala 1:4000 la clasificación de superficies en diferentes grados de vulnerabilidad geológica, con mejor detalle en el sector del Polígono de Acción PROMEBA (Análisis realizado sobre fotografía aérea estereoscópica. Vuelo realizado por CFI el 13-01-1994).

### **8.17 Mapa de Obras de Mitigación Proyectadas**

El mapa N° 14 denominado Mapa Obras de Mitigación Proyectadas, presenta en escala 1:4000 la ubicación de los cuatro grupos de obras proyectadas: 1) Sistemas contra caída de rocas; 2) Azudes de retención de sedimentos; 3) Obras de drenaje superficial y control de erosión; y 4) Muros de contención.



## **9 Lineamientos Estratégicos de Planificación Urbana**

### **9.1 Introducción**

El Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico realizado para la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, ha revelado la situación geológica actual del cerro, brindando el punto de partida para el establecimiento de recomendaciones urbanas y sociales que busquen responder de manera sustentable a las demandas de desarrollo, tanto actuales como futuras, que afecten a la comunidad que allí se establece. Entendiendo el término sustentable, como la confluencia del desarrollo económico, socio-político y de preservación del medioambiente con responsabilidad transgeneracional.

Dicho de otra manera, y en términos exclusivamente físicos, la vulnerabilidad del medio urbano a la amenaza (riesgo geofísico) expresa la falta de seguridad relativa de las personas debido a la exposición a un peligro de origen natural que sufre alteraciones por acción del hombre. En términos sociales, económicos y políticos, la vulnerabilidad de las personas encuentra relación con las causas subyacentes que originan la segregación espacial y la segmentación social, agregándose y potenciando la simple vulnerabilidad física. (Blaikie, Piers et al, 1994)

### **9.2 Objetivo**

Integrar de este barrio informal a la ciudad de San Martín de los Andes, mediante un proceso de reubicación y ordenamiento territorial, buscando el ablandamiento de los límites o barreras que los excluyen de la trama urbana, logrando de este modo, mejorar, consolidar y transformar el hábitat general de la ciudad.

Se plantea como principal medida de Recomendación la posibilidad de trasladar, relocalizar, a la comunidad en una zona que no sea considerada de riesgo para la misma, siempre y cuando el modo de proceder, esté entendido desde el plano social y desde la seguridad para los actores urbanos que allí se ubican, considerando como elemento principal el no desarraigo de la población, evaluando posibles nuevas zonas de emplazamiento desde un consenso social y político.

En este contexto, determinar los límites del crecimiento de la ciudad y la intangibilidad de las áreas de protección natural tiene tanta importancia como determinar las áreas de peligrosidad y riesgo para implementar proyectos de mitigación o reasentamiento poblacional, ya que en realidad configuran aspectos complementarios entre sí. La determinación de las áreas de peligrosidad referida a procesos de desprendimiento en la zona del Cerro Curruhuinca, es uno

de los instrumentos que colaboran con la fijación de límites precisos a la expansión urbana y en general a todo asentamiento humano permanente sobre dichas áreas. Naturalmente esta determinación técnica debe necesariamente articularse con las necesidades sociales y políticas de las que debe dar cuenta la normativa y la gestión urbana.

Mediante un trabajo con las autoridades locales, se debería ofrecer a los pobladores un menú de opciones para la relocalización del asentamiento, revalorizando el derecho de cada habitante a elegir donde quiere vivir, en función de las potenciales características que les permitan formar parte del sistema o de la trama urbana, buscando con esto la inclusión y el desarrollo integral de la comunidad. Lo que implica en términos físicos su confrontación, su coexistencia y su igual desarrollo.

### **9.3 Diagnóstico General**

#### **9.3.1 Vulnerabilidad del Medio Urbano**

La transformación territorial a partir de los asentamientos informales que se da en la mayoría de las ciudades latinoamericanas, mediante un proceso de expansión / usurpación / densificación / consolidación, aún hoy vigente como procedimiento para dotar de tierra residencial a los sectores de menor ingreso, está fuertemente vinculada a una acelerada urbanización desorganizada y no planificada, provocada por el crecimiento continuo de migraciones internas y externas de población en búsqueda de oportunidades laborales.

El crecimiento de las dificultades socio-económicas, el desempleo y la exclusión social, se manifiesta en el crecimiento del sector de la población con niveles básicos insatisfechos, carencias de infraestructura urbana, problemas ambientales y de regularización, ubicados en terrenos periféricos, muchas veces no aptos para asentamientos humanos. De este modo se observa que los riesgos obedecen a procesos naturales que suelen potenciarse por acciones humanas, adquiriendo carácter de riesgo ambiental debido a la inadecuada localización de los asentamientos poblacionales.

El patrón de asentamiento adoptado, la localización de los sectores sociales marginados del mercado, y por ende, la estructura urbana resultante, tienen por consecuencia una modalidad de segregación espacial que alienta el uso de un suelo de baja aptitud para la instalación de actividades humanas permanentes e incluso evidencia una de las mayores problemáticas urbanas, la ocupación de áreas de peligrosidad geofísica. Ello determina la existencia de diversos tipos y niveles de riesgo para la población ubicada en y sus bienes, allí localizados.

Tales singulares situaciones requieren considerar - desde perspectivas sociales, económicas, políticas, urbano ambientales, etc. - la implementación de medidas estructurales tendientes a mitigar el riesgo y reducir la vulnerabilidad, disminuyendo al mínimo imprescindible los reasentamientos involuntarios poblacionales.

### **9.3.2 Aspectos conceptuales que hacen a la definición de riesgo**

- El peligro constituye la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en condiciones temporal y espacialmente determinadas (UNDHA, 1992). Es un atributo de los fenómenos naturales, independientemente de que el área en que se manifiesten se encuentre ocupada por el hombre o no.
- Por vulnerabilidad se entiende corrientemente el estado de propensión o susceptibilidad al daño o perjuicio. Una definición más específica expresa que es el conjunto de características que poseen las personas, comunidades o sistemas, que define su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de un peligro natural y que involucra una combinación de factores que determinan el grado por el cual cada una de sus vidas y medios de subsistencias con puestas en riesgo por un evento discontinuo de la naturaleza o de la sociedad. (Blaikie, Piers et al, 1994: 9 - 12)<sup>1</sup>.
- Desde el punto de vista del desastre, la vulnerabilidad constituye un factor de riesgo interno asociado a fenómenos físicos particulares de origen natural (o humanos, en caso de desastres antrópicos)
- El riesgo enfrentado por una población amenazada debe ser considerado como una compleja combinación de vulnerabilidad y peligro. Los desastres son el resultado de la interacción de ambos: no hay riesgo si existe peligro pero la vulnerabilidad es nula, o si la población es vulnerable pero no hay eventos peligrosos.
- El riesgo es entonces, la función compuesta de un complejo - pero determinable - peligro natural y un conjunto de personas caracterizadas por variados grados de vulnerabilidad y localizadas espacial y temporalmente, expuestas a un evento extremo. (Blaikie, Piers et al, 1994: 21 - 32).

---

<sup>1</sup> El autor citado entiende por medios de subsistencia, el ingreso y el conjunto de recursos que bajo el dominio que un individuo, familia u otro grupo social, pueden ser usados o canjeados para satisfacer sus necesidades.



Según UNDHA, 1992 el riesgo se define como el "cálculo matemático de pérdidas (de vidas, personas heridas, propiedad dañada y actividad económica detenida) durante un periodo de referencia en una región dada para un peligro en particular. Riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad"

### **9.3.3      *Identificación de problemáticas***

Elementos que colaboran a conceptualizar la peligrosidad de la zona para sus habitantes y la infraestructura urbana allí desarrollada.

- Viviendas ubicadas dentro de cuencas de escurrimiento de cursos naturales del agua.
- Falta de un sistema de desagües pluviales en dicho asentamiento
- Existencia de recorridos de agua temporarios
- Conductos de escurrimiento del agua, afectados por el estancamiento de desechos, basura, troncos o cualquier elemento.
- Inconsistencia del terreno, dada por su pendiente pronunciada (que oscila entre 30% y 50% de inclinación) y el suelo característico del faldeo mezcla de arenas, detritos de roca de variados tamaños y limos, existencia afloramientos rocosos.
- Desprendimientos continuos de rocas que provocan amenazas ala estabilidad social.

### **9.3.4      *Identificación de variables con potencialidades a ser desarrolladas***

- Redes viales: Vías principales y secundarias. Conexión área central. \*\*
- Redes de infraestructura. Servicios. \*\*
- Redes de movimiento interno peatonal y vehicular. Veredas, senderos, calles. \*\*
- Acceso a transporte publico de pasajeros.
- Áreas barriales destinadas a la recreación.
- Espacios verdes.
- Equipamiento urbano.
- Edificios comunitarios / sanitarias / educativas.

\*\* Programa de Mejoramiento de Barrios (PROMEBA)

### **9.3.5 Expansión urbana sobre áreas de peligrosidad**

Numerosos pobladores construyeron sus viviendas sobre la ladera del Cerro Curruhinca, quedando en situación de alta exposición. La cantidad creciente de viviendas podrían llegar a sufrir las consecuencias de una eventual acción desestabilizadora por el desprendimiento de material rocoso. Las autoridades locales colaboraron por acción u omisión con el proceso que estableció la ocupación fáctica de suelo de baja o nula aptitud para el asentamiento humano permanente, contribuyendo de diversos modos en la construcción de viviendas y en la provisión de infraestructura básica.

Por otro lado, la desatención a los factores de riesgo geofísico, y la percepción errónea originada en la falta de ocurrencia de eventos graves en el breve registro de la memoria, llevó a la concesión de derechos a la población ocupante de tierras fiscales (derechos que no están en discusión) sobre áreas de peligro (situación que constituye el núcleo de la problemática aquí tratada) De esta manera, el reconocimiento de títulos de propiedad sobre las tierras ocupadas, hará adquirir legitimidad sobre esas tierras a los pobladores del lugar.

## **9.4 Metodología**

El plan de trabajo con que se pretende llevar a cabo las recomendaciones respecto del tema a tratar, está estructurado en dos etapas.

La primera etapa, esta conformada por tareas relacionadas al reconocimiento y relevamiento de la región de estudio (San Martín de los Andes, Cerro Curruhinca), análisis de los estudios realizados (geotécnicos, hidrológicos y de riesgo geofísico), con el fin de poder estipular alguna futura línea de acción para la planificación urbana.

La segunda etapa, estará conformada por el desarrollo de lineamientos estratégicos o recomendaciones a estipularse, para luego ser aplicadas dentro de la gestión del planeamiento urbano, o bien acciones a largo plazo que deberán ser concebidas, en la medida de lo posible, en forma simultánea y vinculante con aquellas a corto y mediano plazo.

En base a los datos mencionados anteriormente, se propone un sistema de recomendaciones a ser implementadas proponiendo un dispositivo de investigación-acción, mediante una metodología participativa y de colaboración interinstitucional que ha de ser fundamental en el diseño de actuación posterior.

#### **9.4.1 Lineamientos metodológicos para proyectos de relocalización poblacional**

Los conceptos aquí expuestos toman prevalentemente como marco de referencia conceptual al documento de trabajo "Reasentamiento involuntario en los proyectos del BID. Principios y Lineamientos" de la Unidad de Pueblos Indígenas y Desarrollo Comunitario, Departamento de Programas Sociales y Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, 1997.

Igualmente fueron considerados de elevado interés, los siguientes documentos:

- (a) "Reasentamiento Involuntario" y "Reasentamiento Involuntario. Anexo" del Manual Operativo del Banco Mundial / Políticas Operativas. Borrador, OP 4.12 y Anexo, del 22 de junio de 1999
- (b) "Directriz Operacional" del Manual Operativo del Banco Mundial, OD 4.30 del 01 de junio de 1990
- (c) Documento OP-710 "Reasentamiento Involuntario", BID, de agosto de 1998

#### **9.4.2 Políticas, Acciones e Instrumentos para la gestión Urbana en Riesgo**

Además de la visión del problema que emerge desde el presente Estudio, es importante recoger la versión de los principales protagonistas, para lo cual será necesario realizar entrevistas en profundidad. No obstante, se debería buscar que la muestra estuviese conformada de la mayor heterogeneidad posible, para lo cual debería entrevistarse a jóvenes y mayores, varones y mujeres. Estas entrevistas pueden ser suficientes para poder indagar en la experiencia subjetiva de marginación y desarraigo extremo tal y como es vivida por sus protagonistas.

Entendiendo la metodología de planificación participativa dentro de un programa de acción pública donde las decisiones y normas son legítimas cuando están fundadas en razones que resultan de un proceso de deliberación público, inclusivo y equitativo en que los ciudadanos se implican libremente.

Como marco de desarrollo debemos mencionar, que en la última década se han estudiado prácticas participativas realizadas en América Latina, permitiendo observar las operaciones concretas que los actores sociales efectúan en el marco de específicas interacciones públicas. Con diferentes objetivos, grados de institucionalización, esquemas de participación e impactos sobre la acción estatal, la dinámica participativa ha ido extendiéndose. Aparecen entre los dispositivos diseñados para provocar una mayor incidencia ciudadana en la vida democrática de sus países, mediante modalidades tales como mesas de concertación, consultas



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

ciudadanas, presupuestos, planes participativos, y consejos de gestión. Permitiendo de este modo lograr un proceso de democratización como una articulación de instancias de intervención de los ciudadanos en la opinión pública, mediante las experiencias participativas como nuevos lugares para la deliberación cara-a-cara entre ciudadanos y/o entre éstos y diversos actores estatales. En términos normativos, dicha noción coloca a la reflexividad en el corazón de una concepción deliberativa de la ciudadanía y la democracia: los individuos comunes forman entre sí, de modo más o menos racional, una pluralidad de juicios y opiniones sobre temas relevantes para el conjunto de la sociedad. Al hacerlo, pueden influir en la construcción del bien común y en las orientaciones del sistema político.

El poder comunicativo se transforma entonces en poder utilizable administrativamente. La reflexividad social se pauta así, como una forma de participación argumentativa que amplía el espacio, la práctica y el concepto de la política más allá de sus confines institucionales.

Por otra parte, los espacios participativos están, normalmente atravesados por intercambios entre ciudadanos y políticos o funcionarios. El peso de la racionalidad estatal detiene, sin embargo, la fluidez de las interacciones con la ciudadanía: el debate público no transcurre del mismo modo en presencia de una autoridad o de un funcionario de alto nivel. Su intervención, no obstante, legitima e incentiva la institucionalización de la participación social.

La concreción de cualquier forma de participación y cooperación política varía histórica y socialmente, y su despliegue depende de las dinámicas asociativas y de la instauración de dispositivos sociales específicos que puedan favorecer el uso de las competencias reflexivas de los ciudadanos. La racionalidad deliberativa y la construcción de intereses comunes: son productos históricos de estructuras y dispositivos concretos que impulsan a los individuos a tomar partido en tales procesos.

En principio, las medidas anunciadas son positivas en la medida en que se encuadren en un plan de desarrollo urbano de características generales y programas y proyectos específicos (tierras, reasentamiento, vivienda, servicios, producción) articulados entre sí y adecuados a los propósitos generales del desarrollo de la ciudad.

Más allá de la existencia del PROMESA y su consecuente estructura institucional, la información a la que fue posible acceder denota la ausencia de instrumentos específicos de planificación urbana, especialmente con visión de conjunto de la ciudad y de carácter técnico y operativo. Se observó la implementación de distintas acciones focalizadas desde diversas áreas, sin mecanismos de transversalidad ni metas programáticas comunes articuladas con un plan de desarrollo urbano.

### **9.4.3 Demanda de suelo urbano**

- Ante la necesidad de dar respuesta al crecimiento urbano, se considera mínimamente necesario a) evaluar el uso actual del suelo urbanizado, b) conocer la disponibilidad de suelo urbanizable y c) proponer de manera prospectiva y a escala urbana - es decir estructural o de conjunto - las diversas modalidades de tejido urbano y la estructuración urbana que resulten pertinentes en relación con hipótesis de crecimiento poblacional y demanda habitacional. Es decir, es menester adoptar un modelo de desarrollo urbano.
- El desarrollo sostenible de la ciudad de San Martín de los Andes, requiere de un plan urbano y una gestión del desarrollo urbano, proceso que no puede ser sustituido por proyectos sectoriales. Las omisiones y críticas al planeamiento por lo general esconden los grandes desastres urbanos consecuencia de la improvisación.
- En consecuencia, la determinación y dimensionamiento de las áreas de expansión y reserva urbana, su extensión, localización, condiciones de uso y aptitud, deben ser resueltas a partir de un plan de desarrollo urbano necesariamente interdisciplinario, previendo a partir de un modelo urbano, su dinámica temporal y espacial.

### **9.5 Estrategias de optimización de la planta urbana**

- Planes de mitigación del riesgo geofísico. Plan de reubicación de la población sometida a alto nivel de riesgo. Proyectos de control de deslizamiento de suelos.
- Delimitación gráfica y escrita del polígono urbano.
- Estrategias de completamiento, densificación y consolidación de la planta urbana de la ciudad de San Martín de los Andes.
- Políticas de regulación del mercado inmobiliario: política fiscal, impuesto al baldío, banco de tierras, premios a proyectos de desarrollo.
- Realización de los estudios necesarios para el conocimiento de la dinámica del medio natural de un modo certero.
- No habilitación de nuevas áreas sin los estudios necesarios.
- Establecer los parámetros de calidad mínimos.
- Realización de los estudios de impacto ambiental.
- Consulta pública obligatoria.

### **9.5.1 Análisis sobre la expansión urbana en áreas de peligrosidad**

- La expansión sin planificación ocupó de manera caótica y en menos de cuatro décadas el piso de la ladera del Cerro Curruhinca, invadiendo suelo no apto para la instalación humana permanente;
- Numerosos pobladores construyeron sus viviendas dentro de los cañadones e incluso sobre los azudes, quedando en situación de alta exposición en indudables áreas de riesgo geofísico;
- En términos exclusivamente físicos, la vulnerabilidad del medio urbano a la amenaza expresa la falta de seguridad relativa de las personas debido a la exposición a un peligro de origen natural que sufre alteraciones por acción del hombre;
- En términos sociales, económicos y políticos, la vulnerabilidad de las personas encuentra relación con las causas subyacentes que originan la segregación espacial y la segmentación social, agregándose y potenciando a la simple vulnerabilidad física.

### **9.6 Conclusiones y recomendaciones**

Se desprenden del diagnóstico urbano las siguientes conclusiones con el propósito de determinar los lineamientos generales del manejo del riesgo urbano en relación con el proceso de planificación y gestión de la ciudad que este estudio recomienda:

- Ante la necesidad de producir expansiones urbanas, deberá procurarse emplear suelo apto desde el punto de vista urbanístico, lo que incluye criterios de seguridad. Deberá evitarse el uso de suelo con reconocible peligrosidad y en particular con gradientes medios y altos. Las medidas estructurales sólo deben ser un recurso de excepción, habida cuenta que no es posible garantizar riesgo cero, debiéndose considerar además que el grado de seguridad que ofrecen es de zona protegida bajo riesgo potencial;
- Ante la necesidad de producir intervenciones urbanas para la protección de población en sectores urbanos en riesgo deberá procurarse el análisis conjunto de todas las alternativas posibles, evaluando las alternativas urbanas más convenientes desde el punto de vista social, económico, político y ambiental. No deben evitarse soluciones híbridas si el caso lo justifica.
- Como condición de cumplimiento de lo expresado, se requiere de un manejo planificado del recurso suelo, con visión de conjunto y alcance temporal mediano



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- Ante la necesidad de dar respuesta al crecimiento urbano, se considera mínimamente necesario a) evaluar el uso actual del suelo urbanizado, b) conocer la disponibilidad de suelo urbanizable y c) proponer de manera prospectiva y a escala urbana - es decir estructural o de conjunto - las diversas modalidades de tejido urbano y la estructuración urbana que resulten pertinentes en relación con hipótesis de crecimiento poblacional y demanda habitacional. Es decir, es menester adoptar un modelo de desarrollo urbano.
- En consecuencia, la determinación y dimensionamiento de las áreas de expansión y reserva urbana, su extensión, localización, condiciones de uso y aptitud, deben ser resueltas a partir de un plan de desarrollo urbano necesariamente interdisciplinario, previendo a partir de un modelo urbano, su dinámica temporal y espacial.

## 10 Medidas de Mitigación

Como concluye el Estudio de Riesgo Geológico (Capítulo 7) y los mapas asociados al mismo, la mayor parte de la superficie que comprende el Polígono de Acción de PROMEBA (PAP) se encuentra en alta vulnerabilidad debido al alto nivel de peligro geológico identificado en dicha área. Para hacer frente a esta seria problemática es necesario aplicar diferentes medidas de mitigación con el fin de suprimir o disminuir el riesgo al que actualmente se expone la población e infraestructura urbana emplazada en dicho sector marginal de la ciudad.

La tabla a continuación detalla las superficies del PAP correspondientes a su vulnerabilidad geológica (ver Capítulo 7), determinando la distribución de espacio ocupado por el asentamiento urbano con respecto a su peligro geológico.

Polígono de Acción PROMEBA		
Vulnerabilidad Geológica	Superficie [Ha]	Porcentaje
<i>Alta</i>	<i>11,2</i>	<i>77%</i>
Intermedia	1,4	9%
Baja	1,9	13%
Total	14,5	100%

El 77% de la superficie urbanizada sobre la ladera sur del cerro Curruhinca (Polígono de Acción PROMEBA) tiene alta vulnerabilidad geológica, generada por la eventual ocurrencia de avalanchas de suelo y rocas, caídas de rocas y flujos densos encausados. Este sector de la ladera del cerro se caracteriza por un peligro geológico muy alto, por lo tanto no debería ser ocupado por población permanente.

Las medidas a ser aplicadas deberán ser adecuadas al marco de políticas municipales y provinciales vigentes, las cuales contemplan diferentes aspectos sociales y económicos. En adelante se proponen y describen una serie de medidas estructurales y no estructurales seleccionadas a los fines del estudio.

### 10.1 Medidas Estructurales

La problemática general que caracteriza al área de estudio es la exposición de asentamientos poblacionales a procesos de remoción en masa de diferentes tipos y peligrosidades. Para una mejor descripción y análisis, las medidas estructurales propuestas se dividen en dos grupos:

- Relocalización de la población y control de la urbanización
- Obras de mitigación parcial

Dada la envergadura del riesgo presente en la mayor parte de la urbanización sobre la ladera, la medida de mitigación por excelencia es la relocalización de la población a otros sectores de la ciudad.

#### **10.1.1 Relocalización de la población y control de la urbanización**

El objetivo principal de la relocalización de la población y control de la urbanización es disminuir la cantidad de población expuesta al riesgo y controlar las alteraciones al terreno que genera la urbanización.

La evolución y desarrollo del asentamiento poblacional y urbanización del mismo, registrados en los últimos años, son tendencias muy alarmantes que deben contemplarse a la hora de enfrentar medidas de alto compromiso político.

Siendo la relocalización una medida de difícil aplicación y baja aceptación de los afectados, se plantea a continuación una serie de alternativas que deberán ser evaluadas y analizadas por el organismo público que las lleve adelante:

- 1) Relocalización total o parcial de los sectores de alta vulnerabilidad
- 2) Control de nuevos asentamientos poblacionales en la periferia
- 3) Relocalización de casos puntuales y remoción de estructuras en riesgo
- 4) Control y reducción de la densificación de la población
- 5) Control y reducción de nueva infraestructura pública y privada (calles, viviendas, etc.) que tienda a intensificar la urbanización existente.

Todas estas medidas deben ser estudiadas, implementadas y monitoreadas por organismos públicos según la jurisdicción correspondiente.

#### **10.1.2 Obras de mitigación parcial**

El nivel de intervención requerido para controlar los riesgos geológicos identificados, dada la envergadura de la zona a estabilizar (100Ha aprox.) y los volúmenes de obra necesarios, no tiene ningún grado de factibilidad técnica - económica. A pesar de ello, en el sector de mayor interés (Polígono de Acción PROMEBA) se identificaron una serie de procesos que generan problemas puntuales (por ejemplo: caída de rocas, taludes de baja estabilidad, erosiones



superficiales, etc.), afectando en diferente grado y peligrosidad a la urbanización y sus habitantes.

La ejecución de las obras propuestas producirá una leve atenuación del riesgo frente a la escala de los procesos geológicos descritos anteriormente (por ejemplo: avalancha de rocas y suelos). El objetivo de las obras de mitigación parcial es controlar algunos procesos puntuales, de baja envergadura, que afectan al sector urbanizado de la ladera, disminuyendo el riesgo de sus habitantes y protegiendo la vida útil de la infraestructura urbana existente.

Las soluciones estructuras seleccionadas como obras de mitigación parcial, cuyo Proyecto Ejecutivo será desarrollado en la siguiente entrega del Informe Final, se clasifican en cuatro grupos:

- 1) Sistemas contra caída de rocas
- 2) Azudes de control y retención
- 3) Obras de drenaje superficial y control de erosión
- 4) Muros de contención

En adelante se desarrolla cada uno de estos grupos de obras, describiendo los sectores a intervenir y detallando las estructuras propuestas, sus principios de funcionamiento, alcances y criterios de diseño.

## **10.2 Medidas No Estructurales**

Las medidas no estructurales tiene el objetivo de promover la aceptación de la comunidad hacia las medidas estructurales, mediante la divulgación de los riesgos existentes y la promoción de programas de relocalización. Se proponen las siguientes medidas no estructurales:

- Programa de divulgación de los resultados del estudio de riesgo geológico
- Programa de participación comunitaria para el reasentamiento voluntario de la población
- Plan de reasentamiento voluntario de la población
- Programa de censo, control y monitoreo de la infraestructura urbana existente
- Programa de control y monitoreo de los sectores liberados

Todas las medidas no estructurales a desarrollar deberán ser estudiadas por el organismo público responsable, con el apoyo técnico que la circunstancia requiera, y finalmente implementadas a través de los programas correspondientes.

### **10.3 Sistemas contra caída de rocas**

Los sistemas contra caída de rocas tienen como objetivo evitar el desprendimiento de fragmentos rocosos o controlar su caída atenuando los daños que pudieran producir. Estos sistemas se clasifican en dos categorías, según su grado de intervención, como defensas activas y defensas pasivas.

Las defensas activas actúan sobre la prevención del desprendimiento o desequilibrio, en cambio las defensas pasivas se encargan de mitigar los efectos o daños que producen los desprendimientos o caídas, controlando el movimiento e impacto de las mismas.

Como defensas “pasivas” son consideradas aquellas intervenciones que no interfieren sobre la génesis del desprendimiento de las rocas y que solo se limitan a controlar su caída, evitando así el riesgo para la infraestructura y sus usuarios. A esta categoría de defensas pertenecen los siguientes sistemas:

- Barreras flexibles
- Redes o mallas metálicas de protección
- Terraplenes de suelo o roca
- Muros de hormigón o de gaviones

Las defensas “activas” son aquellas que intervienen sobre el origen del desprendimiento, estabilizando los bloques en su lugar de origen, controlando el inicio de movimiento y posterior desprendimiento. Los sistemas activos se aplican directamente sobre los bloques o sector inestable, reforzando la vinculación entre los mismos y hacia sectores estables del macizo, mediante la aplicación de anclajes, paneles de cable o adhesivos. Las principales defensas activas se pueden definir como:

- Refuerzo superficial (paneles de cables y anclajes)
- Anclaje del bloque
- Inyección de adhesivos en fisuras o diaclasas

En nuestro caso el sistema que mejor se adapta a las condiciones presentes en la ladera del cerro Corruhinca, específicamente sobre los barrios Godoy y Julio Obeid, es el refuerzo

superficial mediante paneles de cables de acero y anclajes perforados en roca. El objetivo del mismo es generar un entramado de cables de acero y anclajes perforados en roca que confiere una mayor vinculación entre bloques y macizo aflorante, aumentando la estabilidad de las rocas superficiales o de mayor exposición.

En cambio, sobre el sector que comprende el barrio Godoy, la geología presente nos lleva a recomendar otro sistema de alto desempeño y menor costo por unidad de superficie a intervenir. Las barreras flexibles compuestas de paneles de cables, postes metálicos, anclajes en roca y disipadores de energía, son los elementos de defensa seleccionados para dicho sector característico del Polígono de Acción PROMEBA.

### **10.3.1 Barreras flexibles**

Las barreras flexibles son una solución estructural que se adecua en casos de amplias laderas de moderada inclinación y fragmentos de roca de mediana dimensión. Estas condiciones solo se observaron en el sector comprendido sobre el barrio Calderón (extremo oeste del polígono de acción PROMEBA).

Existe una gran variedad de barreras de protección y sus características y dimensiones dependen de la energía de la caída. Las barreras pueden ser de roca, suelo, tierra armada, muros de concreto, pilotes, gaviones, bloques de concreto o cercas metálicas. De los diferentes sistemas se destacan las barreras flexibles, conformadas por una estructura de postes metálicos, cables de acero como marco soporte y panel de cables de alta resistencia (ver Figura 10-1). Los postes y cables son fundados al terreno mediante anclajes perforados en roca.

Las barreras metálicas de geometría variable son constituidas por un sistema de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de rocas de dimensiones menores, cables de acero conectados a elementos estructurales, dispositivos de disipación y de anclaje, caracterizadas por su alta capacidad de deformación en condición de garantizar la absorción de altas energías.





**Figura 10-1 – Sistema de barrera flexible para control de caídas de roca**

La idea básica de los sistemas de barrera flexible es la de absorber el impacto o energía cinética de los bloques en caída, mediante la deformación de la estructura, transfiriendo los esfuerzos a sus anclajes y apoyos (Figuras 10-2 y 10-3) y disipando la energía mediante dispositivos de deformación plástica.



**Figura 10-2 –Barrera flexible en deslizamiento de rocas y suelo**



**Figura 10-3 –Barrera flexible en deslizamiento de rocas y suelo**

Las experiencias internacionales de Halcrow en aplicaciones similares de estos sistemas nos permiten señalar las siguientes ventajas:

- Sistema amigable al medio ambiente
- No produce alteraciones sobre el drenaje natural de la ladera
- Menor costo frente a otras medidas

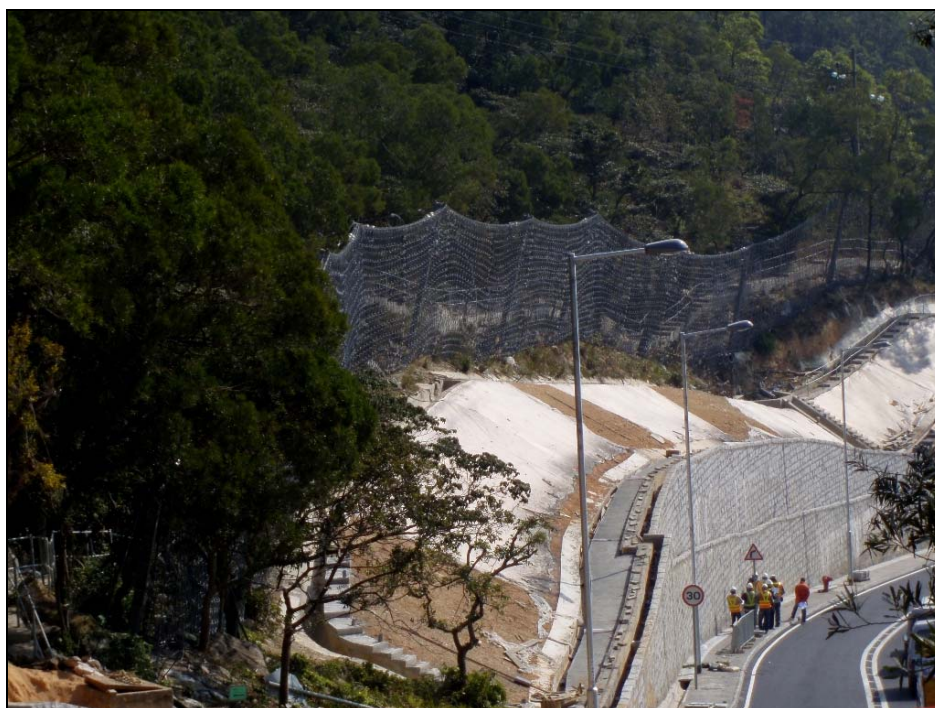
En las Figuras 10-4 y 10-5 se presentan algunos ejemplos de la utilización de barreras flexibles diseñadas por Halcrow en Hong Kong.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-4 –Barreras flexibles en Hong Kong**

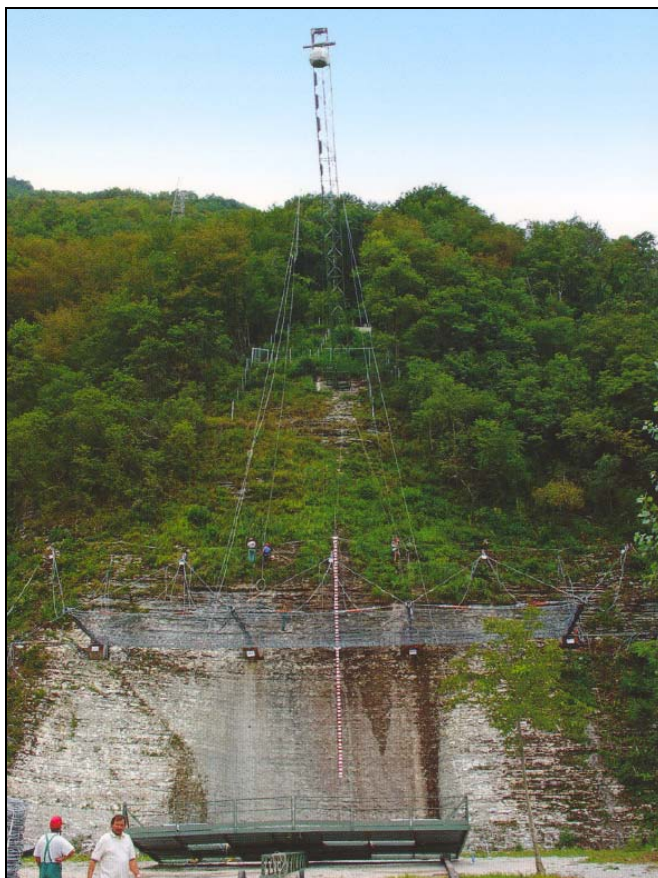


**Figura 10-5 –Barreras flexibles en Hong Kong**

Las barreras flexibles son productos industrializados desarrollados para este uso específico, cuyas características y desempeño las especifica su fabricante según ensayos bajo reglamentos internacionales. En la Figura 10-6 se presenta un dispositivo de ensayo de este tipo de estructuras.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-6 – Dispositivo de ensayo de barreras flexibles**

En las Figura 10-7 y 10-9 se aprecian vistas de una barrera flexible instalada al pie de una ladera boscosa, obsérvese el detalle en el cable de anclaje lateral el cual cuenta con un dispositivo disipador de energía por deformación plástica. En la Figura 10-8 se presenta en detalle dicho dispositivo sometido a un ensayo destructivo.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-7 – Vista lateral de barreras flexibles instalada**



**Figura 10-8 – Dispositivo de disipación de energía por deformación plástica**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-9 – Vista de una barrera flexible instalada al pie de una ladera boscosa**

### Ubicación de las barreras flexibles

La aplicación de las barreras flexibles se considero solo en el sector comprendido sobre el barrio Calderon, tal como se propone en el capítulo 7, dadas las particulares características geológicas presentes. La Figura 10-10 presenta una vista general de la ladera a intervenir sobre el barrio Calderon, en donde se aprecia la proximidad de las viviendas sobre la ladera de roca descubierta.



**Figura 10-10 – Ladera con afloramientos rocosos sobre barrio Calderón**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

La localización de las barreras flexibles se proyectó luego de un relevamiento de campo específico, seleccionando las trazas tentativas, próximas al límite superior del sector urbanizado de la ladera en el barrio Calderón (ver Figuras 10-11 y 10-12). Las trazas propuestas se pueden apreciar en el mapa N° 14 (Obras de Mitigación) y en el plano PL-00-01 (Obras de Mitigación - Ubicación de obras - Planta general).

Previo a la ejecución de las obras, se deberá realizar un relevamiento topográfico específico en dichas trazas tentativas y estudios geotécnicos complementarios, todo esto necesario para la definición del proyecto de detalle y replanteo de las obras.

La aplicación de barreras flexibles implicaría la definición de un límite físico en sectores perimetrales al área urbanizada de la ladera del cerro, permitiendo esto un control hacia futuras expansiones o nuevos asentamientos clandestinos.



**Figura 10-11 – Zona de la traza de la barrera flexible propuesta (barrio Calderón)**

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-12 – Limite superior de la urbanización (barrio Calderón)**

La Figura 10-13 presenta el tamaño medio de las rocas inestables que se presentan en este sector de la ladera, en donde se prevé la ubicación de las barreras flexibles como defensa frente a la caída de este tipo de rocas.





**Figura 10-13 – Roca suelta sobre plano inclinado (barrio Calderón)**

### **Especificación Técnica**

La característica de las barreras flexibles propuestas responde al cálculo de energía media de caída correspondiente a dicho sector, desarrollado en el Capítulo 7.

Las especificaciones técnicas responden a las siguientes normas y guías de referencia:

- Guía Europeo ETAG 027: “ETAG – Guideline for European Technical - Approval of Falling Rock Protection Kits” - Certificación completa — Rev. 2006.
- Especificaciones Especiales ANAS “Gruppo Tecnico per la sicurezza - Stradal” Abril 2001.
- UNI EN 10025 “Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali – Condizioni tecniche di fornitura”
- UNI EN ISO 1461 “Rivestimenti di zincatura per l’immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio – Specificazioni e metodi di prova”
- EN 12385-4 “Steel wire ropes Safety Part 4: Stranded ropes for general lifting applications”



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

- UNI EN 10244-2 “Fili e prodotti trafilati di acciaio”
- CNR-UNI 10011 “Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”.

Las barreras flexibles de protección son un conjunto formado por paneles obtenidos a través del entrelazamiento de cables de acero durante la fabricación, postes metálicos, fundaciones especiales y accesorios. Estas barreras son capaces de resistir al impacto de rocas que se desprenden de los taludes y que posean niveles de energía de hasta 500 kJ.

Los postes son estáticamente independientes de la malla y pueden ser alcanzados directamente por la roca sin afectar la performance de interceptación. No hay presencia de cables de acero para anclaje de la barrera pendiente abajo. Las fuerzas de impacto son distribuidas entre los postes, por tanto las tensiones aplicadas en los componentes del sistema son minimizadas.

Las barreras de protección a ser aplicadas deben presentar Certificado de Calidad fundado en la norma UNI EN ISO 9001 con relación al diseño, fabricación y comercialización.

La barrera debe ser puesta directamente sobre roca. Sus características permiten que la barrera sea fácilmente instalada en taludes irregulares. Las bases de los postes tienen la función única de fijar la barrera al suelo para donde las cargas son transferidas a través de barras de acero.

Dimensiones de las Barreras:

Altura del poste= 3.0m

Distancia entre postes= 10.0m

Resultados obtenidos a través del ensayo en el Estado Limite Último (ELU) de acuerdo con la ETAG 027:

Energía de impacto nominal= 500kJ

Energía de impacto ensayada= 528.0kJ

Altura nominal= 3.0m

Alargamiento máximo= 2.95m

Altura residual > 70.0%

La ubicación de las obras, características detalladas de las barreras flexibles y detalles de instalación se presentan en los planos PL-00-01 (Obras de Mitigación - Ubicación de obras -

Planta general), PL-SR-05 (Sistema contra caída de rocas - Barreras flexibles - Detalle barrera) y PL-SR-06 (Sistema contra caída de rocas - Barrera flexible - Detalle anclajes, fundación y accesorios).

### Detalles de Instalación

Para especificar la instalación de las barreras flexibles es necesario conocer las solicitaciones sobre su fundación y anclajes, determinadas por ensayos normalizados según fabricante. Los esfuerzos a transferir son:

Barreras Flexibles - Solicitaciones en fundación		
Tracción en anclajes laterales:	[kN]	75.60
Tracción en anclajes talud arriba:	[kN]	72.60
Compresión en postes:	[kN]	57.50
Fuerza de corte horizontal en postes:	[kN]	17.70
Fuerza de corte vertical en postes:	[kN]	33.70

A partir de estos esfuerzos se cálculo un sistema de anclajes mediante perforaciones de roca de las siguientes características:

Barreras Flexibles - Sistema de Anclaje		
Diámetro nominal de la barra	[mm]	20
Tensión del acero	[N/mm <sup>2</sup> ]	500
Coefficiente de reducción (barra)		1.60
Resistencia de adhesión roca/mortero	[Mpa]	3
Coefficiente de reducción (adhesión)		2.00
Diámetro mínimo de perforación	[mm]	40
Tracción admisible barra	[kN]	98.1
Corte admisible barra	[kN]	98.1
Longitud de anclaje	[m]	0.50
Resistencia anclaje	[kN]	94.2
Verificación barra		1.04
Longitud de perforación	[m]	0.75

El anclaje propuesto cumple la siguiente verificación:

Verificación Anclaje		
Resistencia tracción	[kN]	94.20
Solicitud tracción	[kN]	75.60
Coeficiente de seguridad a tracción		1.25
Resistencia corte	[kN]	98.13
Solicitud corte	[kN]	33.70
Coeficiente de seguridad a corte		2.91

Por lo tanto el anclaje propuesto, cumple las condiciones de seguridad frente a las solicitudes de las barreras. El anclaje consiste:

- Perforación en roca de 40mm de diámetro mínimo,
- Profundidad mínima de 0.75m,
- Barra roscada de 20mm de diámetro (500N/mm<sup>2</sup>)
- Mortero o lechada de cemento con aditivos expansivos

La fundación de los postes deberá verificar los esfuerzos especificados anteriormente. Un esquema tipo de fundación de postes y otros detalles de la instalación de las barreras se presenta en los planos PL-SR-06 (Sistema contra caída de rocas - Barrera flexible - Detalle anclajes, fundación y accesorios).

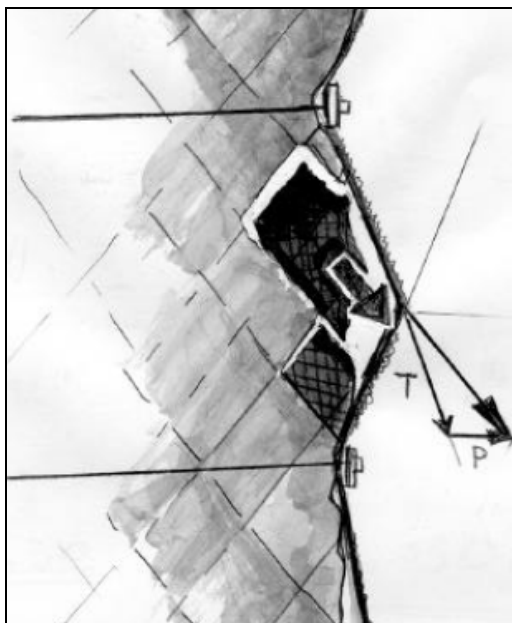
El sistema de anclaje y fundación de postes deberá ser verificado, previo a la ejecución de las obras, a partir de estudios geotécnicos específicos sobre la traza de replanteo y la ingeniería de detalle correspondiente.

### 10.3.2 Refuerzo superficial

Los refuerzos superficiales son una solución estructural que se adapta a condiciones en donde el tamaño de la roca y su altura de caída, genera una energía cinética muy elevada, de difícil atenuación previa al impacto sobre la infraestructura a defender. Estos sistemas refuerzan la superficie del macizo rocoso, sosteniendo en su lugar los bloques inestables, evitando la transformación de energía potencial en energía cinética. La Figura 10-10 presenta un esquema del sistema y la distribución de las fuerzas actuantes.



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-14 – Esquema funcional del refuerzo superficial**

En la Figuras 10-11 se presenta un sector relevado en área de estudio, sitios en donde se propone la intervención con un sistema de refuerzo superficial o revestimiento con paneles de cables de acero.



**Figura 10-15 – Afloramiento rocoso sobre barrio Godoy**

El principio de funcionamiento del sistema es sostener los bloques inestables transfiriendo su peso, mediante una malla metálica y anclajes en roca, a otros bloques o sectores estables

del macizo rocoso aflorante. La Figura 10-12 presenta esquemas típicos del sistema junto a un ejemplo de aplicación.

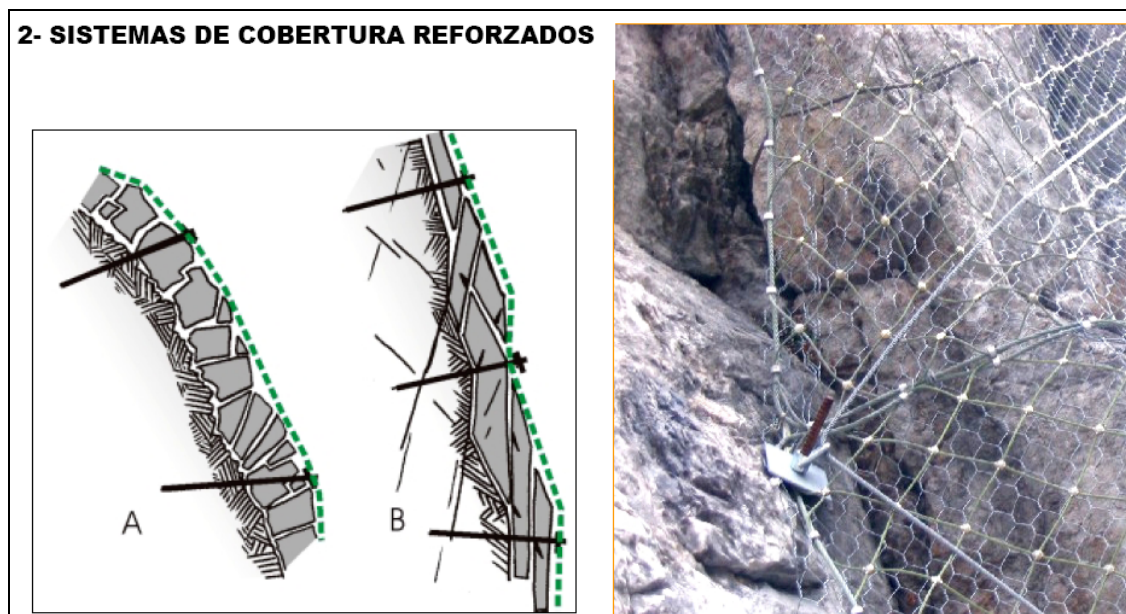


Figura 10-16 – Esquema funcional del refuerzo superficial (fuente: Maccaferri)

La obra propuesta consiste en un sistema activo contra caída de rocas, conformado por un refuerzo superficial del afloramiento rocoso. Dicho refuerzo, constituido por una malla metálica y anclajes en roca, permite consolidar la parte superficial del bloque rocoso y contener en la ladera eventuales desprendimientos. Las Figuras 10-13 y 10-14 presentan ejemplos de aplicación del sistema propuesto.



Figura 10-17 – Ejemplo de aplicación de panel de cables de refuerzo





**Figura 10-18 – Ejemplo de aplicación de panel de cables de refuerzo**

### Ubicación del sector de intervención

A partir de las conclusiones arribadas en el Capítulo 7 del presente estudio, se propone un sector de intervención limitado a un afloramiento rocoso ubicado en el barrio Godoy, el cual se aprecia en el mapa N° 14 (Obras de Mitigación) y en el plano PL-00-01 (Obras de Mitigación - Ubicación de obras - Planta general). Este sector fue relevado en campo y presenta condiciones favorables para el tipo de intervención propuesta. En el resto de los afloramientos rocosos observados no se recomienda intervención de este tipo.

### Cálculo del refuerzo superficial

El cálculo del refuerzo superficial se realizó mediante un esquema simplificado desarrollado por un programa computacional específico para esta aplicación. Los siguientes parámetros fueron los adoptados para dicho cálculo:

Cálculo del refuerzo superficial		
<b>Datos: superficie rocosa</b>		
Inclinación de la superficie exterior (ladera)	[°]	90,00
Espesor de la capa inestable	[m]	0,50
Coefficiente de incremento		1,50
<b>Datos: roca</b>		
Coefficiente sísmico (horizontal)	[-]	0,10
Peso específico de la roca	[kN/m³]	26,00



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Cálculo del refuerzo superficial		
Coefficiente de incremento		1,50
<b>Datos: diaclasa mas peligrosa</b>		
Inclinación de diaclasa	[°]	50,00
Tensión de compresión (JCS)	[MPa]	200,00
Rugosidad de diaclasa (JRS)		4,00
<b>Datos: anclajes</b>		
Espaciado horizontal	[m]	2,50
Espaciado vertical	[m]	2,50
Inclinación	[°]	0,00
Diámetro nominal de la barra	[mm]	25,00
Tensión del acero	[N/mm <sup>2</sup> ]	500,00
Coefficiente de reducción		1,60
<b>Datos: mortero de anclaje</b>		
Resistencia de adhesión roca/mortero	[Mpa]	3
Coefficiente de reducción		2,00
<b>Datos: panel de refuerzo</b>		
Tipo de panel	[mm]	HEA 400x400
Diámetro de cable	[mm]	10
Coefficiente de reducción		1,50
Deformación de ensayo	[m]	0,38

Estos valores fueron adoptados según las características desarrolladas en el capítulo 7 para el sector del barrio Godoy. Los resultados del cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Cálculo del refuerzo superficial		
<b>Resultados: volumen inestable</b>		
Volumen inestable sobre anclaje	[m <sup>3</sup> ]	3,125
Peso de masa inestable sobre anclaje	[kN]	81,25
<b>Resultado: anclaje</b>		
Tensión sobre anclaje	[kN]	79,25
Verificación anclaje		
Resistencia / Solicitación		1,25
<b>Resultado: tensión en panel</b>		
Tensión en panel	[kN/m]	23,45
Resistencia / Solicitación		5,46
<b>Resultado: longitud de anclaje</b>		
Diámetro mínimo de perforación	[mm]	38,00

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Cálculo del refuerzo superficial		
Longitud mínima de anclaje	[m]	0,8

Un informe detallado de la aplicación del programa específico y su esquema de cálculo se adjuntan en el Anexo 3 – Sistemas contra caída de rocas – Refuerzo superficial – Informe de cálculo.

### Especificación Técnica

Los paneles HEA (High Energy Absorption) están formados por una malla romboidal confeccionada en cables de acero de alta resistencia que poseen los nudos de intersección trenzados y reforzados con alambre de revestimiento Galfan® (Zn-5 Al-MM), a fin de resistir a eventuales tensiones dinámicas y estáticas que puedan deformar el panel.

#### Dimensiones estándar de los paneles:

Apertura de la malla= 400 x 400mm

Largo = 6.0m

Ancho = 3.0m

#### Propiedades del Nudo:

Carga máxima de rotura en la intersección = 24.4kN

Revestimiento Galfan® del alambre EN 10244 Clase A

Diámetro del alambre (Ø) UNI EN 10218 = 3.0mm

Tensión de rotura en el alambre = 380.0N/mm<sup>2</sup>

#### Propiedades del Cable de Acero:

Tensión nominal de rotura a la tracción = 1770.0N/mm<sup>2</sup>

Carga mínima de rotura = 63.0kN

Cable de acero de la malla Diámetro Ø (UNI EN 10264-2 UNI ISO 2408) = 10.0mm (Tipo 6x19)

Cable de acero perimetral Diámetro Ø (UNI EN 10264-2 UNI ISO 2408) =10.0mm (Tipo 6x19)

### Detalles de Instalación

El sistema de anclaje propuesto, verificado anteriormente, tiene las siguientes características:

- Perforación en roca de 38mm de diámetro mínimo,
- Profundidad mínima de 0.80m

- Separación horizontal entre anclajes de 2.50m
- Separación vertical entre anclajes de 2.50m
- Barra roscada de 25mm de diámetro (500N/mm<sup>2</sup>)
- Mortero o lechada de cemento con aditivos expansivos

Los detalles de instalación y anclaje de refuerzo superficial se presentan en el plano PL-SR-04 (Sistema contra caída de rocas - Refuerzo superficial - Detalle anclajes, fundación y accesorios).

El sistema de anclaje deberá ser verificado, previo a la ejecución de las obras, a partir de estudios geotécnicos específicos sobre el sector de replanteo y la ingeniería de detalle correspondiente.

### 10.3.3 Cómputo y Presupuesto

En la siguiente tabla se resume el cómputo y presupuesto de los ítems principales, que agrupan la totalidad de materiales y tareas asociadas a la ejecución de las obras proyectadas.

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio [AR\$]	
				Unitario	Total
1	Panel HEA (400x400 y cable 10mm)	m <sup>2</sup>	900	179	161100
2	Anclajes en roca (barra $\phi$ =25mm)	ml	158	900	142560
3	Instalación panel HEA	m <sup>2</sup>	900	180	162000
4	Barrera flexible (500kJ)	MI	400	1985	794000
5	Anclajes en roca (barra $\phi$ =20mm)	MI	110	850	93500
6	Instalación barrera flexible	MI	400	700	280000
<b>Presupuesto Total - Sistema contra caída de rocas =</b>					<b>\$ 1.633.160</b>

### 10.4 Azudes de control y retención

Uno de los problemas detectados en la urbanización de la ladera es el aporte eventual de sedimentos o detritos sobre cursos de agua (arroyos) que atraviesan los diferentes barrios. El depósito de estos elementos (gravas, arenas, troncos, basura, ramas, hojas, etc.) en el sistema



de drenaje superficial genera restricciones al escurrimiento y pérdida de su capacidad de conducción. En la Figura 10-15 se aprecia la sección de inicio de las obras de drenaje en el arroyos que atraviesa el barrio Parque Sur.



**Figura 10-19 – Arroyo en barrio Parque Sur**

Para el control de flujos de detritos existen una serie de soluciones de obra que se adaptan a las condiciones locales y materiales disponibles, a partir de un diseño adecuado al volumen y tamaño del material a retener (Figura 10-16).

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

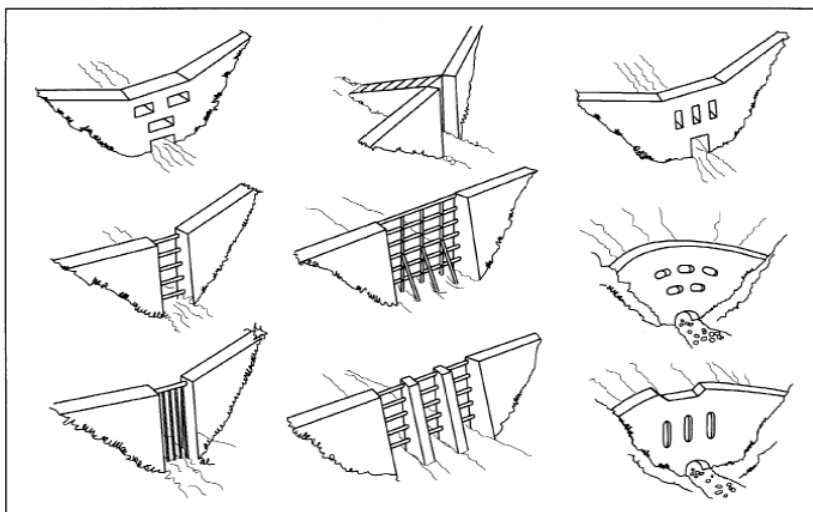
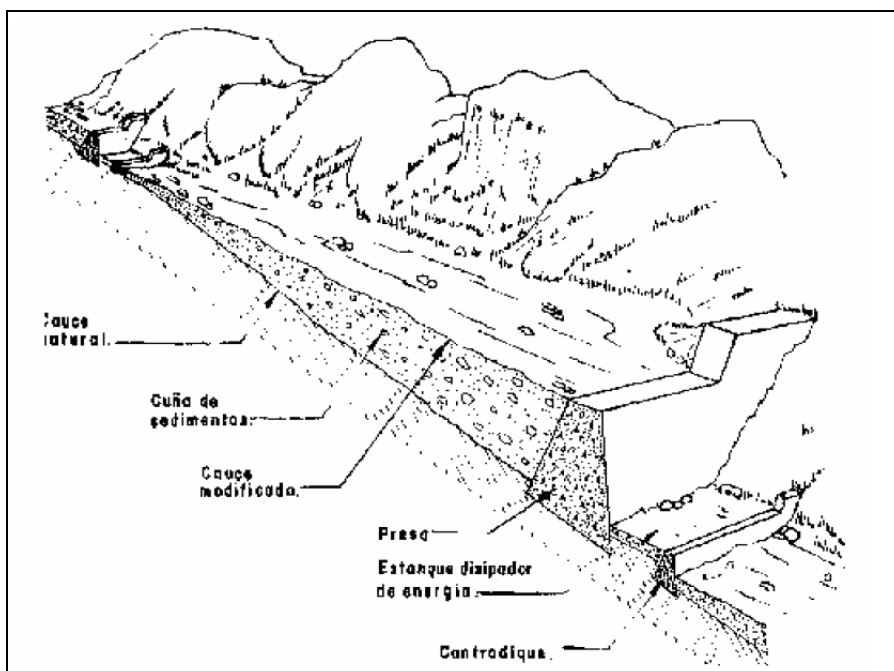


Figure 22 - Some Typical Decanting or Straining Structures (Czerny, 1998)

**Figura 10-20 - Estructuras de control de flujos de detritos (fuente: Czerny, 1998)**

El principio de funcionamiento es la retención selectiva de los sedimentos según tamaño y disipación local de energía por el salto producido aguas abajo de la presa o azud (ver Figura 10-17). Esto produce como resultado un flujo de menor energía cinética y sin sedimentos gran tamaño ingresando al sector urbanizado de la ladera.



**Figura 10-21 - Esquema de azud de retención (fuente: Suarez V. L. M. 1993)**

En la Figura 10-2218 se presenta un ejemplo de aplicación de estructuras de control de flujo de detritos, obra diseñada por Halcrow en Hong Kong.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-22 - Azud de flujo de detritos en Hong Kong**

En las Figuras 10-19 y 10-20 se presentan ejemplos de aplicación de azudes de retención (fuente: Maccafferri) en escenarios similares al presente en San Martín de los Andes.



**Figura 10-23 – Ejemplo azudes de retención**



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 10-24 – Ejemplo azud de retención**

### Ubicación de los azudes

A partir del estudio hidrológico (ver Capítulo 6) correspondiente a la ladera sur del cerro Corruhinca, se seleccionaran cinco cursos o arroyos principales que concentran la mayor parte del escurrimiento superficial que ingresa y atraviesa al polígono de acción PROMEBA (PAP). Como se presenta en la siguiente tabla, los mayores caudales estimados se asocian a cinco subcuencas, que corresponden a los cinco arroyos de mayor jerarquía que ingresan al PAP.

CUENCA	SUBCUENCA	$Q_{\max} T=2\text{ años}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\max} T=5\text{ años}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\max} T=10\text{ años}$ [m <sup>3</sup> /s]
<b>C1</b>	<b>C1a</b>	<b>0.82</b>	<b>1.50</b>	<b>2.24</b>
	C1b	0.11	0.18	0.27
<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>0.68</b>	<b>1.25</b>	<b>1.86</b>
<b>C3</b>	C3	0.13	0.20	0.28
<b>C4</b>	C4a	0.08	0.13	0.19
	<b>C4b</b>	<b>0.54</b>	<b>0.98</b>	<b>1.44</b>
<b>C5</b>	C5	0.27	0.46	0.65
<b>C6</b>	<b>C6</b>	<b>0.49</b>	<b>0.89</b>	<b>1.31</b>
<b>C7</b>	<b>C7a</b>	<b>0.79</b>	<b>1.45</b>	<b>2.17</b>
	C7b	0.09	0.15	0.22

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Los cinco arroyos seleccionados tiene un caudal con una recurrencia de 10 años en un rango de 1.3 a 2.2 m<sup>3</sup>/s, el resto de los cursos no superan un valor de 0.65 m<sup>3</sup>/s para la misma recurrencia. Estos cursos de mayor jerarquía, al introducirse en el PAP dan comienzo a los canales de la red de drenaje, proyectados en este estudio.

Para la ubicación de los azudes se considero como criterio general que los mismos se localicen próximos al límite exterior del PAP, sin afectar infraestructura pública o privada (viviendas) en los casos que fuera posible. De esta forma dichas estructuras podrán controlar los eventuales flujos torrenciales de los arroyos en la sección de ingreso al PAP y comienzo de la red de drenaje, reteniendo piedras, gravas, troncos y ramas, evitando su ingreso a la red de drenaje y sus graves consecuencias (desbordes, anegamientos, flujos no encauzados, erosiones, socavación de estructuras, etc.).

A continuación se presentan los sitios seleccionados para la localización de los azudes proyectados (ver Figuras 10-25 a 10-29).



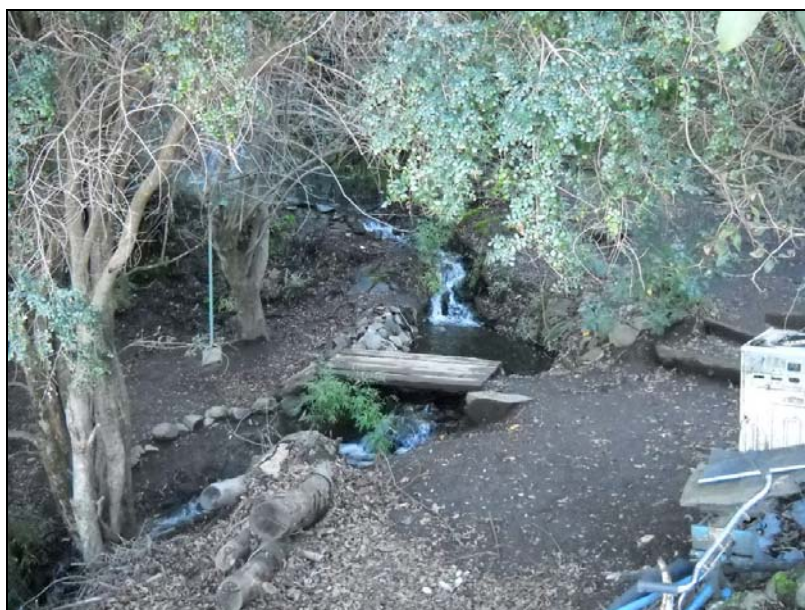
**Figura 10-25 – Sitio propuesto azud A1**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



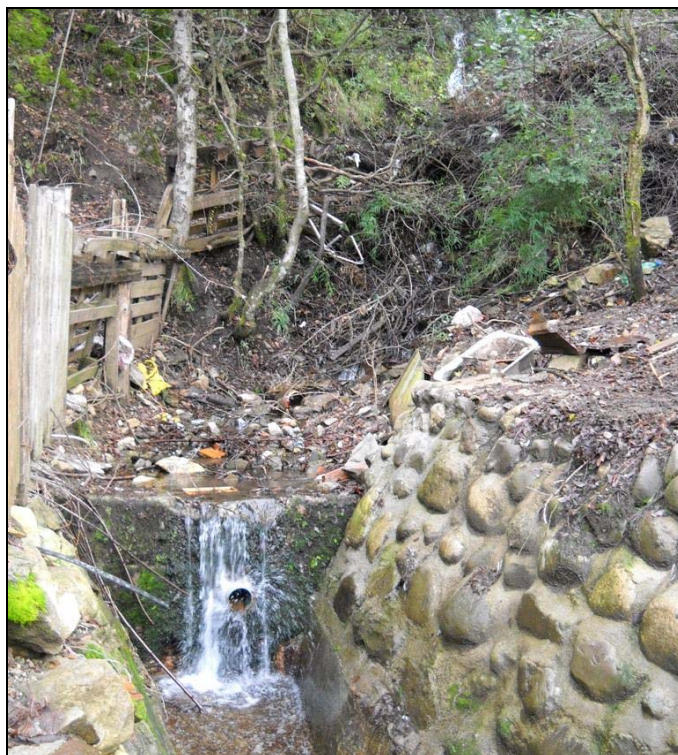
**Figura 10-26 – Sitio propuesto azud A2**



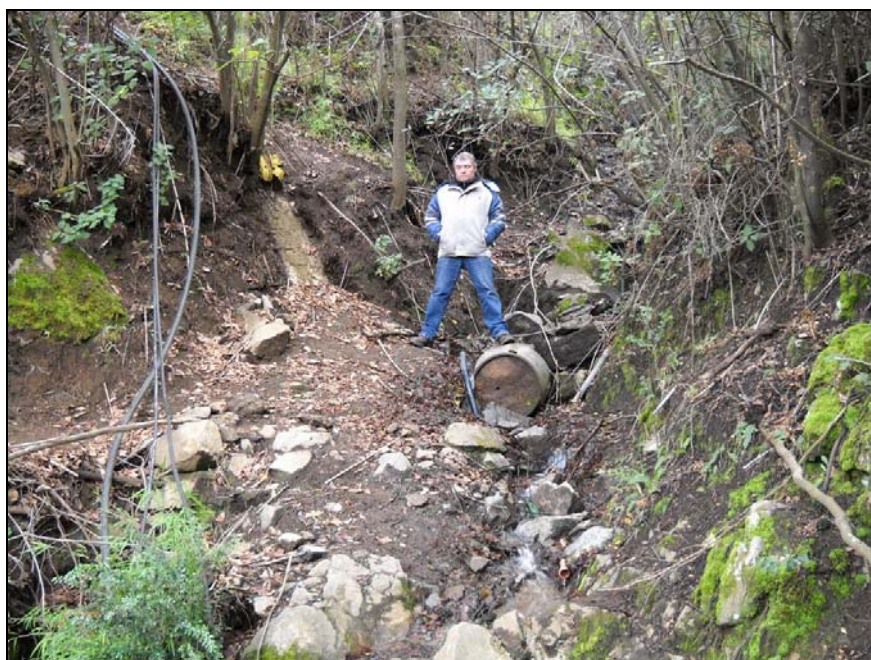
**Figura 10-27 – Sitio propuesto azud A3**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-28 – Sitio propuesto azud A4**



**Figura 10-29 – Sitio propuesto azud A5**

Los sitios seleccionados para los azudes A3 y A5 se encuentran muy próximos a viviendas habitadas de carácter permanente. Estos sectores son considerados de alto riesgo para esta finalidad (viviendas permanentes) por tal motivo se aconseja la pronta relocalización de sus habitantes. Situaciones similares se observó en cercanía a los sitios de los azudes A1 y A2 en

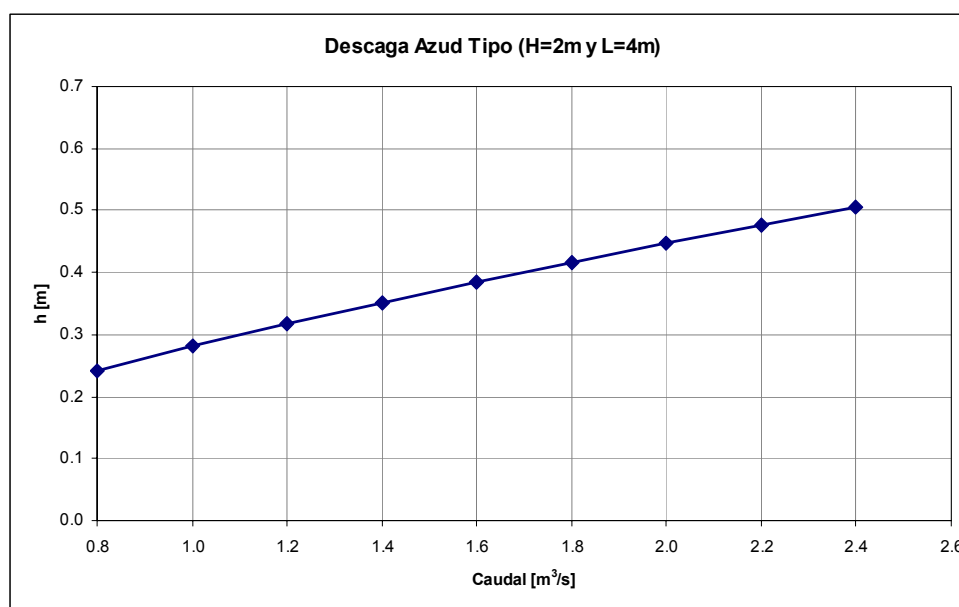
donde el cauce aguas abajo del arroyo se encuentra ocupado por locaciones privadas, generando la misma situación de riesgo.

### Diseño hidráulico

El diseño y cálculo hidráulico consistió en un vertedero de 4m de ancho y 2m de altura, conformado por una estructura de gaviones con 2 orificios centrales de 0.40m de diámetro que permitirán el pasaje de los caudales de estiaje y sedimentos finos (arenas y limos). La siguiente tabla resume los datos principales de los 5 azudes proyectados y las secciones aguas abajo correspondientes.

Datos Azud					Datos sección aguas abajo					
Denom.	Subcuenca	Salto [m]	Ancho vertedero [m]	Caudal 10años [m³/s]	Tramo Ag. Ab.	Long [m]	Pend. [m/m]	Ancho [m]	Alto [m]	Rugosidad (Manning)
A1	C1a	2.0	4.0	2.24	Perfil 1 Tipo 1	98	0.349	1.0	1.0	0.025
A2	C2	2.0	4.0	1.86	Perfil 2 Tipo 1	268	0.131	1.0	0.7	0.025
A3	C4b	2.0	4.0	1.44	Perfil 4 Tipo 1	29	0.797	0.8	0.6	0.025
A4	C6	2.0	4.0	1.31	Perfil 6 Tipo 1	20	0.258	0.7	0.5	0.025
A5	C7a	2.0	4.0	2.17	Perfil 7 Tipo 1	132	0.427	1.0	0.8	0.025

La Figura 10-30 presenta la ley de descarga del azud tipo diseñado, en donde el tirante máximo sobre vertedero no supera los 50cm para un caudal de 2.3m³/s (recurrencia de 10 años en el azud A1).



**Figura 10-30 – Ley de descarga en azud tipo**

## Diseño estructural

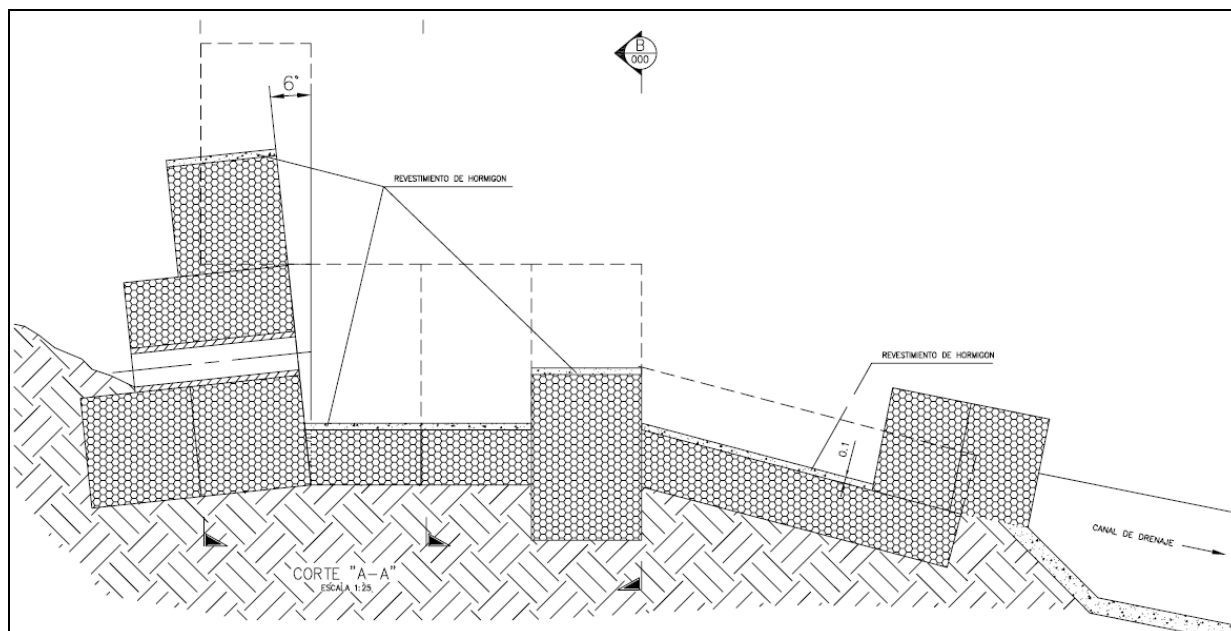
Para el diseño estructural de los azudes se adoptó una estructura de gaviones con revestimiento de hormigón en las superficies de contacto con el flujo. Este material, además de su ventaja económica frente a otras soluciones, permite obtener una estructura robusta y flexible, condiciones necesarias en este tipo de obras fundadas sobre el lecho de un curso de montaña.

La verificación de la estabilidad de la estructura se realizó mediante un programa específico, desarrollado para este tipo de material. Para la verificación estructural se adoptaron los siguientes escenarios:

- a) Condición de crecida: colmatación y saturación completa, sin carga sísmica.
- b) Condición permanente: colmatación completa, saturación parcial y con carga sísmica.

Los resultados de la verificación estructural y parámetros adoptados en dicho cálculo, para las dos condiciones evaluadas, se resumen en el Anexo 4.

En la Figura 10-31 se presenta un esquema del azud tipo propuesto como solución de obra.



**Figura 10-31 – Esquema azud tipo**

En los planos PL-AR-06 al PL-AR-09 (Azudes de control y retención - Obra tipo) se presentan los detalles en planta y corte del diseño tipo de los azudes propuestos en los cinco arroyos que ingresan al PAP.



## Cómputo y Presupuesto

El la siguiente tabla se resume el cómputo y presupuesto de los ítems principales, que agrupan la totalidad de materiales y tareas asociadas a la ejecución de las obras proyectadas.

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio [AR\$]	
				Unitario	Total
1	Excavación y perfilado manual	m <sup>3</sup>	120	655	78610
2	Geotextil no tejido	m <sup>2</sup>	210	63	13199
3	Gaviones	m <sup>3</sup>	265	1052	278655
4	Hormigo Armado (revestimiento)	m <sup>3</sup>	12	2090	25084
<b>Presupuesto Total - Azudes de control y retención =</b>					<b>\$ 395.549</b>

### 10.5 Obras de drenaje superficial y control de erosión

Todo desarrollo urbano genera alteraciones del escurrimiento natural sobre el terreno. La implantación de estructuras (viviendas, caminos, etc.) y cambio de la cobertura del suelo modifica la cantidad y distribución de agua sobre el terreno.

Las características del relieve y suelo (pendientes pronunciadas y suelos finos) presentes en el Polígono de Acción PROMEBA son favorables al desarrollo de procesos de erosión superficial y en surcos, originando pérdidas de suelo, cárcavas, destape de instalaciones subterráneas (agua potable, cloacas y red de gas natural) y descalce de fundación de estructuras urbanas (viviendas, calles, veredas, escaleras, muros, etc.). Para hacer frente a estos problemas es necesario contar con un sistema de drenaje superficial que sistematice los escurrimientos de diferente jerarquía y peligrosidad.

El programa de obras del PROMEBA contemplaba la ejecución de una serie de canales revestidos en hormigón armado con el objetivo de conducir los escurrimientos que ingresan al PAP, hasta su vertido sobre la margen derecha del arroyo Pocahullo. La mayor parte de estas obra todavía no fueron ejecutadas, por lo tanto se realizó una revisión del proyecto antecedente (ver Figuras 10-31 y 10-32).

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-32 – Canalización de hormigón (obra PROMEBA)**



**Figura 10-33 – Conducto de PVC y hormigón (obra PROMEBA)**

A partir de las diferentes problemáticas y necesidades de obra, luego del análisis de los antecedentes, se definieron tres sub-grupos de obras a proyectar:

- Red de drenaje principal
- Obras de descarga
- Manejo de escurrimientos menores

### **10.5.1 Red de drenaje principal**

A partir de los resultados del estudio hidrológico (ver Capítulo 6) se procedió a la verificación de la red de canales definidas en el proyecto antecedente (PROMEBA), en base a las características geométricas obtenidas de los planos correspondientes. Para la verificación de revanchas mínimas (desbordes) se utilizó el caudal de 10 años de recurrencia y la pendiente mínima observada en cada tramo. Se adoptó una rugosidad de Manning igual a 0.015 correspondiente a un hormigón de regular terminación superficial. En la mayoría de los casos no se verificaron revanchas admisibles (diferencia entre tirante líquido y altura del canal mayor a 10cm a 15cm). Por otro lado se observaron algunos tramos que para un caudal de 2 años de recurrencia se generaban velocidades superiores a los 6 a 7 m/s, situación no recomendable en canales de hormigón debido al acelerado deterioro del mismo.

Para el nuevo diseño y proyecto de la red de drenaje principal se adoptaron los siguientes criterios rectores:

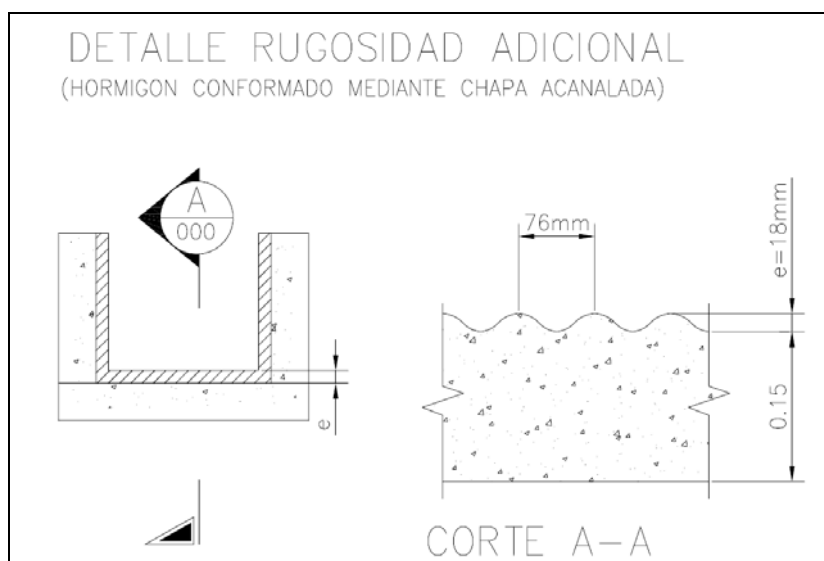
- a. Revancha mínima: revanchas comprendidas entre el 50 al 100% del tirante y superiores a 10cm, para un caudal de 10 años de recurrencia
- b. Velocidad máxima: velocidades inferiores a 6m/s para un caudal de 2 años de recurrencia.

Para el cálculo de revanchas se usó la pendiente mínima de cada tramo mientras que para el de velocidad máxima se tomó la pendiente máxima.

En casos en que la velocidad máxima superase los 6m/s se decidió incrementar la rugosidad mediante la conformación manual de la superficie de hormigón, utilizando un molde de chapa acanalada estándar (18x76mm), detalle que eleva la rugosidad a un valor de 0.025 según bibliografía. Esta solución fue evaluada como alternativa de mayor ventaja económica, sin implicar cambios en los materiales y técnicas constructivas (ver plano PL-DC-20). La Figura 10-33 presenta el detalle de la rugosidad adicional del hormigón conformado mediante chapa acanalada.



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 10-34 – Detalle rugosidad adicional**

Para transportar los aportes del lado Oeste de la Cuenca C5 hasta el Perfil N° 5 se dimensionó un canal de 220m de longitud a conectarse en la intersección de las calles Ragussi y Drury, tramo de canalización no incluido en el proyecto antecedente. Dicho tramo se lo denominó Perfil 5 Tramo 6.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de cálculo hidráulico a partir del criterio de revancha mínima:

Tramo	Pend. mín [m/m]	Q <sub>10años</sub> [m³/s]	Ancho [m]	Alto [m]	Rugos. (Manning)	h <sub>10años</sub> [cm]	Revancha [cm]
Perfil 1 Tipo 1	0.052	2.47	1.00	1.00	0.025	63	37
Perfil 1 Tipo 2	0.065	2.47	0.90	0.70	0.015	44	26
Perfil 2 Tipo 1	0.073	1.86	1.00	0.70	0.025	45	25
Perfil 2 Tipo 2	0.016	4.80	1.30	1.30	0.015	85	45
Perfil 3a	0.184	0.14	0.30	0.20	0.015	10	10
Perfil 3 Tipo 1	0.192	0.14	0.30	0.20	0.015	10	10
Perfil 3 Tipo 2	0.018	0.45	0.60	0.50	0.015	30	20
Perfil 4a	0.201	0.19	0.40	0.20	0.015	10	10
Perfil 4 Tipo 1	0.122	1.44	0.80	0.60	0.025	38	22
Perfil 4 Tipo 2	0.040	1.78	0.80	0.70	0.015	47	23
Perfil 4 Tipo 3	0.010	3.22	1.20	1.20	0.015	81	39
Perfil 5 Tipo 1	0.066	0.13	0.30	0.30	0.015	14	16

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Tramo	Pend. mín [m/m]	Q <sub>10años</sub> [m³/s]	Ancho [m]	Alto [m]	Rugos. (Manning)	h <sub>10años</sub> [cm]	Revancha [cm]
Perfil 5 Tipo 2	0.061	0.13	0.30	0.30	0.015	15	15
Perfil 5 Tipo 3	0.031	0.94	0.70	0.60	0.015	36	24
Perfil 5 Tipo 4	0.013	1.08	0.90	0.70	0.015	43	27
Perfil 5 Tipo 5	0.007	1.17	1.00	0.80	0.015	51	29
Perfil 5a	0.046	0.52	0.50	0.50	0.015	28	22
Perfil 6 Tipo 1	0.258	1.31	0.70	0.50	0.025	31	19
Perfil 6 Tipo 2	0.096	1.31	0.70	0.50	0.015	30	20
Perfil 6 Tipo 3	0.122	1.31	0.70	0.50	0.015	28	22
Perfil 6 Tipo 4	0.073	1.34	0.70	0.60	0.015	34	26
Perfil 7 Tipo 1	0.077	2.38	1.00	0.80	0.025	53	27
Perfil 7 Tipo 2	0.069	2.50	1.10	0.80	0.025	52	28
Perfil 7 Tipo 3	0.028	4.25	1.50	1.20	0.025	80	40

En cuanto a la verificación de velocidades máximas, la siguiente tabla presenta el resultado del cálculo hidráulico correspondiente, en donde se resalta en verde los tramos en que fue necesario incrementar la rugosidad para obtener velocidades admisibles.

Tramo	Pend. máx [m/m]	Q <sub>2años</sub> [m³/s]	Ancho [m]	Alto [m]	Rugos. (Manning)	h <sub>2años</sub> [cm]	U <sub>2años</sub> [m/s]
Perfil 1 Tipo 1	0.349	0.90	1.00	1.00	0.025	16	5.73
Perfil 1 Tipo 2	0.065	0.90	0.90	0.70	0.015	21	4.68
Perfil 2 Tipo 1	0.352	0.68	1.00	0.70	0.025	13	5.22
Perfil 2 Tipo 2	0.039	1.90	1.30	1.30	0.015	31	4.65
Perfil 3a	0.184	0.07	0.30	0.20	0.015	6	3.50
Perfil 3 Tipo 1	0.246	0.07	0.30	0.20	0.015	6	3.90
Perfil 3 Tipo 2	0.142	0.24	0.60	0.50	0.015	9	4.32
Perfil 4a	0.201	0.08	0.40	0.20	0.015	5	3.68
Perfil 4 Tipo 1	0.481	0.54	0.80	0.60	0.025	12	5.65
Perfil 4 Tipo 2	0.082	0.72	0.80	0.70	0.015	19	4.82
Perfil 4 Tipo 3	0.010	1.63	1.20	1.20	0.015	48	2.81
Perfil 5 Tipo 1	0.283	0.05	0.30	0.30	0.015	5	3.85

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Tramo	Pend. máx [m/m]	Q <sub>2años</sub> [m³/s]	Ancho [m]	Alto [m]	Rugos. (Manning)	h <sub>2años</sub> [cm]	U <sub>2años</sub> [m/s]
Perfil 5 Tipo 2	0.098	0.05	0.30	0.30	0.015	7	2.69
Perfil 5 Tipo 3	0.031	0.47	0.70	0.60	0.015	22	3.09
Perfil 5 Tipo 4	0.013	0.56	0.90	0.70	0.015	27	2.34
Perfil 5 Tipo 5	0.007	0.62	1.00	0.80	0.015	36	2.00
Perfil 5a	0.046	0.22	0.50	0.50	0.015	15	2.94
Perfil 6 Tipo 1	0.258	0.49	0.70	0.50	0.025	15	4.56
Perfil 6 Tipo 2	0.096	0.49	0.70	0.50	0.015	15	4.62
Perfil 6 Tipo 3	0.144	0.49	0.70	0.50	0.015	13	5.30
Perfil 6 Tipo 4	0.073	0.51	0.70	0.60	0.015	17	4.27
Perfil 7 Tipo 1	0.427	0.87	1.00	0.80	0.025	14	6.06
Perfil 7 Tipo 2	0.172	0.95	1.10	0.80	0.025	19	4.51
Perfil 7 Tipo 3	0.098	1.74	1.50	1.20	0.025	27	4.27

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de las secciones proyectadas, longitud, tipo de rugosidad, espesor de hormigón y armadura.

Tramo	Ancho [m]	Alto [m]	Long. [m]	Rugosidad	Esp. Hº Aº [cm]	Armadura
Perfil 1 Tipo 1	1.00	1.00	98	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 1 Tipo 2	0.90	0.70	98	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 2 Tipo 1	1.00	0.70	268	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 2 Tipo 2	1.30	1.30	415	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 3a	0.30	0.20	32	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 3 Tipo 1	0.30	0.20	154	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 3 Tipo 2	0.60	0.50	298	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 4a	0.40	0.20	18	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 4 Tipo 1	0.80	0.60	29	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 4 Tipo 2	0.80	0.70	266	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 4 Tipo 3	1.20	1.20	223	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 5 Tipo 1	0.30	0.30	110	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 5 Tipo 2	0.30	0.30	108	normal	10	φ 6 c/15cm



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Tramo	Ancho [m]	Alto [m]	Long. [m]	Rugosidad	Esp. H° A° [cm]	Armadura
Perfil 5 Tipo 3	0.70	0.60	102	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 5 Tipo 4	0.90	0.70	107	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 5 Tipo 5	1.00	0.80	83	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 5a	0.50	0.50	220	normal	10	φ 6 c/15cm
Perfil 6 Tipo 1	0.70	0.50	20	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 6 Tipo 2	0.70	0.50	24	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 6 Tipo 3	0.70	0.50	51	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 6 Tipo 4	0.70	0.60	127	normal	15	φ 8 c/15cm
Perfil 7 Tipo 1	1.00	0.80	132	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 7 Tipo 2	1.10	0.80	105	adicional	15	φ 8 c/15cm
Perfil 7 Tipo 3	1.50	1.20	203	adicional	15	φ 8 c/15cm

El sistema de canales diseñado se caracteriza por un flujo supercrítico con elevadas velocidades en todos los casos, esta particularidad debe ser tenida en cuenta en algunos detalles constructivos. En los cambios bruscos de dirección del flujo (curvas a 90°), para evitar desbordes por peralte y oscilación de la superficie libre, se propone el cierre superior de estos sectores y curvaturas mínimas a respetar. Estos detalles se presentan en los planos PL-DC-19 (Obras de drenaje superficial y control de erosión - Detalles especiales A) y PL-DC-20 (Obras de drenaje superficial y control de erosión - Detalles especiales B).

Otra modificación necesaria al proyecto antecedente fue el rediseño de las alcantarillas previstas en la red de drenaje principal. Dadas las altas velocidades presentes en los canales, se adoptó una sección de alcantarilla igual al tramo en donde interviene, de este modo no causa ninguna perturbación al escurrimiento y simplifica las tareas constructivas. La siguiente tabla presenta las nuevas secciones proyectadas de alcantarillas.

PERFIL	UBICACION		DIMENSIONES [m]			PROGRESIVA [m]	
	Sobre Calle	Inter. con Calle	Ancho	Altura	Longitud	Inicial	Final
2	RHODE	3 de CABALLERIA	1.3	1.3	8.0	268.4	276.3
2	RHODE	FOSBERY	1.3	1.3	13.4	383.9	397.3
2	RHODE	CALDERON	1.3	1.3	8.6	507.5	516.1
2	RHODE	ROCA	1.3	1.3	10.2	627.1	637.2

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

PERFIL	UBICACION		DIMENSIONES [m]			PROGRESIVA [m]	
	Sobre Calle	Inter. con Calle	Ancho	Altura	Longitud	Inicial	Final
3	RIVADAVIA	WEBER	0.6	0.5	9.0	215.5	224.5
3	3 de CABALLERIA	MORENO	0.6	0.5	13.3	438.6	451.9
4	MORENO	RAGUSSI	0.8	0.7	9.5	67.6	71.1
4	MORENO	RODRIGUEZ	0.8	0.7	19.2	111.4	130.5
4	MORENO	WEBER	0.8	0.7	24.5	168.9	193.3
4	MORENO	3 de CABALLERIA	1.2	1.2	18.6	294.6	313.3
4	MORENO	FOSBERY	1.2	1.2	24.2	409.1	433.3
5	DRURY	RAGUSSI	0.7	0.6	11.4	218.1	229.5
5	DRURY	WEBER	0.9	0.7	12.1	331.0	343.1
5	DRURY	3 de CABALLERIA	1	0.8	17.4	449.8	467.1
6	FALDEO	FALDEO	0.7	0.5	24.5	20.3	44.1
6	FALDEO	RAGUSSI	0.7	0.6	6.7	95.2	101.9
6	ELORDI	WEBER	0.7	0.6	9.3	229.2	238.5
7	ELORDI	RAGUSSI	1.1	0.8	6.0	132.4	138.4
7	ELORDI	WEBER	1.5	1.2	8.4	243.9	252.2
7	ELORDI	3 de CABALLERIA	1.5	1.2	12.4	360.7	373.1

Cabe aclarar que las tres alcantarillas proyectadas junto a las descargas sobre la margen del arroyo Pocahullo fueron remplazadas por las obras de descarga que se describen a continuación.

### 10.5.2 Obras de Descargas

El proyecto antecedente de la red de canales preveía una obra de descarga tipo para las 4 descargas sobre la margen derecha del arroyo Pocahullo. El proyecto antecedente de dichas obras no verifica las velocidades generadas por un caudal de 10 años de recurrencia (condición de diseño), ni cumple los criterios estéticos que exigen las autoridades locales para la construcción de nuevas obras sobre las márgenes del arroyo, sitio de gran valor turístico de la ciudad.

Las nuevas obras sobre las márgenes del arroyo Pocahullo; como ser: defensas de margen, muros de contención, protecciones, etc.; según las autoridades locales, no podrán utilizar a la vista materiales industriales; como ser: gaviones, colchonetas, muros de hormigón, mantas de

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

bloques de hormigón, etc. Solo se permiten soluciones de obra de aspecto rústico, con materiales naturales, como los enrocados y muros de madera y piedra.

En su paso por el casco urbano, gran parte de las márgenes actuales del arroyo poseen defensas de muros de troncos de madera y piedra, tal como se como se aprecia en la foto de la Figura 10-34 (defensa de margen rustica, A° Pocahullo).



**Figura 10-35 – Defensa de margen rustica en A° Pocahullo (muro de palos y piedra)**

Utilizando dicha topología de solución de obra, muros rústicos conformados por un entramado de palos de madera y relleno de piedra de gran tamaño y enrocado como protección al pie, se diseñaron las obras de descarga de la red de drenaje. En la siguiente tabla se detallan las características de los canales de llegada y ubicación de los puntos de descarga.

Denom.	Tramo	Calle	Q <sub>d</sub> (10 años) [m <sup>3</sup> /s]	Canal de llegada			
				Ancho [m]	Alto [m]	Cota solera [msnm]	U <sub>10años</sub> [m/s]
D1	Perfil 2 Tipo 2	Coronel Rohde	4,80	1,30	1,30	642,00	4,60
D2	Perfil 4 Tipo 3	Mariano Moreno	3,22	1,20	1,20	643,50	3,32
D3	Perfil 5 Tipo 5	Capitan Drury	1,17	1,00	0,80	643,90	2,28
D4	Perfil 7 Tipo 3	Eduardo Elordi	4,25	1,50	1,20	645,50	5,63



Las velocidades máximas alcanzadas en las descargas al Pocahullo (perfiles 2, 4, 5 y 7) para las nuevas secciones proyectadas varían entre 2,3 a 5,7m/s, por lo tanto se diseñaron obras de protección contra la erosión en cada una de éstas.

Otra particularidad a salvar por dichas obras es el desnivel presente entre la solera del canal y cauce principal del arroyo, con valores comprendidos entre 1 a 1.5m aproximadamente. Como solución de obra se adopto un conducto cerrado, remplazando las alcantarillas anteriormente proyectadas.

En el diseño del conducto de descarga se considero un escalonado progresivo que permite salvar la diferencia de niveles disipando la energía del flujo mediante saltos parciales. El diseño geométrico del conducto escalonado fue desarrollado a partir de lineamientos de disipadores escalonados con desarrollo completo de resalto hidráulico en cada salto o escalón. Esta condición permite una disipación gradual sobre la propia conducción y descarga a nivel del arroyo con bajas velocidades de salida, evitando el desarrollo de grandes cuencos de disipación o protecciones sobre el lecho del arroyo. La siguiente tabla resume las dimensiones de las obras de descargas proyectadas.

Denom.	Tramo	Calle	Sección Conducto		Altura escalón [m]	Dist. entre escalones [m]	Long. Conducto [m]
			Ancho [m]	Alto [m]			
D1	Perfil 2 Tipo 2	Coronel Rohde	1,30	2,00	0,60	7,00	14,00
D2	Perfil 4 Tipo 3	Mariano Moreno	1,20	1,60	0,50	6,00	12,00
D3	Perfil 5 Tipo 5	Capitan Drury	1,00	1,00	0,50	6,00	12,00
D4	Perfil 7 Tipo 3	Eduardo Elordi	1,50	1,60	0,50	6,00	12,00

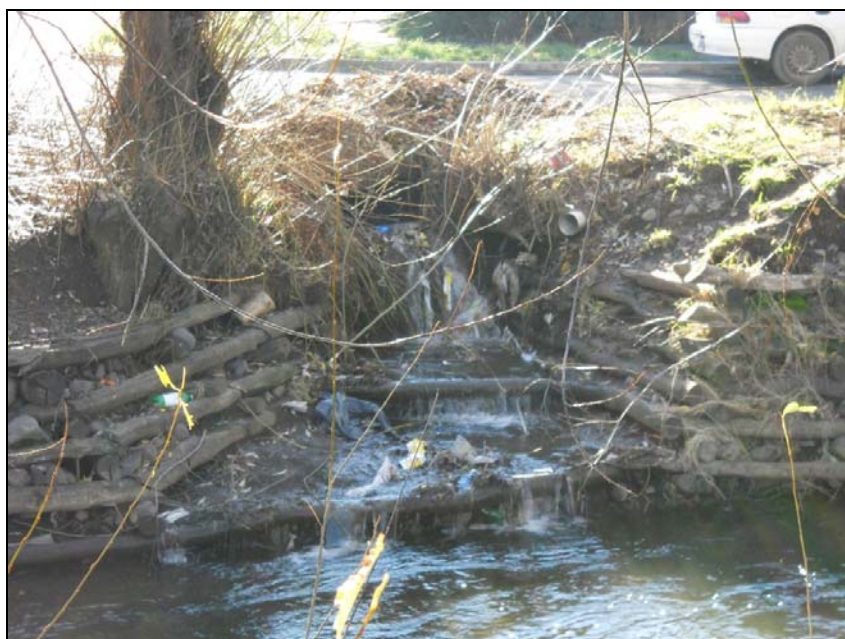
El diseño detallado de las cuatro obras de descarga se presenta en los planos PL-DC-24 al PL-DC-27 (Obras de drenaje superficial y control de erosión - Obra de descarga - Planta, cortes y detalles).

En las Figuras 10-35 a 10-38 se presentan los sitios correspondientes a las obras de descargas proyectadas, actuales descargas de la red de drenaje existente.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-36 – Sitio obra de descarga D1 (Calle Coronel Rohde)**



**Figura 10-37 – Sitio obra de descarga D2 (Calle Mariano Moreno)**



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-38 – Sitio obra de descarga D3 (Calle Capitán Drury)**



**Figura 10-39 – Sitio obra de descarga D4 (Calle Eduardo Elordi)**

La Figura 10-39 presenta el esquema de la obra propuesta.



The drawing consists of two parts: a plan view (PLANTA GENERAL) and a cross-section (CORTE).

**PLANTA GENERAL (1:50):** This view shows the layout of the drainage system. It starts with a 'CANAL DE LLEGADA' (arrival channel) on the left, which leads into a 'CONDUCTO ESCALONADO' (stepped conduit). The conduit is supported by 'ESCALON' (steps) and is surrounded by a 'MURO DE TRONCOS Y PIEDRAS' (log and stone wall). The conduit has a diameter of 25 cm. The system discharges into an 'ARROYO PACAHULL' (Pacahull stream). The discharge area is protected by a 'PROTECCION DESCARGA' (discharge protection). The plan view includes dimensions for the conduit (2.84 m), the wall (2.00 m), and the stream (3.00 m). It also shows a 'NIVEL' (level) of 1.000 and a 'NIVEL MINIMO' (minimum level) of 0.000.

**CORTE (1:50):** This cross-section shows the vertical profile of the drainage system. It details the 'CANAL DE LLEGADA' (arrival channel) with a depth of 0.20 m and a width of 0.20 m. The conduit is shown with a diameter of 25 cm and is surrounded by a 'MURO DE TRONCOS Y PIEDRAS' (log and stone wall). The conduit is supported by 'ESCALON' (steps) and is surrounded by a 'MURO DE TRONCOS Y PIEDRAS' (log and stone wall). The conduit has a diameter of 25 cm. The system discharges into an 'ARROYO PACAHULL' (Pacahull stream). The discharge area is protected by a 'PROTECCION DESCARGA' (discharge protection). The cross-section includes dimensions for the conduit (0.20 m), the wall (0.20 m), the stream (3.00 m), and the discharge protection (0.25 m). It also shows a 'NIVEL' (level) of 1.000 and a 'NIVEL MINIMO' (minimum level) of 0.000.

El proyecto de la red de drenaje contempla solo la canalización de los escurrimientos principales que ingresan al polígono de acción del PROMEBA (PAP), definidos por los cinco arroyos principales y algunos afluentes a los mismos. Otros escurrimientos menor (pequeños arroyos) que ingresa y atraviesan al PAP y pequeños cursos temporarios generados por aportes pluviales dentro del PAP, no son contemplados dentro del sistema de obras. En la Figura 10-41 se observa un curso secundario no contemplado en la red de drenaje.

*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-41 – Escorrimientos menores fuera de la red de drenaje (barrio Godoy)**

Las estructuras de desarrollo lineal (por ejemplo: escaleras, caminos, vereda, etc.) producen interferencia y concentración del escurrimiento natural, dando origen a pequeños cursos temporarios (zanjas, cárcavas, etc.) sobre suelo desnudo, vulnerables a la erosión hídrica.

La aparición de esta problemática no prevista en el proyecto de obras del PROMEBA (red de drenaje principal, pavimentos, sendas peatonales, escaleras, etc.) generó una solución complementaria (como anexo de obra) que consistió en revestimientos de hormigón simple o mortero de sectores de flujo (laterales de pavimentos, ver figura 10-42).



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*



**Figura 10-42 – Pavimento y drenaje lateral (obra PROMEBBA)**

Estos revestimientos rígidos no parecen una solución adecuada a las condiciones del terreno, en donde la erosión superficial, socavación y deformación del sustrato generan un acelerado deterioro y bajo desempeño del mismo (ver Figura 10-43).



**Figura 10-43 – Erosión y deterioro de cuneta rígida (obra PROMEBBA)**



Como alternativa a la cuneta rígida se proponen el uso de un revestimiento flexible conformado por bloque de hormigón adherido a un geotextil. Para este tipo de aplicación (cursos menores), se propone el uso de un geotextil no tejido de alto gramaje con valores de 200 a 300gr/m<sup>2</sup> y bloque de mortero u hormigón simple colado in situ (para lograr la adherencia al geotextil) con espesores de 40 a 60mm, tamaños de 15x15cm a 20x20cm y juntas abiertas de 10mm de espesor.

Las dimensiones de la sección y detalles del revestimiento deberán ser definidas según la importancia del curso a proteger y al tránsito cual será sometido. El geotextil deberá ser anclado al suelo con estacas metálicas tipo U de  $\phi 6\text{mm}$  y 15cm de largo, con una densidad de 4 a 6 estacas por metro cuadrado.

En la Figura 10-44 se presenta un caso típico de una escalera cuyo lateral no posee protección, sitio en donde se propone la ejecución de revestimientos flexible para el manejo de los escurrimientos laterales y control de erosión.



**Figura 10-44 – Erosión y deterioro del drenaje lateral (obra PROMEBA)**

### 10.5.4 Cómputo y Presupuesto

En la siguiente tabla se resume el cómputo y presupuesto de los ítems principales, que agrupan la totalidad de materiales y tareas asociadas a la ejecución de las obras proyectadas.

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio [AR\$]	
				Unitario	Total
1	Demolición y limpieza	m <sup>2</sup>	3178	460	1460766
2	Excavación y perfilado con máquina	m <sup>3</sup>	4458	409	1822901
3	Hormigón Armado	m <sup>3</sup>	1570	2696	4232883
4	Confor. superf. del hormigón	m <sup>2</sup>	2449	47	115019
5	Enrocado (D <sub>50</sub> =25cm)	m <sup>3</sup>	36	513	18475
6	Muro rustico	m <sup>2</sup>	180	1412	254078
7	Excavación y perfilado manual	m <sup>3</sup>	80	655	52407
8	Hormigón simple (H13)	m <sup>3</sup>	100	1589	158910
9	Geotextil no tejido	m <sup>2</sup>	2000	63	125705
<b>Presupuesto Total - Obras de drenaje superficial y control de erosión =</b>					<b>\$ 8.241.143</b>

### 10.6 Muros de contención

La urbanización en terrenos escarpados es generalmente acompañada de fuertes alteraciones del relieve natural. La edificación de viviendas y construcción de vías de acceso (veredas y caminos) produce necesarias modificaciones del terreno mediante excavaciones y rellenos. Estas perturbaciones pueden generar inestabilidad del suelo, provocando deslizamientos y/o asentamientos del mismo.

La construcción de muros de contención, adecuadamente diseñados y ejecutados, permite asegurar la estabilidad local del terreno afectado. El PROMEBA realizó una serie de estos muros en diferentes puntos del asentamiento respondiendo a una demanda de urbanización. A pesar de ello muchos otros casos todavía no fueron construidos o proyectados (ver Figuras 10-17, 10-18 y 10-19).



*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

Según relevamientos de campo y análisis de antecedentes, se seleccionaron una serie de sitios en donde se considera necesario la ejecución de muros de contención en donde existen taludes de suelo inestable o muros existentes en mala estado o dudosa estabilidad.



**Figura 10-45 – Muro de contención en barrio Vallejos (obra PROMEBA)**





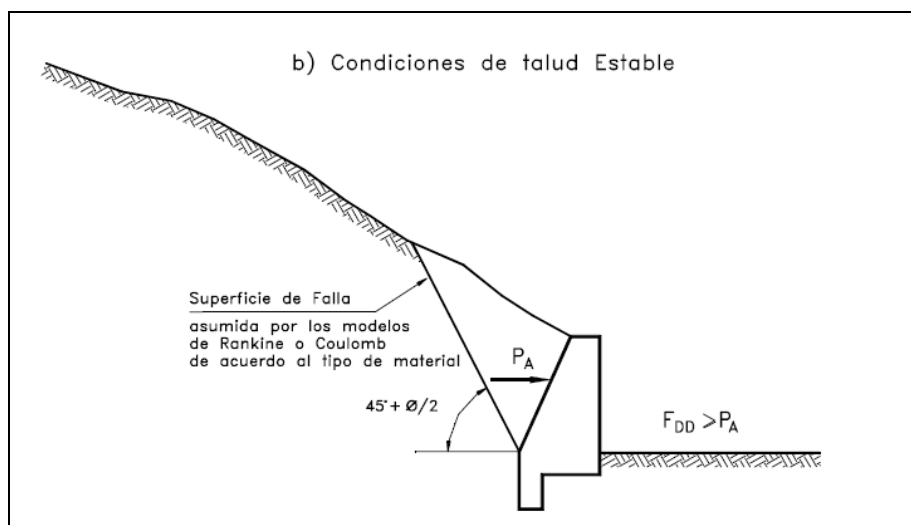
*Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*

**Figura 10-46 – Muro de contención de construcción precaria y mal estado**



**Figura 10-47 – Muro de contención de construcción precaria**

Como premisa al diseño de los muros se considera estable la ladera del cerro, por lo tanto dichos muros no podrán contener eventuales deslizamientos o avalanchas de suelo y roca que pudieran producirse según lo evaluado en el estudio de riesgo geológico (ver capítulo 7). La Figura 10-20 presenta un esquema de cálculo de un muro sobre la ladera estable.



**Figura 10-48 – Esquema de cálculo (fuente: Estabilidad de Taludes, Jaime Suarez)**

Para hacer frente a la necesidad de muros de contención se estudiaron diferentes alternativas de obra, cuya selección respondió a los materiales y técnicas constructivas disponibles (ver Figura 10-21).

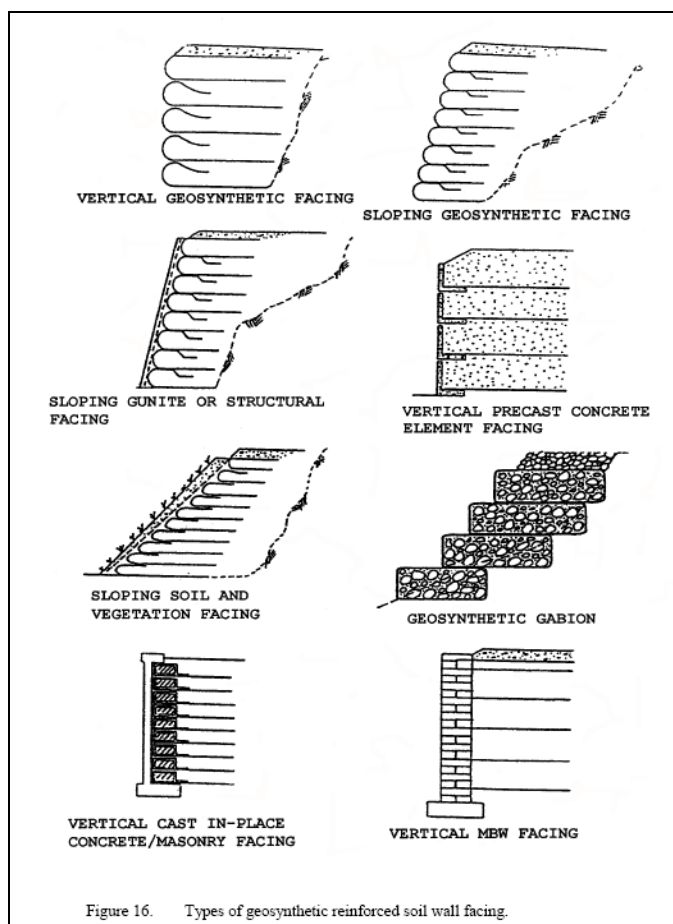


Figure 16. Types of geosynthetic reinforced soil wall facing.

**Figura 10-49 – Alternativas de muros de contención (fuente: Publication N° FHWA-NHI-00-043)**

Como obras de mitigación se diseñaron y calcularon estructuras de sostenimiento para los muros identificados por el equipo de PROMEBA en la urbanización del Faldeo del Cerro Curruhuinca. De la totalidad de muros identificados a reparar o construir, se han seleccionado 10, de forma tal que las soluciones adoptadas en el diseño, cálculo y verificación técnica, permitan extender la misma solución técnica a los muros no diseñados, teniendo en cuenta los criterios de diseño adoptados para los muros seleccionados, siempre que las condiciones del suelo y espacio disponible, respondan a la variante técnica diseñada.

### Criterio de selección

Del conjunto de muros identificados, se detectó que la altura de los mismos variaba desde 1.8m a 5m de alto, contando la misma siempre desde el terreno natural.

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Como criterio de selección se utilizó el siguiente: en primer lugar se seleccionaron aquellos muros que permitirían estabilizar todos los espacios comunes en los barrios, es decir aquellos que sirven de sostenimiento a pasajes, pasarelas y escaleras de acceso a las viviendas; posteriormente, se procedió a seleccionar muros de diferente altura, variando esta cada medio metro, desde 2 a 5 metros desde el terreno natural.

De esta manera se tendría una solución técnica específica para cada variante de altura que se presenta en el conjunto de muros identificados.

### Ubicación

Del relevamiento total realizado in situ por el Equipo de Promeba, se determinó la ubicación de los muros en relación a la urbanización existente.

En la siguiente planilla se muestran los muros seleccionados, resaltados en rosa, describiendo las características del muro, barrio y lote afectado y las dimensiones adoptadas de los muros propuestos, identificando la altura y la longitud del desarrollo:

### Muros de contención - Relevamiento total

Relevamiento TOTAL en base a solicitud de vecinos y constatado por Área Ambiental PROMEBA.

N°	BARRIO	LOTE	FAMILIA	MEDIDAS
1	J. Obeid	57 / 180	Farias	18m. X 5h.
2	J. Obeid	116 / 136	Beltrán	8m. X 3,50 h.
3	J. Obeid	97 / 135	Jaramillo	23m. X 1,80h.
4	J. Obeid	114 / 138	Matus	20m. X 4,50h.
5	J. Obeid	60 / 177 con 62/176	Pasaje peatonal	10m. X 3h.
6	J. Obeid	94	Beltrán	13m. X 1,80h.
7	J. Obeid	94	Vásquez (reparación)	7m. X 2,50 h.
8	J. Obeid	44 / 205	Montesino – arriba	7m. X 3,50h.
9	J. Obeid	178/59 con 181/91		9m. X 4h.
10	J. Obeid	39 con 54	OSSES (Reparar muro Caído)	6m. x 4h.
11	J. Obeid	155		6,20m. X 3,50 h.
12	J. Obeid	181 al 177	Pasaje peatonal	20 m. x 3 h.
13	J. Obeid	161 abajo	Justina Valenzuela	8,50 m. x 1,50h.
14	J. Obeid	157	Víctor Vera	10m. X 1,50 h.



**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

N°	BARRIO	LOTE	FAMILIA	MEDIDAS
15	J. Obeid	170	Amada Enríquez	10m. X 3h.
16	J. Obeid	110/139	Mazaro Javier	12m. X 4h.
17	J. Obeid	162	Aqueleque	8m. X 2,50 h.
18	J. Obeid	308	canuyan Elisa	
19	J. Obeid	136/116 y 137/115	Beltrán - Rodríguez	19,50m. X 2,50h.
20	Calderón	13	Sánchez Etelvina	21m. X 5h.
21	Calderón	41		
22	Calderón	15	Arriagada José	20m. X 5h,
23	Calderón	28	Pasaje peatonal	10 m. x 2 h.
24	Godoy	42	Urrutia – Concha	25m. X 5h.
25	Godoy	64 con 65	Cifuentes	12m. X 2,5h.
26	Godoy	89 con 90		5m.x2,5h.
27	Godoy	130 - 129	Gutiérrez	11 ml. X 2,5 h.
28	Parque Sur	318	Arriba con la calle	10m. X 2h.
29	Parque Sur	284	Con 285 (Vázquez)	
30	Parque Sur	292/13	Emilia Pérez	10m. X 2h.
31	Vallejos	10 / 264	Navarrete	20m. X 4m. H.
32	Vallejos	Bajo 261	Contra el pasaje peatonal	8 ml. X 2h.
33	Vallejos	259 y 265		13 m. x 2 h. + Contención de 4 m. x
34	Vallejos	260	Pasarela peatonal	12m. X 2,50 h.
35	3 de Caballería	15 con 14	Aguilera - Bustos	8 ml. X 2,5m
36	3 de Caballería	27	Castel Blanco	
37	3 de Caballería	36	Sra. Pillalafquen Ema	8 ml. X 2,5m
38	3 de Caballería	20 - 15	Soto - Aguilera	Reparación: Vigas de encadenado y
39	3 de Caballería	8	Troncoso	Contra la calle 12 ml. X 2,5
40	3 de Caballería	21	Bravo	

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

En el plano PL-MC-31 (Muros de contención - Ubicación de obras - Planta general) se presentan los muros seleccionados por barrio y se identifica al mismo con la correspondiente descripción. A continuación se listan los muros seleccionados.

Nº	BARRIO	LOTE	FAMILIA	MEDIDAS
22	Calderón	15	Arriagada José	20m. X 5h,
23	Calderón	28	Pasaje peatonal	10 m. x 2 h.
27	Godoy	130 - 129	Gutiérrez	11 ml. X 2,5 h.
2	J. Obeid	136	Beltrán	8m. X 3,50 h.
5	J. Obeid	160 / 177 con 162/176	Pasaje peatonal	10m. X 3h.
8	J. Obeid	205	Montesino – arriba	7m. X 3,50h.
12	J. Obeid	181 al 177	pasaje peatonal	20 m. x 3 h.
16	J. Obeid	139	Mazaro Javier	12m. X 4h.
32	Vallejos	Bajo 261	Contra el pasaje peatonal	8 ml. X 2h.
34	Vallejos	260	Pasarela peatonal	12m. X 2,50 h.

En los Barrios Parque Sur y 3 de Caballería no se seleccionaron muros.

### Topología Adoptada

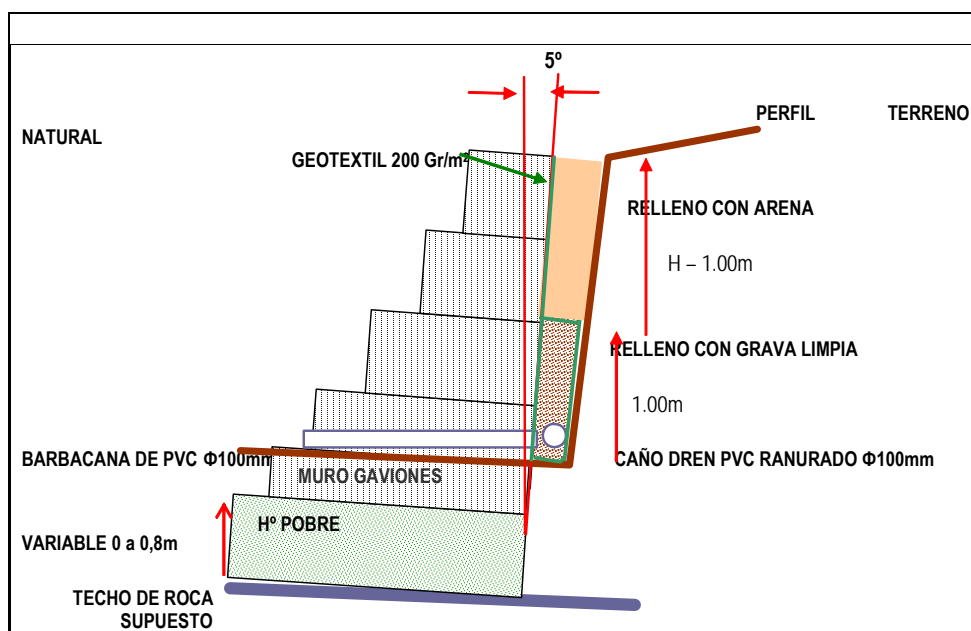
Se plantean muros de sostenimiento contruidos con gaviones tipo cajas rectangulares de dimensiones comerciales contruidos por mallas metálicas doble torsión de alambre galvanizado de Ø 2.4mm hexagonales, estarán rellenos de grava de tamaño nominal superior a 3" con un peso específico de 2.65 Tn/m<sup>3</sup> acomodados de tal manera que se obtenga la mayor densidad absoluta.

Se dispondrán en forma escalonada en la cara libre y vertical en la superficie de contacto con el suelo, interponiendo un manto geotextil de 200 grs/m<sup>2</sup> para evitar la migración de suelos finos a través del muro, con el fin de drenar el agua freática y de escurrimiento superficial que pudiera escurrir. Se colocaran drenes horizontales contruido con cañerías de PVC ranurado permitiendo que el dren generado con gravas limpias pueda descargar a través del muro mediante barbacanas de caño de PVC de 100mm de diámetro. Esto permitirá que el agua de saturación del suelo granular (permeable) que funciona como dren, pueda fluir libremente.

Con el fin de mejorar la estabilidad se dio una inclinación de 5° grados, respecto a la vertical, al paramento en contacto con el suelo a contener.

En la Figuras 10-49 se muestra la disposición genérica en corte transversal de los elementos constituyentes de la estructura:

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**



**Figura 10-50 – Alternativas de muros de contención (fuente: Publication N° FHWA-NHI-00-043)**

Esta solución se adoptó luego de efectuar un predimensionamiento de muros considerando distintas alternativas estructurales para los mismos, evaluándose dentro de las mismas:

- muros de hormigón estructural
- muros de hormigón ciclópeo
- muros de gaviones,

Presupuestando a posteriori cada alternativa en función de análisis de costos unitarios Standard de construcción de las mismas.

La tabla siguiente muestra esta comparación:

CARACTERÍSTICA		Altura del muro h(m)						OBSERVACIÓN
		2	2.5	3	3.5	4	5	
<b>Predimensionado (m³)</b>	Vol HC	4.5	5.0	6.0	6.4	7.2	9.8	Hormigón ciclópeo
	Vol GAV	4.5	5.0	7.0	7.5	8.5	11.5	Gavión
	Vol HA	4.4	5.0	5.7	5.7	6.5	8.8	Hormigón Estructural
<b>Costos Unitario (\$)</b>	1850 \$/m³	8325.0	9250.0	11007.5	11793.8	13366.3	18083.8	Hormigón ciclópeo
	800 \$/m³	6000.0	7000.0	9200.0	10200.0	11600.0	15200.0	Gavión
	2500 \$/m³	11025.0	12625.0	14225.0	14343.8	16256.3	21993.8	Hormigón Estructural
<b>Selección</b>	Para cualquier altura es mas económico el gavión							



En este análisis no se ha considerado el costo del sistema de drenaje a realizar entre la estructura del muro y el talud del suelo natural, ya que es similar para cualquier alternativa en cuanto a su costo unitario.

## **ANALISIS DEL SUELO DE FUNDACION**

Para tal fin se realizó un estudio geotécnico de suelos y rocas presentes en el lugar de emplazamiento de las obras, se transcribe la descripción de los perfiles geotécnicos hallados y los valores característicos de resistencia resultantes de los ensayos realizados.

### **PERFIL DE SUELO**

Como resultado de la obtención de muestras de suelo y la clasificación de las mismas puede describirse el perfil de suelos del lugar según se observa en las planillas adjuntas al estudio de suelos.

Sintéticamente se trata de un estrato desde la superficie de limo arenoso y arena limosa marrón clara con una compacidad muy suelta a suelta hasta profundidades variables entre 0,30 / 0,40 mts como mínimo hasta 1,80 / 2,20 mts (donde prácticamente aflora la roca) como máximo. Luego se desarrolla el techo de roca.

### **PARAMETROS DE LA ROCA**

Identificación: Se trata de una roca ígnea de la familia de la Diorita y el Granito.

Clasificación: Según su estructura y estado se clasificó en roca sana con leve meteorización química superficial.

Peso específico:  $G = 2,68 \text{ tn/m}^3$ .

Resistencia a la compresión simple promedio:  $1.260 \text{ kg/cm}^2$ .

Índice de recuperación total: en testigo completo = 91%; en testigo cortado (por posible fractura tipo diaclasa) = 75%

Índice de calidad (RQD): en testigo completo = 76%; en testigo cortado = 58%

### **PARAMETROS GEOTECNICOS Y CAPACIDADES DE CARGA**

Tipo de cimentación: Placa ó zapata de hormigón armado.

Profundidad de fundación:  $D = \text{Variable}$  según el sector, dentro del estrato rocoso. Según los sondeos realizados la variación es entre 0,30 y 2,20 mts. (Referido al terreno natural).

Presión admisible: El valor es muy alto por cualquiera de las metodologías de estimación del mismo.

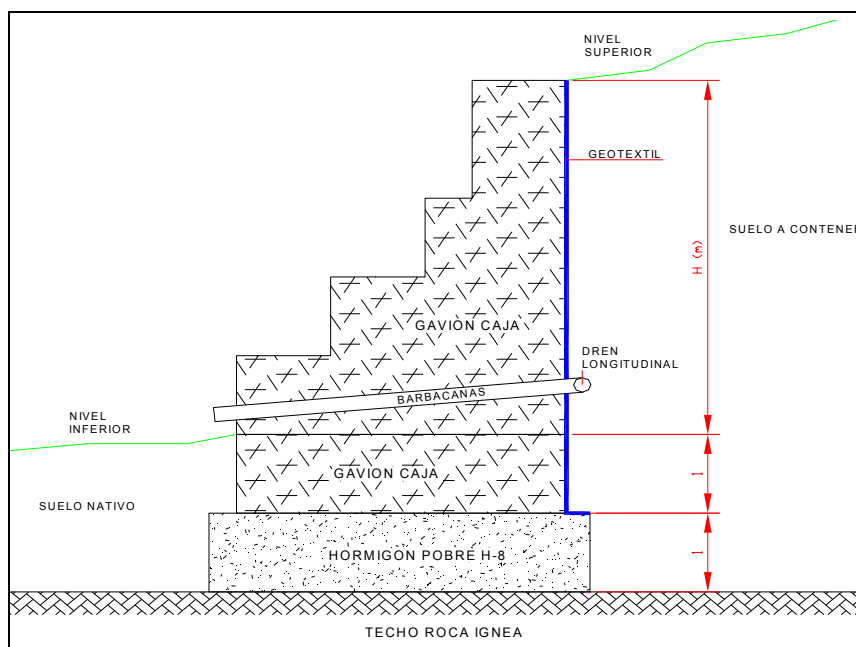
**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

Si tomamos como referencia el Uniform Building Code se fija la carga admisible como un porcentaje de la resistencia a la compresión simple, siguiendo el criterio de Parsons. Según Teng las cargas admisibles usuales oscilan entre el 20 y el 12,5% de la resistencia a rotura en compresión simple en probeta cilíndrica (testigos de sondeos).

En nuestro caso aunque se tome el menor valor obtenido de los ensayos para cubrir la posibilidad que en la obra quede algún sector con presencia de la roca levemente meteorizada, la tensión admisible supera los 100 kgs/cm<sup>2</sup>.

A efectos del cálculo para los modelos se adoptó un perfil típico con los suelos predominantes, compuesto por arenas limosas de baja compacidad para la capa superior que yace sobre el techo de rocas ígneas. Para garantizar la estabilidad el gavión inferior se introducirá 1.00m por debajo del nivel de terreno natural y se apoyará sobre una capa de hormigón pobre de espesor variable hasta la profundidad en que aparece el techo roca que llega según los distintos sondeos hasta 1.80m, en el caso que la roca se encuentre a menos de 1.00m de profundidad el gavión se asentará directamente sobre la roca sana, debiendo eliminarse capas superficiales meteorizadas.

### Esquema del modelo de cálculo



## MEMORIA TECNICA de CÁLCULO

### Verificaciones a Considerar

Para efectuar los análisis de estabilidad externa e interna de la estructura se realizan análisis contra el deslizamiento a lo largo de la fundación, contra el vuelco de la estructura, contra la ruptura del suelo de fundación, contra la ruptura de las superficies entre los gaviones y contra la ruptura global a lo largo de una superficie circular que contorne el muro.

Se realizan las siguientes verificaciones:

#### Deslizamiento en el plano de apoyo

Es la verificación de la estabilidad contra el deslizamiento de la estructura de contención a lo largo de la base de apoyo bajo la acción de los empujes ejercidos por el macizo de suelo ubicado detrás del muro.

Se determina:

- la posición de la superficie de aplicación del empujo activo.
- el valor, la dirección y el punto de aplicación del empujo activo actuante.
- el valor, la dirección y el punto de aplicación del empujo pasivo disponible.
- el peso propio de la estructura y las cargas aplicadas sobre ella.
- las fuerzas de reacción (normal y tangencial) bajo la base.
- la resistencia disponible a lo largo de la base.

El valor del coeficiente de seguridad contra el deslizamiento es por lo tanto determinado como la relación entre el valor de la resistencia disponible y el valor de la resistencia movilizadora contra el deslizamiento.

La resistencia disponible es tomada como la suma de las resistencias a lo largo de la base y la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento. La resistencia movilizada contra el deslizamiento, a su vez, es dada por la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento.

#### Vuelco

A partir de las mismas determinaciones iniciales hechas en la verificación contra el deslizamiento. Adicionalmente son determinados:

- momentos de los componentes horizontal y vertical del empujo activo.



- momento del empujo pasivo.
- momento del peso propio de la estructura.
- momento de las demás cargas externas aplicadas sobre la estructura.

Los momentos son determinados en relación con el ángulo inferior izquierdo de la base del muro. Este es el punto del vuelco y es adoptado como origen del sistema de coordenadas. El coeficiente de seguridad contra el vuelco es calculado como la relación entre el momento resistente total y el momento total de vuelco.

El momento de vuelco es tomado como el momento de la componente horizontal del empuje activo actuante, entretanto que el momento resistente es tomado como la suma de los otros momentos calculados.

Posteriormente se calculan los empujes Activo y Pasivo y se realiza el equilibrio de momentos de las fuerzas que actúan sobre el muro y presenta los resultados de los cálculos a saber:

*Momento Activo (volcador):*

Valor del momento que actúa en contra la estabilidad, tomado como referencia el punto de giro de la misma

*Momento Resistente (estabilizante):*

Suma de los momentos generados por el empuje pasivo, peso de la estructura y posibles cargas que actúan sobre el muro;

*Factor de seguridad:*

El valor del coeficiente de seguridad contra el vuelco de la estructura.

### **Presiones en la fundación**

Se determinan las presiones normales aplicadas por el muro de gaviones en la fundación.

Para esto utiliza las determinaciones de fuerzas hechas en el análisis contra el deslizamiento y los momentos calculados en el análisis contra el vuelco. Es calculado el punto de aplicación de la fuerza actuante en la base del muro y luego es determinada una distribución de presiones lineales que tengan como resultante el valor de la fuerza determinada, la excentricidad de la misma y centro de gravedad. En caso que esta determinación resulte en tracción en una de las extremidades de la base; el cálculo es hecho utilizando un área reducida de la base.

El valor de las presiones actuantes en la fundación debe ser comparado con la máxima presión admisible.

Los resultados mostrados son:

*Lado izquierdo - Tensión en el extremo externo:*

El valor de la tensión Normal actuando en el límite externo (izquierdo) de base de la estructura;

*Lado derecho - Tensión en el extremo interno:*

El valor de la tensión Normal actuando en el límite interno (derecho) de base de la estructura;

*Máxima presión aceptable:*

La máxima presión Normal que el suelo de fundación puede soportar.

### **Presiones internas en el cuerpo del muro**

En el análisis de las presiones internas son determinadas las tensiones actuantes en la interfase entre las distintas camadas de gaviones del muro.

En este análisis es utilizado un proceso similar al análisis de Presiones en la fundación, apenas considerándose la porción del muro situada arriba de la sección que está siendo analizada.

El análisis es ejecutado para cada una de las secciones indicadas y son mostrados los resultados de las tensiones normal y tangencial máximas actuantes en la interfase y los valores admisibles para estas tensiones.

Los resultados mostrados son:

*Altura:* Altura total considerada por el programa para el cálculo del empuje activo que actúa sobre la camada analizada;

*Fuerza Normal:* Es el valor de la fuerza normal que actúa sobre la camada de gaviones analizada;

*Fuerza Tangencial:* Es el valor de la fuerza tangencial que actúa sobre la camada de gaviones analizada;

*Momento Total:* Suma de los momentos del empuje activo, del peso de la estructura y de las sobre cargas que actúan sobre el muro;

*Máx. Tensión Normal:* Tensión normal máxima que actúa sobre la camada de gaviones analizada;

*Aceptable:* Es el valor de la tensión normal aceptable para la camada de gaviones analizada;

*Máx. Tensión de tracción:* Valor de la tensión de tracción máxima que actúa sobre la camada de gaviones analizada;

**Aceptable:** Es el valor de la tensión de tracción máxima aceptable para la camada de gaviones analizada.

### **Estabilidad global respecto a la falla circular del conjunto**

En el análisis de la estabilidad global es verificada la rotura a lo largo de una superficie circular en el interior del macizo que contorna el muro de gaviones.

Esta superficie de rotura atraviesa, de esta forma, tanto el suelo a la derecha de la estructura como el suelo de fundación y el macizo a la izquierda del muro.

El cálculo del coeficiente de seguridad asociado a la superficie de rotura es hecho por el Método de Bishop Simplificado. La búsqueda del arco más crítico, cuando es seleccionada la búsqueda automática, es hecha por el Método Simplex.

Los resultados del análisis presentado incluyen el coeficiente de seguridad contra la rotura, la posición del centro y el radio del arco a que este coeficiente de seguridad se refiere y el número de arcos analizados.

### **DISEÑO Y VERIFICACION**

Se analizaron los muros identificados con los números 2, 5, 8, 12, 16, 22, 23, 27, 32 y 34 de la tabla de relevamiento total, por considerarlos casos típicos de condiciones estructurales.

El diseño y verificación fue realizado con el software GawacWin 1.0

El programa GawacWin 1.0 es un sistema de análisis de estabilidad de muros de contención de gaviones sujetos a las más diversas situaciones.

El programa permite evaluar la estabilidad estructural del muro para distintos estados de carga obteniéndose los coeficientes de seguridad y tensiones de servicio en la fundación.

Los métodos utilizados en los cálculos hacen referencia al "Equilibrio Límite", las teorías de Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen y Bishop (optimizado a través del algoritmo minimizador Simplex) para la verificación de la estabilidad global del conjunto suelo/estructura.

El programa lleva en consideración las características mecánicas de los gaviones, producidos por el Grupo MACCAFERRI; los resultados de los cálculos y análisis no serán reales en el caso de la utilización de otros tipos de materiales.

La hipótesis de cálculo adoptada por el programa considera el problema con una configuración plana. Por lo tanto son necesarias solamente las dimensiones del problema en el plano de la sección. Esta hipótesis es comúnmente adoptada en geotecnia, factor que debe ser resaltado



ya que el análisis plano es más pesimista que una análisis tridimensional, conduciendo al usuario a resultados del lado de la seguridad.

## Datos:

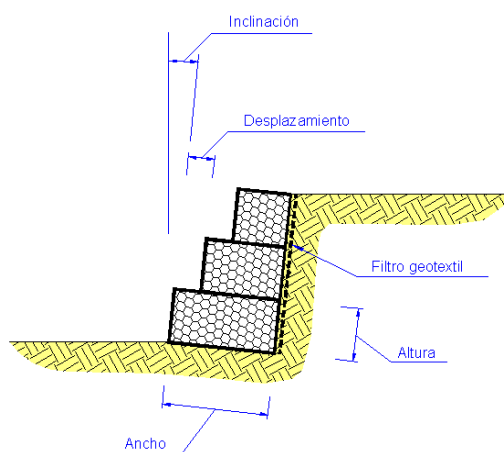
### Datos Generales

- Inclinação del muro
- Peso específico de la piedra
- Porosidad
- Geotextil en el terraplén
- Geotextil bajo la base
- Malla y diámetro del alambre
- Ambiente agresivo

### Camadas

Se ingresan las dimensiones y posiciones de cada una de las camadas de gaviones del muro.

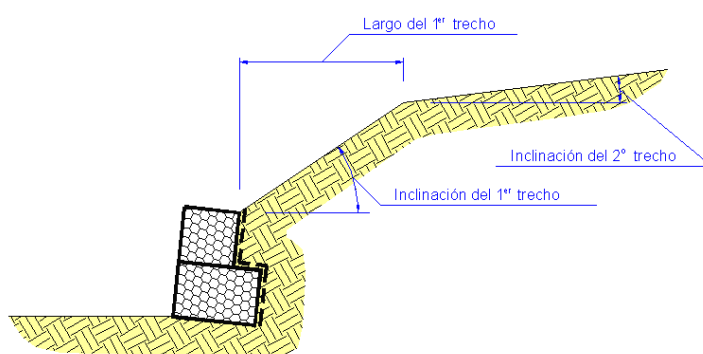
- Ancho: Dimensión horizontal de la camada de gaviones (sin considerar la inclinación del muro).
- Altura: Dimensión vertical de la camada de gaviones (sin considerar la inclinación del muro).
- Desplazamiento: Distancia horizontal (sin considerar la inclinación del muro) entre la cara izquierda de la camada de gaviones y la cara izquierda de la camada que forma la base de la estructura.



## Terraplén

Debe ingresarse los datos referidos a la conformación del terraplén o pedraplen de carga sobre el muro, en el caso del río debe considerarse que con el transcurso del tiempo este se colmata totalmente.

Son necesarios datos de la geometría y de las características físicas y de resistencia del suelo. Es posible analizar macizos compuestos por más de un tipo de suelo dispuestos en capas no necesariamente paralelas. Es posible, también, especificar una superficie freática en el interior del macizo, causando un aumento del empuje debido a la percolación del agua.



- Inclinación del primer tramo: Indica la inclinación, en grados, de la primera porción de la superficie superior del terraplén.
- Largo del primer tramo: Indica el largo horizontal de la primera porción de la superficie superior del terraplén.
- Inclinación del segundo tramo: Indica la inclinación, en grados, de la porción restante de la superficie superior del terraplén.

## Propiedades del Suelo

En este grupo son proveídos los datos del suelo principal que compone el macizo. Si el macizo fuera constituido por capas de suelos diferentes, estas son las propiedades del suelo que forma la superficie superior. Los datos a ser insertados son:

- Peso específico: Es el peso específico del suelo inmediatamente abajo de la interface especificada;
- Ángulo de fricción: Es el valor del ángulo de fricción interno del suelo de la camada adicional;
- Cohesión: Es la cohesión del suelo inmediatamente abajo de la interface especificada.

## **Fundación**

Para especificar las características de la fundación de la estructura y del suelo frente del muro. La fundación puede ser compuesta por camadas horizontales de suelos diferentes. Se puede también especificar la posición del nivel del agua en la fundación.

Los datos generales sobre la fundación están separados en tres grupos:

### **1) Superficie Superior**

Son indicadas las características geométricas de la superficie superior del suelo a la izquierda del muro de gaviones:

- **Altura inicial (profundidad):** Indica la altura de la intersección de la superficie superior del suelo a la izquierda con la estructura de contención. Esta altura es tomada en relación con el ángulo inferior izquierdo de la base del muro.
- **Largo horizontal:** Indica el largo de la plataforma horizontal (berma) que se extiende hacia la izquierda del muro. Puede ser nulo.
- **Inclinación:** Indica la inclinación, en grados, de la superficie superior a la izquierda de la plataforma (berma).

### **2) Propiedades del Suelo**

En este grupo son indicados los datos del suelo principal abajo de la superficie sobre la cual el muro está apoyado. Si el macizo fuera constituido por camadas de suelos diferentes, estas son las propiedades del suelo situado inmediatamente abajo de la superficie superior, los datos necesarios son:

- **Peso específico:** Es el peso específico del suelo inmediatamente abajo de la base de la estructura;
- **Ángulo de fricción:** Es el valor del ángulo de fricción interno del suelo de fundación;
- **Cohesión:** Es la cohesión del suelo de fundación.

### **3) Datos Adicionales**

- **Máxima presión admisible:** Indica el valor de la máxima presión vertical soportada por el suelo de fundación del muro. Si no fuera indicada por el usuario, será calculada por el programa con base en las características del suelo anteriormente proveídas.



- **Altura del nivel del agua:** Indica la presencia del agua a la izquierda del muro hasta la altura indicada. Esta altura es tomada en relación al ángulo inferior izquierdo de la base. Este valor puede ser negativo, indicando en este caso la profundidad de la capa freática abajo del muro.

### **Cargas**

Muchas veces ocurren sobrecargas sobre el suelo atrás del muro o sobre la estructura. Estas sobrecargas son originadas por varias fuentes tales como obras construidas sobre el macizo, tráfico de vehículos, etc. y provocan un aumento en el valor del empuje.

El caso más simple de sobrecarga es la carga uniforme distribuida sobre el macizo. En el análisis con el método del equilibrio límite, debe ser adicionada, al peso del prisma de suelo formado por la superficie de ruptura, la porción de la carga distribuida que se encuentra sobre ella.

El programa permite la consideración de cargas externas aplicadas sobre el terraplén y/o sobre el muro, actuando en la dirección vertical. Estas cargas tanto pueden ser distribuidas como pueden ser constituidas por líneas de carga paralelas a la estructura de contención. Además de estas cargas externas pueden también ser especificadas acciones sísmicas en la forma de tasas de aceleración actuando en la dirección horizontal y vertical. Las cargas que considera el programa son: a) sobre el terraplén, b) sobre el muro y c) acción sísmica.

El Anexo 5 cuenta con los informes de resultados determinados por el software GawacWin 1.0, donde se muestran los valores adoptados y los resultados obtenidos para los casos enumerados en el párrafo anterior.

### **Tabla resumen de dimensiones de los muros diseñados**

MURO				DIMENSIONAMIENTO					
N°	Barrio	H (m)	L (m)	camada 1	camada 2	camada 3	camada 4	camada 5	camada 6
2	J. Obeid	3.5	8	2.5x1	2.5x1	2x1	1.5x1	1x0.5	
5	J. Obeid	3	10	2.5x2	2x1	1.5x1	1x1		
8	J. Obeid	3.5	7	2.5x1	2.5x1	2x1	1.5x1	1x0.5	
12	J. Obeid	3	20	2.5x2	2x1	1.5x1	1x1		
16	J. Obeid	4	12	2.5x1	2.5x1	2x1	1.5x1	1x1	
22	Calderón	5	20	3x1	2.5x2	2.5x1	2x1	1.5x1	1x1
23	Calderón	2	10	1.5x1	1.5x1	1x1			

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

MURO				DIMENSIONAMIENTO					
N°	Barrio	H (m)	L (m)	camada 1	camada 2	camada 3	camada 4	camada 5	camada 6
27	Godoy	2.5	11	2x1	1.5x1	1x1	0.5x0.5		
32	Vallejos	2	8	1.5x1	1.5x1	1x1			
34	Vallejos	2.5	8	2x1	1.5x1	1x1	0.5x0.5		

MURO				Cómputo por ml de muro				
Nro	Barrio	H (m)	L (m)	Gavión	H C	geotex	excav	relleno
2	J. Obeid	3.5	8	9.00	2.50	5.00	5.00	1.05
5	J. Obeid	3	10	7.00	2.50	4.50	5.00	0.90
8	J. Obeid	3.5	7	9.00	2.50	5.00	5.00	1.05
12	J. Obeid	3	20	7.00	2.50	4.50	5.00	0.90
16	J. Obeid	4	12	9.50	2.50	5.50	5.00	1.20
22	Calderón	5	20	12.50	3.00	6.50	6.00	1.50
23	Calderón	2	10	4.00	1.50	3.50	3.00	0.60
27	Godoy	2.5	11	5.00	2.00	4.00	4.00	0.75
32	Vallejos	2	8	4.00	1.50	3.50	3.00	0.60
34	Vallejos	2.5	8	5.00	2.00	4.00	4.00	0.75

### Cómputo y Presupuesto de las estructuras diseñadas

El cómputo se realizó siguiendo los usos y costumbres habituales en la práctica. A los fines de ordenar la presentación de los cómputos de las distintas tareas a ejecutar para el desarrollo de la obra se procedió a agrupar las mismas en rubros que consideran tareas semejantes.

Los volúmenes de excavación fueron calculados considerando la sección resultante de considerar el ancho máximo de las estructuras más 0.4m y una profundidad media acorde al nivel de fundación supuesto.

El volumen de relleno detrás del muro si bien se diferencian dos tipos de material de relleno, dado que el costo del material es similar, se unifico como un solo volumen.

El computo de caños para dren y barbacanas se unifico, adoptando que se genera una barbacana cada 4m lineales de muro.

**Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación**

## Cómputos Totales

MURO				ITEM					
N°	Barrio	H (m)	L (m)	Gavión	Caño	H 08	Geotextil	Excavaci	Relleno
2	J. Obeid	3.5	8	72.00	13.0	20.00	40.00	40.00	8.40
5	J. Obeid	3	10	90.00	15.0	25.00	45.00	50.00	9.00
8	J. Obeid	3.5	7	63.00	9.5	17.50	35.00	35.00	7.35
12	J. Obeid	3	20	180.00	30.0	50.00	90.00	100.00	18.00
16	J. Obeid	4	12	108.00	19.5	30.00	66.00	60.00	14.40
22	Calderón	5	20	180.00	32.0	60.00	130.00	120.00	30.00
23	Calderón	2	10	90.00	13.0	15.00	35.00	30.00	6.00
27	Godoy	2.5	11	99.00	15.0	22.00	44.00	44.00	8.25
32	Vallejos	2	8	72.00	11.0	12.00	28.00	24.00	4.80
34	Vallejos	2.5	8	72.00	12.0	16.00	32.00	32.00	6.00
<b>Totales</b>				<b>1026.0m³</b>	<b>170.0m</b>	<b>267.50m³</b>	<b>545.0m²</b>	<b>535.0m³</b>	<b>112.2m³</b>

## Presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANT.	PRECIO	
				UNITARIO	TOTAL
1	Excavación y perfilado en	m3	535.0	408.90	218761.84
2	Relleno con grava y arena	m3	112.0	608.60	68163.25
3	Caños dren PVC diam	ml	170.0	171.72	29192.49
4	Geotextil 200 gr/m2	m2	545.0	55.53	30263.85
5	Gaviones	m3	1026.0	1051.53	1078869.78
6	Hormigón ciclópeo fundación	m3	267.5	1648.51	440976.58
<b>Presupuesto Total – Muros de contención =</b>					<b>\$ 1.866.228</b>



## 10.7 Presupuesto de las obras de mitigación

La siguiente tabla resume el presupuesto de las obras de mitigación, según los cuatro grupos de obras que las componen.

Obra de Mitigación	Presupuesto [AR\$]	Porcentaje
Sistema contra caída de rocas	1.633.160	13%
Azudes de control y retención	395.549	3%
Obras de drenaje superficial y control de erosión	8.241.143	68%
Muros de contención	1.866.228	15%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12.136.081</b>	<b>100%</b>

En el Anexo 7 se adjunta el análisis completo de cómputo y presupuesto realizado para cada una de las obras proyectadas.