



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Geografía

**“AMENAZAS NATURALES EN MEDIA Y BAJA MONTAÑA ASOCIADOS AL  
CORREDOR DE COMERCIO LAS LEÑAS, VI REGIÓN DEL LIBERTADOR  
BERNARDO O’HIGGINS”**

Memoria para optar al título de Geógrafo

Profesor guía: Carmen Paz Castro  
Alumno: Carolina Chávez Valdivia

Santiago, Mayo 2005.

## AGRADECIMIENTOS

Es importante destacar a la gente que ha hecho posible la existencia de esta memoria, agradeciendo principalmente a mi profesora guía Carmen Paz Castro que me ofreció ser participe de este estudio, entregándome su confianza y apoyo para realizar ésta y otras tareas en este tiempo. También quiero destacar el apoyo de la profesora Maria Victoria Soto, la cual me ha brindado su confianza.

Quiero enfatizar principalmente en la gente que me ha brindado su apoyo en mi vida, destacando especialmente a mis padres los que han sido mi soporte en cada camino y decisión que he tomado, sin ellos no seria lo que soy hoy, especialmente quiero agradecer a mi madre por su apoyo incondicional, confianza, dedicación y amor. A mi padre por su apoyo constante. Afortunada soy por tenerlos.

Como no recordar en estos momentos a mi abuela, Carmen, Katita, Teresa, Cristóbal, Hugo, mi familia que siempre ha estado conmigo, en las buenas y en las malas, me han soportado y han creído en mí.

A Steve, la persona que me ha acompañado en este camino, me ha dado su amor, confianza y apoyo incondicional cuando lo necesito, especialmente para tomar esas decisiones difíciles, muchas gracias por tu apoyo y retos para terminar luego esta etapa. Gracias por ser mi compañero.

Quiero destacar principalmente a mis amigos la gente que uno elige para recorrer este camino, Rodrigo Moreno que me ha ayudado, comprendido, soportado; a Male Roa mi amiga de siempre; Verónica, Raúl, Mayito mis amigos y apoyo en la carrera y estos últimos años. Como no recordar también a Oswi, Yuyo, Suikee mis amigos "magisterianos". Mis amigos de carrera Rodolfo, Leo, Mendo, Juan Pablo, Gerardo, Nico y a todos los compañeros de geografía generación '98.

Un agradecimiento especial merece el profesor Enrique Zarate, por su dedicación y paciencia. A Carmencita por su paciencia en mis molestias constantes, muchas gracias.

En general quiero agradecer a toda la gente con la que he compartido en mi vida, que han participado y dejado su huella en lo que soy hoy.....GRACIAS.

---

## ÍNDICE

<b>Temas</b>	<b>Página</b>
RESUMEN	4
CAPÍTULO I	5
I. Introducción	5
II. Planteamiento del problema	8
III. Objetivos generales y específicos	11
IV. Hipótesis de trabajo	11
V. Planteamiento metodológico	12
VI. Marco conceptual y teórico	21
1. Desastres	21
2. Corredores de comercio	28
3. Tipos de amenaza	29
3.1 Sismos	29
3.2 Deslizamientos	30
3.3 Inundaciones	33
CAPÍTULO II RESULTADOS	36
I. Diagnóstico del área de estudio	36
1. Hidrológica	39
2. Geología	41
3. Geomorfología	46
4. Vegetación	50
5. Capacidad de uso de suelo	53
6. Clima	56
7. Características sociales	58
CAPÍTULO III	62
I. Amenazas naturales	62
1. Peligros geomorfológicos	62
1.1 Pendientes	62
1.2 Exposición	65
1.3 Vegetación	67
1.4 Sistema de Vertientes	69
1.5 Formación Geológica	71
2. Peligro de inundaciones	73

<b>Temas</b>	<b>Página</b>
2.1 Caudales	73
2.2 Nivel de encauzamiento	76
2.3 Índice de Torrencialidad	78
3. Peligros Sísmicos	80
3.1 Fallamiento	80
3.2 Distancia al Epicentro	80
3.3 Registros Sísmicos	81
CAPÍTULO IV	83
Riesgos	83
CAPÍTULO V	95
Discusión	95
Conclusión	98
BIBLIOGRAFÍA	100

## RESUMEN

Los desastres naturales generan daños importantes, desequilibrios sociales y económicos, en donde a mayor subdesarrollo mayores efectos. En Chile, las catástrofes naturales constituyen fenómenos recurrentes en la historia del país, debido a las características geológicas, climáticas, morfológicas y topográficas del territorio nacional.

El área de estudio corresponde al corredor de comercio Las Leñas, ubicado en el valle del río Cachapoal, en la zona de media y baja montaña, en donde se identificaron las amenazas relacionadas a remoción en masa, inundaciones y sismos principalmente. Este corredor fue seleccionado por el Ministerio de Obras Públicas por sus favorables oportunidades de realización, además de estudios que indican que posee menor nivel de riesgo global (físico y socioeconómico).

Los objetivos de este estudio son caracterizar y evaluar la vulnerabilidad global del corredor de comercio Las Leñas, en su tramo de media y baja montaña; para lo cual se realizó una evaluación multicriterio, en donde se establecieron los pesos de cada amenaza para el área de estudio, con una posterior expresión espacial a través de SIG.

La amenaza natural a la que se encuentra mayormente expuesto el corredor de comercio, es a remociones en masa, esto principalmente a la gran cantidad de material que proviene principalmente de la alta montaña y de las vertientes que se encuentran alrededor del corredor. El detonador principal de amenazas son las precipitaciones que desencadenan inundaciones y deslizamientos, preferentemente en la época invernal. El riesgo de este corredor de comercio se puede determinar como riesgo tolerable después del desarrollo de medidas de mitigación para ciertos sectores.

## CAPITULO I

### I INTRODUCCIÓN

El hombre siempre ha desafiado a la naturaleza, habitando zonas de riesgo natural. Con el desarrollo económico, la evolución del hombre y sus actividades, ha convivido con riesgos de tipo antrópico, que han surgido por su desarrollo, mientras el crecimiento científico y tecnológico ha contribuido a exacerbar el problema.

Los desastres naturales generan daños importantes, desequilibrios sociales y económicos, en donde a mayor subdesarrollo mayores efectos. Actualmente los que se ven más afectados por este tipo de problemas son los sectores más pobres de cada región, ciudad, etc., en donde surgen los asentamientos humanos sin planificación y que por lo tanto, no tienen en cuenta el tipo de lugar que están habitando.

CHARDON (2002) establece que las zonas urbanas de los países en vías de desarrollo, son sectores que presentan una alta vulnerabilidad a las amenazas naturales, según sus estudios realizados en Colombia más de un 40% de la población urbana está directamente o indirectamente amenazada. La autora mencionada también plantea que en estos países el proceso de urbanización es rápido y se suele caracterizar por una cierta anarquía, sin planificación.

En Chile, las catástrofes naturales constituyen fenómenos recurrentes en la historia del país, debido a las características geológicas, climáticas, morfológicas y topográficas específicas del territorio nacional. Chile está expuesto en prácticamente toda su extensión a los efectos catastróficos de eventos naturales extremos de variada índole, terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, avalanchas, deslizamientos de tierra, calentamiento de aguas

oceánicas y contaminación atmosférica, son los eventos más frecuentes y de mayor impacto social, económico y también político (LARRAÍN, 1994).

La ocurrencia frecuente de desastres en el país, ha incidido fuertemente en distintos ámbitos del desarrollo y de la planificación, modificando por ejemplo la Ley de Urbanismo y Construcción y el sistema político-institucional, para ser más eficientes al momento de la emergencia. También hay un impacto ambiental debido a cambios drásticos en la morfología de los sectores afectados por diversos desastres.

El área de estudio de este trabajo es el corredor de comercio Las Leñas, sector en donde se analizaron las amenazas naturales, mediante evaluaciones multicriterio, en su sector de media y baja montaña. Esta zona específicamente se estudio debido a la inexistencia de información de este sector de montaña, a diferencia de lo que es alta montaña. Además se debe destacar que este corredor de comercio ha sido seleccionado por los países de Chile y Argentina para una próxima implementación y ejecución.

La importancia de este tipo de estudios de riesgo, es debido a que la gestión o manejo del riesgo que representa la interacción del ser humano con la naturaleza, es un aspecto fundamental del desarrollo social y económico en nuestros países latinoamericanos. Es posible demostrar fácilmente que la reducción del riesgo ante desastres naturales es un aspecto fundamental del desarrollo sostenible. (UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2000).

## II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La economía actual de libre mercado, basada en la globalización, necesita de una apertura de los países al comercio mundial. En este escenario es donde cobran vital importancia las vías de comunicación, generando flujos de información, personas, mercaderías, etc.

Uno de los aspectos que se debe aprovechar de nuestro país, es la posición geográfica privilegiada al océano Pacífico, lo que significa que los puertos están más cerca de las costas asiáticas, con respecto a puertos del Atlántico. Sin embargo, se debe mejorar la calidad y cantidad de caminos, debido a que la ventaja distancia es insuficiente, cuando no es posible realizar transportes ni utilizar estos puertos.

En este ámbito, la importancia de los corredores de comercio o mejor llamados de integración, es la capacidad que poseen estos de unir a países vecinos creando macro regiones, que potencian su desarrollo y complementan su economía. BENDER (1999) define estas regiones como áreas geográficas amorfas que contienen recursos naturales, infraestructura económica, social y poblaciones establecidas. Estos corredores apoyan el crecimiento urbano existente, forjando nuevas relaciones entre ciudades dominantes y crecimiento.

El corredor central (Valparaíso - Santiago - Mendoza - Buenos Aires), corresponde al principal paso fronterizo entre Chile y Argentina, concentrando más del 60% de los flujos carreteros. Esta conexión del Sistema Cristo Redentor, posee una buena infraestructura y equipamiento de apoyo, sin embargo, se producen cierres invernales (nevazones) que interrumpen el tránsito entre 15 y 84 días al año (TOHÁ, 1998).

Los desafíos de nuestro país, están en la conexión oriente-poniente donde la frontera principal es con Argentina. El corredor de la macrozona central, es el de mayor importancia, aunque posee el inconveniente relacionado a la incertidumbre



que genera el período invernal y a la necesidad de ampliar la capacidad de las vías e instalaciones fronterizas. Es por esto que los gobiernos de Chile y Argentina han realizado estudios de los pasos fronterizos más atractivos desde el punto de vista vial y económico de los proyectos, señalándose diferentes pasos alternativos, entre los cuales se encuentra la alternativa del Paso Las Leñas.

Por otro lado, "la accesibilidad de los corredores de comercio está asociada a factores de diversa índole, contándose entre estos los relacionados a su entorno natural, tales como, los riesgos naturales, específicamente flujos, deslizamientos, desprendimientos de terreno, desbordes de cauces y canales, nevazones invernales" (MESINA *et al*, 2001). En Chile, las catástrofes naturales constituyen fenómenos recurrentes en la historia del país. Por sus características geológicas, climáticas, morfológicas y topográficas específicas del territorio, nuestro país se encuentra expuesto a terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, avalanchas, deslizamientos de tierra, contaminación atmosférica, "El fenómeno del Niño", entre los eventos que son más frecuentes y con un mayor impacto social, económico y también político (LARRAÍN, 1994).

"Los paisajes naturales son dinámicos, característica particular no siempre considerada por los planificadores del territorio. El relieve se encuentra en evolución constante a través de los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación. Sin embargo, algunos procesos morfodinámicos eventuales en cuanto a su intensidad y magnitud ocurren en forma esporádica rompiendo el equilibrio natural, constituyendo así fenómenos naturales extremos" (CASTRO *et al*, 1995). Estas interacciones se traducen en la necesidad de establecer una serie de limitaciones y/o recomendaciones a los usos del territorio.

La estructura vial en nuestro país es constantemente amenazada por fenómenos naturales, tales como sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, avalanchas, deslizamientos de tierra y erosión. Los daños provocados acarrearán un sin número de problemas en la población, que van desde desvío de un camino hasta el

aislamiento total o una zona poblada con eventuales afectaciones a la integridad física de las personas (LORCA, 2003).

En este contexto, el área de estudio corresponde a el Paso Las Leñas, ubicado en el valle del río Cachapoal, en la zona de media y baja montaña, investigación que se enmarca dentro del proyecto DID TNAC 11-02/01: " Determinación de niveles de riesgo natural en el corredor de comercio Las Leñas, en la VI Región".

El problema radica en la identificación de riesgos naturales que afectan la zona de media y baja montaña, en donde existen fenómenos relacionados a remoción en masa, inundaciones y sismos principalmente, los que en la zona de estudio, se ven incrementados esencialmente por la mayor urbanización proyectada para esta área en comparación con la de alta montaña, "la exposición a las amenazas naturales y el crecimiento de la vulnerabilidad, no solamente pueden estar provocados, sino también acentuados por la urbanización en sectores amenazados" (CHARDON, 2002). Además, la evaluación está orientada a determinar la posibilidad / factibilidad de utilizar el corredor de comercio mencionado, como alternativa al sistema Cristo Redentor.

CUETO (2001), realizó un análisis de diferentes alternativas de corredores en la macrozona central, como lo son: corredor Doña Rosa (IV Región), corredor Las Pircas (Región Metropolitana) y corredor Las Leñas (VI Región), realizando un diagnóstico ambiental y un análisis de la situación demográfica, social y económica, de todas estas alternativas para así llegar a la conclusión que el corredor con menor nivel de riesgo global (físico y socioeconómico) es el corredor Las Leñas, mientras que en cuanto a su evaluación de oportunidades socioeconómicas es mejor evaluado el corredor Doña Rosa. Esta es una base para realizar el presente trabajo, ya que se tiene en cuenta que este corredor presenta favorables oportunidades de realización, además de ser seleccionado por el Ministerio de Obras Públicas, por lo que se estudió con mayor detalle.

Teniendo en cuenta la información anterior es necesario e imperativo, realizar una caracterización e identificación de los riesgos existentes, para así no lamentar daños en infraestructura y vidas humanas. La idea por lo tanto es "optimizar el uso de los recursos del territorio asegurando el funcionamiento normal del mismo, aún frente a la activación de amenazas naturales" (GRAY DE CERDÁN, 1998).

### **III OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

#### **General**

- Caracterizar y evaluar la vulnerabilidad global del corredor de comercio Las Leñas, VI Región, en su tramo de media y baja montaña.

#### **Específicos**

- Elaborar un diagnóstico físico y social de la zona de estudio.
- Identificar las amenazas naturales y evaluar los riesgos en el área de estudio.
- Localizar y clasificar las instalaciones críticas existentes y los proyectos de inversión planeados, en el área del corredor de comercio.
- Evaluar la vulnerabilidad social en las áreas asociadas al corredor.
- Evaluar la vulnerabilidad global de la zona del corredor de comercio Las Leñas.

### **IV HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Los riesgos geomorfológicos, principalmente los fenómenos asociados a movimientos de masa, son la amenaza natural más significativa en el área de estudio, que se encuentra inserta en el corredor de comercio Las Leñas.

La cobertura vegetal arbórea no representa una protección cien por ciento eficaz contra los deslizamientos en las zonas de montaña.

---

## V PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Para la realización de la caracterización y evaluación de la vulnerabilidad global del corredor de comercio Las Leñas, la metodología utilizada se clasificó en dos grandes categorías según DÍAZ DE TERÁN (en PEÑA, 1997):

- Metodología de carácter analítico, que acude a representar por separado aspectos del territorio.
- Metodología de carácter sintético, que acude a la delimitación y representación de unidades integradas.

En una primera instancia y siendo parte del análisis, se elaboró un diagnóstico del territorio, que considera una delimitación del área de estudio y una caracterización según sus límites de alta, media y baja montaña. ARNAEZ-VADILLO (en GARCÍA-RUIZ, 1990) delimita la zona de media montaña por debajo del *timberline*, es decir, la zona donde hay vegetación, un descenso de la altitud y por lo tanto una suavización de temperaturas. Todos estos factores provocan la existencia de un relieve más suavizado, sin embargo en este caso donde hay un dominio estructural, existen mayores pendientes (incluso sobre 35°), y formas más agresivas.

En este caso, la división de zonas de media y baja montaña se hizo en base al NDVI (Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada), que muestra la cobertura de vegetación existente en el área de estudio mediante la imagen satelital de 1999. Este análisis se combina con la información de especies arbóreas, además de la altitud del sector, variables que ayudan a determinar los límites de la montaña.

Otro factor que permite determinar los límites de montaña es la geomorfología, que también es un indicador que refleja el tipo de ambiente del lugar, es decir, en media montaña no existe mayor evidencia de procesos glaciares, sin embargo

---

existen tal como lo señala ARNAEZ-VADILLO (en GARCÍA-RUIZ, 1990) antiguos valles glaciares locales.

Posteriormente se realizó una caracterización del área de estudio según su hidrología, suelos, geomorfología, geología y características sociales.

Se analizaron los fenómenos naturales que pueden producir desastres, tales como:

- Fenómenos Hidrológicos: Es de vital importancia caracterizar las condiciones básicas de las cuencas, debido a que las causas de inundaciones (eventos climáticos, deslizamientos, destrucción de represas) se pueden ver intensificadas por las características propias de la cuenca (WARD, 1978).

Se estudiaron las cuencas según su forma teniendo en consideración su área y perímetro. Se consideró además, datos de inundaciones, socavamiento lateral de terrazas del área de estudio, utilizando la metodología de NOVOA (1986), el que hace hincapié en la morfodinámica geomorfológica de la cuenca. Se aplicaron índices hidromorfométricos, que permiten expresar o calificar en forma indirecta las características de las cuencas de drenaje y su red hídrica, en términos de su comportamiento real o potencial (FERRANDO, 1994).

Los índices utilizados fueron los siguientes:

- Índice de Compacidad = 
$$\frac{\text{perímetro de la Cuenca} * k (0,28)}{\sqrt{\text{área de la cuenca}}}$$

Este índice permite, a través de la forma de la cuenca, identificar aquellas que tienen mayor influencia sobre el escurrimiento y el tipo de curva del hidrograma resultante de una lluvia dada. Valores más cercanos a 1 implican una cuenca más compacta y por lo tanto, potencialmente de mayor riesgo de inundaciones.

? Índice de Torrencialidad = densidad del drenaje (? largo total de los drenes de una cuenca) \* frecuencia del drenaje (? número de drenes / superficie de la cuenca)

Los resultados de este índice tienen un amplio rango de variación, es decir, no existen cifras exactas que indiquen grados de torrencialidad, como en el caso anterior. Este índice es relativo, por lo que un número mayor indica una cuenca más torrencial en comparación con los valores de este índice en las cuencas cercanas. La torrencialidad para los efectos de este trabajo, implica un riesgo significativo de inundaciones.

SHUMM (1977) considera que las variables independientes dominantes en el desarrollo de la denudación del terreno y su hidrología son: el tiempo (escala de trabajo), el relieve inicial, la geología y el clima, y a partir de éstas existen interrelaciones entre todas las demás variables consideradas, que se resumen en:

- 1- vegetación (tipos y densidad)
- 2- relieve o volumen del sistema por encima del nivel de base
- 3- hidrología
- 4- morfología de la red de drenaje
- 5- morfología de la cuenca
- 6- morfología de valle y del canal
- 7- morfología del sistema deposicional.

- Fenómenos Geomorfológicos: se identificaron pendientes, cobertura vegetal y formaciones superficiales. Se analizaron con mayor énfasis las formas de contacto basales, que son las que presentan una mayor actividad actual y por lo tanto, mayor inestabilidad con respecto al sistema en general. RACHOCKI (1990) explica probabilidades de ocurrencia de flujos de detritos, conformación de conos aluviales, glaciares, las que se verificaron en esta zona de estudio. Se generó una carta geomorfológica, para cuya realización se

utilizaron fotografías aéreas del vuelo SAF 1997, a escala 1:50.000 de la zona estudiada, cartografías topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000, levantamiento detallado de terreno, utilizando la clasificación de vertientes y leyenda adaptada de ARAYA-VERGARA (1985).

- Fenómenos Geológicos: se analizó la existencia de fallas, se realizó un catastro de eventos sísmicos, además de los datos obtenidos por las estaciones sísmicas instaladas por el proyecto DID en el corredor durante el año 2002.

Se generaron mapas de riesgo de estas tres variables. Los mapas de riesgo jerarquizados según Cendrero (en PEÑA, 1997), deben proporcionar información para establecer normas preventivas, o determinar medidas correctivas, instaurar sistemas de alerta y diseñar planes de protección civil. En este caso específico se completó la primera fase, que es el reconocimiento de zonas donde existen riesgos de diversos tipos.

Es por esto que la información obtenida mediante cartas temáticas, generó un producto (utilizando la metodología sintética) correspondiente a peligros múltiples (O.E.A., 1993), en donde se presenta la información relacionada con diferentes peligros para un área de estudio en un sólo mapa, ofreciendo un cuadro compuesto de peligros naturales de diferentes magnitudes, así como su frecuencia y área de impacto.

Para llegar a este resultado, se realizó un análisis multicriterio, el que posee amplia aplicación en planificación, gestión ambiental y ordenamiento territorial, siguiendo los criterios de BARREDO (1995), que utiliza métodos multicriterio como apoyo a los S.I.G., para así generar una herramienta eficaz que sirva de apoyo a procesos de toma de decisiones y planificación. Esta metodología denominada Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) fue desarrollada por SAATY (1997) y permite modelar variables tangibles e intangibles, cualitativas y cuantitativas, para organizar la información y conocimiento en una estructura jerárquica lógica de análisis.



El análisis multicriterio está basado en las importancias relativas y pesos obtenidos mediante comparaciones sucesivas entre pares de criterios.

SAATY y VARGAS (1991), presentan la siguiente tabla para la asignación de importancia o preferencias a la que se le asigna un puntaje de importancia relativa por pares de indicadores, teniendo como referencia que tanto, en forma comparativa, cada indicador refleja el aspecto que desea representar, esto quiere decir, que la importancia depende de cada modelo y objetivo de éste, por lo cual el grado de importancia depende exclusivamente de lo que se esté buscando mediante la comparación.

Tabla N° 1 Juicio de importancia.

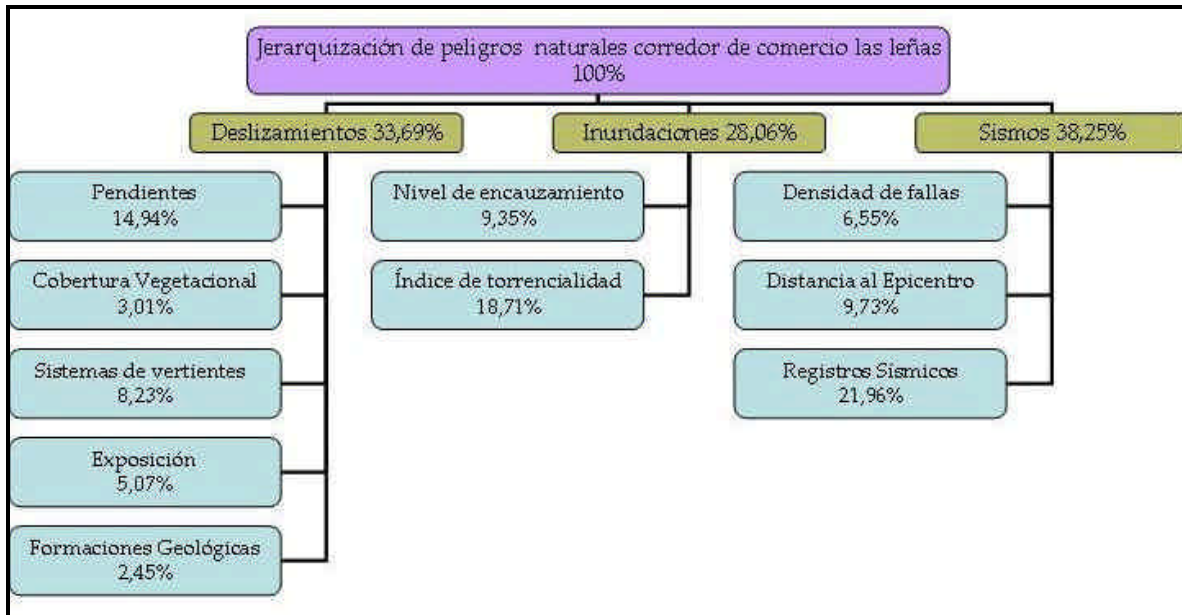
Juicio de Importancia	Puntaje
Extremadamente más importante	9
	8
Muy fuertemente más importante	7
	6
Fuertemente más importante	5
	4
Moderadamente más importante	3
	2
Igualmente importante	1

Fuente: SAATY Y VARGAS, 1991

Mediante la utilización de este análisis multicriterio, se pesaron las variables a manejar en este trabajo, a través de una comparación de pares de variables, teniendo como objetivo la jerarquización de peligros naturales, por lo tanto se evaluó la importancia de una variable respecto a otra, en cuanto al grado de riesgo que presenta. La Fig. 1 representa los pesos obtenidos por las variables, además de

la estructura del objetivo y riesgos a estudiar, con sus correspondientes variables a considerar.

Fig. 1 Diagrama de variables consideradas con sus respectivos pesos.



Para la representación espacial de la información, se utilizó el ranking de la evaluación realizada con apoyo del software Expert Choice, por lo tanto cada variable (pendientes, cobertura vegetal, etc.) se representó en su nivel de amenaza, es decir, las categorías de muy alta, alta, media y baja según corresponda. Para la obtención del nivel de amenaza de cada variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Nivel de amenaza por categoría} \times \text{Peso nivel de amenaza por variable} = \text{Nivel de amenaza total de la variable}$$

(Fórmula N°1)

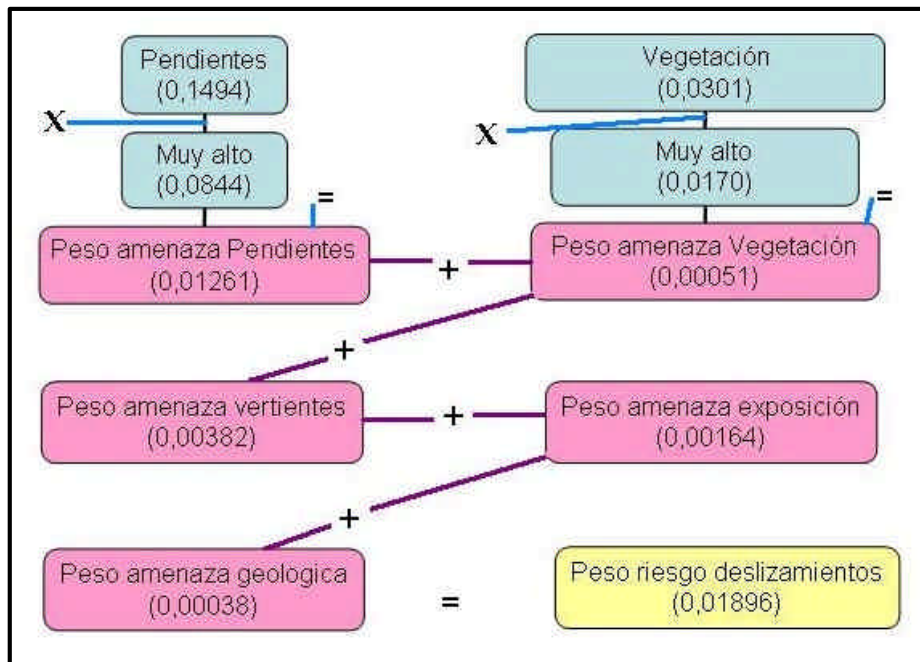
Para obtener el nivel de amenaza total, se utilizó el siguiente cálculo:

**Nivel de amenaza Global = ? Nivel de amenaza total por variable.**

(Fórmula N° 2)

Esto se explica en la siguiente figura:

Fig. 2 Explicación cálculos de pesos.



La figura anterior presenta los pasos a seguir para obtener los pesos. Cada variable con su peso se representa en la parte superior de la figura, siendo éste un ejemplo para la primera fórmula aplicada (ejemplo: pendientes (0,1494) \* amenaza muy alta en pendientes (0,0844), esto da un resultado de un peso de amenaza para el sector que tiene muy altas pendientes de 0,01261). La segunda fórmula que corresponde a la obtención de riesgos (en este caso la variable pendientes, vegetación, vertientes, exposición, geología son parte del riesgo de deslizamientos, el que da como resultados en este ejemplo de 0,01896). De esta misma forma se calcula el riesgo global, que es la sumatoria del peso de riesgo por deslizamientos, inundaciones y sismos.

Aplicando estas fórmulas a los valores de pesos emanados del proceso anterior se establecieron 4 rangos, según las categorías de amenaza, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 2 Rangos para determinar el nivel de riesgo.

0,000106	0,012445	Bajo
0,012446	0,024790	Medio
0,024791	0,037131	Alto
0,037132	0,049473	Muy alto

Estos valores fueron entregados por los pesos de riesgo por deslizamiento, inundaciones, sismos y riesgos globales, según estos resultados se establecieron 4 clases que indican el nivel de riesgo. Mediante este último paso fue posible llevar los datos a su expresión espacial.

El área que se estudió de media y baja montaña se seleccionó principalmente por la inexistencia de información para esta parte del corredor de comercio y porque así fue posible realizar una comparación de los distintos ambientes de montaña.

El corredor se dividió en tramos de 3 kilómetros para facilitar su análisis, esto debido principalmente a que se trata de un ambiente natural. El área para analizar el corredor es un buffer de 1,5 kilómetros por lado del camino. Para todos los efectos anteriores la delimitación del área de estudio está dada por las divisorias de cuencas, que se encuentran en el corredor de comercio. El corredor finalmente fue dividido en 14 tramos de 3 kilómetros cada uno.

Para la determinación de las áreas vulnerables, se realizó un mapa de instalaciones críticas, las que se clasificaron según GRAY DE CERDÁN (1998) en:

- Instalaciones críticas peligrosas, todas aquellas que al ser afectadas, pueden aumentar el riesgo de que se pueda producir un desastre, en este caso

tecnológico, es decir, industrias, servicios sanitarios, servicios de energía, bencineras, etc.

- Instalaciones críticas vitales, son aquellas que también provocarían trastornos al ser afectadas por algún tipo de desastre, sin embargo, ellas por sí solas no pueden generar algún tipo de riesgo, como por ejemplo hospitales, escuelas, instalaciones de defensa civil, etc. Este análisis se realizó según metodología aplicada por DÍAZ (2001), para analizar los efectos del terremoto de Punitaqui de 1997.
- Instalaciones críticas de transporte, es decir, carreteras, puentes, túneles, aeropuertos, helipuertos, vía férrea, etc.

Para la generación de las diferentes cartografías, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente el software Arc-view 3.2 y Erdas 8.5. La escala utilizada fue 1:50.000 (o mayor para sectores donde se requirió), para obtener una visión más detallada de la zona.

## VI MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

### 1. Desastres

Lo más importante para iniciar esta revisión, es comprender el significado de un desastre y de las implicancias que tiene a distintos niveles, desde el local al regional. "Un desastre natural establece una relación entre un fenómeno natural y sus consecuencias sociales y económicas. Los fenómenos naturales capaces de producir desastres son amenazas y éstas son características ambientales de una región" (UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2000).

El nivel de desastre puede ser diferente en cada país o región, es así como en países subdesarrollados las catástrofes son más devastadoras que en países desarrollados o también, como es el caso de Chile, países que son frecuentemente afectados por desastres, también tienen un grado de preparación ante estos, que disminuye su propensión a sufrir daños.

Por lo tanto, el RIESGO está en función de dos factores: el PELIGRO o AMENAZA y la VULNERABILIDAD.

- **PELIGRO o AMENAZA**, está representado por el peligro potencial asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos destructivos sobre la población de una región, la infraestructura y/o el medio ambiente (O.P.S., 1993).

- **VULNERABILIDAD**, se refiere a la sociedad amenazada susceptible de sufrir daños, considerando el término de sociedad incluyendo el conjunto de individuos, pero también las estructuras dentro de las cuales ellos evolucionan (CHARDON, 2002). "Una población es vulnerable porque carece de conocimientos elementales de los fenómenos naturales intensos que la

amenazan, no los comprende y no sabe qué medidas tomar para proteger su vida, salud y propiedades; también lo es, si no está organizada y porque no dispone de medios económicos para defenderse" (KUROIWA, 2002).

Es conveniente diferenciar *vulnerabilidad física de vulnerabilidad funcional*. La primera es la posibilidad de que un componente o todo el sistema sufra deterioro o daño ante las demandas que generan los fenómenos físicos. La vulnerabilidad funcional es la posibilidad de que el sistema pierda su función como resultado del daño físico.

Las fuentes de vulnerabilidad más relevantes para países en vías de desarrollo son (UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2000):

- Manejo inadecuado de los recursos naturales.
- Planificación ineficaz del uso de la tierra.
- Diseño y planificación inadecuados de la infraestructura.
- Técnicas inapropiadas de diseño y construcción.
- Asentamientos humanos en zonas altamente susceptibles.
- Falta de apoyo a las organizaciones existentes para la atención de desastres.
- Falta de organización social para la atención y mitigación de los desastres.

En términos generales, para los efectos de este estudio se entenderá *vulnerabilidad* como la predisposición de un individuo o elemento (infraestructura) a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto, su evaluación contribuye al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso.

Se puede decir por lo tanto que el **RIESGO**, es resultado de la exposición de los individuos como también las estructuras de su sociedad, con su grado de vulnerabilidad que le es inherente, frente al peligro al que se verá sometida. También se puede definir como la destrucción o pérdida esperada obtenida de la

probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas (KUROIWA, 2002).

Es necesario distinguir entre riesgo y catástrofe. Una catástrofe, sólo se produce allí donde un riesgo potencial se actualiza en condiciones de no prevención, unas veces motivada por la predicción (caso de terremotos), y otras por la no adopción de medidas.

Lo anterior se puede expresar con la siguiente ecuación (UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2000):

$$R = A * V$$

Es decir,

$$\mathbf{Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad}$$

CHARDON (2002), distingue globalmente tres niveles de riesgo establecidos según la aptitud variable de la sociedad en aceptar y absorber éste:

1. El riesgo tolerable por causa de un leve grado de exposición y/o de vulnerabilidad,
2. El riesgo tolerable después del desarrollo de medidas, cuyo objetivo es reducirlo actuando, bien sobre el fenómeno natural por intervenciones técnicas (disminución de la frecuencia de ocurrencia y/o de su amplitud), o bien sobre los elementos expuestos (adaptación de la construcción a la situación = prevención técnica, preparación de la población y de la sociedad en general).
3. El riesgo intolerable; la sociedad no tiene las posibilidades de resistir o de absorber las manifestaciones y consecuencias del fenómeno natural, cuyo desencadenamiento genera una situación de catástrofe o más aún, de crisis.



Estos umbrales varían según el nivel de vulnerabilidad social, puesto que las situaciones de riesgo intolerables para una zona, pueden ser tolerables para otras que se encuentren más preparadas o acostumbradas a sufrir diversos tipos de riesgos.

Para la Organización Panamericana de la Salud (1993), los desastres pueden definirse como "un evento o suceso que ocurre en la mayoría de los casos en forma repentina e inesperada causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente". Esto significa por lo tanto, la desorganización de los patrones normales de vida generando adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente, lo cual determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata.

Según esta definición se pueden clasificar los desastres, por su origen (fenómeno natural, provocados por el hombre o como consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas industriales o bélicos), tipos y efectos, tal como lo muestra la Fig. 3.

Los desastres también se pueden estudiar según el concepto de **período de retorno** (IGME, 1987), que se refiere a la recurrencia con la que se puede producir un fenómeno natural a un determinado nivel de intensidad. La predicción es la definición en el espacio (localización), el tiempo (momento), el desarrollo y la intensidad, del desastre. Un instrumento fundamental para la predicción espacial, es la cartografía de riesgos (PEÑA, 1997).

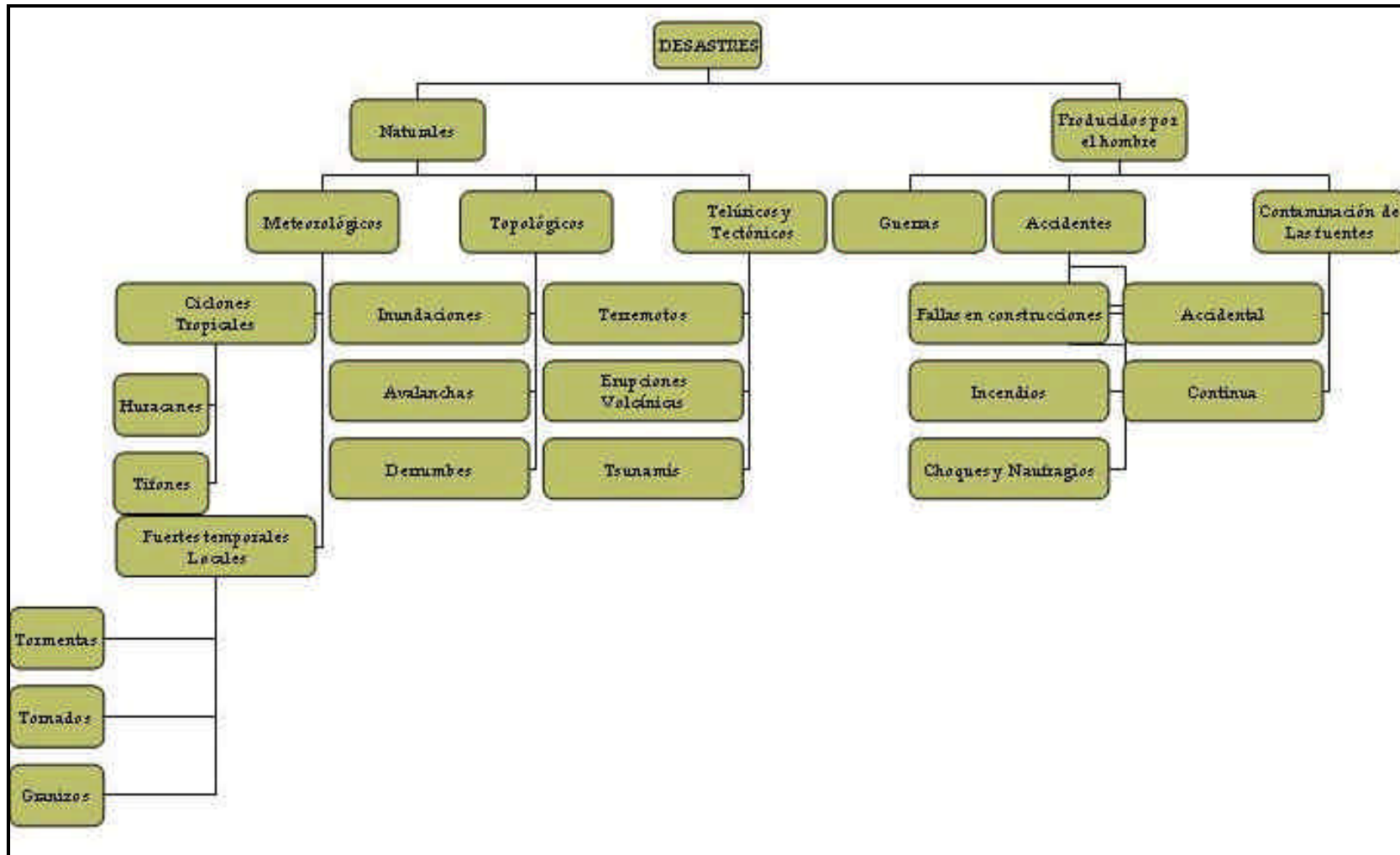
FLAGEOLLET (1996), señala que los desastres son definidos en términos de intensidad y de probabilidad de los fenómenos que ocurren o vuelven a ocurrir.

Según dicho autor los estudios de movimientos en masa se pueden realizar de dos maneras:

- ? considerando la existencia del movimiento (actividad) y si son inactivos, dormidos o activos.
- ? incluir el tiempo a través del período de retorno, el cual define, qué tan activo, dormido o inactivo es el fenómeno, permitiendo conocer los fenómenos activos y diferenciarlos por mediciones material desprendido e incluso el comienzo y el término de éste.

La prevención se basa en medidas estructurales y no estructurales, basadas en la predicción, que buscan disminuir al mínimo el daño económico-social que puede producir un desastre.

Fig. 3: Clasificación de los fenómenos por su origen.



Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 1990.

Tabla N° 3 Períodos de Retorno de los Fenómenos

ESTADO DE ACTIVIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD	PERÍODO DE RETORNO	MODO DE ACTIVIDAD	PERÍODO DE LA ULTIMA ACTIVIDAD
Inactivo				Pre-Cuaternario (> 2.000.000 años AP)
definitivamente o por largo tiempo = Estabilizado		Largo tiempo (> 1.000 años)		Pleistoceno
Temporalmente				- Bajo (700.000-2.000.000 años AP)
o en un periodo predefinido (I.E. 200 años) =	Singular			-Medio (125.000-700.000 años AP)
Durmiente		Baja frecuencia (100-1.000 años)		-Alto (10.000-125.000 años AP)
- Falta renovación	Episódico (Evolución Irregular)	Media frecuencia (0-100 años)		
		Alta frecuencia (1 - 10 años)	Al azar	Holoceno
	Intermitente (Evolución regular)	Muy alta frecuencia (< 1 año)	Progresiva	-Antiguo (3.000-10.000 años AP)
Activo			Oleada	- Antiguo Histórico (200 -3.000 años AP)
-Falta reactivación	-no estacional			- Histórico reciente (1-200 años AP)
	-estacional			
-Primer tiempo				
	Continuo			-Presente
-Antiguo lugar con material nuevo				
-nuevo lugar				

Fuente: Flageollet, 1996.

## 2. Corredores de comercio

En términos sistémicos, los corredores viales son, usualmente, sistemas en serie compuestos por elementos lineales (carreteras), elementos puntuales (puentes) y nodos (intersecciones), que conectan con otros corredores. La disposición física de los elementos hace que la falta de uno de ellos implique la pérdida de la función de todo el sistema, considerando que adicionalmente existen pocos medios de transporte alternos (OEA, 1993).

Es de vital importancia un buen funcionamiento de estas vías de conexión, que tienen una jerarquía de conexión internacional. En este caso específico en uno de estos se centra la atención para realizar el siguiente estudio.

Son diversos los efectos que pueden provocar estas rutas, BENDER (1999) postula que los corredores agrupan las ciudades de una manera diferente y hace énfasis en sus cambios, la infraestructura económica y física, las áreas de servicio en el mercado laboral y las demandas del servicio social.

ULLMAN (1954) siguiendo con los efectos plantea que: por una parte, los modos de vida de las personas tienden a ser más homogéneos, ya que se permite una difusión de ideas y distribución de productos y servicios, y; simultáneamente, se forman áreas más homogéneas internamente ya que cada región ha podido especializarse en actividades que puede realizar de mejor forma, esto sustentado en factores de producción, de trabajo o de capital, o simplemente por economías de escala.

Es difícil presagiar los efectos de un corredor de comercio en cuanto a sus implicancias sociales y económicas, sin embargo se puede saber que la construcción de éste, puede traer efectos de riesgos tecnológicos, además de estar afectado por riesgos de tipo natural que son propios del sector de estudio.

### **3. Tipos de amenaza**

Los fenómenos naturales que afectan el área de estudio con frecuencia se pueden dividir genéticamente en dos grandes grupos (GARCÍA, 2000):

- Geológicos: Sismos, erupciones volcánicas, movimientos de terrenos, etc. son generalmente localizados, donde la ocurrencia o aparición está ligada a una situación geológica y/o geográfica particular.
- Climáticos: Precipitaciones, tormentas, ciclones, inundaciones, entre otros.

Según la clasificación anterior, los tipos de amenazas existentes en el área de estudio son sismos, deslizamientos (estos pertenecen al tipo de riesgo geológico) e inundaciones, esta última es parte de los riesgos de tipo climático debido a que el detonante son las precipitaciones.

#### **3.1 Sismos**

Según DUQUE (1998), la corteza terrestre acumula energía debido a los procesos de deformación elástica, estando siempre sometida a algún tipo de tensión, con mayores concentraciones a lo largo de los límites de las placas corticales. Por lo tanto, un pequeño esfuerzo adicional desencadena un terremoto o pequeños sismos, según la cantidad de energía acumulada.

Los terremotos se califican según dos tipos de escalas: a) de intensidad (máxima XII, escala de Mercali modificada) que clasifica en función de los daños observables b) de magnitud (máxima medida en escala de Richter 8.9), que se determina en función de lecturas instrumentales de las ondas sísmicas.

Los terremotos se producen en general en zonas bien conocidas, asociadas a menudo con áreas volcánicas y cadenas montañosas jóvenes como la Cordillera de los Andes. La mayor parte se produce en los bordes de las placas tectónicas. Su predicción es un problema no resuelto, por lo que la prevención tiene un papel importante que se basa en el diseño sísmo resistente tanto de estructuras como de cimientos y el uso de mapas de riesgo para evitar la urbanización en zonas de fallas, deslizamientos o zonas licuables. Según O.E.A. (1993) son una amenaza severa, debido a los intervalos irregulares de tiempo entre la ocurrencia de eventos y conlleva peligros asociados tales como:

- 1- ruptura de fallas: apertura de material de superficie en donde se separa la roca firme a lo largo de la zona de debilidad.
- 2- sacudimiento del terreno: afecta cualquier estructura ubicada cerca del epicentro del terremoto.
- 3- licuefacción del material no consolidado con poco desnivel, el que puede ser ocasionado por el sacudimiento del suelo. Los flujos y el esparcimiento lateral (licuefacción) son los procesos geológicos más destructivos.
- 4- tsunamis: generados por la actividad sísmica submarina, causando inundaciones en áreas costeras y que pueden afectar áreas a miles de kilómetros de donde ha ocurrido el terremoto.
- 5- deslizamientos de tierra: pueden ocurrir producto del sacudimiento del terreno en áreas con topografía escarpada y poca estabilidad de taludes.

### **3.2 Deslizamientos**

Las remociones en masa, se dan tanto en suelos como en rocas. En general los más peligrosos para la vida humana son las avalanchas de detritos y los desprendimientos. Los terrenos al ascender el nivel del agua subterránea, al alterarse y perder resistencia, o al ser sometidos a vibración por un terremoto, se

vuelven inestables y comienzan a moverse ladera abajo (IGME, 1987). Los dos tipos básicos son los deslizamientos y los desprendimientos, tal como se ve en la Fig. 4.

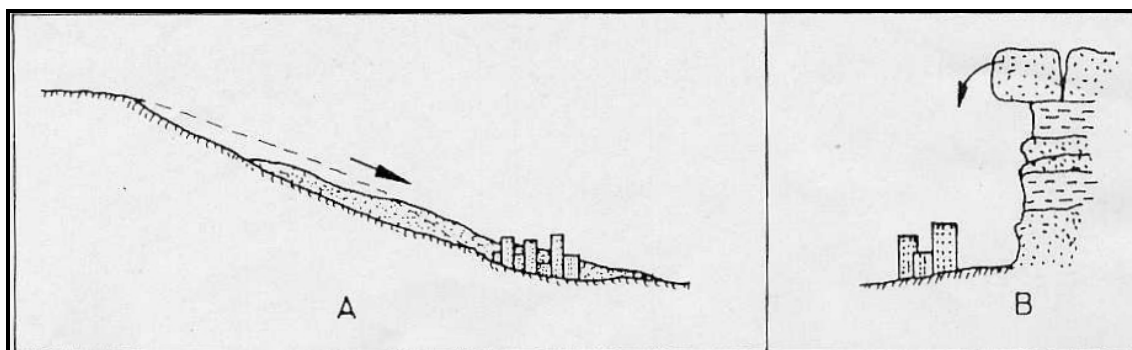


Fig. 4 Deslizamientos A, Desprendimientos B. (IGME, 1987).

Estos fenómenos de remociones en masa "provocan un severo deterioro al relieve contiguo, alteración al relieve paisajístico, más el grave daño al suelo y a la vegetación" (HAUSER, 1993). El concepto de remociones en masa, acuñado por HAUSER (1993) no hace distinción entre los distintos tipos existentes (derrumbes, deslizamientos, desprendimientos, flujos de barro, etc.), ya que la importancia está dada por la ocurrencia de cualquiera de ellos, independientemente de su génesis, y sus distintos grados de peligrosidad.

Es importante destacar que los terrenos con historias de remociones en masa están proclives a una reactivación con riesgos para la vida humana y para la operación de obras civiles. Por lo tanto, indica que estos efectos serían atenuados con la nula construcción de casas y obras civiles en estas áreas (HAUSER, 1993).

CASTRO *et al* (1995) dan importancia al grado de inclinación de las pendientes (especialmente en alta montaña). Las precipitaciones representan un factor detonante, determinado por su intensidad y distribución, provocando derrumbes y deslizamientos, más aún si escasea la vegetación y las pendientes tienen fuerte inclinación. Esto también se ve reflejado en la activación de los talwegs y en su comportamiento torrencial (MESINA, 2003).



Para evaluar los efectos de los fenómenos de remoción en masa se puede considerar la variable morfoestructural en el caso de las vertientes, ya que puede favorecer una fuerte erosión que se manifiesta en la ocurrencia de movimientos en masa y acción de la denudación de escurrimiento difuso y concentrado. La influencia de los cambios bruscos de temperatura como también los períodos secos y lluviosos ayuda a que las vertientes se meteoricen mecánica, química o biológicamente (O.E.A., 1993).

Las vertientes estructurales por sí solas significan un riesgo (ARAYA-VERGARA, 1985), aún sin la presencia de factores externos (como lo serían las precipitaciones y los sismos). Su relevancia está dada por la condición del dominio morfoclimático y el dominio morfoestructural, correspondiente a la cobertura detrítico volcánica (PASKOFF, 1970), incorporada al análisis realizado por ARAYA-VERGARA (1991) para altas y bajas montañas en cobertura dislocadas en ambiente glacial, periglacial y templado seco (Tabla N° 4).

La cobertura vegetal y las pendientes también influyen en los procesos de vertientes. GÓMEZ OREA (1998), indica que la cobertura vegetal está directamente relacionada con la reducción y regulación de la escorrentía, ya que disminuye la energía cinética con que las gotas de agua llegan al suelo, retiene físicamente las partículas del suelo e incrementa el porcentaje de materia orgánica del suelo, lo que da una mayor estabilidad, porosidad y permeabilidad. La cubierta vegetal también protege al suelo de las remociones en masa, pero no por encima de pendientes de 20°. Las pendientes son un factor que controla los procesos de deslizamientos y derrumbes, y se han establecido los valores de pendientes a partir de los cuales se activan estos procesos (MESINA, 2003).

Tabla N° 4 de Rangos de Pendiente según Umbrales Morfodinámicos.

Pendientes Grados	Pendientes %	Concepto	Umbral Geomorfológico
0 - 2	0 - 4.5	Horizontal	Erosión nula a leve
2.1 - 5	4.6 - 11	Suave	Erosión débil, difusa. <i>Shett wash</i> . Inicio de regueras. Solifluxión fría.
5.1 - 10	11.1 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. <i>Rill-wash</i> o desarrollo de regueras.
10.1 - 20	22.1-44.5	Fuerte	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes.
20.1 - 30	44.6 - 67	Muy Fuerte a Moderadamente Escarpada	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación.
30.1 - 45	67.1- 100	Escarpada	Coluvionamiento. Solifluxión intensa.
> de 45	> de 100	Muy Escarpada a Acantilada	Desprendimiento y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.

Clasificación de pendientes propuesta por ARAYA-VERGARA & BORGEL (1972), YOUNG (1975) y FERRANDO (1993), modificada y presentada por MESINA (2003).

### 3.3 Inundaciones

Las inundaciones ocurren temporalmente en el período de crecidas, y producen daños, principalmente en los sectores del lecho mayor o la llanura de inundación (Fig. 5), que son los primeros en ser afectados en estos eventos.

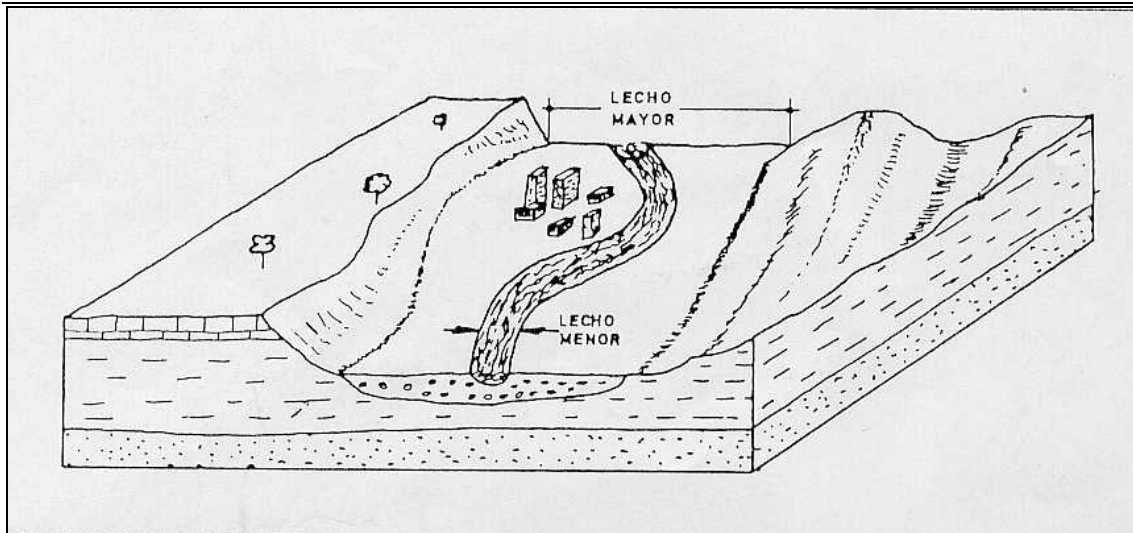


Fig. 5 Lecho de inundación de un río (IGME, 1987).

La concentración de agua superficial se produce en zonas preferentes del terreno y a partir de ahí comienzan los procesos ligados a la dinámica fluvial, en que la cuenca se adapta para recibir y redistribuir una cierta cantidad de agua.

SHUMM (1977) considera el sistema fluvial dividido en tres partes desde el punto de vista de su dinámica y morfología:

- a) la cuenca de recepción o zona de producción de carga y caudal (erosión);
- b) la zona de transferencia donde, en el caso de un canal estable, las entradas de sedimentos igualan a las salidas (transporte);
- c) la zona de depósito (sedimentación)

Aunque los procesos de erosión, transporte y sedimentación, pueden ocurrir en cualquiera de las categorías mencionadas, éstas tienen un proceso dominante en cada una de las etapas del sistema fluvial. A su vez, dinámicamente estas tres zonas no pueden individualizarse entre sí, sino que funcionan como un sistema proceso-respuesta autorregulado, de forma que cualquier modificación en un punto va a repercutir en otro lugar de la cuenca, bien sea en su morfología, en los materiales movilizados o en los procesos actuantes.

La evolución del sistema fluvial no ocurre de una forma progresiva en el tiempo, sino que se producen períodos de estabilidad seguidos de episodios de inestabilidad. En estos momentos de inestabilidad ocurren cambios rápidos o catastróficos porque se excede un umbral de tensión o resistencia en el sistema. Un umbral geomorfológico marca una condición límite en la estabilidad de una forma, este límite puede superarse bien por un cambio progresivo de la forma en sí (umbral intrínseco) o por el cambio de una variable externa (umbral extrínseco) (SHUMM, 1974).

Para SHUMM (1974) el concepto de umbral es básico en el estudio de la rectificación de ríos. Cuando se produce una corta artificial de un meandro, el río no sólo aumenta su poder erosivo aguas arriba y su depósito aguas abajo, sino que entra en un período de inestabilidad en el que intenta volver a su situación inicial. Con ello intenta generar de nuevo un curso sinuoso que le permita reducir su gradiente en las partes más abruptas del valle, por tanto, si se produce el cierre de un meandro que tenga una pendiente próxima al umbral da paso a una morfología anastomosada (de baja sinuosidad pero canales múltiples), que provocará un cambio hacia un canal anastomosado creando un período de inestabilidad en el sistema, por lo que será mejor la corrección de los meandros que tengan gradientes dentro de los límites de mayor estabilidad.

## CAPITULO II RESULTADOS

### I DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

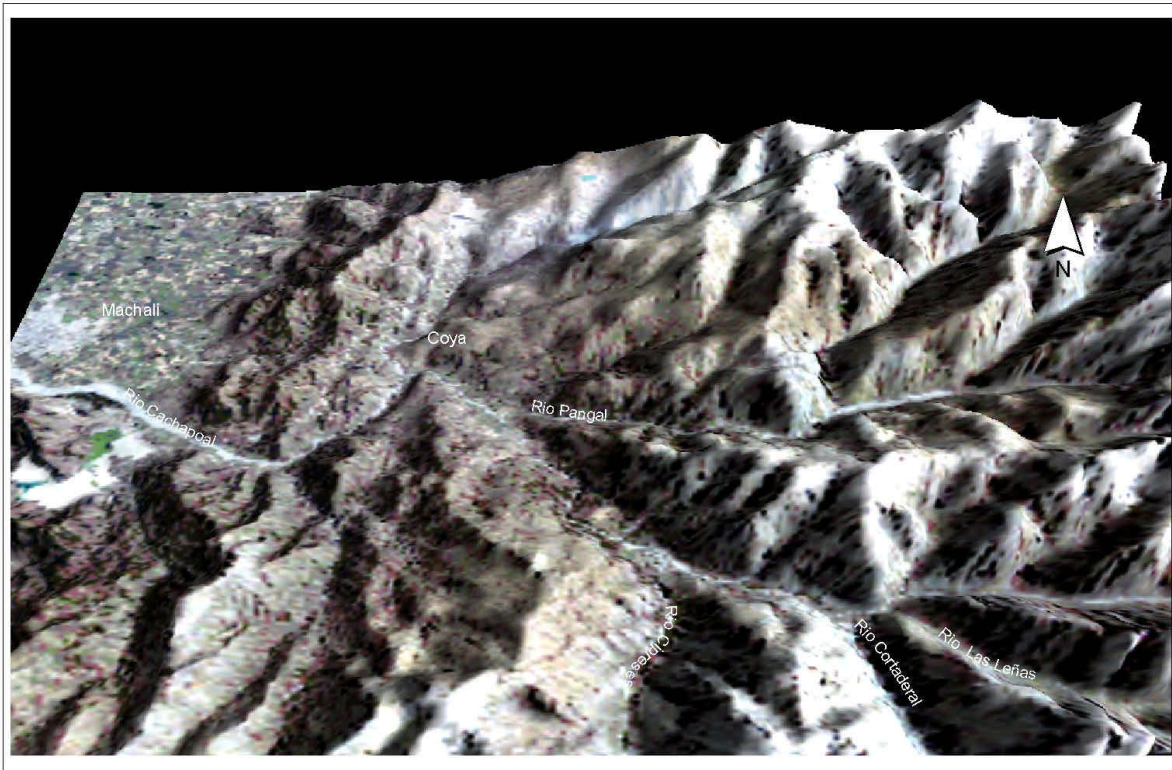
El área de estudio se encuentra en la Sexta Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Esta zona se ubica dentro de la media y baja montaña ( $34^{\circ} 22' - 34^{\circ} 30'$  Lat. S. y  $70^{\circ} 15' - 70^{\circ} 00'$  Long. W.), límites delimitados según su vegetación, geomorfología y altura. La conexión de esta zona se realiza por un camino de tipo secundario actualmente, el que conecta el corredor, al único pueblo que se encuentra en la zona de estudio (Coya).

El área se considera una parte del corredor de comercio Las Leñas, el que continúa a través de la cuenca del río Las Leñas llegando al límite con Argentina, extendiendo así la conexión hacia el Atlántico. A continuación se detallan características de este corredor en relación a su ambiente físico y social.



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 7 Modelo de Elevación Digital del Área de Estudio.

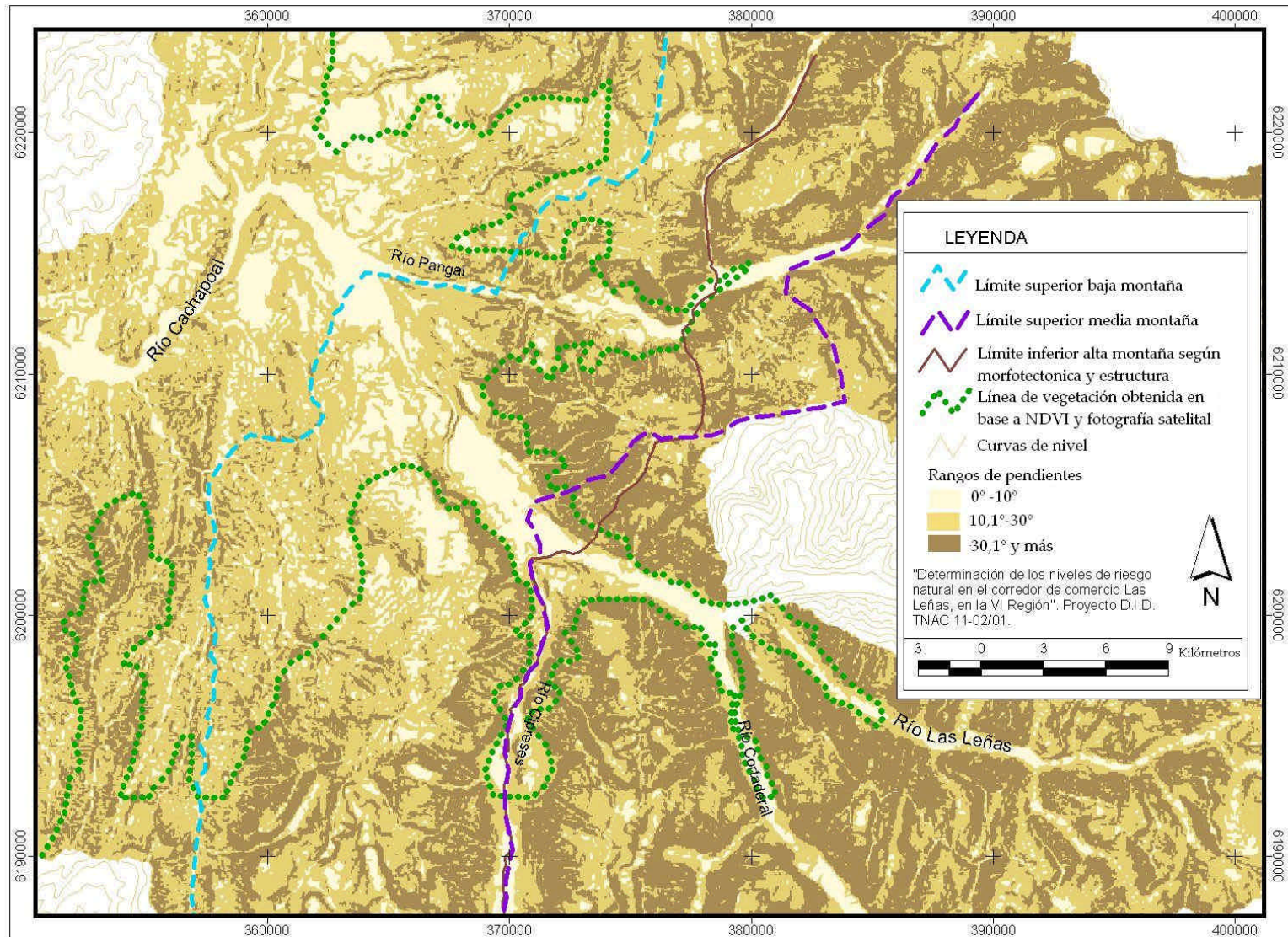


Fuente: Elaboración Propia

La Fig. 7 es un modelo de elevación digital que presenta características propias de la zona, como su morfología y alturas. Como se puede observar, el valle es muy encajonado en esta área y hay una disminución de alturas en conjunto con una mayor amplitud después de la localidad de Coya; también se puede observar mediante esta figura, el piedmont donde se localiza Machalí. Es posible visualizar que en las vertientes del sector norte la erosión es menos significativa, en comparación con las vertientes del lado sur, las que presentan un relieve más suavizado.

A continuación (Fig. 8) se muestran los límites de alta, media y baja montaña lo que permite estimar el tipo de procesos que actúan en estos ambientes. El límite

Fig. 8 División entre media y baja montaña



superior de baja montaña se encuentra en el río Pangal, zona que posee un relieve más suavizado, a diferencia de lo que es la media montaña, en donde el límite se encuentra en el río Cipreses, y en donde existe una clara evidencia de procesos glaciares y nivales que han dejado sus huellas. Este ambiente es una transición en donde se pueden encontrar grandes conos de deyección y gravitacionales.

## 1. Hidrología

El área de estudio se encuentra principalmente dentro de la cuenca del río Cachapoal. Los niveles de caudales son de 19.2 m<sup>3</sup> en la estación *río Pangal antes del río Cachapoal*, siendo estos ríos de régimen pluvionival. La evapotranspiración anual en el área de estudio va desde los 400 mm en el sector de valle, hasta los 600 mm en las cuencas del río Cipreses y Pangal. La temperatura media anual del área de estudio es de 15° C y la precipitación media anual de la zona está entre los 900 y los 1000 mm anuales.

Las estaciones fluviales existentes en el área son *Cortaderal antes del Cachapoal* y *Pangal antes del Cachapoal* (Fig. 9). En cuanto a estaciones pluviales existen *Rancagua*, *Endesa* y *Sauzal*, además se incorporó información de las estaciones Las Leñas y Coya, instaladas en el sector por el Proyecto DID TNAC 11-02/01.





## 2. Geología

El área de estudio ha sido descrita geológicamente principalmente por KLOHN (1960), que realizó una primera descripción de las formaciones geológicas del lugar. Un estudio más profundo de la zona lo ha realizado CHARRIER (1983), completando así la descripción y la cartografía de la región, la que se describe a continuación y se observa en la Fig. 10.

**Formación Coya-Machalí** (Cretácico Superior-Terciario Inferior): Es un equivalente a la Formación Abanico (DRAKE *et al.* 1982, en CHARRIER, 1983). Secuencia fundamentalmente volcánica de 1500 a 2000 m de espesor y de gran desarrollo en el área estudiada. Se compone predominantemente de piroclastitas, coladas en menor porcentaje y epiclastitas subordinadas; los afloramientos orientales contienen frecuentes intercalaciones epiclásticas e incluso niveles calcáreos. Corresponden a depósitos próximos y distales del flanco oriental de un cordón volcánico activo de carácter calco-alcalino, con frecuente actividad explosiva. Presenta abundantes intercalaciones incompetentes, está intensamente plegada con marcada vergencia al oeste en la región occidental y ligeramente al este en sectores orientales y acortamientos que varían entre 30% y 45%. El mecanismo de plegamientos es el deslizamiento por flexura.

Los estratos de esta formación se apoyan con discordancia angular sobre la Formación Colimapu y subyacen con marcada discordancia angular a las secuencias volcánicas de la Formación Farellones (KLOHN, 1960 y CHARRIER, 1983).

**Formación de los Farellones:** Fue introducido en el medio geológico chileno por MUÑOZ CRISTI en 1953. Luego KLOHN (1960) utilizó el mismo término, el cual se ha seguido usando hasta la fecha.

La formación Farellones pertenece al Mioceno superior en donde existen depósitos volcánicos continentales de más de 2400 m de espesor, correspondientes a coladas porfíricas, con fenocristales de andesita y subordinadamente de piroxeno, y afaníticas, frecuentemente vesiculares y con estructura fluidal y piroclásticas. Estas rocas volcánicas son predominantemente andesíticas y tienen un carácter calcoalcalino. Se encuentra escasamente plegada, probablemente por el mecanismo de superficie neutra. La formación se dispone con pronunciada discordancia angular sobre la Formación Coya-Machalí (Abanico) y está localmente cubierta con suave discordancia por la Formación Colorado-La Parva y por algunos depósitos correspondientes al volcanismo andino joven. En general, las capas más altas expuestas de esta formación constituyen el actual límite superior de la erosión. Su base está especialmente bien expuesta en el valle de Cachapoal, al oeste de la desembocadura del río Cipreses, mientras en el cordón que separa los ríos Cipreses y Portillo está cubierta solamente por escombros de falda y algunos sedimentos no consolidados. En la ladera sur del valle de Cachapoal, al oeste de la desembocadura del río Cipreses, existe una leve discordancia angular intraformacional que separa dos miembros de la Formación Farellones.

**Volcanismo Andino Joven** (Plioceno superior-Presente): Este término, puramente descriptivo, fue introducido por CHARRIER (1983) para referirse a los depósitos volcánicos más recientes del sector andino considerado. Los productos de este volcanismo se apoyan discordantemente sobre rocas plegadas más antiguas. Estos depósitos, de amplia distribución en la zona, están representados por conos volcánicos, coladas, flujos de piroclásticos y depósitos de lahares y cenizas. Existen numerosos depósitos cuyo origen no se puede determinar con certeza, entre los cuales se encuentran las coladas del valle de Cachapoal de edad límite Plioceno-Pleistoceno, depósitos de lahares y flujos de cenizas, todos depósitos de carácter calcoalcalino.

Algunos centros volcánicos tienen una historia prolongada y compleja, las que dieron origen a extensas cubiertas formadas por depósitos de diferentes

tipos, composiciones y edades que presentan una clara relación entre sí.

Los depósitos volcánicos aislados de proveniencia desconocida o insegura, son los aparentemente más antiguos de este grupo, correspondientes a coladas adosadas a las laderas del valle de Cachapoal, entre Coya y su desembocadura en la Depresión Central. Estas se encuentran cubiertas por depósitos laháricos a unos 150 m por sobre el lecho actual del río. Según análisis de muestras con C14 estos flujos poseen edades comprendidas entre 1.8 y 2.3 m.a. (CHARRIER y MUNIZAGA, 1979). Su origen fue atribuido con reservas al centro volcánico Olla Blanca. La ligera inclinación hasta el oeste que presentan en el sector de Coya y la presencia de una extensa cubierta lahárica inmediatamente al noreste de Coya, que parece prolongarse hacia el sureste de esta localidad, sugiere la posibilidad de que exista otro centro no reconocido durante dicho levantamiento, en esa dirección. Se descartaría de este modo una pertenencia de estos depósitos laháricos a la Unidad Chapa Verde descrita por CAMUS (1977, en CHARRIER 1983). En sectores orientales del área de estudio existen depósitos que a pesar de encontrarse a mayor altura por sobre el actual nivel de drenaje que las coladas del valle de Cachapoal, tienen edades menores. Además de los depósitos de cenizas asociadas con otros depósitos ya mencionados, lahares o coladas, existen acumulaciones de cenizas aisladas y con una distribución bastante errática. La presencia de éstas se relaciona con el volcán Olla Blanca. CHARRIER (1983) sugiere que los depósitos de cenizas de Machalí se pudieron haber originado por un rebalse de estos materiales por el portezuelo de la Carreta del Cobre, al depositarse el lahar que cubre el sector frente a Coya (Club de Campo).

**Rocas intrusivas:** representan sólo un 5% de la superficie estudiada. El cuerpo mayor, el batolito Universidad supera los 150 km<sup>2</sup>. En general, se trata de cuerpos relativamente pequeños y aislados correspondientes a stocks, apófisis, diques y filones. Sobre la base de su distribución espacial y de semejanzas texturales y composicionales entre algunos de estos cuerpos, se dedujeron relaciones entre ellos. Constan de rocas fanerocristalinas y, en ciertos casos, afaníticas y brechosas.

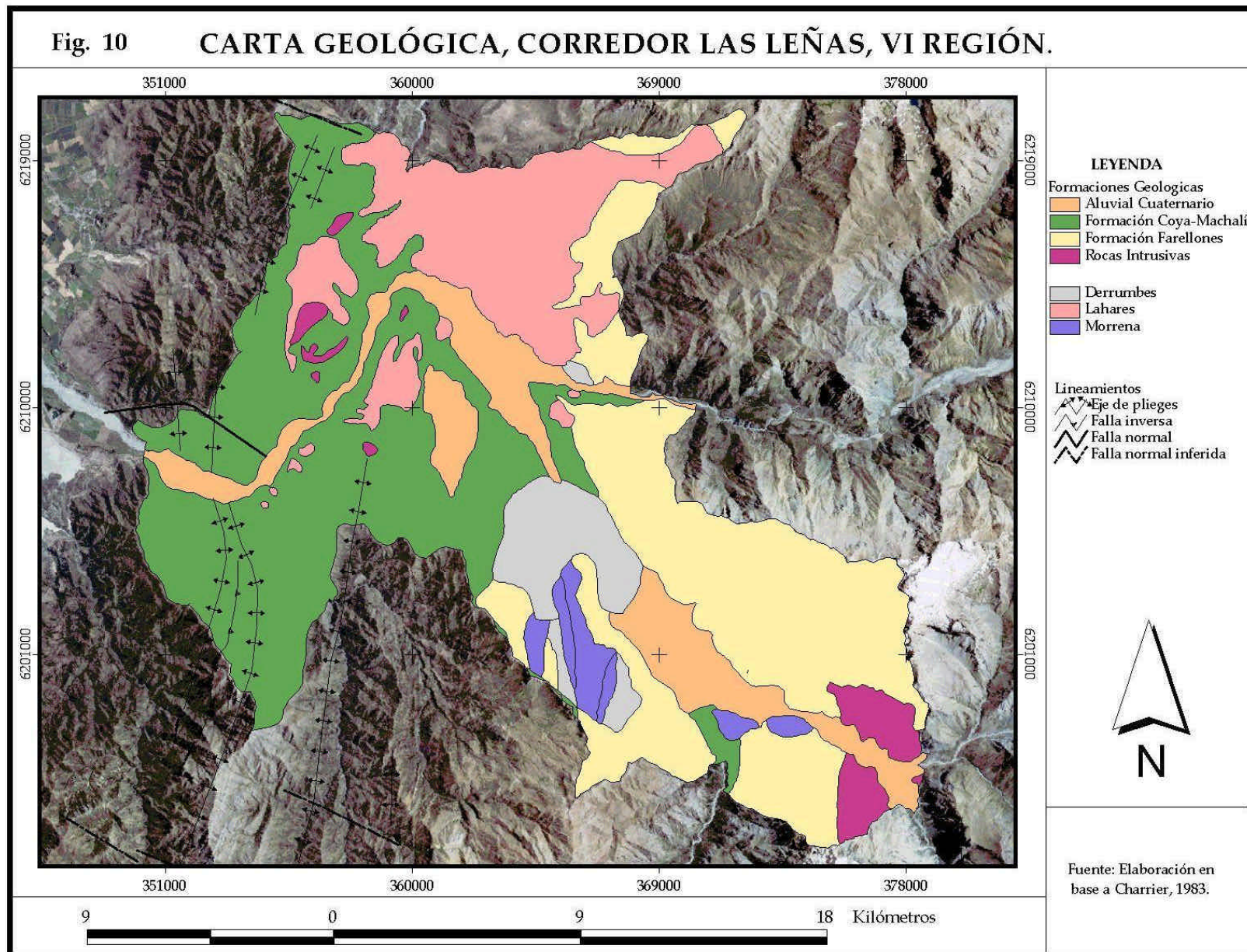
Se reconocieron granitos, granodioritas, tonalitas, monzonitas, cuarcíferas, monzodioritas cuarcíferas, dioritas cuarcíferas y dioritas.

**Depósitos no consolidados** (Cuaternario): Se acumularon principalmente en el fondo de los valles y corresponden a depósitos aluviales (fluviales, lacustres y glaciofluviales) y depósitos glaciales de escombros y de derrumbes.

Los depósitos fluviales forman a menudo dos y hasta tres niveles de terrazas. Los depósitos lacustres existen en casi todos los valles mayores; estos presentan diferentes estados de evolución y en general están asociados con morrenas terminales que cierran los valles. Sólo en algunos casos deben su origen a la presencia de derrumbes o a la unión en el fondo del valle de conos de deyección ubicados en laderas opuestas. En algunos valles las cuencas lacustres aún no están colmadas de sedimentos o bien las barreras no han sido aún excavadas por los ríos, de modo que existe un lago, como por ejemplo el lago Yeso en el valle Las leñas. En otros, las cuencas lacustres están llenas de sedimentos, de manera que existen en esos lugares cubiertas de rodados en las que se desarrollaron ríos anastomosados, como la vega de los Pejerreyes en el valle del Cortaderal.

Los depósitos glaciares corresponden a morrenas terminales, de fondo y laterales. En casi todos los valles principales se encontró más de un sistema de morrenas, en general de magnitudes diferentes. No fue posible establecer una clasificación precisa de las morrenas terminales a lo largo de cada uno de los valles según las etapas de retroceso de los glaciares y menos aún, establecer correlaciones entre los sistemas de morrenas de los diferentes valles.

Material de derrumbes importantes se reconocieron en la quebrada Clonqui, afluente del río Pangal y en el curso de la desembocadura del río Cipreses, afluente del Cachapoal. La edad de estos depósitos es cuaternaria, en su mayoría probablemente holocena (CHARRIER, 1983).



### 3. Geomorfología

Tal como se mencionó anteriormente, el ambiente de esta zona es de montaña, con evidencias del modelado del periglacial de altura (Fig. 11).

En media montaña, según la clasificación de vertientes de ARAYA-VERGARA (1985), se observan vertientes de cara libre rugosa que son estructuras concordantes, con un gran desarrollo de conos gravitacionales inconsolidados (Fig. 12) y una cantidad menor de conos aluviales propios de las quebradas del lugar. Las vertientes ubicadas entre los ríos Cortaderal y Cipreses (hacia el norte y sur del Cachapoal) poseen mayor rugosidad que el resto del área, por ser estas rocas intrusivas granodioríticas descritas antes geológicamente. Este relieve más abrupto, provoca una mayor cantidad de material que se refleja en los taludes existentes. Además, en esta zona hay vertientes de *plateau*, que corresponden a vertientes residuales de edades más antiguas. En general, el desarrollo de terrazas fluviales en la zona, es más amplio en las desembocaduras de los diversos afluentes del río Cachapoal, y esta amplitud también se relaciona con el nivel de terrazas en una relación directa, por ejemplo en el río Cortaderal una terraza pleistocénica fluvial alta (esta denominación se realizó sólo en base a la altura y no a un carácter de edad geológica). Cerca del río Cipreses, existe una mayor cantidad de conos aluviales, además de observarse en la vertiente norte, morrenas y conos aluviales continuados, lo que se asemeja en forma a lo descrito por COTTON (1948) como conos de dos historias, sin embargo, en este caso no pertenecen al mismo tipo de morfología (Fig. 13). Las terrazas fluviales en este sector adquieren gran amplitud especialmente la terraza pleistocénica fluvial alta.

Cerca del río Pangal en un ambiente de transición a la baja montaña aparecen, en el lado sur, vertientes residuales de *plateau*, además de vertientes de flanco de valle pasivo que corresponde a vertientes con influencias exógenas que presentan importantes procesos de erosión. A continuación existen vertientes de estructura monoclinas como lo son las vertientes conformes simples e inversas, que se

encuentran tanto al sur como al norte del río Cachapoal. Se presenta también un residual de *plateau* en el sector norte del Cachapoal, el que se asocia a los depósitos laháricos provenientes del volcán Olla Blanca descritos por CHARRIER (1983). Las terrazas fluviales se desarrollan cercanas al río Pangal teniendo mayor amplitud la terraza pleistocénica fluvial media. Estas terrazas disminuyen considerablemente en amplitud, lo que se puede observar en la Fig. 14, donde no existe desarrollo de conos aluviales ni gravitacionales.

En general, el paisaje de esta zona es el resultado de procesos de edad y génesis diferentes, tales como procesos endógenos de solevantamiento y plegamiento terciario, modelado glacial y los procesos exógenos actuales que dinamizan el sistema. Este ambiente además está fuertemente marcado por el tectonismo. La acción de las glaciaciones pleistocénicas se expresa en la existencia de depósitos morrénicos en el fondo del valle (SOTO *et al*, 2004).

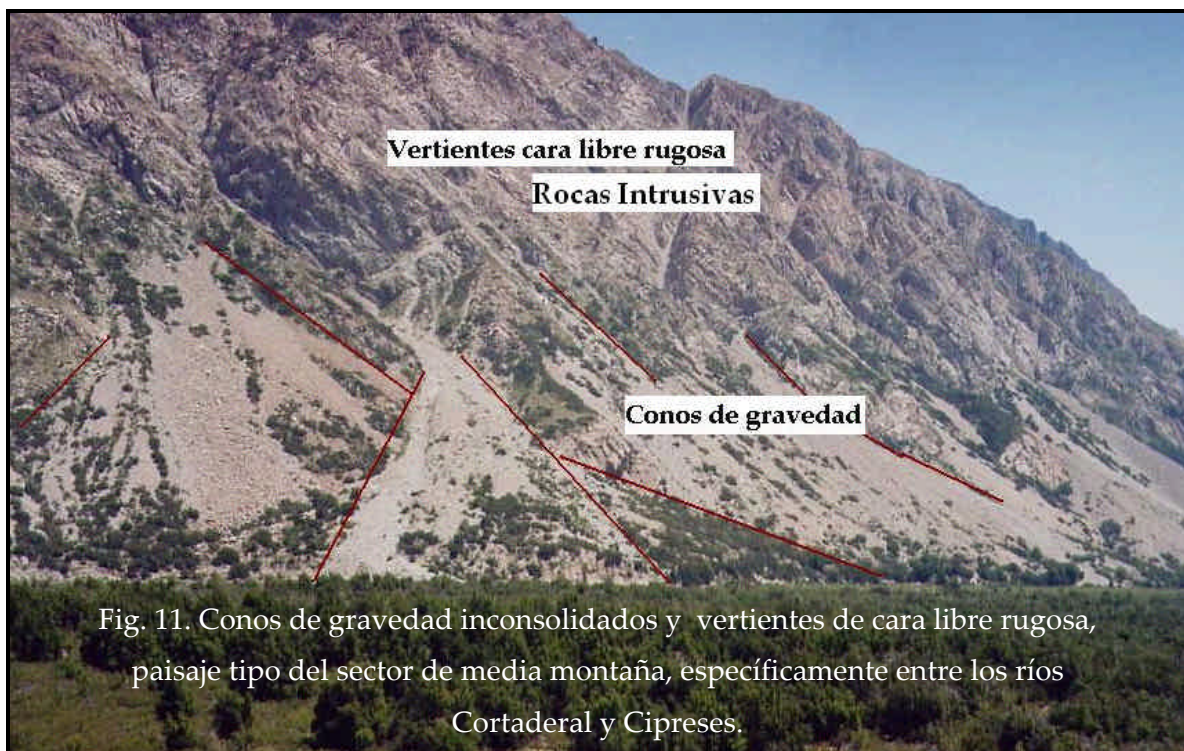


Fig. 11. Conos de gravedad inconsolidados y vertientes de cara libre rugosa, paisaje tipo del sector de media montaña, específicamente entre los ríos Cortaderal y Cipreses.



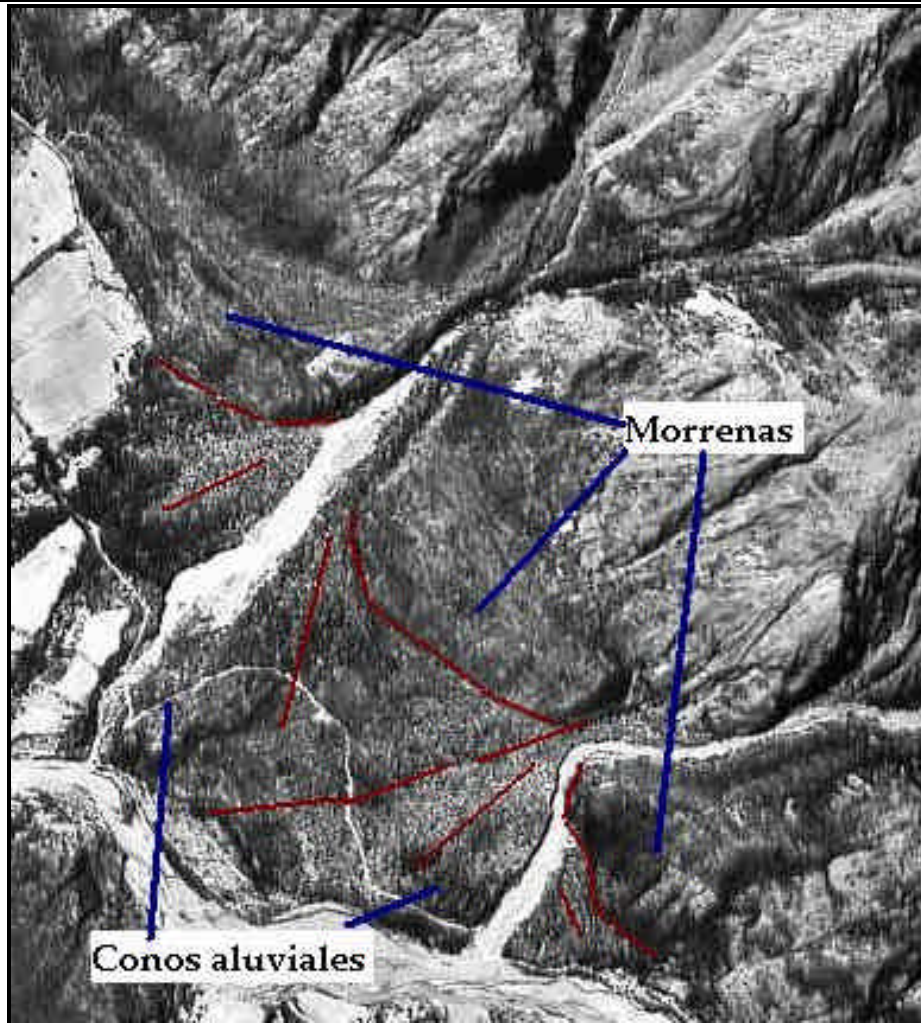
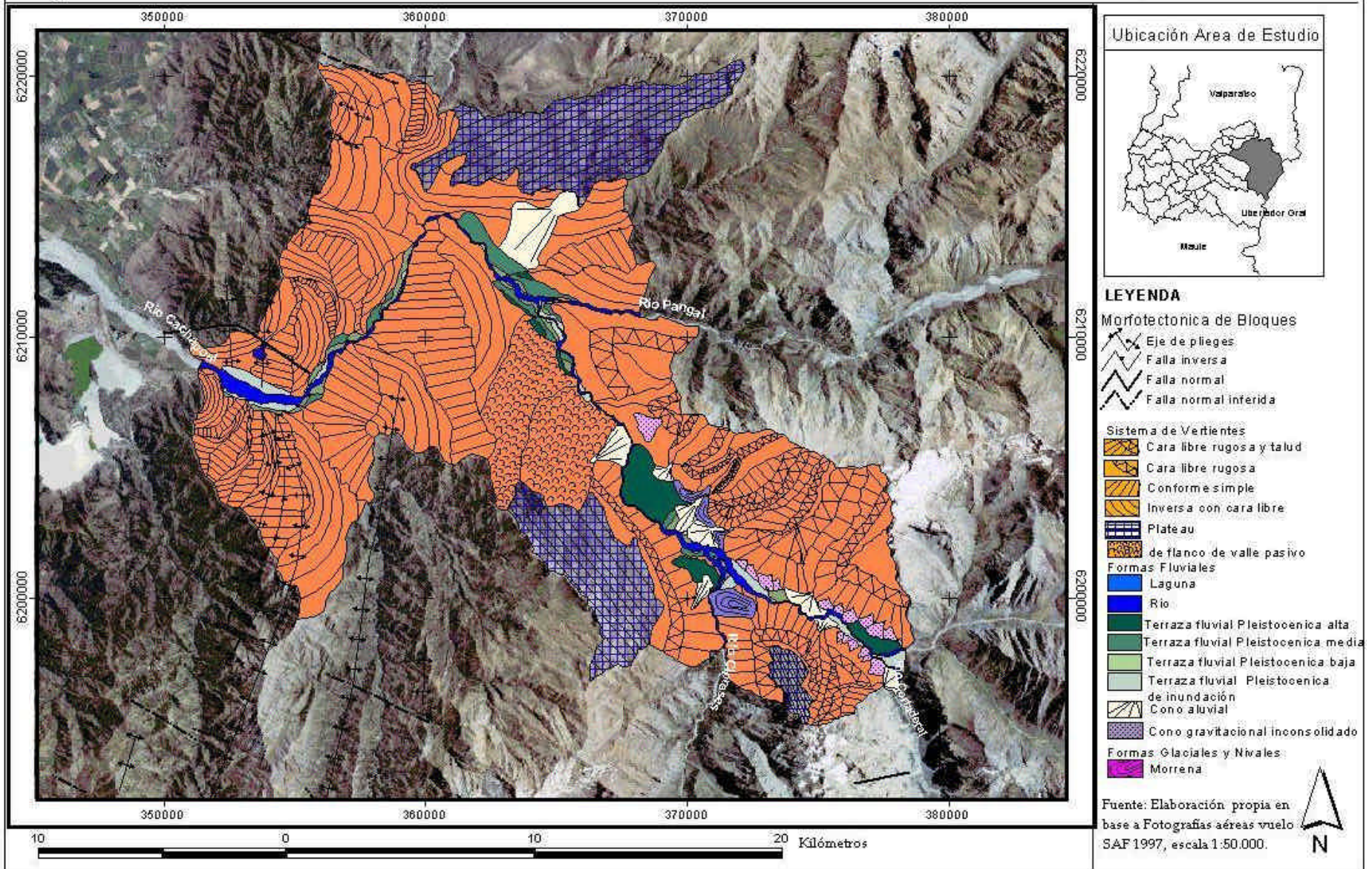


Fig. 12. Depósitos morrénicos y conos aluviales que asemejan una morfología similar a conos de dos historias (COTTON, 1948), sin embargo pertenecen a distintas morfologías y procesos. Sector frente a río Cipreses.

Fig. 13

**CARTA GEOMORFOLÓGICA, CORREDOR DE COMERCIO LAS LEÑAS, VI Región**



#### 4. Vegetación

La vegetación que se presenta en el área de estudio corresponde a bosques esclerófilos, cerca de Rancagua, hasta las localidades de Coya-Machalí. Hacia el sector de media montaña existe matorral esclerófilo, principalmente cercano a los ríos. El tipo de vegetación que existe a mayor altura es la estepa alto andina (Fig. 14).

Las especies arbóreas que se encuentran en el área son las siguientes: En alta montaña se observa principalmente *Quillaja Saponaria*, esto especialmente a orillas de los ríos Cortaderal y Cipreses. Frente a este último río se encuentran también una gran cantidad especies de *Cryptocarya Alba* y *Lithraea Cáustica*. En el sector de media y baja montaña existen especies del tipo *Quillaja Saponaria*, *Cryptocarya Alba*, *Lithraea Cáustica*, *Poemus Boldus*, *Acacia Cavens*, con una mayor densidad vegetacional.

A continuación en la Fig. 15 se presenta el NDVI (Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación) de la zona de estudio, obtenido mediante el trabajo con imágenes satelitales, tendiendo como resultado el reflejo de la vegetación existente en el área.

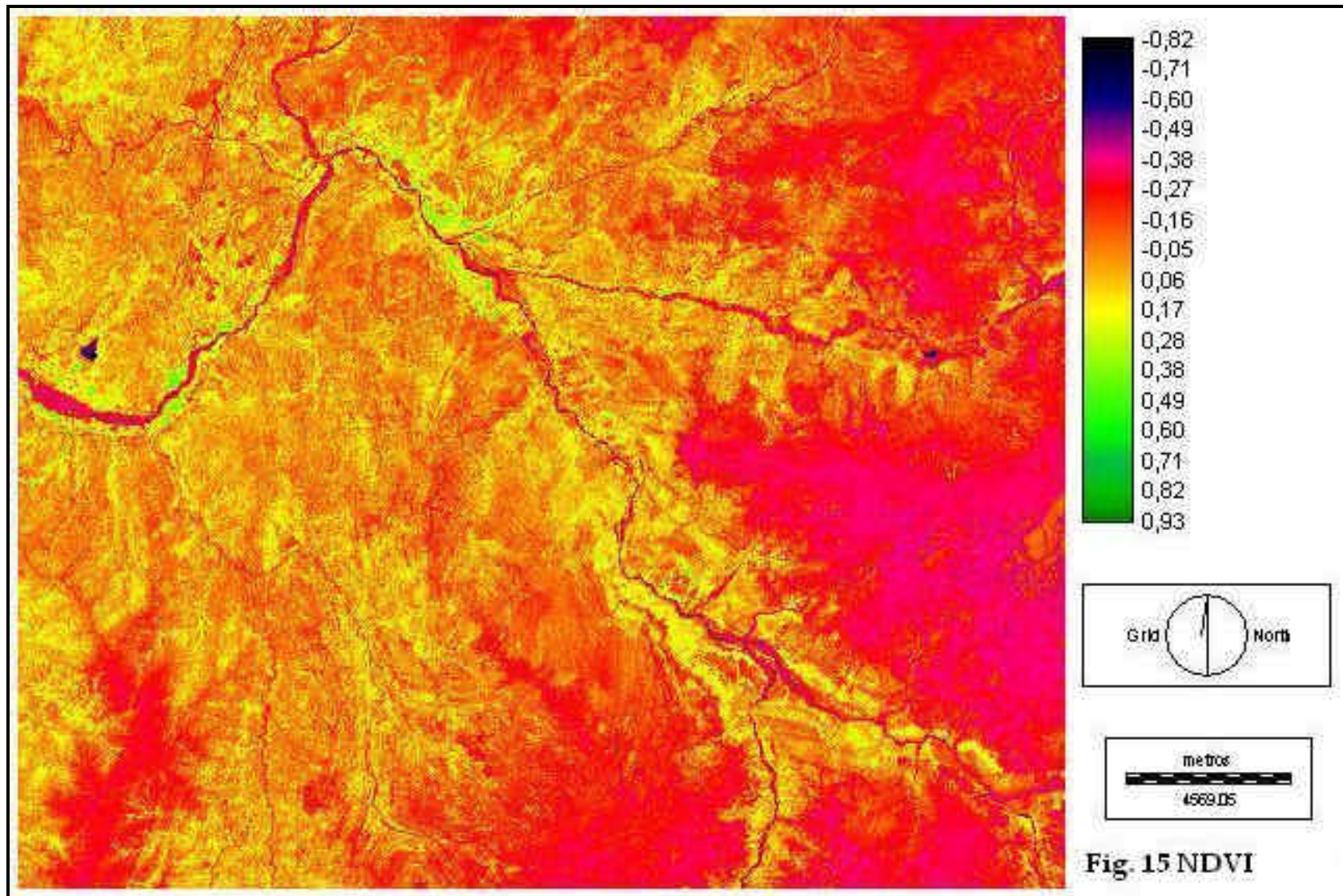
Los colores representados por amarillos y verdes, es decir, valores del índice mayor a 0 corresponden a existencia de vegetación en el área, sin embargo los valores negativos representan la inexistencia de vegetación.

En general la zona de estudio presenta una vegetación característica del tipo de ambientes de montaña, específicamente existe mayor vegetación y especies arbóreas cercanos al fondo de valle que se puede apreciar, a través de la imagen del NDVI, en tonos más verdes, sin embargo todo lo que aparece en tonalidades más amarillas corresponde más bien a especies matorrales y de menor importancia, cabe destacar la fecha de esta imagen satelital que es el 26 de diciembre de 1999, en

primavera, época en la cual existe una mayor cantidad de vegetación sobre todo de tipo matorral. Es importante también destacar la presencia del Parque Nacional Cipreses.



Fig. 14 Vegetación del área de estudio, ubicada principalmente en los sectores de valle, y cercanos al curso del río Cachapoal.



Fuente: Elaboración en base a imagen satelital Landsat ETM 1999, bandas 4 y 3 específicamente.

## 5. Capacidad de uso de suelo

Existe información de suelos del área de estudio hasta la localidad de Coya. La mejor calidad de suelos se encuentra en el sector de fondo de valle, en la zona de terrazas fluviales con una capacidad de uso I y II, luego hay una gran cantidad de superficie con capacidad de uso III, que corresponde al pueblo de Coya (Fig. 16). También hay una gran superficie con suelos V a VI, aptos para uso ganadero y otros sectores donde no existe desarrollo de suelos.

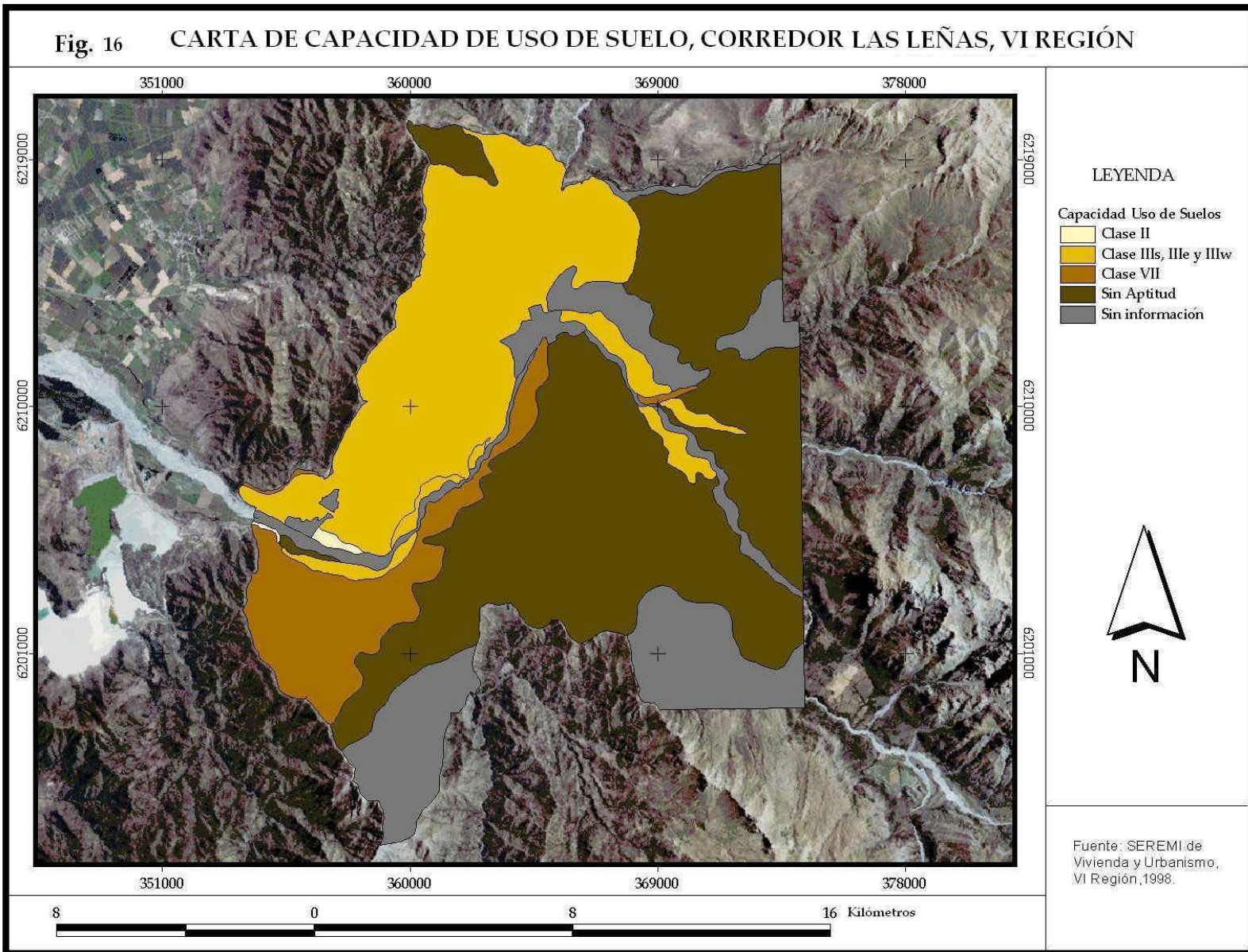
La formación de suelos de esta zona es casi inexistente por ser un lugar montañoso, donde sólo se pueden observar en las quebradas y terrazas fluviales.

Tabla N° 5 Características Suelos

CAPACIDAD DE USO	APTITUD AGRÍCOLA	APTITUD FRUTAL	EROSIÓN	INUNDACIÓN	NIVEL FREÁTICO
CLASE II	LIGERAS LIMITACIONES PARA TODOS LOS CULTIVOS DE LA ZONA.	LIGERAS LIMITACIONES	SIN EROSIÓN	NO EXISTE	NO EXISTE DENTRO DE LOS 120 CM
CLASE III <sub>s</sub> , III <sub>e</sub> y III <sub>w</sub>	MODERADAS LIMITACIONES PARA LOS CULTIVOS DE LA ZONA.	MODERADAS LIMITACIONES	SIN EROSIÓN	NO EXISTE	NO EXISTE DENTRO DE LOS 120 CM
CLASE VII	SUELOS DE APTITUD PREFERENTEMENTE FORESTAL.	SIN APTITUD FRUTAL	LIGERA	NO EXISTE	NO EXISTE DENTRO DE LOS 120 CM
CLASE VIII	SIN APTITUD AGRÍCOLA NI FORESTAL.	SIN APTITUD FRUTAL	MODERADA	NO EXISTE	NO EXISTE DENTRO DE LOS 120 CM
SIN INFORMACIÓN	SIN INFORMACIÓN	SIN INFORMACIÓN	SIN INFORMACIÓN	SIN INFORMACIÓN	NO EXISTE DENTRO DE LOS 120 CM

Fuente: CIREN CORFO

La tabla anterior muestra las capacidades de uso existentes en el área de estudio y sus características principales. Estos suelos pertenecen principalmente al sector de valle y terrazas existentes en la zona. No se observan condiciones de inundación y el nivel freático se encuentra bajo los 120 cm de profundidad, por lo que se infiere que el sector no posee suelos de mal drenaje.





---

## 6. Clima

Las precipitaciones y temperaturas son difíciles de determinar en este sector, debido a la existencia de distintos ambientes morfoclimáticos, además la precipitación no depende sólo de la cota, sino también de tu entorno local (exposición) y regional (efecto de la topografía).

Los datos utilizados para el análisis de esta zona, corresponden a estaciones pluviométricas que pertenecen a la Dirección General de Aguas (Fig. 9).

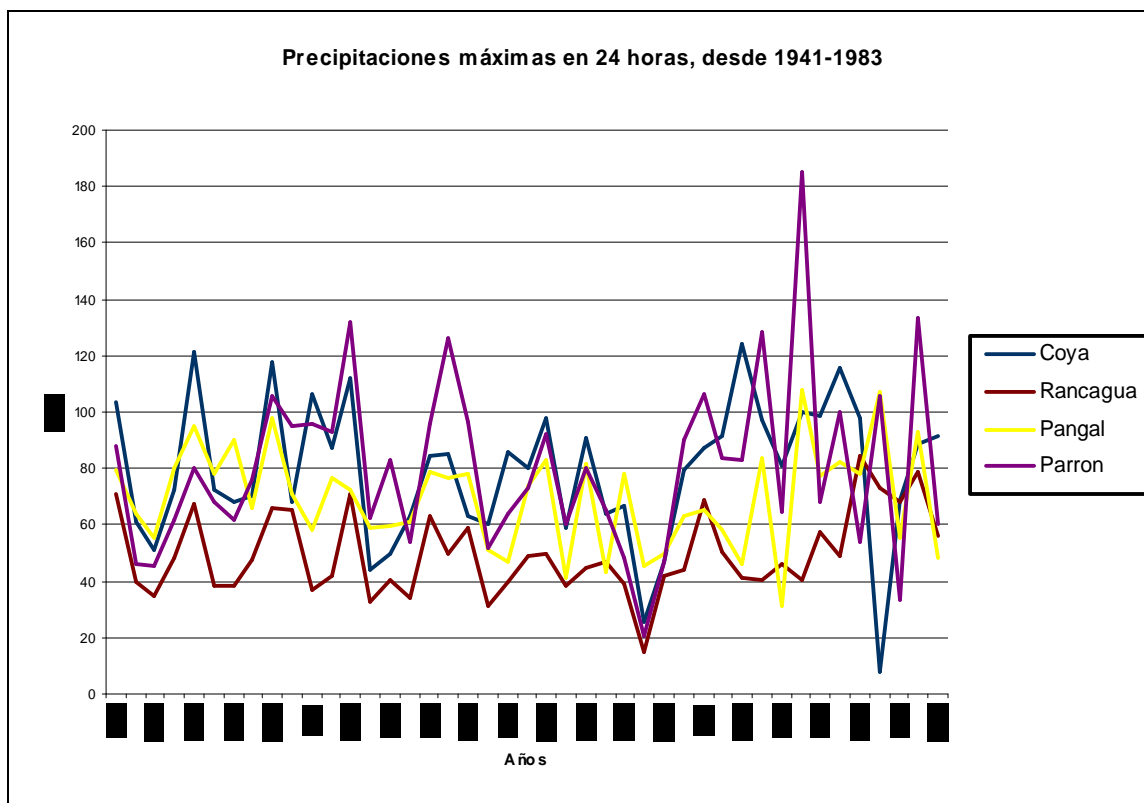
Tabla N° 6 Localización de las Estaciones (datos 1941-1983)

Estación	Latitud	Longitud	Altura
Rancagua	34° 10'	70° 45'	500 m.s.n.m.
Coya	34° 12'	70° 33'	785 m.s.n.m.
Parrón	34° 12'	70° 30'	696 m.s.n.m
Pangal	34° 15'	70° 20'	920 m.s.n.m

De acuerdo a la data climática elaborada por la Dirección General de Aguas (DGA) en su Balance Hídrico Nacional, las precipitaciones promedio anuales en las ciudades de Rancagua y Machalí, alcanzan respectivamente, los 436 mm y 550 mm; que se distribuyen principalmente en los meses de mayo a agosto. Respecto a la estacionalidad de las precipitaciones, al comparar la zona de estudio con la zona costera, la distribución de las precipitaciones es más uniforme en esta última.

La figura a continuación muestra las precipitaciones máximas en 24 hrs, desde 1941 a 1983, demostrando que la estación Parrón es la que tiene las mayores máximas de precipitación en el período, y siendo también la estación de Rancagua la que posee los valores más bajos en comparación con las otras estaciones del sector, esto principalmente debido a la ubicación de la estación en una zona de valle.

Fig. 17



Para mejorar la cobertura y validez de la información, mediante el Proyecto DID TNAC 11-02/01 se instalaron 2 estaciones meteorológicas automáticas, donde se obtuvieron registros cada 1 hora de la intensidad de precipitación (mm/hr) entre los meses de abril y agosto del 2002. Estos datos son complementarios a la información anterior (Fig. 9).

Tabla N° 7 Ubicación de estaciones.

Estación	Latitud	Longitud	Altura	Institución
Rancagua	34° 10'	70° 39'	530 m.s.n.m.	DMC
Coya	34° 12'	70° 32'	820 m.s.n.m	UCH-DGF
Cachapoal	34° 21'	70° 22'	1229 m.s.n.m.	DGA-MOP
Las Leñas	34° 23'	70° 16'	1589 m.s.n.m.	UCH-DGF

La estación Cachapoal presentó problemas de medición por lo que sus datos son poco confiables.

Entre los meses estudiados (abril-agosto 2002) Rancagua, Coya y Las Leñas alcanzaron 800, 2100 y 3000 mm, respectivamente. Se observó que el aumento de la precipitación acumulada con la altura no es uniforme: 430 mm/100 m en el primer tramo y 120 mm/100 m en el segundo. La razón entre las precipitaciones acumuladas respecto a Rancagua es de 2.6 para Coya y 3.8 para Las Leñas. Claramente, la ubicación de Coya en los primeros contrafuertes de la cordillera produce un significativo aumento en su precipitación (GARREAU, 2003).

El autor señala que muchas veces se asume que la diferencia de temperaturas entre dos puntos en una misma región está fuertemente controlada por la diferencia de cota entre ellos. Sin embargo, esta disminución de la temperatura con la altura no es evidente en la diferencia de temperaturas entre Las Leñas y Coya, pues ellas están influidas por factores locales. La excepción la constituyen los periodos de tormentas pues en ellas existe una buena mezcla del aire y la disminución de la radiación solar atenúa casi por completo el ciclo diario (GARREAU, 2003).

## **7. Características sociales**

La única localidad poblada que se encuentra dentro del área de estudio es Coya, que posee la categoría de pueblo (Fig. 18). Perteneció a la comuna de Machalí donde se encuentra el área de estudio del corredor Las Leñas; esta localidad posee servicios básicos como bomberos, carabineros, y una oficina municipal. A continuación se muestra en la Tabla N° 8 la evolución de su población.

Tabla N° 8 Evolución de la Población de la localidad de Coya 1960-2002

<b>Año/Pueblo Coya</b>	<b>Población Total</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
1960	916	
1970	1509	4,89 % (1960-1970)
1982	3841	7,26 % (1970-1982)
1992	3241	-1,69 % (1982-1992)
2002	2932	-1,00 % (1992-2002)

Fuente: Elaboración propia en base a información de Censos de Población y Vivienda de 1960 a 1992, 2002

Tabla N° 9 Variación de cantidad de Viviendas en la localidad de Coya 1960-2002

<b>% Variación vivienda 60-70</b>	<b>% Variación vivienda 70-82</b>	<b>% Variación vivienda 82-92</b>	<b>% Variación vivienda 92-02</b>
40,30	52,02	114,36	96,30

Fuente: Elaboración propia en base a información de Censos de Población y Vivienda de 1960 a 1992, 2002.

La población de Coya ha experimentado desde los años 1960 a la fecha un decrecimiento de la cantidad de habitantes debido a la expulsión de población hacia Machalí y Rancagua.

Coya, Rancagua y Santiago, fueron sedes de los cargos de mayor nivel de Sewell. Este último y los demás campamentos e instalaciones de la empresa Bramen, están ubicados en territorios de gran extensión en la zona pre-cordillerana y de cordillera al oriente de la ciudad de Rancagua, y son satélites de esta ciudad capital regional. Se encuentran unidos a ella por la Carretera del Cobre, y entre sí por otros caminos secundarios que confluyen a esta vía.

En la actualidad muchos de sus habitantes han migrado hacia otras ciudades o pueblos y es así como las casas de estos altos ejecutivos de Sewell se encuentran deshabitadas.

Hasta el censo de 1992, la población se concentraba mayoritariamente en el sector etáreo de 15 a 64 años (63, 28%), siendo entre los 25-44 años el segmento con mayor cantidad de población inserto en este rango.

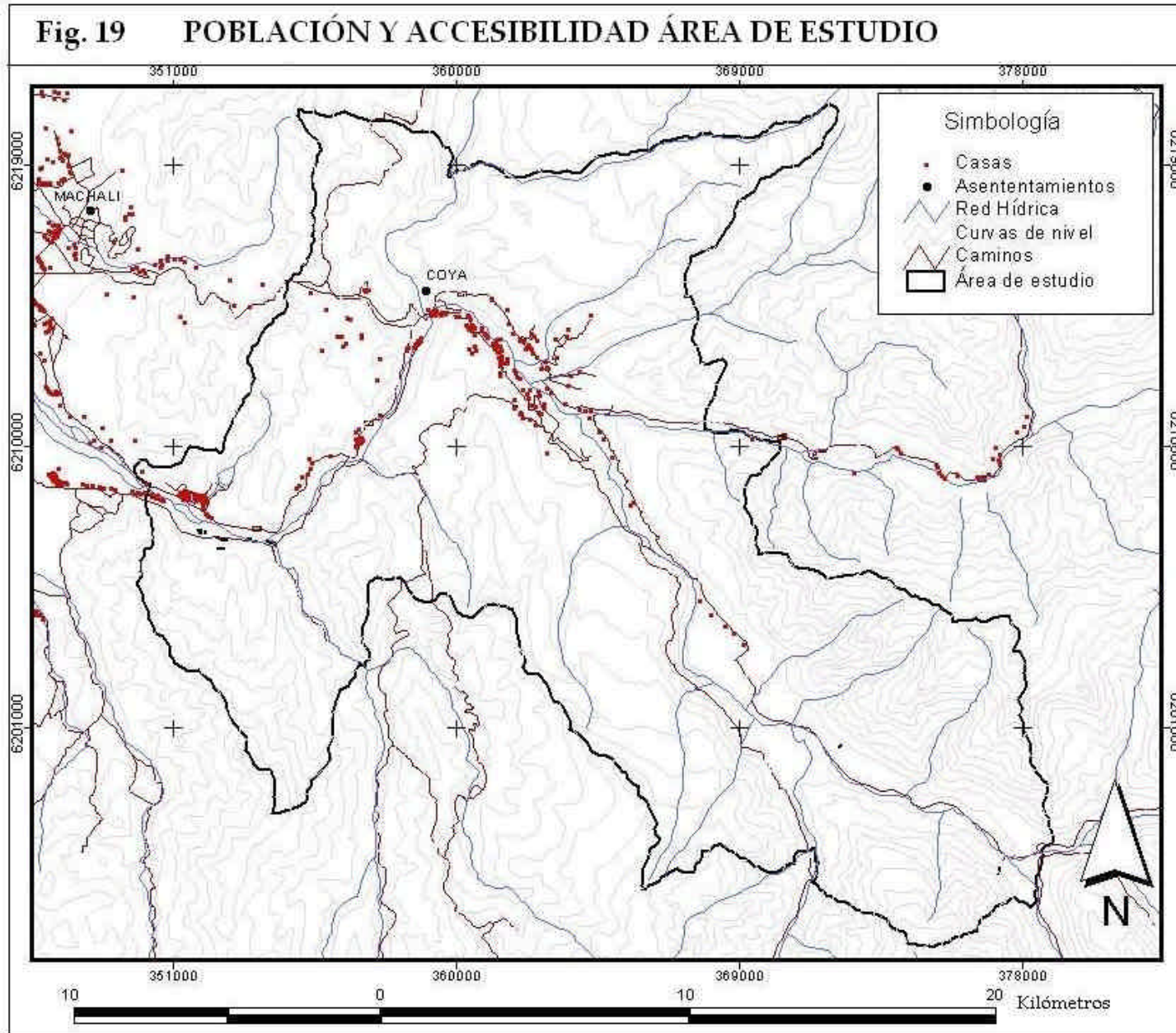
Un 60% de los habitantes de Coya tiene un nivel de enseñanza básica esto también debido en parte a que un 31.50% de la población se encuentra en el segmento etáreo de educación básica de 0-14 años.

Los sectores económicos predominantes en la localidad son el terciario y el primario, en donde hay un 45,29% de la población ocupada en el sector terciario, y en el sector primario un 40,52%.

Esta localidad cuenta con equipamiento básico de infraestructura, con un 95.05% de cobertura de alumbrado eléctrico en 1992, un 92.02% de agua a través de red pública, mediante cañería; con respecto a la conexión al servicio higiénico se encuentra en un 47.59% con alcantarillado y un 52.41% sin alcantarillado.



Fig. 18: Pueblo de Coya.



---

## CAPITULO III

### I AMENAZAS NATURALES

A continuación se presentan las amenazas naturales que afectan al corredor de comercio Las Leñas, en su tramo estudiado específicamente en esta investigación. El orden de presentación corresponde a los peligros estudiados, junto con las variables que actúan en la conformación de estos.

#### 1. Peligros geomorfológicos

Para poder obtener información acerca de los peligros naturales geomorfológicos, se analizó cada una de las variables que influyen en este fenómeno, tal como fue explicado en la metodología, por lo que ahora se presentan individualmente con un nivel de amenaza asociado a cada clasificación por variables y su expresión espacial en el área de estudio.

##### 1.1 Pendientes

Los niveles de pendientes se determinaron según lo propuesto por ARAYA-VERGARA & BORGEL (1972), YOUNG (1975) y FERRANDO (1993), presentadas en la metodología. Según estos rangos se establecieron los niveles de amenaza asociados:

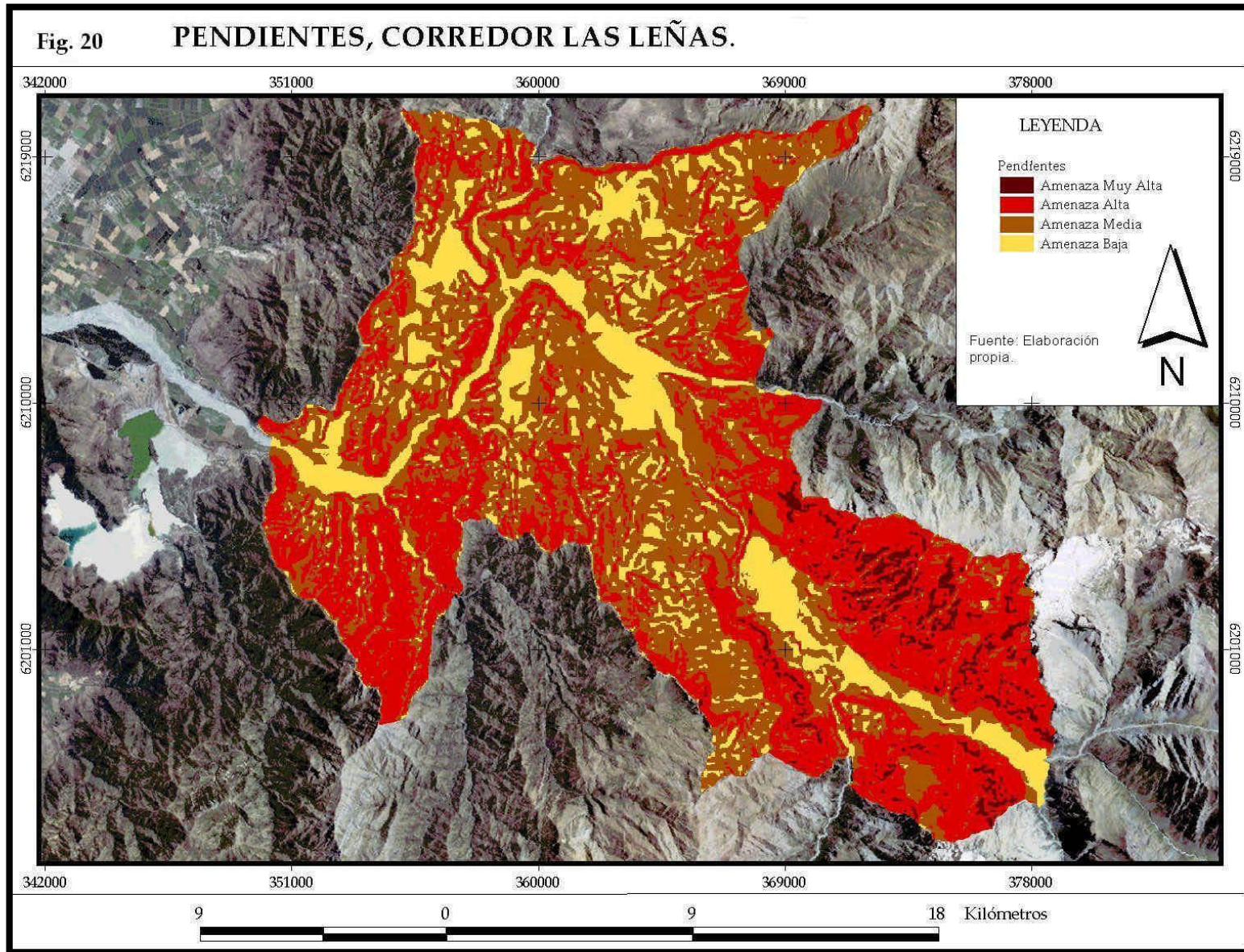
Tabla N° 10 Clasificación de riesgos asociados a Pendientes

Pendientes (°)	Proceso	Nivel de Amenaza
0° a 2°	Erosión nula a leve	Bajo
2,1° a 5°	Erosión débil	Bajo
5,1° a 10°	Erosión moderada a fuerte	Medio
10,1° a 20°	Erosión intensa, cárcavas	Medio
20,1° a 30°	Movimientos en masa, reptación	Alto
30,1° a 45°	Coluvionamiento, inicio de derrubación	Alto
45° a más	Desprendimiento y derrumbes.	Muy Alto

Fuente: Clasificación de pendientes propuesta por ARAYA-VERGARA & BORGEL (1972), YOUNG (1975) y FERRANDO (1993), modificada y presentada por MESINA (2003).

A la clasificación de pendientes se le asoció un nivel de amenaza según los procesos que se generan con cada rango de pendientes, lo que se aprecia en la tabla anterior. A continuación se muestra la Fig. 20, donde se aprecia que las pendientes de altos valores tienen una mayor expresión espacial, las que se clasifican en el rango de amenaza alta, seguido por los sectores de pendientes de menor valor cercanos al valle del río Cachapoal. Este sector posee un nivel de amenaza de medio a bajo, y finalmente la existencia de amenaza muy alta se da en un sector específico, el que se encuentra entre el río Cortaderal y río Cipreses, concretamente en las vertientes del sector norte.





---

## 1.2 Exposición

La orientación de las vertientes es considerada como un factor condicionante en los movimientos en masa, debido a las diferencias de humedad existentes entre umbría y solana (WILLIAMS & GUY en GARCÍA-RUIZ, 1990).

Utilizando siempre la misma metodología se llegó al siguiente nivel de amenaza asociado a la exposición.

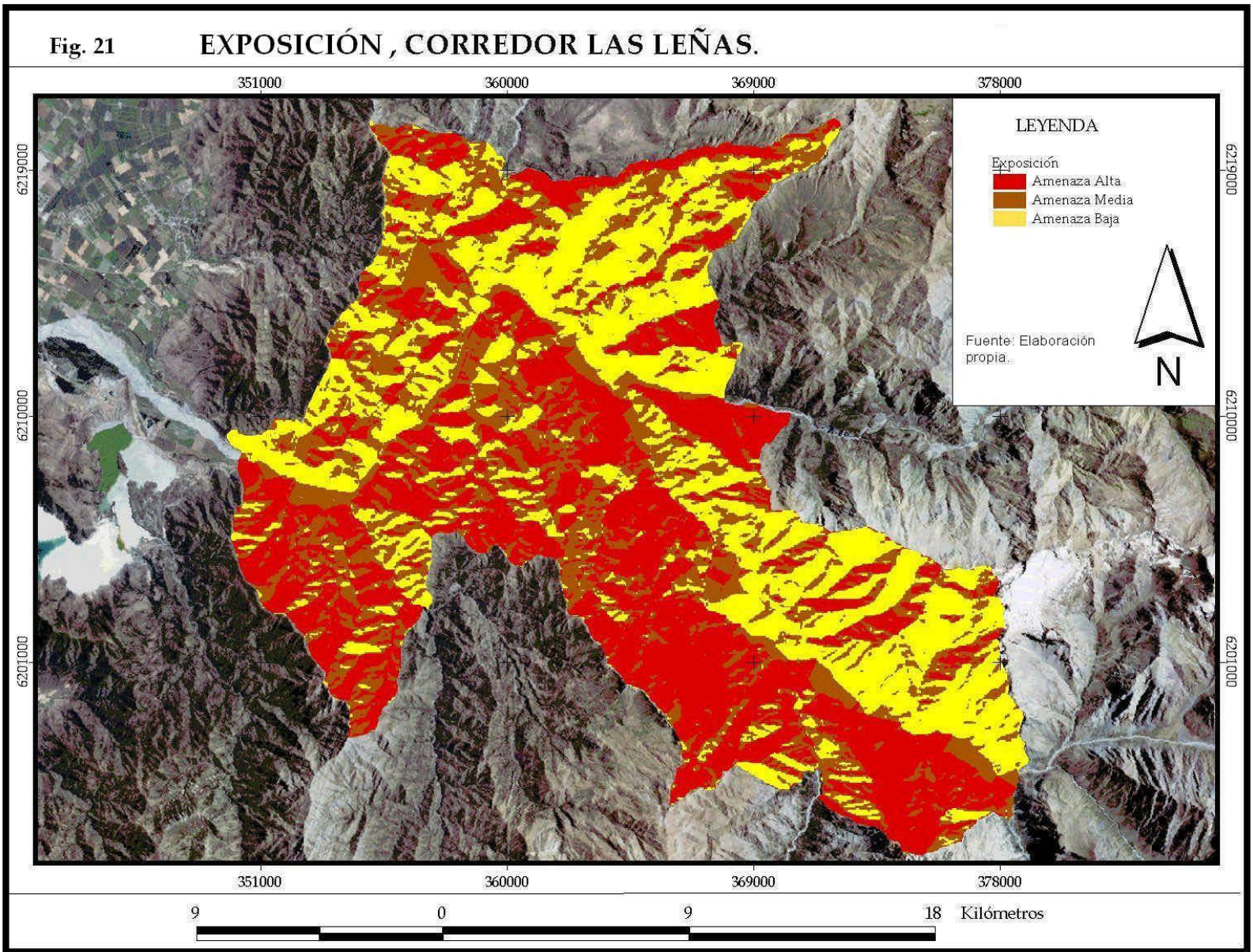
Tabla N° 11 Nivel de amenaza asociado a la exposición

Exposición	Nivel de amenaza
Norte	Alto
Sur	Bajo
Este	Medio
Oeste	Medio
Plano	Medio

Fuente: Adaptado de GARCÍA-RUIZ, 1990 y elaboración propia.

Esta categoría de exposición se refiere específicamente, como se dijo anteriormente, al grado de humedad que posee y por lo tanto condicionado a esta característica, el grado de cobertura vegetal. Es así como las vertientes de exposición norte poseen menor humedad y por lo tanto menor cobertura vegetal, por lo que esta exposición posee una menor protección ante amenazas de deslizamientos y derrumbes en el área de estudio.

La Fig. 21 muestra una gran presencia de exposición norte, la que refleja una amenaza alta debido al menor desarrollo de vegetación en las laderas con esta exposición y por lo tanto presentan un mayor nivel de riesgo asociado a derrumbes y deslizamientos.



---

### 1.3 Vegetación

La representación de esta variable se basa en la cobertura vegetal existente en el área de estudio, es decir se considera la densidad vegetal.

Tabla N° 12 Nivel de amenaza asociado a la densidad vegetal.

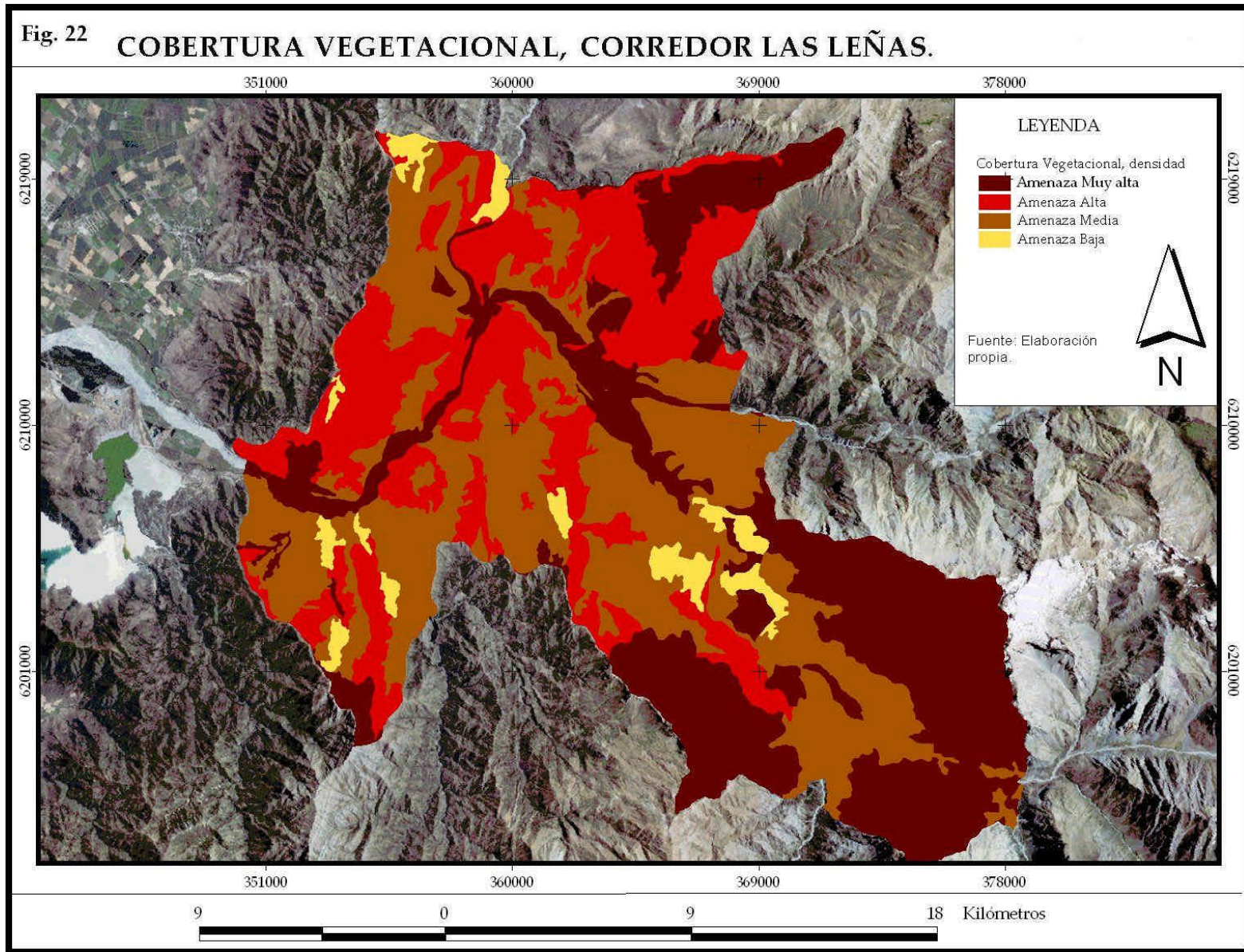
Densidad vegetal	Nivel de amenaza
Denso	Bajo
Semidenso	Medio
Abierto	Alto
Sin Vegetación	Muy Alto

Fuente: GARCÍA-RUIZ, 1990.

La cobertura vegetal permite una protección de las laderas, esto por lo tanto evita derrumbes y deslizamientos, así, a mayor densidad vegetal, existe una menor amenaza de deslizamientos y derrumbes, a diferencia de lo que es una clase abierta en donde la vegetación, se encuentra más dispersa en el área.

Esta información fue obtenida mediante los catastros de bosque nativo el que posee la información de densidad, según el porcentaje de cobertura que presentan.

La Fig. 22 muestra la representación espacial de esta variable, donde los sectores sin vegetación son los que poseen un nivel de amenaza muy alto, lo que en este sector es ampliamente encontrado principalmente en las áreas de mayor altura. Ocurre con esta variable una particularidad, ya que en la zona de baja montaña cercano al sector al pueblo de Coya existe una amenaza alta, es decir hay poca densidad vegetal, esto se puede explicar principalmente por la exposición y el factor antrópico, es decir a la existencia de población y actividades de ésta.



#### 1.4 Sistema de vertientes

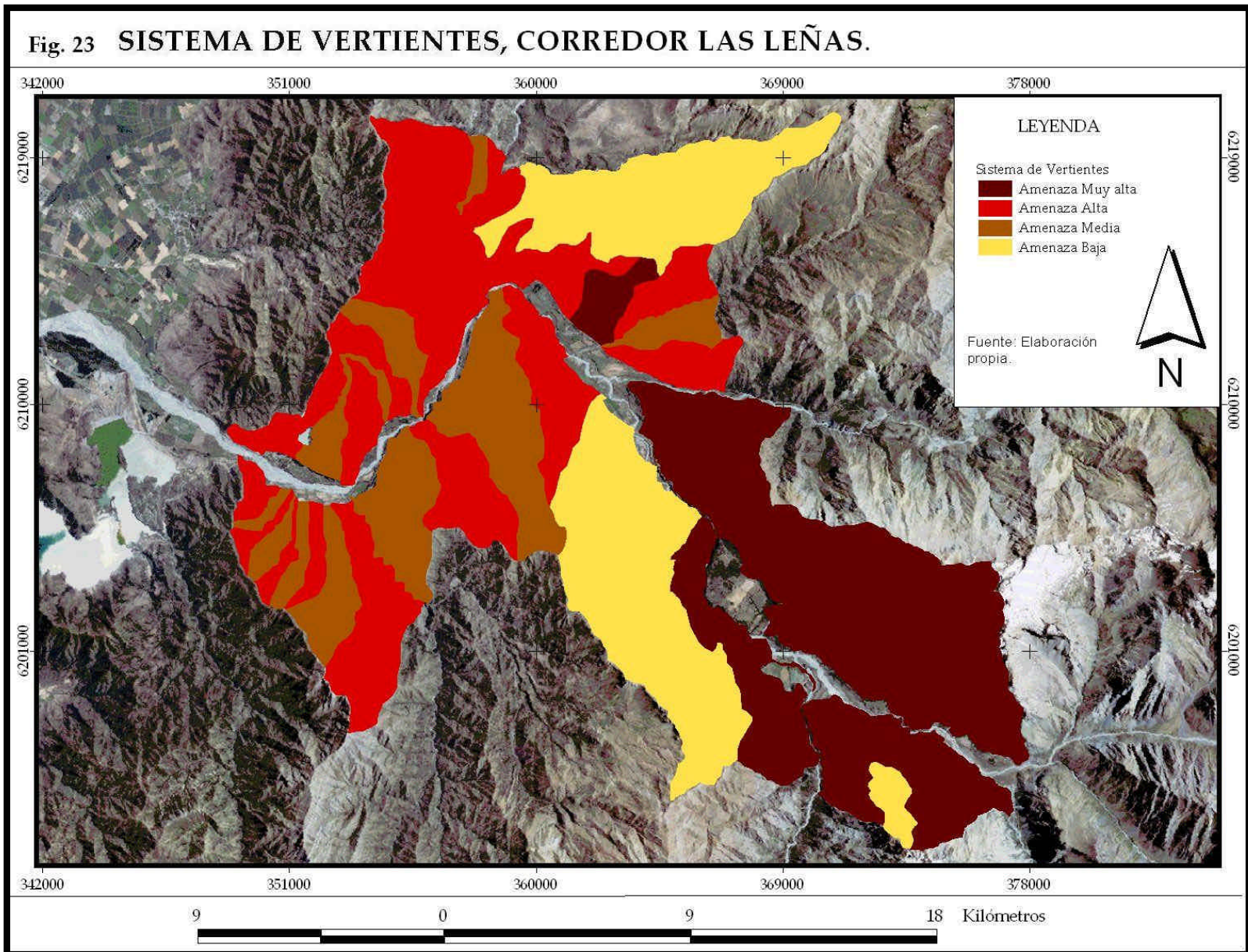
La clasificación de vertientes se basa en lo realizado por ARAYA-VERGARA (1985), para la cuenca del río Mapocho, donde se clasificaron las vertientes según sus estructuras y plegamientos, y por lo tanto, se pueden asociar a ciertos procesos de riesgo por el aporte de materiales que se pueden desprender de ellas. El nivel de amenaza asociado a cada sistema de vertiente, se basa en lo realizado por FERRANDO (1994) para la cuenca andina del río Mapocho, en donde a cada clase le asoció un nivel de erodabilidad y según éste, el nivel de amenaza que se muestra a continuación:

Tabla N° 13 Nivel de amenaza asociado a tipos de vertientes.

Sistema de vertientes	Nivel de amenaza
Cara libre	Muy alto
Conforme	Medio
Inversa indiferenciada	Alto
Residual de plateau	Bajo
Flanco de valle pasivo	Bajo
Cara libre rugosa y talud	Muy alto
Formas basales	Muy alto

Fuente: ARAYA-VERGARA, 1985 y FERRANDO, 1994.

Las vertientes de cara libre y cara libre rugosa y talud, son las que poseen el nivel de amenaza más alto, debido a que tienen un gran nivel de erodabilidad. Estas tienen una gran extensión en el área de estudio, desde el río Pangal hasta el río Las Leñas por el sector norte y hacia el sur, desde el río Cipreses hasta el río Las Leñas. En el sector de baja montaña el mayor nivel de amenaza se encuentra en las vertientes inversas, las que poseen un nivel de erodabilidad alto y por lo tanto un nivel de amenaza también alto. Todo esto se puede observar en la siguiente figura.



## 1.5 Formación geológica

Esta variable al igual que las otras se clasifican según la susceptibilidad que tienen, y el grado en que pueden desencadenar desastres, específicamente derrumbes, fenómenos gravitacionales, deslizamientos.

KÜHNI & PFIFFNER (2001), realizaron una clasificación basada en la erodabilidad de los materiales de cada formación, la que aplicaron a los Alpes Suizos. DELGADO (inédito), agregó a esta clasificación el grado de vulnerabilidad asociado, aplicado para la cuenca del río Las Leñas. A continuación se presenta cada formación geológica presente en el área de estudio y su grado de amenaza asociado.

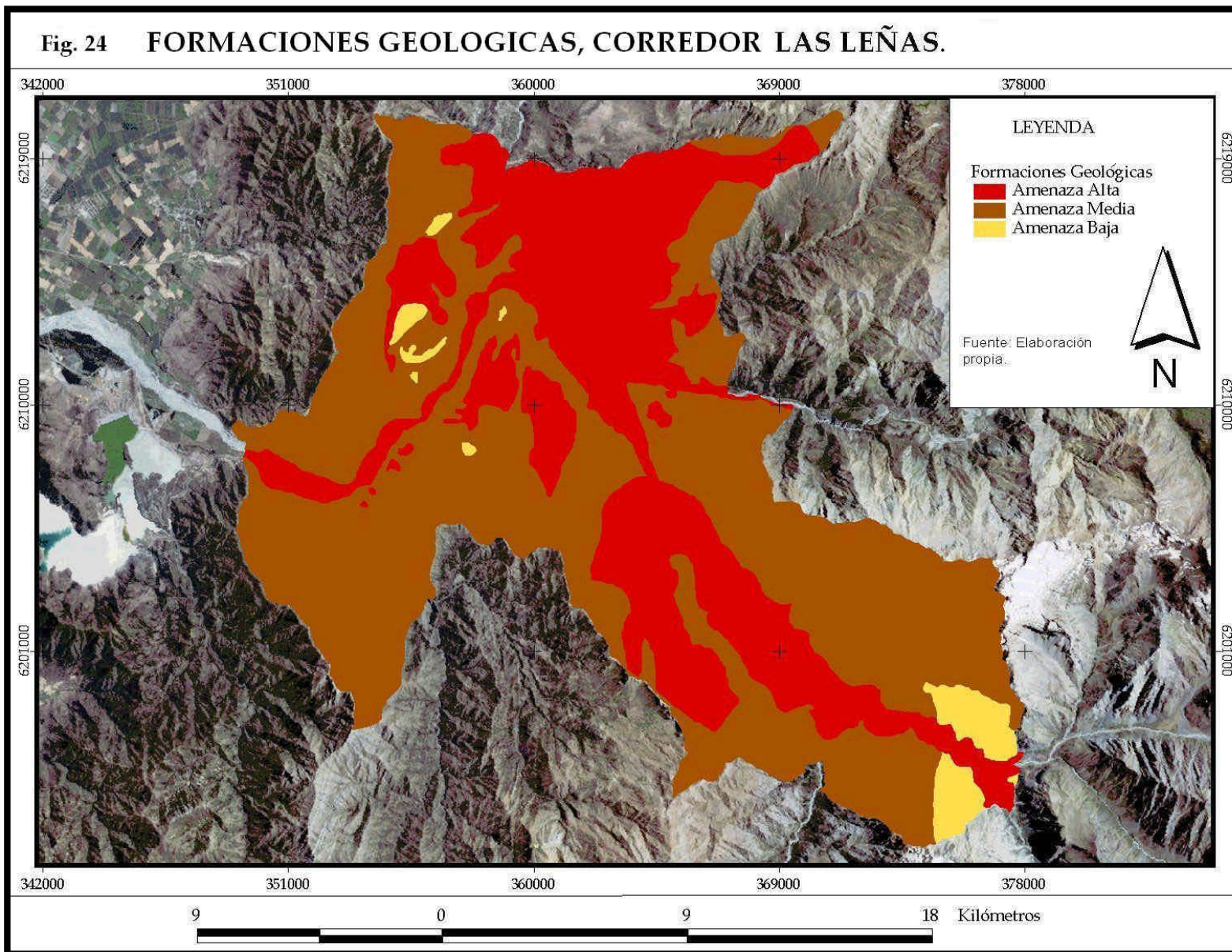
Tabla N° 14 Nivel de amenaza asociado a las formaciones geológicas.

Formaciones geológicas	Nivel de amenaza
Formación Coya-Machalí	Medio
Formación Farellones	Medio
Sedimentos Aluviales	Alta
Rocas intrusivas	Baja

Fuente: KÜHNI & PFIFFNER (2001); DELGADO (inédito) y elaboración propia.

La Fig. 24 expresa en su mayoría una amenaza media, mientras que la amenaza alta se encuentra principalmente en el sector de fondo de valle debido a que los sedimentos aluviales presentan una amenaza mayor, además de también incluir en esta categoría los sectores de peligro de lahares que se encuentran hacia el norte del pueblo de Coya.





---

## 2. Peligro de Inundaciones

Se analizaron las variables de inundaciones históricas, socavamiento lateral de terrazas e índice de compacidad.

Como registros históricos de inundaciones se recurrió a información entregada por el programa *DESINVENTAR* realizado por *La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*, información que se encuentra en Internet y posee un registro de eventos según información recopilada a través de periódicos del país y la zona.

Los registros de inundaciones son los siguientes:

Fecha	Lugar	Causa	Consecuencia
18-07-1980	Coya	Precipitaciones	22 damnificados
14-06-1986	río Cachapoal	Desborde río	
03-05-1993	Coya	Precipitaciones	43 damnificados

### 2.1 Caudales

La cuenca del río Cachapoal, es cordillerana de régimen nivopluvial, el que tiene sus mayores caudales en la época de deshielos. En la estación hidrotérmica Cachapoal en Puente Termas (sector que se encuentra entre Machalí y Coya, a 710 m.s.n.m.), los caudales medios de verano son de 125 m<sup>3</sup>/s, y en invierno son de 50,3 m<sup>3</sup>/s. El caudal medio anual de ésta es de 87,5 m<sup>3</sup>/s (BUSTAMANTE, 2002).

Se analizaron los caudales extremos de dos estaciones ubicadas en la zona de estudio, los datos fueron tomados por la Dirección General de Aguas.

Tabla N° 15 Localización de estaciones fluviométricas.

Estación	Código BNA	Altitud	Latitud	Longitud	subcuenca	Área drenaje
RÍO CORTADERAL ANTE JUNTA RÍO CACHAPOAL	06002001-9	1200 msnm.	34° 21'	70° 20'	Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	382 km <sup>2</sup>
RÍO CACHAPOAL 5 KM. AGUAS ABAJO JUNTA CORTADERAL	06003001-4	1100 msnm.	34° 20'	70° 23'	Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	888 km <sup>2</sup>

Fuente: Datos entregados por DGA en el año 2003.

La primera estación posee datos del período 1985-1997, sin embargo sólo se utilizaron para efectos de referencia puesto que las mediciones son irregulares, por lo tanto, la confiabilidad de las mediciones de la estación no permite realizar estimaciones precisas.

La estación del río *Cachapoal* tiene una mayor cantidad de datos desde 1989 al 2001 teniendo a diferencia de la anterior, datos correlativos a pesar de que existen meses en que no hay registros.

Ambas estaciones son parte de la cuenca del río Rapel, con un régimen pluvio-nival, por lo que posee un *peak* producto de las lluvias entre los meses de mayo a junio y luego otro *peak* en la época de deshielos en diciembre.

A continuación se muestran los gráficos que reflejan los caudales extremos máximos mensuales de ambas estaciones.

Fig. 25 Gráfico de caudales máximos extremos mensuales río Cortaderal.

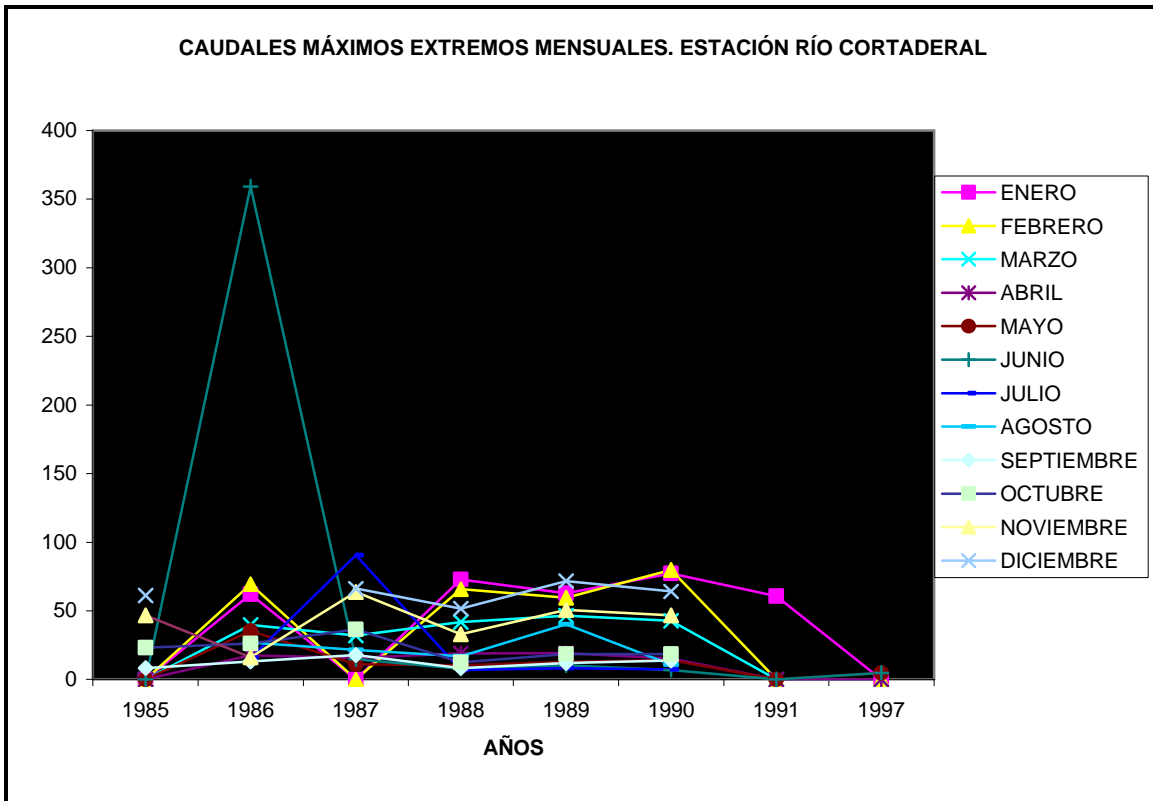
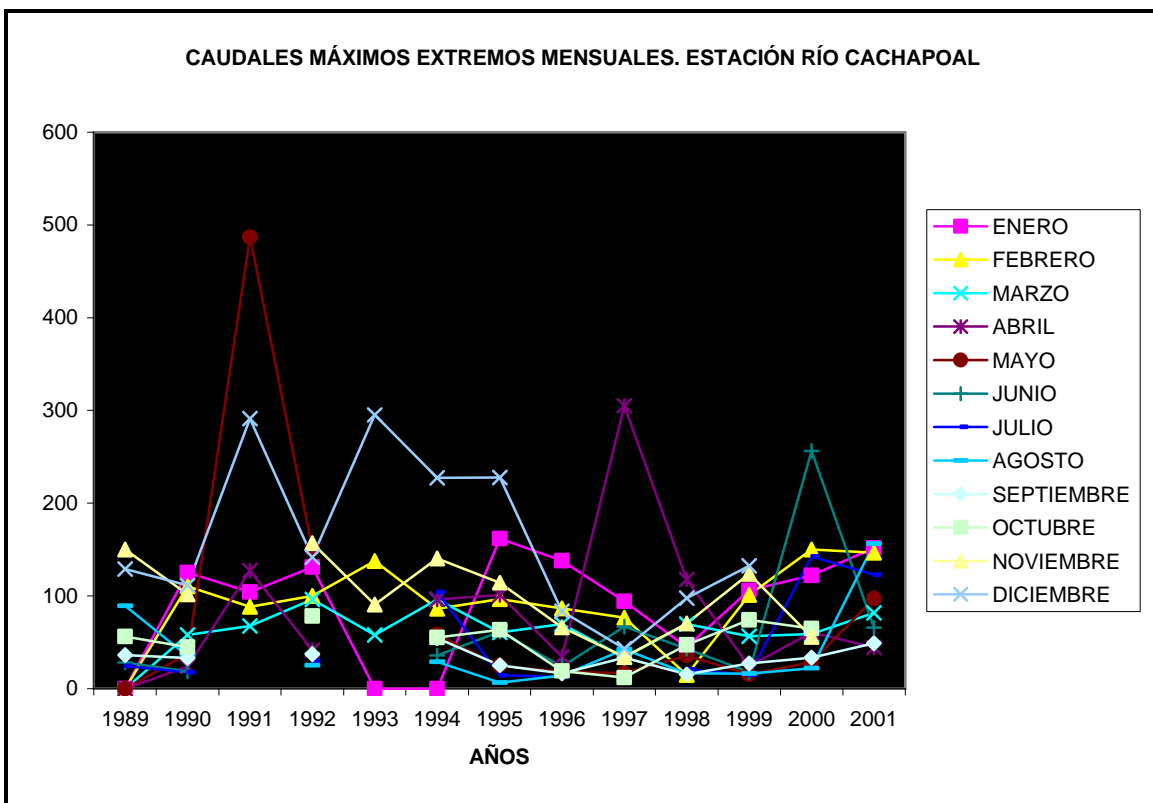


Fig. 26 Caudales máximos extremos mensuales estación río Cachapoal



## 2.2 Nivel de encauzamiento

El nivel de encauzamiento se refiere a la protección del cauce ejercida por los diferentes niveles de terrazas existentes en el área de estudio, los que son cuatro, que se clasificaron según su altura.

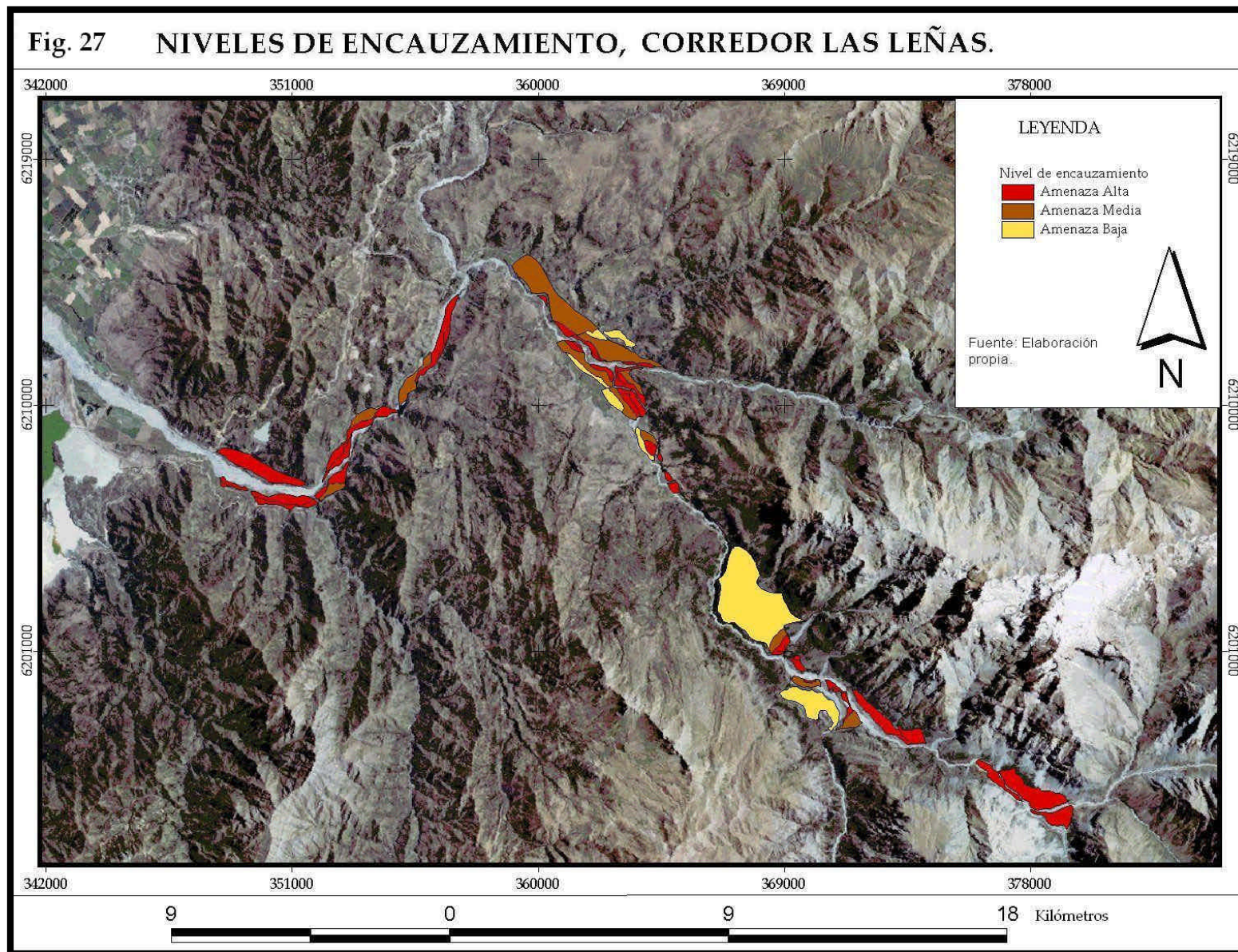
Tabla N° 16 Nivel de amenaza asociado a terrazas fluviales

Sistema de Terrazas fluviales	Nivel de amenaza
Terraza Pleistocénica fluvial alta	Bajo
Terraza Pleistocénica fluvial media	Medio
Terraza Pleistocénica fluvial baja	Alto
Terraza Pleistocénica fluvial de inundación	Muy Alto

Fuente: ARAYA-VERGARA, 1985 y elaboración propia.

La figura a continuación presenta el nivel del encauzamiento de la zona de estudio. Se puede apreciar que el sector de fondo de valle más amplio se presenta frente al río Cipreses, en donde hay un mayor desarrollo de terrazas en cuanto a su amplitud y altura, es así como se puede encontrar en este sector hasta el nivel de terrazas más antiguo, que es la terraza pleistocénica fluvial alta, localizándose también en el río Pangal, aunque las que se presentan en este último sector son de menor amplitud que en el sector del río Cipreses.

El resto del curso del río Cachapoal, (en el sector estudiado en este trabajo) presenta terrazas alargadas y angostas, que son la terraza pleistocénica fluvial baja y de inundación, las que son más recientes, y pertenecen a la categoría de amenaza alta, presentándose éstas espacialmente en mayor cantidad, a diferencia de los otros niveles de terraza.



---

### 2.3 Índice de Torrencialidad

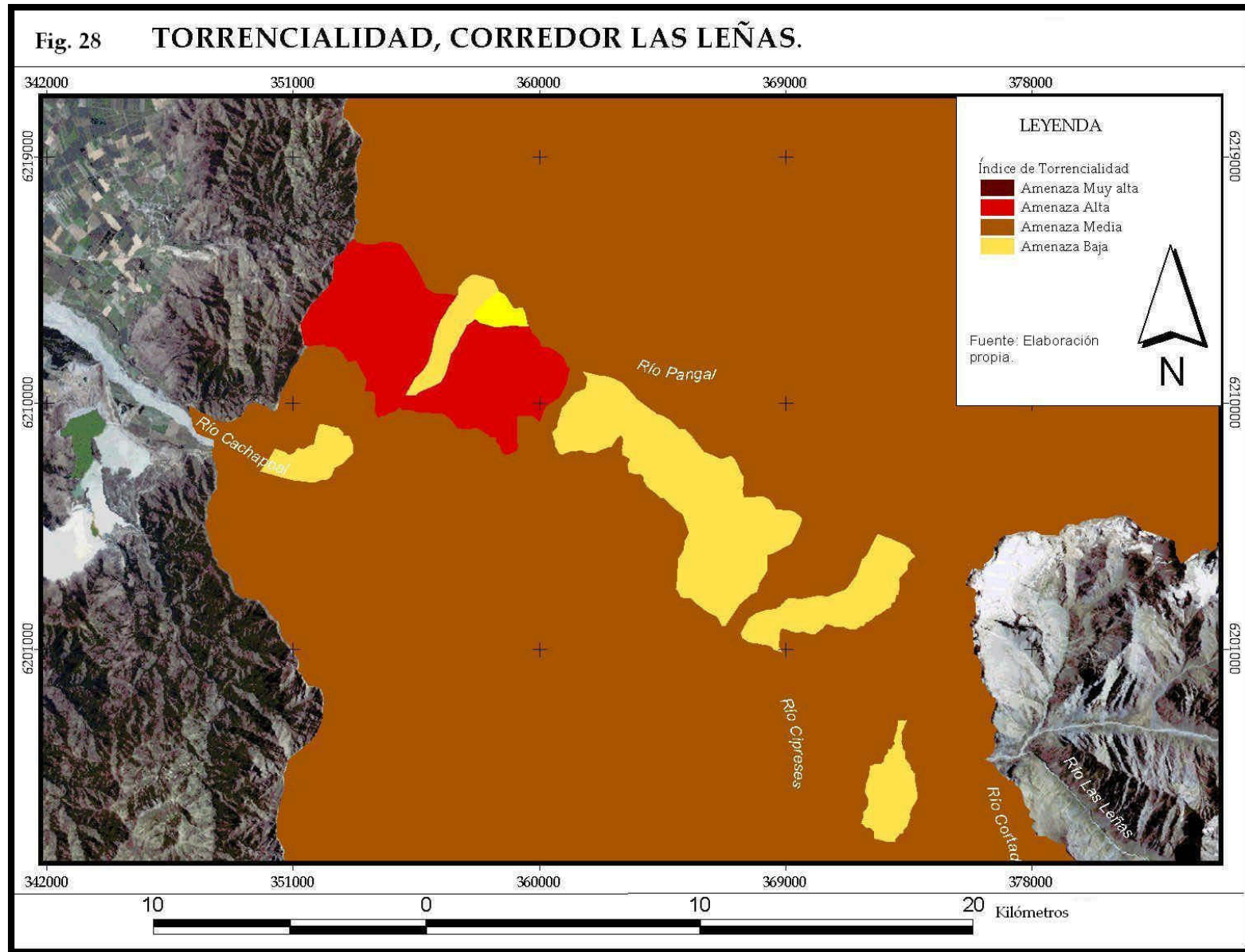
Este índice mencionado en la metodología, se refiere al nivel de torrencialidad de la cuenca, donde a valores más altos, mayor es el nivel de amenaza. Los rangos presentados en la tabla N° 17, fueron los obtenidos en las cuencas existentes en el área de estudio, los que posteriormente se dividieron en cuatro clases (mediante la aplicación de desviaciones standard), asumiendo para cada uno de ellos un nivel de amenaza asociado.

Tabla N° 17 Nivel de amenaza asociado al índice de torrencialidad de las cuencas.

Índice de torrencialidad	Nivel de amenaza
0 a 0,44	Bajo
0,45 a 2,41	Medio
2,42 a 3,3	Alto
3,4 a 4,5	Muy Alto

Fuente: FERRANDO (1994) y elaboración propia.

En la Fig. 28, se muestra la representación espacial de lo explicado anteriormente, en donde se puede observar el dominio de una amenaza media de torrencialidad, seguida por una amenaza alta, la que se encuentra cercana al pueblo de Coya.





---

### 3. Peligros Sísmicos

El peligro sísmico se analizó mediante la existencia de fallas en la zona de estudio, la distancia al epicentro del sismo y los registros sísmicos.

#### 3.1 Fallamiento

CUETO (2001) para determinar el riesgo sísmico estimó la densidad de fallas. Particularmente en este estudio más que la densidad se tomó su existencia, debido la zona del corredor de comercio Las Leñas consta de una gran cantidad de fallas en general, sin embargo, específicamente en el área de estudio (media y baja montaña) son pocas las que se encuentran, concretamente se localizan en el sector del río Cortaderal, y también algunas entre el sector de Machalí y el pueblo de Coya.

PARDO *et al*, (1997), mencionan en sus estudios que existen en esta zona aparentes sistemas de fallas, donde las más importantes, serían la de San Ramón y Chacales-Yesillo.

Tabla N° 18 Nivel de amenaza asociado a la existencia de fallas

Fallamiento	Nivel de amenaza
Presencia	Alto
Ausencia	Bajo

Fuente: CUETO, 2001.

#### 3.2 Distancia al Epicentro

Este tipo de análisis se refiere a la profundidad a la que se produce un sismo de la superficie terrestre, y por lo tanto un sismo de menor profundidad, es de mayor amenaza ante uno de características contrarias.

Esta información fue obtenida como se mencionó anteriormente, mediante los datos proporcionados por las estaciones sismológicas localizadas por el proyecto DID/TNAC.

Tabla N° 19 Nivel de amenaza asociada a la distancia al epicentro del sismo

<b>Distancia al epicentro</b>	<b>Nivel de amenaza</b>
0 a 100 km de profundidad	Muy alto
100 a 200 km de profundidad	Medio

Fuente: COMTE, 2003.

### 3.3 Registros sísmicos

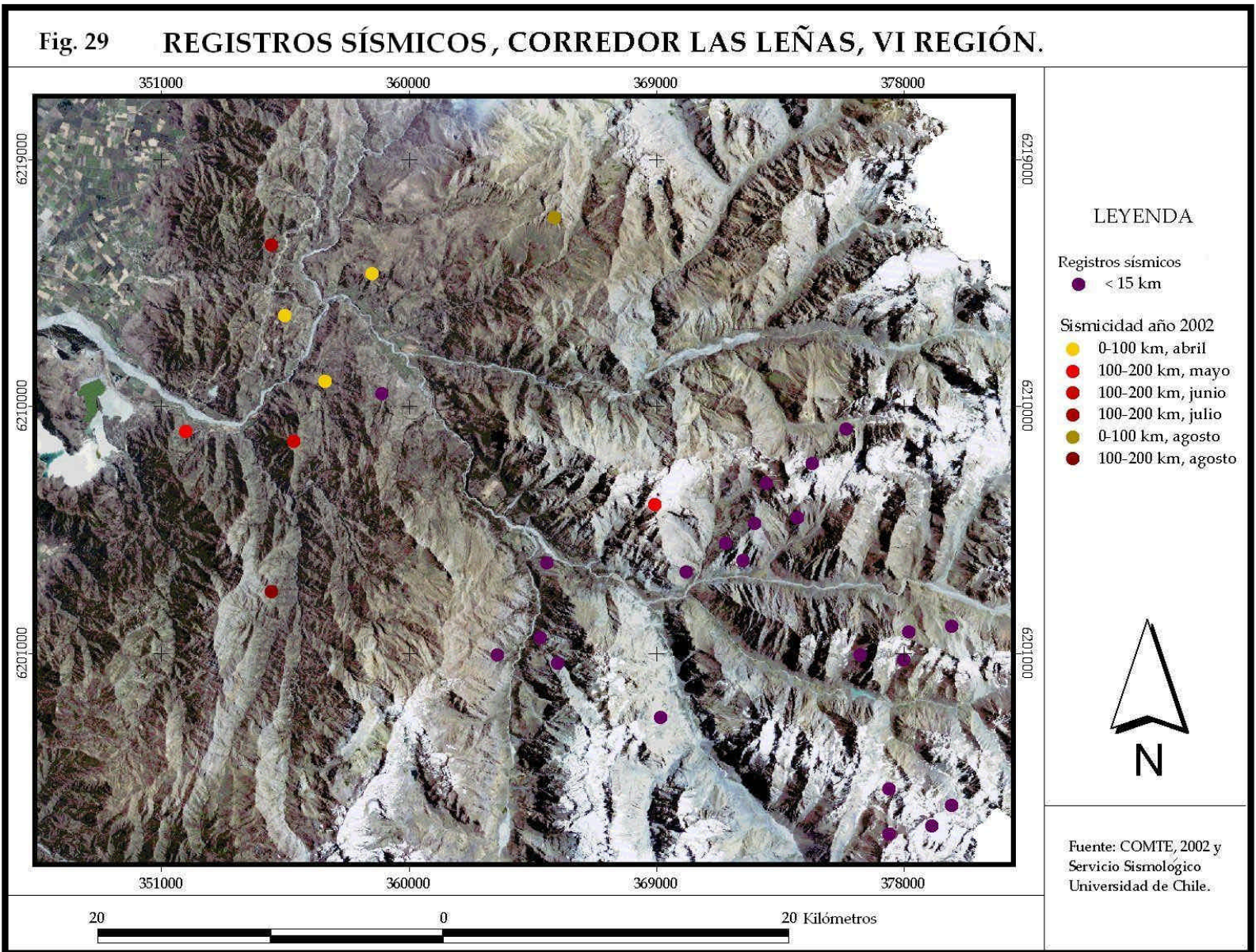
Según los registros obtenidos en el área de estudio, existe un promedio de 10 a 15 sismos diarios en las estaciones sismológicas, existe una gran sismicidad interplaca de profundidad intermedia (del orden de 100 km. de profundidad) sin embargo, y debido a su profundidad tiene un menor impacto que un sismo superficial de diversa magnitud (Información Servicio Sismológico Universidad de Chile, 2004).

Cercano a la región de estudio se produjo el principal terremoto interplaca conocido como el de las Melosas ( $M_w=6.9$ ) ocurrido el 4 de septiembre de 1958.

Tabla N° 20 Nivel de amenaza asociado a la existencia de registros sísmicos

<b>Registros sísmicos</b>	<b>Nivel de amenaza</b>
Presencia	Alto
Ausencia	Bajo

Fuente: Servicio sismológico Universidad de Chile.



## CAPITULO IV

### RIESGOS

Los resultados de la jerarquización de los riesgos de deslizamiento, inundaciones y sismos, además de los riesgos globales provienen de los pesos que se muestran en la tabla a continuación (explicados anteriormente en metodología).

Tabla N° 21 Pesos de las Variables

Variable	Categoría	Pesos	Pesos %	Peso amenaza
<b>Deslizamientos</b>		<b>0,3369</b>	<b>33,69</b>	
<b>Pendientes</b>		<b>0,1494</b>	<b>14,94</b>	
	muy alto	0,0844	8,44	0,01261
	alto	0,0392	3,92	0,00585
	medio	0,0176	1,76	0,00262
	baja	0,0083	0,83	0,00123
<b>Vegetación</b>		<b>0,0301</b>	<b>3,01</b>	
	muy alto	0,0170	1,70	0,00051
	alto	0,0079	0,79	0,00024
	medio	0,0035	0,35	0,00011
	bajo	0,0017	0,17	0,00005
<b>Sistema Vertientes</b>		<b>0,0822</b>	<b>8,22</b>	
	muy alta	0,0465	4,65	0,00382
	alta	0,0216	2,16	0,00177
	media	0,0097	0,97	0,00079
	baja	0,0045	0,45	0,00037
<b>Exposición</b>		<b>0,0507</b>	<b>5,07</b>	
	alta	0,0323	3,23	0,00164
	media	0,0131	1,31	0,00066
	baja	0,0053	0,53	0,00027
<b>Formaciones geológicas</b>		<b>0,0245</b>	<b>2,45</b>	
	alta	0,0156	1,56	0,00038

	media	0,0063	0,63	0,00016
	baja	0,0026	0,26	0,00006
<b>Inundaciones</b>		<b>0,2806</b>	<b>28,06</b>	
	<b>Niveles de encauzamiento</b>	<b>0,0935</b>	<b>9,35</b>	
	muy alta	0,0528	5,28	0,00494
	alta	0,0245	2,45	0,00229
	media	0,0110	1,10	0,00103
	baja	0,0052	0,52	0,00048
	<b>Índice torrencialidad</b>	<b>0,1871</b>	<b>18,71</b>	
	muy alta	0,1057	10,57	0,01977
	alta	0,0490	4,90	0,00917
	media	0,0220	2,20	0,00411
	baja	0,0103	1,03	0,00193
<b>Sismos</b>		<b>0,3825</b>	<b>38,25</b>	
	<b>Densidad de fallas</b>	<b>0,0655</b>	<b>6,55</b>	<b>0,00655</b>
	<b>distancia al Epicentro</b>	<b>0,0973</b>	<b>9,73</b>	
	muy alta	0,0730	7,30	0,00711
	media	0,0243	2,43	0,00237
	<b>Registros Sísmicos</b>	<b>0,2196</b>	<b>21,96</b>	<b>0,02196</b>
		<b>0,02618</b>	<b>Valor de inconsistencia</b>	

Estos valores de pesos fueron entregados mediante previa comparación de variables, a través del programa Expert Choice. Este entrega además un valor de inconsistencia, lo que quiere decir que un valor superior a 0,1 indica inconsistencia del modelo, por lo tanto no tendría lógica. En este caso el valor que se obtuvo fue de 0,02 por lo tanto el modelo es aprobado y no tiene errores de lógica en cuanto al objetivo que se planteó, que es la jerarquización de amenazas naturales del corredor de comercio Las Leñas.

La Fig. 30, representa la expresión espacial de la amenaza por deslizamientos en la zona de estudio, en donde el sector de alta montaña es el que se encuentra mayormente afectado por este tipo de fenómenos, debido a que se dan todos los factores necesarios para la existencia de conos de gravedad y conos aluviales. Estos se encuentran activos actualmente, especialmente los conos de gravedad inconsolidados, que además no poseen vegetación a diferencia de lo que son los conos aluviales los que se encuentran mayormente estabilizados. Estas formas basales son principalmente producto de los sistemas de vertientes, los que en esta área aportan una gran cantidad de materiales a las zonas de valle.

A partir de la zona del río Pangal (tramo 7), ya es posible localizar áreas de amenaza menor. Es así como encontramos que los tramos del 1 al 3 poseen una amenaza muy alta de deslizamientos; entre los tramos 4 y 6 continua una característica similar pero con matices, específicamente sectores de amenaza baja, producto de la existencia de un tipo sistema de vertientes que se encuentra más suavizado, además de que se localizan amplias terrazas fluviales.

Desde los tramos 7 al 14 las características son similares, sin embargo, las vertientes del sector norte, en su mayoría están amenazadas por deslizamientos, a diferencia del sector sur que posee un riesgo medio en gran parte del área. En resumen, se puede determinar que en cuanto a la amenaza por deslizamientos, en esta zona de estudio, los tramos 1 y 2 son los que se poseen un mayor riesgo.

La Fig. 31 presenta amenazas por inundaciones, que afectarían directamente al corredor de comercio Las Leñas, en donde se puede apreciar que en general existe un nivel de amenaza bajo.

Desde los tramos 1 al 7, existe una amenaza baja, junto pequeños sectores con una amenaza media, esto debido principalmente a que estas cuencas poseen una forma más alargada, conjuntamente se presenta un fondo de valle amplio, lo que ante determinados eventos de precipitaciones intensas, se generan respuestas

moderadas, debido a que existe una mayor superficie que permite una mayor infiltración y así, disminuir el escurrimiento superficial.

El caso contrario se presenta en el tramo 9, donde la amenaza es muy alta, tratándose de una cuenca más circular que produce un efecto contrario al explicado anteriormente, así como también un fondo de valle más angosto. Especialmente se debe mencionar que los registros de inundaciones ocurren especialmente cercanos al pueblo de Coya, datos que se pueden recopilar principalmente debido a la existencia de población y por lo tanto eventuales daños. Cerca de este tramo existen pequeñas zonas con amenaza alta los que bordean al río Cachapoal y al río Pangal.

El resto de los tramos presenta amenazas de inundación media, específicamente bordeando el río y sectores de amenaza baja.

La Fig. 32 muestra la amenaza sísmica, en esta área de estudio, esta variable se trabajó en forma puntual debido a que las variables a considerar para elaborar este tipo de amenaza tienen una representación puntual y específica como lo son fallas, distancia al epicentro y registros históricos, aunque a pesar de tener una expresión de este tipo, la magnitud de un sismo puede afectar toda una región de la misma forma. Sin embargo, estos puntos se consideraron de una amenaza mayor a diferencia del resto del corredor.

Las fallas existentes en la zona de estudio se encuentran cercanas al tramo 3, tramos 13 y 14. Estas fallas no se alcanzan a localizar físicamente en estos tramos, pero debido a su acercamiento se tomaron estos tramos como los de mayor influencia por estos fallamientos. Los tramos 3, 9, 10 y 14 presentan nuevamente una amenaza muy alta por localizarse en este sector registros continuos de sismos de una profundidad no mayor a 200 km, y que en ocasiones son imperceptibles. Este tipo de amenaza también tiene un efecto de recurrencia debido a que sismos de grandes magnitudes, que provoquen pérdidas en infraestructura y daños a

personas, no se efectúan con alguna estacionalidad como lo son las inundaciones y también en alguna medida los deslizamientos.

La presentación de los resultados de amenazas globales que afectan a este corredor en estudio, se muestra en la Fig. 33. Esta carta corresponde a la jerarquización de las amenazas naturales que afectan a esta zona, donde se destaca principalmente que los tramos 1 y 2 presentan una amenaza global muy alta, explicada por deslizamientos e inundaciones que afectan principalmente en estos tramos. También poseen esta amenaza la vertiente norte de los tramos 3 al 7, además de tramo 8 y sectores del borde del río Cachapoal de los tramos 13 y 14. Cabe destacar que es en estos tramos de amenaza muy alta donde pueden ocurrir los tres tipos de amenazas naturales estudiadas.

Para los efectos precisos de este trabajo, que es evaluar la zona donde existe un proyecto de realización de un corredor de comercio, se debe explicar que en los tramos anteriormente nombrados (con una categoría de amenaza global muy alta), la construcción del camino por este sector es muy desfavorable, debido a que puede sufrir consecuencias la infraestructura producto de los frecuentes deslizamientos e inundaciones que ocurren en estos tramos (principalmente los sectores 1 a 3) especialmente en la época de invierno, en donde se tienen que utilizar maquinarias para reabrir los caminos existentes y reestablecer las conexiones. En resumen éste es un sector que no es recomendado para la construcción, ni para la existencia de futuros asentamientos de población, si no se toman precauciones y si no se establecen medidas estructurales para la mitigación de estas amenazas.

Para la construcción de esta vía de conexión, sería más favorable la vertiente sur de esta área de estudio que posee un menor nivel de amenaza en comparación con el lado norte, sin embargo, pueden entrar a evaluación la realización de obras de mitigación para los efectos de desastres naturales, existencia de túneles en ciertos sectores, etc.

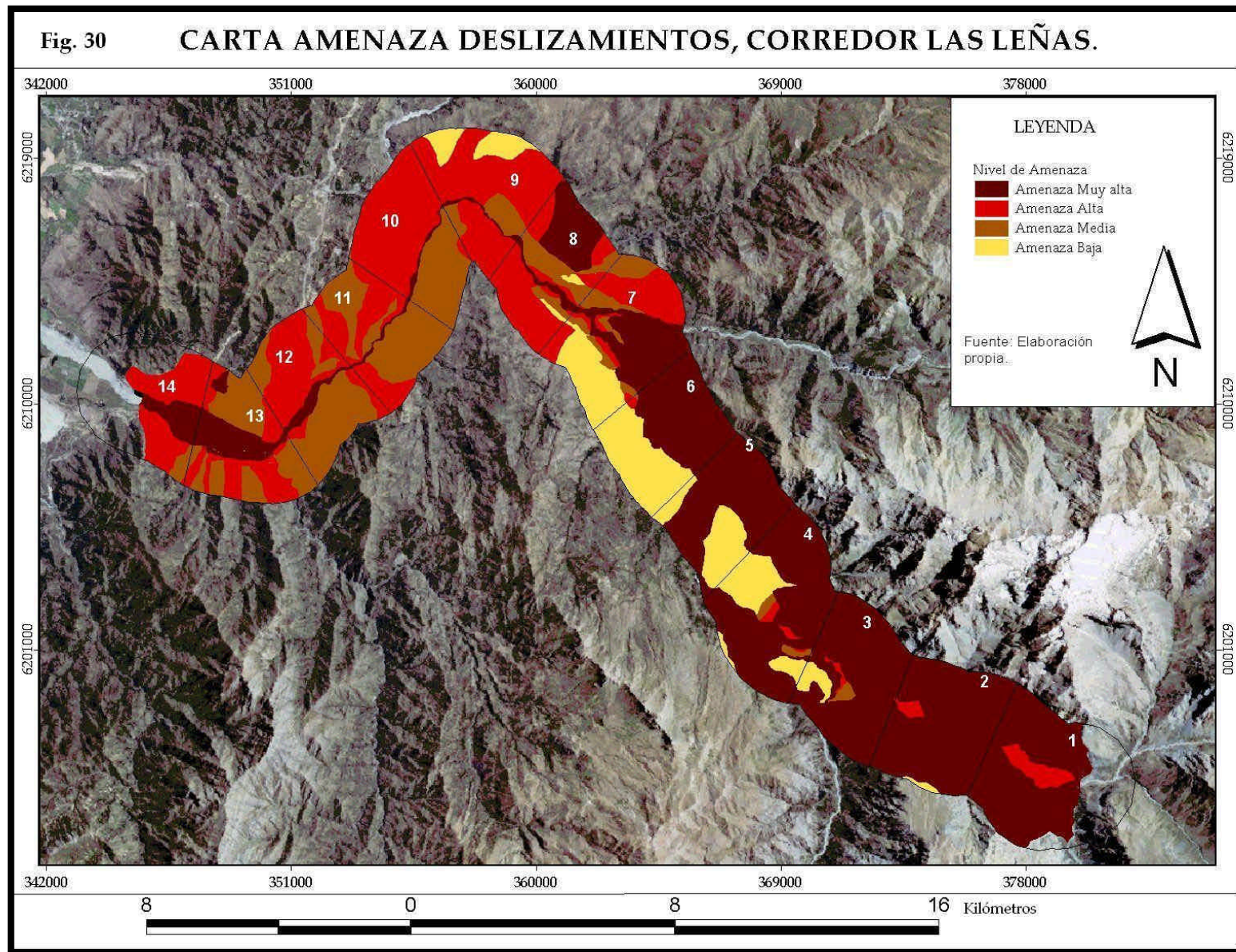


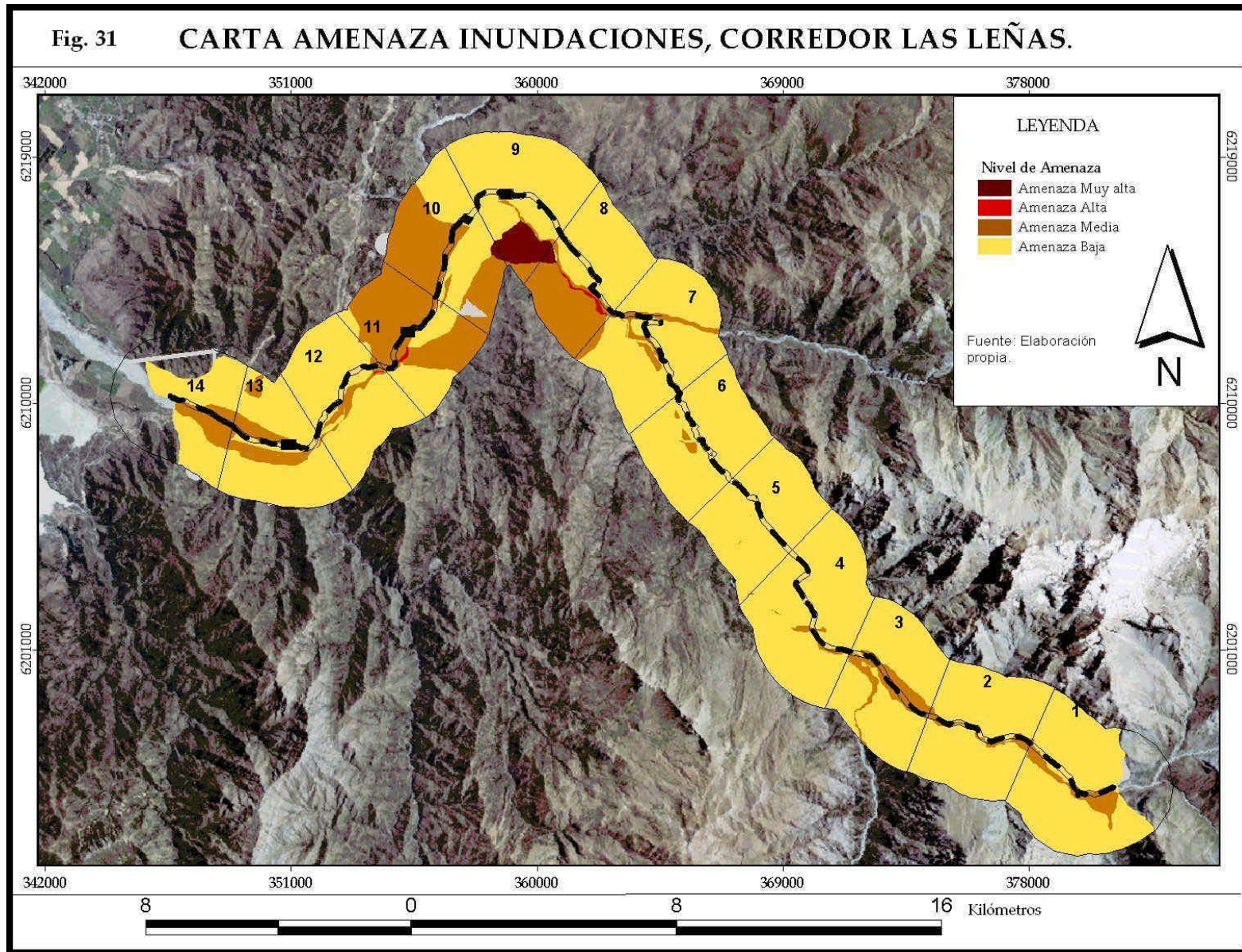
Como recomendación se puede decir que del sector estudiado del corredor, los que presentan mayores amenazas serían los tramos del 1 al 3, donde es imposible realizar una construcción sin implementar obras estructurales significativas de mitigación para los deslizamientos e inundaciones. En los tramos restantes la construcción es viable, siempre y cuando se tengan en consideración las inundaciones y por lo tanto una construcción a una altura que no provoque tal amenaza, considerando que los deslizamientos en estos tramos son menores y casi inexistentes. En general, para las amenazas sísmicas que pueden afectar el corredor o incluso regiones del país, existen normas de construcción sismo-resistentes en nuestro país, que entregarían cierta tranquilidad frente a los efectos de esta amenaza, sin embargo, muchas veces son los sismos los que desencadenan otro tipo de amenazas por lo que no es factible confiarse totalmente.

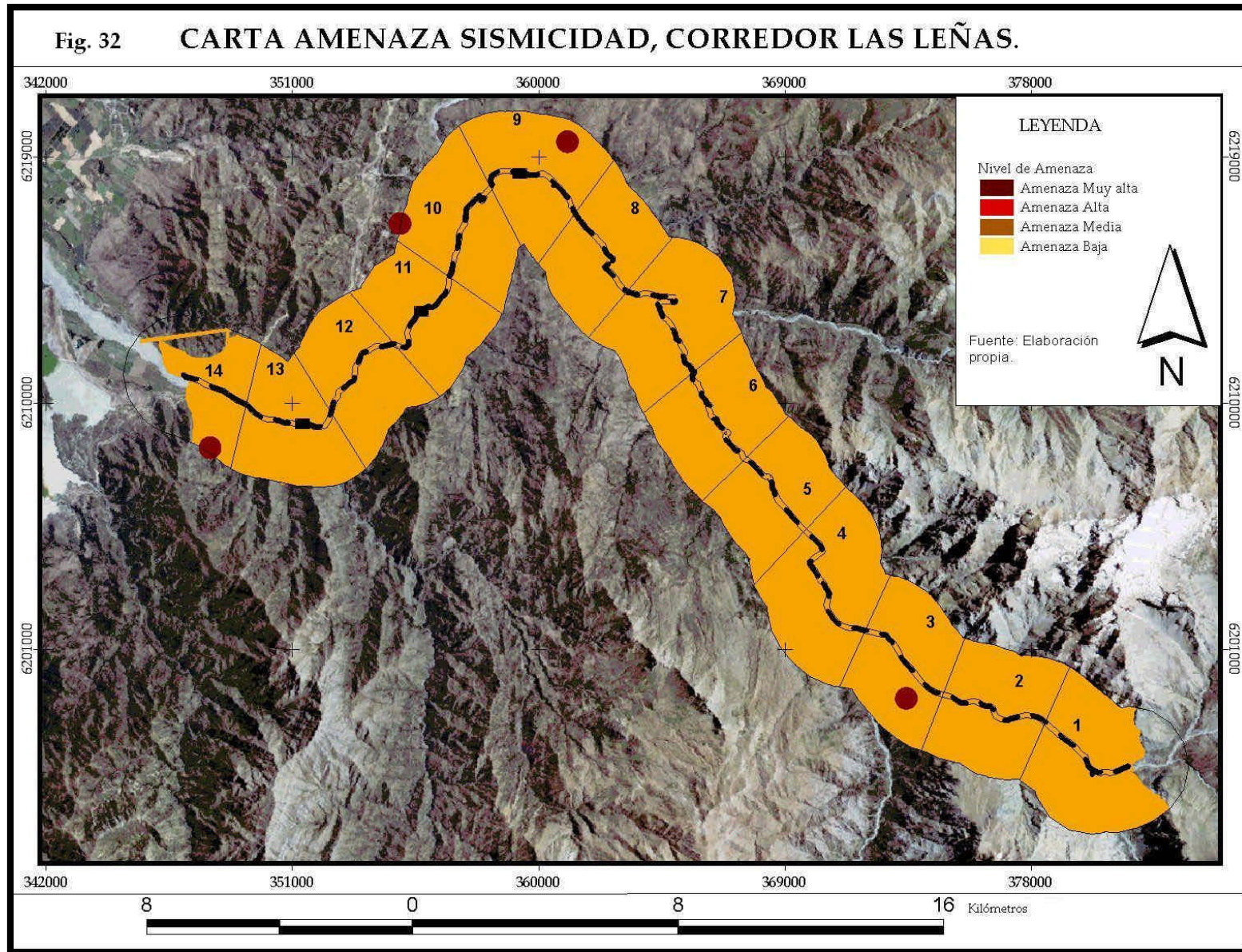
La Fig. 34, presenta las amenazas globales (carta mostrada anteriormente) y las instalaciones críticas, en este caso no existen instalaciones que pueden provocar un mayor riesgo, sólo se encuentran instalaciones básicas, como son las escuelas, sedes deportivas, bomberos, consultorios, centros culturales, carabineros, etc. Estos se localizan en el pueblo de Coya, siendo un lugar que presenta una amenaza global alta, que principalmente es debido a inundaciones y a posibles deslizamientos que se pueden producir.

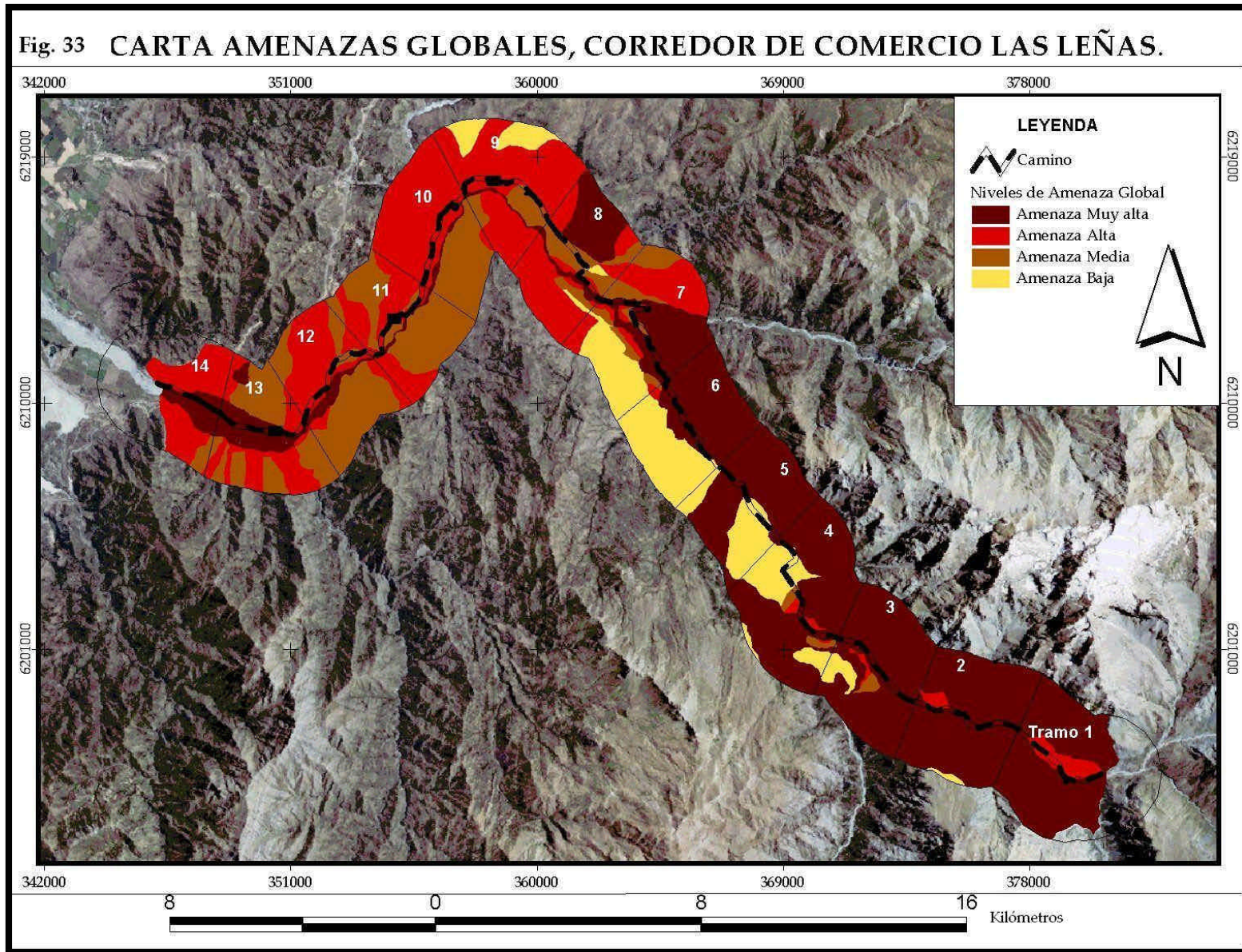
El camino y los lugares turísticos en este caso específico, serían los que posiblemente pueden aumentar el nivel de amenaza o provocar otro tipo de amenazas, como lo son los riesgos tecnológicos, principalmente de incendios o de algún tipo de derrame de productos tóxicos que pudiera eventualmente transportar un camión, además de la posibilidad de accidentes automovilísticos. Lo anterior solamente queda señalado, debido a que no se realizaron los estudios pertinentes para determinar las áreas más vulnerables a este tipo de riesgos.

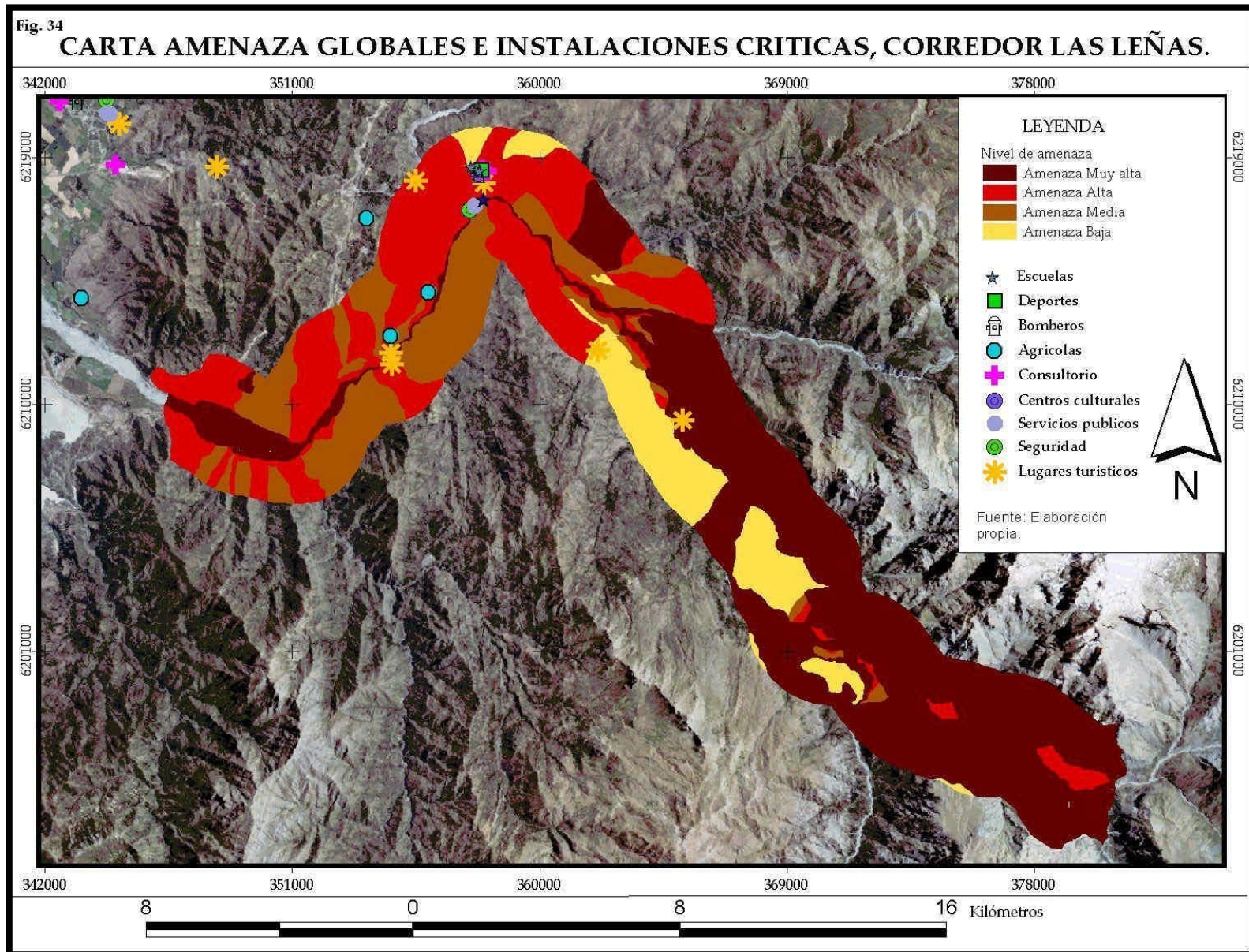
Esta zona según el plan regulador de la comuna de Machalí (que se encuentra en etapa de realización a la fecha), contempla la existencia y la realización como tal, del corredor de comercio Las Leñas. A esta zona se le asigna según este plan regulador, preferentemente un uso turístico, debido a sus bellos paisajes de ambiente de montaña, a lo que se suma lo aislado y protegido que se encuentra este lugar, que posee interés para futuros visitantes.











## CAPITULO V

### DISCUSIÓN

En el ambiente de montaña que tiene muy poca población, es difícil poder evaluar el grado de vulnerabilidad, la que en realidad se generará con las futuras ocupaciones del sector por habitantes y proyectos de inversión. Es por esto que se le dio una mayor dedicación a la evaluación de las amenazas naturales, definiendo los sectores que a futuro tendrán mayor nivel de vulnerabilidad.

Es difícil presagiar los efectos que traerá la habilitación del corredor de comercio, específicamente al analizar las ideas de BENDER (1999) y ULLMAN (1954), que tienden a ser optimistas en cuanto a que se produce un mejoramiento de la situación económica y del intercambio social, en general estas condiciones se presentan cuando existen en el área ciudades de una mayor jerarquía, a diferencia del sector estudiado de Las Leñas, donde el poblado principal es el pueblo de Coya. Rancagua en este caso es la ciudad importante más cercana y por lo tanto, ofrece una mayor cantidad de servicios que necesitarán los posibles usuarios de este corredor, ésta por lo tanto, sería la ciudad más beneficiada. Para el pueblo de Coya sería necesario entonces realizar más instalaciones como restaurantes, hoteles, etc., que le permitan no ser solo un lugar inserto en el corredor, sino un lugar de parada obligada.

En cuanto a las variables utilizadas para analizar cada tipo de amenaza existente, en primer lugar se puede señalar que para determinar los peligros por inundaciones solamente se pudo recurrir a información como forma de la cuenca y geomorfología, en lo referente al análisis de los niveles de terrazas, sin embargo no se pudo estimar datos concretos de caudales e inundaciones por ser un sector en donde las estaciones pluviométricas y fluviométricas no funcionan continuamente, y los datos de ocurrencia de inundaciones anteriores sólo corresponden a Coya, por ser el sector que posee población.



En relación a la variable sísmica, habría sido interesante determinar la vulnerabilidad además de la amenaza, utilizando datos como materiales de construcción, suelo de fundación, etc.; mediante los cuales se puede obtener datos más concretos. Es así importante recalcar que para efectos de esta memoria no fue posible su aplicación, debido a la escasez de población y de la inexistencia de infraestructura en la actualidad.

La utilización del programa Expert Choice para la determinación de pesos de las variables, resultó ser una herramienta muy útil, debido a que permite comparar variables cualitativas con cuantitativas, o entregar un valor cuantitativo a una variable que sólo se puede categorizar según su cualidad. Es por esto su gran utilidad en este caso, ya que se debía determinar qué tipo de amenaza es más importante, y cómo establecer las diferencias entre los niveles de amenaza. La utilización de este programa permitió un ingreso libre de información y de manejo de parte del usuario, por lo cual es fácil caer en errores, lo que se puede solucionar formulando un objetivo claro, además de tener toda la información respecto al tema y autores especializados, que permitieron tomar las mejores decisiones en función del objetivo planteado. Cabe destacar que el programa entrega un valor final de inconsistencia según el cual se puede validar los resultados.

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica plantea un desafío, debido a que existen programas como Idrisi que contienen un módulo de peso de variables, al igual que Arc-View, sin embargo, éstos presentan como gran limitante el hecho de no poder establecer las diferencias de niveles de una variable, es decir, no se puede llegar a diferenciar pesos entre los niveles de muy alta, alta, media y baja amenaza en las pendientes por ejemplo, si no que sólo se puede determinar el peso general de la variable. Esto llevo a la complicación en referencia a la aplicación del modelo para llegar a resultados espaciales. En trabajos previos, en donde se ha aplicado este método de peso de variables, se trabajó en función de la división de tramos en donde se establece una generalidad en estas unidades

espaciales, en este trabajo por lo tanto, mediante la metodología aplicada se llegó a una resolución de mayor nivel.

Por otra parte, tal como GOMEZ OREA (1998) y MESINA (2003) plantean, la vegetación tiene un rol de protección contra los procesos de deslizamientos y derrumbes, en este caso esto es relativo ya que se trata de un ambiente de montaña, en donde hay sectores que presentan escasa cobertura debido a la altura, y donde por otro lado, la existente se convierte en material que aporta a la remoción en masa antes que ser un impedimento para ella.

Es necesario destacar la importancia y comparación entre los distintos ambientes de montaña, como lo realizado en este trabajo, en donde se pudo apreciar que la zona de alta montaña es el sector en donde se generan los procesos naturales, mientras que las zonas de media y baja montaña son los que reciben los efectos de estos fenómenos, por lo que su vulnerabilidad es mayor.

La zona de estudio se encuentra principalmente afectada por amenazas que son del tipo continuo o periódico, como es el caso de inundaciones y deslizamientos, los que tienen un carácter principalmente invernal, sin embargo, la amenaza que provoca mayores efectos son los sismos, lo que son menos recurrentes.

Es necesario realizar nuevos estudios de amenazas, que se pueden incorporar una vez construido el corredor de comercio, referidos a estudios de riesgos tecnológicos que pueden afectar el sector, como lo serían incendios principalmente, derrames de tóxicos, accidentes automovilísticos, etc., que serían nuevos escenarios de riesgo para este corredor de comercio, estos riesgos sin embargo, no son restrictivos a la construcción del corredor.

## CONCLUSIONES

El corredor de comercio Las Leñas, se caracteriza por la existencia de una gran variedad de procesos dinámicos.

Los ambientes de montaña presentan mayor dinámica, existen diferencias claramente identificables entre los sectores de alta, media y baja montaña, es así como el sector de media montaña, posee una mayor amenaza que el sector de alta montaña en donde los conos de detritos se encuentran mayormente estabilizados, esto en el sector del río Las Leñas, sin embargo en el sector del río Cachapoal, aparecen formas basales, de gran tamaño y torrencialidad.

La amenaza natural a que se encuentra más expuesto el corredor de comercio, es a las remociones en masa, esto principalmente debido a la gran cantidad de material que proviene principalmente de la alta montaña y de las vertientes que se encuentran alrededor del corredor. Esto comprueba la hipótesis planteada acerca de que el riesgo que existe mayoritariamente en el corredor de comercio (específicamente su parte evaluada en esta memoria), es de deslizamientos, lo que se puede observar que predomina en el sector de media montaña.

Con respecto a la segunda hipótesis, que se refiere a la protección de la vegetación ante deslizamientos, en los ambientes de montaña la cobertura vegetal no es una gran protección, primero debido a su escasez por la altura y segundo producto de que la cobertura vegetal existente en altura es un matorral poco denso que no es capaz de otorgar protección ante un evento de remoción en masa. También es necesario destacar el tipo de vegetación, ya que en ocasiones pasan a ser elementos que favorecen el deslizamiento debido al peso que ejercen sobre el suelo, y por lo tanto, pasan a ser material que se transporta en el deslizamiento, antes que un impedimento para éste.

El detonador de amenazas de esta zona de estudio, son principalmente las precipitaciones las que desencadenan inundaciones y deslizamientos, en casos de temporales preferentemente en la época invernal.

La sismicidad es una variable que afecta a todo el país, en este caso en general se evaluó al corredor con una amenaza baja, este resultado se debe a que la recurrencia de un sismo de gran magnitud es menor que una inundación o deslizamiento, pero que sin duda puede tener mayores consecuencias; además de que esta variable debe ser tratada también a través del análisis de la vulnerabilidad de la población ante sismos. Este tipo de amenaza se presenta en el tramo 3, que es el más afectado por las secuelas posteriores de esta amenaza, las que serian remociones en masa específicamente.

Los tramos del 1 al 3, además del tramo 9 y 10, son los que presentan las mayores amenazas globales y que corresponden a deslizamientos e inundaciones respectivamente. Las instalaciones críticas en este caso consideradas como vitales y que se localizan en el pueblo de Coya, presentan una amenaza alta global, en donde predomina un riesgo de inundaciones principalmente.

En las condiciones actuales existe una vulnerabilidad funcional, debido a que los tramos afectados mayoritariamente por deslizamientos como los son del tramo 1 al 3, impedirían el funcionamiento normal de esta vía de conexión en los periodos de invierno en donde nuevamente se debe abrir el camino, quedando aislados.

El riesgo de este corredor de comercio se puede denominar según lo clasificado por CHARDON (2002), como riesgo tolerable después del desarrollo de medidas de mitigación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ARAYA-VERGARA, J. Y BORGEL 1972. Definición de parámetros para establecer un banco nacional de riesgos y amenazas naturales criterios para su diseño. Onemi/PNUD Uchile/92/009/A. Chile. 219 pp.

ARAYA-VERGARA, J. 1985. Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho. En revista Informaciones Geográficas N° 32. Santiago. 31-44 pp.

BARREDO, J. 1996. Sistema de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Editorial RA-MA. Madrid. 264 pp.

BENDER, S. 1999. Los corredores de comercio: una nueva unidad de planificación para el desarrollo regional de América Latina. En: cooperación Internacional N° 3. Año 2. Washington.

BLIKA L. & W. NEMEC 1998. Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. En *Sedimentology* 45. Noruega. 909-959 pp.

BUSTAMANTE, G. 2002. Determinación de los períodos de recurrencia de los caudales mínimos mensuales en la cuenca del Río Cachapoal. Memoria para optar al título de ingeniero civil en obras civiles. Santiago.

CASTRO C. & L. BRIGNARDELLO, P. CERECEDA. 1995. Determinación de áreas con riesgo morfodinámico en San Juan Bautista, Isla Robinsón Crusoe, comuna de Juan Fernández, V Región. En revista geográfica de Chile *Terra Australis* N° 40. Instituto Geográfico Militar. Chile. 43-61 pp.

CHARDON, A. 2002. Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales: el ejemplo andino de Manizales, Colombia. Editorial Centro de Publicaciones. Colombia. 174 pp.

CHARRIER, R. 1979. Los volcanes Andrés y Don Casimiro dos centros descubiertos en los Andes entre 34° y 34° 45' latitud sur. En Revista Geológica de Chile 8. Santiago. 79-84 pp.

CHARRIER, R y F. MUNIZAGA. 1979. Edades K/Ar de vulcanitas Cenozoicas del sector cordillerano del Río Cachapoal, Chile (34° 15' de latitud sur). En Revista Geológica de Chile, 7. Santiago. 41-51 pp.

CHARRIER, R. 1982. La Formación Leñas-Espinoza redefinición, petrografía y ambiente de sedimentación. En Revista Geológica de Chile N°17. Santiago. 71-82 pp.

CHARRIER, R. 1983. Carta geológica de Chile escala 1: 250.000, hoja El Teniente. Santiago. Chile. Inédito.

COMTE D. & A. EISENBERG, M. PARDO. 1988. Sismicidad y riesgo sísmico en el margen occidental de Sud-América entre los 16° -22° Sur. En V Congreso Geológico Chileno Tomo II. Chile. 227-246 pp.

COTTON, C. 1948. Landscape as developed by the processes of normal erosion. Cambridge University Press. London. 509 pp.

CUETO, S. 2001. Evaluación y priorización de corredores de comercio alternativos al sistema Cristo Redentor. Memoria para optar al título de geógrafo Universidad de Chile. Santiago.

DELGADO, E. Identificación de áreas con riesgo natural asociadas a la dinámica de los procesos de remoción en masa y su interferencia sobre la alternativa de corredor de comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Memoria para optar al título de geógrafo, Universidad de Chile. Santiago. Inédito.

DÍAZ, O. 2001. Estudio de los efectos de las condiciones locales en el terremoto de Punitaqui de 1997. Memoria para optar al título de ingeniero civil Universidad de Chile. Santiago.

FERRANDO, F. 1994. La cuenca andina del río Mapocho: Determinación de su estado de equilibrio morfodinámico. Informe Final Proyecto FONDECYT 1000-91. Inédito.

FLAGEOLLET, J . 1996. The time dimension in the study of mass movements. *Geomorphology*, 15. 185-190 pp.

GARCÍA, V . 2000. Fenómenos de remociones en masa asociados a la ocurrencia de anomalías atmosféricas, Santiago oriente. Memoria para optar al título de geólogo Universidad de Chile. Santiago

GARCÍA-RUIZ, J. M. 1990. *Geoecología de las áreas de montaña*. Geoforma Ediciones. Logroño, España. 337 pp.

GÓMEZ OREA, D. 1998. *Evaluación de impacto ambiental*. Editorial Agrícola Española. Madrid. 260 pp.

GRAY DE CERDÁN, N. 1998. *Evaluación y reducción de la vulnerabilidad: un enfoque indispensable para la gestión territorial*. En revista *Estudios Geográficos* tomo LVIV, N° 230. Perú. 61-73 pp.

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

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO DE ESPAÑA, 1987. Riesgos Geológicos. Madrid. 333 pp.

KLOHN, C. 1960. Geología de la cordillera de los Andes de Chile central, provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curico, Instituto de investigaciones geológicas, Chile. Boletín N° 8.

KÜHNI A.& PFIFFNER O.A. 2001. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: Topographic Analysis from 250m DEM. *Geomorphology* 41. 485-307 pp.

KUROIWA, J. 2002. Reducción de desastres: viviendo en armonía con la naturaleza. Quecor World Perú S.A. Lima. 429 pp.

LARRAÍN P. & P. SIMPSON-HOUSLEY. 1994. Percepción y prevención de catástrofes naturales en Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. 140 pp.

LORCA, F. 2003. Vulnerabilidad de la estructura vial a fenómenos naturales. Memoria para optar al título de ingeniero Universidad de Chile. Santiago.

MESINA A. & M. SOTO, C. CASTRO. 2001. Clasificación de niveles de riesgo natural a partir de la carta geomorfológica en el corredor de comercio Doña Rosa, IV Región de Coquimbo. *Anales de Octavo Encuentro de Geógrafos de América Latina, Chile*. Universidad de Chile.

MESINA, A. 2003. Análisis del sistema físico natural en la detección de peligros naturales: definición de áreas de riesgo naturales: corredor comercial Paso Doña



Rosa, IV Región de Coquimbo. Memoria para optar al título de geógrafo Universidad de Chile. Santiago.

NOVOA, J. 1986. Hidrogeomorfología, riesgos naturales, control y manejo de la cuenca de Las Gualtatas, provincia de Santiago. En boletín informativo I.G.M., I semestre. Chile. 79-96 pp.

RACHOCKI, A. 1990. Alluvial Fans: A fiel approach. John Wiley & Sons. Chichester, New York. 384 pp.

SAATY T. y L. VARGAS. 1991. The logic of priorities. Vol III AHP Series. 299 pp.

SAATY, T. 1997. Toma de decisiones para líderes: El proceso analítico jerárquico en la toma de decisiones en un mundo complejo. Traducción de Escudéy M., Martínez E., Vargas L. RWS Publications. 429 pp.

SCHUMM, S. 1977. The Fluvial System. Wiley - Interscience. New York. 338 pp.

SERVICIO SISMOLÓGICO UNIVERSIDAD DE CHILE, 2004. Portal de Internet.

SOTO, M., C. CASTRO, C. CHÁVEZ. 2004. Caracterización geomorfológica del corredor de comercio Las Leñas, valle del río Cachapoal, Andes de Chile Central. Revista de Geografía Norte Grande N°31. Chile. 85-98 pp.

TOHÁ, J. 1998. Corredores Bioceánicos. En revista Política y Estrategia N° 76. Santiago. 22-33 pp.

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

PEÑA, J. 1997. Cartografía Geomorfológica básica y aplicada. Geoforma ediciones. Logroño, España. 227 pp.

ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS. 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Washington, D.C.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD 1990/1993

ULLMAN, E. 1954. A theory of location for cities. American journal of sociology. XLVI, N°6. New York. 853-864 pp.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. 2000. "Taller de metodologías de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismo y lluvias intensas". Costa Rica.

WARD, R. 1978. Floods: A geographical perspective. The Macmillan Press. New York. 244 pp.

YOUNG, A. 1972. Slopes. Longman Group Limited. London. 288 pp.

Consultado en Mayo 2004

<http://www.desinventar.org/desinventar.html>

Consultado en Junio 2004

[http://revistaurbanismo.uchile.cl/CDA/urb\\_simple/0,1310,SCID%253D4209%2526ISID%253D276%2526IDG%253D3%2526ACT%253D0%2526PRT%253D4197,00.html](http://revistaurbanismo.uchile.cl/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D4209%2526ISID%253D276%2526IDG%253D3%2526ACT%253D0%2526PRT%253D4197,00.html)