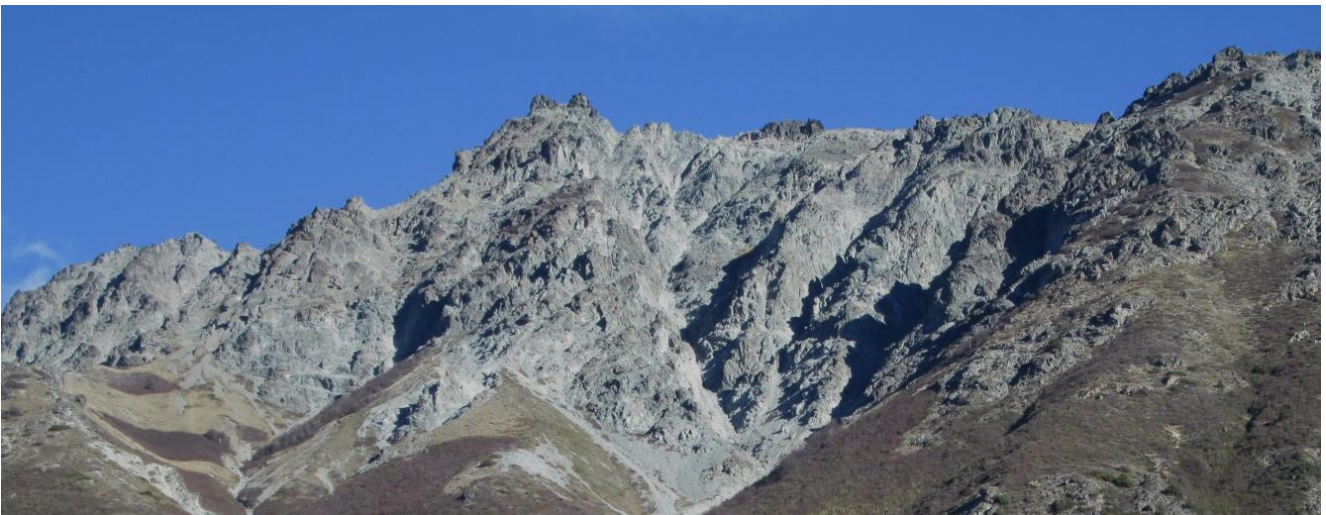




*Análisis de riesgo por eventos de  
remoción en masa, propuesta de Plan de  
Mitigación.*

*Ruta Nacional 40 sur, Lago Guillermo, Departamento  
Bariloche.*



*Proyecto Final Integrador Ingeniería Ambiental*

*Cotelo, María Agustina*

*Octubre de 2019*

## Información General

**Tema de investigación:** “Análisis de riesgo por eventos de remoción en masa, propuesta de Plan de Mitigación”: Ruta Nacional 40 sur, Lago Guillermo, Departamento Bariloche.

**Alumna:** Cotelo, María Agustina.

Firma

**Legajo:** 10.964

**Director:** Lic. Geól. Carlos R. López (UNRN).

Firma

**Co-director:** Ing. Agr. Javier Ayesa (INTA).

Firma

**Colaborador:** Téc. Fernando Umaña (INTA)

## ***Agradecimientos***

A Carlos López por su dedicación y sus valiosas enseñanzas a lo largo de los años de carrera y en especial durante este trabajo,

A Javier Ayesa por sus aportes, su tiempo y su paciencia frente a todo este proceso de aprendizaje,

A Fernando Umaña , por su tiempo , paciencia y sus ánimos cuando se hacía difícil,

A los mejores compañeros que me podían tocar, en especial a Clara y Matías, que están en todas dentro y fuera de la Universidad,

A las mujeres valientes de mi vida, que me acompañaron para cumplir este objetivo, en especial a Martina,

A Sergio, por su apoyo, paciencia y su acompañamiento.

## Contenido

Información General .....	2
1. Introducción .....	14
2. Aspectos conceptuales y terminología.....	21
2.1. Conceptos de Susceptibilidad, Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo.....	21
2.1.1. Características de fenómenos de remoción en masa .....	28
2.1.2. Factores condicionantes y Factores desencadenantes .....	35
2.1.2.1. Acción de la gravedad: Pendientes.....	36
2.1.2.2. Geología y Geomorfología: Litología y Relieve.....	36
2.1.2.3. Composición y tipo de Suelos.....	38
2.1.2.4. Influencia de la Vegetación.....	39
2.1.2.5. Clima :El rol de las precipitaciones y los cambios de temperatura.....	40
2.1.2.6. Hidrología: Influencia de las características físicas .....	43
2.1.2.7. Sismos .....	45
2.2. La teledetección y los sistemas de información geográfica en la cartografía de riesgo.....	46
2.3. Evaluación Multicriterio y Proceso Analítico Jerárquico: estimación de la susceptibilidad, peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de remoción en masa .....	49
3. Descripción regional.....	55
3.1. Ubicación del área de estudio .....	55
3.2. Características biofísicas.....	56
3.3. Descripción del uso de la tierra, vías de comunicación y características socio-económicas.....	60
3.4. Marco Normativo .....	64
4. Metodología .....	66
4.1. Materiales.....	67
4.2. Métodos.....	71
5. Elaboración y procesamiento de información de base .....	73

5.1. Reconocimiento de sitio .....	73
5.2. Identificación de puntos de estudio .....	77
5.3. Factores condicionantes .....	84
5.3.1. Topografía.....	84
5.3.2. Geología .....	86
5.3.3. Geomorfología.....	89
5.3.4. Vegetación .....	91
5.3.5. Suelos.....	95
5.4. Mapa de Inventario de procesos y zonas afectadas.....	98
5.5. Factores desencadenantes .....	100
5.5.1. Precipitaciones .....	100
5.5.2. Unidades Hidrográficas.....	105
5.5.2.1. Digitalización de Unidades Hidrográficas .....	105
5.5.2.2. Parámetros Morfométricos.....	109
5.5.3. Temperatura.....	111
5.5.4. Incendios.....	112
5.5.5. Sismos.....	113
5.6. Capas temáticas de elementos expuestos .....	114
6. Procesamiento de la información de base y resultados parciales: generación de productos intermedios .....	119
6.1.1. Mapa de Susceptibilidad, Peligrosidad y Vulnerabilidad .....	119
6.1.2. Ponderación de factores de productos intermedios .....	122
6.1.2.1. Ponderación de factores para mapa de susceptibilidad.....	122
6.1.2.1.1. Inventario.....	123
6.1.2.1.2. Pendientes .....	124
6.1.2.1.3. Geología .....	124
6.1.2.1.1. Geomorfología.....	125
6.1.2.1.2. Vegetación .....	126
6.1.2.1.3. Suelos.....	128

6.1.2.2.	Ponderación de Factores para Mapa de Peligro .....	128
6.1.2.2.1.	Precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura.....	130
6.1.2.2.2.	Unidades Hidrológicas.....	130
6.1.2.2.3.	Temperatura.....	131
6.1.2.2.4.	Incendios .....	132
6.1.3.	Ponderación del Mapa de Vulnerabilidad.....	132
6.1.3.1.	Degradación de cobertura de suelo .....	133
6.1.3.2.	Erosión de los cauces.....	134
6.1.3.1.	Usos del sector.....	134
7.	Resultados Finales: Integración de la información en un sistema de información geográfica y generación del producto cartográfico final.....	134
7.1.	Mapa de Susceptibilidad .....	136
7.2.	Mapa de Peligrosidad .....	139
7.3.	Mapa de Vulnerabilidad .....	142
7.4.	Mapa de Riesgo .....	145
8.	Discusión de resultados .....	148
8.1.	Productos e información de base .....	148
8.2.	Productos cartográficos intermedios y mapa de riesgo .....	150
8.3.	Identificación de movimientos de remoción en masa .....	152
8.4.	La precipitación como factor detonante.....	152
9.	Plan de mitigación y propuestas .....	154
9.1.	Propuestas de Monitoreo.....	160
10.	Conclusiones .....	160
11.	Bibliografía .....	163
12.	Anexo I: Glosario .....	179
13.	Anexo II: Capas temáticas, productos básicos e intermedios.....	187
13.1.	Productos Básicos .....	187
13.2.	Productos Intermedios .....	197

13.3.	Datos de precipitación .....	198
13.4.	Análisis de las Unidades Hidrográficas .....	201
13.4.1.	Método de dobles masas .....	201
13.4.2.	Curvas Hipsométricas-Relaciones Hipsométricas- Integrales Hipsométricas	203
13.5.	Herramientas generales utilizadas de software: QGIS y ERDAS.....	206
14.	Anexo III: Proceso Analítico Jerárquico .....	211
14.1.	Factores Condicionantes – Susceptibilidad.....	211
14.2.	Factores detonantes – Peligrosidad .....	215
14.3.	Vulnerabilidad.....	217

## Ecuaciones

Ecuación 1: Fórmula del Índice de compacidad de Gravelius (Ic) (1914) (González de Matauco, 2004 y Viramontes Olivas et al, 2007). .....	44
Ecuación 2: Fórmula de la Relación de Circularidad de Miller (Rc) (1953) (Jardí, 1985).....	44
Ecuación 3: Fórmula de cálculo de la Densidad de drenaje de Horton (Dd) (1945) (González de Matauco, 2004). Siendo L la suma de la longitud de todos los cursos que integran la cuenca ya sean permanentes o intermitentes. ....	44
Ecuación 4: Fórmula de la pendiente de una unidad hidrográfica, tomada da (Campos Aranda, 1998). .....	45
Ecuación 5: Matriz de comparación general n x n (Saaty, 1990).....	53
Ecuación 6: Asignación de pesos Wn (Saaty, 1990).....	53
Ecuación 7: Matriz de comparación completa ejemplificando la asignación reciproca de los pesos (w) Fuente: (Saaty, 1990).....	54
Ecuación 8: Promedio de los pesos (W) de cada fila que conforman el vector prioridad (Molina Molina, 2014).....	54
Ecuación 9: Fórmula de la Relación de consistencia (Molina Molina, 2014). ....	54
Ecuación 10: Fórmula del Índice de Consistencia (Molina Molina, 2014).....	54
Ecuación 11: Fórmula de $\lambda_{máx}$ (Molina Molina, 2014). .....	54
Ecuación 12: Ecuación general de interpolación Kriging. ....	102
Ecuación 13: Ecuación de corrección por altura de la precipitación.....	103

Ecuación 14: Formula de procesamiento para la generación de mapas intermedios, donde  $C_i$  representa cada capa temática ( $n$ ) y  $F_i$  es el factor de ponderación resultado de la aplicación de la técnica AHP..... 119

Ecuación 15: Ecuación para la evaluación del riesgo. Dónde  $P$  es peligrosidad y  $V$  Vulnerabilidad (CENEPRED, 2014, González de Vallejo, et al., 2004, Lario Gómez y Bardají Azcárate , 2011 , Ministerio de Vivienda de España, 2008, Renda et al., 2017 y Zarco et al., 2003)..... 135

## Figuras

Figura 1: Mapa de susceptibilidad global de deslizamientos realizado por la NASA en 2018 (Europa Press, 2018).....20

Figura 2: Clasificación de riesgos modificada de la Guía metodológica para la elaboración de cartografías de Riesgos Naturales en España presentada por el Ministerio de Vivienda de España (2008).....24

Figura 3: Cartografía de base para la realización del mapa de riesgo indicando la información general de base para cada caso modificado de González de Vallejo et al. (2004).....28

Figura 4: Velocidades de acuerdo al tipo de movimiento (Suárez, 2009) .....30

Figura 5: Diagramas típicos de movimientos en masa (González de Vallejo et al., 2004).....33

Figura 6: Gráfico para determinar el tipo de movimiento predominante de acuerdo a su contenido de agua (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017) .....41

Figura 7: Respuestas frente a eventos de precipitación de acuerdo a diferentes morfologías de unidades de estudio. La  $Q$  representa el caudal y la  $t$  el tiempo. (<http://geotecnia-sor.blogspot.com>, 2010, visitada 15/03/2016).....43

Figura 8: Uso de SIG mediante una combinación cualitativa de usos de mapas aplicando el método heurístico para analizar la susceptibilidad (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).....51

Figura 9: Ubicación de la zona de estudio.....56

Figura 10: TMDA para la región de estudio durante los años 2017-2018. Tomado de SIG-VIAL .Vialidad Nacional. ....63

Figura 11: Esquema metodológico general.....66

Figura 12: Perfil longitudinal representativo del terreno, creado a partir del modelo digital de terreno utilizando el software QGIS .Dónde el eje  $Y$  representa las diferentes altitudes en  $m$  y el  $X$  la distancia del terreno en  $m$ . ....74



Figura 13: Puntos de control a campo de los sitios a estudiar. ....	83
Figura 14: Capa temática de pendientes. Se muestran las pendientes obtenidas en porcentaje clasificadas de acuerdo a la Tabla 27: Clasificación de pendientes .....	85
Figura 15: Puntos de control de la capa temática geología.....	88
Figura 16 : Puntos de control a campo geomorfología.....	90
Figura 17: Puntos de control y observaciones de la vegetación.....	94
Figura 18: Puntos de control a campo de suelos.....	97
Figura 19: Puntos de control a campo de Inventario.....	99
Figura 20: Mapa de precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura. ....	104
Figura 21: Delimitación de unidades hidrográficas del área de estudio. Se indica la denominación, la divisoria de aguas, las curvas de nivel, los ríos y arroyos perteneciente a cada una de ellas. ....	107
Figura 22: Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo a las precipitaciones estacionales corregidas por altura.....	108
Figura 23: Gráfico de comparación de las Relaciones Hipsométricas de las Unidades Hidrológicas N° 2, N° 6, N° 7 y N° 8 con las curvas teóricas Curva A representa “Juventud”, Curva B representa un estado intermedio y la Curva C que representa un estado de “senectud” (las curvas teóricas fueron provistas por el Ing. Martín Nini).....	110
Figura 24: Área donde se realizó la búsqueda de registros (USGS).....	113
Figura 25: Sismos registrados en una escala de 2,5 en los últimos 10 años en el área cercana a Neuquén. Se indica aproximadamente el área de trabajo. Se observa que la mayoría de los epicentros están registrados en Chile (USGS).....	113
Figura 26: Sismos registrados en una escala de 4,5 en los últimos 10 años en el área cercana a Neuquén. Se indica aproximadamente el área de trabajo. Se observa que la mayoría de los epicentros están registrados en Chile (USGS).....	114
Figura 27: Capas temáticas de los elementos expuestos identificados como vulnerables.....	118
Figura 28: Metodología simplificada donde se indican los productos base (B), los resultados intermedios (I) y el resultado final (F).....	135
Figura 29: Mapa de Susceptibilidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi. ....	139
Figura 30: Mapa de Peligrosidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi. ....	141
Figura 31: Mapa de Vulnerabilidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi. ....	144

Figura 32: Mapa de Riesgo de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi. .... 147

Figura 33: Sistema Terramesh. Está formado por una malla hexagonal de doble torsión asociados a una estructura de gaviones. Permite el desarrollo de la vegetación y está formado por materiales permeables. Fuente: <https://www.maccaferri.com/br/es/productos/terramesh/>. .... 159

Figura 34: Sistemas GeoWeb son versátiles, económicos, se adaptan a los diferentes tipos de suelo y crean una estructura viva con vegetación cumpliendo los requisitos del diseño estructural. Fuente: <https://www.prestogeo.com>. .... 159

## Tablas

Tabla 1: Definiciones de susceptibilidad, vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo modificado de González de Vallejo et al. (2004) y Ministerio de Vivienda de España (2008). .... 22

Tabla 2: Descripción de la importancia y los objetivos de la evaluación del riesgo modificado de Ministerio de Vivienda de España (2008) y Zarco et al. (2003). .... 23

Tabla 3: Diferentes enfoques para la definición del riesgo natural (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). .... 25

Tabla 4: Tipos de materiales definidos por Varnes (1978) y Ayala Carcedo y Olcina Cantos (2002). .... 29

Tabla 5: Relación entre las precipitaciones y el tipo de movimiento con más probabilidad de desarrollarse. Las series estudiadas fueron desde 30 años a 70 años tomadas en diferentes lugares de España. (Gutiérrez Elorza, 2008). .... 30

Tabla 6: Velocidades de los movimientos en masa modificado de Ayala Carcedo y Olcina Cantos (2002). .... 31

Tabla 7: Clasificación y características de los movimientos en masa modificada de Varnes (1978) . .... 32

Tabla 8: Generalidades de los movimientos de remoción en masa para su observación en campo (González de Vallejo et al., 2004 y Ministerio de Vivienda de España, 2008). .... 35

Tabla 9: Factores condicionantes y desencadenantes generales de los movimientos de remoción en masa modificado de González de Vallejo et al. (2004). .... 36

Tabla 10: Umbrales de precipitación desencadenantes para movimientos de remoción en masa en España. Modificado de (González de Vallejo et al., 2004). .... 42

Tabla 11: Definición, ecuaciones y clasificaciones de los parámetros morfométricos. .... 45

Tabla 12: Escala de comparación y asignación de valores según Saaty (1990).....	53
Tabla 13: Valores del Índice de Aleatoriedad. (Molina Molina, 2014).....	55
Tabla 66: Marco normativo.....	65
Tabla 14: Características del SPOT V y de sus imágenes (CONAE, 2017) (Spot Image, 2005).....	67
Tabla 15: Datos en crudo de la imagen y el MDE.....	68
Tabla 16: Información de base adicional utilizada para la generación de cada producto.....	69
Tabla 17: Registros de los eventos en el área tomados de Vialidad Nacional y fuentes periodísticas.....	70
Tabla 18: Datos del recorte de la imagen y el MDE.....	72
Tabla 19: Fechas de las salidas al campo y principales observaciones realizadas.	72
Tabla 20: Actores relevantes y principales consultas realizadas.....	73
Tabla 21: Características generales identificadas a campo de acuerdo a los estratos de altitud observados.....	77
Tabla 22: Características relevadas en el punto de control D1.....	77
Tabla 23: Características relevadas en el punto de control D2 y D2bis.....	78
Tabla 24: Características relevadas en el punto de control D3.....	79
Tabla 25: Características relevadas en el punto de control D3bis a y b.....	80
Tabla 26: Características relevadas en el punto de control D4 y D5.....	81
Tabla 27: Clasificación de pendientes.....	84
Tabla 28: Puntos de control y observaciones de campo.....	86
Tabla 29: Clasificación de la capa temática de geología.....	87
Tabla 30: Clasificación de la capa temática de geomorfología.....	89
Tabla 31: Formas de vida modificado de (INTA y CONAE, 2009).....	91
Tabla 32: Grados de cobertura modificado de (INTA y CONAE, 2009).....	91
Tabla 33: Observaciones realizadas a campo de los puntos de control de la vegetación.....	92
Tabla 34: Clasificación de las unidades de vegetación.....	93
Tabla 35: Clasificación de suelos.....	96
Tabla 36: Clasificación del mapa de inventario.....	98
Tabla 37: Ubicación geográfica y altitud de las estaciones meteorológicas analizadas. No se corroboraron que los datos de todos los años estuviesen completos *. Esta serie se utilizó para realizar el análisis de precipitaciones, se comprobó que los datos fueran homogéneos y estén completos y consecutivos **.....	100

Tabla 38: Datos promediados de precipitaciones anuales acumuladas y estacionales (mayo – septiembre) acumuladas para la serie 1998 -2016. Asimismo se muestra la relación porcentual de ambas.....	101
Tabla 39: Clasificación de las precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura.....	103
Tabla 40: Parámetros morfométricos y características de las cuencas. La numeración de las cuencas se muestra en la Figura 22.....	109
Tabla 41: Valores de elevación media de las unidad hidrológicas N° 2, N° 6, N° 7 y N°8. ....	110
Tabla 42: Variación de temperatura respecto de la altura según Ferreyra et al., 2005.....	112
Tabla 43: Reclasificación de temperaturas.....	112
Tabla 44: Elementos identificados en el sector de estudio correspondientes a la vulnerabilidad social, económica y ambiental. Modificado de (González de Vallejo et al., 2004).....	115
Tabla 45: Clasificación de la capa “Pérdida de suelo” .....	116
Tabla 46: Clasificación de la capa “Usos del sector”.....	117
Tabla 47: Clasificación de la capa “Erosión de cauces”.....	117
Tabla 48: Zonificación de la susceptibilidad a eventos de remoción en masa modificada de CENEPRED (2014) y Mora (2004) citado por Muñiz Jáuregui y Hernández Madrigal (2012) y Chaverri Molina (2016). ....	120
Tabla 49: Zonificación de la peligrosidad de eventos de remoción en masa modificado de CENEPRED (2014), Ministerio de Vivienda de España (2008), Montiel y Secco (2006), González y Bejerman (2004), Ramírez Navas (2006), Saha et al. (2002) y Tambo Encalada (2011).....	121
Tabla 50: Zonificación de la vulnerabilidad de eventos de remoción en masa modificado de CENEPRED (2014). ....	121
Tabla 51 : Jerarquización de factores generales en porcentaje. ....	122
Tabla 52: Ponderación de los valores de inventario en porcentaje. ....	124
Tabla 53: Ponderación de valores de pendientes en porcentaje.....	124
Tabla 54: Ponderación de las unidades geológicas en porcentaje.....	125
Tabla 55: Ponderación de las variables de geomorfología en porcentaje .....	126
Tabla 56: Ponderación de la variable vegetación en porcentaje .....	127
Tabla 57: Ponderación de valores de suelos en porcentaje.....	128
Tabla 58: Jerarquización de los factores desencadenantes por el método AHP....	128

Tabla 59: Ponderación de las precipitaciones acumuladas estacionales corregidas por altura, por el método AHP.....	130
Tabla 60: Ponderación de unidades hidrológicas utilizando el método AHP. ....	131
Tabla 61: Ponderación de los valores de la capa Temperatura por el método AHP. .....	132
Tabla 62: Ponderación por método AHP de los factores la vulnerabilidad. ....	132
Tabla 63: Ponderación de la capa degradación de cobertura suelos por el método AHP. ....	133
Tabla 64: Ponderación de la capa Erosión de cauces por el método AHP.....	134
Tabla 65: Ponderación de la capa Usos del sector por el método AHP.....	134
Tabla 67: Zonificación del riesgo de movimientos de remoción en masa modificado de CENEPRED, (2014), González de Vallejo et al. (2004), Lario Gómez y Bardají Azcárate (2011).....	136
Tabla 68: Grados de susceptibilidad resultantes.....	138
Tabla 69: Grados de peligrosidad obtenidos. ....	140
Tabla 70: Grados de vulnerabilidad resultantes. ....	143
Tabla 71: Grados de Riesgo de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi. ....	146
Tabla 72: Precipitaciones anuales acumuladas diarias, de 3 días antecedentes y 15 días precedentes a un evento. ....	153
Tabla 73: Medidas inmediatas y a corto plazo. ....	157
Tabla 74: Medidas no estructurales a mediano y largo plazo.....	158
Tabla 75: Medidas estructurales a mediano y largo plazo.....	159
Tabla 76: Propuestas de Monitoreo y seguimiento.....	160

## 1. Introducción

Abordar la temática de la identificación y gestión de los riesgos resulta de gran interés para el Estado, los planificadores, las instituciones y la población, ya que los fenómenos naturales generan pérdidas económicas millonarias y ambientales irreversibles. Para tomar acciones de prevención y desarrollar protocolos se hace imprescindible contar con herramientas que contribuyan a la cuantificación del mismo y sus efectos.

Realizar una cuantificación apropiada es difícil ya que depende de numerosos factores, por estos motivos en la actualidad, la presentación cartográfica del riesgo es la metodología más utilizada ya que permite precisar espacialmente el peligro y tomar acciones en consecuencia (Mujica y Pacheco , 2013).

De todos los fenómenos naturales, los movimientos en masa, se encuentran en tercer lugar en el mundo con respecto a la afectación de víctimas, en comparación con otras catástrofes naturales como las inundaciones o los terremotos. Si bien no causan daños tan severos en comparación con los fenómenos mencionados, a lo largo de los años pueden causar mayores consecuencias y pérdidas. En muchos casos, estos procesos suponen un serio impacto en la estructura económica y social del lugar de ocurrencia. (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Estos procesos se pueden definir como fenómenos naturales que modifican el relieve y las condiciones originales de las laderas afectando las zonas habitadas y el mismo ambiente (Paz Tenorio et al., 2017). Las condiciones naturales para el desarrollo de estos procesos varían considerablemente de un lugar a otro, específicamente en cuanto a topografía, geología, actividad sísmica y volcánica, clima y vegetación; lo mismo ocurre con el grado y la forma de intervención antrópica (Mergili et al., 2014).

Los movimientos en masa ocurrirían con o sin actividad humana, sin embargo, la expansión de esta actividad, mediante la construcción de rutas, la explotación de recursos naturales, la urbanización, entre otras, han aumentado el número y la frecuencia de los mismos. Los flujos de detritos son uno de los procesos de remoción en masa más destructivos en todo el mundo, dado que se generan en las zonas montañosas y se depositan en abanicos aluviales o llanuras aluviales ocupadas por asentamientos humanos, como ocurre en el caso de aplicación de esta investigación (Sepúlveda et al, 2016).

A nivel mundial los procesos gravitacionales provocan numerosas pérdidas de bienes materiales y en algunos casos de vidas humanas (Alonso Moreno et al., 2006;

Aristizábal et al., 2010a; Castellanos Abella y Van Westen , 2009; Cruden y Varnes., 1996). Las zonas geográficas más afectadas han sido Asia (80,5%), América del Sur (14,6%) y en el sector de los Alpes (4,9%) (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Los daños económicos generados por estos fenómenos pueden ser directos, como la pérdida de bienes inmuebles e infraestructura, o indirectos, como costos de arreglos y medidas de mitigación. Éstos están valuados aproximadamente en 115 millones de USD en mantenimiento de autopistas federales y estatales en Estados Unidos (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

A lo largo de la historia registrada, numerosos movimientos han ocurrido alrededor del mundo causando grandes daños a bienes materiales y pérdidas de vida humana. El más antiguo registrado fue en la provincia de Hunan de China central en el 1767 a.C. Este derrumbe, fue accionado por un terremoto y desbordó el río Yi y otros ríos más pequeños (Turner, 1996). Desde el año 1000 d.C., se han registrado 280.135 muertes, predominando fenómenos como lahares y avalanchas. En tiempos más actuales, entre 1990 y 1995, estos movimientos provocaron 7.953 víctimas (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

A nivel regional, todo el sector limitante con la cordillera de los Andes se caracteriza por presentar un relieve abrupto y pendientes pronunciadas, a lo largo de toda su extensión ocurren gran variedad de procesos geomorfológicos, entre ellos las remociones en masa, que incluyen fenómenos como deslizamientos, avalanchas, caída de detritos y rocas (Mergili et al., 2014). Se pueden citar episodios a lo largo de toda la región, especialmente en Colombia, Venezuela, Perú, Ecuador, Bolivia, Chile y Argentina como los expuestos por Aristizábal et al. (2010a), Lozano et al.(2006), Mujica y Pacheco (2013), Pacheco et al. (2007), Serey et al. (2009), Sepúlveda et al. (2011, 2016), Weppen y Domínguez Morales (2003).

En Argentina, esto se repite en provincias como Mendoza, por ejemplo sectores como el Aconcagua, son susceptibles a ser afectados por procesos de remoción en masa debido a sus fuertes pendientes, laderas erosionadas por el hielo durante las antiguas glaciaciones, gran cantidad de detritos generados por crioclastismo, presencia de litologías favorables a colapsar y debilidades estructurales producto de la orogenia andina (Moreiras et al., 2008). En San Juan se estudiaron fenómenos de este tipo en la sierra de Punilla y sectores del Departamento de Iglesia (Esper Angilieri, 2011 y Esper Agilieri, 2012), así mismo se observó un caso en los Andes centrales de San Juan sobre el Río Santa Cruz donde las causas del proceso resultante tuvieron que ver con el colapso de un dique natural (Perucca y Esper Angilieri , 2009).

Un evento a destacar fue el ocurrido en la ciudad de Volcán Jujuy durante enero 2017. La misma quedó aislada, murieron dos personas y fueron evacuadas más de 1500 personas. El resultado del alud fue la afectación de una superficie de más 300 metros de largo por 10 metros de alto de lodo y barro. Los daños fueron evaluados en más de \$ 600.000 millones de pesos, se vieron afectados inmuebles, infraestructura de servicios y obras hídricas. También se tuvieron que reconstruir más de 60.000 m<sup>2</sup> en caminos y avenidas. Las acciones realizadas luego de lo ocurrido fueron ejemplificadoras, ya que se crearon protocolos de emergencia, un sistema de alerta temprana y se mejoraron las obras hídricas y civiles. (Gobierno de Jujuy, 2019).

También se han observado movimientos en masa en San Martín de los Andes (Urrea Matus y Jurio, 2012) y Villa La Angostura. Como por ejemplo ocurre con el caso del “Bosque sumergido” ubicado en Villa Traful, está compuesto por aproximadamente 60 cipreses que posee gran atractivo turístico. La masa de roca mide entre 3 km de ancho y 10 de largo, y se desplaza unos 36 cm anuales. Actualmente, este sector se encuentra en monitoreo, ya que investigadores de la Universidad de Buenos Aires indican que la ladera se encuentra inestable (Río Negro, 2019).

Así como, el pasado 23 de julio de 2019 se produjo una caída de rocas que provocó la obstrucción total de la calzada, dejando aislada a Villa La Angostura en plena temporada turística de invierno. Cayeron más de 2000 toneladas de roca y los trabajos para la limpieza de la misma tomaron más de 20 días. Ésto tuvo como consecuencia que se declarara el estado de emergencia y se destinaron alrededor de 70 millones de pesos para realizar estas tareas. Asimismo, se estimaron pérdidas millonarias en el sector turístico ya que las reservas disminuyeron más de un 40 % durante la temporada (Infobae, 2019).

Hacia el este de los Andes Patagónicos se ubica el Departamento de Bariloche, se observa la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, en particular en su ciudad principal San Carlos de Bariloche. La misma limita en casi toda su extensión con el Parque Nacional Nahuel Huapi, por lo tanto es de interés turístico a nivel mundial y nacional. Bariloche, manifestó en los últimos años un crecimiento poblacional acelerado y desordenado, que produce importantes problemas ambientales de relevancia, debido a la ocupación de terrenos poco aptos (Pereyra et al., 2009).

Se pueden citar como ejemplos de movimientos de remoción en masa, el denominado “aluvión de Melipal” (1976), el deslizamiento del “Hotel Mónaco” (1977), la caída de rocas que se observa en el “camino viejo a Colonia Suiza”, sectores de la Av. Exequiel Bustillo (km 12), en la “Barda del Ñireco” y en la zona de Península San



Pedro, entre otros. Todos ellos, están relacionados con fenómenos de lluvias torrenciales (Domínguez et al., 1978). Asimismo, se identifican sectores del ejido con predisposición a desarrollarse diversos riesgos naturales, según se desprende del estudio realizado por el SEGEMAR (Pereyra et al., 2009), el 25% de superficie del mismo presenta moderados a graves limitaciones para la urbanización por peligros de remoción en masa, inundaciones y erosión hídrica.

Debido a la marcada heterogeneidad ambiental que posee San Carlos de Bariloche y sus alrededores, se desarrollan diferentes tipos de problemáticas ambientales, como: la degradación de la vegetación, disposición de residuos, extracción de áridos, pérdida de hábitats y biodiversidad, degradación del paisaje, degradación de acuíferos y aguas superficiales, degradación de suelos, erosión hídrica y eólica, inundaciones y anegamientos, incendios e inestabilidad de pendientes (Pereyra et al., 2009).

Asimismo, es un área con una gran incidencia turística, con pocas arterias principales que recorren la extensión de la misma y sectores que presentan poca accesibilidad, por lo tanto la ocurrencia de un evento significativo podría afectar seriamente el movimiento cotidiano de la ciudad, sin pensar en las pérdidas económicas o humanas que podrían ocurrir. Por eso, es importante el estudio de estos procesos, para generar información de base, concientizar y comunicar a la población y a las autoridades de aplicación a fin de contribuir al desarrollo de normativas que consideren estos aspectos.

No sólo hay señales de procesos gravitacionales en todo el ejido de la ciudad sino que también se los observa en las afueras de la ciudad, por ejemplo en la ruta nacional (RN) 40 Sur, principalmente en la zona del Lago Guillermo. De la misma forma estos episodios se presentan con mayor frecuencia durante la época de lluvias que se concentran en otoño-invierno (Pereyra, 2007).

La escasez y poca difusión de estudios locales en la ciudad de San Carlos de Bariloche permiten el establecimiento de zonas habitacionales y obra civil sin ninguna restricción en zonas susceptibles a procesos de remoción en masa, tanto en el área urbana como rural. Recientemente, esta problemática ha tomado relevancia y ha sido motivo de estudio. Por ejemplo se puede citar el trabajo de Licenciatura en Geología de Miserit (2017) que aborda la evaluación de la susceptibilidad de remoción en masa en los sectores de los alrededores de los Lagos Mascaradi, Gutiérrez y Guillermo. El mismo se mencionará y discutirá más adelante.

Si bien hay pocos registros de afectación directa a las personas por eventos de remoción en masa, la desatención de este problema aumenta la probabilidad de que suceda un episodio ocasionando daños mayores. La prevención puede ser difícil, pero las buenas prácticas de ingeniería como la aplicación de medidas estructurales y no estructurales, junto con una propuesta adecuada de monitoreo pueden ayudar a minimizar los riesgos. Sin embargo, la percepción de las personas de este tipo de fenómenos es muy pobre exponiéndolas a un mayor peligro (Keller y Blodgett, 2004).

En el área del lago Guillermo, se observan procesos gravitacionales activos, debido a la intensa meteorización y fracturación que presentan las rocas aflorantes, sumado a las altas pendientes (Pereyra et al., 2009). Las laderas han sido erosionadas por el hielo durante las antiguas glaciaciones, gran cantidad de detritos generados por crioclastismo, presencia de litologías favorables a colapsar y debilidades estructurales producto de la orogenia Andina (Moreiras et al., 2008). También, las montañas orientales presentan un sustrato más disgregado que las occidentales, debido a que los glaciares fueron retrocediendo desde el este hacia el oeste, dejándolas libres de hielo antes, entonces están expuestas a la erosión durante más tiempo (Ferreira et al., 2005).

Para determinar las causas de estos movimientos de material deben examinarse el juego de las fuerzas impulsoras y de resistencia que influyen en la estabilidad de la ladera. La interrelación entre estas fuerzas estará determinada por factores condicionantes y desencadenantes. Los primeros, están asociados a factores que evolucionan lentamente como el relieve, la litología, la estructura tectónica, la hidrogeología, y el clima. Los segundos, de variación rápida, se relacionan con la sobrecarga, la excavación (que puede ser antrópica o natural), terremotos, vibraciones, precipitaciones abundantes, inundaciones, deforestación y congelamiento descongelamiento (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002 y Keller y Blodgett, 2004).

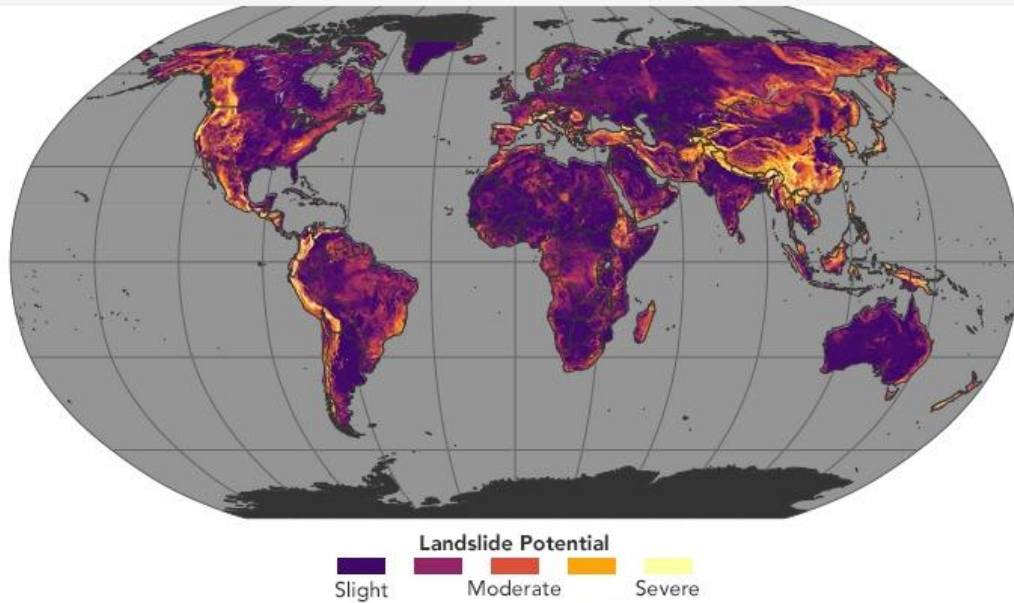
A los elementos geológicos, climáticos e hidrográficos del área se le suma la confluencia de una serie de factores socio-ambientales asociados con la presencia humana que actúan de forma negativa sobre el equilibrio y la dinámica natural de su evolución (Mujica y Pacheco, 2013). Fenómenos como la erosión, sismos, erupciones volcánicas, precipitaciones, diferencias de temperatura, pendientes pronunciadas, entre otros, pueden producir deslizamientos de laderas, derrubios, caída de detritos, etc. Estos procesos se pueden nombrar como procesos de remoción en masa considerando a cualquier movimiento que ocurre en una ladera pendiente abajo (Keller y Blodgett, 2004).

La zona de estudio posee una mayor susceptibilidad a que ocurran estos episodios (Pereyra et al., 2009), debido a la presencia de un relieve montañoso y pendientes pronunciadas (Keller y Blodgett , 2004), junto a la acción glaciaria reciente, que dejó como resultado grandes depósitos de material escasamente cohesivo y afloramientos rocosos fracturados y meteorizados físicamente. Un agravante de esta situación es la alta frecuencia de los incendios forestales durante el verano, las abundantes precipitaciones invernales y la acción del hielo durante el invierno que produce fenómenos de crioclastismo. Sin embargo, en la región andina aunque el agente dominante es la gravedad, las precipitaciones abundantes son un agente importante en la ocurrencia de estos movimientos (Mergili et al., 2014).

Las técnicas de teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son muy usadas para el estudio de los peligros naturales, y por lo tanto, se utilizan para el análisis de los movimientos en masa. Se pueden citar algunos ejemplos de uso de esta metodología en diferentes lugares del mundo como Ayalew y Yamagishi (2004), Hervás et al. (2002), González et al. (2013); Santacana et al. (2003) y Sepúlveda et al. (2016), entre otros. Ambas técnicas son herramientas importantes que sirven de apoyo para la planificación y gestión del ambiente. Al momento de diseñar la metodología propiamente dicha se debe definir el área de trabajo, la escala y el objetivo del mismo, que son los paradigmas al momento de la planificación. De su elección dependerá la aplicación y el uso de los resultados obtenidos (Zerda, 2005).

Por lo tanto, con los avances en las áreas de métodos numéricos y de estas herramientas computacionales, es importante reevaluar este peligro y desarrollar una herramienta o metodología para evaluar la susceptibilidad de derrumbes en una región (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

En el año 2018, Dalia Kirschbaum y Thomas Stanley han dado un paso en esa dirección mediante el desarrollo de un nuevo mapa de la susceptibilidad global de deslizamientos, que incluye modelos 3D, datos meteorológicos actualizados juntos con registros de inventario de todo el mundo (Figura 1). El mapa es parte de un esfuerzo más amplio para establecer un sistema de monitoreo de riesgos que combine las observaciones por satélite de las precipitaciones de la misión Global Precipitation Measurement (GPM) con una evaluación de la susceptibilidad subyacente del terreno. (Europa Press, 2018).



**Figura 1:** Mapa de susceptibilidad global de deslizamientos realizado por la NASA en 2018 (Europa Press, 2018).

La gestión de riesgos ante deslizamientos implica un manejo integral de las variables físicas y geográficas que intervienen en este proceso, así es necesario incluir como un objetivo en la metodología la definición de la jerarquización y ponderación de las mismas (Pacheco et al., 2007). Se aplican diversos métodos para evaluar el riesgo de los movimientos en masa mediante el empleo de SIG, la aplicabilidad de cada uno dependerá de las características y extensión de dicha zona, del tipo y distribución espacial de los eventos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo (Hervás et al., 2002).

La mitigación consiste en disminuir las pérdidas y los daños mediante el control de los procesos y la protección de los elementos expuestos. La elección de las medidas depende de las características de cada caso, pueden ser de tipos no estructurales o estructurales. Las primeras, en general, son las más efectivas y de menor costo económico, se basan en la ordenación del uso del territorio. Las estructurales son obras de ingeniería. Otros aspectos importantes a considerar en la prevención de riesgos, son la transmisión y concientización a la sociedad, desarrollo de cuestiones administrativas, legislativas y el control y el monitoreo (González de Vallejo et al., 2004).

De todos los riesgos, la remoción en masa es un proceso que tiene más posibilidades de control. Sin embargo, la determinación de zonas vulnerables no puede realizarse con la misma precisión que otros tipos de desastres. Pero debido a que la estabilidad del terreno está afectada por determinados factores, como pueden ser las precipitaciones, es posible generar cartografía y realizar predicciones en el tiempo (Remondo Tejerina, 2001).

Por lo expuesto en párrafos anteriores, el **objetivo general de este trabajo es analizar el riesgo de movimientos de remoción en masa en la Ruta Nacional 40 sur, Lago Guillermo, Departamento de Bariloche, con la finalidad de proponer una estrategia y un plan de mitigación para los riesgos identificados.** En particular, se plantearán los siguientes objetivos específicos:

**Objetivo 1:** Interpretar los factores condicionantes.

**Objetivo 2:** Interpretar los factores desencadenantes.

**Objetivo 3:** Analizar el marco normativos y los aspectos sociales.

**Objetivo 4:** Categorizar las áreas de mayor riesgo.

**Objetivo 5:** Elaborar propuestas y un plan de mitigación.

## **2. Aspectos conceptuales y terminología**

### **2.1. Conceptos de Susceptibilidad, Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo**

El estudio de los riesgos tiene por definición un carácter multidisciplinar, debido a que se trata de una temática geográfica, ecológica, biológica, geológica, social, legal, de ingeniería, sociológica, económica y sanitaria, entre otras. La simplificación de disciplinar a los procesos de la naturaleza que no conocen una separación entre cada una de estas temáticas puede ser difícil (Ayala-Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

El análisis de riesgos incluye la evaluación, la gestión y la comunicación de los riesgos. La evaluación proporciona información y características de la problemática estudiada en relación a un peligro, la gestión incluye las actividades emprendidas para controlar el peligro y la comunicación implica el intercambio de información sobre los factores de riesgo entre todas las partes interesadas. Realizar este análisis es una herramienta para enriquecer la información de base y permitir, entre otras cosas, el desarrollo de normativas (Fjeld et al. , 2007).

Para establecer medidas para reducir el riesgo es necesario realizar la evaluación de los elementos que lo componen: la susceptibilidad, la peligrosidad y la vulnerabilidad. Así una vez identificados los riesgos se podrán diferenciar las áreas más adecuadas para los diferentes usos y cuales son apropiadas para desarrollarse en un entorno con suficiente capacidad de acogida. De esta manera, el análisis de riesgos supone una

herramienta básica en la ordenación del territorio (Ministerio de Vivienda de España, 2008).

Aunque en algunas disciplinas los conceptos mencionados son utilizados como sinónimos, son términos diferentes que deben ser aplicados adecuadamente, por ejemplo, para este caso de estudio se puede decir que si hablamos de peligrosidad nos referimos al proceso geológico que ocurre, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños (González de Vallejo et al., 2004). En este trabajo se consideraran las definiciones indicadas en la Tabla 1 los términos de forma general que se irán desarrollando a lo largo del trabajo.

<b>CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO</b>	
<b>Susceptibilidad (S)</b>	Se define como la mayor o menor predisposición a que un evento suceda sobre un determinado ámbito geográfico, depende de las propiedades ambientales intrínsecas del sector de estudio. La evaluación de la misma se realiza a partir del mapa de inventario, información con los eventos actuales y antiguos, junto al mapa de factores condicionantes. Éstos indican las áreas donde interactuarán estos factores. La elección de los mismos es variable, dependerá del tipo de susceptibilidad a analizar y de la zona de estudio.
<b>Peligrosidad (P)</b>	Es la frecuencia de ocurrencia de fenómeno o proceso de origen natural o antrópico que sucede en determinado lugar (área específica) con una cierta intensidad y en un período de tiempo definidos. La evaluación de la peligrosidad consiste en estimar la ocurrencia de un fenómeno estudiando los mecanismos que le dan origen en un ámbito geográfico determinado. Éstos estarán determinados por la susceptibilidad y los factores desencadenes, que del mismo modo dependerá de la problemática estudiada y del sector de análisis.
<b>Vulnerabilidad (V)</b>	Está representada por el valor de los elementos expuestos de tipo social, natural, económico existentes en el área de estudio que potencialmente se verían afectados si se desencadena algún tipo de movimiento. Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Su evaluación depende de la existencia de elementos expuestos. Éstos pueden ser personas, bienes, servicios, actividades económicas, áreas de alto valor ecológico, entre otras.
<b>Riesgo (R)</b>	Es el grado de las pérdidas potenciales de bienes materiales y/o personas. Para que se desarrolle la situación riesgosa debe existir la exposición de los bienes o personas (vulnerabilidad) y las causas ambientales del desarrollo de un proceso natural o antrópico.

Tabla 1: Definiciones de susceptibilidad, vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo modificado de González de Vallejo et al. (2004) y Ministerio de Vivienda de España (2008).

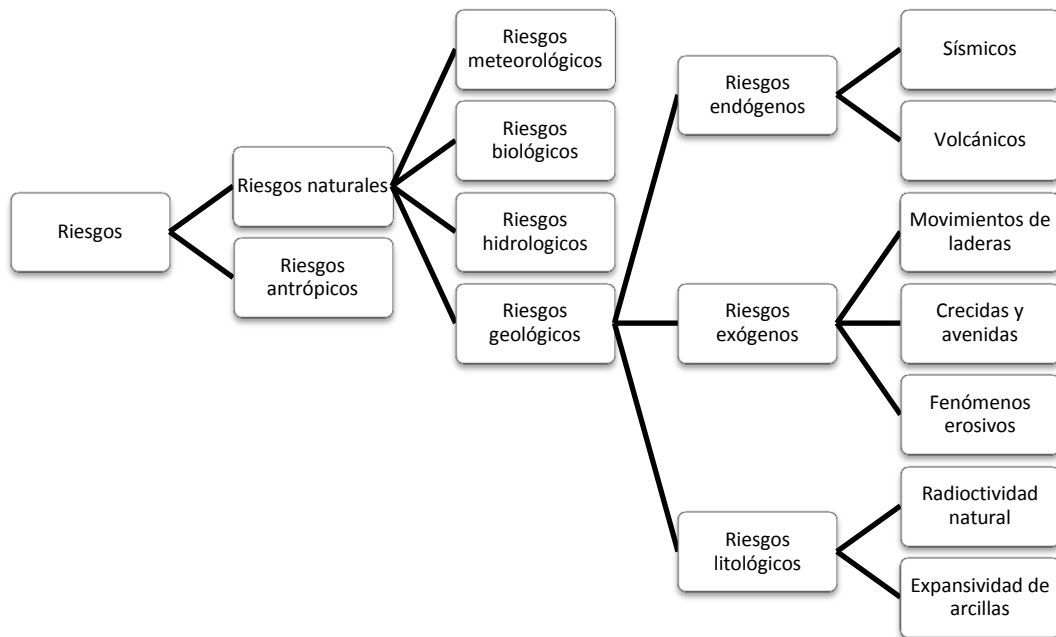
El concepto de riesgo también está asociado al nivel de resistencia a las pérdidas que posee un territorio, es decir, el potencial de una poblacional para experimentar graves daños, esto dependerá de la fragilidad del medio natural, las personas, sus actividades y

costumbres, los usos del suelo, entre otros. Así como aquellos aspectos relacionados como el estándar de vida, acceso a la salud, educación, existencia de agencias de protección civil, grupos sociales y usos del suelos más expuestos (Zarco et al., 2003). Por ello y según lo expuesto en la Tabla 2 su estimación es dificultosa e importante (Bisbal Sanz et al., 2006).

<b>IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO</b>
• Estudiar la aplicación de medidas preventivas y de mitigación, a partir de la identificación de los peligros y el análisis de la vulnerabilidad,
• Cuantificar los niveles de daño, los costos sociales y económicos frente al desencadenamiento de un peligro potencial,
• Proporcionar una base para la planificación de las medidas de prevención específicas de acuerdo a cada territorio para reducir la vulnerabilidad,
• Comunicar a la población por medio de la educación en la temática el desarrollo de medidas específicas con el fin que pueda tener una respuesta adecuada durante la emergencia y crear una conciencia de prevención,
• Racionalizar recursos humanos y económicos en la prevención y atención del evento,
• Garantizar inversiones específicas ,
• Aportar al desarrollo de normativas,
• Tomar en cuenta las lecciones aprendidas después de haber ocurrido un evento permitiendo observar y analizar los tipos de vulnerabilidad ,
• Generar una herramienta de referencia para los planificadores y técnicos de los servicios de urbanismo del estado,

**Tabla 2: Descripción de la importancia y los objetivos de la evaluación del riesgo modificado de Ministerio de Vivienda de España (2008) y Zarco et al. (2003).**

Existen diferentes tipos de riesgos y diferentes clasificaciones, para este trabajo se va a utilizar una modificación expuesta en la Guía metodológica para la elaboración de cartografías de Riesgos Naturales en España presentada por el Ministerio de Vivienda de España (2008). En este trabajo se estudiarán los riesgos naturales de origen geológico, puntualmente los movimientos de laderas (Figura 2)



**Figura 2: Clasificación de riesgos modificada de la Guía metodológica para la elaboración de cartografías de Riesgos Naturales en España presentada por el Ministerio de Vivienda de España (2008).**

Un riesgo natural se puede definir como un proceso que produce un daño para las personas, los bienes y los servicios cuyo origen se encuentra en la naturaleza. Necesariamente no es un proceso que ha ocurrido pero que si se produce tendrá consecuencias económicas y sociales (Lario y Bardají, 2016). Por otra parte, los riesgos naturales representan un aspecto de las características medioambientales del territorio (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Entendiendo al territorio como una representación del espacio que está sometido a una continua transformación, que resulta de una construcción social e identidad de los actores presentes (Mazurek, 2009). Asimismo, el concepto de vulnerabilidad se puede definir desde este enfoque como la susceptibilidad del medio ambiente, bienes y personas expuestas a un suceso potencialmente peligroso en un lugar y tiempo determinados (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

Entonces, el riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita sea afectado por un fenómeno de origen natural. Se lo puede comprender desde un enfoque natural, social y territorial (Tabla 3). Por ello, su análisis es un tarea compleja y multidisciplinar donde convergen profesionales dentro de las ciencias naturales y sociales (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).



<b>Enfoque natural</b>	<b>Enfoque social</b>	<b>Enfoque territorial</b>
Umbral de la dinámica natural de carácter extraordinario sobrepasado por el hombre debido al desarrollo de sus actividades.	Grado de aceptación de las personas frente a los rasgos poco aptos que puede presentar el ambiente.	Plasmación territorial de una actuación humana inadecuada respecto de los rasgos extremos del ambiente donde se desarrollan.

**Tabla 3: Diferentes enfoques para la definición del riesgo natural (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).**

Los riesgos geológicos son procesos geodinámicos de diferente magnitud y características, que afectan directa o indirectamente las actividades humanas. Son transformaciones que intervienen de diferente manera la superficie de la tierra y producen pérdidas económicas y de vidas humanas (González de Vallejo et al., 2004). Dependen directamente de la exposición de las personas a un peligro y aumenta su probabilidad de ocurrencia por el uso inadecuado que se le da al territorio. Asimismo existen los riesgos geológicos inducidos que son aquellos de origen natural pero que son desencadenados por la acción del hombre, como puede ocurrir con la subsidencia, inundaciones, desertificación, movimientos en masa entre otros (Lario y Bardají, 2016). A su vez el desarrollo de uno de ellos puede favorecer el desencadenamiento de otros.

Se pueden clasificar en tres tipos según su origen como lo exponen González de Vallejo et al. (2004) y Lario y Bardají (2016):

- *Internos o endógenos* : que tienen su origen en el interior de la Tierra como los volcánicos y los sísmicos;
- *Externos o exógenos*: con origen en la superficie de la tierra o sus cercanías, como los movimientos en masa, aludes, erosión de suelos (litorales, costeros, glaciares, periglaciares, entre otros). Aquí se pueden incluir procesos meteorológicos como, lluvias torrenciales, precipitaciones intensas, inundaciones y avenidas, huracanes, tornados ;
- *Litológicos*: no están asociados a procesos geodinámicos sino a la existencia o presencia de algún material rocoso o mineral que condiciona un determinado comportamiento del terreno, como por ejemplo kársticos, expansividad de arcillas, radiactividad natural, radón o minerales asbestiformes, halocinesis entre otros.

Retomando el concepto de riesgo natural y de territorio, el riesgo es un consecuencia directa del uso inadecuado del mismo. La ocupación humana es poco acorde con los rasgos del ambiente. En la mayoría de los casos las políticas de ordenación y las ambientales, no son necesariamente coincidentes y convergentes, de esta manera se

expone a las personas y a los bienes a riesgos inesesarios y evitables (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Por otro lado, los sistemas geológicos poseen la capacidad de autorregularse. Por ejemplo, los ríos que pertenecen a una red de drenaje montañosa, con pendientes pronunciadas, a medida que recorren la cuenca pendiente abajo van liberando su energía y van perdiendo su poder de erosión. Esta dinámica del sistema puede verse alterada con el aporte de un agente externo al mismo. Si ocurre un gran incendio en el sector superior de una cuenca, modifica los escurrimientos y la infiltración del terreno, por lo tanto aumenta el caudal que reciben los ríos y consecuentemente la erosión en la cuenca inferior, modificando el funcionamiento del sistema. De esta forma, se genera un nuevo régimen dinámico, que está marcado por el tiempo que el sistema tarda en estabilizarse (Anguita Virella y Moreno Serrano, 1993).

Así, el tiempo juega un rol fundamental al momento de considerar un evento riesgoso. Si éste es muy extenso, de miles de años (tiempo geológico) con respecto al desarrollo de una vida humana, el riesgo es despreciable. En cambio, para fenómenos rápidos y catastróficos el riesgo se vuelve potencialmente grande. Es imperioso que los impactos y las intervenciones no deben llegar a los umbrales de los sistemas geológicos (Anguita Virella y Moreno Serrano, 1993).

El riesgo se evalúa a partir de la peligrosidad y la vulnerabilidad. Si cualquiera de estos factores es nulo, el riesgo también lo será. Por ejemplo, si la peligrosidad fuese muy alta pero no existen elementos expuestos. Al contrario, puede ocurrir que en sitios poco peligrosos pero con una gran cantidad de personas ocupándolo, aumentará considerablemente el riesgo. Se deduce que este podrá reducirse interviniendo sobre los factores que definen la peligrosidad o la vulnerabilidad (González de Vallejo et al., 2004).

A fin de estudiar y cuantificar los riesgos de remoción en masa, los mapas constituyen un método muy efectivo, ya que permiten integrar la información georreferenciada considerando conjuntamente el componente espacial y la información temática (factores condicionantes y desencadenantes) (Keller y Blodgett, 2004). El resultado es una zonificación del territorio con diferentes grados de riesgo potencial, permitiendo una rápida visualización de los resultados. De esta manera, los mapas de riesgo tienen como finalidad identificar los puntos más problemáticos a fin aplicar las medidas correctivas necesarias.

Como se introdujo, serán necesarios diferentes tipos de información cartográfica para obtener el mapa de riesgo (Figura 3). Cada uno de ellos se obtiene a partir de información contenida en los mapas anteriores, junto con el conocimiento y el análisis de nuevos datos. En primer lugar, serán necesarios los mapas de inventario y susceptibilidad.

Los primeros incluyen la localización espacial de los procesos y de las zonas afectadas, y sus características. Por ejemplo, si se trata de movimientos en masa, se representan de forma puntual o zonal los procesos antiguos, los actuales y las áreas afectadas. También pueden contener información topográfica y geomorfológica (Keller y Blodgett , 2004). Los segundos representan espacialmente las zonas susceptibles a ser afectadas. La generación de esta cartografía necesita contar con información específica sobre los factores condicionantes que definen estos movimientos. Así este producto tiene como resultado una leyenda sencilla que puede ser interpretada por los tomadores de decisiones o el público en general, sin ser interpretada puntualmente por un experto (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

Asimismo, los mapas de peligrosidad se realizan luego del análisis de los factores desencadenantes, la predicción espacial y de ocurrencia de los eventos (González de Vallejo et al., 2004). La cartografía de peligrosidad para este tipo de eventos, representa espacialmente las zonas propias de peligro, es decir, la probabilidad temporal de ser afectadas por estos movimientos. Este mapa delimitará las áreas con igual probabilidad de ocurrencia de eventos en un tiempo definido. Por ello para la elaboración de la misma se necesita tanto los factores condicionantes (mapa de susceptibilidad) como desencadenantes para desarrollar el de peligro. Muchas veces, en este punto, la limitación de la información sobre estos últimos factores suele ser un obstáculo para el correcto desarrollo del trabajo (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

Finalmente, los mapas de riesgo permiten descubrir las debilidades del territorio, facilitan su gestión y optimizan las actuaciones de emergencia y prevención. Muestran los eventos naturales, en este caso los movimientos de remoción en masa, en relación con los impactos potenciales que pueden afectar a los bienes materiales y a las personas (Chávez et al., 2015). Estos mapas describen áreas que probablemente tendrán eventos de remoción en masa, y son una herramienta básica para la planificación del uso de la tierra, especialmente en las zonas de montaña (Santacana et al., 2003). Sin embargo, los mapas de riesgo son poco frecuentes, debido a la complejidad de cuantificar la vulnerabilidad, como obtener datos fehacientes que representen la peligrosidad. Por ello muchos mapas

denominados de peligrosidad y de riesgo, son en realidad mapas de susceptibilidad (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

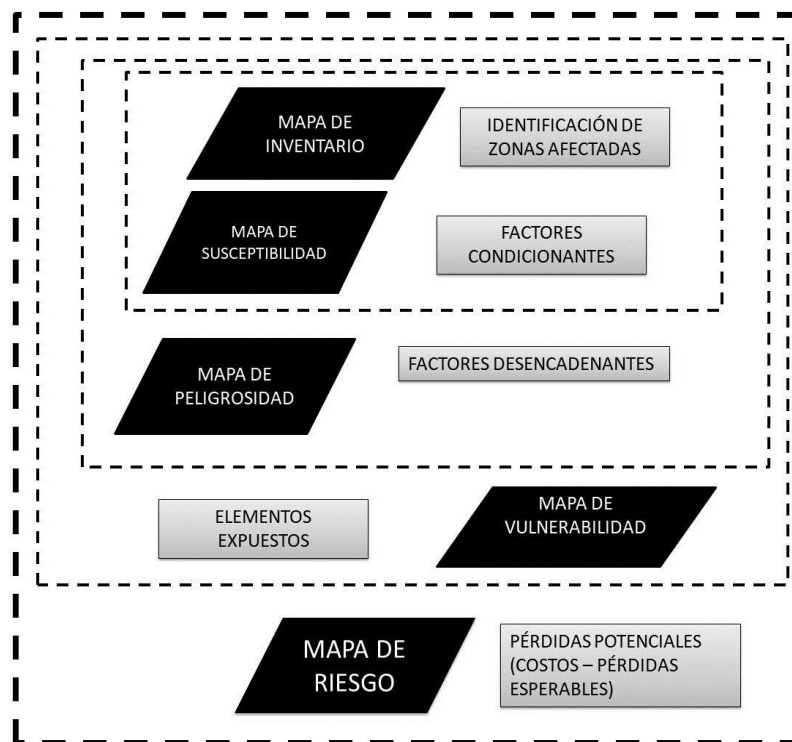


Figura 3: Cartografía de base para la realización del mapa de riesgo indicando la información general de base para cada caso modificado de González de Vallejo et al. (2004).

Las metodologías más utilizadas son aquellas que permiten la integración del análisis espacial de los datos y establecer bases de datos asociadas (González de Vallejo et al., 2004). Se utilizan los SIG que se apoyan en técnicas de teledetección, datos meteorológicos, bibliográficos, entre otros, que se detallarán en particular para este trabajo.

### 2.1.1. Características de fenómenos de remoción en masa

Los procesos geológicos y climáticos que actúan sobre la superficie de la tierra forman el relieve y definen la morfología de las laderas (González de Vallejo et al., 2004). Una ladera es una masa de tierra que representa una pendiente de forma natural, con cambios significativos en su altura (Suárez, 2009). La pendiente natural, por lo general, se encuentra cercana al equilibrio, ante el cambio de condiciones geológicas o climáticas, su morfología se modifica buscando un nuevo equilibrio. De esta manera un **movimiento en masa o movimiento de ladera** puede entenderse como una modificación del terreno que tiende al equilibrio (González de Vallejo et al., 2004), como se explicó antes, converge en un nuevo régimen dinámico que dependerá del tiempo.

Entonces, un movimiento en masa es un fenómeno mecánico en el medio geológico con dimensiones cinemáticas, estáticas, dinámicas y energéticas (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Estos sucesos movilizan materiales por la acción de la gravedad, constituirán un riesgo cuando produzcan un daño a los bienes materiales, las personas o el ambiente (Gutiérrez Elorza, 2008).

Cuando la pendiente no es natural, y se generó antrópicamente, esta se denomina “Talud”. Un talud comprende un sector superior convexo con cresta o escarpe, donde predominan los procesos de erosión, una parte intermedia moderadamente recta y por último, una zona inferior cóncava con un pie o base, en la cual predominan los procesos de acumulación y deposición (Suárez, 2009).

Existen varias clasificaciones en referencia a los movimientos de remoción en masa, la elección de la misma define la “identidad” de los movimientos. La clasificación y encuadre de los mismos está directamente relacionada a la severidad por ello es muy importante su aplicación para realizar inventarios o productos cartográficos (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). En este trabajo se utilizará la clasificación de acuerdo a lo expuesto por Varnes (1978). Se completó la misma de acuerdo a lo estudiado posteriormente por Alcántara Ayala (2000), Ayala Carcedo y Olcina Cantos (2002), Keller y Blodgett (2004) y Gutiérrez Elorza (2008).

Esta es la más utilizada a nivel mundial, ya que considera tanto los aspectos geológicos (tipos de litología), cinemáticos y movimiento predominante (Alcántara Ayala, 2000; Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002; Moreiras et al., 2008; Novotý, 2013 y Suárez, 2009). Los tipos de materiales se muestran en la Tabla 4.

<b>Tipos de materiales</b>	<b>Descripción</b>
<b>Roca</b>	Materiales blandos o duros que se encontraban intactos en su sitio antes de iniciar el movimiento.
<b>Derrubios o Detritos</b>	Contiene una proporción significativa de material grueso (20% a 80%). La fracción mayoritaria representa partículas > 2 mm. Esta proporción es lo suficiente como para controlar las propiedades mecánicas.
<b>Barro</b>	Material donde el 80% o más de las partículas son < 0.06mm. El límite superior de partículas de tamaño limo.
<b>Suelo</b>	Material en el que el 80% o más de las partículas son más pequeñas de 2mm, el límite superior de partículas de tamaño arena.

Tabla 4: Tipos de materiales definidos por Varnes (1978) y Ayala Carcedo y Olcina Cantos (2002).

Los movimientos pueden clasificarse en simples o complejos. Estos últimos representan una combinación de al menos dos movimientos simples. Los movimientos simples pueden ser “aéreos” o “terrestres”. Dentro de los movimientos de fase aérea podemos mencionar, caídas, rebotes, rodaduras, vuelcos; los terrestres están relacionados

con movimientos sobre el terreno, como deslizamientos, flujos, coladas y reptaciones (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Además del tipo de material y el mecanismo del movimiento, la velocidad, se debe considerar la cantidad de agua presente (Keller y Blodgett, 2004) que se evidencia en forma de precipitaciones. De esta manera existe la probabilidad que se desarrolle un movimiento determinado (Tabla 5).

Tipo de Movimiento	Precipitación anual [mm]		Precipitación en los 3 - 4 meses previos [mm]		
	Total año previo	Media anual de la serie	Total meses previos	Porcentaje total año previo [%]	Porcentaje media anual de la serie [%]
<b>Deslizamientos</b>	500 a 1000	500 a 800	300 a 500	50 - 60	≤ 30
<b>Flujos de tierra o suelos</b>	500 a 800	600 a 700	300 a 400	50 - 80	50 - 60
<b>Flujos de derrubios</b>	≥ 1300	1100 a 1200	350 a 650	30 - 50	50 - 120
<b>Desprendimientos</b>	250 a 700	220 a 450	100 a 250	≤ 30	50 - 130

Tabla 5: Relación entre las precipitaciones y el tipo de movimiento con más probabilidad de desarrollarse. Las series estudiadas fueron desde 30 años a 70 años tomadas en diferentes lugares de España. (Gutiérrez Elorza, 2008).

La velocidad depende del tipo de movimiento y la masa, sus rangos pueden ser muy amplios. Por ejemplo, las caídas, avalanchas, flujos de derrubios, de barro o de lodo son movimientos de gran velocidad, en cambio la reptación es un movimiento lento que es más difícil identificar a simple vista (Figura 4) (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Asimismo, tiene influencia directa sobre las consecuencias destructivas y la severidad del evento (Tabla 6). En general aquellos movimientos extremadamente rápidos pueden producir grandes daños y los movimientos muy lentos pueden ser imperceptibles a simple vista. Pero, pueden darse movimientos lentos en un principio y luego aumentar gradualmente o rápidamente y producir daños severos (Suárez, 2009).

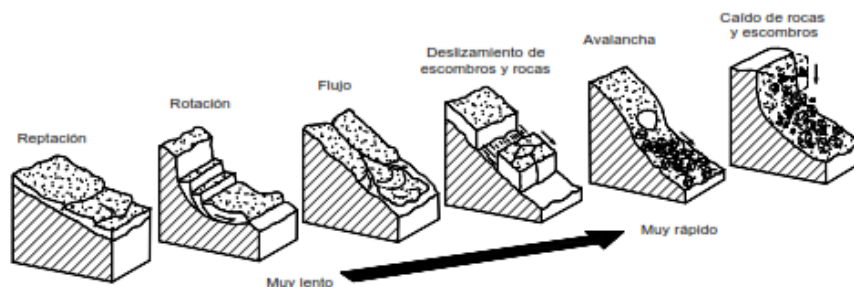


Figura 4: Velocidades de acuerdo al tipo de movimiento (Suárez, 2009).

Velocidad		Escala de severidad
5 m/s	Extremadamente rápida	Destrucción total de edificaciones y bienes material, pérdida de vidas humanas y animales. Sin posibilidad de alerta y vías de escape.
3 m/min	Muy rápida	Daños materiales de igual magnitud que para velocidades extremadamente rápidas, aunque se puede existir alguna vía de escape posible.
1,8 m/h	Rápida	Pérdida de bienes materiales, con alta probabilidad de escape, con comunicación a la población y protocolos a implementar.
13 m/mes	Moderada	Disminuyen los daños materiales de acuerdo a la distancia del evento.
1,6 m/año	Lenta	Se pueden aplicar medidas durante el desarrollo del movimiento, mayor posibilidad de prevención. Mantenimiento de estructuras.
0,16 m/año	Muy lenta	Existe la posibilidad que no haya daños materiales durante el movimiento. Se pueden estudiar y detectar con instrumentos. Aplicar planes de remediación y contención.

Tabla 6: Velocidades de los movimientos en masa modificado de Ayala Carcedo y Olcina Cantos (2002).

De esta manera los movimientos en masa se pueden clasificar y definir (Tabla 7). de acuerdo a lo expuesto por Varnes (1978), como se mencionó. Se ilustran los mismos en la Figura 6.

Tipo de movimiento	Mecanismo según tipo de material	Velocidad	Características
<b>Caídas</b>	Caídas de rocas, caídas de detritos o caídas de suelos	Son rápidos a extremadamente rápidos	Cuando una masa de material se desprende y desciende a través de caída libre, salto, rebote, balanceo o ambos. Este movimiento está fuertemente influenciado por la gravedad, la meteorización física y la presencia de agua intersticial.
<b>Vuelcos o desplomes</b>	Vuelcos por flexión, vuelcos de bloques, vuelcos de bloques flexionados	Son rápidos a muy rápidos	Consiste en la rotación de una masa de material geológico en torno a un eje determinado por su centro de gravedad. El movimiento ocurre hacia adelante o hacia la parte externa, incluye una inclinación o basculamiento, pero no implica un colapso del material. Se dan en superficies diferentes, es decir, aquellas que poseen discontinuidades como diaclasas, grietas o superficies columnares.
<b>Deslizamientos</b>	Deslizamientos de bloques, deslizamientos rocosos, deslizamientos de suelos, deslizamientos de detritos	Velocidad es muy variable. Desde unos pocos cm al año, varios metros por mes o pueden alcanzar velocidades de 3 m/seg.	Son movimientos ladera debajo de un material geológico, el cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo tanto superficies cóncavas se asocian a deslizamientos rotacionales y superficies planas, tetraédricas o poliédricas denominados transicionales.
<b>Flujos</b>	Flujos de rocas, flujos de detritos, flujos de arena o suelos. Se incluyen	Velocidad variable. Pueden existir flujos extremadamente	Estos desplazamientos son espacialmente continuos, las superficies de cizalla son muy próximas. Este movimiento es muy parecido al de un fluido viscoso donde las velocidades no

Tipo de movimiento	Mecanismo según tipo de material	Velocidad	Características
	dentro de los flujos, algunos movimientos con características propias como la reptación y la solifluxión.	rápidos a diferencia de la reptación que es muy lenta.	son homogéneas y origina lóbulos dependiendo de la granulometría predominante. Los flujos son los procesos dominantes en los Andes y pre Andes de Argentina, están relacionados con las lluvias torrenciales de corta duración y gran intensidad
<b>Expansiones Laterales</b>	Expansiones laterales en rocas, expansiones laterales en suelos y detritos.	Velocidad media a rápidos y muy rápidos	Son el resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compactos. Ocurren por licuefacción o fluidización del material, sobrevienen cuando los materiales gruesos están formando parte de una matriz con materiales más finos o presencia de arcillas.

Tabla 7: Clasificación y características de los movimientos en masa modificada de Varnes (1978).

Estos movimientos en muchos casos no ocurren de forma aislada y se desencadenan como **movimientos complejos**. Estos se desarrollan cuando un movimiento se transforma en otro al ir trasladándose ladera abajo. Se destacan los aludes, avalanchas de rocas y flujos deslizantes. Los *aludes y avalanchas de rocas* consisten el arrastre de gran distancia de grandes masas de rocas y detritos las cuales pueden moverse a gran velocidad. El material proviene del desprendimiento de rocas que se movilizan por efecto de la gravedad. Las velocidades de grandes avalanchas pueden superar los 90 km/h y puede alcanzar como máximo 350 km/h. Recorren distancias de hasta 30 km y ascender varios metros de la ladera opuesta. También suelen depositarse en el pie de la ladera generando morfologías tipo abanico. Existen varias hipótesis para explicar el origen de estos movimientos, se piensa que el retroceso de los glaciares ocasionó descompresiones en las laderas de las montañas, movilizandando grandes volúmenes de roca y exponiendo las mismas a la meteorización y erosión.

Los *flujos deslizantes* están representados por un colapso de gran extensión de una masa de material de detritos que viajan a velocidades rápidas o extremadamente rápidas. Un flujo de estas características está compuesto por material poco compactado que pierde su cohesión y se transforma en un material fluido, este puede ser aire o agua. Posee rasgos morfológicos de un deslizamiento y de un flujo. Los materiales que intervienen pueden ser son depósitos glaciares de till u otros materiales con poca cohesión. Las causas se estos movimientos son complejas, pueden ser generados por vibraciones, sismos, precipitaciones intensas, sobrecargas, movilización del soporte lateral. Estos flujos poseen una gran energía, pueden transportar bloques rocosos de más de 1 m<sup>3</sup>, como consecuencias han producido numerosas pérdidas humanas y daños en infraestructuras.



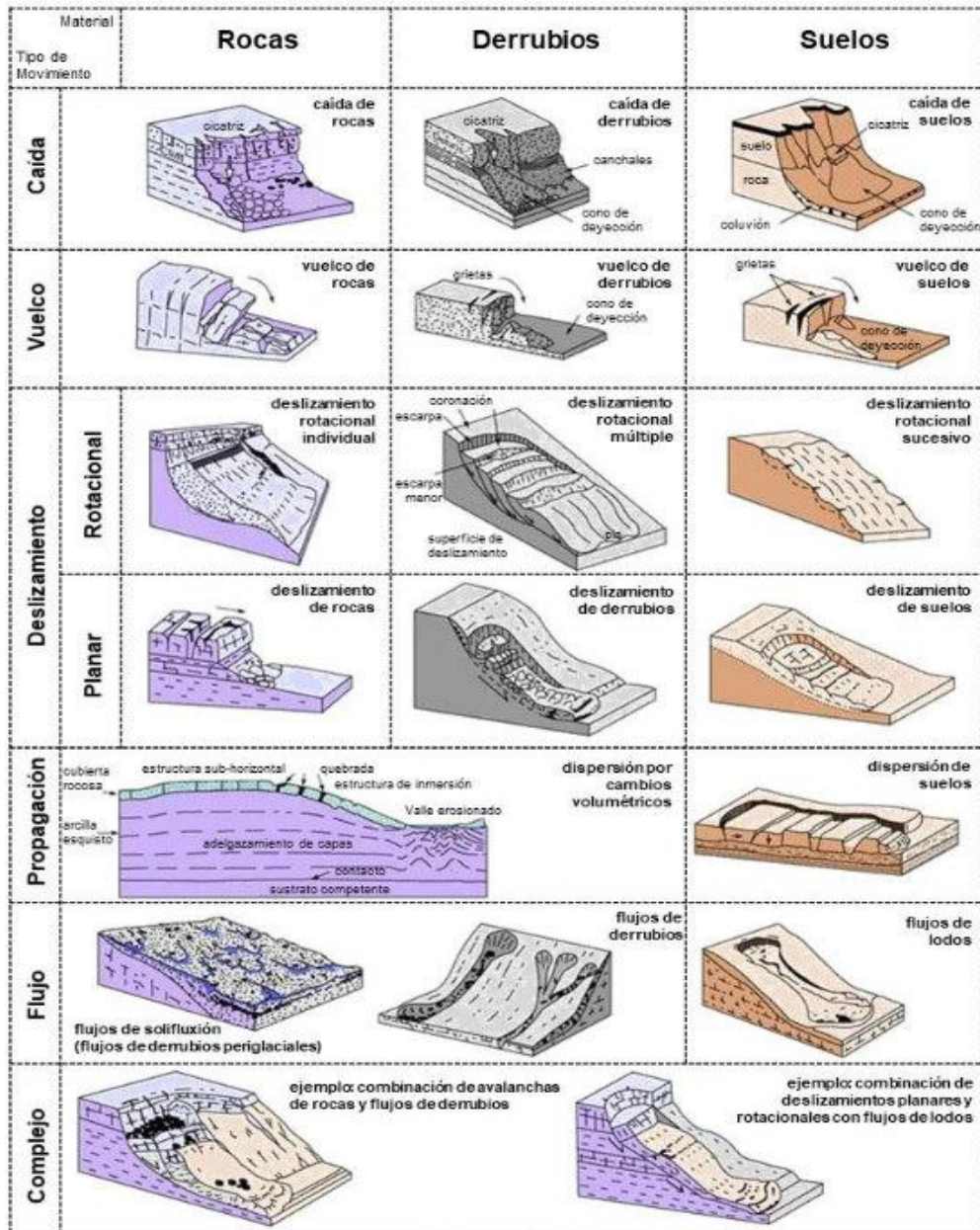


Figura 5: Diagramas típicos de movimientos en masa (González de Vallejo et al., 2004).

Esta clasificación puede ser compleja y el reconocimiento a campo para identificarlos puede ser difícil. Los trabajos de campo incluyen la identificación de procesos actuales y antiguos, verificar la existencia de grietas, escarpes, depósitos y otros factores morfológicos y geológicos. La metodología para reconocer movimientos antiguos, activos o zonas inestables, consiste en corroborar la existencia de grietas, formas erosivas, áreas de acumulación, diferentes tipos de depósitos; junto con indicadores de daños al ambiente como modificaciones en la vegetación, en sus estratos y formas de crecimientos, señales de erosión, entre otros (Tabla 8). Estos mismos indicadores pueden ser utilizados para determinar movimientos en masa en mapas de topografía, geológicos, geomorfológicos y en imágenes satelitales o fotografías aéreas, siempre de acuerdo a la escala de trabajo (Ministerio de Vivienda de España, 2008).

<b>Movimiento</b>	<b>Área superior de la ladera (cabecera)</b>	<b>Pendientes</b>	<b>Área baja de la ladera</b>
<b>Caídas y desprendimientos</b>	Laderas irregulares, rocosas y escarpadas con materiales sueltos, poco consolidados y derrubios en la parte superior. Bloques fracturados y con discontinuidades. Grietas en los taludes y vegetación escasa.	Pendientes > 50° (110%)	Acumulación de bloques y fragmentos rocosos.
<b>Deslizamientos Rotacionales</b>	Presencia de grietas de tracción curvas cóncavas hacia la ladera. Escarpes curvos con estrías que pueden ser verticales en la parte superior. Superficies basculadas con encharcamientos. Contrastes de vegetación. Malas condiciones de drenaje y anegamientos o encharcamientos en depresiones.	Pendientes entre 20° - 40° (44% - 89%)	Depósitos convexos lobulados. Desvío de cauces.
<b>Deslizamientos Traslacionales de rocas o suelos</b>	Señales de grietas de tracción verticales paralelas al talud. Escarpes verticales poco profundos. Material en bloques con grietas entre ellos. No se observan encharcamientos en la cabecera. El drenaje es irregular y desordenado, o ausente.	Pendientes uniformes	Desvío de cauces. Pueden observarse acumulaciones de material en forma de lóbulos.
<b>Desplazamientos Laterales</b>	Bloques desplazados y basculados en varias direcciones. Grandes grietas separando los bloques. Estos poseen formas irregulares controladas por fracturas. Los sistemas de drenaje están interrumpidos, obstrucciones de cauces, valles asimétricos.	Pendientes suaves < 10° (23%)	
<b>Flujos de barro</b>	Se observan nichos cóncavos poco profundos y pocas grietas. Contrastes con la vegetación en las zonas estables. Presencia de encharcamientos, aunque no hay irregularidades en el drenaje.	Pendientes entre 15° - 25° (33% - 55%)	Hay lóbulos y la morfología es irregular y ondulada.

Movimiento	Área superior de la ladera (cabecera)	Pendientes	Área baja de la ladera
<b>Flujos de detritos y tierra</b>	Existencia de concavidades y lóbulos en el área superior. Varios escarpes. Depósitos con forma de corriente en valles. Ausencia de vegetación. Drenaje irregular y disturbado en la masa deslizada.	Pendientes > 25° (55%)	Depósitos convexos lobulados. Morfología irregular.

Tabla 8: Generalidades de los movimientos de remoción en masa para su observación en campo (González de Vallejo et al., 2004 y Ministerio de Vivienda de España, 2008).

### 2.1.2. Factores condicionantes y Factores desencadenantes

Los factores que controlan los movimientos en las laderas y taludes son aquellos que influyen en el comportamiento geo mecánico de los materiales que las conforman, son aquellos agentes que tienen la capacidad de modificar las fuerzas motrices y de resistencia. Por ejemplo se distinguen las precipitaciones y la deforestación como aquellos que pueden contribuir a reducir la resistencia. Y, a todas las acciones que generen sobrecargas, ya sean naturales como la acumulación de derrubios o antrópicas como rellenos, como intensificadores de las fuerzas motrices (González de Vallejo et al., 2004).

Otros dos factores que tienen relación directa con las condiciones de los materiales y la conformación de las laderas, son los condicionantes y desencadenantes (González de Vallejo et al., 2004):

- Los **factores condicionantes o lentos** dependen de las características intrínsecas del ambiente natural, su estructura y forma de terreno,
- Los **factores desencadenantes o rápidos**, se consideran factores externos que provocan las inestabilidades y por lo general son los que determinan la magnitud y velocidad de los movimientos.

Se presentan, algunos ejemplos de los mismos, en la

	<b>Factores</b>	<b>Efectos</b>
<b>Condicionantes</b>	Relieves (pendientes)	Distribución del peso en el terreno.
	Litología (composición y textura)	Densidad, resistencia, comportamiento hidrogeológico, deformabilidad, zonas de debilidad.
	Propiedades geo mecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales.
	Deforestación	Modificaciones en el balance hídrico. Erosión.
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión, generación de zonas de debilidad.
<b>Desencadenantes</b>	Precipitaciones y aportes de agua Cambio en las condiciones hidrológicas	Variaciones de las presiones intersticiales y del peso de terreno. Saturación de los suelos. Erosión.
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas	Cambio en la distribución del peso de los materiales y el estado tensional en la ladera.
	Erosión y socavación del pie de la ladera o talud	Cambios geométricos en la ladera, que puede modificar la distribución del peso de los materiales y el estado tensional de la misma.
	Acciones climáticas - crioclastismo (procesos de deshielo, heladas)	Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las fuerzas de resistencia.
	Sismos	Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las fuerzas de resistencia. Cambios abruptos en la geometría de la ladera

Tabla 9. En general, se considera que los factores desencadenes son los que poseen mayor peso o influencia a generar un movimiento de remoción en masa, pero las inestabilidades no se generan en primer lugar de no existir condiciones naturales predeterminadas que favorezcan su ocurrencia (González de Vallejo et al., 2004).

	<b>Factores</b>	<b>Efectos</b>
<b>Condicionantes</b>	Relieves (pendientes)	Distribución del peso en el terreno.
	Litología (composición y textura)	Densidad, resistencia, comportamiento hidrogeológico, deformabilidad, zonas de debilidad.
	Propiedades geo mecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales.
	Deforestación	Modificaciones en el balance hídrico. Erosión.
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión, generación de zonas de debilidad.
<b>Desencadenantes</b>	Precipitaciones y aportes de agua	Variaciones de las presiones intersticiales y del peso de terreno. Saturación de los suelos. Erosión.
	Cambio en las condiciones hidrológicas	
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas	Cambio en la distribución del peso de los materiales y el estado tensional en la ladera.
	Erosión y socavación del pie de la ladera o talud	Cambios geométricos en la ladera, que puede modificar la distribución del peso de los materiales y el estado tensional de la misma.
	Acciones climáticas - crioclastismo (procesos de deshielo, heladas)	Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las fuerzas de resistencia.
	Sismos	Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las fuerzas de resistencia. Cambios abruptos en la geometría de la ladera

**Tabla 9: Factores condicionantes y desencadenantes generales de los movimientos de remoción en masa modificado de González de Vallejo et al. (2004).**

### **2.1.2.1. Acción de la gravedad: Pendientes**

Podemos entender a la pendiente como un gradiente o inclinación de la superficie de la tierra. Por lo general cuanto mayor es la pendiente mayor será la fuerza impulsora (Keller y Blodgett, 2004). Así la forma del relieve es una condición necesaria para que ocurran los movimientos gravitacionales, por ello las regiones montañosas son más propensas a desarrollar este tipo de eventos. Sin embargo, en algunos casos, dependiendo de otros factores con una pendiente muy baja puede desarrollarse flujos de barro o tierra (González de Vallejo et al., 2004).

La mayoría de los eventos se desarrollan en laderas de 28°- 45° de inclinación, aunque dependiendo de las condiciones como se mencionó los valores pueden ser menores. Cuando las pendientes son muy abruptas, se registrarán mayor número de eventos y sobre todo tienen relación directa las precipitaciones (Gutiérrez Elorza, 2008).

### **2.1.2.2. Geología y Geomorfología: Litología y Relieve**

Las características geológicas como la estructura, estratigrafía y litología determinan la potencialidad de los movimientos, de acuerdo los materiales rocosos, suelos, discontinuidades que se presenten que puedan actuar como superficie de rotura y representan el comportamiento geomecánico de la ladera (Gutiérrez Elorza, 2008). La

composición, la resistencia, deformabilidad, grado de alteración, fracturación, porosidad y permeabilidad determinan la predisposición del terreno a sufrir roturas, deslizamientos o otros eventos sumado a la exposición de los factores desencadenantes (González de Vallejo et al., 2004).

En sectores con predominio de granitos, las características más importantes que afectan el comportamiento mecánico del regolito, son las discontinuidades heredadas, la textura y los tipos de minerales de arcilla. También influirá el grado de meteorización, ya que las laderas que poseen bloques meteorizados evolucionarán a desarrollar desprendimientos. Generalmente, es este tipo de roca el plano de deslizamiento se ubica a profundidad próximo al contacto de la roca fresca con el regolito. El movimiento en masa suele ser de tipo rotacional, aunque la presencia de discontinuidades relictas en el regolito favorecen la penetración del agua pudiendo ocasionar deslizamientos de tipo traslacionales (Gutiérrez Elorza, 2008).

La litología, la estructura geológica, el grado de alteración y meteorización están asociadas al comportamiento hidrogeológico y a las condiciones climáticas del sector de estudio. Por ejemplo en regiones lluviosas es frecuente observar capas de materiales alterados y meteorizados sobre sustratos rocosos y de niveles freáticos elevados que influyen decisivamente en las condiciones de estabilidad, por ello el agua tiene un efecto negativo en la resistencia de los materiales, como se explicará más adelante (González de Vallejo et al., 2004).

En relación a la geomorfología la energía del relieve, su geometría y exposición de la ladera constituyen las principales causas (Gutiérrez Elorza, 2008), aunque el agente más importante, es la rotura mecánica de las rocas. Se observó que en sectores de predominancia de depósitos glaciares son abundantes los flujos de detritos y los deslizamientos rotacionales (Corominas, 2006).

La meteorización de las rocas es el resultado de una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que conducen a la afectación de las mismas. De esta manera tanto las rocas como los suelos, están expuestos a las influencias de factores externos y atmosféricos que crean inestabilidades al disminuir la resistencia y la cohesión de los materiales. El proceso de meteorización denominado crioclastía, es el más importante en las zonas glaciares y periglaciares (Gutiérrez Elorza, 2008).

En estos sectores afectados por este tipo de meteorización, se pueden observar grandes bloques existentes sobre superficies aplanadas, potentes y extensas

acumulaciones de rocas fracturadas por esta causa en las laderas de las montañas. Este fenómeno ocurre porque el agua al congelarse aumenta su volumen en más de un 9% y la roca se rompe cuando la resistencia supera a la tensión. Si el agua se hiela en un espacio confinado se ejercerán grandes presiones, las roturas pueden producir clastos angulosos y desintegración granular (Gutiérrez Elorza, 2008).

El máximo efecto de la crioclastía puede observarse durante la primavera, cuando el agua resultante del derretimiento nival penetra en las grietas y se congela con posterioridad. Asimismo la producción de material provoca un retroceso de las paredes rocosas que puede variar desde 0,3 mm/año a 2,5 mm/año (Gutiérrez Elorza, 2008). La caracterización de una masa rocosa en el campo es sencilla y se basa en la impresión visual de la estructura de la roca, observando la superficie de discontinuidades, la rugosidad y alteración que presenta (Hoek, 1998).

La efectividad de la crioclastía es función del contenido de agua y del tipo de roca, dependerá de las características estructurales, fundamentalmente con la densidad de planos de la fisibilidad de la roca. Por ejemplo en el caso de esquistos, tendrá lugar una mayor fragmentación cuando aumenta la intensidad de la helada que produce un efecto de fatiga en la roca por el intenso enfriamiento. Igualmente se producirá un aumento de este fenómeno cuando los ciclos de hielo-deshielo son repetitivos en períodos cortos de tiempo (Gutiérrez Elorza, 2008).

### **2.1.2.3. Composición y tipo de Suelos**

Los suelos por su carácter homogéneo e isótropo presentan menor complejidad que los macizos rocosos. En determinados tipos de suelos, también los procesos de meteorización reducen las propiedades resistentes, dando lugar a alteraciones y degradaciones intensas al ser expuestos los materiales a las condiciones ambientales (González de Vallejo et al., 2004). Asimismo tanto las características de la roca como el tipo de suelo determinarán el tipo de fenómeno de remoción en masa más propenso a ocurrir (Capra et al., 2003).

Por ejemplo, para el caso de los suelos volcánicos Capra et al. (2003) describe que por su reducido espesor y bajo contenido de la fracción arcillosa, tienden a generar flujos de barro de limitado espesor y alcance, cuyo desarrollo depende fundamentalmente de la torrencialidad de las precipitaciones y la inclinación de la ladera. En pendientes mayores a 30° se observó la remoción completa superficial de suelo en las áreas cóncavas de la ladera. El depósito piroclástico por su elevado contenido de material fino es poco permeable con respecto al suelo subyacente y representa una discontinuidad hidráulica

Es decir, que la infiltración del agua superficial transforma el nivel freático a partir de esta discontinuidad. De esta manera, este proceso promueve la saturación de los poros del suelo superficial y su movilización cuando las presiones positivas del agua presente en los poros vencen la resistencia del material granular. Este fenómeno fue observado en zonas volcánicas y es el responsable de la remoción de grandes volúmenes de material (Capra et al., 2003).

#### **2.1.2.4. Influencia de la Vegetación**

La influencia de la vegetación sobre los movimientos de ladera se diferencia entre mecanismos hidrológicos y mecánicos. Los primeros se refieren a la interceptación que reduce la infiltración por las pérdidas de absorción y evaporación. Por el contrario, los factores mecánicos intervienen en el refuerzo del suelo mediante la acción de las raíces. Como se explicará, se deberá tener en cuenta el tipo, la profundidad de penetración, el grado de extensión y resistencia de las raíces existentes (Gutiérrez Elorza, 2008).

De esta manera, el impacto de la vegetación sobre la estabilidad de los primeros horizontes del suelo se debe a las raíces. El efecto mecánico que generan las raíces, se relaciona con la resistencia del suelo a esfuerzos de corte tangenciales porque mejora el valor de la cohesión. Las raíces proporcionan un anclaje que refuerza y contrarresta la gravedad de las pendientes, junto con el peso de la vegetación que ejerce sobre el suelo una componente vertical que aumenta la carga normal y por consiguiente la resistencia a desarrollar un movimiento (Mujica y Pacheco, 2013).

Además, la acción de las raíces y tallos aumentan la capacidad de infiltración y el flujo superficial, esta situación acompañada de otros factores como pendientes abruptas con suelos superficiales pueden favorecer la ocurrencia de un evento. También las raíces toman agua del suelo disminuyendo la presión de agua en los poros. En este caso un factor adverso es la pérdida de humedad del suelo que puede generar un agrietamiento y aumenta la capacidad de infiltración del suelo (Gutiérrez Elorza, 2008).

De acuerdo al tipo de raíz y su profundidad el resultado sobre el suelo puede ser diferente. Por ejemplo, aquellas en que el sistema radical conforma una malla densa de fibras resistentes, refuerza la capa de suelo manteniéndola en el sitio o uniéndola a materiales más estables. Mientras que las que poseen raíces pivotantes actúan como un anclaje más profundo en forma de columna que evita el desplazamiento de los horizontes más profundos (Mujica y Pacheco, 2013).



El peso de la vegetación juega un rol fundamental y muchas veces contraproducente. Si las coberturas son muy densas, en particular si son árboles de gran altura y pendientes muy escarpadas, pueden generar mayor propensión a desarrollarse un evento de remoción en masa (Mujica y Pacheco, 2013). También, la sobrecarga de una ladera incrementa los esfuerzos de corte y la presión de agua en los poros. Sin embargo, si el ángulo de la ladera es pequeño, la sobrecarga aumenta la estabilidad (Gutiérrez Elorza, 2008).

#### **2.1.2.5. Clima :El rol de las precipitaciones y los cambios de temperatura**

La mayoría de los eventos registrados ocurrieron en épocas de lluvias, por lo tanto se las considera como el gran detonador, en estricta relación con las propiedades hidrogeológicas de las laderas, la modificación de la geometría, la deforestación, la erosión y los sismos (González de Vallejo et al., 2004). Las precipitaciones y el régimen climático influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno (González de Vallejo et al., 2004).

El clima ejerce un control de primer orden en la estabilidad de laderas y formación de deslizamientos (Corominas, 2006). De los componentes del ciclo hidrológico la infiltración es la más relevante, ya que interviene en los regímenes de saturación y la presión intersticial, que afectan la resistencia de corte del suelo (Macari, 2001). Por ello el aumento de la torrencialidad implica la ocurrencia de un mayor número de deslizamientos superficiales y flujos de detritos (Corominas, 2006). La alternancia de los períodos de sequía y lluvia produce cambios en la estructura de los suelos que dan lugar a las pérdidas de resistencia mencionadas (González de Vallejo et al., 2004). Se pueden establecer criterios de riesgo de inestabilidad de taludes en función de la pluviometría y el índice o el grado de infiltración suelo (Macari, 2001).

Para una localización espacial dada el índice de infiltración, considerando que el mismo es la cantidad de precipitación que penetran dentro del suelo, puede cambiar severamente en el tiempo y en relación al nivel de saturación que posea el suelo (Macari, 2001). Por ello es de importancia conocer tanto el comportamiento espacial como temporal de estos procesos.

En las laderas, la infiltración produce flujos sub superficiales y subterráneos aumentando el contenido de agua de la zona no saturada y la elevación del nivel freático, recargando así la zona saturada (González de Vallejo et al., 2004). Esto va a depender de la intensidad y duración de la lluvia, los parámetros físicos de la cuenca de aporte, el grado de saturación, permisividad y transmisividad del terreno, el nivel freático, el relieve

predominante, los usos del suelo, la presencia y tipo de vegetación (Corominas, 2006 y González de Vallejo et al., 2004).

De esta manera, las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar un movimiento de remoción en masa, sean deslizamientos, flujos, desprendimiento de bloques o reactivar antiguos movimientos (González de Vallejo et al., 2004) (Figura 6). Por ello numerosos autores, entre ellos se puede citar los trabajos de Aristizábal et al.( 2010a) y Sepúlveda et al.( 2016), han establecido umbrales de intensidad y duración de la lluvia necesarios para el desencadenamientos de un evento.

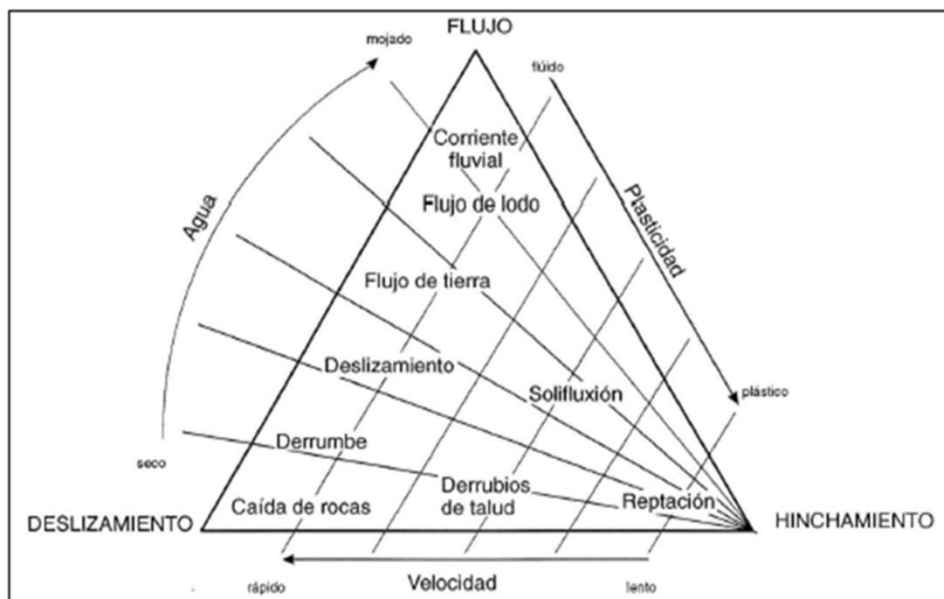


Figura 6: Gráfico para determinar el tipo de movimiento predominante de acuerdo a su contenido de agua (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017)

Los umbrales se definen como el mínimo o máximo nivel crítico de precipitación necesaria para que ocurra un proceso (Aristizábal et al., 2010a). En la Tabla 10 se muestran algunos valores estudiados para España. Por lo general, estos valores no son extrapolables fuera del área de estudio en la que se establecieron, debido a que influirán otro tipo de factores y características propias de cada caso de estudio (González de Vallejo et al., 2004). Las variables analizadas se corresponden con la precipitación total acumulada, la precipitación antecedente a un evento registrado, duración e intensidad de las mismas (Aristizábal et al., 2010b ).

Tipo de Movimiento	Precipitación acumulada
<b>Primeros movimientos</b>	
<b>Flujo de detritos</b>	52 mm durante el evento
<b>Otros movimientos</b>	> 500 mm ( durante 3 días)
	476 mm (durante 2 días)
	> 300 mm (durante 7 días) (clima mediterráneo)
<b>Reactivación de movimientos</b>	
<b>Diversos movimientos</b>	>250 mm (durante 90 días)
	320 mm (durante 15 días)

Tabla 10: Umbrales de precipitación desencadenantes para movimientos de remoción en masa en España. Modificado de (González de Vallejo et al., 2004).

También se observó que grandes deslizamientos pueden ocurrir con altos valores de precipitación detectados durante largos periodos de tiempo (días o semanas), lo mismo se registró para los flujos de detritos, aunque en periodos de tiempo más cortos (horas o días) luego de ocurrir largos periodos de lluvias pero de bajas intensidades (Kanji et al., 2001). Del mismo modo (Aristizábal et al., 2010a), definió para Antioquia (Colombia) que los umbrales críticos que se deben analizar, se relacionan directamente con las precipitaciones registradas 15 días antes y 3 días antecedentes al desencadenamiento de eventos. Determinar estos umbrales críticos, combinados con datos meteorológicos permitiría desarrollar sistemas de alerta temprana (Aristizábal et al., 2010b).

El agua posee un doble efecto negativo en la afectación de los materiales, ya que reduce las fuerzas de resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados tipos de suelos. Además, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento de peso y por la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2004). Justamente, la pérdida de resistencia puede dar lugar a la caída de material superficial y si afecta a zonas críticas del talud, como por ejemplo su pie, puede generar roturas generales sobre todo en presencia de agua (González de Vallejo et al., 2004).

La temperatura también se encuentra entre los factores que se relacionan con la acción de las precipitaciones y las condiciones climáticas en general, interviene en los procesos de hielo - deshielo estacional (González de Vallejo et al., 2004). De esta manera, el desarrollo de estos procesos generados por la temperatura incrementa el contenido de agua en los materiales sueltos, en las fracturas de las rocas y macizos provocando roturas y propiciando la meteorización física por crioclastia (González de Vallejo et al., 2004).

### 2.1.2.6. Hidrología: Influencia de las características físicas

Es de gran importancia, poder comprender e interpretar el comportamiento morfodinámico e hidrológico de una cuenca, ya que de esta manera se puede inferir indirectamente en el volumen del caudal que transporta y en la rapidez de respuesta de la misma (Esper Angillieri et al., 2016). El régimen fluvial de una cuenca está determinado por las características geológicas, geomorfológicas, edafológicas, por la cobertura de la vegetación y las precipitaciones que recibe (Corradine, 2017).

De la misma forma la respuesta de una cuenca estará condicionada por sus características físicas tales como el tamaño, la forma y la pendiente (Esper Angillieri et al., 2016). Por ejemplo, como se observa en la Figura 7, las cuencas más alargadas tienen una velocidad de respuesta más rápida, a diferencia de las más circulares, ya que cuanto más redonda sea una cuenca o unidad de estudio más tardará en llegar la onda de crecida hacia la desembocadura y más suave es el caudal pico. Asimismo, si comparamos aquellas cuencas con similares parámetros de forma y de drenaje, las que posean pendientes más pronunciadas tendrán una escorrentía más rápida y los picos de los hidrogramas tenderán a responder en tiempos más cortos incrementando los caudales punta (González de Matauco et al., 2004).

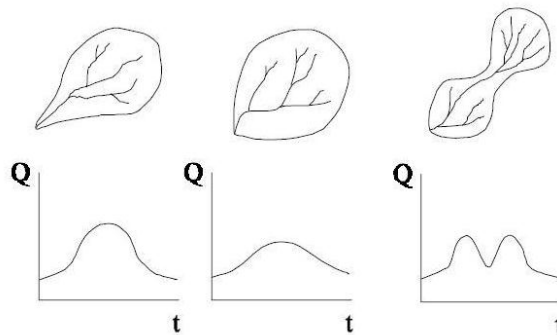


Figura 7: Respuestas frente a eventos de precipitación de acuerdo a diferentes morfologías de unidades de estudio. La Q representa el caudal y la t el tiempo. (<http://geotecnia-sor.blogspot.com>, 2010, visitada 15/03/2016).

Entonces la respuesta de una cuenca depende tanto de las características físicas individuales como de las características ambientales. Las primeras están definidas por las propiedades morfométricas. Así, el comportamiento de estos factores actúa intensificando o atenuando los efectos de una posible crecida (Esper Angillieri et al., 2016). En particular, la capacidad erosiva de un cauce se potencia por el impacto de las precipitaciones (Viramontes Olivas et al., 2007).

Los parámetros morfométricos se pueden agrupar en aquellos factores relacionados con la forma, con la red de drenaje y con el relieve. También se los puede identificar como dependientes e independientes. En la mayoría de los casos, ambas pueden calcularse de forma directa utilizando software especializado teniendo la información de base necesaria para cada caso. (Tabla 11).

<b>Parámetros Morfométricos</b>			
<b>Características Generales</b>			
<b>Área [A]</b>	Por definición es la proyección horizontal de la superficie de la unidad de trabajo, incluida la divisoria topográfica.	Área [ Km2] - Descripción del tamaño de la cuenca < 25 Muy pequeña 25 a 250 Pequeña 250 a 500 Intermedia pequeña 500 a 2500 Intermedia grande 2500 a 5000 Grande >5000 Muy grande (Campos Aranda, 1998)	
<b>Perímetro [P]</b>	Es el límite externo que rodea la unidad de trabajo, se calcula a partir de la longitud de la divisoria de aguas. (Campos Aranda 1998; Corradine 2017; Díez Herrero et al. 2008 y Jardí, 1985).		
<b>Longitud [L], según diferentes direcciones</b>	<b>Longitud del cauce principal [Lb]</b>	Se determina midiendo la longitud de la corriente principal desde su nacimiento hasta el cierre de la unidad de estudio. Es la medida del curso en toda su longitud incluyendo las sinuosidades. (Campos Aranda 1998; Corradine 2017; Díez Herrero et al. 2008 y Jardí, 1985).	
	<b>Longitud máxima [Lm]</b>	La longitud se define como la más grande dimensión a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal (Campos Aranda 1998; Corradine 2017; Díez Herrero et al. 2008 y Jardí, 1985).	
	<b>Longitud total de los cauces [L]</b>	Corresponde a la sumatoria de la longitud de todas las corrientes observadas, sean intermitentes o permanentes. (Campos Aranda 1998; Corradine 2017; Díez Herrero et al. 2008 y Jardí, 1985).	
<b>Parámetros de Forma</b>			
<b>Índice de compacidad de Gravelius (Ic) (1914)</b>	Compara el perímetro de una cuenca y el de una circunferencia de igual superficie que la misma (González de Matauco, 2004).	$Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$ <b>Ecuación 1: Fórmula del Índice de compacidad de Gravelius (Ic) (1914) (González de Matauco, 2004 y Viramontes Olivas et al., 2007).</b>	Clase I - Ic ( 1 - 1,25) - Casi redonda a oval redonda Clase II- Ic ( 1,26 – 1,50 )- Oval-redonda a oval oblonga Clase II- Ic (1,51 a más de 2) - Oval-oblonga a rectangular-oblonga Campos Aranda 1992 en (Viramontes Olivas et al., 2007).
<b>Relación de circularidad de Miller (Rc) (1953)</b>	Relaciona el área de la cuenca con la superficie de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca (González de Matauco, 2004).	$Rc = \frac{4 \pi A}{P^2}$ <b>Ecuación 2: Fórmula de la Relación de Circularidad de Miller (Rc) (1953) (Jardí, 1985).</b>	Los valores estarán comprendidos entre 0 y 1 que correspondería a una cuenca circular. (Jardí, 1985).
<b>Red de Drenaje</b>			
<b>Densidad de drenaje de Horton (Dd) (1945)</b>	Es la longitud de la totalidad de los cursos de agua que componen una cuenca por unidad de superficie se expresa en [km/km2] (Viramontes Olivas et al., 2007).	$Dd = \frac{\sum L}{A}$ <b>Ecuación 3: Fórmula de cálculo de la Densidad de drenaje de Horton (Dd) (1945) (González de Matauco, 2004). Siendo L la suma de la longitud de todos los cursos que integran la cuenca ya sean permanentes o intermitentes.</b>	Rangos de Densidad de drenaje [Km/Km2] 0,1 -1,8 Baja 1,9 – 3,6 Moderada 3,7 – 5,6 Alta (Corradine, 2017). Una densidad de drenaje mayor se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca incrementando

			el pico de crecida (González de Matauco, 2004).
<b>Parámetros de Relieve</b>			
<b>Curva Hipsométrica (Strahler 1952)</b>	Define las áreas relativas entre las curvas de nivel que definen el área de la cuenca de estudio desde los puntos de más altitud hasta los más bajos (Strahler, 1952)	<p style="text-align: center;"><b>ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO</b></p> <p style="text-align: right;"><b>CURVAS HIPSOMÉTRICAS CARACTERÍSTICAS DEL CICLO EROSIVO Y DEL TIPO DE CUENCA :</b></p> <p>1.- ETAPA DE DESEQUILIBRIO. Cuenca geológicamente joven. cuenca de meseta.</p> <p>2.- ETAPA DE EQUILIBRIO. Cuenca geológicamente madura. cuenca de pie de montaña.</p> <p>3.- CUENCA EROSIONADA. Cuenca de valle.</p>	
<b>Relación Hipsométrica</b>	Está representada por los valores relativos de la curva hipsométrica	Dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. Este gráfico es muy útil en hidrología para el análisis de comparación entre cuencas. Cuando estas curvas presentan variaciones ya sea por apartarse de los valores teóricos o por presentar más de un punto de inflexión pueden relacionarse con cuestiones tectónicas o litológicas, pudiendo dar una idea del estado erosivo de la cuenca y hacia donde se va a desarrollar el mismo (Corradine, 2017).	
<b>Integral hipsométrica (Strahler ,1952)</b>	(Strahler, 1952) definió a la integral hipsométrica considerando que el total del volumen V, es la suma de todas las áreas (A) entre curvas por su espesor (H), obteniendo matemáticamente una integral definida de fácil resolución.	<p style="text-align: center;">I <math>Vol = \int_{base\ al\ summit} a\ dh</math></p> <p style="text-align: center;">II <math>\frac{Vol}{HA} = \int_0^{100\%} x\ dy</math></p>	Valores > 50% - 60% indican un estado juvenil del paisaje Valores aproximados a 50% representan la madurez, Valores inferiores < 50 % 30 % es un paisaje senil
<b>Pendiente media de la Cuenca</b>	Caracteriza el relieve y permite hacer comparaciones entre cuencas a fin de observar fenómenos erosivos que se presentan en superficie (Viramontes Olivas et al., 2007).	$Sc = \frac{D * L}{A}$ <p style="text-align: center;"><b>Ecuación 4: Fórmula de la pendiente de una unidad hidrográfica, tomada da (Campos Aranda, 1998).</b></p> <p>Dónde D es el intervalo constante entre curvas de nivel, L es la longitud de todas las curvas de nivel y A es el área.</p>	SC [%] Tipo de Terreno 0 - 2 Llano 2 - 5 Suave 5 -10 Medianamente accidentado 10 -15 Accidentado 15 - 25 Fuertemente accidentado 25 -50 Escarpado >50 Muy escarpado (Viramontes Olivas et al., 2007).

Tabla 11: Definición, ecuaciones y clasificaciones de los parámetros morfométricos.

### 2.1.2.7. Sismos

Por último, se deben mencionar como factores desencadenantes a los sismos, ya que pueden provocar movimientos de ladera de todo tipo, esto dependerá de las características geológicas, de la magnitud y de la distancia del epicentro. La presencia de materiales finos y sueltos, como arenas o limos puede producir fenómenos de licuefacción (González de Vallejo et al., 2004).

Sin embargo, en el sur argentino, por debajo de los 35° de latitud, es reducida la cantidad de sismos con epicentro en nuestro territorio que se han registrado. La mayoría

de los casos los grandes terremotos, han ocurrido en el país vecino de Chile produciendo grandes daños, también en poblaciones limítrofes. Por ejemplo, el evento ocurrido en mayo de 1960, producto de un sismo con epicentro en Valdivia, movilizó sedimentos lacustres y provocó un gran movimiento de agua en la ciudad de San Carlos de Bariloche, afectando las costas del Lago Nahuel Huapi y la vida de varias personas (Villarosa et al., 2009).

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) definió en el Mapa de Zonificación Sísmica del Reglamento CIRSOC 103, cinco zonas de peligro sísmico que abarcan todo el país, la zonificación va desde (0) muy reducida, (1) reducida, (2) moderada, (3) elevada y (4) Muy elevada. De acuerdo a esta zonificación, el sector de estudio se encuentra en un sector de peligro moderado. Asimismo, esta entidad define las normas argentinas para Construcciones Sismo resistentes: Reglamento INPRES - CIRSOC 103 que se debe cumplimentar tanto para obras públicas como privadas en todo el territorio Argentino (INPRES, 2019).

## **2.2. La teledetección y los sistemas de información geográfica en la cartografía de riesgo**

A nivel mundial, las metodologías más utilizadas para el análisis de riesgo de remoción en masa, entre otros riesgos naturales, se desarrollan utilizando la teledetección y los SIG (Aceves Quesada et al., 2016). Estas técnicas permiten el estudio indirecto de la información, permitiendo la observación de un fenómeno en un lugar y tiempo determinados. Es condición necesaria que el seguimiento y la predicción de los riesgos pueda ser asociado a un lugar y tiempo específicos a fin de establecer, en caso de ser posible, sistemas de alerta temprana (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Por ejemplo, riesgos naturales como deslizamientos, erupciones volcánicas, tsunamis, huracanes, ciclones, incendios forestales, inundaciones, epidemias pueden estudiarse por medio del seguimiento de los mismos mediante imágenes satelitales. La visualización de algunos de ellos, como los huracanes, ciclones, inundaciones o incendios forestales permiten alertar a la población tempranamente (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Asimismo el análisis de imágenes satelitales permite la identificación y observación de las modificaciones y daños producidos en el medio natural ocasionados por el hombre, realizando un seguimiento multitemporal de las mismos, por ejemplo la modificación de un curso de agua, usos del suelo, deforestación, desertificación, entre otros. También debe tenerse en cuenta que en el análisis puede ocurrir que algunos

riesgos se superpongan o tengan diversas causas de origen (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Se hace imprescindible contar con herramientas que contribuyen a la gestión del riesgo ambiental, tal como la representación cartográfica del riesgo, para precisarlo espacialmente y tomar acciones (Mujica y Pacheco, 2013). Estas metodologías, son muy utilizadas en las ciencias ambientales porque permiten la asignación más racional de los recursos, de esta forma se reducen los tiempos de investigación, estudio y con la posibilidad de obtener información de lugares de difícil acceso (Fonseca Rosselló y Rego, 2009).

Por ello, para reducir el impacto de los desastres naturales cada día se desarrolla aún más el uso de la teledetección espacial. Las imágenes satelitales contribuyen a minimizar los efectos derivados de un evento de riesgo natural ya que permiten (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002) :

- *Analizar el riesgo en un área determinada:* identificación de fallas, ubicación de volcanes, llanuras de inundación, modificación de cauces, deforestación, superficies afectadas por incendios, movimientos de tierra y deslizamientos, señales de erosión , entre otras.
- *Alertar antes que se produzca un determinado riesgo:* observación de fenómenos meteorológicos extremos, reconocimientos de determinadas características del terreno que lo predispongan por ejemplo a deslizamientos o inundaciones.
- *Evaluar los daños causados:* realizar una evaluación temprana de los daños causados por algún evento.

En sentido amplio, la teledetección es la observación remota a distancia sobre un evento, cuerpo o fenómeno sin tener contacto directo con el mismo (Zerda, 2005). Consiste en obtener información que incluye, la obtención de una imagen y su tratamiento posterior. Así la teledetección espacial es la técnica que permite la adquisición de estas imágenes de la superficie terrestre desde sensores remotos instalados en satélites o plataformas espaciales (Chuvienco, 2006).

Actualmente existen numerosos satélites en órbita con diferentes tipos de sensores que abarcan una gran cantidad de opciones según sean las necesidades de los usuarios. La elección del uso de los mismos, dependerá fundamentalmente de los objetivos del trabajo que se debe realizar, teniendo en cuenta la calidad de los datos que se



necesiten. Es decir, la escala de estudio, la resolución de la imagen, el tamaño de la escena, los recursos tecnológicos disponibles para el procesamiento, entre otras cosas.

Se deberá evaluar el costo beneficio de la información según sea el objetivo del trabajo que se realice. Se debe tener en cuenta que la teledetección es una técnica aplicada y dependerá de la tecnología disponible. De la misma forma, los conceptos y las técnicas de teledetección son complejas, abarcan diferentes usos y técnicas que se encuentran fuera del objetivo principal de este trabajo (Ver el Anexo I: Glosario).

Por lo general, los productos obtenidos utilizando técnicas de teledetección tienen como objetivo ser integrados en un sistema de información geográfica (SIG), asimismo los SIG sirven de apoyo a la teledetección. Los SIG son sistemas de integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica (Chuvieco, 2006 y Noe et al. , 2014). También pueden definirse como un modelo, forman parte de un proceso de construcción de la estructura de datos que representan fenómenos de la vida real en relación a su posición geográfica (Noe et al. , 2014).

Los SIG están compuestos de seis partes fundamentales, la tecnología, los datos y la información, los procedimientos y los recursos humanos. Se trabajan en formato digital y su potencia dependerá de la tecnología disponible, facilitan la realización de múltiples operaciones, como la integración de las variables espaciales y la aplicación de diferentes tipos de modelos (Chuvieco, 2006 y Noe et al., 2014). Estas tareas se encuentran asociadas a la selección y la conversión de los datos en formato digital (Noe et al., 2014).

Existen dos grandes grupos de datos que permiten la representación del territorio, vectoriales y raster (Zerda, 2005). Los datos vectoriales son utilizados para la representación de unidades discretas, a través de puntos, líneas y polígonos. La estructura de datos vectoriales pueden representar datos geográficos como pares de coordenadas (puntos) o conjuntos de ellos interconectados (líneas o polígonos) (Chuvieco, 2006 y Noe et al., 2014). Como son usados para identificar elementos discretos, pueden existir vacíos de información entre ellos. Son muy usados para determinar ríos y lagos, cobertura vegetal, diferentes litologías, relieves, curvas de nivel, entre otros (Mendoza y Reyes Hernández, 2011).

La estructura de datos raster, está formada por una matriz, de filas y columnas. Cada celda está representada por un pixel, que es la unidad mínima de información a la

que puede asignarse de forma independiente un atributo. Así cada pixel posee una coordenada geográfica y un valor temático (Chuvieco, 2006 y Noe et al., 2014). La representación del espacio es discreta y los espacios intermedios no pueden ser mostrados (Mendoza y Reyes Hernández, 2011). La alternativa de uso de uno y otro dependerá de los datos disponibles, del objetivo del trabajo.

La aplicación de estas técnicas para el estudio de los eventos de remoción en masa dependerá del sitio de estudio y de la escala de trabajo, pero por lo general ocurren en zonas montañosas y a escalas regionales (en km<sup>2</sup> o hectáreas - 1: 25000 - 1:50000). Como se expuso existen una gran variedad de movimientos, deslizamientos, caídas y flujos, que se diferencian en la velocidad en que ocurren, en la naturaleza de los materiales involucrados y por supuesto en los factores que los generan (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Por ello la predicción de este tipo de riesgo es compleja y muy difícil sea utilizando teledetección y SIG o cualquier otro método. Sin embargo, existen otras aplicaciones de acuerdo a las imágenes satelitales que se utilicen junto con otras herramientas que permiten obtener modelos que se ajustan muy bien a la realidad (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002).

Se puede hacer uso de imágenes de alta resolución espacial y con capacidad estereográfica como las imágenes SPOT y los modelos digitales de terreno, que se detallarán en las secciones siguientes, ya que permiten obtener parámetros relevantes para el análisis como: el tipo de suelo, las pendientes, la geomorfología de la zona, los aspectos hidrológicos, la presencia de fallas, entre otros factores (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002). Para el caso de deslizamientos lentos se puede realizar un análisis multitemporal. Igualmente, se pueden identificar áreas inestables y así evitar la construcción de edificaciones o determinados usos que pongan en riesgo a los bienes y a la población; o la aplicación de las medidas preventivas correspondientes. De esta forma, se puede subsanar e impedir pérdidas económicas y afectación directa a las personas (Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002)

### **2.3. Evaluación Multicriterio y Proceso Analítico Jerárquico: estimación de la susceptibilidad, peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de remoción en masa.**

En un principio las zonificaciones que se realizaban sobre los movimientos de remoción en masa, se acotaban a áreas con problemas de inestabilidad muy específicos en

las que se desarrollaba una metodología específica y apropiada para cada lugar, y se estudiaba qué tipo de infraestructura se debía aplicar para prevenir esos casos particulares. Para ampliar estos estudios se propició la creación de modelos probabilísticos y determinísticos, aunque los mismos, no eran válidos para abarcar la heterogeneidad del medio natural en zonas de estudios a escalas más amplias. Para facilitar el análisis de estos casos, y disminuir los costos económicos que esos estudios conllevaban, se desarrollaron técnicas de análisis que incluyen los distintos factores causales implicados. Entre las más utilizadas, se encuentra en método de combinación de factores y ponderación de estos factores y variables. Se definieron dos métodos, el directo o heurístico y el indirecto o estadístico masa (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

La metodología más utilizada para procesos de remoción en masa y que mejor se ajusta al parámetro de estudio, está basada en un modelo heurístico en conjunto con la Evaluación Multicriterio (EMC) aplicando como técnica de ponderación el Proceso Analítico Jerárquico (Analytical Hierarchy Process- AHP) propuesto por Saaty (1980). Este es un método rápido y consistente que se ajusta a la zona de estudio y es muy utilizado por numerosos autores como Aceves Quesada et al. (2016), Castellanos y Van Westen (2007), Celemín (2014), CENEPRED (2014), Hervás et al. (2002), Molina Molina (2014), Mujica y Pacheco (2013), Muñoz Jáuregui y Hernández Madrigal (2012), Paz Tenorio et al. (2017), Roa (2007) y Sarkar y Kanungo (2004) para realizar mapas de susceptibilidad, peligro y riesgo utilizando los SIG como principal herramienta. La importancia de elegir correctamente las técnicas de evaluación y valoración de los recursos naturales, las convierte en una herramienta de decisión sobre el uso sostenible de los mismos, estudiar y proponer prácticas de manejo y conservación (Grajales Quintero et al., 2013).

El método heurístico está basado en la experiencia del profesional sobre los conocimientos de la zona de estudio, y es el que decide cuáles son los factores que condicionan y determinan el desarrollo del movimiento en masa (factores condicionantes y detonantes explicados en secciones anteriores). De esta forma se toman en cuenta todas las observaciones realizadas en el área de estudio, los antecedentes de la zona y bibliográficos. Luego los SIG son utilizados como plataforma de procesamiento para realizar la ponderación de las distintas variables. Un ejemplo típico de uso de los SIG para la realización de un mapa de susceptibilidad para eventos de remoción en masa se muestra en la Figura 8 (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

LA EMC es una metodología muy utilizada para la toma de decisiones que se aplica a varios tipos de disciplinas y en particular posee un amplio uso de los SIG, que tiene en

cuenta como principal método de ponderación de variables al AHP (Celemín, 2014). Esta metodología tiene la ventaja de poder analizar problemas complejos, ya que permite integrar en un solo proceso de evaluación numerosos factores. Así se transforman las variables a una escala única para poder comparar todos los elementos y establecer los órdenes de prioridad (Grajales Quintero et al., 2013).

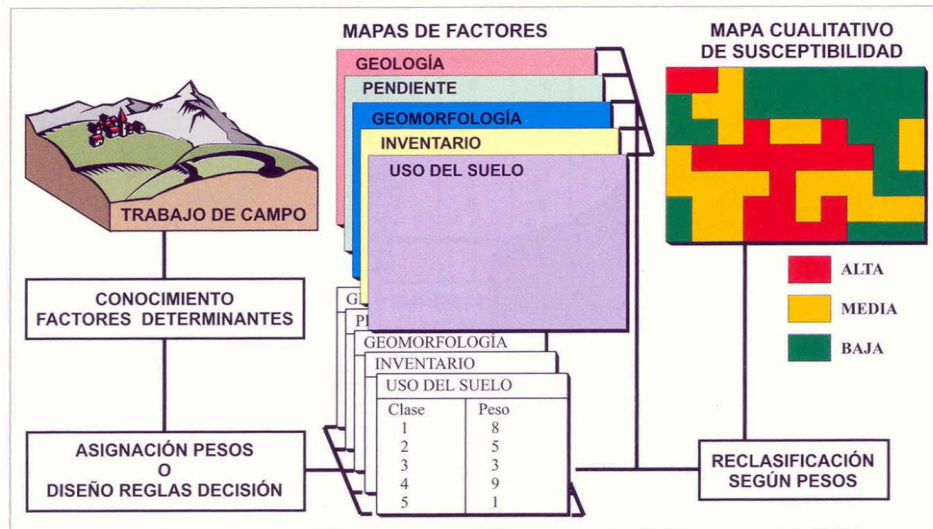


Figura 8: Uso de SIG mediante una combinación cualitativa de usos de mapas aplicando el método heurístico para analizar la susceptibilidad (Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2017).

El fundamento del método EMC se basa en descomponer un problema complejo en partes más simples, lo cual permite que se pueda estructurar el problema de una forma visual mediante la construcción de un modelo jerárquico. Esta jerarquización puede contener tres niveles, definidos por criterios, variables y clases (Castellanos y Van Westen, 2007). Así, el uso de esta metodología, permite la evaluación de diferentes escenarios donde intervienen múltiples variables y criterios (Berumen y LLamazores Redondo, 2007). Estas se definirán de acuerdo a la problemática a resolver, en este caso se representarán mediante los factores condicionantes y desencadenantes mencionados en la sección anterior. La jerarquización estará representada por medio de una matriz de priorización o matriz multicriterio. Se pueden considerar factores de tipo cualitativo y cuantitativo según sea el caso de estudio (Grajales Quintero et al., 2013).

Si bien el método EMC puede ser subjetivo, porque depende de la experiencia y criterios del operador, es la aproximación más confiable para la elaboración de los mapas mencionados debido a las características ambientales que pueden presentar los diferentes ambientes de trabajo (Muñiz Jauregui y Hernández Madrigal, 2012). La ventaja de trabajar con las metodologías multicriterio es que, aportan una diversidad de factores, tal que se logran integrar en el proceso de evaluación de forma completa. Su particularidad está en la

forma de transformar las mediciones y percepciones en una escala única para comparar los elementos y establecer órdenes de prioridad que permitan agregar los efectos de un proyecto en una métrica común (Contreras y Pacheco, 2007; Grajales Quintero y Serrano Moya, 2013). También, la evaluación multicriterio puede ayudar a encontrar soluciones-compromiso entre los diferentes objetivos en conflicto, como ecológicos y económicos. (Grajales Quintero y Serrano Moya, 2013). De esta manera, esta metodología permite elaborar un análisis interdisciplinario y tener una visión holística de la problemática, donde participan ciencias como la biología, la geología, la edafología, la hidrología, la sociología, la economía, la geotecnia y la meteorología entre otras. Esta integración es de importancia para tomar decisiones acertadas dentro del campo de las ciencias ambientales (Lodoño, 2007).

Existen variadas técnicas de valorización de la EMC que pueden ser utilizadas como modelo de evaluación y combinación de variables basadas en el análisis, discusión y jerarquización de alternativas con el fin de generar soluciones a problemas y de amplio uso dentro de los SIG. En la aplicación de las EMC como ocurre con todas las técnicas, por la naturaleza multidisciplinar de las mismas, se puede hacer uso de métodos diversos y se debe actuar con prudencia. Es necesario tener en cuenta que su origen está radicado en disciplinas que no tienen en cuenta las particularidades de los datos espaciales. Dentro de las distintas técnicas de EMC, como se mencionó, la más utilizada es el método AHP desarrollado por Saaty (1980) que se destaca por la facilidad y sencillez para dividir una decisión compleja en un conjunto de decisiones simples, facilitando la comprensión y solución del problema propuesto (Álvarez Alonso, et al., 2010). La AHP analiza los factores que intervienen en el proceso de decisiones sin requerir que estos se encuentren en una escala común (Celemin, 2014). Como se explicó, este método permite la jerarquización de todas las variables que describen la problemática a partir de una ponderación con una base matemática sólida. La técnica AHP permite jerarquizar todas las variables evaluando la importancia de un elemento respecto a otro (Muñiz Jáuregui. y Hernández Madrigal, 2012).

En el proceso de AHP se realiza creando una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido por el número de criterios considerados en la toma de decisión. Es decir sea  $A$  una matriz  $n \times n$  (Ecuación 5), donde el elemento de la misma está definido por  $a_{ij}$ , y  $i$  se pueden representar por  $1, 2, \dots, n$  y  $j$  igualmente de  $1, 2, \dots, n$ , entonces  $A$  es una matriz de comparaciones de  $n$  alternativas. Definiendo como  $a_{ij}$  un elemento de la fila  $i$  que se la compara con la columna  $j$ . Cuando  $i = j$  el valor de  $a_{ij}$  será igual a la unidad. Si no se aplicará el concepto de reciprocidad (Tabla 12). Así cada elemento de la

matriz se le asigna un valor comprendido entre 1 y 9, según los criterios de clasificación que se presentan en la Tabla 12 definida por (Saaty, 1990). Por ejemplo si a i se le asigna el valor de 9 con respecto a j, significa que i es "mucho más importante que" j y que j es "mucho menos importante que" i. Esta relación representará el peso (Wn) que se le dará a cada criterio (Ecuación 6) (Saaty, 1990).

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

**Ecuación 5: Matriz de comparación general n x n (Saaty, 1990).**

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

**Ecuación 6: Asignación de pesos Wn (Saaty, 1990).**

Escala absoluta - Importancia	Definición	Explicación
<b>1</b>	Igual importancia	Ambos criterios o elementos influyen de la misma manera
<b>3</b>	Moderada importancia de uno sobre otro	La evaluación y la experiencia indica que hay un elemento que influye más moderadamente una sobre otra
<b>5</b>	Importancia fuerte de uno sobre otro	La evaluación y la experiencia indica que hay un elemento que influye más fuertemente una sobre otro
<b>7</b>	Importancia más fuerte y demostrada de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente dominante sobre otro, demostrado en la práctica
<b>9</b>	Extremadamente importante uno sobre otro	Existe evidencia comprobable que el elemento es extremadamente importante uno sobre otro
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermedios entre los valores límites adyacentes	Se utilizan cuando no se puede definir claramente una preferencia entre los valores principales
<b>Reciprocidad</b>	Cuando al elemento i se le asigna un valor numérico de importancia mayor en relación con otro elemento j, entonces j tendrá el valor inverso del mismo número asignado a i	

**Tabla 12: Escala de comparación y asignación de valores según Saaty (1990).**

Este análisis y la elección de los valores se realizan de par a par, esta es la llamada matriz de comparación (Ecuación 7). Luego se ser completada, esta matriz debe ser normalizada, es decir cada término de la misma es dividido sobre la suma de sus columnas. Así se obtiene el vector prioridad de cada variable o criterio al promediar los valores de las filas correspondientes. Este procedimiento se repetirá para cada criterio Con cada vector prioridad se conforma una matriz prioridad la cual se multiplica matricialmente con el vector prioridad, obteniendo el vector prioridad de las alternativas

(Ecuación 8). Este vector representa la solución a la ponderación, ya que representa el orden de las alternativas en un porcentaje (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008).

$$\begin{matrix}
 & A1 & A2 & \dots & An \\
 A1 & 1 & \frac{1}{a_{21}} & \dots & \frac{1}{a_{n1}} \\
 A2 & a_{21} & 1 & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 An & a_{n1} & \dots & \dots & 1
 \end{matrix}$$

**Ecuación 7: Matriz de comparación completa ejemplificando la asignación recíproca de los pesos (w)**  
 Fuente: (Saaty, 1990).

$$w_i = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \right] \right\}$$

**Ecuación 8: Promedio de los pesos (W) de cada fila que conforman el vector prioridad (Molina Molina, 2014)**

Este es el vector principal de la matriz, ya que representa el orden de prioridad de los factores, y a partir del mismo se puede obtener una medida cuantitativa de la fiabilidad de los valores asignados en la comparación entre pares de factores. Esto se define como la relación de consistencia (Consistency ratio o CR). Si CR es menor o igual a 0,10 o 10% los valores asignados son satisfactorios y el análisis es aceptable (Saaty, 1990). En caso contrario, éstos deberán ser evaluados y comparados nuevamente (Hervás et al., 2002). Para calcularlo se presentan las siguientes ecuaciones:

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

**Ecuación 9: Fórmula de la Relación de consistencia (Molina Molina, 2014).**

Siendo IA el Índice de Aleatoriedad cuyos valores son presentados en la Tabla 13 y; IC representa el índice de consistencia de la evaluación que se define como,

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

**Ecuación 10: Fórmula del Índice de Consistencia (Molina Molina, 2014).**

Dónde  $\lambda_{m\acute{a}x}$  es la suma total del resultado de la operación matricial de la matriz de comparación A y el vector prioridad  $w_i$ , se define mediante la siguiente fórmula,

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) * w_i$$

**Ecuación 11: Fórmula de  $\lambda_{m\acute{a}x}$  (Molina Molina, 2014).**

Tamaño de la Matriz (n)	Índice de Aleatoriedad (IA)
2	0,01
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Tabla 13: Valores del Índice de Aleatoriedad. (Molina Molina, 2014).

Desde una perspectiva netamente geográfica y de los SIG, la EMC es un proceso en el cual múltiples capas son agregadas para obtener un solo mapa de salida (Celemín, 2014). Su aplicación dará como resultado que cada elemento clasificado de una capa, ya sea una capa raster o vectorial, tendrá asignado un valor. Esto se explicará en detalle en el Capítulo 4. Metodología, en las secciones correspondientes. Esta herramienta sirve de apoyo a la toma de decisiones en los procesos de planificación territorial ya que permite manejar e integrar gran cantidad de información espacial de eficiente manera.

Este proceso posee la ventaja de permitir que los factores estudiados puedan ser combinados. De esta forma, los factores se someten a un proceso de comparación que se lleva a cabo mediante la elaboración de una matriz, para jerarquizar y ponderar cada uno de ellos. La finalidad es obtener un producto cartográfico, reclasificado de acuerdo a la valorización mencionada, donde la suma total debe ser igual a 1 (Celemín, 2014).

### 3. Descripción regional

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio (Figura 9), comprende un sector ubicado en el extremo centro sur del Parque Nacional Nahuel Huapi en la provincia de Río Negro, por lo tanto pertenece a un área protegida y de conservación. Se encuentra al sudoeste del Departamento de Bariloche, al sur de Villa Mascardi y a 45 km de la ciudad de San Carlos de Bariloche aproximadamente (por ruta).



Más específicamente la zona de estudio, se encuentra entre los 71° 32' 40" de longitud oeste- 41° 21' 11" de latitud sur y los 71° 28'30" de longitud - 41° 28' 26" latitud, con una superficie aproximada de 7000 hectáreas. Abarca la ladera oeste del Lago Guillermo hasta sus costas. La misma está atravesada por un tramo de la Ruta Nacional 40 Sur, desde el mojón 262846 (km 2003) hasta el mojón 262837 (km1990), definidos por Vialidad Nacional (Vialidad, 2019).

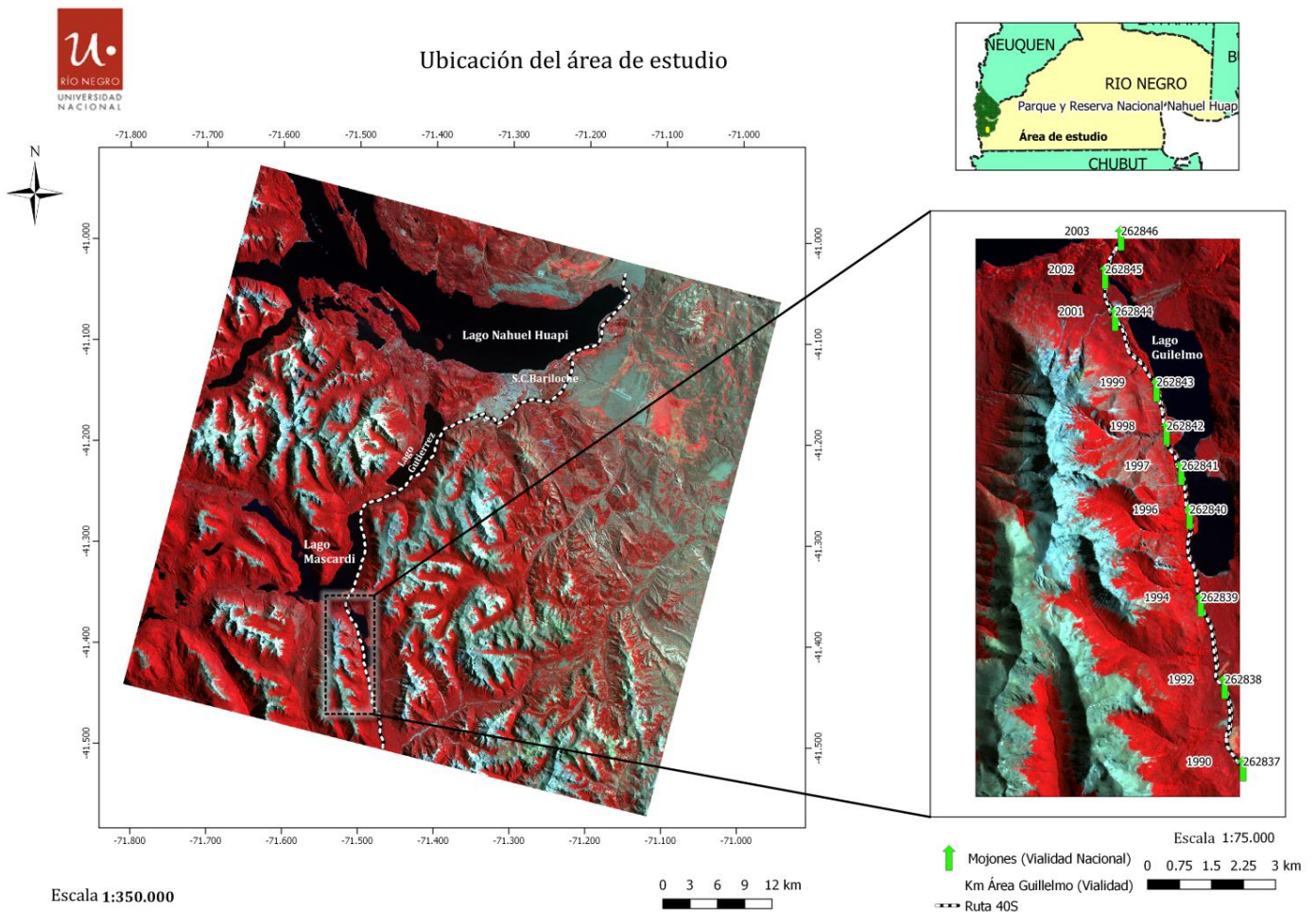


Figura 9: Ubicación de la zona de estudio.

### 3.2. Características biofísicas

El área de estudio se encuentra en el sector denominado Patagonia Andina según la clasificación de las regiones naturales del Atlas de Suelos de la República Argentina (1990). Domina un relieve montañoso de picos de 2000 metros de altura promedio atravesados por valles y lagos. Este paisaje fue modelado por procesos tectónicos y de acción glaciár, este último fue el responsable de ensanchar y profundizar los fondos de los valles existentes. Esta región se encuentra surcada por numerosos ríos, cauces y arroyos que se orientan a la cuenca pacífica Manso-Puelo (SIPAN, 2018).

Regionalmente es un área que presenta una gran heterogeneidad ambiental resultado de variaciones climáticas, topoaltimétricas, geológicas, geomorfológicas, y de vegetación. El régimen climático es de tipo mediterráneo cuando las precipitaciones presentan mayor concentración durante el semestre más frío. Los inviernos son fríos y lluviosos, y los veranos templados y secos. La temperatura media del trimestre de verano (diciembre-enero-febrero) es de 14°C y la media del trimestre de invierno (junio-julio-agosto) es de 3°C. Existe un gradiente altitudinal, donde la temperatura disminuye sensiblemente con la altura. Esta puede disminuir aproximadamente 5,5 °C cada 1000 m hacia los puntos más altos (Ferreyra et al., 2005). Los vientos predominantes son del oeste debido al sistema de circulación atmosférica del anticiclón del Pacífico y la faja de baja presión del círculo polar ártico.

Las lluvias y nevadas se concentran en otoño-invierno disminuyendo en sentido oeste-este y aumentando en altitud (Jobbágy et al., 1995). El promedio anual de precipitaciones es de 3000 mm en el oeste (límite fronterizo con la República de Chile) disminuyendo hacia el este (75 km), 500 mm en los alrededores del Cerro David en los alrededores de la Precordillera. Las precipitaciones estacionales (abril a septiembre) representan alrededor del 60% de las precipitaciones anuales (Cravero et al., 2010).

Esta fuerte disminución de las precipitaciones ocurre porque los vientos húmedos del Pacífico (oeste) al ascender la ladera occidental de la Cordillera de los Andes descargan la mayoría de su humedad y en consecuencia queda un resto escaso para la ladera oriental, transformándose rápidamente de un ambiente húmedo a otro seco en una distancia de alrededor de 100 km. En general, la línea de nevadas se ubica por encima de los 2100 m – 2200 m (Ferreyra et al., 2005).

Los cursos de agua son muy abundantes y permanentes, presentan un régimen hídrico de tipo estacional con mayores caudales a fines de la primavera y menores a fines del verano (Pereyra et al., 2009), predominan los regímenes permanentes y una densa red de drenaje. Estos pertenecen a las cuencas de los ríos Manso y Puelo, pertenecen a la provincia de Río Negro y Chubut, ocupando una superficie de 6041,55 Km<sup>2</sup>. Forman parte de un sistema hídrico que cruza hasta la República Chile hasta desembocar con el nombre de Río Puelo en la bahía de Reloncaví en el océano Pacífico (Valladares, 2003). Los principales cursos de agua son Manso, Villegas, Foyel y los lagos Mascardi, Guillermo, Steffen, Escondido.

La cuenca del río Manso se encuentra ubicada al sudoeste de la provincia de Río Negro, entre los 41° 07' - 41° 47' de latitud sur y los 71° 15' - 71° 56' de longitud oeste.

Las ciudades principales que se encuentran dentro de la cuenca son Villa Mascardi y El Foyel. Desde su límite norte hasta el sur del río Villegas, la cuenca se encuentra dentro de la jurisdicción del Parque Nacional Nahuel Huapi (Valladares, 2003).

El valle del río Manso tiene posiblemente un origen tectónico que posteriormente ampliado por acción los glaciares del Cerro Tronador, antes de desaguar en el lago Mascardi, recibe el aporte de numerosos cursos que incrementan su caudal. Luego continúa desde el lago Mascardi hacia el oeste, en un recorrido sinuoso, hasta finalmente cambiar su rumbo hacia el noroeste antes de atravesar la cordillera por el Paso del Manso. En este punto, la cuenca presenta una superficie de 3.780 km<sup>2</sup> (Valladares, 2003).

Las unidades hidrológicas observadas en la zona de estudio, son relativamente jóvenes evolucionando a un estado de madurez, donde predominan los procesos erosivos. Estos están caracterizados porque en la parte alta de las mismas, se presentan alta pendientes que luego discurren por valles más angostos, donde los cauces se produce una encajonamiento de los mismos, generando laderas con pendientes fuertes a lo largo del relieve altamente montañoso (Corradine, 2017).

La región se encuentra en la provincia geológica de la Cordillera Patagónica Septentrional y sectores de la Precordillera Patagónica (Pereyra et al., 2009). La estratigrafía de la región está conformada por un basamento metamórfico e ígneo (gneises, esquistos y rocas plutónicas foliadas) correspondiente al Paleozoico (Martinez et al., 2011 y Oriolo et al., 2019) denominado Complejo Colohuincul en el sector cordillerano y Formación Cushamen en el sector oriental (Giacosa y Heredia, 2001). En la cordillera andina se identifica el complejo volcánico- sedimentario denominado Batolito Patagónico (Pereyra et al., 2009). Esta unidad se compone de rocas plutónicas (en su mayoría tonalitas) y metamorfitas (Paleozoico), granitoides y tonalitas integrantes del correspondientes al Jurásico medio a superior (Castro et al., 2011), depósitos glaciogénicos aluviales cuaternarios y tefras holocenas (Giacosa y Heredia, 2004). Estructuralmente hay una disposición de los afloramientos rocosos con una marcada dirección norte sur, producto de la orogenia andina.

Estas rocas han sido deformadas durante la tectónica andina siendo afectadas por numerosos corrimientos. Esta situación junto con la prolongada exposición a condiciones glaciarias y criogénicas durante el Pleistoceno, convierten a esta área en una zona de debilidad e inestabilidad por la intensa meteorización física y remoción de material por los hielos (Flint y Fidalgo, 1969).

La unidad de los depósitos glaciarios, glacifluviales y glacialacustres, se corresponden con una edad pleistocena-holocena, y en general, son depósitos permeables y fácilmente erosionables. Los depósitos glaciarios, corresponden a depósitos de till, gravas, arenas, arcillas y limos. Los primeros, están compuestos por agregados caóticos de bloques y abundante matriz arenosa o limosa, que presentan diferentes tamaños pudiendo superar el metro cúbico. Las gravas y arenas se muestran estratificadas y con redondez en sus clastos. Los depósitos glacifluviales, están compuestos por gravas, arenas estratificadas, redondeadas y bien seleccionadas, intercaladas con arcilla. Se los puede observar desde el valle de los lagos Gutiérrez y Mascardi, hasta el área del río Manso y en los tributarios que descienden de la cordillera. Los depósitos glacialacustres están compuestos por limos oscuros, arenas finas y pardas rojizas, intercalados como capas entre los depósitos glacifluviales (Pereyra et al., 2009).

Los depósitos aluviales actuales, incluyen a los depósitos de planicies aluviales, niveles de terraza y abanicos aluviales de los cursos fluviales de edad holocena reciente. Pese a la heterogeneidad de estos depósitos, en general son muy permeables. Esta unidad está compuesta por gravas y arenas guijosas, arenas medianas a finas, limos y arcillas. Estos depósitos se encuentran escasamente consolidados (Pereyra et al., 2009).

El paisaje de esta región, fue el resultado de dos procesos principales, primero de la orogenia andina (Neógeno) que dio origen a cadenas montañosas de orientación nortesur, que luego modificado por las glaciaciones (Cuaternarias). Así es posible diferenciar el área de trabajo como un ambiente denominado cordillerano (Pereyra et al., 2009). En la región se observaron evidencias de al menos tres glaciaciones durante el pleistoceno medio y superior estudiadas por numerosos autores (Brüngen, 1928; Caldenius, 1932 y Rabassa y Clapperton, 1990) entre otros.

La vegetación del área corresponde a la región del Bosque Andino-Patagónico (Dzendoletas et al., 2006). Este tipo de vegetación corresponde fitogeográficamente a la Provincia Altoandina y Subantártica, y una representación parcial de la Provincia Patagónica, con el Distrito del Bosque Caducifolio. Lo caracterizan dos especies de *Nothofagus*, de hoja caduca, el ñire, *N. antártica* y la lenga, *N. pumilio* y una conífera, el ciprés, *Austrocedrus chilensis* (Dzendoletas et al., 2006). Existe una marcada variación de oeste a este, observándose un bosque denso al oeste, y hacia el este una estepa gramínea - arbustiva, atravesando por una zona central de un bosque abierto con predominancia de ciprés.

Los tipos de vegetación se establecen de acuerdo a diversos factores locales, como lo son el clima a escala regional, las condiciones geomorfológicas y edáficas (Dzendoletas et al., 2006). De acuerdo al criterio utilizado, se distinguen las siguientes unidades generales: semidesierto de altura, bosque de lenga, matorral de lenga achaparrada, bosque de coihue (*Nothofagus dombeyi*), bosque de ciprés, matorral de ñire, matorral mixto y mallín (Dzendoletas et al., 2006).

Dominan los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas (Andosoles) que evolucionaron bajo un clima húmedo a subhúmedo. Su distribución regional está condicionada por el macro-clima y el gran relieve, en cambio a nivel local depende de las unidades de paisajes y la redistribución de las cenizas por acción del viento y en menor medida por el agua. Los procesos pedogenéticos predominantes son la acumulación y transformación de la materia orgánica y la meteorización de las cenizas, junto con la formación de los complejos órgano-minerales. La reciente acumulación de cenizas, la activa morfogénesis, la participación de materiales originarios y las altas pendientes de la zona, muestran suelos con de moderado a bajo desarrollo pedogenético que se reflejan en horizontes poco diferenciados y poca profundidad (Pereyra et al., 2009).

En el área dominan los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos, como cenizas y pumicitas, que se encuentran apoyados sobre depósitos glaciares cuaternarios o rocas pre-cuaternarias.

En general estos suelos son moderadamente profundos a someros, de texturas franco arenosas, muy bien provistos de materia orgánica, ligeramente ácidos. Se observan una variación de los mismos de oeste a este (aproximadamente 75 km variación), predominan andisoles muy húmedos al oeste, en el centro andisoles húmedos y al este andisoles y molisoles xéricos. En cambio a nivel local la distribución depende fundamentalmente de las unidades del paisaje.

### **3.3. Descripción del uso de la tierra, vías de comunicación y características socio-económicas.**

El área fue utilizada entre 1900 y 1950 como área de pastoreo de verano y en menor medida de extracción de leña y madera, ello facilitó el asentamiento de pequeños poblados rurales, como el Foyel, el Manso y El Bolsón. A partir de los años 1950 se desarrolló como un área de actividad turística con la creación de Parques Nacionales, que ha desarrollado una importante actividad en los últimas tres décadas. También se transformó en una vía muy importante de comunicación con el sur Bolsón, Esquel, Trelew, Puerto Madryn, Comodoro Rivadavia y El Calafate. En las últimas décadas también se

convirtió en una vía de comunicación importante con el sur de Chile (Coihaque, Puerto Natales y Punta Arenas) especialmente en el transporte de personas y mercadería.

Actualmente, el sector de estudio se encuentra fragmentado por la RN 40 sur. La misma, también es llamada "Libertador General Don José de San Martín" (Ministerio de Educación, 2018), fue construida en 1935 y su traza se fue modificando a lo largo de los años, por agregado de tramos nuevos o incorporación de tramos existentes. Recorre Argentina desde La Quiaca hasta Cabo Vírgenes (km 0) acompañada en gran parte de su recorrido por la cordillera de los Andes. Es la más extensa del país, tiene una longitud de 5140 km, su altura varía entre el nivel del mar y los 5000 m (Solivérez, 2017).

El objetivo fue convertirla es un producto turístico, ya que atraviesa 11 provincias argentinas, acerca a turistas a 20 reservas y parques nacionales, como el parque nacional Nahuel Huapi, atraviesa 18 ríos de gran cauce y conecta 27 pasos cordilleranos. (Diario digital La Nación, 2005). Es considerada la más histórica y cultural del país, que se refleja en las formas de usar el territorio (Solivérez, 2017). La diversidad cultural y las diferentes formas de relacionarse con el entorno natural la convierten en un lugar de encuentro, entre pobladores, vecinos, residentes de ciudades aledañas, comunidades nativas indígenas, instituciones y turistas, entre otros. Por estas características especiales, esta ruta posee un valor turístico agregado, ya que ofrece un recorrido a través de un territorio con objetivo de admirar y valorar, el legado cultural, las bellezas naturales, así como la interacción establecida entre grupos sociales que lo habitan.

Históricamente en Río Negro la RN 40 atravesaba esta provincia siguiendo una calzada enripiada pasando por la zona de mesetas que vincula Alicurá con Las Bayas, Chacay Huarruca y Ñorquinco. Actualmente este tramo se llama "ruta 40 vieja" (Diario Digital Río Negro, 2005). Luego, segmentos de las RN 237 y RN 258 comenzaron a ser parte de la ruta 40 en el año 2003 (Solivérez, 2017). Asimismo, en San Carlos de Bariloche la RN 258 Juan Marcos Herman, adoptó el nombre de la RN 40, que quedó indicada en el km 1998 (Diario Digital Río Negro, 2005).

En el 2005, se agregaron más tramos a la misma, así la RN 40 siguió la traza de RN 258 que bordea los lagos Gutiérrez, Mascardi, Guillermo hasta El Bolsón, aunque la ruta todavía conservaba la cartelería antigua (Diario Digital Río Negro, 2005). Pasando El Maitén la señalización retoma la traza preexistente. Este nuevo recorrido atraviesa parte de la Región de los Lagos, en Chubut, Río Negro y Neuquén, ciudades como Lago Puelo y El Bolsón, y una atracciones como el Lago Nahuel Huapi y el Parque Nacional Los Alerces. El asfalto del tramo que une San Carlos de Bariloche y El Bolsón fue inaugurado en 1996,

luego de varios años de reclamos de pobladores del área. Esta mejora fue de suma importancia para los habitantes del área de El Bolsón y alrededores, ya que antes, estos 130 km que unen esta región con San Carlos de Bariloche demandaban casi 4 horas, hoy pueden realizarse en aproximadamente 90 minutos. También una ciudad ubicada más hacia el sur, como El Foyel, Esquel y otros poblados rurales que conectan con San Carlos de Bariloche.

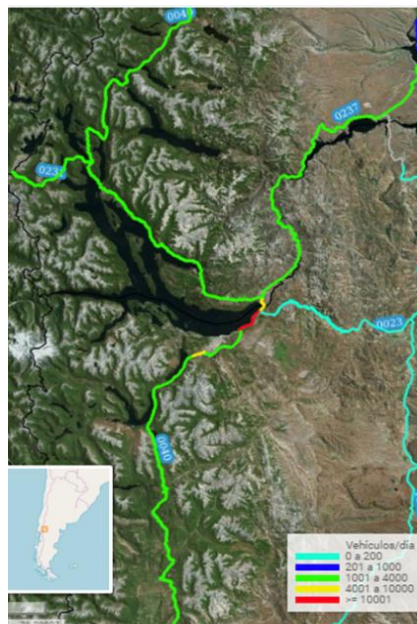
Esta región de acuerdo a la Ley 22.351/80 se ubica dentro un área protegida (Parque Nacional Nahuel Huapi -PNNH), que presenta un alto valor ecológico, paisajístico y de conservación. Toda el área de la cuenca del Manso posee valores especiales de conservación. En particular el sitio de análisis se corresponde con dos categorías de conservación lindantes definidas por la Administración de Parques Nacionales (APN), coincidentes con la fragmentación mencionada. Hacia la costa oeste del Lago Guillermo se encuentra definida como Parque Nacional y hacia la costa este del lago se denomina como Reserva Nacional. A fin de llevar adelante tareas de conservación y recuperación del área, este sector de estudio está comprendido dentro de la unidad de gestión territorial "Corredor Turístico Ruta Nacional N° 40: Lagos Gutiérrez, Mascardi y Guillermo" (PNNH, 2019).

Como describió Bailey Willis (1914), este lugar fue sometido a numerosos disturbios, como extensos incendios combinados con actividades extractivas. El último gran incendio documentado fue en el año 1999. Se observó que estas grandes áreas quemadas identificadas por Bailey Willis tienen una relación directa con la vegetación que se encuentra actualmente. En el año 2010, se actualizó el mapa de vegetación del Parque Nacional Nahuel Huapi, y se observó que estas áreas, efectivamente están colonizadas por matorrales post fuego (Gowda et al., 2014).

La fácil accesibilidad a este sector genera una presión de uso muy importante por parte de la población local, particularmente uso diurno o acampe durante los fines de semana de la época estival. Otorga conectividad al Cerro Tronador, el Lago Mascardi y otros sectores del PNNH, como el río Manso y el Lago Steffen, que son visitados por residentes y turistas (PNNH, 2019).

Sobre este circuito también se localizan dos puntos de uso intensivo, las áreas de acceso a las costas del Lago Guillermo. En ellas se practican actividades náuticas, pues no se permite la navegación a motor, y se encuentra el acceso a una bici senda. También se realizan actividades de acampe y senderismo (Lehr, 2019).

Del mismo modo, es un corredor comercial internacional que recibe un promedio de **55 camiones cargados/día**<sup>1</sup> que ingresan por el Paso Cardenal Samoré. Trasladan diversas mercaderías, hacia el sur del país y a la República de Chile. De la misma forma, Vialidad Nacional registró los datos de tránsito diario medio anual<sup>2</sup> (TMDA), específicamente para este tramo de ruta. Los valores promedios obtenidos para 2017, fueron de **2100 vehículos/día**, y para el mes de febrero fueron de **3382 vehículos/día**, con un promedio general de entre **1001 a 4000 vehículos /día** (Figura 10) (Vialidad, 2019).



**Figura 10: TMDA para la región de estudio durante los años 2017-2018. Tomado de SIG-VIAL .Vialidad Nacional.**

La constante circulación de vehículos sobre todo de tránsito pesado, provocó que algunos sectores de la ruta se deterioraran mostrando hundimientos, siendo uno de los tramos más afectados el área del Lago Guillermo. La falta de señalización (cartelería y pintura sobre el asfalto) tiene como consecuencia que el tránsito nocturno o en momentos de poca visibilidad sea muy peligrosa sobre todo en épocas invernales (Diario Digital Río Negro y Neuquén, 2004). Si bien existe normativa para este sector, el tratamiento es complejo ya que se encuentra bajo la jurisdicción de Vialidad Nacional y Parques Nacionales (Lehr, 2019).

---

<sup>1</sup> Datos registrados por la Aduana Nacional en San Carlos de Bariloche durante el primer cuatrimestre de 2016.

<sup>2</sup> El Tránsito Medio Diario Anual es una medida fundamental del tránsito y en el sentido estricto se define como el volumen de tránsito total anual dividido por el número de días del año.



### 3.4. Marco Normativo

La aplicación de la normativa vigente se encuadra según las jurisdicciones donde se encuentra situado el sector de estudio. Está representada por instituciones como Parques Nacionales y Vialidad Nacional en conjunto con el marco normativo provincial y nacional (Tabla 14).

Aunque el sector de estudio se encuentra fuera del ejido de San Carlos de Bariloche, es de gran importancia, así en el año 2015, el Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, por iniciativa de la concejal Irma Haneck (SUR), solicitó por medio de una comunicación N° 796-CM-15 a Vialidad Nacional la realización de Obras en el tramo Bariloche-El Bolsón, en particular por los deslizamientos ocurridos en 9 de septiembre del 2013, 2 de agosto del 2014, 3 de febrero del 2015, 1 de abril del 2015 y 18 de abril del 2015 (Haneck, 2015). Así, Vialidad Nacional comenzó con las obras de repavimentación en la Ruta Nacional 40, a cargo de la empresa Hidraco S.A., en la calzada desde Villa Mascardi hasta San Carlos de Bariloche, en la zona del Lago Guillermo, (El Constructor. Periódico de la Construcción y Negocios, 2018 y Vivienda. Revista de la Construcción, 2018).

<b>Leyes Nacionales</b>	
Ley Nacional N°27.287/16	Crea el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil que tiene como finalidad integrar las acciones y articular el funcionamiento de los organismos del Gobierno nacional, los Gobiernos provinciales y municipales, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil, para fortalecer y optimizar las acciones destinadas a la reducción de riesgos, el manejo de la crisis y la recuperación. Define términos, crea el Consejo Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil, junto con el Fondo Nacional homónimo.
<b>Administración de Parques Nacionales</b>	
<b>Régimen General</b>	
Ley N° 22.351/80- Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales	Establece los procedimientos para la declaración de parques nacionales, monumentos naturales o reservas nacionales de aquellas áreas del territorio nacional que por sus extraordinarias bellezas o riquezas en flora o fauna autóctona o en razón de un interés científico determinado deben ser protegidas y conservadas para investigaciones científicas, educación y goce de las presentes y futuras generaciones.
Ley N° 26.389/08 - Modificación de la Ley N° 22.351, Ley de Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales	Modifica la Ley N° 22.351. Incorpora una nueva disposición al artículo 5º, el cual se refiere a las actividades que quedan prohibidas en los parques y reservas.
<b>Reglamentos específicos para la Región Patagónica</b>	
Reglamento de Investigación Parques Nacionales – 2016	Regula la investigación científica sobre el patrimonio natural y cultural presente en las áreas sujetas al régimen de Ley Nacional N° 22.351, incluyendo los documentos históricos. Procedimientos de solicitud de permisos y presentación de informes. Sanciones.

Reglamento Forestal (1994)	Regula la protección y el aprovechamiento forestal en tierras de dominio público y privado. Define procedimientos para la recolección de semillas, prohibición de introducción de especies exóticas, la extracción de especies, prevención y lucha contra incendios. Define responsabilidades y Sanciones. Pago de aranceles y transporte. Establece un registro de aprovechamiento forestal.
Reglamento para la explotación de canteras de áridos y remoción de suelos en jurisdicción de la APN	Aprobado por Resolución N° 128/97. Define el ámbito de aplicación. Requisitos. Documentación a presentar. Define restricciones. Pago de tasas. Procedimiento para la fiscalización y seguimiento. Sanciones y multas.
Reglamento para la evaluación de Impacto Ambiental en áreas de la APN	Aprobado por Resolución N° 203/16. Procedimientos. Contenidos mínimos. Responsabilidades y sanciones.
Reglamento de Construcciones para los Parques Nacionales, monumentos naturales y reservas naturales	Aprobado por Resolución N° 180/12. Define alcances. Permisos y avisos de obra. Procedimientos.
Normas para la ejecución, ocupación del suelo y uso de las construcciones en los Parques y Reservas Nacionales Lanín y Nahuel Huapi	Aprobado por Resolución N° 180/12. Define las normas básicas para la regulación de la ocupación del suelo y usos permitidos. Determina zonificaciones e indicadores urbanísticos.
Plan de Manejo del Parque Nacional Nahuel Huapi	Aprobado en el año 1986 mediante la Resolución N° 618/97. Define políticas y lineamientos frente a la necesidad de contar con un instrumento de gestión y planificación.
Plan de gestión de Parque Nacional Nahuel Huapi	Es un elemento superador al Plan de Manejo (1986) avanzando en la capacidad de gestión, incluyendo la participación, mejorando el conocimiento y la información disponible a fin de abordar las problemáticas y amenazas de conservación con mayor especificidad. Se encuentra aprobado por la Resolución del Honorable Directorio 31/2019.
<b>Vialidad Nacional</b>	
Pliego de especificaciones técnicas generales. Publicación 101/102. 1998	Describe las especificaciones técnicas generales para la construcción de obras básicas y calzadas. Obras complementarias y materiales. Gestión ambiental.
Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA II) del año 2007 de Vialidad Nacional.	Herramienta que proporciona un marco de referencia para definir y considerar los aspectos ambientales e impactos de las obras viales. Indica los contenidos mínimos para la presentación del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Gestión.
<b>Leyes Provinciales</b>	
Ley N° 3266/99 - Impacto Ambiental	Regula los procedimientos de Evaluación del impacto ambiental, los alcances y contenidos mínimos. Definición de infracciones y sanciones.
Ley N° 5242/17	Adhesión a la ley nacional 27.287/16 que crea "Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil".

Tabla 14: Marco normativo

## 4. Metodología

La metodología elegida para elaborar la zonificación del riesgo de procesos de remoción en masa, es una combinación del método heurístico y la EMC aplicando la técnica del AHP como herramienta de ponderación de variables. Este procedimiento es de rápida resolución, y consistente con las condiciones ambientales de la zona de estudio. La información obtenida se integró con una base de datos cartográficos en el SIG, de acuerdo a la metodología propuesta por Chacón Montero (2008), González de Vallejo et al.(2004), Sepúlveda et al. (2016) y Viltres Milán et al.(2011), junto con los autores mencionados en la Sección 2.2. De esta forma, se utilizó información preexistente, la interpretación de imágenes satelitales, las características biofísicas del área, controles de campo y el análisis espacial mediante un SIG.

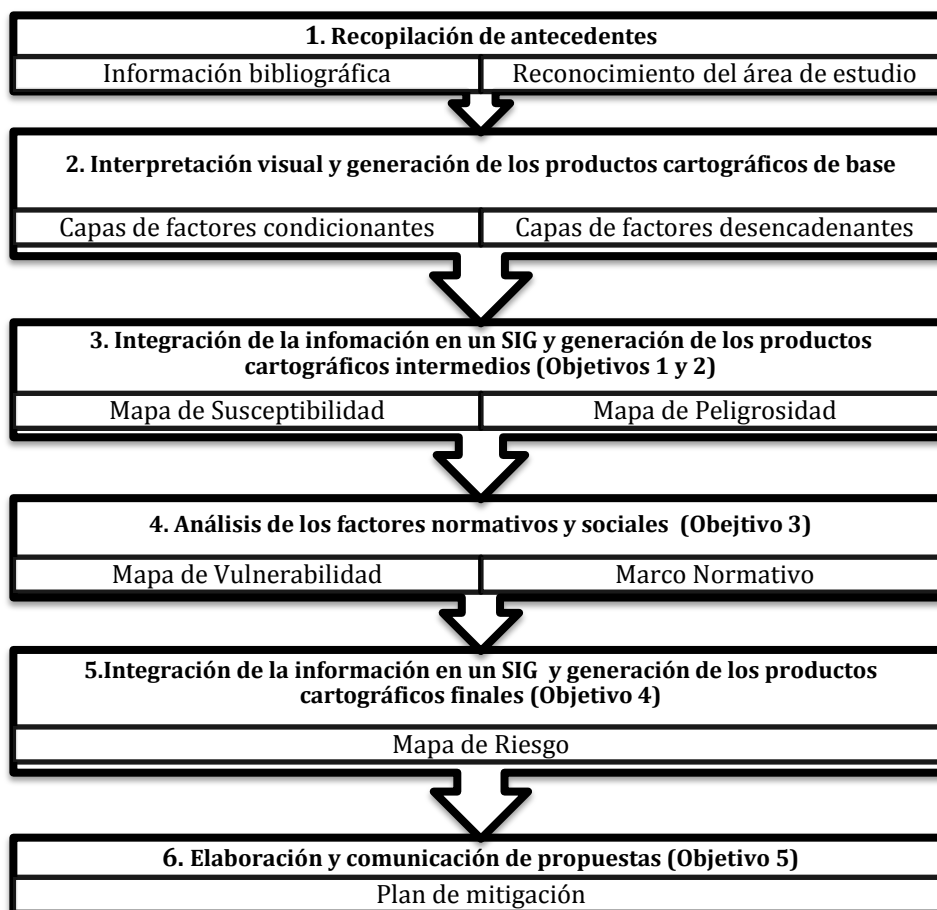


Figura 11: Esquema metodológico general.

El proceso que se presenta en la Figura 11, se puede agrupar en tres etapas generales: el **procesamiento de información de base** (puntos 1 y 2) **generación de productos intermedios** (punto 3 y punto 4) y el **producto final mapa resultante** de riesgo (punto 5). Estas tres partes incluyen procesos metodológicos y resultados parciales, ya que cada una de ellas genera los productos que son la información de base para la etapa siguiente.

Por último se establecieron las medidas correctivas (punto 6). A fin de facilitar el trabajo de gabinete, las mismas, se desarrollan en seis etapas más específicas. En general las tareas de cada etapa son sucesivas, pero por la complejidad del análisis, se trabajó mediante un proceso continuo de auto revisión y control a campo. Este análisis estuvo acompañado de consulta bibliográfica, realización de entrevistas a especialistas de la temática y actores relevantes

#### 4.1. Materiales

Para representar el área de estudio, se utilizó una imagen satelital SPOT V (Systeme Pour l'Observation de la Terre). Este programa espacial comenzó en 1986 desde entonces se han lanzado 7 satélites más, el Spot VI y VI lanzados en 2015 siguen operando (CONAE, 2017 y Chuvieco, 2006). El Spot V cuyas especificaciones técnicas se presentan en la (Tabla 15) , posee dos sensores HRG , Vegetación 2 y el HRS, que tienen distintas características y usos (Spot Image, 2005). Esta imagen fue obtenida con el instrumento HRG1. Los datos de los satélites SPOT permiten obtener imágenes pancromáticas y multiespectrales con diferentes resoluciones espaciales, para el SPOT V esta es de 10 m (CONAE, 2017).

<b>Fecha de lanzamiento</b>	4 de Mayo de 2002
<b>Fecha de fin de operaciones</b>	31 de Marzo de 2015
<b>Período de disponibilidad de datos</b>	1 de octubre de 2011 hasta la fecha de fin de operaciones
<b>Órbita</b>	Helio sincrónica
<b>Altitud</b>	832 km
<b>Modo</b>	Multiespectral Pancromática
<b>Sensor</b>	HRG
<b>Bandas</b>	B1 (Verde): 0,50 - 0,59 $\mu\text{m}$ B2 (Rojo): 0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$ B3 (Infrarrojo cercano): 0,79 - 0,89 $\mu\text{m}$ B4 (Infrarrojo medio): 1,58 - 1,75 $\mu\text{m}$ P (Pancromático): 0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$
<b>Resolución Espacial</b>	10 m
<b>Escena</b>	60 x 60 km a 80 km
<b>Dinámica de la imagen</b>	8 bit
<b>Ciclo orbital</b>	26 días según la latitud. Repetitividad media en este ciclo de 2 a 3 días.
<b>Ángulos de incidencia</b>	entre - 31,06° y + 31,06°
<b>Tratamiento</b>	Nivel 2a, se encuentra en una proyección cartográfica estándar, UTM WGS 84, sin el uso de puntos de control.

Tabla 15: Características del SPOT V y de sus imágenes (CONAE, 2017) (Spot Image, 2005)

La imagen elegida se obtuvo por un convenio entre el INTA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Corresponde a la fecha 17/02/15 y abarca un extensión de 72,3 Km de ancho por 76,9 km de largo. Para la elección de esta imagen se tuvo en cuenta la relación del costo beneficio de los datos que ofrece la misma en relación

a los objetivos del trabajo. La imagen en crudo ya se encontraba georreferenciada y completa con las cuatro bandas correspondientes al tipo de sensor (Tabla 16).

Asociado a la imagen, se utilizó un modelo digital de elevaciones (MDE) para generar productos correspondientes a los factores condicionantes y detonantes como: curvas de nivel, pendientes, pisos altimétricos, precipitación y temperatura. Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Felicísimo, 1994). Así el valor de cada pixel de la imagen se corresponde con un valor de altura (Noe, 2014). Por lo tanto, la unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud Z, al que acompañan los valores correspondientes de x e y, expresados en un sistema de proyección geográfica para una referenciación espacial precisa (Felicísimo, 1994 y Noe et al., 2014).

El MDE utilizado es gratuito y se encuentra a disposición en el portal de datos de Alaska Satellite Facility (ASF, 2018). Corresponde a un formato raster y fue obtenido por el satélite Alos Palsar que perteneció a la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) (ASF, 2018). La misión Alos Palsar fue lanzada en enero de 2006, hay datos disponibles desde el 16 de Mayo de 2006 hasta el 22 de Abril de 2011 (GeoSpatial, 2013). Las imágenes recolectadas tenían escenas de 50 km x 70 km con un ciclo de cada 45 días (ASF, 2018 y GeoSpatial, 2013). El MDE corresponde a la fecha del 1 de enero de 2011, posee una resolución espacial de 12.5 m y ya se encontraba georreferenciado y corregido radiométricamente (Tabla 16).

	<b>Imagen en crudo</b>	<b>MDE en crudo</b>
<b>Formato</b>	Raster	Raster
<b>Resolución espacial</b>	10 m x 10 m	12.5 m x 12.5 m
<b>Ancho</b>	7226 pixeles	6689 pixeles
<b>Alto</b>	7693 pixeles	6125 pixeles
<b>Proyección</b>	UTM zona 19	UTM zona 18S

**Tabla 16:** Datos en crudo de la imagen y el MDE

Adicionalmente a la imagen y el MDE, se sumó bibliografía complementaria indicada en (Tabla 17).

<b>Datos de entrada</b>	<b>Fuente</b>	<b>Productos</b>
<b>Carta Topográfica</b>	IGM (Instituto Geográfico Militar)	Topografía y planialtimetría
<b>Capa de vegetación</b>	CIEFAP (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico) provista por Parque Nacional Huapi	Tipos de Vegetación
<b>Capa de Incendios</b>	Parque Nacional Nahuel Huapi	Incendios

<b>Carta de peligrosidad geológica de S.C de Bariloche</b>	Instituto de Geología y Recursos Minerales	Suelos
		Geología
		Geomorfología
		Vegetación
<b>Datos meteorológicos</b>	Secretaría de infraestructura y política hídricas	Precipitaciones
		Temperatura
<b>Registro de episodios</b>	Vialidad Nacional	Inventario Vulnerabilidad
	Prensa Local	

**Tabla 17: Información de base adicional utilizada para la generación de cada producto.**

En relación a los registros de episodios mencionados en la Tabla 17, se realizó una búsqueda exhaustiva en los diarios electrónicos (locales-provinciales-nacionales) y se consultó personalmente a Vialidad Nacional<sup>3</sup> Delegación Bariloche (Comp. Pers. Martinez, 2016). Los datos proporcionados se corresponden con cortes totales, parciales que necesitaron limpieza y arreglos. Se encontraron disparidades entre las fechas de los eventos proporcionados por Vialidad Nacional y la búsqueda realizada.

Asimismo la delegación de Vialidad no proporcionó información sobre donde ocurrieron los eventos, pero se identificaron algunos de ellos por información, fotografías de los diarios y relevamientos a campo. Con este registro se identificaron los puntos más problemáticos, se elaboró el mapa de inventario y se utilizó como información de base para el mapa de vulnerabilidad (Tabla 18). Además, se consultó a Vialidad Nacional Delegación Buenos Aires, sobre especificaciones técnicas, pliegos de licitación, manuales de buenas prácticas, etc. Del mismo modo se realizaron consultas sobre la temática a actores que se consideraron importantes. También se solicitaron datos a la Aduana Nacional sobre el tránsito de camiones transfronterizos.

<b>Registros Vialidad Nacional (Delegación Bariloche)</b>	<b>Registros diarios electrónicos</b>	<b>Sitio - Mojón</b>	<b>Registros fuente electrónica</b>	<b>Observaciones</b>
9/12/2002				Sin observaciones
13/10/2002	13/10/2002	-	Rio Negro	Sin observaciones
28/6/2004	29/6/2004	-	Rio Negro	Sin observaciones
22/5/2009	22/5/2009	km 1998 y km 1999	Rio Negro, La Nación, TN,	Hubo heridos, dos aludes.

<sup>3</sup> Ing. Eduardo Lence (Nota N° 014/16- Dirección Nacional de Vialidad. Delegación San Carlos de Bariloche).

Sin dato	8/9/2013	km 1998 y Altura del arroyo blanco.	Río Negro y La Nación	Se habilito el 13 de septiembre. Hubo tres aludes, a la altura del Arroyo Blanco, se llevó 10 metros de asfalto.
9/10/2013	-	-	-	Sin observaciones
2/8/2014	2/8/2014	km 1995	Diario popular, Ambito.com, El Ciudadano y La Región, La Nación e Infobae.	Hubo evacuados, había turistas en el lugar (diario popular).
Sin dato	1/4/2015	km 1998	Lm Cipolletti.com	Sin observaciones
Sin dato-	18/4/2015	km 1998	ADN Río Negro, Noticias del Bolsón y Bariloche opina.com	Sin observaciones
Sin dato	3/2/2015	km 2005	Río Negro y Neuquén 24Horas	Impedimento total del tránsito por al menos 24 horas.
Sin dato	17/5/2015	km 1998 y 1999	Bariloche 2000 y ADN Río Negro	La ruta se volvió a habilitar el 26 de mayo. Una sola mano.
2/6/2015	2/6/2015	km 1998	La Nación y La prensa	Chequear la altura a campo.
Sin dato	9/6/2016	Km 1998	Bariloche 2000	Caída de rocas. Reducción de calzada.
Sin dato	22/11/2018	km 1998	Bariloche 2000	Se cortó la ruta por la noche, durante la mañana fue habilitada con precaución. Se desmoronó el arroyo y hubo caída de bloques rocosos.
Sin dato	2/5/2019	km 1998 y km 1995	Bariloche 2000 y ANB Bariloche	Rebalse de dos arroyos. Lluvias torrenciales por más de 72 hs. (aprox. 100 mm el primer día)

**Tabla 18: Registros de los eventos en el área tomados de Vialidad Nacional y fuentes periodísticas.**

Para la interpretación, análisis y procesamiento de la imagen y el MDE se utilizó software especializado. El tratamiento digital de la imagen se realizó con el programa ERDAS 9.2 provisto por el INTA. También se utilizó el software gratuito Quantum Gis (QGIS), las versiones 2.18 “Las Palmas” y 3.0 “Girona” junto con sus programas complementarios como el SAGA GIS y el GRASS. Puntualmente este se utilizó para el análisis y la integración de la información junto con otras herramientas que se irán detallando a lo largo del trabajo. La elección de la utilización de uno u otro, estuvo sujeta a las características propias de cada programa, en relación a los tratamientos, las funciones y herramientas que cada uno ofrece a fin de lograr los mejores resultados para cada etapa

del trabajo ya que estos programas pueden trabajar con modelos vectoriales o raster. Para el relevamiento a campo e identificación se puntos de control fueron utilizados otros materiales: una cámara fotográfica y un GPS manual Etrex Garmín.

## 4.2. Métodos

La interpretación visual y el tratamiento digital mediante la aplicación de modelos y diversas herramientas QGIS y ERDAS, junto con la observación a campo y una búsqueda exhaustiva de bibliografía fueron los principales métodos aplicados. En el Anexo III sección 13.5 se indican todas las metodologías utilizadas para cada capa, indicando la información de entrada (input) y resultados (output). También se enriqueció el análisis mediante la realización de entrevistas a los actores mencionados.

La imagen, se observó en el programa ERDAS y QGIS. Para una mejor visualización se utilizó el falso color compuesto (FCC), que es la combinación que mejor se ajusta para este tipo de imagen. Así, se asignó la banda del Infrarrojo cercano ( $0,78 \mu\text{m} - 0,89 \mu\text{m}$ ) al rojo, la del rojo ( $0,61 \mu\text{m} - 0,68 \mu\text{m}$ ) al verde y la del verde ( $0,50 \mu\text{m} - 0,59 \mu\text{m}$ ) al azul. Se utilizaron contrastes y realces para mejorar la visualización. Luego se realizó una interpretación visual teniendo en cuenta criterios espaciales, espectrales y temporales. Los objetos se observaron en relación a otros elementos y al patrón total de la imagen, para luego realizar la interpretación digital. Se utilizó como sistema de referencia el POSGAR 2007 faja 1 para todas las capas temáticas y productos de este trabajo, según Disposición del Instituto Geográfico Militar N° 20/2009.

Luego, se demarcó y recortó la imagen considerando las formas y el relieve del paisaje considerando el área dónde se registró el mayor número de eventos de remoción en masa registrados. También se tomó en cuenta el costo-beneficio de la cantidad de datos a procesar en relación a la escala final de trabajo y los objetivos a cumplir. El recorte de la imagen realizado abarca una extensión de **6,19 km de ancho y 13 km de largo**. Al igual que con la imagen, el MDE se reproyectó y se recortó (Tabla 19). Esta extensión será utilizada durante todo el trabajo para todas las capas temáticas y mapas que se generen.

Se trabajó en diferentes escalas, una escala de digitalización y escala final geográfica. Para la digitalización manual y observación se utilizó una escala mayor que la escala final de trabajo. La escala de digitalización fue de 1:5000 (1 cm = 50 m en la realidad) aproximadamente y la escala gráfica de los productos finales fue de 1:40000 (1 cm = 400 m en la realidad). La escala gráfica de los productos intermedios con un objetivo demostrativo visual fue variable de acuerdo a cada capa, por ejemplo para mostrar los puntos de relevamientos a campo variaron entre 1:100000 y 1:120000.



	<b>Imagen Recorte</b>	<b>MDE Recorte</b>
<b>Formato</b>	Raster	Raster
<b>Resolución espacial</b>	10 m x 10 m	12.5 m x 12.5 m
<b>Ancho</b>	619 pixeles	6893 pixeles
<b>Alto</b>	1309 pixeles	6349 pixeles
<b>Proyección</b>	POSGAR 2007 F1	POSGAR 2007 F1

Tabla 19: Datos del recorte de la imagen y el MDE

En total se realizaron 10 salidas al campo, posteriormente a una primera interpretación visual de la imagen satelital, la primera se efectuó el día 22/02/2016. En la Tabla 20, se indican las fechas, los objetivos principales y observaciones generales realizadas. Estas se ampliarán y expondrán a lo largo de todo el texto.

<b>Fechas</b>	<b>Observaciones</b>
<b>22/02/2016</b>	Salida general de reconocimiento. Objetivo principal, identificar los puntos de estudio. Relevamiento de cauces. Estado de los mismos.
<b>14/4/2016</b>	Observación de las características ambientales generales. Relevamiento de cauces. Estado de los mismos. Identificación de cauces activos. Inventario. Se tomaron puntos de control para la geología, geomorfología y suelos.
<b>15/6/2016</b>	Vegetación y Suelos. En particular, se pudo identificar los estratos de lengas y ñires. Se tomaron puntos de control.
<b>30/11/2016</b>	Observación del estado de los cauces. Control a campo de vegetación y suelos.
<b>05/03/2017</b>	Control a campo de geología y geomorfología. Inventario. Observación del estado de los cauces.
<b>02/12/2017</b>	Observación del estado de los cauces.
<b>31/03/2018</b>	Control a campo de capas temáticas: vegetación, suelos, geología y geomorfología. Control a campo de Mapa de inventario.
<b>25/10/2018</b>	Observación del estado de los cauces y puntos de control. Inventario.
<b>10/02/2019</b>	Observación del estado de los cauces y puntos de control.
<b>03/05/2019</b>	Observación del estado de los cauces debido a lluvias torrenciales durante 72 hs. (aproximadamente más de 100 mm el primer día). Corroborar los estratos de vegetación de acuerdo a su estadio fenológico.

Tabla 20: Fechas de las salidas al campo y principales observaciones realizadas.

Las consultas a los actores se realizaron por medio de entrevistas personales y correo electrónico (Tabla 21).

<b>Actores Relevantes</b>	<b>Especialidad/Institución</b>	<b>Principales consultas realizadas</b>
<b>Elisabeth Hacker</b>	Ingeniera civil de Vialidad Nacional Delegación Bariloche, responsable del mantenimiento y control de la ruta 40 sur en el sector de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Características constructivas y estructurales de la ruta 40 sur</li> <li>-Especificaciones técnicas especiales</li> <li>-Responsables y Fiscalización</li> <li>- Presentación de Estudio de Impacto Ambiental</li> <li>- Aplicación de Plan de Gestión</li> <li>- Diseño de obras de arte y alcantarillas</li> <li>- Información que ofrece la página web de Vialidad Nacional</li> <li>- Cartelería</li> <li>- Relación con otros organismos y superposición de jurisdicciones</li> </ul>

<b>Ezequiel Dencheff</b>	Ingeniero civil de Vialidad Provincial Delegación Bariloche. Trabaja en el tramo de la ruta 82 (nueva Mallín Ahogado).	-Especificaciones técnicas especiales - Responsabilidades de la empresa contratista y su relación con Vialidad -Fiscalización - Presentación de documentación ambiental
<b>Ariel Bardella,</b>	Ingeniero responsable de la empresa HIDRACO encargada del mantenimiento de la ruta 40 sur,	-Características constructivas particulares del tramo de estudio -Relación con otras instituciones -Responsabilidades a cumplir de acuerdo a licitación - Fiscalización - Plan de Gestión - Mantenimiento -Protocolos a cumplimentar
<b>Daniel Pedre</b>	Ingeniero civil especialista en caminos	-Especificaciones técnicas para caminos y rutas de la Patagonia - Relación con otros organismos y superposición de jurisdicciones - Especificaciones técnicas especiales -Responsables y Fiscalización - Presentación de Estudio de Impacto Ambiental - Aplicación de Plan de Gestión - Diseño de obras de arte y alcantarillas - Información -Aplicación de medidas de contención, mitigación, parámetros constructivos generales y específicos
<b>Pablo Sosa</b>	Ingeniero civil especialista en caminos- Dirección de obras por contrato de Municipalidad de San Carlos de Bariloche	-Especificaciones técnicas para caminos y rutas de la Patagonia -Calidad de materiales en relación a la amplitud térmica -Presentación de Estudio de Impacto Ambiental - Aplicación de Plan de Gestión -Diseño de obras de arte y alcantarillas -Diseño de medidas de contención
<b>Axel Lehr</b>	Coordinador Área Gestión Ambiental – División de Conservación – Departamento de Conservación y Educación Ambiental -	- Especificaciones técnicas de construcción en Parques Nacionales - Normativa vigente - Límites y Jurisdicciones - Relaciones con los actores intervinientes en el sector - Plan de gestión del PNNH - Usos del sitio
<b>Patricia Díaz</b>	Subsecretaria de Protección civil de la Municipalidad de San Carlos de Bariloche	Planes de mitigación y comunicación de desastres. Planes de contingencias y su aplicación.

Tabla 21: Actores relevantes y principales consultas realizadas.

## 5. Elaboración y procesamiento de información de base

### 5.1. Reconocimiento de sitio

En la primera salida a campo, se observó la predominancia de un relieve montañoso en todo el sector (Imagen 1), con pendientes descendentes desde la cima del

cerro Padre Laguna hacia las costas del lago Guillermo. De esta manera el relieve de ladera se encuentra abruptamente ininterrumpido por la RN 40 S, donde se generaron y existen numerosos taludes de suelo y roca desnuda, sin ninguna contención. Sin embargo, existen varios sectores de pendientes casi verticales lindantes con la ruta 40 sur. La roca expuesta se encuentra muy fracturada, diaclasada, estriada, muy expuesta a la meteorización. También hacia la costa se observan pendientes muy pronunciadas (Figura 12). Las características ambientales observadas presentan rasgos característicos según los estratos de altitud existentes (Tabla 22).



Imagen 1: Vista de un sector del sitio de estudio desde la costa sureste del Lago Guillermo. Se observa un relieve típicamente montañoso, de pendientes muy altas a escarpadas descendentes hacia la costa.

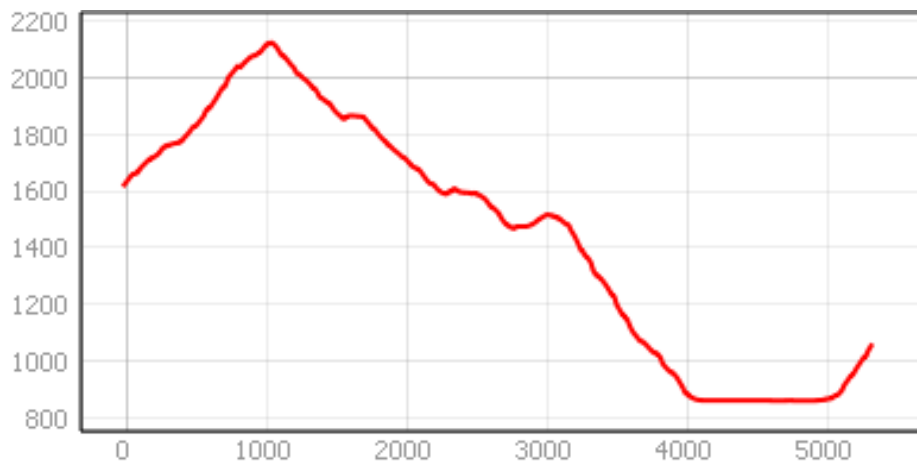


Figura 12: Perfil longitudinal representativo del terreno, creado a partir del modelo digital de terreno utilizando el software QGIS. Dónde el eje Y representa las diferentes altitudes en m y el X la distancia del terreno en m.

Geológicamente, domina una roca ígnea plutónica representada por granito, granodiorita y tonalita, de edad Cretácica, pertenecientes al Batolito Patagónico, este sirvió como sustrato a la cordillera. El origen del relieve se debe a la tectónica andina neógena que originó cadenas montañosas de un fuerte lineamiento norte-sur

posteriormente suavizado por la acción glacial (cuaternaria) y aluvial en los sectores más bajos. Los abanicos aluviales son el resultado de los materiales que fueron transportados y arrastrados por los cauces de la ladera. Estos sedimentos son más modernos, producto de la acción del agua y la gravedad. En la zona colindante con el lago Mascardi, se puede observar un sector de depósitos glaciares que forman una morena de cierre o retroceso. Sobre el sector lindante con la costa del lago Guillermo, se observan procesos gravitacionales activos, debido a la intensa meteorización y fracturación que presentan las rocas aflorantes, junto a las altas pendientes.

La vegetación se observó teniendo en cuenta los diferentes estratos correspondientes a la altitud. Para la identificación se tuvieron en cuenta las directivas de la FAO LCC (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Land cover classification system). Se realizaron salidas a campo en diferentes épocas del año, sin embargo, durante el otoño se pudieron diferenciar con mayor exactitud algunas especies de *Nothofagus*. Asimismo se observaron sectores post fuego en recuperación y estratos arbustivos. Hay presencia de vegetación exótica sobre todo en los bordes de ruta.

En relación a los suelos, se puede distinguir, heterogeneidad de materiales depositados. Estos suelos se desarrollaron a partir de cenizas del Holoceno. Se pueden reconocer morenas laterales, junto con depósitos glacifluviales y cono aluviales, como limo y arena fina sobre el lado este de la ruta. Hay presencia de ceniza, sobre todo en las áreas de bosque. La mayoría de los suelos, son moderadamente profundos a someros. En sitios de pendientes “altas” a “muy altas” hay menos acumulación de ceniza y dominan los afloramientos rocosos, con suelos someros. En sectores con vegetación arbórea y arbustiva con un alto porcentaje de cobertura y poca exposición a los vientos, pueden encontrarse suelos más profundos. Para la clasificación de los mismos se tomaron las directivas del “Soil Taxonomy” (USDA, 2014)

El sector correspondiente a la Ruta 40 Sur y sus alrededores, se analizó considerando el límite de jurisdicciones entre Vialidad Nacional y Parques Nacionales, aproximadamente 7,5 m desde los bordes de banquetas (Lehr, 2019). La misma se encuentra muy deteriorada, en particular en la traza más antigua (primer tramo desde el cruce con la Ruta Provincial 82 – hasta aproximadamente el mojón 1994 de Vialidad Nacional). Se observan rajaduras sobre el asfalto, roturas, hundimientos y rellenos orgánicos por debajo del asfalto en estado de putrefacción en varios puntos de la misma. En relación a la infraestructura existente se observó el paso de una fibra óptica, con

roturas y muy deteriorada. No se identificó cartelería indicativa de ningún tipo referida a la problemática de fenómenos de remoción en masa en el sector de estudio.

**CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EN RELACIÓN A LA ALTITUD**

Altitud	Pendientes	Geología	Geomorfología	Vegetación	Suelos
<b>&gt; 1600m</b>	Desde "muy altas" a "escarpadas"	Predominan los afloramientos rocosos - litología tipo granitoides. El granito está muy meteorizado y se presenta en colores grises claros. Está diaclasado y fracturado. Este sector es el responsable de la generación de material que reciben y transportan los cauces pendiente abajo	En estos ambientes de divisoria de aguas predomina un ambiente crioplanación. Se observan algunas áreas con caídas de rocas y sectores de remoción localizados, debido a la acción de la gravedad Predomina fuertemente la meteorización por acción del crioclastismo.	Se puede clasificar esta zona como "Semidesierto de altura" <sup>4</sup> En sectores se observa lenga achaparrada y ñire en forma de arbustos bajos	Es un área donde dominan los afloramientos rocosos asociados a suelos someros a muy someros (<50 cm) areno-pedregosos.
<b>1600m-1100m</b>	Son "altas" a "medias", en algunos lugares localizados pueden ser desde "muy altas" a "escarpadas"	Hay presencia de afloramientos de granito, que presenta las mismas características anteriores, aunque puede encontrarse menos fracturado y menos meteorizado, debido a que se encontraba cubierto con una mayor cobertura de ceniza volcánica	Se observan depósitos de till, afloramientos rocosos con señales de erosión glaciaria y acumulación de sedimentos producto de deslizamientos o caídas de bloques y otros procesos de remoción en masa. Es un sector de transporte de material.	La vegetación dominante se corresponde con lengas, achaparradas, lengas, matorral mixto y sectores de coihue.	Pueden ser moderadamente profundos (70 cm – 80 cm) asociados a someros (25 cm – 50 cm)
<b>1100m-900m</b>	Las pendientes son "medias" a "altas"	No se puede observar la roca en todos los sectores a simple vista, ya que se encuentran cubiertos de vegetación. Pueden existir afloramientos rocosos aislados en sectores de pendientes "altas".	Es una zona predominante de relieve de erosión deposición, por la acción glaciaria, pueden identificarse morenas laterales. Se observan los taludes expuestos sobre la ruta de roca diaclasada y fracturada, susceptible a la erosión.	Predominan los bosques cerrados de coihue y ciprés. En áreas donde hubo incendios se observa el crecimiento de ñires y matorral mixto.	Los suelos pueden variar de someros a moderadamente profundos o profundos en sectores de bosque con mayores coberturas.
<b>&lt; 900m</b>	Las pendientes son "leves" a "muy leves"	Se corresponden con depósitos aluviales y coluviales de edad Holocena. Predominan las gravas, limos,	En este sector se destacan los abanicos aluviales y áreas de morena laterales. En los sitios de un relieve	Se observa una extensión de la unidad anterior. Con sectores predominantes de	Suelos de abanicos aluviales (areno pedregosos, finos con cierto grado de humedad). Suelos de Mallines y bajos (areno limosos, ricos en

<sup>4</sup> en botánica se utiliza esta clasificación desde el punto de vista fisionómico de la vegetación, en este caso va a coincidir esta clasificación con la vegetación predominante y otras características ambientales.


		arenas.	plano a plano-convexo se pueden distinguir bajos y mallines.	coihues, ciprés y ñires. Con presencia de vegetación hidrófita	materia orgánica, con mayor contenido de humedad – hidromórficos) .Suelos de Morena (arenosos con mayores condiciones de permeabilidad- napa más profunda).
--	--	---------	--	--	---

Tabla 22: Características generales identificadas a campo de acuerdo a los estratos de altitud observados.


## 5.2. Identificación de puntos de estudio

Luego de realizar las respectivas salidas al campo, analizar la bibliografía y la interpretación visual de la imagen satelital, se detectaron ocho puntos problemáticos, que luego se corroboraron a campo con GPS manual (Figura 13). Se denominaron los mismos considerando su ubicación de acuerdo a la unidad hidrográfica correspondiente de norte a sur. Se utilizó para la misma la letras “D” para referenciar al cauce principal y como “D bis” a las secundarias dentro de la misma unidad. Los resultados se muestran en la (Tabla 23 - Tabla 24, Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27).

Punto de control: D1	
<b>Latitud</b>	41° 22' 2,31"
<b>Longitud</b>	71° 30' 55,17"
<b>Características del cauce y tipo de movimientos</b>	ACTIVO. Predominan los movimientos lentos. Se observaron cambios sobre el sector de arrastre y las obras de arte. El trayecto del material es extenso hasta el coronamiento. Altitud sobre la ruta de 863 msnm.
<b>Pendiente</b>	Baja a media. Aumenta a medida que se asciende en la ladera.
<b>Materiales de arrastre</b>	Rocas ígneas plutónicas, de granulometría heterogénea, predominan las granodioritas y tonalitas. Dominan clastos sub redondeados o diaclasados, después arenas. Los sedimentos no están consolidados. Cruzando la ruta se identificó el área de acumulación y se observaron bloques rocosos de mayor tamaño. Hay presencia de cenizas y sedimentos de tipo till con diferentes granulometrías, con tamaños de clastos de medios a grandes
<b>Modificaciones antrópicas</b>	En la zona de la costa, se encuentra muy modificado antrópicamente, con un camino y señales de extracción de áridos. Pérdida del suelo natural. Sector de antigua cantera.
<b>Drenajes y Obras de Arte</b>	Posee dos alcantarillas, de aproximadamente 1,60 m, que cruzan la ruta. Una de ellas se encuentra tapada por materiales rocosos casi en su totalidad.



Vista hacia la costa.



Obras de arte (hacia la zona de transporte): Izq: 14/04/2016. Der: 03/05/2019. Abajo: dirección hacia la costa.




Tabla 23: Características relevadas en el punto de control D1.

Puntos de Control	D2	D2BIS
<b>Latitud</b>	41° 22' 41,42''	41° 23' 1,20''
<b>Longitud</b>	71° 30' 25,80''	71° 30' 8,95''
<b>Características del cauce y tipo de movimientos</b>	EN REPOSO. Se encontró mayormente vegetado, posee una trayectoria más corta que el anterior, con pendientes más pronunciadas. Existen señales de haber ocurrido varios deslizamientos. Se observó un escurrimiento con poco caudal, que indican que este curso también se recarga con aguas provenientes de otros escurrimientos cercanos. La salida del cauce es más pequeña que D1.	ACTIVO. Tiene una caída de agua, de menor envergadura, que pertenece a la misma unidad hidrográfica que D2. Comprende un cauce más pequeño que D2, aunque el trayecto es mayor.
<b>Pendiente</b>	Medias a Altas.	Altas a Escarpadas
<b>Litología</b>	Se observaron afloramientos rocosos y materiales correspondientes a depósitos glaciarios con poco material grueso, que posiblemente sea resultado del retroceso glaciario. Hay materiales con granulometrías más finas, son de pequeñas a medianas, del mismo origen que en D1. Los clastos son menos redondeados, se identificaron algunos más angulosos. Sobre los cortes de ruta que lo rodean, se identificaron materiales glaciarios de gran heterogeneidad y ceniza volcánica, que se pueden corresponder con las características de una morena lateral	Conserva la misma litología del punto precedente. No es observable a simple vista porque se encuentra vegetado.
<b>Modificaciones antrópicas</b>	Se encuentra afectado por un incendio. Y se observaron señales de erosión sobre la ruta.	También se encuentra afectado por un incendio.
<b>Drenajes y Obras de Arte</b>	Posee dos alcantarillas, más pequeñas, aproximadamente de < 1 m de diámetro, se encontraron tapadas con materiales de arrastre, sedimentos, residuos y vegetación. Por lo tanto, sólo escurre el agua por una sola alcantarilla. Se identificó un cable de fibra óptica partido.	Posee un alcantarillado de aproximadamente 1 m de diámetro.



Alcantarillas de D2 (hacia la costa).



Alcantarillas de D2 (desde la costa).



Morena lateral.



Talud expuesto. Paso de fibra óptica



Alcantarilla de D2bis

Tabla 24: Características relevadas en el punto de control D2 y D2bis.

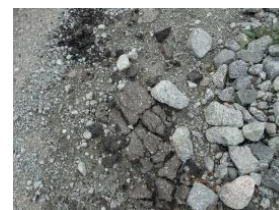
<b>Puntos de Control D3</b>	
<b>Latitud</b>	41° 23'34,96"
<b>Longitud</b>	71° 29'58,01
<b>Características del cauce y tipo de movimientos</b>	ACTIVO. Movimientos rápidos. Pertenece a la unidad hidrográfica más grande en superficie y posiblemente la más problemática, porque posee varios puntos de recarga, Este arroyo es permanente y mucho más caudaloso en comparación con los observados anteriormente. Tiene pequeños saltos en su curso, debido a los sedimentos, rocas y ramas caídas que hay sobre el cauce principal. Este finaliza en un gran abanico aluvial. Se midió con GPS manual una altitud de 880 msnm.
<b>Pendiente</b>	Hacia arriba, las pendientes son muy escarpadas, el cauce recorre un camino más extenso desde la cumbre, pero la misma se va suavizando llegando a la zona de ruta.
<b>Litología</b>	La litología corresponde a granitos, tonalitas y granodioritas. Las granulometrías son heterogéneas, hay canto rodados de diferente granulometrías, clastos < a 25 cm y bloques de hasta 1 m3. Posee sedimentos glaciarios, muy heterogéneos de tipo till como depósitos moreníticos a los lados del cauce.
<b>Modificaciones antrópicas</b>	La unidad se encuentra muy modificada en la parte superior debido a que se encuentra afectada por un gran incendio y en la zona de la ruta, el cauce se encuentra modificado. Hay señales de movimiento de máquinas. El cauce principal de encuentra desviado. Esto trajo como consecuencia, no sólo la modificación natural del curso en sí mismo sino que provocó roturas de la fibra óptica que se localiza sobre este sector de la ruta. También en este tramo de la ruta, la banquina ocupa una mayor superficie, por lo tanto es utilizada de parada para vehículos. Hay residuos sobre la ruta y en el bosque, ya que es un sector que se utiliza como bajada hacia el Lago Guillermo y como un área de acampe diurno.
<b>Drenajes y Obras de Arte</b>	Las alcantarillas existentes no están visibles, al cruzar la ruta se observó que están tapadas en un 100%, en consecuencia el curso natural del cauce se encuentra desviado. Se observaron 3 de aprox. 1,60 m desde la costa, que se encuentran tapadas y con crecimiento de la vegetación. Este punto es uno de los más afectados frente a los eventos de lluvias torrenciales. En la salida al campo realizada, el 03/05/2019, posteriormente de una lluvia torrencial de 72 hs., el cauce rebalzó sobre la calzada. Se observó la maquinaria trabajando, sin señalización. Luego de terminado el trabajo, se advirtió roturas sobre el asfalto y modificaciones en el cauce.



Vistas generales de D3



Reblase del arroyo – evento del 2/05/2019.



Rotura del asfalto  
Señales crioclastía.



Tabla 25: Características relevadas en el punto de control D3.







Puntos de Control	D3BIS A	D3BIS B	
<b>Latitud</b>	41° 23'23,03"	41° 23'39,86"	
<b>Longitud</b>	71° 30'1,69"	71° 29' 57,71"	
<b>Características del cauce y tipo de movimientos</b>	ACTIVO. Se trata de una pequeña caída. Pertenecer a la misma unidad hidrográfica que D3.	ACTIVO. Pertenecer a la misma unidad hidrográfica que D3. Presenta una pared de roca con una pendiente totalmente vertical de donde aflora el agua desde varios puntos. Esta vertiente podría estar activa durante todo el año. Existe un gran salto y debido a la caída de un tronco se formó un pequeño dique con una gran acumulación de agua. Se identificaron cárcavas, que indicaron el rebalse de este dique formando otros anegamientos en áreas cercanas a la ruta. En un corte del suelo, por debajo de la ruta, encontraron troncos en estado de descomposición, formando parte del relleno de la misma. Se vieron hundimientos sobre el asfalto. El 03/05/2019 se observó una modificación total del cauce, ya que el dique mencionado cedió formando un gran encharcamiento de más de 1 m de profundidad. Las alcantarillas se encuentran obstruidas. El pelo de agua se encuentra cerca de la altura de la calzada.	
<b>Pendiente</b>	Escarpada a Muy Escarpada.	Moderada a baja, tiene un trayecto corto comparado con los puntos anteriores. Hacia el final presenta una pared de roca diaclasada con pendientes de > 100%.	 D3 Bis b - 22/07/16
<b>Litología</b>	Hay depósitos glaciarios de materiales rocosos muy heterogéneos y presencia de cenizas volcánicas. Se puede clasificar como morenas laterales. Los clastos son redondeados.	La granulometría es muy heterogénea, predominando clastos de tamaño mediano a grande, el transporte de sedimentos y materiales es muy activo. Se observó un material fino, como limo y arenas. Hay afloramientos rocosos. La roca se encuentra muy fracturada, sometida a una meteorización tanto por la acción del crioclastismo como por acción de agentes biológicos, ya que la misma se encuentra cubierta con vegetación que podría ser del tipo briofita.	 D3 Bis b- 03/05/2019
<b>Modificaciones antrópicas</b>	Sector afectado por el incendio.	Afectación del incendio. Presencia de residuos.	 Relleno de troncos
<b>Drenajes y Obras de Arte</b>	Posee una alcantarilla de 1 m de diámetro apróx.	No se pudo verificar la existencia de alcantarillas, en caso encontrarse están totalmente tapadas de sedimentos.	

Tabla 26: Características relevadas en el punto de control D3bis a y b.


Puntos de Control	D4	D5	
Latitud	41° 24'44,06''	41° 26'18,53''	
Longitud	71° 29'32,20''	71° 29'8,24''	
Características del cauce y tipo de movimientos	EN REPOSO. Pertenece a una unidad hidrográfica, de tamaño comparable con D3, recibe numerosos tributarios, aunque más pequeños. No hay presencia de agua. Posee un drenaje paralelo a la ruta.	ACTIVO. Se encuentra en tramo de ruta más nuevo, que fue realizado durante la década del 90. Si bien, la unidad hidrográfica a la que pertenece es comparable en superficie a las anteriores, la pendiente es suave y se encuentra vegetado. Posee un arroyo caudaloso,	
Pendiente	Es suave, aunque a medida que se acerca a la cumbre son más altas y escarpadas	Media a Alta, en los tramos cercanos al escarpe principal.	D 4: Vista de frente y alcantarillas.
Litología	Posee afloramientos rocosos y deslizamientos localizados. Hay granitos, que se encuentran fracturados. Los clastos son más angulosos que redondeados. Predomina una granulometría heterogénea que van desde aprox. de 60 cm - 80 cm (clastos) hasta bloques de 0,50 m3 - 1 m3.	La granulometría es media a alta, se observan clastos y bloques de granodioritas que varían desde aprox. 0,50 cm hasta bloques de 1 m3. Se observan algunos más pequeños. Son redondeados. En los cortes de suelo se observan depósitos de till glaciar. Granulometría heterogénea.	D5: Puente.
Modificaciones antrópicas	Presencia de residuos.	Se observan señales de incendios en ese sector.	
Drenajes y Obras de Arte	Posee 3 alcantarillas aproximadamente de 1,6 m de lado. Se encuentran parcialmente obstruidas.	Posee un paso tipo puente, aproximadamente de 2 m, a simple vista parece suficiente para contener el caudal observado en ese momento.	

Tabla 27: Características relevadas en el punto de control D4 y D5.

El sitio de estudio se encuentra expuesto a alteraciones tanto de las condiciones naturales como de la infraestructura existente, se destacan las siguientes:

- las alcantarillas, puentes y obras de arte identificados se encuentran deteriorados y sin mantenimiento,
- los cauces, en su mayoría, se encuentran modificados antrópicamente,
- la cinta asfáltica presenta fisuras y grietas en distintos puntos de su recorrido,
- existe cableado de fibra óptica cruzando los cauces, taludes expuestos y arroyos,

- falta de cartelería, específica sobre posibles deslizamientos o caídas de rocas y sobre los usos del sector (espacios de acampe diurno o picnic, picadas de trekking, áreas de uso de costas, etc.)
- no existe ningún tipo de obra de contención.



## Identificación de sitios de estudio

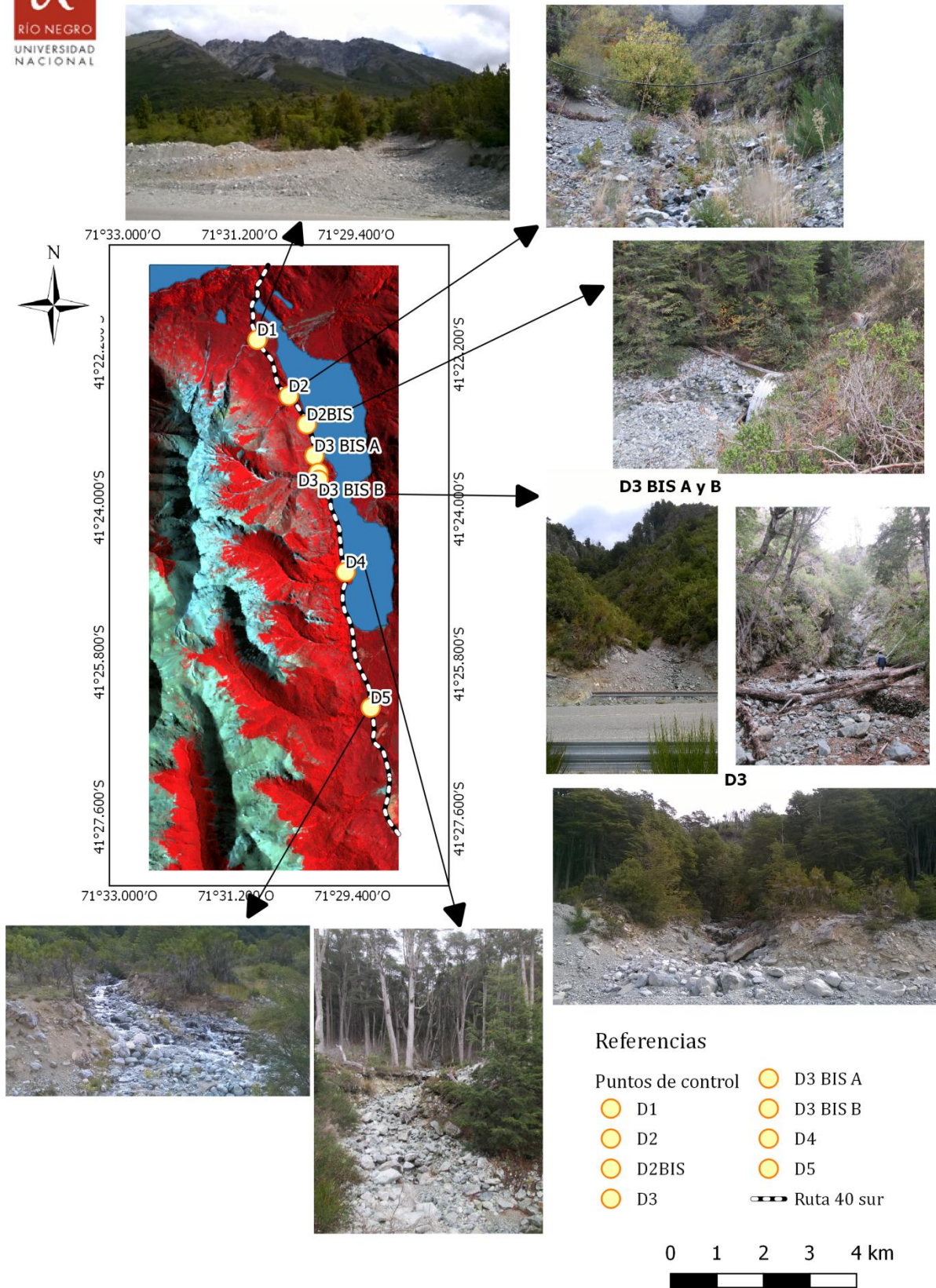


Figura 13: Puntos de control a campo de los sitios a estudiar.

### 5.3. Factores condicionantes

#### 5.3.1. Topografía

La topografía se compone de pisos altimétricos, curvas de nivel y pendientes. El principal material de entrada, la capa temática pisos altimétricos se realizó utilizando una clasificación supervisada en el ERDAS 8.2., los datos de base están provistos por el MDE. De acuerdo a los cambios observados en las visitas a campo de las unidades de paisaje, a los valores de mínima altura y el de máxima altura que se obtuvieron del MDE, se decidió una clasificación cada 200 m. Así se seleccionaron 8 clases: <800, 800-1000, 1000-1200, 1200-1400, 1400-1600, 1600-1800, 1800-2000, >2000. Este proceso da como resultado una capa raster. Se aplicó un filtro de paso alto. Realizar una capa información con la curvas de nivel en un proceso más sencillo, también se utilizó el programa QGIS. Al igual que antes, el dato de entrada es el MDE y se clasificaron curvas cada 100 m. A diferencia de las dos capas topográficas anteriores, este proceso da como resultado una capa vectorial de líneas. Estos resultados se muestran en el Anexo II: sección 13.1

La capa de pendientes, representa uno de los factores condicionantes más relevantes, se realizó con el programa ERDAS 8.2, y los valores finales se trabajaron en porcentaje. Las pendientes expresadas de esta forma, son muy utilizadas en estudios de remoción en masa (Recondo et al., 2000) y en normativa referida a estabilidad de taludes. Los límites de las clases (Tabla 28) fueron elegidos de acuerdo a lo observado en las visitas a campo y las propuestas estudiadas en la bibliografía (Ministerio de Vivienda de España, 2008; Recondo et al., 2000) (Figura 14).

Límites de clase	Clasificación
0 % - 15 %	Muy leve
15% - 30%	Leve
30 % - 45%	Moderada
45 % - 60 %	Alta
60 % - 80%	Muy alta
>80 %	Escarpada

Tabla 28: Clasificación de pendientes



## Pendientes (porcentaje)

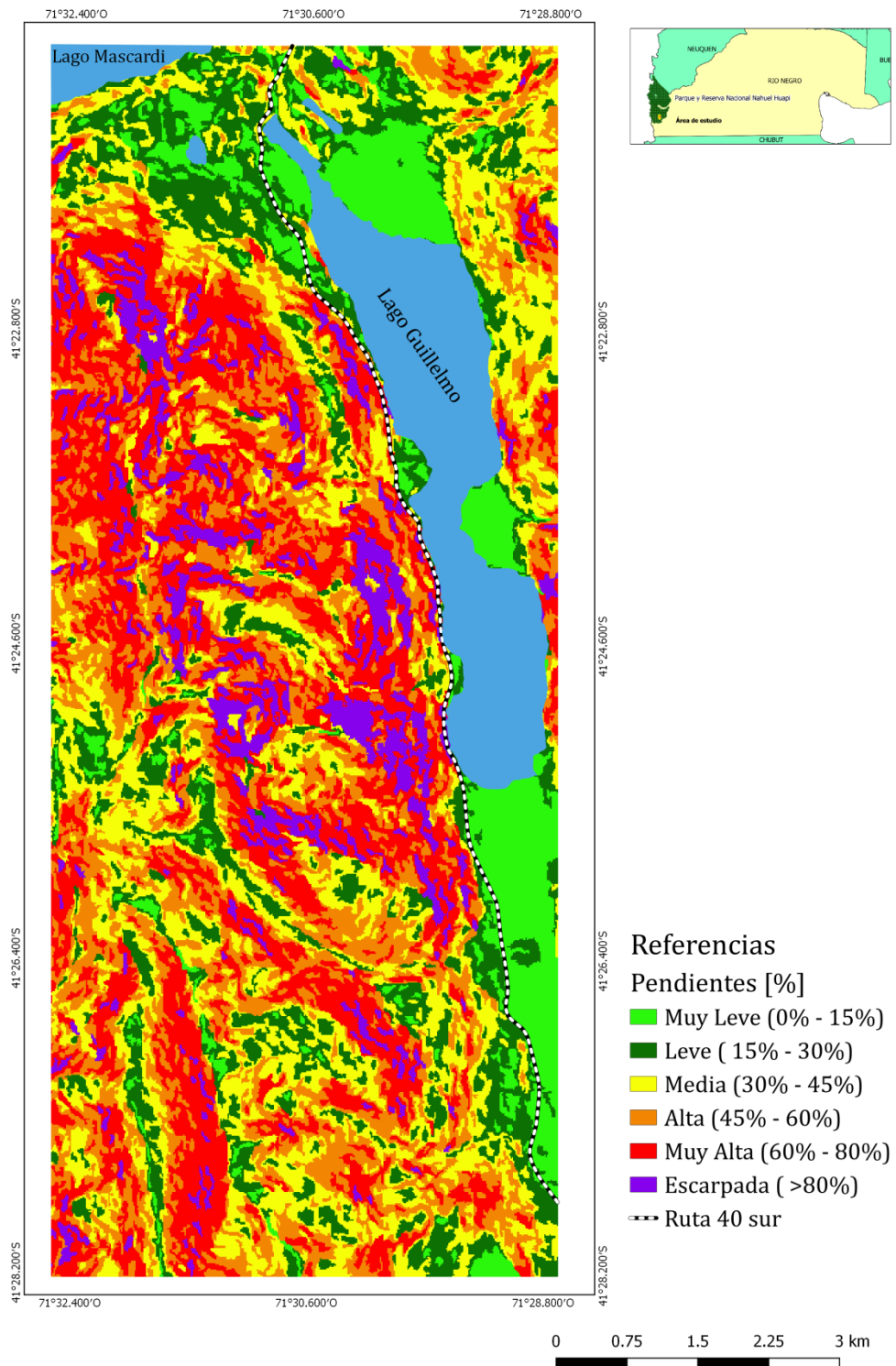


Figura 14: Capa temática de pendientes. Se muestran las pendientes obtenidas en porcentaje clasificadas de acuerdo a la Tabla 28: Clasificación de pendientes

### 5.3.2. Geología

Como se explicó en la (Tabla 17) se utilizó como información de base la Carta de peligrosidad geológica de S.C de Bariloche (Pereyra et al., 2009) y la Hoja Geológica 4172-IV. 1:250.000 (Giacosa y Heredia, 2001), bibliografía consultada (Feruglio, 1947; Flint y Fidalgo, 1969; García-Sansegundo et al., 2008; Giacosa y Heredia, 2004), las observaciones realizadas a campo (Tabla 29) y las capas temáticas generadas de topografía para la digitalización . De esta manera, este producto se realizó en dos instancias, primero se realizó una interpretación visual de la imagen , posteriormente se tomaron puntos de control que fueron controlados en campo (

Figura 15). Estas observaciones y puntos de control, también se utilizaron para realizar la capa temática de geomorfología.

Punto	Latitud	Longitud	Observaciones
1	41° 22' 02"	71° 30' 54,8"	Se observaron granodioritas y tonalitas. Sedimentos no consolidados. Dominan clastos-sub redondeados, después arenas. La granulometría es heterogénea. Son rocas Ígneas Plutónicas. También se observaron bloques más grandes (> a 0,5 m3). Altura 863 msnm.
2	41° 22' 52,8"	71° 30' 14,8"	Depósitos glaciares. Morena lateral. Poco material grueso consecuencia del retroceso del glaciar.
3	41° 22' 20"	71° 30' 40,6"	Unidad de rocas metamórficas y depósito fino. Ejemplo de relieve de erosión deposición. La unidad es de mediano a bajo metamorfismo. Se observa acompañada de vegetación tipo matorral mixto, formación de suelo y sedimentos. Se repite esta unidad entre D2, D3 y D4. Se observaron rocas Metamórficas (formando el basamento), son de mediano a alto grado de metamorfismo. Visualmente son más parecidas al granito y al gneiss pero sin bandeado. Se observan fallas menores, están muy diaclasadas. Los granitos son más recientes (mesozoico) que las rocas metamórficas (paleozoico). En los cortes de talud se va repitiendo la misma unidad. Se vio una brecha volcánica. Hay fallas, y se observó movimiento de material.
4	41° 23' 34,9"	71° 29' 57,2"	Hay bloques más grandes, de aproximadamente 1 m3. Se vieron depósitos morénicos a lo largo del arroyo. La litología corresponde a granitos, tonalitas y granodioritas. Hay canto rodados de diferente granulometrías, clastos < a 25.
5	41° 23' 40,4"	71° 29' 55,8"	Se vieron los troncos formando parte de la base del asfalto de la ruta. Se repiten las mismas características litológicas.
6	41° 24' 27,3"	71° 29' 36,5"	Área de metamorfismo, con las mismas características que antes. Granito muy fisurado- permeabilidad secundaria.

Tabla 29: Puntos de control y observaciones de campo.

Si bien, en la bibliografía se describió la presencia de rocas metamórficas en el área y luego fueron identificadas en el campo, no se indicaron porque se encuentran fuera de la escala de este trabajo. Así la clasificación para la capa geología se presenta en la (Tabla 30) y el producto final en el Anexo II sección 13.1.

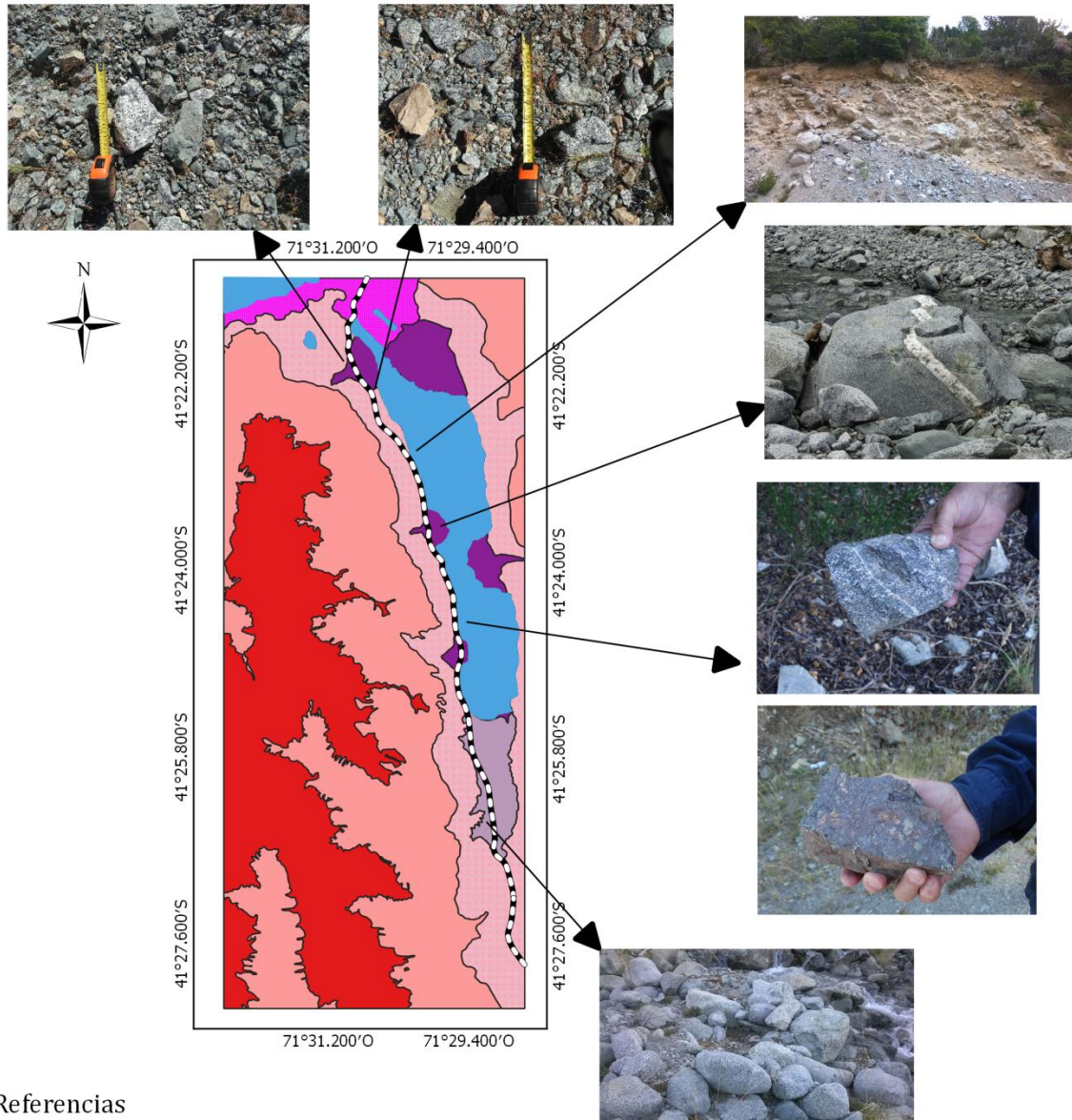
<b>Geología - Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Rocas ígneas muy fracturadas y meteorizadas</b>	Representan la zona del Semidesierto de altura (> 1600 m). Son rocas ígneas plutónicas, pertenecientes al Batolito Patagónico (Jurásico medio a superior). Estas rocas se encuentran muy fracturadas y diaclasadas., en primer lugar por la acción tectónica de la orogenia andina, posteriormente afectadas por la acción glaciaria y se encuentran actualmente expuestas a condiciones de meteorización criogénica de congelamiento y descongelamiento. Predominan los granitoides. En general, el granito es una roca impermeable, pero si esta fracturado, tiene permeabilidad secundaria por las fisuras.
<b>Rocas ígneas moderadamente fracturadas y meteorizadas</b>	Se encuentran entre 1600 m – 1100 m de altitud. Estas rocas, poseen las mismas características que la unidad anterior, con la diferencia que se encuentran menos meteorizadas y menos expuestas ya que están cubiertas por vegetación, aunque hay predominancia de afloramientos rocosos expuestos.
<b>Rocas mixtas (metamórficas e ígneas )</b>	Está por debajo de los 1000 m de altitud, en esta unidad predominan las rocas metamórficas y los depósitos finos, están acompañados de granodioritas y tonalitas. La unidad metamórfica es de mediano a bajo metamorfismo. Se observa acompañada de vegetación tipo matorral mixto, hay formación de suelo modernamente profundo a profundo y sedimentos glaciarios. Estas rocas metamórficas, son visualmente son más parecidas al granito y al gneiss pero sin bandeo. Probablemente están desde del paleozoico (filitas y micacitas). Se observan fallas menores, en esta área las paredes de roca desnuda se encuentran muy diaclasadas. Los granitos son más antiguos. En los cortes de talud a lo largo de la ruta, se va repitiendo esta misma unidad por tramos.
<b>Depósitos glaciares- Morena – (Pleistoceno)</b>	Esta unidad se encuentra a altitudes menores entre los 900 m – 800 m. Predominan los depósitos glaciares, se observa una morena lateral. Se identificaron cortes con granulometrías muy heterogéneas y presencia de ceniza. Hay poco material grueso consecuencia del retroceso del glaciar.
<b>Fondo de valle de glaciar, sedimentos antiguos</b>	Esta unidad posee sedimentos anteriores a la finalización de glaciación, es un área que pudo haber estado cubierta por agua de deshielo.
<b>Depósito coluviales y aluviales- Holoceno</b>	Predominan los depósitos de till, gravas, arenas y limos. Los depósitos de till están formados por agregados caóticos de granodioritas, tonalitas y alguna roca metamórfica de tipo gneis. Poseen una granulometría muy heterogénea con bloques de hasta 1 m <sup>3</sup> o mayores.

Tabla 30: Clasificación de la capa temática de geología.





## Geología control a campo



### Referencias

#### Puntos de control

- Granodioritas y tonalitas (Granitoides oscuras), Rocas Igneas Plutónicas. Bloques > 0.5 m<sup>3</sup>
- Rocas metamórficas y deposito fino
- Depositos glaciares.
- Granitos, tonalitas y granodioritas. Clastos > 25 cm. Bloques > 1 m<sup>3</sup>
- Rocas Metamórficas
- Granitos, tonalitas y granodioritas. Clastos < 50 cm
- Ruta 40 sur

#### Unidades de Geología

- Rocas igneas muy meteorizadas y fracturadas
- Rocas igneas moderadamente meteorizadas y fracturadas
- Rocas mixtas (metamórficas e ígneas)
- Depósitos coluviales y aluviales-Holoceno
- Depósitos glaciares-Pleistoceno (morenas)
- Fondo de valle de glaciar; sedimentos antiguos
- Cuerpos de agua

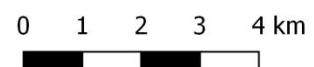


Figura 15: Puntos de control de la capa temática geología.

### 5.3.3. Geomorfología

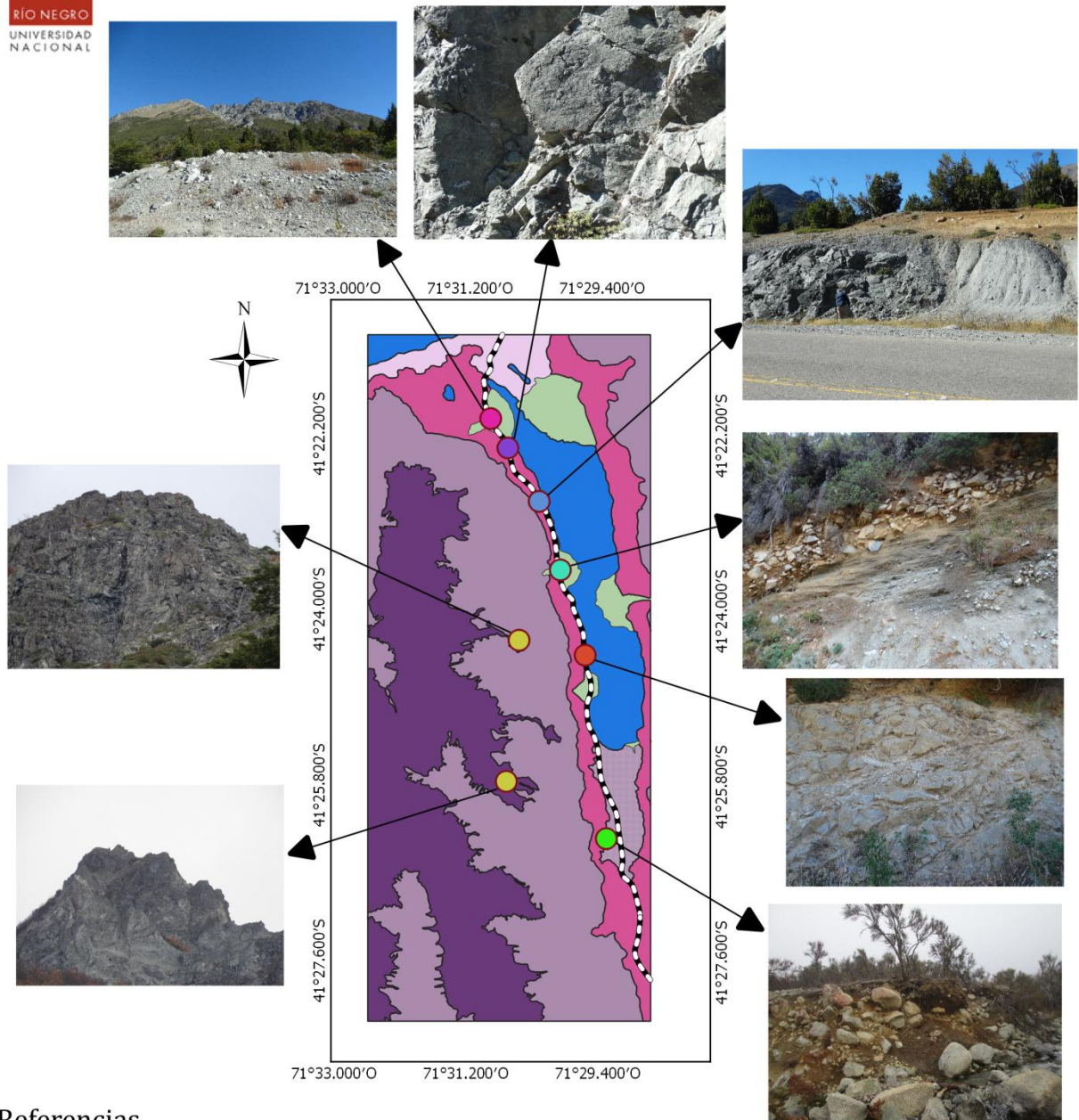
Este producto fue generado con la misma metodología desarrollada en la sección anterior (Tabla 29, Figura 16). La bibliografía consultada (Brügen, 1928; Caldenius, 1932; Gutiérrez Elorza, 2008; Pereyra et al., 2009; Pereyra y Roverano, 2010; Rabassa y Clapperton, 1990; Ruiz y Liaudat Trombotto, 2012; Trombotto, 2000). Se utilizó la misma escala de trabajo. La descripción de las unidades se explica a continuación (Tabla 31). En el Anexo II: sección 13.1 se muestra el resultado.

<b>Geomorfología – Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Relieve glaciar criogénico</b>	Se encuentra a una altitud mayor a 1600 m. Es un área muy activa. En esta unidad dominan los procesos criogénicos. Se identifican los nichos de nivación y las geoformas producto de estos procesos. Se observan lóbulos de avalanchas de rocas, carpetas de talud, conos de talud, conos de caídas de rocas, lóbulos de gelifluxión y otras formas criogénicas menores.
<b>Laterales de Valle</b>	Se encuentra en una altitud aproximada entre los 1600 m – 1100 m. Esta unidad presenta depósitos de till, afloramientos rocosos con señales de erosión glaciaria y acumulación de sedimentos producto del reptaje y otros procesos de remoción en masa.
<b>Relieve de erosión deposición</b>	Esta unidad es muy heterogénea, y se la encuentra a altitudes menores a los 1100 m- 1000 m. Predominan las formas erosivas como morenas, rocas aborregadas, estrías, conos de deyección, conos de detritos y taludes de caídas de rocas.
<b>Relieve de morena lateral</b>	Esta unidad se observa en altitudes más bajas, entre 800 m – 900 m. Está formada principalmente por depósitos de till y cenizas volcánicas más recientes. Se identifica por la presencia de un agregado caótico de sedimentos y clastos de diversa granulometría, se pueden distinguir hasta bloques de 1 m <sup>3</sup> .
<b>Relieve de depósitos aluviales</b>	Esta unidad está formada por los grandes abanicos que se observan sobre las costas del Lago Guillermo. Son el resultado de procesos gravitacionales activos.
<b>Relieve de fondo de valle glaciar</b>	El valle glaciar fue formado por las masas de hielo que excavaron profundas artesas. Está formado por diferentes ambientes como por bajos, mallines, morenas laterales y planicies glacifluviales.

Tabla 31: Clasificación de la capa temática de geomorfología.



## Geomorfología control a campo



### Referencias

#### Puntos de control

- Depósitos aluviales. Granulometría heterogénea
- Relieve de erosión deposición. Se observan fallas
- Depósitos glaciares. Morena Lateral. Poco material grueso
- Área de metamorfismo. Roca muy diaclasada.
- Depósitos aluviales hacia el Lago. Depósitos moreniticos-arroyo
- Relieve de erosión deposición. Morenas
- Crioclastía. Fracturación de rocas graníticas

Ruta 40 sur

#### Unidades de geomorfología

- Relieve glaciar criogenico
- Relieve de morena lateral
- Relieve de erosión deposición
- Laterales de Valle
- Relieve de fondo de valle glaciar
- Relieve de depósitos aluviales
- Cuerpos de agua

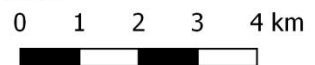


Figura 16 : Puntos de control a campo geomorfología.

### 5.3.4. Vegetación

El trabajo en gabinete comenzó realizando una interpretación visual y digital, luego se repitió la misma metodología con las mismas consideraciones utilizada en la sección 5.3.1 de pisos altimétricos. Se obtuvo un producto parcial, con 9 clases iniciales, incluyendo: semidesierto de altura, lenga achaparrada, lenga, coihue, ciprés, ñires, matorral mixto, mallines, cuerpos de agua cuyos límites no se encontraron bien definidos. Posteriormente se eligieron los puntos de control a campo. Se concurrió a fines del mes de mayo y principios de junio, con el fin de poder identificar los estratos de la vegetación debido al estado fenológico que presentan algunas de ellas, en particular de aquellos sectores de mayor altitud que presentan dificultad para acceder. Los puntos de control se tomaron con el GPS manual. Para la clasificación se utilizaron las directivas de la FAO LCC (Di Gregorio, 2016).

Se analizó la forma de vida y el grado de cobertura porque es la clasificación que mejor define el objetivo de este trabajo (Tabla 34). Estas pautas fueron utilizadas para la observación a campo y posterior descripción de la leyenda. Así para formas de vida se describen en la Tabla 32. Y como un subconjunto se define el grado de cobertura (INTA y CONAE, 2009)

FORMAS DE VIDA	
<b>Árbol</b>	Es toda planta leñosa, perenne, con tronco leñoso simple, bien definido, que posee además una copa más o menos definida y cuya altura fuese mayor a 3m. Sin embargo se incluirá dentro de esta clasificación, a aquellos arbustos que poseen una altura superior a 3 m. También lo serán las plantas herbáceas que tienen apariencia leñosa si su altura supera los 5 m, si son menores a esta altura serán catalogados como arbustos.
<b>Arbustos</b>	Son todas las plantas leñosas perennes con ramas persistentes, sin un tallo principal con altura menores a 3 m.
<b>Herbáceas</b>	Son distintas formas de vida que forman una capa continua. Pueden ser no graminoideas y graminoideas. Para definir una u otra deben predominar en un 75%.

Tabla 32: Formas de vida modificado de (INTA y CONAE, 2009)

GRADO DE COBERTURA	
<b>Cerrado</b>	El área que ocupan debe ser mayor a un 65%. Se considera cuando las copas de árboles o arbustos se tocan o están ligeramente separadas
<b>Abierto</b>	El área definida debe ocupar entre 65 % - 15 % de la forma de vida que se esté evaluando. Para árboles o arbustos se puede tener en cuenta que las copas no estén entrelazadas
<b>Disperso</b>	Será cuando el área este cubierta al menos un 15% por una forma de vida determinada. En muchos casos una forma de vida dispersa puede estar asociada a otra forma de vida de mayor continuidad en la cobertura.

Tabla 33: Grados de cobertura modificado de (INTA y CONAE, 2009)

Punto de control	Latitud	Longitud	Cobertura	LCC	Especies	Observaciones
1	41°26'20.60"	71°29'12.28"	< 50	Bosque abierto c/arbustal abierto	Ñire c/caña colihue, retamo, Laura. Ñires no pasan los 3 m.	Vegetación típica de matorral mixto.
2	41°25'39.11"	71°28'56.67"	100	Bosque abierto c/arbustal cerrado	Ñire c/caña colihue, retamo, laura.	Es un área con presión antrópica.
3	41°24'45.76"	71°29'30.23"	70-80	Bosque cerrado c/arbustal	Coihue, caña colihue.	Vegetación sobre abanico aluvial.
4	41°24'44.35"	71°29'33.65"	90-100	Bosque cerrado c/arbustal	Coihue, caña colihue.	Pocos cipreses cerca de ruta.
5	41°23'34.80"	71°29'54.38"	70-80	Bosque cerrado	Ciprés, coihue.	Principal deslizamiento. Es un área muy modificada por movimiento de máquinas. Hay muchos residuos.
6	41°21'51.62"	71°31'53.15"	60-70	Bosquecitos cerrados	Ciprés.	Sobre roquedales.
7	41°21'54.07"	71°31'27.44"	100	Bosque abierto c/arbustal cerrado	Ñire, caña, laura, retamo, berberís, muticia.	Maitén y ciprés aislados.
8	41°21'50.07"	71°31'23.95"	80-90	Bosque cerrado c/arbustal abierto	Coihue, Pernettya, laura, caña, berberís.	Laguna Juventus, borde E, SE y O.
9	41°21'59.83"	71°31'3.25"	50-60	Bosque abierto c/arbustal abierto	Ciprés, retamo, ñires.	Pequeños sectores donde predomina el ciprés.

**Tabla 34: Observaciones realizadas a campo de los puntos de control de la vegetación**

Por consiguiente, se analizaron los datos en gabinete, con la información de base (Tabla 17) la capa vectorial de CIEFAP (Bari, 2016) junto con bibliografía complementaria de (Dzendoletas et al., 2006) se elaboró en el QGIS la capa temática final (Ver Anexo II sección 13.1).

Vegetación - Clasificación	Descripción
<b>Semidesierto de Altura</b>	Se caracteriza por establecerse en áreas entre los 1500 m – 1600 m de altitud. La cobertura vegetal es escasa, aproximadamente un 12%, se desarrolla una estepa arbustiva gramínea muy baja menor a 0,25 m de altura y abierta con una cobertura del 20%. Predominan gramíneas xerofíticas y dicotiledóneas en cojín.
<b>Lenga Achaparrada</b>	Es un matorral cerrado y bajo. Se desarrolla sobre laderas altas entre los 1400 a 1600 m, forman una angosta faja de vegetación que está en contacto con el semidesierto de altura. Son arbustos de entre 1 m – 2.5 m de altura con hábito reptante. El límite inferior es gradual, con el bosque de lenga. Se encuentra acompañada por especies como <i>Berberis serratodentata</i> , <i>Maytenus disticha</i> , <i>Escallonia alpina</i> , y otros elementos de la flora altoandina.
<b>Lenga</b>	Se encuentra sobre laderas montañosas entre los 1100 m - 1400 m de altura. En su límite inferior la lenga puede estar acompañada del coihue. Suelen encontrarse formando rodales puros, es una especie caducifolia con un estrato arbóreo entre 15m y 25 m de altura. El sotobosque es abierto y va acompañado de arbustos siempre verdes.
<b>Matorral de Ñire</b>	Aparece como un matorral alto predominantemente cerrado, aproximadamente entre un 70% -80% de cobertura, acompañado por otras leñosas de entre 2,5 m a 15 m de altura. Se lo observó a más de 1000 m de altitud entre el bosque de lenga y los matorrales altos abiertos, también sobre abanicos < 900 m. Se lo puede encontrar acompañado de otras especies como, <i>Schinus patagonica</i> , <i>Diostea juncea</i> , <i>Lomatia hirsuta</i> , <i>Maytenus boaria</i> , <i>Embothrium coccineum</i> , <i>Chusquea culeou</i> , <i>Berberis buxifolia</i> , <i>Ribes magellanicum</i> , <i>Mutisia spinosa</i> , entre otras. Es una especie tolerante a disturbios, se lo observó en aquellas zonas que fueron afectadas por el fuego.
<b>Coihue</b>	Predominantemente se lo identificó sobre laderas bajas húmedas, a nivel del lago y entre los 1100 m – 1000 m de altitud. Es un bosque cerrado, de más del 70% de cobertura. Pueden estar acompañado de otras especies como, <i>Chusquea culeou</i> , <i>Aristolelia chilensis</i> , <i>Ribes magellanicum</i> , <i>Azara microphylla</i> , <i>Austrocedrus chilensis</i> . En este sitio se lo observó acompañado de ciprés.
<b>Ciprés</b>	Se desarrolla por debajo de los 1000 m, sobre afloramientos rocosos, con escaso desarrollo de suelos, pendientes pronunciadas y laderas expuestas a la radiación solar. Se lo identificó como un bosque predominantemente cerrado entre un 60% - 80% de cobertura. Presenta alturas de 15 m a 20 m. En el estrato arbóreo está acompañado de especies como <i>Lomatia hirsuta</i> , <i>Maytenus boaria</i> y <i>Schinus patagonica</i> . Y en el arbustivo, <i>Maytenus chubutensis</i> , <i>Gaultheria mucronata</i> , <i>Berberis buxifolia</i> , entre otros. También se lo observó junto al coihue.
<b>Matorral Mixto</b>	Se los identificó en sectores post disturbios. Varían entre matorrales altos abiertos (50% - 60% de cobertura) o bosques bajos abiertos de hasta 5 m de altura (entre 40% - 60% de cobertura). Ocupan todo el fondo del valle. Las especies principales en el estrato arbóreo son: <i>Nothofagus antártica</i> , <i>Schinus patagonica</i> , <i>Lomatia hirsuta</i> , <i>Ribes magellanicum</i> , y <i>Embothrium coccineum</i> , las arbustivas <i>Discaria articulata</i> , <i>Berberis buxifolia</i> , <i>B. darwinii</i> y <i>Maytenus chubutensis</i>
<b>Mallín</b>	Se los observó en sectores dispersos. Es vegetación especializada, principalmente herbácea y asociada a suelos con diferente grado de humedad. Predominan gramíneas, juncáceas y ciperáceas. Son áreas con drenaje muy bajo que permanecen anegadas gran parte del año. Se ubican en los fondos de valle y en zonas con relieve plano. También pueden desarrollarse en áreas superiores a los 1600 m de altitud asociados a cursos de agua.

Tabla 35: Clasificación de las unidades de vegetación.



# Vegetación control a campo

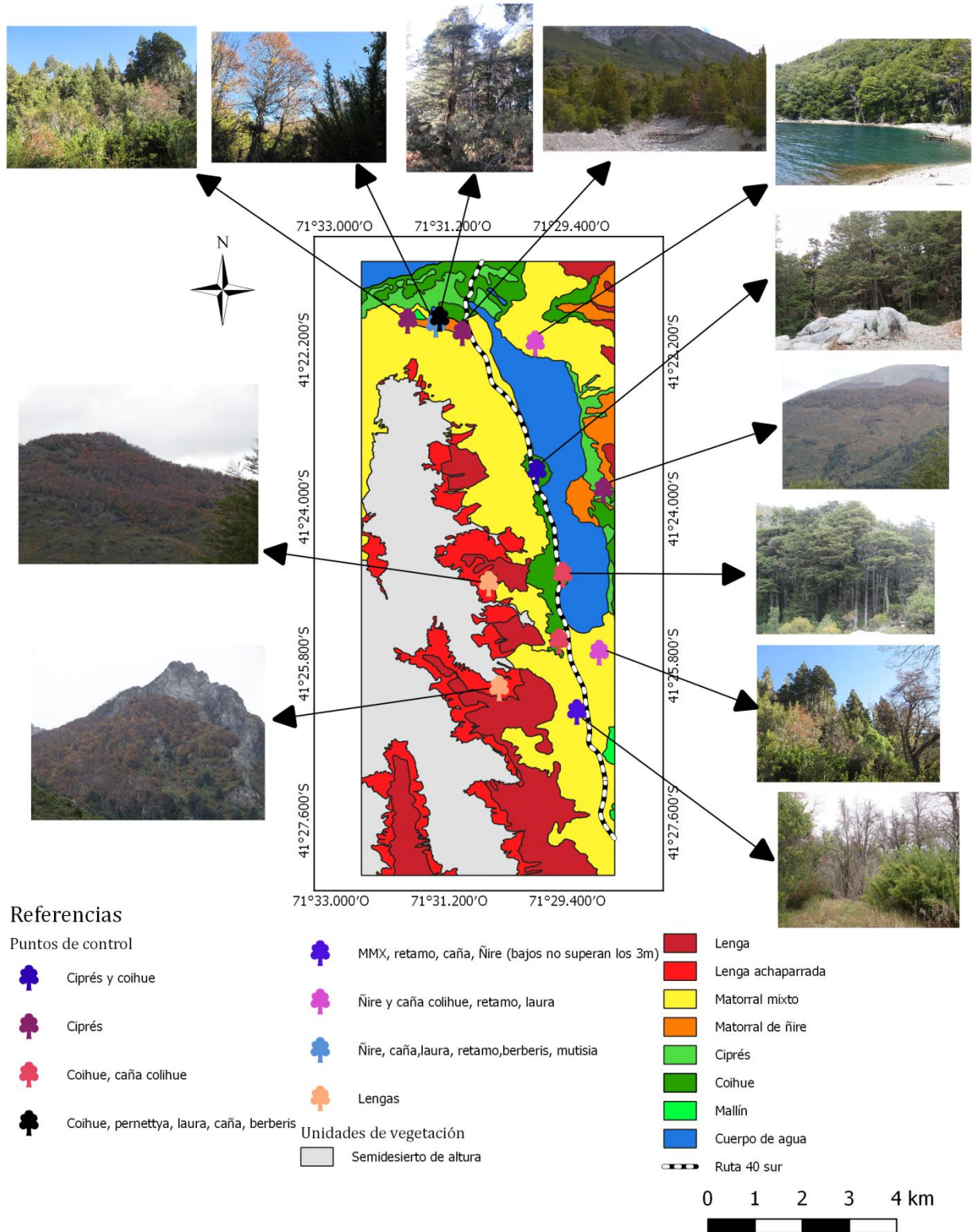


Figura 17: Puntos de control y observaciones de la vegetación.

### 5.3.5. Suelos

Esta capa temática fue realizada de la misma forma que las capas descritas en las secciones anteriores, se utilizaron las mismas herramientas en QGIS. En primer lugar se realizó una interpretación visual, tomando en cuenta como se explica en la (Tabla 17). Como bibliografía de base se utilizaron los trabajos expuestos por Ciarlo et al. (2014) y López et al. (2007) junto con las observaciones realizadas a campo (Figura 18).

También, la digitalización de esta capa temática se desarrolló teniendo en cuenta los diferentes tipos de ambientes y paisajes, la topografía de la zona y el tipo de vegetación observada sobre el suelo. Así se consideró a los suelos muy someros (< 25 cm), someros (25 cm a 50 cm), moderadamente profundos (50 cm – 80 cm), profundos (80 cm – 120 cm), muy profundos (> 120 cm) según López et al. (2007). Debido a la escala y alcance de este trabajo, se utilizó como una aproximación para clasificar los tipos de suelos los principios básicos de la clasificación USDA- Soil Taxonomy ( USDA, 2014) En la Tabla 36 se muestra la clasificación resultante (Ver Anexo I: Glosario y Anexo II: sección 13.1).

Suelos- Clasificación	Descripción
<b>Divisoria y cumbres. Paisaje de semidesierto de altura. Suelos &gt;1600 m</b>	En esta unidad las pendientes son muy altas a escarpadas. La vegetación es muy escasa de tipo arbustiva. Dominan los afloramientos rocosos, que están asociados a suelos incipientes, muy someros de textura areno-pedregosa. La materia orgánica es muy escasa <1%. Es una zona expuesta a drenaje abundante. Se pueden clasificar como Vitricryandes líticos y Udivitrandes líticos.
<b>Laterales de valle glaciar. Suelos 1600-1100 m</b>	En esta área las pendientes son muy altas a altas. Hay bosquetes de lenga achaparrada, lenga y ñires. Todavía se observan afloramientos rocosos, los suelos son muy someros a someros, de textura arenosa-gravillosa pedregosa, la materia orgánica es escasa (de 1% a 2%) y el drenaje muy abundante. Se pueden clasificar como Udivitrandes líticos y Hapludantes líticos.
<b>Suelos de valle glaciar. Suelos 1100 - 900 m</b>	Las pendientes son altas a moderadas, predomina el matorral mixto, acompañados de bosques de coihues. Los suelos son someros a moderadamente profundos. En algunas áreas donde predomina el bosque y las pendientes son moderadas, el suelo puede ser más profundo. Hay escasos afloramientos rocosos. La materia orgánica puede variar (6 % - 12 %), aunque es más abundante. Predomina una textura franco- arenosa y el drenaje es bueno. Se puede inferir que dominan los Hapludantes típicos y Fulvudantes típicos.
<b>Suelos de relieve de erosión y deposición. Suelos &lt;900 m</b>	Suelos de relieve de erosión y deposición. Suelos <900 m: Las pendientes son moderadas a leves. Prevalcen el bosque de coihue y el matorral mixto. Los suelos son moderadamente profundos a profundos. Aunque pueden encontrarse suelos poco profundos si hay afloramientos rocosos. La textura es franco-arenosa con abundante materia orgánica (6 % - 12%), el drenaje es bueno a muy bueno. Se pueden clasificar como Hapludantes típicos y Hapludantes thápticos.
<b>Suelos de abanicos aluviales</b>	Las pendientes son moderadas a leves. La vegetación predominante es matorral mixto, con predominancia de ñires y bosquetes de coihues. Predominan los suelos aluviales y coluviales, someros a moderadamente profundos de textura arenosa fina. La materia orgánica es moderada (3% a 5%), el drenaje es pobre e imperfecto, puede haber pedregosidad en profundidad. Estos suelos se pueden clasificar como Hapludoles fluvénticos, Udortentes mólicos y Hapludoles vitrándicos.

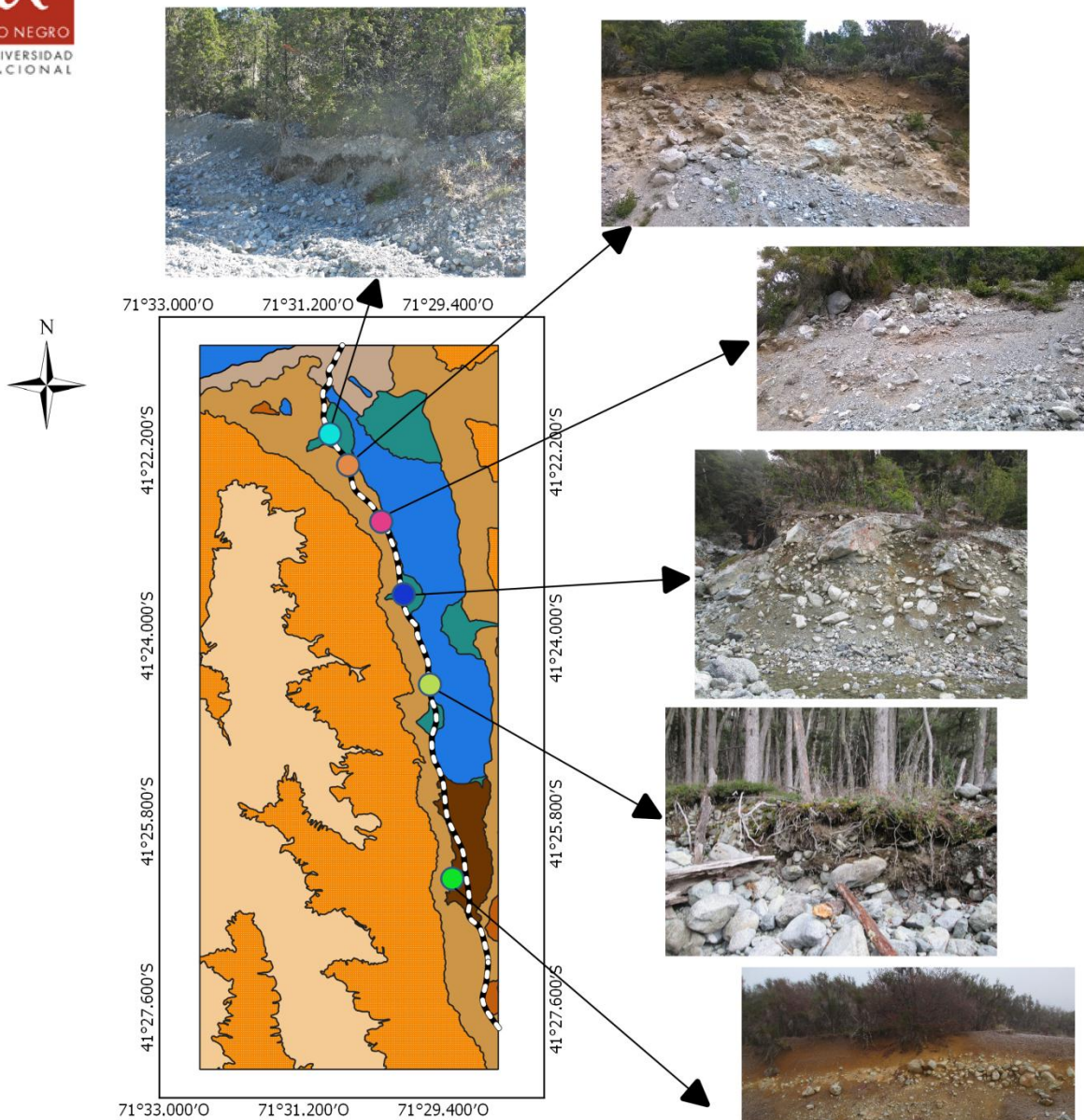


<b>Suelos de morena</b>	<p>Las pendientes son moderadas a leves, predominan depósitos heterogéneos de origen glaciario. Predomina la vegetación de matorral mixto, acompañada de bosques de ciprés. Los suelos son someros a moderadamente profundos, pueden observarse suelos profundos en áreas más boscosas. La textura predominante puede ser arenopédregosa, la materia orgánica es moderada (2% - 4 %) y es un área bien drenada. Los suelos pueden identificarse como Udivitrands líticos.</p>
<b>Suelos de mallín</b>	<p>Se encuentran en áreas de pendientes leves y bajas. La vegetación es específica de tipo hidrófita. La textura es franco-limosa. Son suelos con abundante materia orgánica (&gt; 10%), son suelos profundos de drenaje muy pobre y poseen una capa de agua subsuperficial y superficial durante todo el año. Pueden clasificarse como Endoacuands hísticos, Vitracuands hísticos y Udivitrands ácuicos.</p>

Tabla 36: Clasificación de suelos.



## Suelos control a campo



## Referencias

### Puntos de control a campo

- Suelos someros a medianamente profundos
- Suelos moderadamente profundos a profundos
- Suelos de morena lateral, moderadamente profundos a profundos
- Suelos aluviales y coluviales, someros a moderadamente profundos
- Suelos de erosión deposición, profundos
- Suelos de morena, profundos

—●— Ruta 40 sur

### Unidades de Suelo

- Divisoria y cumbres. Paisaje de semidesierto de altura. Suelos > 1600 m
- Laterales de valle glaciar: Suelos 1600-1100 m
- Suelos de valle glaciar: Suelos 1100 - 900 m
- Suelos de relieve de erosión y deposición. Suelos < 900 m
- Suelos de abanicos aluviales
- Suelos de mallin
- Suelos de morena
- Cuerpos de agua

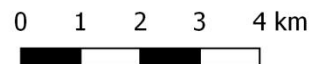


Figura 18: Puntos de control a campo de suelos.

#### 5.4. Mapa de Inventario de procesos y zonas afectadas

Para realizar el inventario se realizó una interpretación visual de la imagen, luego de una primera interpretación, se realizó una salida al campo. También se utilizaron los datos sobre los eventos ocurridos (sección 5.2 y la Tabla 17 ) y la información topográfica generada en la sección anterior. La clasificación se basó en el Glosario Internacional del Working Party on the World Landside Inventor y del año 1993 (WP/WLI, 1993) y en lo observado por (Moreiras et al., 2008). Este glosario es el más utilizado , es acorde a lo establecido por Varnes (1978) y se ajusta a la zona de estudio. La capa resultante y el control a campo de la misma se muestran en la (Figura 19). En la Tabla 37 se describen las unidades relevadas. (Ver Anexo II: sección13.1).

<b>Inventario-Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Corona y Escarpe Principal</b>	Es un área donde se genera material de arrastre. Está formado por caídas o vuelcos de grandes bloques angulosos de rocas graníticas fracturadas y meteorizadas, depositadas por gravitación en presencia de poca humedad Este material se encuentra sobre una superficie casi vertical del terreno.
<b>Escarpe Menor</b>	Se asocia también con áreas de pendientes escarpadas, que presentan sectores de material no consolidado (material granítico meteorizado), mediante movimientos diferenciales que se van desplazando hacia abajo del talud. Que a medida que se trasladan se suman a un delgado espesor de ceniza volcánica y depósitos glaciares finos. En este sector el granito se encuentra diaclasado pero poco meteorizado.
<b>Cuerpo principal</b>	Es un sector que presenta un desplazamiento de detritos formados por bloques pequeños a medios, correspondientes a rodados subangulosos a subredondeados de granitos fracturados y meteorizados, mezclados con material glaciario de tipo rodados, gravas y arenas. En esta zona los granotioides están menos meteorizados, el transporte predominante es gravitacional - húmedo.
<b>Zona de acumulación</b>	Es un área donde el material desplazado se encuentra sobre la superficie natural de terreno. Se puede observar el volumen de rocas y detritos movilizados: Predominan los movimientos de carácter húmedo.
<b>Zona de suelo desnudo</b>	Son sectores de afloramientos rocosos, diaclasados que de la misma forma, aportan material.
<b>Zona de Taludes</b>	Sectores cercanos lindantes a la ruta, que presentan pendientes muy escarpadas. Por lo general están caracterizados por poseer suelo desnudo y materiales sueltos.

Tabla 37: Clasificación del mapa de inventario.

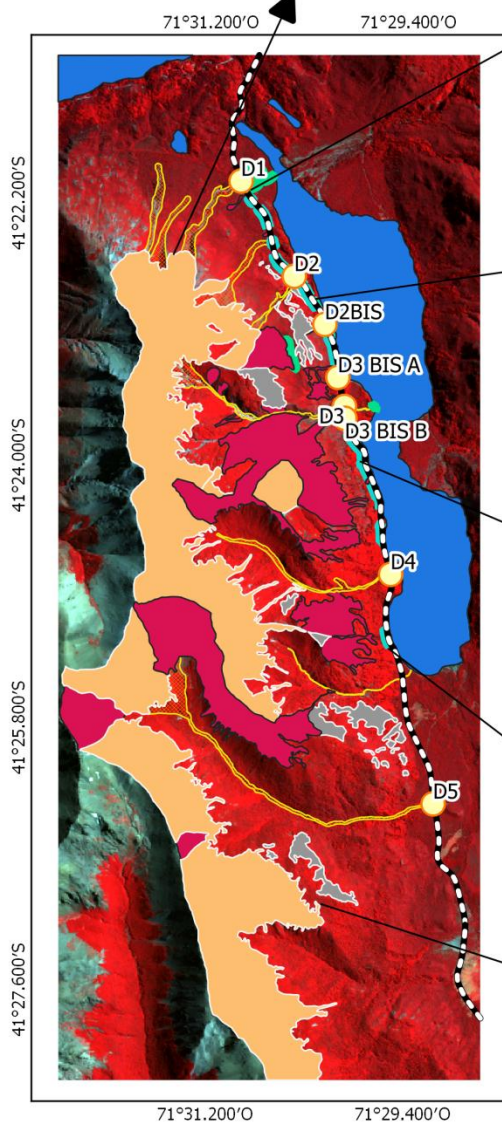


### Inventario control a campo

Vista general: se observa el escarpe principal, el cuerpo principal y la zona de acumulación.



Zona de acumulación de D1



Zona de Taludes



Escarpe principal y roca desnuda



#### Referencias

- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Unidades de inventario       | ■ Zona de rocas desnudas |
| ■ Corona y Escarpe Principal | ■ Zona de Taludes        |
| ■ Escarpe Menor              | ■ Cuerpos de agua        |
| ■ Cuerpo Principal           | ○ Ruta 40 sur            |
| ■ Zona de Acumulación        |                          |

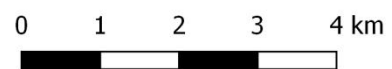


Figura 19: Puntos de control a campo de Inventario.

## 5.5. Factores desencadenantes

### 5.5.1. Precipitaciones

Las precipitaciones fueron consideradas como el factor dinámico por excelencia, se estudiaron las precipitaciones anuales acumuladas y las precipitaciones estacionales acumuladas ocurridas entre mayo y septiembre inclusive. Para el análisis se utilizaron los datos meteorológicos gratuitos provistos por la Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación (SIyPH).

Debe tenerse en cuenta que para el procesamiento de los datos estadísticos, la SIyPH, supone que las series temporales son homogéneas, si existió alguna alteración en la estación como cambios en la escala de lectura no se tuvieron en cuenta (BDHI, 2017). Por ello se realizó un análisis del conjunto datos y homogeneidad de los mismos para elegir las estaciones definitivas a trabajar.

Se estudiaron, las seis estaciones más cercanas al área de estudios que tuvieran la serie completa y consecutiva de datos desde **1993 a 2016**, estas estaciones pertenecen a la Cuenca de los Ríos Manso y Puelo. Los datos de precipitación se encuentran en mm y fueron medidos una vez por día en el horario de las 9:00 a.m. Esta serie de datos se encuentra completa desde el 01/01/1993 al 31/12/2016. En la Tabla 38 se muestran los datos de las estaciones con su ubicación geográfica y altitud.

Estación Meteorológica	Latitud	Longitud	Altitud[m]	Período total de datos registrados *	Periodo de datos que se tomaron para el análisis **
Lago Mascardi-Central Frey	-41° 21' 28,60''	-71° 33' 46,50''	837	01/01/1991-30/09/2017	1993 - 2016
Lago Steffen-Muelle	-41° 30' 22,20''	-71° 32' 31,30''	568	01/01/1993-30/09/2017	1993 - 2016
Villegas	-41° 34' 48,30''	-71° 29' 59,80''	816	01/09/1956-30/09/2017	1993 - 2016
Los Alerces	-41° 22' 25,40''	-71° 44' 45,40''	797	01/06/1954-30/09/2017	1993 - 2016
Confluencia	-41° 35' 12,90''	-71° 41' 01,20''	477	01/05/1965-31/12/2018	1993 - 2016
Poblador Turra	-41° 35' 36,70''	-71° 31' 15,20''	522	01/04/1974-31/02/2018	1993 - 2016

Tabla 38: Ubicación geográfica y altitud de las estaciones meteorológicas analizadas. No se corroboraron que los datos de todos los años estuviesen completos \*. Esta serie se utilizó para realizar el análisis de precipitaciones, se comprobó que los datos fueran homogéneos y estén completos y consecutivos \*\*.

Para evaluar la calidad de los datos, en primer lugar se realizó un cálculo de los estadísticos básicos de la serie completa de datos acumulados para observar la tendencia

de los mismos. Para ello se utilizó el programa R-comander. Asimismo para comprobar su homogeneidad entre los valores de las estaciones, se realizó el método de dobles masas para todas las estaciones en estudio. De los resultados obtenidos se tomó a la estación Mascardi como estación de base. Se observó que en general todas las estaciones se encuentran alineadas con un buen ajuste, menos la estación Villegas, por ello se decidió descartar los datos de esta estación para el análisis. Las tablas de la serie de datos y los resultados se muestran en el Anexo II: sección 13.3.

Del grupo total de los datos, se filtraron aquellos correspondientes al período entre 1998 a 2016. Se procesaron los valores anuales y estacionales. Se consideró a las precipitaciones estacionales a las ocurridas entre **mayo y septiembre inclusive**. Ambos se acumularon y se calcularon los promedios correspondientes para cada estación (Tabla 39). Debido a que aproximadamente el **60% de las precipitaciones anuales están representadas por las precipitaciones estacionales**, se van a utilizar estas últimas para realizar la capa temática correspondiente. Los valores mínimos y máximos registrados de la precipitación anual acumulada fueron de 1277 mm y 1306 mm .Como se mencionó, la zona de estudio se encuentra bajo un régimen de precipitaciones de tipo mediterráneo, esto significa que las precipitaciones estacionales representan un 60% de las precipitaciones anuales (Cravero et al., 2017). Por consiguiente, se realizó una interpolación de estos datos para obtener la capa temática de precipitaciones.

Estación Meteorológica	Media aritmética de la Precipitación acumulada anual de la serie [mm]	Media aritmética de la Precipitación acumulada estacional de la serie [mm]	Relación en Porcentaje de la PP EST/ PP ACU [%]
Lago Mascardi-Central Frey	1418,59	896,94	63,23
Lago Steffen-Muelle	1227,25	729,71	59,46
Los Alerces	1355,72	833,46	61,48
Confluencia	1549,41	954,07	61,58
Poblador Turra	995,9	601,5	60,40

Tabla 39: Datos promediados de precipitaciones anuales acumuladas y estacionales (mayo - septiembre) acumuladas para la serie 1998 -2016. Asimismo se muestra la relación porcentual de ambas.

Los software GIS ofrecen diferentes tipos de interpolaciones, por ejemplo en el programa QGIS se pueden aplicar las interpolaciones lineales, distancia inversa ponderada (IDW), interpolación por red de triángulos irregulares (TIN). Sin embargo, no presentaron un ajuste adecuado para los datos de precipitación de este trabajo. Se recurrió al programa SAGA GIS, que presenta un conjunto de interpolaciones llamadas kriging. Estas fueron las que mejor se ajustaron al conjunto de datos disponibles y, además son las más utilizadas

para analizar variables como la precipitación o temperatura (Corchero Nuñez et al., 2014; Cravero et al. 2010; Roa, 2007; Viale, 2010; Marcano Montilla y Cartaya Ríos, 2012; Paz Tenorio et al., 2017 y Solsona Perales, 2017).

El kriging es un método geoestadístico que pondera los valores medidos circundantes de una variable por medio de una predicción de una ubicación sin datos (Solsona Perales, 2017) considerando la correlación de los valores en el espacio (Bautista et al., 2011). Es decir, se basa en la suposición que entre dos puntos cercanos existe una correlación que no ocurre entre dos puntos lejanos, de esta forma asigna pesos a la distribución de la variable que se esté analizando (Corchero Nuñez et al., 2014). La ecuación general (Ecuación 12) que la define es una suma ponderada de los datos (Corchero Nuñez et al., 2014 y Solsona Perales, 2017).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

**Ecuación 12: Ecuación general de interpolación Kriging.**

Donde,  $Z(s_i)$  es el valor medido en la ubicación  $i$ ,  $\lambda_i$  es una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación  $i$ ,  $s_0$  es la ubicación de la predicción y  $N$  la cantidad de valores medidos (Solsona Perales, 2017). Las ponderaciones se basan en la distancia entre los puntos medidos, la ubicación de la predicción y la disposición espacial general de todos los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada.

Así, en un kriging ordinario, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción (Solsona Perales, 2017). El kriging puede ser aplicado de manera simple, ordinaria o universal. En este trabajo se aplicará el kriging ordinario porque es el que mejor se ajusta al conjunto de información disponible. El kriging ordinario asume que los datos están libres de cualquier tendencia (Solsona Perales, 2017) y que las medias y las varianzas de las diferencias entre los puntos vecinos a interpolar dependen solamente de la separación de la distancia entre ellos y la dirección (Alzate Llano, 2015 y Bautista et al., 2011).

De esta manera fue posible generar una capa raster de precipitaciones donde cada pixel posee un valor de precipitación correspondiente. Sin embargo, este valor no tiene en cuenta los cambios altitudinales de la precipitación, por ello se realizó la corrección por

altura de estos puntos. También se acompañó este método con la información de base obtenida previamente indicada en la (Tabla 17).

Para incluir el factor de altura, se estudió la Carta de Precipitación de la zona oeste de las provincias de Rio Negro y Neuquén realizada por (Barros et al. 1983), en la cual se indica la existencia de este gradiente altitudinal, pero la escala no es suficiente con los objetivos de este trabajo. Por ello se utilizó la relación definida por Peck y Brown (1962) y citada por Jobbágy et al. (1995), donde encontraron gradientes que varían entre 33 mm y 42 mm cada 100 m de desnivel en un área de Utah con el mismo régimen de precipitaciones que en la Patagonia Andina. Relaciones similares también fueron calculadas por (Barry, 2008). Para modelar y tener en cuenta la peor condición se utilizó el valor de **42 mm** como factor de corrección (Ecuación 13). Posteriormente esta capa fue clasificada considerando los valores mínimos y máximos de cada capa y el objetivo de la misma se definieron los límites de clases.

$$\text{Corrección por altura} = PP_i + [FA * (V_{alt} - V_{base})]$$

**Ecuación 13: Ecuación de corrección por altura de la precipitación.**

Donde,  $PP_i$  es la capa raster de precipitación generada por interpolación, FA es el factor de correlación de variación en altura,  $V_{alt}$  representa la capa raster del MDE y  $V_{base}$  es el valor numérico con menor altitud del MDE.

Por medio de este proceso se realizó la capa temática correspondiente, en el Anexo II sección 13.5 se indica la metodología utilizada. Considerando un valor mínimo y máximo resultado directo de la interpolación fue de 789 mm y 795 mm respectivamente. Realizada la corrección por altura, los valores obtenidos fueron 789 mm y 1276 mm. De esta manera la clasificación se muestra en la Tabla 40. En la Figura 20 se muestra la capa temática generada. Para fines comparativos se realizó de la misma manera la capa temática de precipitaciones anuales acumuladas corregidas por altura que se muestra en el Anexo II. Sección 13.1

Nº de Clase	Clasificación de las precipitaciones estacionales acumuladas. [mm]
1	< 800
2	800 - 900
3	900 -1000
4	1000 -1100
5	1100-1200
6	>1200

Tabla 40: Clasificación de las precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura.





### Mapa de Precipitaciones Estacionales Acumuladas corregidas por altura

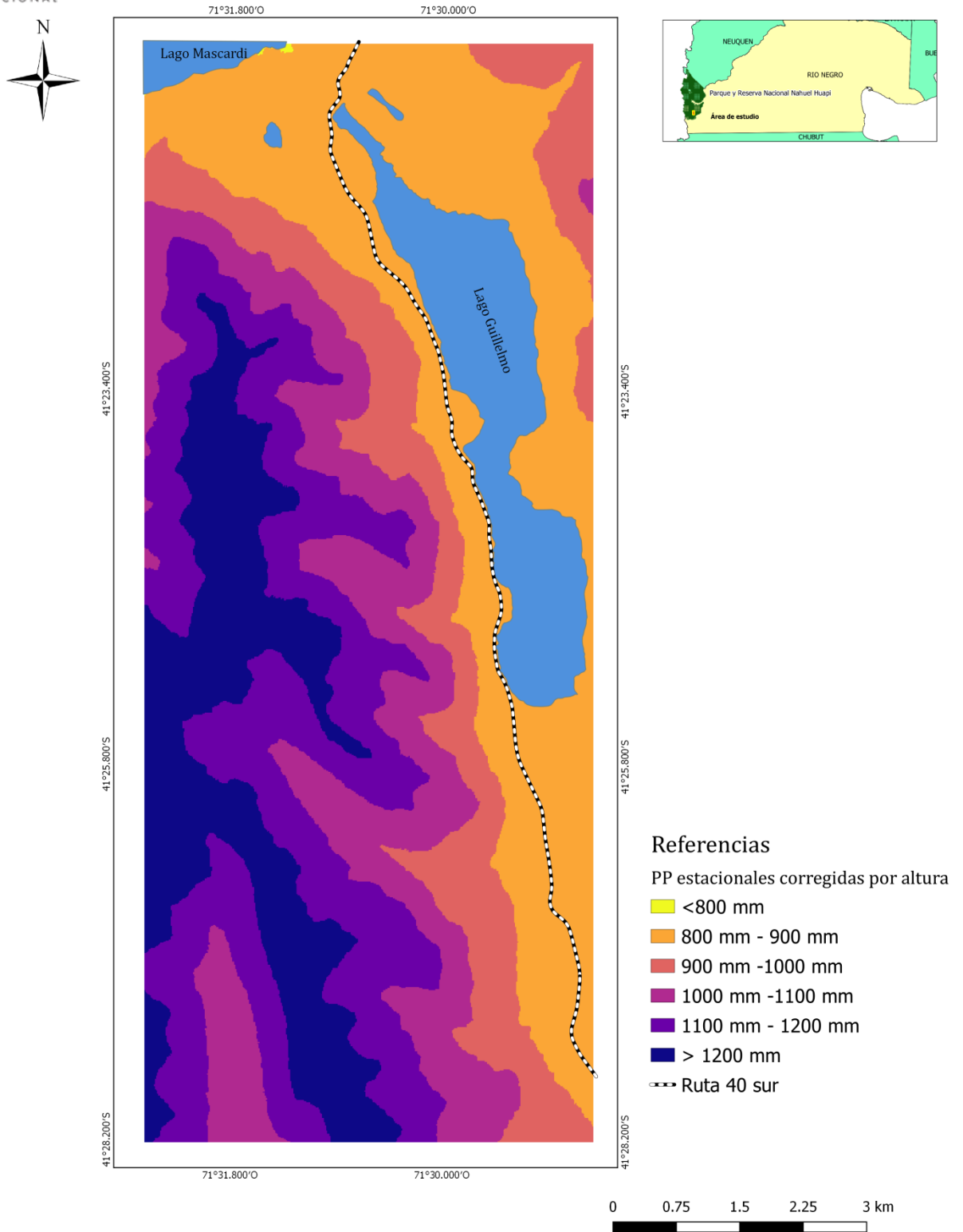


Figura 20: Mapa de precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura.

## 5.5.2. Unidades Hidrográficas

Debido a la magnitud del área de estudio trabajo, se tomará como unidad mínima de análisis a una “**unidad hidrológica**”. Ya que se la define como un sector de menor nivel en lo referido a cuencas o sub cuencas, teniendo en cuenta el sistema de drenaje natural de la zona y que las mismas poseen **características físicas, climáticas e hidrológicas homogéneas** (Torres Giraldo, 2015).

La construcción de estas áreas de análisis fue una interacción entre la interpretación visual y digital de la imagen junto con el MDE, los relevamientos de campo, y la carta topográfica. Se aplicarán los parámetros morfométricos definidos para las cuencas y subcuencas estas unidades de estudio.

### 5.5.2.1. Digitalización de Unidades Hidrográficas

En primer lugar se delimitó la divisoria de aguas, mediante la observación de los puntos más elevados. Para ello, también se utilizó como material de base la Carta Topográfica indicada en la (Tabla 17), la interpretación visual, junto con las capas generadas previamente, en particular, las curvas de nivel. Inmediatamente después, se identificaron los cursos de agua, cauces y arroyos. Ambos procesos se digitalizaron manualmente, la escala de digitalización fue variable (1: 5000 – 1:10000).

Luego esta capa de cauces y arroyos, se clasificó en “intermitentes” y “permanentes”. Esta clasificación fue realizada mediante la observación a campo, en dos oportunidades, la primera se realizó durante el mes de febrero y la segunda en mayo. De esta manera se pueden observar los cauces en una época seca (verano) y el comienzo de la estación de lluvias. De esta manera, los cauces permanentes fueron aquellos que durante las dos observaciones se identificó una corriente de agua.

Una vez obtenidas estas dos capas, se procedió a digitalizar manualmente las unidades hidrográficas. Se demarcaron manualmente todas las unidades correspondientes al área de estudio, la escala de digitalización fue variable (1: 5000 – 1:10000). Posteriormente se descartaron aquellas que no sean necesarias para los fines de este trabajo.

Se identificaron los límites, identificando las cimas y los puntos más elevados, en relación a la observación de los drenajes principales y sus tributarios. De esta manera los trazos se definieron paralelos a las curvas de nivel, tomando los puntos más elevados e incluyendo los drenajes dentro de la unidad correspondiente, luego se numeraron para ser

analizadas con mayor facilidad. En la Figura 21 se muestra la divisoria de aguas, los cauces y la numeración asignada a cada unidad hidrológica.

Atento a que se posteriormente se realizará el estudio de ponderación de las mismas, se realizó una clasificación de las precipitaciones acumuladas estacionales corregidas por altura , a fin de la precipitación media que recibe cada unidad (Figura 22). Se reitera que toda la información digitalizada fue realizada con controles de campo. Para realizar el análisis multicriterio se descartará la unidad 1 ya que no posee contacto directo con la ruta 40 sur.



Digitalización de cada Unidad Hidrográfica.  
Denominación- Divisoria- Ríos y Arroyos.

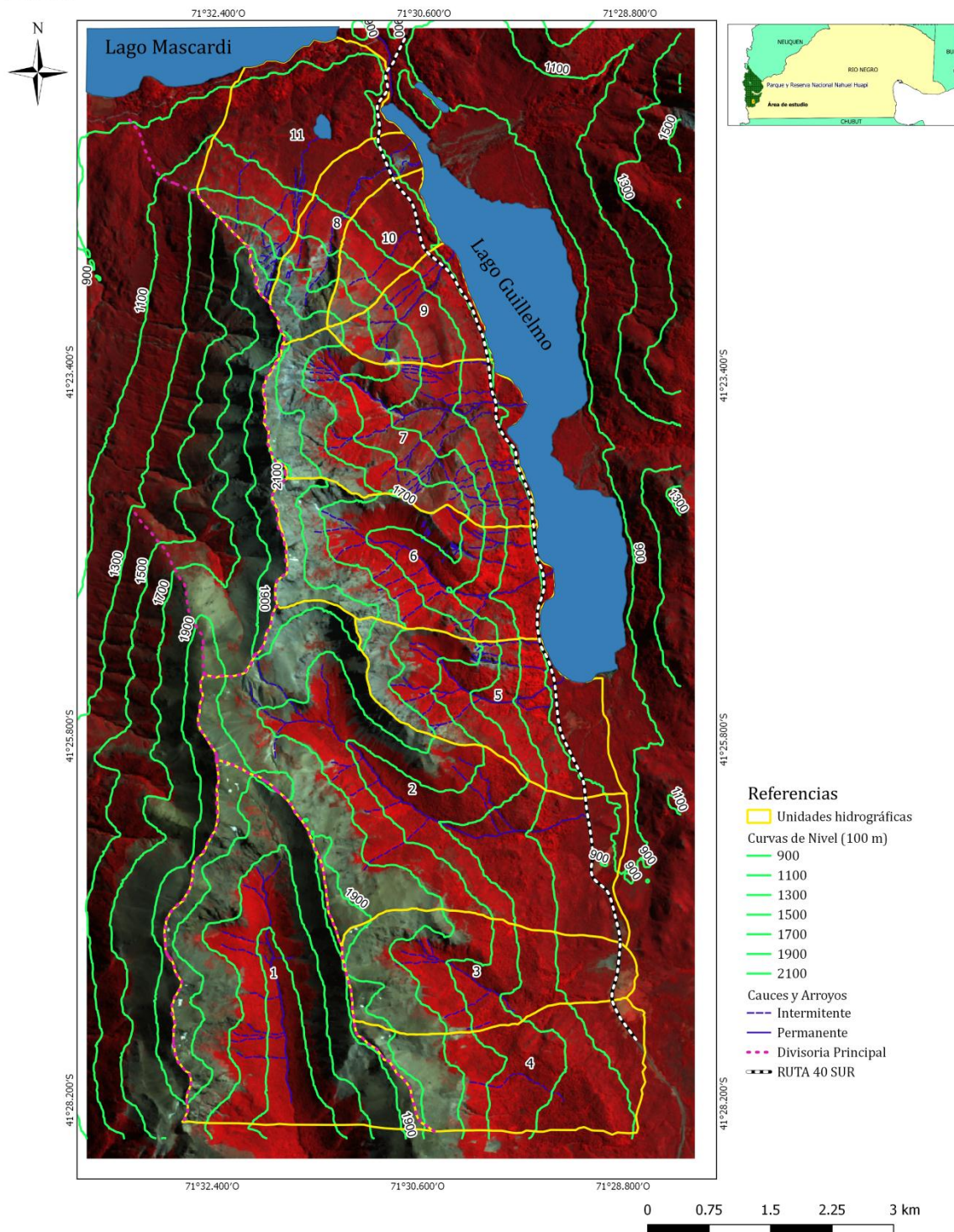


Figura 21: Delimitación de unidades hidrográficas del área de estudio. Se indica la denominación, la divisoria de aguas, las curvas de nivel, los ríos y arroyos perteneciente a cada una de ellas.



### Precipitaciones estacionales acumuladas recibida por cada unidad hidrográfica

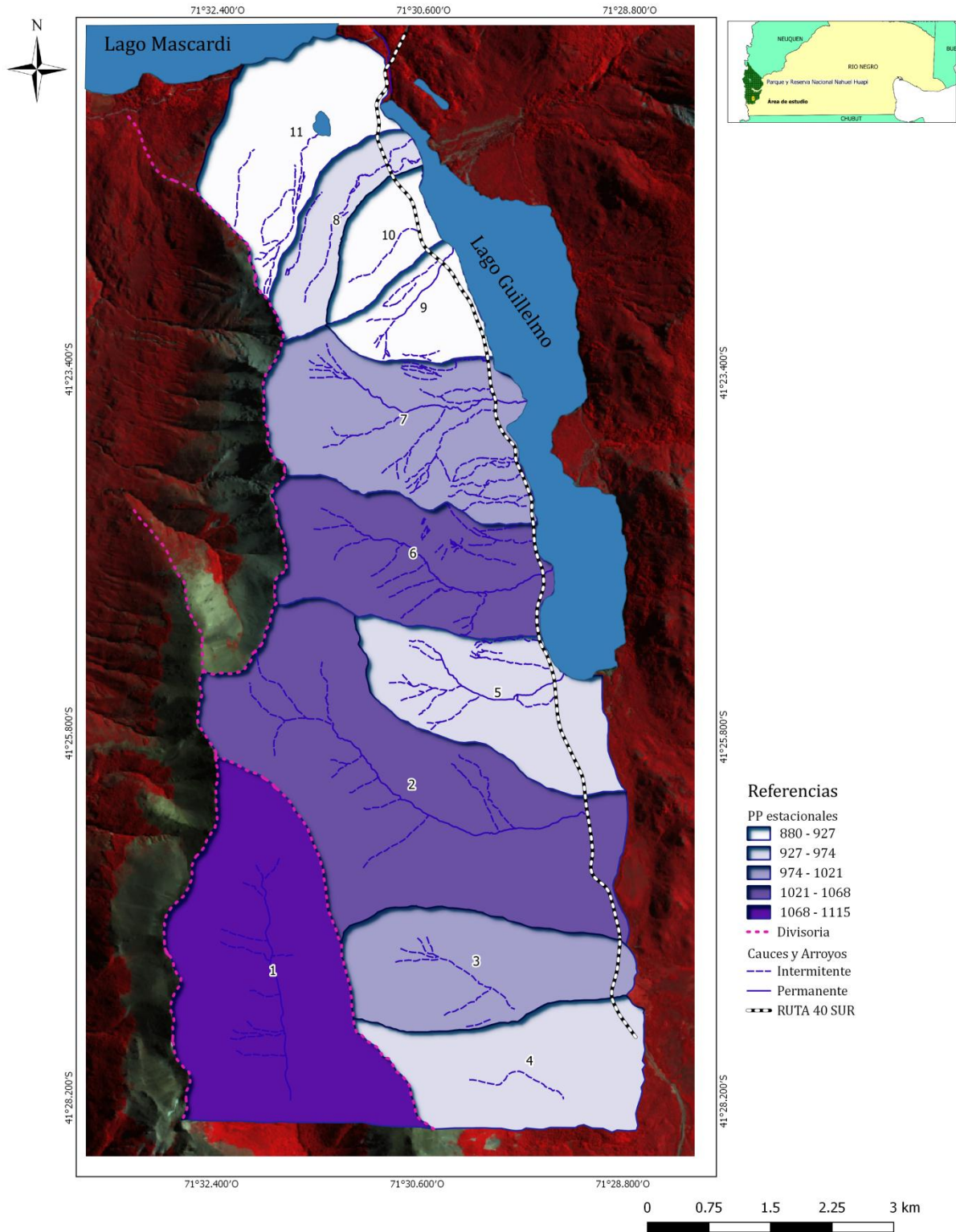


Figura 22: Clasificación de las unidades hidrográficas de acuerdo a las precipitaciones estacionales corregidas por altura.

### 5.5.2.2. Parámetros Morfométricos

De los parámetros morfométricos desarrollados, se calculó el índice de compacidad de Gravelius (Kc) utilizando la Ecuación 1, la relación de circularidad de Miller (1953) (Rc) mediante la Ecuación 2, y la densidad de drenaje de Horton (1945) (Dd) con la Ecuación 3. Asimismo se calcularon los parámetros de relieve, la pendiente media, la elevación media y la curva hipsométrica según lo expuesto en la Tabla 11. Para ello se utilizó el programa QGIS y una hoja de cálculo. En la Tabla 41 se muestran los resultados

ID Unidades Hidrográficas	Área [Km <sup>2</sup> ]	Perímetro [ Km]	Elevación media [m] (Método directo QGIS)	Pendiente Promedio [%]	L (Longitud total de los cauces) [Km]	Índice de Compacidad [Ic]	Relación de Circularidad [Rc]	Densidad de Drenaje [Dd] [Km/Km <sup>2</sup> ]	Precipitaciones Estacionales Corregidas por altura [mm]
2	10,95	16,91	1521,3	43,67	12,51	1,44	0,48	1,14	1031,23
3	4,1	8,85	1479,89	42,58	3,76	1,23	0,66	0,91	999,99
4	4,13	9,65	1400,99	38,7	2,21	1,34	0,56	0,53	957,11
5	4,08	9,41	1281,6	50,42	9,04	1,32	0,58	2,21	927,74
6	4,77	10,09	1518,87	60,92	13,18	1,3	0,59	2,76	1040,24
7	5,42	10,42	1431,53	60,11	20,69	1,26	0,63	3,81	1009,01
8	1,77	7,18	1269,93	46,5	5,38	1,52	0,43	3,03	952,79
9	1,72	5,72	1210,47	54,21	4,69	1,23	0,66	2,72	917,68
10	1,39	5,33	1138,05	45,19	1,19	1,27	0,62	0,85	892,46
11	3,68	8,78	1083,3	35,69	7,97	1,29	0,6	2,16	879,79

Tabla 41: Parámetros morfométricos y características de las cuencas. La numeración de las cuencas se muestra en la Figura 22.

La curva hipsométrica se calculó solamente para las unidades más problemáticas. Se consideró “a priori” a las unidades N°2, N°6, N°7 y N°8 como las más complejas, ya que se identificaron los valores más altos para la precipitación y de pendientes medias. Si bien, la N° 8 no recibe demasiada precipitación, se observó en el campo que posee un cauce con transporte de sedimentos “activo”. Se calculó la elevación media (ordenada al 50%). En la Tabla 42 se muestran los valores obtenidos. A fin de evaluar el estado de evolución de cada unidad y el ciclo erosivo correspondiente (Ver Tabla 11) se calcularon las integrales hipsométricas para estas unidades (Figura 23). En el Anexo II sección 13.4., se muestran los gráficos, las ecuaciones ajustadas y una breve descripción de la metodología utilizada.

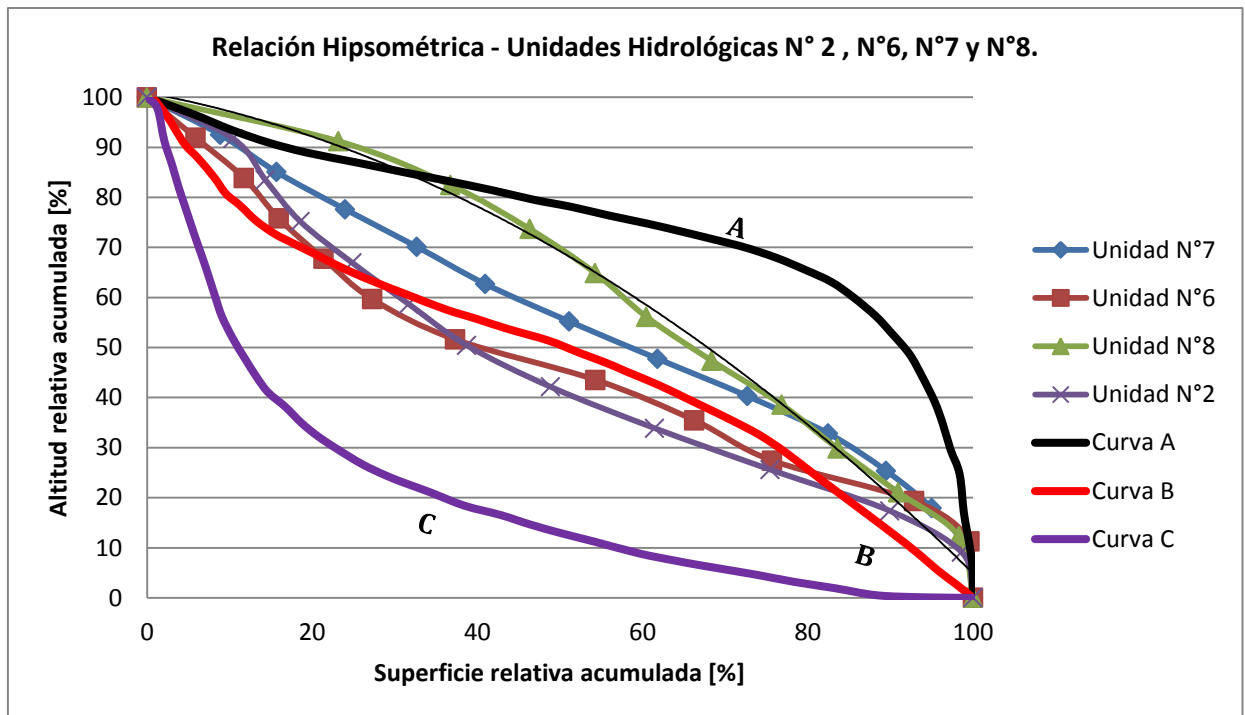


Figura 23: Gráfico de comparación de las Relaciones Hipsométricas de las Unidades Hidrológicas N° 2, N° 6, N° 7 y N° 8 con las curvas teóricas Curva A representa "Juventud", Curva B representa un estado intermedio y la Curva C que representa un estado de "senectud" (las curvas teóricas fueron provistas por el Ing. Martín Nini).

Unidad Hidrológica	Elevación media por Curva Hipsométrica [m]	Elevación media por MDE [m]	Valores de la integral hipsométrica [%]
N°2	1521,3	1567,7	47
N°6	1518,87	1562,9	48
N°7	1431,53	1709,55	57
N°8	1269,93	1677,15	63

Tabla 42: Valores de elevación media de las unidad hidrológicas N° 2, N° 6, N° 7 y N°8.

Según los valores de referencia indicados en la sección 5.5.2.2 y los resultados de la Tabla 41 y Tabla 42, se desprenden las siguientes observaciones:

- en relación al **área**, se entiende que todas las unidades de estudio se corresponden a áreas **"muy pequeñas"** (Tabla 11),
- los valores de **Ic** (Tabla 11), muestran que la mayoría de las unidades son de "Clase II" – ovals redondeadas a ovals oblongas , excepto la unidad 3 y 9 que son "Clase I" – casi redondas a oval redondas,
- las observaciones con respecto al **Ic**, se corresponden con los valores obtenidos para el **Rc**, donde aquellas unidades que se acerquen a la unidad serán más circulares,

- las **Dd** son variadas, predomina un rango de densidades bajas y moderadas, siendo las primeras para las unidades 1, 2, 3, 4, y 10. Para las segundas las unidades 5, 6, 8, 9 y 11. En la unidad 7 predomina una densidad alta (Tabla 11),
- las pendientes promedio calculadas describen un relieve escarpado a muy escarpado de acuerdo a lo indicado en la Tabla 11,
- De acuerdo a las características descriptas por Campos Aranda (1998) , utilizando las curvas teóricas de la Figura 23 y los valores que corroboran lo observado en la Tabla 42 . Se observa que las unidades N° 8 y N° 7 se encuentran en una etapa de paisaje joven, con un relieve más accidentado. Las unidades N° 2 y N° 6 forman parte de un paisaje mas maduro donde existe un equilibrio entre relieves bajos y altos dentro de la unidad. Estas características se pudieron observar claramente en el campo. Sin embargo algunas de ellas poseen un potencial erosivo alto aunque no poseen pendientes promedio altas, las características ambientales que se observaron en el campo las convierten en las más desfavorables, identificando en ellas señales de erosión, alta actividad de arrastre de sedimentos, intervención antrópica, poseen escurrimientos permanentes, entre otras cosas.

### 5.5.3. Temperatura

Se utilizó la misma fuente de datos de las estaciones meteorológicas provistas por la Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación. Sin embargo, los datos provenientes de las estaciones meteorológicas disponibles que se utilizaron anteriormente fueron insuficientes para desarrollar la misma metodología para esta variable. Solamente la estación Steffen Muelle y la estación Los Alerces poseen la serie de datos completa de registros de temperaturas para los mismos años en análisis (1993-2016). Estos datos fueron registrados dos veces por día a las 9:00 a.m. y a las 3 p.m.

Como se mencionó, la temperatura responde a un gradiente altitudinal descendiente (Barry, 2008 ; Ferreyra et al., 2005 y Pereyra et al., 2009). Por esta relación directa con la altitud, se van a utilizar los valores de la estación **Los Alerces** ya que está ubicada a una altitud de 797 m (Tabla 38) y es la mas cercana al punto más bajo del MDE que es de 829 m (Tabla 19).

Se procesaron los datos y se utilizó valor de base **8,91 °C para una altitud de 797 m. Esta temperatura es el promedio anual de la serie 1993 – 2016.** A partir de este valor se aplicó un cambio altitudinal de **5,5 °C** descenso de temperatura de entre 5,5 °C cada 1000 m de desnivel) expuesto por Ferreyra et al. (2005) (Tabla 43). El resultado da una capa vectorial que luego se asoció al MDE obteniendo una capa raster. Los valores de



los límites de clase se presentan en la Tabla 44.. En el Anexo II se muestra la capa temática obtenida y en el Anexo III sección 0 se indica la metodología.

Temperatura (Ferreyra et al., 2005) [°C]	Altitud [m]
8,91	800
8,36	900
7,81	1000
7,26	1100
6,71	1200
6,16	1300
5,61	1400
5,06	1500
4,51	1600
3,96	1700
3,41	1800
2,86	1900
2,31	2000
1,76	2100
1,21	2200

Tabla 43: Variación de temperatura respecto de la altura según Ferreyra et al., 2005.

Altitud [m]	Temperatura [°C]
800 - 900	8,91
900 - 1000	7,91
1000 - 1200	6,71
1200 - 1400	5,61
1400 - 1600	4,51
1600 - 1800	3,41
1800 - 2000	2,31
>2000	1,21

Tabla 44: Reclasificación de temperaturas.

#### 5.5.4. Incendios

La capa de incendios, es una capa de polígonos vectorial, que fue adaptada al área de estudio (ver Anexo II sección 13.5). La misma fue provista por Marcelo Bari del Parque Nacional Nahuel Huapi en el año 2016 (Bari, 2016) como se señala en la (Tabla 17). Corresponden al gran incendio del 22/02/1999, registrando aproximadamente 776 Ha. quemadas en el área de estudio. Estas áreas afectadas se corresponden con las identificadas por Gowda et al. (2014) como producto de una sucesión secundaria de matorral mixto y de ñire.

### 5.5.5. Sismos

El INPRES ubica al departamento de Bariloche y la zona de estudio en la zona 2 (moderada). Asimismo, posee una base de datos de registros y un buscador de registros de sismos desde el año 2009. No se encontraron registros para el área, sin embargo la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), también posee un sistema de registros con una amplitud temporal mucho mayor. El día 18/01/2019 se realizó una búsqueda, primero para todo el territorio Argentino y luego para un área más acotada que incluya el área de estudio (Figura 24). Se analizaron los registros de los últimos 10 años con un **mínimo de 2,5** magnitudes y un máximo de 4,5. Los resultados que arrojaron para todo el territorio Argentino fueron de 9369 sismos y para magnitudes con un **mínimo de 4,5** se registraron 4099 sismos. Se redujo la búsqueda para el área cercana a Neuquén y arrojó como resultado 39 para una escala de 2,5 y para 4,5 más de 23 en los últimos 10 años (USGS, 2019).

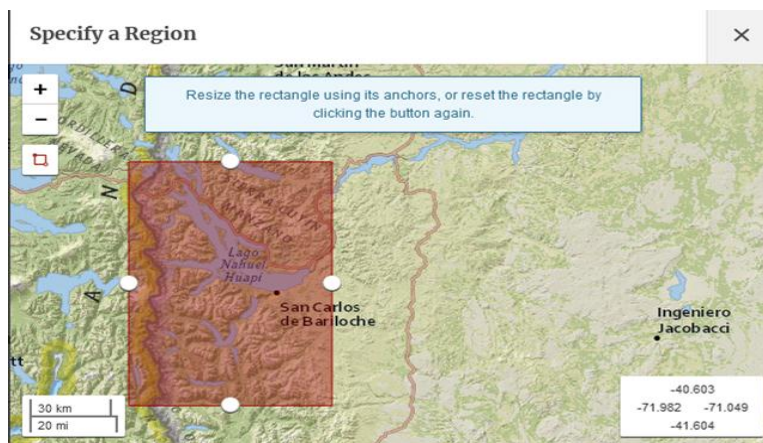


Figura 24: Área donde se realizó la búsqueda de registros (USGS).

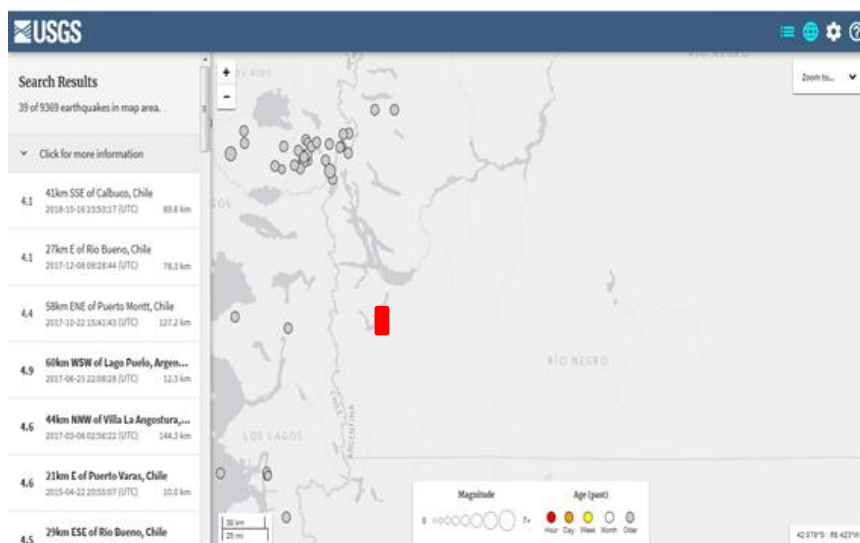
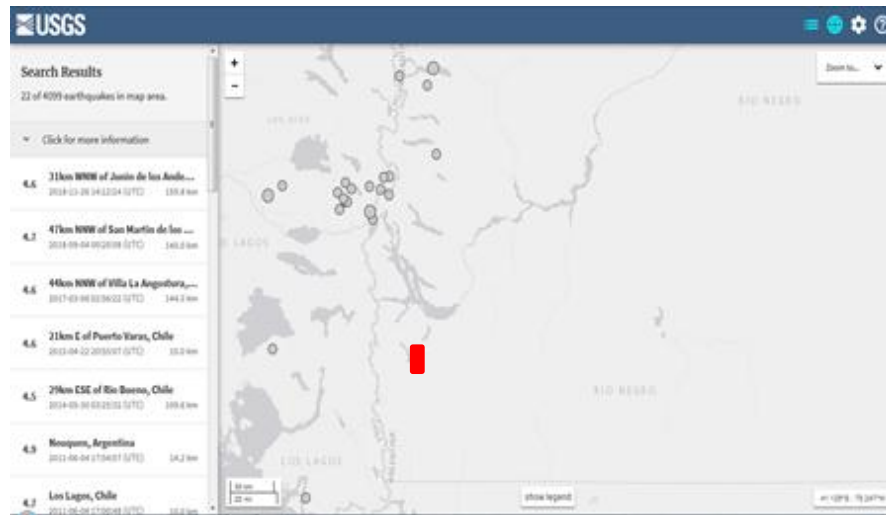


Figura 25: Sismos registrados en una escala de 2,5 en los últimos 10 años en el área cercana a Neuquén. Se indica aproximadamente el área de trabajo. Se observa que la mayoría de los epicentros están registrados en Chile (USGS).



**Figura 26: Sismos registrados en una escala de 4,5 en los últimos 10 años en el área cercana a Neuquén. Se indica aproximadamente el área de trabajo. Se observa que la mayoría de los epicentros están registrados en Chile (USGS).**

Debido a la frecuencia y la magnitud de los registros encontrados para el área de estudio, junto con la falta de datos más específicos para el área, no se considerarán los sismos como un factor detonante relevante para este trabajo en particular. Además, en este sector, estos movimientos se producen principalmente en relación a eventos registrados de lluvias. Sin embargo, este factor no se puede descartar completamente como un disparador general para los movimientos de remoción en masa, como por ejemplo ocurrió el deslizamiento de sedimentos en el lago Nahuel Huapi desencadenado por un sismo en Chile (Villarosa et al., 2009).

## 5.6. Capas temáticas de elementos expuestos

La vulnerabilidad surge de la afectación de bienes materiales, las pérdidas económicas y las vidas humanas. Está representada fundamentalmente por los elementos expuestos, como se mencionó para que exista riesgo además de las características ambientales intrínsecas del ambiente y los factores rápidos que pueden desencadenar un evento deben ocurrir la exposición de los bienes, las personas y el ambiente.

Si bien no hay asentamientos permanentes en el área de estudio, existen elementos sociales, económicos, ambientales y normativos relevantes. Estos factores están interrelacionados entre sí. En primer lugar, el sector de estudio pertenece a un sector del Parque Nacional Nahuel Huapi, de gran valor ecológico, ambiental y turístico. Se identificaron algunos usos recreativos: área de uso de costas y de picnic, sendero a la Laguna Juventus, etc. La infraestructura presente de relevancia es la ruta 40 Sur, como se expuso, está conecta con otras ciudades turísticas, otras áreas protegidas, es paso de infraestructura y servicios de transporte turístico y comercial transfronterizo. Asimismo,

se observó la presencia de fibra óptica en varios tramos de la ruta. Se detecta la vulnerabilidad ambiental, en sectores de pérdida de suelo y degradadas, malas prácticas en el manejo de cauces y mantenimiento de la ruta (Tabla 45).

Dimensión	Elementos
<b>Social</b>	Relacionado con la afectación directa de las personas. La posibilidad de sufrir daños al manifestarse un accidente o los inconvenientes que se pudiesen ocasionar por el bloqueo del paso sobre la ruta. Depende de la densidad de la población, las condiciones de la infraestructura, los sistemas de aviso, alerta, planes de emergencia y evacuación.
<b>Económica</b>	Sucesos que pudieran dañar infraestructura, interrupciones en los servicios de empresas de transporte turístico de pasajeros, encomiendas, comercio nacional e internacional. Los costos de la afectación se pueden expresar según diferentes criterios, por las pérdidas y daños en relación a la infraestructura; o aquellos derivados de la interrupción de las vías de comunicación como rutas o caminos. De esta manera se podrán ver afectadas actividades económicas, relacionadas con servicios de alojamiento turístico, pérdidas de mercaderías, atrasos en las entregas y todos los costos relacionados (cobro de seguros, aumento de horas hombre, combustible, etc.).
<b>Ambiental</b>	Es un área protegida perteneciente al PNNH. Se la denomina como sector del Parque Nacional. Se la administra como una unidad de gestión "Corredor turístico RN N°40: Lagos Gutiérrez, Mascardi y Guillermo". Este sector se ve afectado por pérdida de suelo, deforestación, prácticas negligentes de degradación de cauces, modificaciones antrópicas, afectación por mal uso de costas, presencia de especies exóticas, etc.

**Tabla 45: Elementos identificados en el sector de estudio correspondientes a la vulnerabilidad social, económica y ambiental. Modificado de (González de Vallejo et al., 2004).**

Para clasificar las capas temáticas se consideraron los productos ya obtenidos y las observaciones realizadas a campo. Estas fueron:

- **Infraestructura- Ruta 40 Sur:** representando tanto el factor económico, social y ambiental. La Ruta 40 Sur es la arteria primaria principal del sector, por su conectividad, uso de transportes comerciales, turísticos y de residentes. Así mismo atraviesa un área protegida y es soporte de instalación de infraestructura.
- **Degradación de cobertura de suelo:** sectores de roca desnuda y pendiente pronunciada, pérdida vegetal y taludes de roca fracturada. Estos sectores se encuentran muy expuestos a la erosión y meteorización, interviene en la generación de material por crioclastia. Esta capa se clasificó en tres clases: Erosión por pérdida de vegetación, Erosión y meteorización de rocas, Meteorización de taludes expuestos, (Tabla 46).
- **Usos del sector:** corresponde a los principales usos del sector, por su valor paisajístico y pertenecer al Parque Nacional Nahuel Huapi. Ellos son: senderos,

área de picnic, área de costas, áreas degradadas que sufrieron alguna afectación antrópica y sectores degradados (Tabla 47).

- **Erosión de cauces:** corresponde a sectores de cauces de altitudes altas y aquellos que se encuentran en altitudes medias a bajas. Los primeros, se encuentra formando parte de la corona y escarpe principal, poseen altas pendientes y alto potencial erosivo. Los segundos reciben caudal de los cauces de altitudes más altas, y algunos de ellos reciben varios tributarios aumentando el caudal. En altitudes más bajas se encuentran degradados ya que sufrieron modificaciones antrópicas o naturales de algún tipo (Tabla 48).

Para la capa Ruta 40 Sur, se tomó la capa vectorial ya generada. Se consideró un área de influencia de 15 m considerando la jurisdicción correspondiente a Vialidad Nacional. La capa de degradación de cobertura de suelo, fue realizada teniendo en cuenta la capa de inventario y las observaciones a campo. La capa de usos del sector, se digitalizó identificando las áreas mencionadas de acuerdo a lo estudiado y observado en el campo. Para los cauces, se utilizó como información de base, la capa de cauces tomando un área de influencia total de 10 m, considerando las observaciones a campo. En la Figura 27 se muestran las capas temáticas resultantes de los elementos expuestos que corresponderán a la vulnerabilidad.

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Erosión y meteorización de rocas</b>	Son áreas que se encuentran en un piso altimétrico superior que la Ruta 40 sur. Por lo general son afloramientos rocosos formados de forma natural.
<b>Erosión por pérdida de vegetación</b>	Son sectores sin vegetación o en regeneración, producto de modificaciones que pueden ser naturales o antrópicas. Se ubican en altitudes medias a altas. Predominan las pendientes altas.
<b>Meteorización de taludes expuestos</b>	Son áreas que se encuentran sobre la Ruta 40 Sur. Se generaron por la construcción de la misma. Están formados por roca muy diaclasada y fracturada, muy expuesta a procesos erosivos y meteorización. Generan material y socavamiento sobre la Ruta.

Tabla 46: Clasificación de la capa "Pérdida de suelo".

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Área de degradación antrópica</b>	Sector que fue utilizado para la extracción de áridos. Se encuentra muy modificado debido a ello y es un sector de acumulación de material natural del cauce correspondiente. Este cauce se encuentra activo.
<b>Sendero a la Laguna Juventus</b>	Pertenece a un área recreativa, este sendero se encuentra muy próximo al cauce que corresponde con el "área de degradación antrópica" mencionada.
<b>Área de Picnic y Uso de Costas</b>	Zonas de uso recreativo diurno que se encuentra en varios sectores de la ruta.
<b>Área Protegida</b>	Toda el área posee un alto valor ecológico, de conservación, ambiental y recreativo ya que forma parte del Parque Nacional Nahuel Huapi.

Tabla 47: Clasificación de la capa "Usos del sector".

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Cauce altitudes altas</b>	Estos cauces se encuentran formando parte de los sectores de altas pendientes a escapadas. Pertenece a las zonas del escarpe principal y coronamiento, según lo definido en el inventario. Tienen un potencial erosivo alto.
<b>Cauce altitudes medias a bajas</b>	Pertenecen a sectores de pendientes menos pronunciadas, pero se encuentran más expuestos a la erosión y a las modificaciones antrópicas. Serán afectados por todos los cambios que ocurran en los cauces superiores. La mayoría de ellos atraviesan la Ruta 40 Sur, en varios puntos.

Tabla 48: Clasificación de la capa "Erosión de cauces".



### Capas temáticas representativas de los elementos expuestos identificados

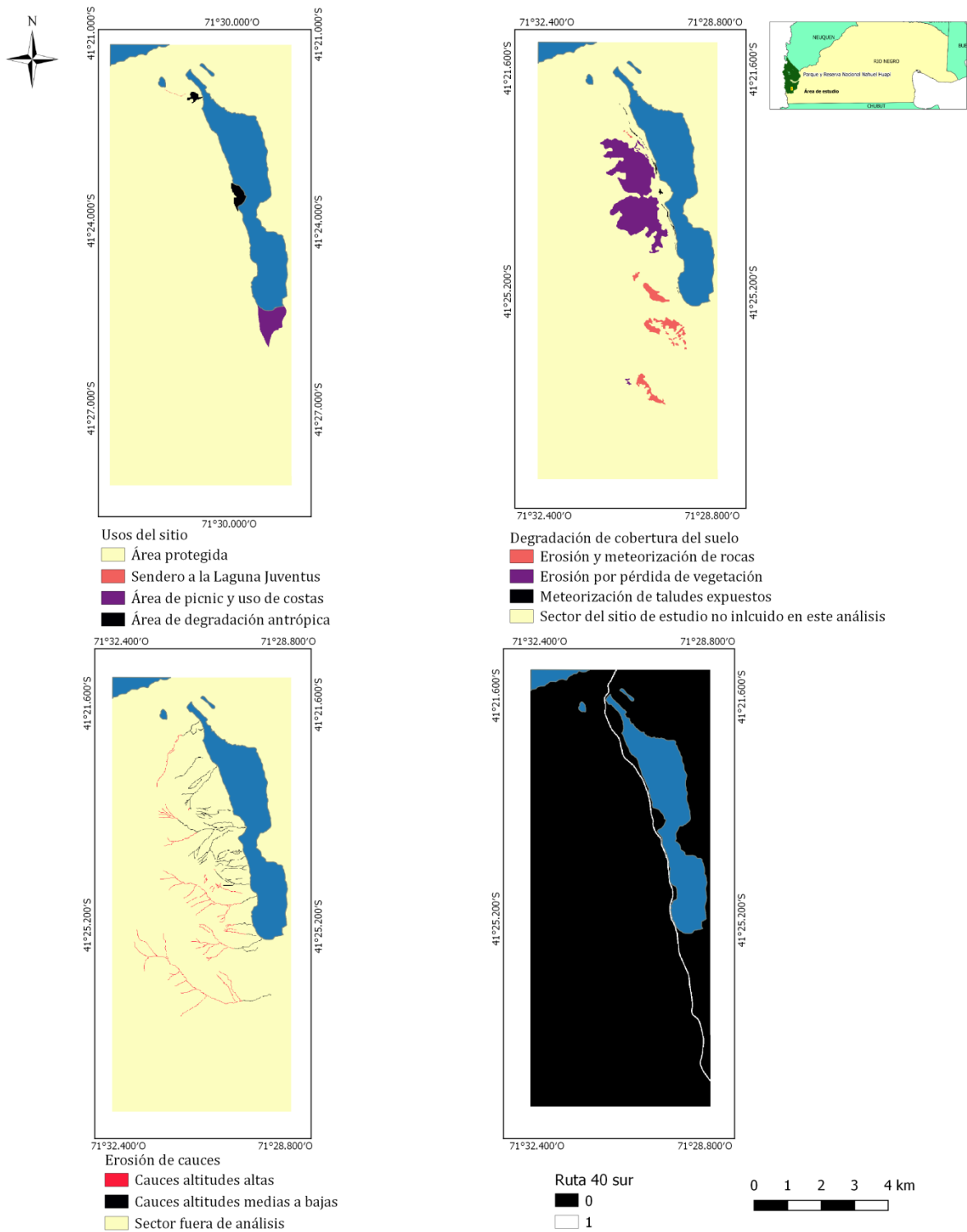


Figura 27: Capas temáticas de los elementos expuestos identificados como vulnerables.

## 6. Procesamiento de la información de base y resultados parciales: generación de productos intermedios

### 6.1.1. Mapa de Susceptibilidad, Peligrosidad y Vulnerabilidad

Como se mencionó para procesar y generar estos productos se aplicó la metodología EMC por medio de la técnica de ponderación AHP. De esta forma cada factor analizado representa una característica que propicia el desarrollo de fenómenos de remoción en masa.

Cada variable correspondiente a cada capa se ponderó y reclasificó. Es decir, que para calcular el peso final para un solo píxel o polígono, se consideró el peso total de los componentes, la jerarquización del valor de clase y de cada capa temática según lo expuesto y las ecuaciones formuladas en la sección 2.3. Por ejemplo, la pendiente clase "escarpada" tiene un peso de  $W_1$ , que fue multiplicado por el peso de la variable "Pendiente" que tendrá un  $W_2$ , de modo que el peso final para ese píxel o polígono fue de  $W_1 \cdot W_2$  (Castellanos, E.A. y Van Westen C.J., 2007).

Una vez analizados y obtenidos los valores de ponderación ( $F$ ) para cada capa temática ( $C$ ), se aplicó la siguiente fórmula (Ecuación 14). Esta fórmula es utilizada por diversos autores para obtener la susceptibilidad (Castellanos y Van Westen, 2007; Muñiz Jauregui y Hernández Madrigal, 2012; Mujica y Pacheco, 2013 y Hervás, Barredo y Lomoschitz, 2002), una única capa de factores detonantes (FD) (Saha et al., 2002 y Tambo Encalada, 2011) y finalmente la vulnerabilidad (CENEPRED, 2014).

$$M_x = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{i=n} (C_i \times F_i)$$

**Ecuación 14:** Fórmula de procesamiento para la generación de mapas intermedios, donde  $C_i$  representa cada capa temática ( $n$ ) y  $F_i$  es el factor de ponderación resultado de la aplicación de la técnica AHP.

Dónde,  $M_x$  representa cada mapa según sea el caso, la susceptibilidad, los factores detonantes o la vulnerabilidad,  $C_i$  es la capa temática,  $F_i$  es el factor de ponderación y  $n$  el número de capas o factores.

Se reitera que cada producto obtenido es información de base para generar el producto siguiente, por ello para obtener el mapa de peligrosidad, es necesario generar previamente la capa de FD y adicionarla al mapa de susceptibilidad. Luego el mapa de peligrosidad se necesita junto con el de vulnerabilidad para finalmente obtener el mapa final de riesgo.



Debido a la simplicidad del formato raster para realizar estas operaciones, se trabajaron en este formato todas las capas. De esta manera las capas que inicialmente se generaron en formato vectorial se transformaron a formato raster, mediante la herramienta correspondiente que provee el QGIS para realizar esta operación. Utilizando las herramientas raster se llevó a cabo todo el proceso de valoración, cálculo y reclasificación.

Finalmente para facilitar el análisis de las capas intermedias, se elaboró una zonificación normalizada entre valores comprendidos entre cero a uno, facilitando su expresión en porcentaje. De acuerdo a los valores mínimos y máximos, se reclasificaron utilizando intervalos ya que es la que mejor se ajusta a los objetivos, escala y resultados obtenidos de este trabajo.

De esta forma, se definieron cinco categorías para susceptibilidad (Tabla 49), cuatro clases para zonificar la peligrosidad (Tabla 49) y cuatro niveles de vulnerabilidad: baja, media, alta y muy alta (Tabla 51). Los resultados se muestran en el Capítulo **Error!**  
**Reference source not found.**

<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
<b>Muy baja</b>	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Pero se deben tener en cuenta las áreas cercanas con susceptibilidad moderada a muy alta y analizar su posible influencia. Los relieves son muy leves a leves (< 30%).
<b>Baja</b>	Son sectores que pueden requerir medidas de correctivas menores en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Hay que tener en cuenta las áreas cercanas con susceptibilidad moderada a muy alta. Pendientes predominantes entre (30% - 45%). Si existiesen zonas con rellenos mal compactados deben estudiarse y tratarse con especial atención.
<b>Media</b>	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se presentan estudios geotécnicos. En caso de realizarse será de obligación la construcción de estructuras de estabilización, manejo de aguas superficiales y subterráneas, vegetar la zona, entre otros. Al igual que antes, las áreas de rellenos mal compactados deben ser tratadas con cuidado. Pendientes entre (45% - 60%).
<b>Alta</b>	La probabilidad de ocurrir un evento es alta (< 50%) en casos de precipitaciones de intensidad o sismos de magnitud importante. Para su ocupación se deben realizar estudios geotécnicos y los manejos mencionados en la categoría moderada. También tener en cuenta las medidas correctivas necesarias para asegurar la estabilidad del sector. Si esto no puede asegurarse, son zonas que no deben ocuparse y deben destinarse a otros usos. Relieves (60% - 80%).
<b>Muy Alta</b>	La probabilidad de ocurrir un evento es muy alta (> 50%) en caso de precipitaciones de intensidad alta y sismos de magnitud importante. Prohibido su uso, se deben destinar como áreas verdes o de protección. Pendientes muy altas a escarpadas (>80%).

Tabla 49: Zonificación de la susceptibilidad a eventos de remoción en masa modificada de CENEPRED (2014) y Mora (2004) citado por Muñiz Jáuregui y Hernández Madrigal (2012) y Chaverri Molina (2016).

Clasificación	Características
<b>Baja</b>	Son áreas dónde las características del ambiente no son propicias intrínsecamente para generar un evento. Sin embargo, pueden verse seriamente afectadas por eventos ladera arriba. Las pendientes son bajas (15% - 30%). La probabilidad de registrar eventos es muy baja. Se debe estudiar según sea el caso la aplicación de medidas correctivas. Son áreas de acumulación de material.
<b>Media</b>	Las características ambientales, poseen una susceptibilidad media a alta a generar un evento. Se pueden causar daños a infraestructuras y personas. La probabilidad de generarse un evento es moderada. Las pendientes son altas a muy altas (45% - 60%). De acuerdo el caso, será necesaria la aplicación de medidas correctivas.
<b>Alta</b>	Son zonas de alta probabilidad a desencadenarse un evento. Las condiciones ambientales son propicias para que esto suceda, son áreas de pendientes muy altas a escarpadas (60 % - 80%), roca desnuda, expuestas a la meteorización y erosión, junto con fenómenos de congelamiento-descongelamiento. Sector de generación de material. Se deberán aplicar las medidas correctivas necesarias según sea el caso.
<b>Muy Alta</b>	Sectores de ocurrencia de muy alta probabilidad. Son zonas muy inestables, predominan relieves abruptos, pendientes escarpadas (> 80%) y se observan sectores de fallas. Masas de rocas intensamente meteorizadas y alteradas. Depósitos no consolidados y sometidos a erosión intensa.

Tabla 50: Zonificación de la peligrosidad de eventos de remoción en masa modificado de CENEPRED (2014), Ministerio de Vivienda de España (2008), Montiel y Secco (2006), González y Bejerman (2004), Ramírez Navas (2006), Saha et al. (2002) y Tambo Encalada (2011).

Clasificación	Descripción
<b>Baja</b>	Bajas topografías. Presencia de vegetación. Actitud de la población frente al riesgo: parcial y/o provisoria de la mayoría o totalidad de la población, implementando medidas para prevenir el riesgo.
<b>Media</b>	Pendientes predominantes entre 30% - 50%. Exposición de servicios de infraestructura y telecomunicaciones. Suelo desnudo. Erosión hídrica. Actitud frente al riesgo: parcialmente provisoria de la mayoría de la población asumiendo el riesgo pero sin implementación de medidas.
<b>Alta</b>	Topografía del terreno predominante entre 50% - 80% de pendientes. Exposición de servicios de infraestructura y telecomunicaciones. Suelo desnudo. Erosión hídrica. Actitud frente al riesgo: escasamente provisoria de la mayoría de la población.
<b>Muy Alta</b>	Gran porcentaje de áreas sin vegetación. Pendientes > 80%. Pérdida de suelos, mayoritariamente erosión provocada por precipitaciones. Afloramientos rocosos. Servicios de empresas de transporte expuestos. Flora y fauna expuesta.

Tabla 51: Zonificación de la vulnerabilidad de eventos de remoción en masa modificado de CENEPRED (2014).

## 6.1.2. Ponderación de factores de productos intermedios

### 6.1.2.1. Ponderación de factores para mapa de susceptibilidad

A los efectos de realizar la ponderación utilizando la técnica AHP se obtuvo la jerarquización de los factores condicionantes. La relación de consistencia obtenida para todos los casos fue menor al 10 % (Tabla 52). Las tablas de valoración completas se presentan en el Anexo III: Proceso Analítico Jerárquico sección 14.1.

<b>Factores Condicionantes</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Inventario</b>	41,3
<b>Pendientes</b>	25,4
<b>Geología</b>	15,4
<b>Geomorfología</b>	9,0
<b>Vegetación</b>	5,5
<b>Suelos</b>	3,4

Tabla 52 : Jerarquización de factores generales en porcentaje.

Sin embargo, según las visitas realizadas a campo y lo estudiado, todos los factores mencionados son influyentes al momento de desarrollarse un evento de remoción en masa. Algunos, lo serán más que otros como se fue desarrollando a lo largo del trabajo y es necesario compararlos y analizarlos a fin de realizar la jerarquización. Atento a las fuertes pendientes, la pérdida de vegetación, los suelos desnudos, delgados e inclinados, la fractura de las rocas, la meteorización y las formas del relieve que predominan en la zona parecieran ser los factores ambientales más relevantes.

Se consideró al inventario como la variable más destacada, porque representa las áreas donde ya han ocurrido eventos o principio de ellos como la caída de bloques, sectores con fracturas, meteorización, zonas de acumulación de material, entre otros. En segundo lugar las pendientes ya que estos movimientos están influenciados directamente por la gravedad y el relieve (Urra Matus y Jurio, 2012 ; Mergili et al., 2014). En laderas de escasa inclinación, este tipo de movimientos casi no ocurren, la mayoría de ellos, se desarrollan en laderas con una pendiente de entre 63 % - 100% (Gutiérrez Elorza, 2008). Se observó que en sitios con igual pendiente los sectores donde ya han ocurrido eventos poseen mayor probabilidad de ocurrencia.

Luego, la geología participa directamente en la alteración y degradación de la roca parental, que como consecuencia produce la meteorización física y fenómenos de crioclastismo. De esta manera se favorece la fractura de las rocas y el desprendimiento de los suelos superficiales de las laderas. Además, la geología junto con los demás factores, como las altas pendientes, el relieve, la falta de vegetación, suelos y las precipitaciones

intensas facilita el transporte de materiales para alimentar la carga de sedimentos en los cauces (Sepúlveda et al., 2016).

El relieve es un factor que interviene directamente en la acumulación y el transporte de flujos de detritos. La presión ejercida por la orogenia andina y la prolongada exposición a condiciones glaciarias y criogénicas predisponen a este sector, a ser una zona de debilidad e inestabilidad, por la intensa meteorización física y la remoción de material por los hielos (Flint y Fidalgo, 1969; Pereyra et al., 2009). También, el paisaje glacifluvial genera zonas donde los sedimentos tienden a acumularse y a estar disponibles, sin necesidad de predominar las altas pendientes (Sepúlveda et al., 2016).

La vegetación cumple la función de sostener y otorgar estructura a los primeros horizontes del suelo, también evita los procesos erosivos e interviene en la intercepción, infiltración de las precipitaciones y la evapotranspiración, actuando sobre mecanismos hidrológicos y mecánicos como se explicó en secciones anteriores (Gutiérrez Elorza, 2008).

Por último, se consideraron los suelos, esta variable no es menos importante ya que los mismos se encuentran, afectados por influencias externas, como la erosión, los anegamientos, las fuertes precipitaciones acompañadas de fenómenos de descongelamiento - congelamiento que disminuyen su resistencia y cohesión perdiendo estabilidad (Gutiérrez Elorza, 2008). Esta situación se agrava si hay presencia de material rocoso impermeable por debajo, como lo puede ser el granito sin fracturar. En caso de intensas lluvias, los poros del suelo se encuentran saturados, el aumento de la presión de agua en ellos, produce un cambio de consistencia que disminuye la fricción y cohesión interna, y esto hace que el suelo sea propenso a deslizarse (Gutiérrez Elorza, 2008).

En las secciones siguientes se expone la justificación de la ponderación de las clasificaciones correspondientes a los factores descriptos.

#### **6.1.2.1.1. Inventario**

Para analizar estas categorías, se consideró ponderar con valores más altos a las áreas más cercanas a la RN 40 sur que tuvieran pendientes muy altas a escarpadas, rocas desnudas y/o fracturadas y que exista registro de haber ocurrido algún evento. De esta forma, las zonas de taludes expuestos están ponderadas con el mayor valor, ya que se corresponden con sectores de roca desnuda, muy fracturada y expuesta a la meteorización. Luego siguen importancia las áreas de arrastre de material que por lo general, comprenden los sectores donde se desencadenan los eventos. Siguiendo las áreas

de remoción localizada por el mismo motivo, son sectores donde pueden predominar la caída de bloques, y el escarpe principal donde se genera material. Por último las zonas de acumulación de pendientes más leves y las zonas de vegetadas con pendientes leves a moderadas que poseen menos probabilidades aunque no sean nulas. En la Tabla 53 se presenta la jerarquización obtenida.

<b>Variables</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Zona de Taludes</b>	36,1
<b>Cuerpo Principal</b>	24,6
<b>Zona de rocas desnudas y sin o muy escasa vegetación</b>	14,6
<b>Escarpe Menor</b>	10,3
<b>Corona y Escarpe Principal</b>	8,7
<b>Zona de Acumulación</b>	3,5
<b>Zona con vegetación</b>	2,3

Tabla 53: Ponderación de los valores de inventario en porcentaje.

#### 6.1.2.1.2. Pendientes

La forma de evaluar esta clasificación fue otorgándole a la pendiente de mayor porcentaje (más escarpada) los valores más altos, respecto de aquellas con pendientes menos pronunciadas (Tabla 54). En las laderas de escasa inclinación es muy poco probable que se desarrolle un evento de deslizamientos (Gutiérrez Elorza, 2008).

<b>Variables</b>	<b>Ponderación [%]</b>
<b>Escarpada (&gt; 80%)</b>	41,30
<b>Muy alta (60%-80%)</b>	25,40
<b>Alta (45%-60%)</b>	15,40
<b>Moderada (30 %-45%)</b>	9,00
<b>Muy leve (15% -30%)</b>	5,50
<b>Leve (0 % -15% )</b>	3,40

Tabla 54: Ponderación de valores de pendientes en porcentaje.

#### 6.1.2.1.3. Geología

De lo observado a campo y estudiado en bibliografía, se consideraron como más relevantes los fenómenos geológicos potenciales, principalmente los asociados a la presencia del agua debido a la acción evidente de la meteorización, en particular la crioclastia. Esto se debe al elevado grado de fracturamiento de las rocas, que permite la infiltración del agua, que al aumentar la saturación de la masa, se forman presiones positivas en las fracturas las cuales, meteorizan la roca y pueden desestabilizar la ladera y desencadenar un deslizamiento (Capra et al., 2003).

También se tuvieron en cuenta los tipos de rocas observados, la alteración, la exposición y el fracturamiento de las mismas. Como se mencionó, el granito es una roca impermeable, pero al encontrarse tan meteorizado y fracturado posee una permeabilidad

secundaria, exponiéndolo a fenómenos erosivos y crioclastia. En resumen, la mayor cantidad de material clástico suelto es aporte de los sectores de mayores altitud, que formaban parte de en un ambiente glaciar (Pleistoceno) y que actualmente es periglaciar.

Por ello se ponderó en primer lugar las rocas más meteorizadas, siguiendo por las menos meteorizadas y luego la superficie de erosión deposición dónde se acumula el material cercano a la RN 40 Sur. También hay áreas de taludes de rocas expuestos que se encuentran muy fracturados sobre la RN 40 Sur. Los depósitos coluviales y aluviales, los depósitos glaciares y la unidad correspondiente a los fondos de valle, se considera en un mismo nivel de importancia ya que en este caso, son litologías que se observaron en zonas de bajas pendientes. La ponderación se presenta en la (Tabla 55)

<b>Variables</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Rocas ígneas muy meteorizadas y fracturadas</b>	46,4
<b>Rocas ígneas moderadamente meteorizadas y fracturadas</b>	25,1
<b>Rocas mixtas (metamórficas e ígneas)</b>	12,8
<b>Depósitos coluviales y aluviales- Holoceno</b>	5,2
<b>Depósitos glaciares-Morena - (Pleistoceno)</b>	5,2
<b>Fondo de valle - Sedimentos antiguos</b>	5,2

Tabla 55: Ponderación de las unidades geológicas en porcentaje

#### **6.1.2.1.1. Geomorfología**

El principal aporte de estos factores que se estudiaron para desencadenar movimientos de remoción en masa son: la energía del relieve, la exposición del área y la geometría. Esta última puede modificarse por acciones naturales como la meteorización y la erosión, o antrópicas como los desmontes e incendios, entre otras cosas (Gutiérrez Elorza, 2008). Se otorgó una mayor jerarquización al relieve criogénico que participa directamente en la generación del material disponible, al igual que el área de los laterales de valle donde se observaron taludes expuestos con roca meteorizada sobre la RN 40 Sur, combinado con la presencia de fuertes pendientes. Luego continúa el relieve de erosión deposición, con pendientes medias, porque es un área de acumulación de material y de exposición a la erosión. Por último con el mismo criterio se ponderaron las áreas menos intervinientes de acuerdo a su actuación en movimientos de remoción en masa. La ponderación se muestra en la (Tabla 56

<b>Variables</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Relieve de glaciar criogénico</b>	46,4
<b>Laterales de valle</b>	25,1
<b>Relieve de erosión deposición</b>	12,8
<b>Relieve de depósitos coluviales y aluviales</b>	5,2
<b>Relieve de fondo de valle</b>	5,2
<b>Relieve de morena lateral</b>	5,2

Tabla 56: Ponderación de las variables de geomorfología en porcentaje

#### **6.1.2.1.2. Vegetación**

Para la evaluación de la vegetación se consideraron aquellas condiciones más favorables para desencadenar un evento de remoción en masa. Entre ellas, la más relevante es la pérdida de la vegetación en sí misma, que trae como consecuencia directa la pérdida de estructura y sostén del suelo dejándolo susceptible a la erosión.

En conjunto con las causas enunciadas en secciones anteriores, en relación a los mecanismos hidrológicos y mecánicos, también se estudiaron las principales características, criterios e indicadores que fueron expuestos por (Chauchard, 2016)<sup>5</sup>. Se tomaron aquellas pautas relevantes para los objetivos de este trabajo y se evaluaron de forma general.

Se consideraron los factores físicos y ambientales relacionados con la ubicación de la vegetación de acuerdo a su topografía, el suelo que lo sostiene y la exposición a los factores climáticos principales. Asimismo, se observó la profundidad ya que es el espacio que la vegetación dispone para desarrollar su sistema radicular, lo cual determinará la fuerza del anclaje al suelo, el grado de pendiente, la susceptibilidad de caída podría aumentar con el aumento de la pendiente, pero además es importante el entorno de la vegetación teniendo en cuenta, el anclaje, la exposición a factores climáticos en particular la exposición a los vientos y nieve, la cercanía a árboles vecinos teniendo en cuenta la arquitectura de los mismos, el tamaño y estado de la misma.

Y por último la morfología de la vegetación, considerando la copa, el tronco y la raíz y su estatus de competencia frente a los vecinos como pautas principales. Sin embargo, luego de la observación a campo, se incluyeron en el análisis, la capacidad de la vegetación de responder frente a un disturbio (incendios, deforestación, entre otros.) y la

---

<sup>5</sup> Participación en el curso de capacitación "Evaluación de Árboles en Riesgo en zonas urbanas y recreativas", en forma presencial dictado 4, 5 y 6 de Julio de 2017 organizado por Municipalidad de Bariloche y Servicio Forestal Andino.

cercanía a la ruta de los individuos. Considerando lo expuesto, en la (Tabla 57) se muestra la valorización obtenida.

<b>Variabes</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Semidesierto de altura</b>	26,7
<b>Coihue</b>	18,0
<b>Lenga</b>	16,9
<b>Lenga achaparrada</b>	14,4
<b>Matorral mixto</b>	11,3
<b>Ciprés</b>	5,3
<b>Matorral de ñire</b>	4,1
<b>Mallín</b>	3,2

**Tabla 57: Ponderación de la variable vegetación en porcentaje**

De esta manera el semidesierto de altura posee el mayor porcentaje porque en su mayoría representa suelo desnudo expuesto a la erosión y meteorización. Por consiguiente esta área es la que aporta material y sedimento de arrastre. Se consideró que el área de coihues representa una mayor tendencia a producir eventos que la lenga achaparrada y la lenga, aunque estas se encuentran a mayor altura y más expuestas a condiciones climáticas, porque estos ejemplares se encuentran sobre suelos con pendientes de más de 70% muy cercanos a la ruta. También hay que considerar que, si bien, el efecto mecánico de las raíces refuerza y contrarrestan la gravedad de las pendientes, y el peso de la vegetación sobre el suelo aumenta la carga normal y por consiguiente la resistencia al deslizamiento. Pero en coberturas muy densas un bosque de coihue, donde se predominan ejemplares de gran altura sobre fuertes pendientes puede ser contraproducente y generar mayor propensión a los procesos de remoción en masa (Mujica y Pacheco, 2013). Se observaron, algunos ejemplares caídos, con bifurcaciones.

Luego se evaluaron las unidades de la lenga y la lenga achaparrada, ambas se encuentran en áreas de altas pendientes. La primera se ponderó con un mayor valor que la segunda siguiendo el razonamiento explicado para el coihue, debido a que son árboles de gran altura en áreas de altas pendientes, expuestos a condiciones climáticas como fuertes vientos y a la nieve por más tiempo. La excesiva carga de nieve puede dañar el árbol inmediatamente o en forma progresiva, así el colapso podría producirse en cualquier época del año (Chauchard, 2016). También hay que tener en cuenta que estos bosques de lenga se encuentran cubriendo la parte media-alta de las unidades hidrológicas con las condiciones más favorables para producir eventos.

Siguiendo la unidad del matorral mixto porque se encuentra en áreas de altas pendientes y más propensas a sufrir disturbios como incendios o talas. Aunque son



especies de fácil crecimiento y rebrote luego de un disturbio. Continúan el ciprés, el matorral de ñire y por último el área de mallines. Estos se encuentran en áreas más bajas, el ciprés es levemente más proclive que el matorral de ñire por criterios de entorno, forma de árbol ya explicadas.

### 6.1.2.1.3. Suelos

Para evaluar las unidades edafológicas se ponderaron con valores mayores aquellos suelos más expuestos a la acción del clima, la erosión, la meteorización y con mayores pendientes (Tabla 58). Por ello el valor mayor corresponde al área de semidesierto de altura, luego a los laterales de valle de pendientes altas a escarpadas. Por último, se tomaron en un mismo nivel las categorías con pendientes más leves a muy leves

<b>Variables</b>	<b>Ponderación [ %]</b>
<b>Cumbre semidesierto de altura</b>	39,4
<b>Laterales de valle glaciar</b>	27,9
<b>Suelos de abanicos</b>	6,5
<b>Suelos de mallín</b>	6,5
<b>Suelos de morena</b>	6,5
<b>Suelos de relieve de deposición</b>	6,5
<b>Suelos de valle</b>	6,5

Tabla 58: Ponderación de valores de suelos en porcentaje

Por lo general, este tipo de suelo presenta una alta porosidad (poros finos- 75% - 80 %), luego de una lluvia torrencial, pueden ocurrir fenómenos de soliflucción. Asimismo, estos suelos se encuentran sobre sedimentos glaciares del Pleistoceno y sobre roca más antigua, de características semi permeables o impermeables, luego de un gran aporte de humedad, la misma puede actuar como una película deslizante y provocar un deslizamiento.

### 6.1.2.2. Ponderación de Factores para Mapa de Peligro

Del mismo modo que se realizó para el mapa de susceptibilidad, en primer lugar se valoraron los cuatro factores desencadenantes estudiados. De igual modo se aplicó la técnica AHP y el resultado de la jerarquización se muestra en la Tabla 59. Todas las tablas de valoración completas se presentan en el Anexo III: Proceso Analítico Jerárquico sección 14.2. En todas las valoraciones realizadas la relación de consistencia fue menor al 10 %.

<b>Factores Desencadenes</b>	<b>Ponderación [%]</b>
<b>Precipitaciones estacionales Acumuladas</b>	48,24
<b>Unidades Hidrológicas</b>	27,18
<b>Incendios</b>	15,75
<b>Isotermas</b>	8,83

Tabla 59: Jerarquización de los factores desencadenantes por el método AHP.

Según lo estudiado en bibliografía, lo observado en el campo, el análisis de los datos meteorológicos se tomó a las precipitaciones estacionales acumuladas como el principal factor desencadenante responsable de la rotura de una ladera.

Varios autores han observado, que el factor lluvia es determinante para el desencadenamiento de este tipo de eventos (Alonso Moreno, et al., 2006; Aristizábal et al., 2010b; Corominas, 2006; Espíritu Tlatepla, 2012; González et al., 2013; Gutiérrez Elorza, 2008; Kanji et al., 2001; Paz Tenorio et al, 2017; Roa, 2007), por lo tanto se lo considera como el gran detonador. En muchos casos los flujos de detritos pueden ocurrir rápidamente a causa de una lluvia torrencial, en particular después de registrarse precipitaciones de intensidad moderada a baja durante periodos largos de tiempo de 10 días a 15 días (Kanji et al., 2001).

Las precipitaciones actúan sobre los demás factores en algunos casos potenciándolos, por ejemplo, son un agente activo en los procesos meteorización (crioclastía), generando material de arrastre (Gutiérrez Elorza, 2008). También, las intensas precipitaciones que se producen en períodos cortos aumentan los caudales en los cauces sobresaturando el terreno rápidamente (Roa, 2007).

En la misma línea de análisis, continúan en importancia las unidades hidrológicas, la forma en que cada unidad recibe y da una respuesta hidrológica a la precipitación es determinante. Las características físicas de cada una influyen notablemente sobre la respuesta hidrológica de la misma. Esta situación depende directamente de los parámetros morfométricos (Díez Herrero et al., 2008), como se explicó en secciones anteriores. En tercer lugar, los incendios producen la alteración de la superficie del suelo que tiene consecuencia en las respuestas hidrológicas del área afectada y los caudales punta (Sempere et al., 1994). Del mismo modo, la falta de vegetación favorece la erosión, la modificación de la estructura y la disminución de la función de la misma como sostén del suelo.

Siguiendo el mismo criterio anterior, de acuerdo a la bibliografía consultada y las observaciones a campo, se ha estudiado que la temperatura, favorece la generación de material detrítico debido a la respuesta de los materiales a los cambios de temperatura. De la misma forma, este factor interviene en el congelamiento de los primeros cm de suelo, que pueden afectar la cohesión de los materiales que lo conforman y por lo tanto su estabilidad.

Los factores mencionados actúan como un conjunto afectando e interviniendo en las diferentes situaciones en las cuales se pueden generar un movimiento de remoción en masa, jerarquizarlos de esta forma no deja de ser un análisis correspondiente a la aplicación del modelo de estudio.

#### **6.1.2.2.1. Precipitaciones estacionales acumuladas corregidas por altura**

Las precipitaciones fueron evaluadas considerando valores más altos a las clases de mayor precipitación respecto a los valores de menor precipitación, considerando que un mayor volumen de agua recibido es una situación que favorece el desarrollo de un movimiento de remoción en masa.

<b>Precipitación estacional acumulada corregida por altura [mm ]</b>	<b>Ponderación[%]</b>
>1200	36,41
1100-1200	26,04
1000-1100	16,11
900-1000	10,78
800-900	6,33
<800	4,34

Tabla 60: Ponderación de las precipitaciones acumuladas estacionales corregidas por altura, por el método AHP.

#### **6.1.2.2.2. Unidades Hidrológicas**

Para la evaluación de las unidades hidrológicas se consideró el resultado del análisis realizado previamente en la sección 5.5.2.2, los parámetros morfométricos obtenidos para cada unidad junto con la precipitación estacional acumulada corregida por altura que recibe cada una de ellas y las observaciones a campo. Se evaluaron las unidades hidrológicas N° 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10 y 11 (ver Figura 22), por ser las más relevantes para este trabajo se acuerdo a lo estudiado y a lo observado.

En relación a los parámetros morfométricos obtenidos, los de forma cuyos valores que oscilaron entre cero y uno, demuestran que la geometría predominante en las unidades es circular o redondeada. Según lo expuesto por (González de Matauco, 2004) esta característica física no intensificará la respuesta de los afluentes sobre el colector principal, si todas las unidades analizadas conservan esta forma. Tendencia observada en la Tabla 41.

Los factores más determinantes para la respuesta de una unidad hidrológica son la pendiente media, la precipitación recibida y la densidad de drenaje. Para aquellas unidades descriptas como más problemáticas se tendrán en cuenta los resultados de las curvas hipsométricas y por consiguiente su exposición y posible respuesta a la erosión.

Las cuencas de mayores pendientes, poseen una mayor velocidad en la escorrentía, y una respuesta más rápida a la precipitación incrementando sus caudales en la salida. (González de Matauco, 2004). En relación a la densidad de drenaje, este factor interviene directamente en la respuesta de una unidad hidrológica, ya que la forma de red condiciona la velocidad y el grado de incorporación de las precipitaciones o aportes de las vertientes (Díez Herrero et al., 2008). Una densidad alta refleja una unidad bien drenada que responde rápido a la precipitación, en cambio una unidad con baja densidad refleja un área débilmente drenada con respuesta hidrológica muy lenta (Linsley et al., 1977).

También se analizaron las relaciones hipsométricas de las unidades mencionadas, que juntos con las observaciones realizadas en el campo, se pudo evaluar el estado de intervención antrópica, presencia de vegetación, afectación de incendios, cortes de taludes de suelo a lo largo de los cauces y señales de erosión.

En orden creciente de importancia, se consideraron las unidades N° 2, 6, 7 y 8. Comparando estas dos últimas ya que poseen un relieve más accidentado, se identificó que la N°7 es la más modificada antrópicamente, por lo observado en el campo, por los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos y la relación hipsométrica posee un potencial erosivo muy alto. También se observó que el cauce que la atraviesa, posee un caudal mayor y mayor incidencia de eventos ocurridos. Del mismo modo, evaluando las mismas características, se ordenaron en forma decreciente las unidades N° 6, 2 y 8.

De acuerdo a lo explicado se procedió a la valoración según la técnica AHP, el resultado se muestra en la siguiente Tabla 61.

<b>Unidades Hidrológicas</b>	<b>Ponderación [%]</b>
7	27,73
6	19,31
2	15,9
8	11,2
5	8,12
3	6,29
4	4,43
9	3,39
10	2,25
11	1,37

Tabla 61: Ponderación de unidades hidrológicas utilizando el método AHP.

#### **6.1.2.2.3. Temperatura**

Este factor se evaluó, otorgándole a las temperaturas más bajas los valores más altos, respecto a los registros de temperaturas más altas (Tabla 62). Los fenómenos de

crioclastía se dan más fuertemente en las zonas de temperatura más bajas, que coinciden con los puntos más altos de la ladera. En algunos casos, se observó una coincidencia con los sectores de relieves abruptos, generación y arrastre de posible material de caída y sedimentos.

Temperatura [°C]	Ponderación [%]
8,91	2,39
7,91	3,31
6,71	5,62
5,61	7,48
4,51	11,44
3,41	17,71
2,31	22,61
1,21	29,43

Tabla 62: Ponderación de los valores de la capa Temperatura por el método AHP.

#### 6.1.2.2.4. Incendios

Para valorizar la capa de incendios no se utilizó el método AHP, debido a que es una capa con dos clases, como se explicó en la sección 5.5.4. Se tomaron los valores de cero y uno para diferenciar las áreas no incendiadas, de las incendiadas respectivamente. Luego se aplicó la ponderación general correspondiente.

#### 6.1.3. Ponderación del Mapa de Vulnerabilidad

Se realizó la valorización por el método AHP de la misma forma que se realizó para las variables anteriores, el resultado general de muestra en la Tabla 63 , en el Anexo III sección 14.3 se presentan las tablas completas con la jerarquización AHP para cada caso. Este resultado se adicionó al mapa de peligrosidad según la metodología detallada en el capítulo 4. Los resultados obtenidos se muestran en el capítulo **Error! Reference source not found.** sección 7.3.

Clasificación	Ponderación [%]
Usos del Sector	9
Pérdida de Suelo	15
Erosión de los cauces	29
Ruta	48

Tabla 63: Ponderación por método AHP de los factores la vulnerabilidad.

El criterio de ponderación utilizado se sustentó en considerar a la ruta 40 sur como el principal elemento expuesto ya que conecta tanto el factor económico, ambiental y social. Las personas se encuentran expuestas a los eventos de remoción en masa cuando se encuentran transitando o haciendo uso de la misma. Por lo tanto se le otorgó el mayor

valor. Luego se jerarquizó la “erosión de los cauces” debido a que las características físicas de su entorno y el estado de erosión de los mismos pueden producir modificaciones directamente sobre la ruta. De la misma forma estos dos últimos factores se verán afectados por la pérdida de suelo y vegetación, debido a que aumentará la escorrentía y la erosión de los cauces, ya sea de forma natural o antrópica (arreglos realizados después cada evento o desborde), afectando directamente a la ruta. La pérdida de suelo, fue evaluada de acuerdo a la presencia de roca desnuda, taludes expuestos y pérdida vegetal con principal afectación o que pueden afectar de forma inmediata sobre la Ruta 40 Sur.

Luego se jerarquizaron los usos, ya que se relacionan directamente con el área de influencia de la ruta, áreas de costa y de picnic, senderos y el área de la cantera que se encuentra muy modificada antrópicamente. Además este sector representa una zona de acumulación de material suelto. Para la capa de erosión de los cauces, se consideró un área de influencia como se indicó, y se valorizarán de acuerdo al grado de modificación antrópica y mal manejo que se observó en el campo., ya que se consideró que los mismos afectan en menor medida el elemento expuesto principal.

#### **6.1.3.1. Degradación de cobertura de suelo**

Con el mismo criterio de análisis, esta capa se ponderó priorizando la ruta 40 sur como eje central del análisis, por ello aquellas clases que intervienen de forma directa en la modificación de sus características y su entorno se le otorgaron los valores mayores (Tabla 64).

De esta manera la clase de “Meteorización de taludes expuestos” presentará un mayor valor, porque esta unidad está conformada principalmente por taludes de roca de pendientes altas a muy escarpadas, diaclasadas y fracturadas o suelos desnudos. La clase de “Erosión por pérdida de vegetación”, está comprendida por sectores de altitudes medias a superiores con suelo desnudo, sin vegetación o en recuperación, como lo es el sector del incendio ya mencionado. Algunos de estos sectores se ubican en los sectores medios y altos de las unidades hidrológicas pudiendo modificar sus parámetros físicos y por lo tanto la respuesta de las mismas frente a una precipitación. Por último la zona, de “Erosión y meteorización de rocas”, se encuentra en altitudes medias y se corresponden con sectores de roca natural, menos susceptibles a la erosión.

<b>Degradación de cobertura</b>	<b>Ponderación [%]</b>
<b>Erosión y meteorización de rocas</b>	13
<b>Erosión por pérdida de vegetación</b>	22
<b>Meteorización de taludes expuestos</b>	65

Tabla 64: Ponderación de la capa degradación de cobertura suelos por el método AHP.

### 6.1.3.2. Erosión de los cauces

Los cauces de altitudes medias a bajas, se van a ponderar con valores mayores debido a que en este punto, alguno de ellos recibe los caudales de los cauces de las altitudes mayores. En sectores más bajos se encuentran erosionados, antropizados y en algunos casos han reformado su curso. Además, se encuentran afectando directamente a este tramo de ruta. Igualmente, se reitera que todos los cambios que ocurriesen en los cauces de alta montaña afectarían los tramos de los cauces correspondientes a altitudes menores (

Tabla 65).

Erosión de cauces	Ponderación [%]
Cauce altitudes altas	25
Cauce altitudes medias a bajas	75

Tabla 65: Ponderación de la capa Erosión de cauces por el método AHP.

### 6.1.3.1. Usos del sector

Las áreas más degradadas son más vulnerables, con respecto a los sectores en estado más natural aunque se haga uso de los mismos. Para los demás sectores que se incluyen en la clasificación, se consideró su ponderación de acuerdo a la afectación directa sobre la ruta, teniendo en cuenta la exposición de las personas.

Clasificación	Ponderación [%]
Área Protegida	12
Sendero	22
Área de Picnic y Uso de Costas	25
Área de degradación antrópica	41

Tabla 66: Ponderación de la capa Usos del sector por el método AHP.

## 7. Resultados Finales: Integración de la información en un sistema de información geográfica y generación del producto cartográfico final

Para la construcción del mapa de riesgo, se utilizaron los conceptos desarrollados en las secciones anteriores siguiendo la metodología establecida. En síntesis toda la información generada a lo largo de los capítulos expuestos fue utilizada como material de base para generar el producto siguiente para cumplir el objetivo de producir el mapa de riesgo del sector de estudio (Figura 28)

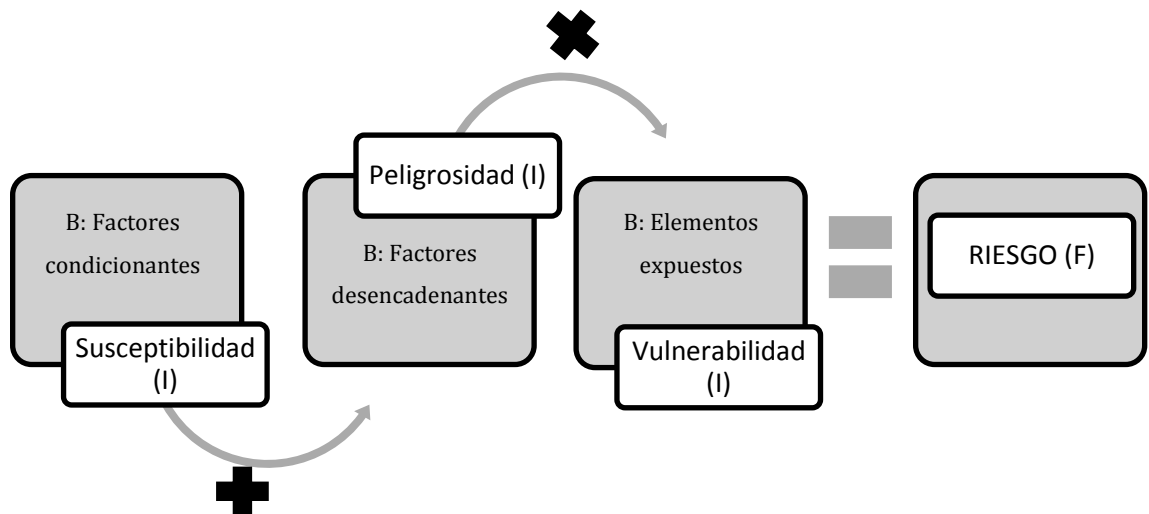


Figura 28: Metodología simplificada donde se indican los productos base (B), los resultados intermedios (I) y el resultado final (F).

De esta forma, el riesgo se obtuvo al relacionar la peligrosidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos de acuerdo a la aplicación de la Ecuación 15. Esta forma de cálculo de riesgo es aceptada mundialmente y es utilizada por numerosos autores e instituciones relacionadas con la gestión del riesgo (CENEPRED, 2014, González de Vallejo, et al., 2004, Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2011, Ministerio de Vivienda de España, 2008, Renda et al., 2017 y Zarco et al., 2003).

$$R = P \times V$$

**Ecuación 15: Ecuación para la evaluación del riesgo. Donde P es peligrosidad y V Vulnerabilidad (CENEPRED, 2014, González de Vallejo, et al., 2004, Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2011, Ministerio de Vivienda de España, 2008, Renda et al., 2017 y Zarco et al., 2003).**

Finalmente considerando el objetivo de este trabajo, teniendo en cuenta la escala de este trabajo y lo estudiado en la bibliografía (CENEPRED, 2014, González de Vallejo, et al., 2004, Lario Gómez y Bardají Azcárate, 2011, Ministerio de Vivienda de España, 2008,



Renda et al., 2017 y Zarco et al., 2003) se definieron cuatro niveles de riesgo: bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 51). Para definir los límites de las clases se examinaron los valores extremos resultantes y lo observado a campo. De igual modo se utilizaron las herramientas raster del software QGIS y los valores obtenidos de normalizaron de la misma forma que se realizó para el resto de los mapas obteniendo valores de riesgo de entre 0 – 1, que se expresaron en porcentaje. El resultado final se muestra en el capítulo **Error! Reference source not found.** sección 7.4.

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Bajo</b>	Está representado por sectores mayormente vegetados, relieve suave, pendientes bajas, laderas con materiales poco fracturadas. Moderada meteorización, parcialmente erosionadas. Zonas sin fallas o fracturas, suelos con buenas características geotécnicas. No sería necesaria la aplicación de medidas estructurales. Desarrollo de medidas previsoras incluyendo la participación de la población y los diferentes actores involucrados.
<b>Medio</b>	Áreas de relieve rocoso y pendientes medias. Cobertura vegetal entre 20 % - 40%. Laderas con señales de erosión, materiales saturados, moderadamente meteorizadas. Zona ligeramente fracturada, suelos de mediada capacidad portante. Márgenes de ríos y arroyos deteriorados, erosionados y mal manejados. Se deberá considerar la aplicación de medidas estructurales y no estructurales según sea el caso.
<b>Alto</b>	Sectores inestables, macizos rocosos muy fracturados y erosionados. Relieve montañoso. Pendientes altas a muy altas. Alteración intensa. Depósitos superficiales no consolidados, materiales parcialmente o muy saturados. Zonas de erosión intensa. Deforestación o pérdida de cobertura vegetal (40 % - 70%). Presencia de suelos de baja capacidad portante. Aplicación de medidas estructurales y no estructurales.
<b>Muy Alto</b>	Erosión principalmente provocada por lluvias intensas con pendientes muy altas a escarpadas. Zonas fracturadas, con posible presencia de fallas. Macizo rocoso muy meteorizado, expuesto a erosión constante. Sectores inestables, depósitos superficiales no consolidados y áreas de erosión intensa. Modificación de márgenes de ríos y arroyos. Falta de cobertura vegetal (70% - 100%). Aplicación de medidas estructurales y no estructurales. Puede ocurrir que las medidas a aplicar sean de alto costo o la falta sea inevitable, esto deberá estar sustentado por informes técnicos realizados por profesionales de incumbencia e instituciones públicas.

Tabla 67: Zonificación del riesgo de movimientos de remoción en masa modificado de CENEPRED, (2014), González de Vallejo et al. (2004), Lario Gómez y Bardají Azcárate ( 2011).

## 7.1. Mapa de Susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad obtenido se muestra en la Figura 29, según la zonificación planteada en la Tabla 49 y la clasificación realizada en la metodología, se muestran los siguientes niveles o grados de susceptibilidad, el cálculo de la superficie de cada clase en relación a las características del sitio y los factores condicionantes analizados (Tabla 68). Los porcentajes indicados para el grado de susceptibilidad

dependen directamente de los valores normalizados valorizados por el método AHP resultante del cruce de capas, de igual forma para los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Los límites dependen de los valores mínimos y máximos.

GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD	SUPERFICIE [Ha]	RESULTADOS - Características del sitio
<b>Muy Baja (&lt; 1%)</b>	933	Representa un 13% de la superficie total analizada. Mayormente se corresponde con sectores debajo de la cota 900 m, aunque se diferencian algunos sectores localizados sobre la cota 1000 m. Las pendientes predominantes son "Muy Leves" (< 15%). Coincide con sectores de "Depósitos coluviales y aluviales" y "Fondo de valle" y sus relieves correspondientes. La vegetación afectada es "Matorral Mixto" acompañada de "Matorral de Ñire", "Ciprés" y "Coihue". Los suelos preponderantes coinciden con "Suelos de abanicos aluviales", "Suelos de mallín", "Suelos de valle glaciario" y zonas de "Suelos de relieve de erosión-deposición < 900 m". Se corresponde con los sitios de acumulación de material y las áreas de mayor cobertura vegetal.
<b>Baja (1% - 25%)</b>	1579,5	Significa casi un 23% de la superficie de análisis. Representa áreas de pendientes "Leves" (15% - 30%), coincide con las cotas menores a 1000 m y pequeños sectores localizados entre los 1100 m, 1200 m y 1300 m. La geología se corresponde con las zonas de "Superficie de erosión deposición", "Depósitos glaciares-Pleistoceno (morenas)" y algunos sectores de "Depósitos aluviales" con sus relieves respectivos. La vegetación presente es "Matorral Mixto", "Coihue", "Ciprés" y "Matorral de Ñire". Coincide con la clasificación de "Suelos de relieve de erosión-deposición < 900 m", "Suelos de morena" y "Suelos de mallín". De la misma forma se corresponde con algunos sectores de acumulación de material y sectores de arrastre.
<b>Media (25% - 50%)</b>	2298,6	Es un 33 % de la superficie de estudio. Las Pendientes son "Medias" (30% - 45%) y "Altas" (45% - 60%). Se observan áreas dispersas a partir de los 1000 m hasta los 2100 m en sectores pequeños (aproximadamente 1 Ha.). La geología predominante es "Rocas ígneas moderadamente meteorizadas y fracturadas", con algunos sectores de "Rocas ígneas muy meteorizadas y fracturadas" coincidentes con los puntos más altos junto con algunos sectores de "Superficie de erosión deposición" que se corresponden con pendientes "Altas". Domina el "Relieve de laterales de Valle" con alternancia de "Relieve de erosión deposición". La vegetación es variada, sobresale la unidad de "Lengas" y "Lengas achaparradas" con secciones de "Matorral Mixto" y "Semidesierto de Altura". Los suelos afectados son la unidad de "Laterales de valle glaciario (1600 m - 1100 m)", con zonas de "Suelo de erosión deposición" y "Divisoria y cumbres". Esta clasificación incorpora los sectores de taludes y aquellas áreas de acumulación que se encuentran mayormente modificadas antrópicamente.

<b>Alta (50% - 75%)</b>	1744,8	<p>Representa casi un 25% de la superficie de estudio. Las pendientes son "Muy Altas" (60% - 80%). Las altitudes que abarca son variadas, desde los 800 m - 2100 m. Predominan las "Rocas ígneas muy meteorizadas y fracturadas" junto con el "Relieve Criogénico". También comprende zonas "Rocas ígneas moderadamente meteorizadas y fracturadas" y Superficie de erosión deposición" que se corresponden con sectores de pendientes "Altas" a "Muy Altas". La vegetación predominante se corresponde a "Semidesierto de altura", "Lenga Achaparrada", "Lenga" y "Coihue". Con sectores de matorral lindantes con la ruta correspondiente a sitios de taludes expuestos y roca meteorizada o expuesta a la erosión. Los suelos afectados principalmente son "Divisoria y Cumbres" junto con "Laterales de Valle Glaciar" y zonas de "Suelos de erosión deposición". Está afectada por zonas escarpe Menor y remoción localizada y sectores muy modificados antrópicamente.</p>
<b>Muy Alta (75% - 100%)</b>	439,2	<p>Corresponde a un 6% de la superficie total de estudio. La pendiente es "Escarpada" (&gt; 80%). Se observan sectores de entre los 800 m - 1600 m coincidentes con esta clasificación de pendientes. La geología predominante se corresponde con las áreas de roca ígneas meteorizadas y muy meteorizadas, junto con sectores del relieve de erosión deposición muy meteorizados o modificados antrópicamente. El relieve afectado es de glaciar criogénico, laterales de valles y algunos puntos de erosión deposición. En relación a la vegetación pertenece a sectores variados desde sectores de con poca o nula cobertura hasta zonas de matorral mixto y coihues. Predominando sectores de "Semidesierto de Altura", "Lenga Achaparrada" y "Lenga". Los suelos corresponden a las unidades de "Divisoria y Cumbres" junto con "Laterales de Valle Glaciar" y zonas de "Suelos de erosión deposición". Incluye los sectores de corona y escarpe principal.</p>

Tabla 68: Grados de susceptibilidad resultantes



### Mapa de Susceptibilidad de Movimientos de Remoción en Masa en el Área del Lago Guillermo, RN 40 sur, P.N. Nahuel Huapi.

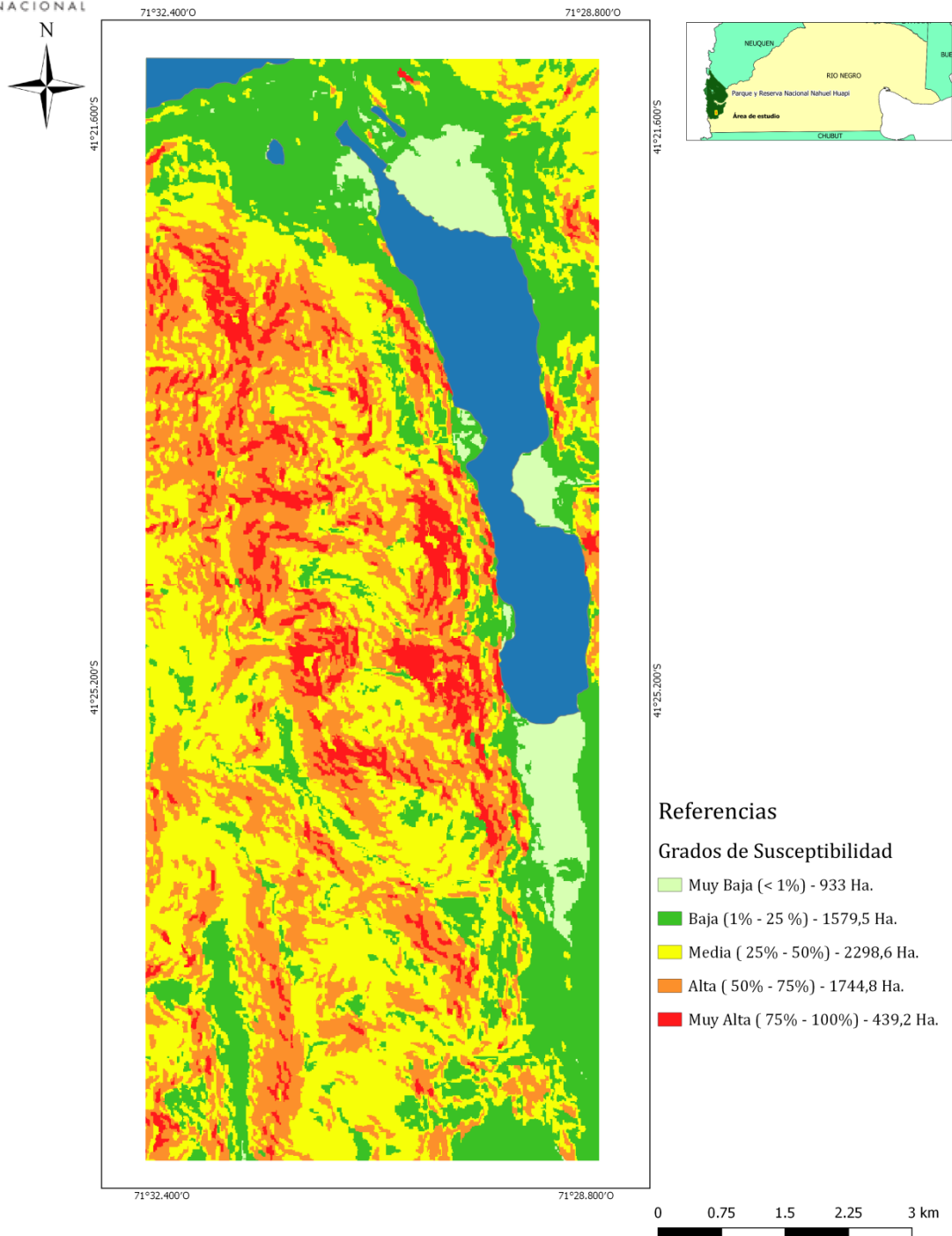


Figura 29: Mapa de Susceptibilidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi.

## 7.2. Mapa de Peligrosidad

Según la zonificación planteada en la Tabla 50 y la clasificación realizada en la metodología, el mapa de peligrosidad resultante se muestra en Figura 30. A continuación

se describen los grados de peligrosidad y el cálculo de la superficie de cada clase en relación a las características del sitio y los factores detonantes (Tabla 69). Igualmente, los porcentajes dependen de los valores normalizados valorizados por el método AHP y la elección de los límites dependen de los valores mínimos y máximos resultantes.

<b>GRADOS DE PELIGROSIDAD</b>	<b>SUPERFICIE [Ha]</b>	<b>RESULTADOS – Características del sitio</b>
<b>Baja (&lt;= 25 %)</b>	2000	Esta categoría está representada por el 28,6 % de superficie estudiada. Este sector corresponde a los sitios de temperatura más alta (> 7 ° C) y por lo tanto con las precipitaciones estacionales más bajas (< 900 mm). Asimismo, está compuesto de los sitios de salida de las unidades hidrográficas que menos elevación media poseen y menos caudales. Coincide con las áreas más bajas de menores altitudes.
<b>Media (25% - 50%)</b>	1480,6	Comprende el 21,2% de la superficie analizada. Esta zona está afectada por temperaturas entre los (4°C - 6°C) y por precipitaciones estacionales (900 mm - 1100 mm). Parte de esta área se encuentra afectada por la pérdida de vegetación producto del incendio. De la misma forma, comprende aquellos sitios de salida de las unidades hidrográficas de elevaciones medias más elevadas y mayores caudales.
<b>Alta (50 % - 75%)</b>	1874,3	Corresponde al 26,8% del sitio. Está afectada por temperaturas entre los (3°C - 6°C) y por precipitaciones estacionales (900 mm - 1200 mm). La totalidad del incendio se encuentra en este sector. Incluye las áreas de las unidades hidrográficas más elevadas.
<b>Muy Alta (&gt;=75 %)</b>	1640,6	Representa el 23,4% del sector. Esta clase está caracterizada por las temperaturas más frías (< 3°C) y por las precipitaciones estacionales más altas (> 1200 m). Incluye sectores afectados por incendio, en menor proporción que la zona anterior. Comprende los sitios de la divisoria de aguas juntos con los puntos más elevados de las unidades hidrográficas.

Tabla 69: Grados de peligrosidad obtenidos.



### Mapa de Peligrosidad de Movimientos de Remoción en Masa en el Área del Lago Guillermo, RN 40 sur, P.N. Nahuel Huapi.

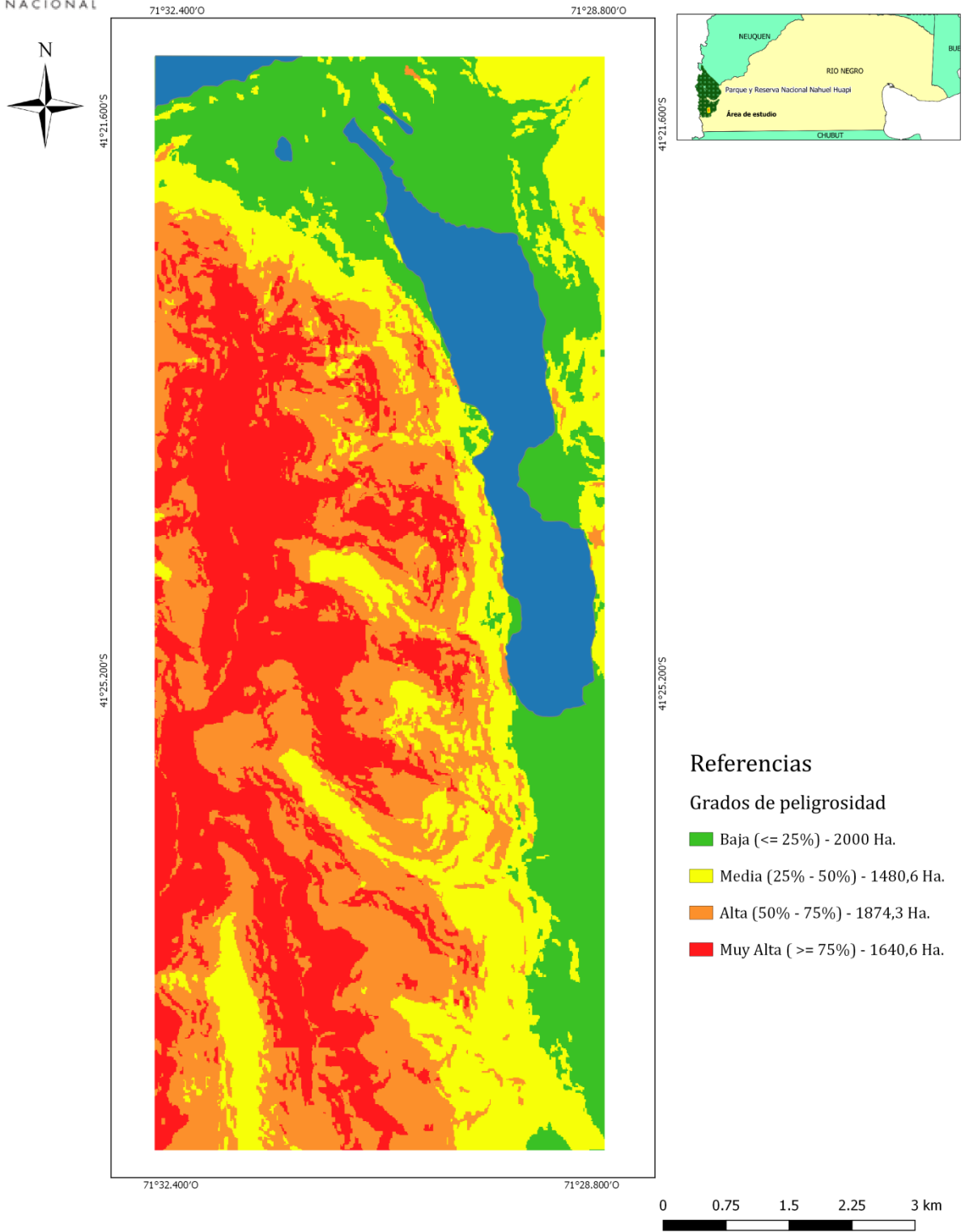


Figura 30: Mapa de Peligrosidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi.

### **7.3. Mapa de Vulnerabilidad**

De la misma manera que se realizó para las secciones anteriores se exponen los resultados del mapa de vulnerabilidad (Figura 31) de acuerdo a la zonificación planteada en la Tabla 51. Para la descripción de los grados de vulnerabilidad se analizaron los factores intervinientes presentados en la sección **Error! Reference source not found.** Asimismo, se calcularon las superficies correspondientes a cada clase con sus respectivos valores de porcentaje producto del método AHP y de la superficie total estudiada. También los límites de cada clase dependen de los valores mínimos y máximos resultantes (Tabla 70).

En este caso se debe destacar que todo el sector es vulnerable ambientalmente debido a que el mismo pertenece a un área protegida en toda su extensión con un gran atractivo turístico para la región. También toda la zona de estudio es atravesado por la ruta 40 sur, principal vía comunicación turística y comercial (San Carlos de Bariloche, El Bolsón y otras ciudades del sur - cruce de frontera) y, además es el sitio principal de exposición para las personas. Asimismo, la percepción de la población frente al peligro que se encuentran expuestos es parcial, por lo general son conscientes pero la toma de medidas preventivas es parcial o nula.

<b>GRADOS DE VULNERABILIDAD</b>	<b>SUPERFICIE [Ha]</b>	<b>RESULTADOS – Características del sitio</b>
<b>Baja (&lt; 10%)</b>	6449,7	Representa el 92,1% de la superficie evaluada. Todo el sector pertenece a un área protegida y es colindante a la ruta 40 sur. Predominan sectores de relieves suaves y con buena cobertura de vegetación. Esta clasificación limita con áreas de media, alta y muy alta vulnerabilidad. Se deberá considerar las situaciones particulares al momento de tomar las medidas necesarias.
<b>Media (10% - 25%)</b>	465,3	Es el 6,65% de la superficie del sector. Se corresponde con las áreas expuestas y erosionadas por pérdida de vegetación, cauces modificados y erosionados, sitios expuestos a modificaciones antrópicas. Exposición de servicios de infraestructura y telecomunicaciones. Sectores de suelo desnudo. Taludes expuestos a la meteorización y macizos rocosos meteorizados. Se ven afectadas las áreas de costas y zonas de usos turísticos. Así como las que se encuentran modificadas o afectadas antrópicamente.
<b>Alta (25% - 50%)</b>	19	Incluye el 0,27% de la superficie de la zona. Esta clase está representada por los cauces que encuentran modificados ya sea por causas naturales o antrópicas que afectan directamente la ruta 40 sur y la atraviesan. Estos se encuentran influenciados por el comportamiento de los cauces que se encuentran en la zona de corona y escarpe principal, pudiendo afectar los picos de los caudales principalmente en el punto de salida, que coinciden con los puntos de conflicto. Está zona se encuentra limitada por sectores de “Media” y “Muy Alta” vulnerabilidad.
<b>Muy Alta (&gt; 50%)</b>	62	Corresponde con el 0,89% de la superficie. Aunque representa la ruta 40 sur en toda su extensión dentro del área de estudio, como consecuencia los servicios de empresas de transportes comerciales y turísticos se encuentran expuestos, así como transportes particulares (residentes y turistas). Representa los cauces que se encuentran muy modificados por causas naturales o antrópicas. Se encuentran expuestos a la erosión por falta de vegetación que tiene como consecuencia un aumento de caudales. La mayoría se encuentra formando parte de los sitios de mayor altitud, por lo cual, cualquier modificación ocurrida se traslada a los cauces de menor altitud hasta los sitios de desagüe. También, forman parte de este sector los cauces que se encuentran modificados antrópicamente, que sufrieron corrimientos de su curso natural o movimientos de material que formaban parte de las márgenes. Asimismo, las pendientes son de “Muy Altas” a “Escarpadas”, se observa pérdida de suelos, mayoritariamente erosión provocada por precipitaciones. Incluye los afloramientos rocosos meteorizados y taludes expuestos sobre la ruta 40 sur.

Tabla 70: Grados de vulnerabilidad resultantes.





### Mapa de Vulnerabilidad de Movimientos de Remoción en Masa en el Área del Lago Guillermo, RN 40 sor, P.N. Nahuel Huapi.

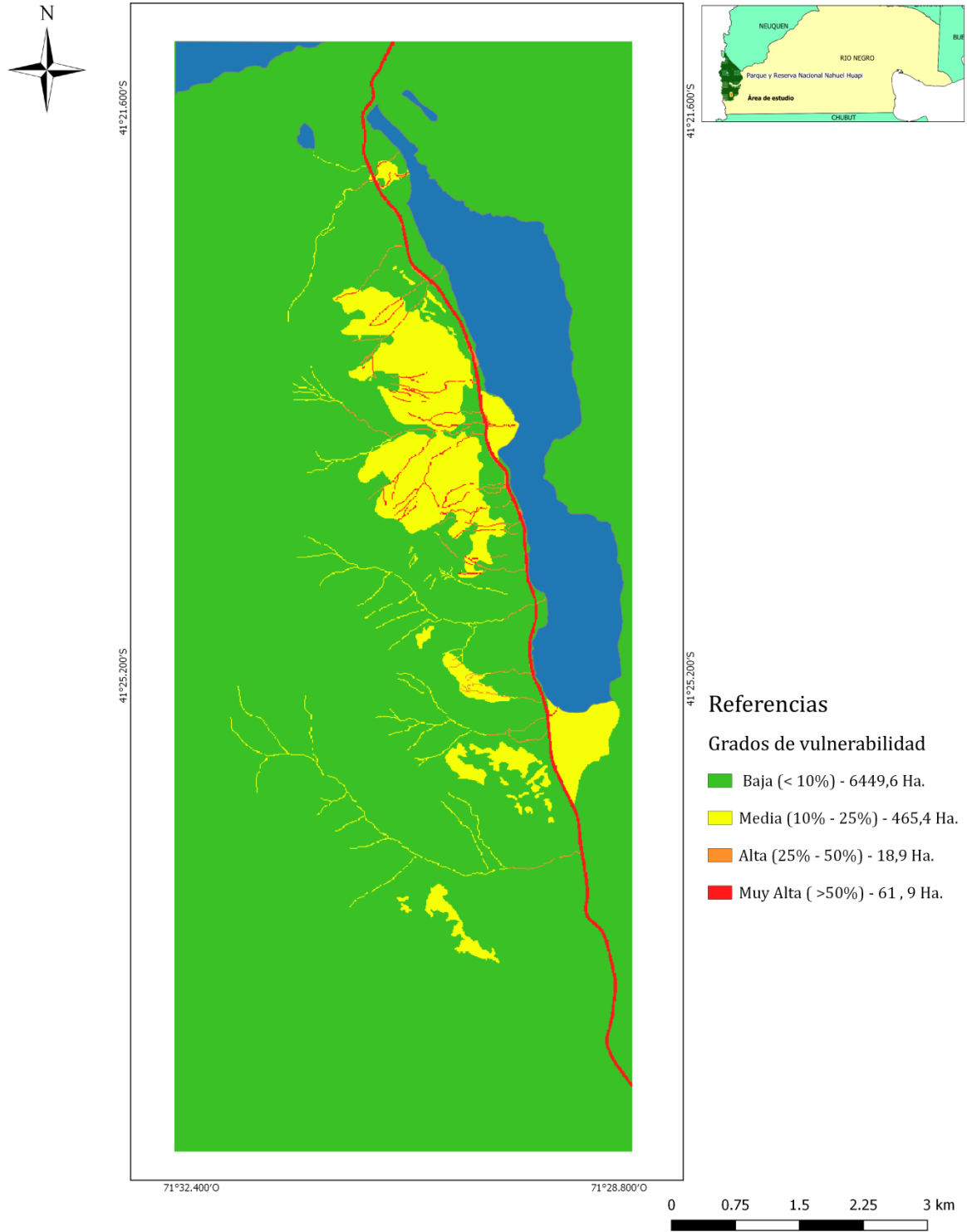


Figura 31: Mapa de Vulnerabilidad de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi.

## 7.4. Mapa de Riesgo

El mapa de riesgo se presenta en la Figura 32 según la zonificación presentada en la Tabla 67, como se indicó en el capítulo 7, está basada en los resultados de los mapas de peligrosidad, de susceptibilidad junto con los factores detonantes, y de vulnerabilidad. En consecuencia la descripción de los grados de riesgo se analizó considerando el conjunto de mapas resultantes. De igual modo, se calcularon las superficies correspondientes a cada clase con sus respectivos valores de porcentaje en relación a la superficie total. Los límites de cada clase dependen de los valores mínimos y máximos resultantes

GRADOS DE RIESGO	SUPERFICIE [Ha]	RESULTADOS - Características del sitio
<b>Bajo (&lt;15%)</b>	1898,5	Corresponde al 27,2% de la superficie total de estudio. Se encuentra en las altitudes más bajas, por debajo de la cota 900 m. Se observan las áreas de los cuerpos de agua y de laderas bajas. Las pendientes predominantes son "Leves" (15% - 30%) a "Muy Leves" (0% -15%). La geología es variada, abarca sectores de "Superficie de erosión deposición -"Depósitos glaciares -Pleistoceno"- "Depósitos coluviales y aluviales" del mismo modo se corresponde con los relieves definidos. Esta situación se repite con las unidades de suelos. La vegetación es variada afectando "Matorral Mixto"- "matorral de Ñire"- "Ciprés"- "Coihue" y "Mallín". Se corresponde con sectores de Susceptibilidad "Baja" a "Muy Baja". Las precipitaciones son < 900mm y las temperaturas < a 7°C. La Peligrosidad es "Baja" lo mismo para la "Vulnerabilidad". En principio son sitios que no necesitan medidas correctivas, pero que deben ser manejados y mantenidos correctamente ya que limitan con sectores de mayor riesgo.
<b>Medio (15% - 25%)</b>	3102,9	Es el 44,3% de la superficie estudiada. Se la observa en dos sectores bien definidos, uno desde el pie de la ladera atravesando la ruta 40 sur llegando hasta el lago, afectando algunos sectores de costa (fondo de valle) y aquellos modificados antrópicamente. Y el otro, comprende los sectores de las unidades hidrográficas desde el escarpe principal - escarpe medio hasta las zonas de acumulación. Las pendientes varían desde "Altas" (45% - 60%) a "Muy Altas" (60% - 80%) y "Escarpadas" (> 80%). La geología está definida por "Rocas ígneas muy meteorizadas y fracturadas" y sectores menores correspondientes a "Superficie de erosión deposición". Del mismo modo los relieves dominantes corresponden a "Laterales de Valle" y "Erosión deposición". Las unidades de suelos preponderantes coinciden con las mismas. La vegetación afectada en el "Matorral Mixto". En esta zona se definió diferentes grados de Susceptibilidad "Media", "Alta" y "Muy Alta". Las precipitaciones varían entre los 1000 mm - 1200 mm y las temperaturas entre 5°C - 6°C. Incluye las áreas de transporte de los cauces y arrastre de material. Coincide con sectores de "Alta" Peligrosidad. En esta zona la vulnerabilidad es baja. Será necesario la aplicación de medidas correctivas de acuerdo sea el caso, se deberá analizar cada sector considerando el costo-beneficio.

<p><b>Alto (25% - 50%)</b></p>	<p>1841,1</p>	<p>Representa un 26,3% de la superficie total. Las pendientes varían de “Altas” (50% -75%) a “Muy Altas” (75% -100%) y algo de “Leves” (15% -30%) correspondientes a un sector de abanicos aluviales. La geología y la geomorfología está afectada principalmente por las áreas de mayor altitud, donde las rocas se encuentran muy meteorizadas a moderadamente meteorizadas – “Relieve de glaciar criogénico “continuando por el sector de erosión deposición. La vegetación preponderante es la unidad de “Semidesierto de Altura” junto con sectores de “Matorral mixto” que fueron afectados por el incendio. La mayoría se corresponde con suelos por encima de la cota de 1600 m - “Divisoria y Cumbres”. Los grados de Susceptibilidad varían desde “Muy Alta”, “Alta” y “Media”. Abarca altitudes variadas, concentrándose grandes áreas entre los 1700 m – 2100 m, entre los 1000 m – 1400 m y sectores de la costa, cauces y de la ruta 40 sur. Incluye sectores de temperaturas que van desde 1º C – 3ºC y precipitaciones &gt; 1100 mm. y 1200 mm. Se observan zonas correspondientes a la “Corona y Escarpe principal “y, “Escarpe Menor” junto con algunas áreas de “Zonas de transporte y acumulación” de los cauces. Se deberá proceder a la aplicación de medidas de mitigación estudiando el costo-beneficio.</p>
<p><b>Muy Alto (&gt; 50%)</b></p>	<p>153,3</p>	<p>Forma parte del 2,2% de la superficie total analizada. Esta clase coincide con las pendientes escarpadas (&gt;80%) y muy altas (60%-80%). En relación a la geología se encuentra afectado por las unidades de “Rocas ígneas muy meteorizadas “en menor medida predominando las “Rocas ígneas moderadamente meteorizadas”. Asimismo un gran sector está presente en el sector de erosión- deposición. Los relieves de “Erosión deposición” y “Laterales de Valle”, del mismo modo acompaña, el relieve de “Depósitos aluviales” y un pequeño sector de “Relieve Glaciar criogénico”. En relación a la vegetación, están representadas las unidades de “Coihue”, “Lenga Achaparrada” y “Matorral Mixto” afectado por el incendio. Sin embargo se observa que los sitios más relevantes están ocupados por coihues. “Este sector predominan los “Suelos de relieve de erosión deposición” y los suelos de “Laterales de valle glaciar”, acompañados de suelos de abanicos aluviales. Todas estas unidades pertenecen a los grados de susceptibilidad “Alta” y “Muy Alta”. Del mismo modo ocurre con los grados de peligrosidad. Las condiciones de precipitaciones estacionales observadas se encuentran entre los 900 mm – 1100 mm y las temperaturas entre los 5ºC – 7ºC. En relación a las unidades hidrológicas las más afectadas son aquellas, que se encuentran más modificadas antrópicamente, afectadas por el incendio, reciben mayores caudales de precipitaciones y poseen mayor elevación media. En relación a la vulnerabilidad, está definida sobre casi el total de la Ruta 40 sur, sectores de erosión por pérdida de vegetación, meteorización de rocas y taludes expuestos y los cauces que se encuentran más modificados. Esta afectada por sectores sobre la Ruta 40 sur, en donde se identificó al menos un evento. Es necesaria la aplicación de medidas de mitigación.</p>

Tabla 71: Grados de Riesgo de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi.



### Mapa de Riesgo de Movimientos de Remoción en Masa en el Área del Lago Guillermo, RN 40 sur, P.N. Nahuel Huapi.

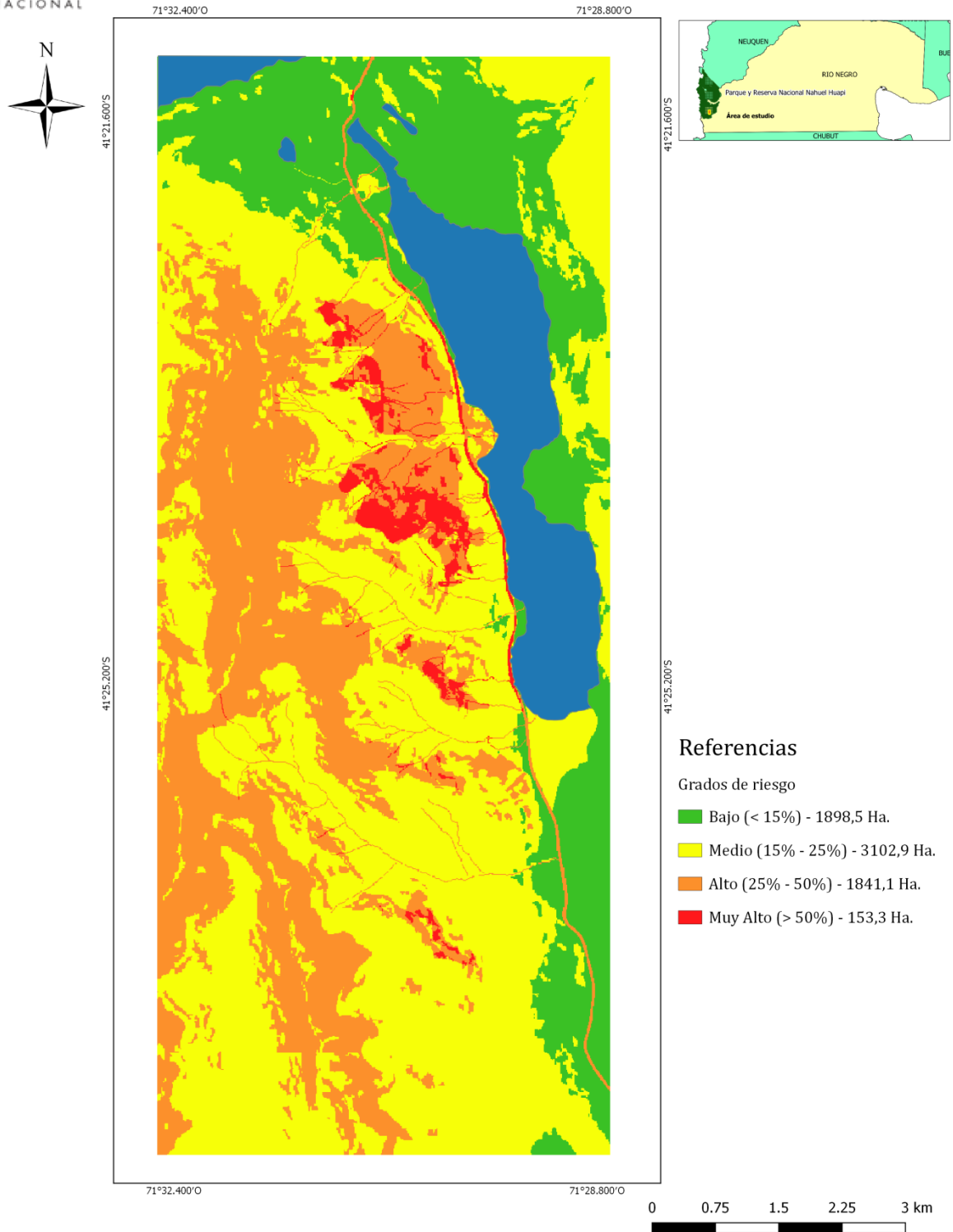


Figura 32: Mapa de Riesgo de remoción en masa en el área del Lago Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi.

## 8. Discusión de resultados

### 8.1. Productos e información de base

De acuerdo a lo analizado se infiere que para que se desarrolle un evento de remoción en masa son condiciones suficientes que existan altas pendientes, predominancia de relieves montañosos y disponibilidad de material. Por lo tanto se deduce que la acción propia de la gravedad favorecerá la ocurrencia de estos movimientos.

La presencia de curvaturas y relieves reflejan los sectores en que los materiales se acumulan. También, controlan las zonas de acumulación o propagación del agua resultado de las precipitaciones favoreciendo en el desarrollo del flujo de detritos. A su vez, esta situación dependerá del tipo de material disponible.

La existencia de material disponible se ve afectada por la acción de la meteorización y erosión. La roca o suelo, deberán estar expuestos a diferentes factores climáticos, como precipitaciones abundantes y fenómenos de amplitud térmica que favorezcan la generación de material disponible, como clastos, detritos, bloques, movimientos de tierra o suelo. Debido a la incidencia de estos factores es importante incluir en el análisis tanto el comportamiento espacial como temporal.

No debe olvidarse que el sector de estudio presenta un macizo rocoso granítico que se encuentra diaclasado y erosionado. Esto se debe a que la roca estuvo expuesta a sucesivos procesos glaciarios durante el Pleistoceno, formando un área de acumulación glaciaria cuando la línea de nieves eternas descendió entre 900 m a 650 m (Ruiz, 2013). En la actualidad estas rocas más altas se encuentran en un área de característica periglacial, debido a que la línea de nieves eternas se encuentra a 2200 m.

La permeabilidad de los materiales y del suelo se puede ver afectada por las condiciones ambientales. Los depósitos aluviales son muy permeables, los depósitos morénicos poseen una permeabilidad media a baja, en cambio el granito suele ser prácticamente impermeable. Sin embargo, la exposición a las pequeñas fracturas le otorga la permeabilidad secundaria mencionada.

También, en relación al arrastre de materiales, se debe considerar que el hielo, al momento de transportar sedimentos, es muy poco selectivo y puede arrastrar materiales de diversos tamaños (hasta 1 m<sup>3</sup>) durante varios kilómetros, en cambio el agua es más selectiva y el viento aún más transportando los materiales más finos como los limos y arenas finas mencionados.

Las características del suelo intervienen en la infiltración, los escurrimientos superficiales, sub superficiales, fundamentalmente por el grado de granulometría. De la misma manera, está relacionado a la litología, el relieve, factores climáticos y espaciales. A su vez la vegetación cumple funciones protectoras a excepción de la disminución de la cobertura. Otro factor que participa en la inestabilidad, es el viento en relación a la cobertura vegetal. Debido a que durante fuertes vendavales puede producirse arranque de árboles, en particular aquellos que poseen raíces someras o superficiales como puede ocurrir con los coihues. De igual modo la deforestación, es un factor que influye en el desarrollo de movimientos de ladera. La intervención de la vegetación es compleja porque puede favorecer tanto la estabilidad en procesos de intensidades leves o moderadas y favorecen la inestabilidad en intensidades graves.

Los factores climáticos más influyentes en todo el sistema son las precipitaciones, debido a la cantidad, estacionalidad e intensidad, favorecen al aumento de escorrentía que junto con las pendientes son los factores que gobiernan estos procesos.

De la misma manera, las unidades hidrográficas y sus componentes se pueden ver alteradas por la modificación de sus características físicas, en particular se observó que todas las afectaciones realizadas, que se realicen desde las áreas de la corona y escarpe principal hasta las zonas medias, influirán directamente en como esta unidad resuelve la evacuación de la escorrentía en el punto de salida. El volumen del caudal de escorrentía también dependerá de las precipitaciones recibidas, que como se mencionó junto con las pendientes y el relieve, es el factor más significativo. Se tratarán en la sección 8.4 con más detalle.

Las características mencionadas hasta ahora, deberán ser estudiadas de acuerdo al sitio de estudio. Se contempla que en la mayoría de los casos es una conjunción de varios factores los que pueden desencadenar un movimiento de remoción en masa. En todos los casos las intervenciones antrópicas pueden predisponer aún más el desarrollo de movimientos, por modificación de las condiciones naturales (generación de taludes, socavamientos, modificaciones en el terreno, deforestación, etc.), así como un mal manejo de las intervenciones realizadas. En los riesgos naturales dominan las condiciones naturales siendo las intervenciones antrópicas muy leves a nulas.

## 8.2. Productos cartográficos intermedios y mapa de riesgo

Del análisis de los resultados de los mapas, se observó que la susceptibilidad está fuertemente condicionada por las pendientes y en menor medida por la disposición de material poco consolidado. De la misma forma la peligrosidad está determinada por factores que dependen de la altitud ya sea de forma creciente o decreciente.

El mapa de peligrosidad tiene una forma de pisos altitudinales que se ve interrumpida por los parámetros morfométricos de las unidades, en particular la elevación media y la cantidad de caudal estimado.

La vulnerabilidad quedó definida por los sitios donde la exposición de las personas, los bienes materiales y ambientales es mayor. De esta forma el mapa de riesgo se ve fuertemente influenciado por los sectores de peligrosidad “Más Alta” y vulnerabilidad “Media” a “Alta”. Se observa que el peligro se encuentra ligado a los procesos geológicos y su evolución, la vulnerabilidad a la identificación de daños posibles y el riesgo a las pérdidas potenciales.

Se debe tener en cuenta que estos resultados, se refieren al equilibrio que el sector de estudio posee en el momento de análisis, cualquier cambio que modifique el mismo puede cambiar las características del sitio y por lo tanto la zonificación de riesgo. Por ejemplo, modificaciones estructurales sobre la ruta, afectaciones en el macizo rocoso, deforestaciones sobre las coronas, escarpes o la ruta, precipitaciones extraordinarias, temperaturas extremas, etc.

Finalmente, se advierte que los sectores de mayor riesgo son aquellos que presentan las siguientes características:

- pendientes promedio entre “Muy Altas” a “Escarpadas”,
- taludes expuestos a la erosión y meteorización, en particular por crioclastismo,
- macizos rocosos expuestos al crioclastismo, sobre todo en cotas > 1600 m ,
- sectores modificados antrópicamente, por mal manejo de cauces y falta de mantenimiento,
- sectores afectados por incendios y deforestación.

En relación a los trabajos realizados en la temática de riesgo, son escasos. La mayoría toma como objetivo de estudio la susceptibilidad o la peligrosidad del sitio, y en pocos casos se evalúa la vulnerabilidad y el riesgo. Sin embargo se debe tener en cuenta, que para poder evaluar, analizar y proponer medidas de corrección es necesario abarcar esta envergadura de análisis.

En relación al trabajo realizado por Mizerit (2017) si bien se estudió la misma temática y el área a tratar fue similar, el objetivo del trabajo fue la cuantificación de la susceptibilidad. Por lo tanto, no se consideró para la evaluación los factores detonantes y la vulnerabilidad del sitio. La metodología aplicada necesitó de una previa definición de los tipos de movimientos en remoción en masa predominantes. Se identificaron en el sector del lago Guillermo deslizamientos traslacionales y flujo de detritos. Luego de obtenidos los resultados, se infirieron sectores que presentarían mayor riesgo y peligrosidad. Aunque la temática fue abordada desde una mirada fuertemente geológica, se obtuvieron resultados análogos.

El riesgo es difícil de medir y cuantificar especialmente a escalas medias (1:10000 – 1:50000), la definición del inventario y la determinación espacial y temporal. Esto se debe a que la vulnerabilidad es muy variable en cortas distancias, por ejemplo, si se encuentran dos viviendas una ladera abajo y otra arriba, aunque las condiciones naturales sean las mismas y tengan la misma peligrosidad, la vulnerabilidad es muy variables de acuerdo al tipo de vivienda materiales de construcción, etc. Por ello el riesgo será diferente. Por ejemplo, para identificar el tipo y el volumen del desplazamiento que puede ocurrir, los inventarios deben hacerse punto por punto.

El riesgo es una consecuencia de la actuación humana, debido a la inadecuada implantación de actividades, usos, asentamientos y grandes ciudades, poco acorde con los rasgos del ambiente donde tienen lugar. Por ello la finalidad de la producción de estos mapas debe ser la sostenibilidad en el consumo del espacio, a través de la armonía del ambiente y su relación entre el uso, la ocupación y la preservación del territorio. Así como establecer un orden temporal y de prioridad de actuaciones, en los sitios donde se deben aplicar medidas de mitigación.

Aunque los impactos en muchos casos son inevitables, el desarrollo de los asentamientos y ciudades a lo largo de los años, de forma desordenada, sin considerar las características físicas y las consecuencias ambientales que se pudiesen generar , produce riesgos innecesarios. Entonces una mala planificación del territorio, tiene como consecuencia, no solo la degradación del ambiente, sino pérdidas económicas de bienes y de personas. El insuficiente desarrollo de la planificación, esta relacionado con la disponibilidad de datos, la falta de recursos para procesarlos y generarlos, por lo tanto la información es escasa para la toma de decisiones. Asimismo, la percepción de las personas sobre los peligros es escasa y de extrema confianza.



Entonces, los movimientos de remoción en masa son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico, la evolución del relieve y fenómenos rápidos relacionados principalmente con el clima, sin embargo pueden ser provocados o inducidos por la actividad humana.

El resultado de este mapa permite identificar y determinar los sitios para la conservación, rehabilitación y con menor restricción de uso urbano.

### **8.3. Identificación de movimientos de remoción en masa**

Vistos los resultados, se observó que el área de estudio se divide en tres grandes sectores, uno superior, medio e inferior. En el primero predominan grandes bloques de roca granítica fracturada y meteorizada, donde predominan la caída o el vuelco de estos grandes bloques. En el sector del medio prevalecen los movimientos de tipo deslizamientos de detritos, en particular de bloques medios a pequeños de granitos, sub rodados angulosos, donde se incorpora material dejado por el glaciar.

Por último en el sector inferior, al aumentar el número de cauces y por lo tanto el contenido de agua, se encuentran los flujos de detritos de materiales redondeados y sub angulosos, junto con depósitos glaciares- morenas laterales, gravas y arenas. Finalmente se distingue el área de abanicos aluviales que representan los sectores de acumulación de estos materiales. Se deduce que el material geológico puede moverse y deformarse de diferentes maneras, por ello muchos de los movimientos en masa que pueden ocurrir en este sector son combinaciones complejas.

No obstante, debe indicarse que no es condición suficiente que existan cursos permanentes o temporarios para que los cauces se encuentren "ACTIVOS". Entendemos como activo a cualquier cauce donde exista evidencia física de movimientos de materiales. De los cauces identificados como puntos de control un 75 % se encuentran activos de los cuáles un 33% no poseen escurrimientos superficiales. De esta manera el 100% del curso natural de los puntos observados atraviesan la RN 40 sur hacia las costas del Lago Guillermo.

### **8.4. La precipitación como factor detonante**

Como se mencionó, varios autores en diferentes sitios del mundo han estudiado diferentes umbrales de lluvias con el fin de realizar **sistemas de alerta temprana**. Este umbral es experimental, se genera de un análisis con gran número de datos meteorológicos y un gran número de eventos registrados. Son específicos de acuerdo al sitio de estudio.

Si bien en este trabajo se encuentra un número recortado de registros, siguiendo la metodología propuesta por Alonso Moreno et al. (2006) se encontró una relación entre las lluvias y los eventos ocurridos (Tabla 72). Se observó que aproximadamente el 70% de los eventos registrados ocurrió en épocas de lluvias (mayo – septiembre).

Fecha evento	Precipitación anual acumulada de 15 días [mm]	Precipitación anual acumulada de 3 días [mm]	Precipitación Diaria
9/12/2002	26	0	0
13/10/2002	385	165	43
28/6/2004	353	195	103
22/5/2009	366	168	88
8/9/2013	103	65	24
9/10/2013	26	10	9
2/8/2014	218	129	71
1/4/2015	19	19	19
18/4/2015	28	5	0
17/5/2015	131	108	78
2/6/2015	215	131	72
9/6/2016	2	0	0
22/11/2018	57	26	18
2/5/2019	96	89	66

Tabla 72: Precipitaciones anuales acumuladas diarias, de 3 días antecedentes y 15 días precedentes a un evento.

Se estudiaron los datos de la estación Mascardi ya que es la más cercana a la zona de estudio. Para los eventos ocurridos luego del 2017, se actualizaron los datos de precipitación utilizando la base de datos (BDHI) de la SlyPH.

Luego para registro obtenido se calculó la suma de las precipitaciones en los 3 días anteriores al evento y los 15 días precedente a este último. Se encontró que el 35% de los eventos registrados presenta una relación del 20% de las precipitaciones diarias/ suma total de la lámina de agua de las precipitaciones de 3 días antecedentes y 15 días precedente a esta última. **Esto representa aproximadamente un registro de entre 65 mm – 75 mm de precipitación diaria.**

Debido a la escasa cantidad de datos, no puede definirse un umbral de precipitaciones, pero si puede considerarse que frente al registro de estos valores se puede iniciar un protocolo de prevención y alerta. Debe tenerse en cuenta que la superación del umbral no significa que se vaya a desencadenar un evento, solamente indica que las condiciones de humedad son propicias para que ocurra. Como se expuso a lo largo del trabajo esto dependerá de otras condiciones como el estado de los taludes, el

material disponible, las características litológicas del material, el relieve predominante, el desarrollo del suelo y la cobertura vegetal, entre otras cuestiones. Asimismo se observó que estos valores no difieren demasiado de los encontrados por Alonso Moreno et al. (2006).

## **9. Plan de mitigación y propuestas**

La prevención se basa en el conocimiento de las características y de los procesos. Conocer con anticipación la ocurrencia de un fenómeno geológico no siempre es posible, se basa en el análisis de datos registrados, observaciones científicas e investigaciones, monitoreo y cambios en los parámetros físicos. Por ello es importante la detección de riesgos y establecer un plan de mitigación de sus efectos (González de Vallejo et al., 2004).

El objetivo de la mitigación es la disminución de los daños o pérdidas mediante la identificación de los impactos y la protección de los elementos expuestos, para reducir la vulnerabilidad de los mismos. La elección de las medidas a aplicar dependerá de las características del proceso que se desarrolle, como de su velocidad, magnitud, extensión, etc. Existen medidas no estructurales y estructurales (González de Vallejo et al., 2004).

Las medidas no estructurales son muy efectivas, se trata de metodologías de ordenamiento territorial, por ello los costos son más bajos. Sin embargo su aplicación en sitios poco desarrollados o de reciente desarrollo, si no los costos pueden ser más elevados. Las medidas estructurales, se corresponden con la utilización de obras de ingeniería, como el uso de drenajes, muros de contención, obras de arte, puentes, entre otros (González de Vallejo et al., 2004).

La aplicación de estas últimas conlleva mayores costos, pero en sectores urbanizados son las más utilizadas. Asimismo se pueden emplear métodos mixtos, como por ejemplo técnicas de rehabilitación con vegetación para mitigación de movimiento de sedimentos sobre taludes con un grado de pendientes que lo permitan y/o el uso de contenciones como gaviones o métodos de bioingeniería que se adecuan al entorno.

En aquellos casos que los resultados fueron más favorables, se dio prioridad a las medidas no estructurales debido a los costos, a las menores implicancias ambientales y promoviendo la continuidad y preservación del paisaje. De la misma forma, las intervenciones más efectivas serán aquellas que actúen sobre las causas que desencadenan las inestabilidades. Por ello es necesario realizar los estudios previos.






En general, las obras de drenaje y la modificación de la geometría de manera que se reduzcan las presiones intersticiales, las medidas que reduzcan la escorrentía, y se distribuyan las fuerzas debidas al peso del terreno son siempre beneficiosas.

Otro aspecto importante además de la prevención y mitigación es comunicar la información necesaria a la población, sobre la concientización, los planes de emergencia y protocolos a seguir frente a un evento. Asimismo brindar sustento técnico para la habilitación de medidas administrativas y legislativas (González de Vallejo et al., 2004).

La propuesta de este plan de mitigación no pretende establecer responsabilidades específicas ni obliga a llevarlo a cabo. Sin embargo, todo plan de acción deberá contar con responsables de la implementación, responsables de suministrar los recursos, responsables de seguimiento y por último establecer un cronograma. Por ello se define un plan de acción que conste de medidas inmediatas a corto plazo, medidas mediatas y a largo plazo (Tabla 73), que se diferenciarán en medidas no estructurales (Tabla 74) y estructurales.






Se tuvo en cuenta que las medidas se correspondan con las propuestas por APN en el Plan de Gestión del PNNH (2019), así como las entrevistas realizadas a Dencheff (2019), Pedre (2019) y Sosa (2019). No se pudo verificar la existencia del Estudio de Impacto Ambiental y el Plan de Gestión presentado para este proyecto. Se recomienda la consulta al Departamento Provincial de Aguas (DPA) antes de realizar alguna intervención. La cumplimentación de esta propuesta de mitigación y monitoreo deberá ser llevada a cabo por Vialidad Nacional o la empresa contratista responsable, esto dependerá del contrato de licitación y de las responsabilidades definidas en el mismo. Asimismo las obras deberán ser fiscalizadas por un representante del PNNH (Lehr, 2019).

**Medidas Inmediatas**

<p>Se sugiere la limpieza de los cauces, mantenimiento de las alcantarillas y puentes a principio de la estación de lluvias (abril- mayo) y a fin de las mismas (septiembre – noviembre). La limpieza no debe ser total sobre los cauces, porque se puede modificar la hidrodinámica natural. Se deberá concentrar la misma sobre el sector de puentes y alcantarillas.</p>	
<p>En particular, para el punto D3, se solicita retirar los materiales que obstruyen las alcantarillas, limpiarlas y restituir el arroyo a su curso natural. Se propone la utilización de aliviadores a fin de complementar el drenaje, por el conducto actual. Lo mismo puede aplicarse en D1.</p>	
<p>Se deberá drenar el anegamiento en el punto D4, limpiar las alcantarillas y el cauce.</p>	
<p>Se recomienda el mantenimiento de la cinta asfáltica y pintar las líneas sobre la ruta. Verificar el origen de las rajaduras y quebraduras</p>	
<p>Limpieza de residuos en los sitios cercanos a las banquetas y cauces.</p>	

<p>Verificación del paso de la fibra óptica sobre los cauces y taludes.</p>	
---	--

Tabla 73: Medidas inmediatas y a corto plazo.

<p align="center"><b>Medidas no estructurales a mediano y largo plazo</b></p>	
<p>El punto de control D3 constituye un potencial peligro para todo lo que se encuentra aguas abajo. Se deberá realizar un estudio para analizar la construcción de un puente con luz suficiente para las crecidas extraordinarias. Verificar lo mismo para todos los puntos. Se recomienda realizar un estudio hidrológico. Tener en cuenta la cantidad de material de arrastre.</p>	
<p>Plan de revegetación para el sector de la corona y escarpe principal e intermedios correspondientes al sector de incendio.</p>	
<p>Estudiar el estado del macizo rocoso, evaluar la disponibilidad de material y de ser necesario quitar el material deslizable o con posibilidad de sufrir roturas. Así como Estudios geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos que permitan definir un factor de seguridad (FS).</p>	
<p>Analizar el comportamiento y la compactación de los suelos, las causas de las deformaciones o hundimientos que se observan sobre la ruta. La presencia del relleno orgánico. Verificar la aplicación de nuevos drenajes.</p>	
<p>Plan de recuperación y mantenimiento de banquetas y áreas de borde de ruta</p>	

<p>Plan de extracción de especies exóticas y revegetación con especies nativas, particularmente pinos y rosa mosqueta.</p>		
<p>Colocación de cartelería indicativa sobre la ocurrencia de posibles eventos</p>		
<p>Ordenar los usos de las costas y demás sectores de uso público. Revisión y colocación de cartelería de los senderos, sectores de acampe diurno, etc. De esta forma asegurar la calidad de servicios para los visitantes.</p>		

Tabla 74: Medidas no estructurales a mediano y largo plazo.

<p align="center"><b>Medidas estructurales a mediano y largo plazo</b></p>		
<p>Utilización de mallas metálicas, cunetones o zanjas para los taludes expuestos donde se observa el desprendimiento de pequeños bloques. En el caso que la roca base se encuentre muy fracturada, y no sea posible el anclaje de las mallas se deberán utilizar gaviones o barreras estáticas o dinámicas. Así mismo se pueden utilizar medidas de bioingeniería como sistemas GeoWeb o Terramesh (Pedre, 2019) (Figura 33, Figura 34)</p>		
<p>Para paredes de roca fracturada y diaclasada se recomienda la aplicación de bulones y anclajes.</p>		

En taludes con algo de vegetación y suelo, se recomienda la utilización de medidas de bioingeniería para luego realizar sembrado como por ejemplo la estabilización con postes de madera, mallas de sombra, muros de madera aterrazados, muros con sacos, Terramesh (Figura 33), GeoWeb (Figura 34), o hidrosiembrado.



Tabla 75: Medidas estructurales a mediano y largo plazo.



Figura 33: Sistema Terramesh. Está formado por una malla hexagonal de doble torsión asociados a una estructura de gaviones. Permite el desarrollo de la vegetación y está formado por materiales permeables. Fuente: <https://www.maccaferri.com/br/es/productos/terramesh/>.



Figura 34: Sistemas GeoWeb son versátiles, económicos, se adaptan a los diferentes tipos de suelo y crean una estructura viva con vegetación cumpliendo los requisitos del diseño estructural. Fuente: <https://www.prestogeo.com>.



## 9.1. Propuestas de Monitoreo

Se recomienda la aplicación de las siguientes medidas de monitoreo. Las mismas se exponen desde las temáticas más específicas y particulares a las más generales (Tabla 76).

<b>Plan de monitoreo</b>
Realizar la instalación de una estación meteorológica para poder dar alerta si las precipitaciones pasan el umbral de precipitación diaria (ver sección 8.4).
Se sugiere monitorear todos los arroyos principalmente en los tramos donde se podría producir movimientos por acumulación de troncos y sedimentos, así como en su desembocadura hacia zonas pobladas.
Se aconseja el uso de inclinómetros y/o Piezómetros en a los puntos de control de la unidad hidrográfica D3.
Establecer un sistema de alerta temprana y avisos.
Se solicita la realización de un plan de gestión definiendo un responsable que verifique su seguimiento.
Implementar un registro de eventos meteorológicos. Se recomienda que este registro se lleve a cabo por Vialidad Nacional.
Tener en cuenta la divulgación y educación a la población. En particular sobre la temática de la percepción del riesgo
Preparación de un plan de evacuación y de emergencia, tener en consideración los lineamientos de la Subsecretaría de Protección Civil.
Aportar datos y desarrollar un inventario a nivel regional.

Tabla 76: Propuestas de Monitoreo y seguimiento.

## 10. Conclusiones

La metodología elegida permitió efectuar el objetivo general de este trabajo y verificó la hipótesis planteada. Se comprobó que las zonas de mayor riesgo a desarrollar eventos de remoción en masa son aquellas donde predominan:

- Altas pendientes,
- Incendios precedentes,
- Precipitaciones estacionales abundantes,
- La acción del crioclastismo, (disponibilidad de material fracturado y meteorizado),
- Unidades hidrológicas con menor tiempo de respuesta.

Este trabajo permitió comprender el riesgo como una evaluación necesariamente multidisciplinar a fin de sugerir una propuesta integrada que contribuirá a:

<b>Aportes de este trabajo</b>
- Aportar al desarrollo de nuevas investigaciones sobre la problemática de los riesgos naturales, en particular de las remociones en masa e inestabilidad de laderas, problemática recurrente en todo el ejido de la ciudad de S.C de Bariloche y alrededores.
- Estas características ambientales, en particular las geológicas y geomorfológicas, sumado a las grandes pendientes, hacen que la metodología de este trabajo pueda aplicarse a otras áreas de la ciudad.
- Establecer los lineamientos y procedimientos para elaborar en forma ordenada y eficiente los informes de estimación de riesgo. Estandarizar los criterios y la información consignada a través de los formatos o fichas de apoyo a ser utilizados en la elaboración de los informes de estimación de riesgo
- Proporcionar un método estandarizado para elaborar inventarios.
- Comprender estos fenómenos potencialmente peligrosos, los efectos que pueden producir, y los daños a los bienes y las personas, generando información necesaria para implementar las acciones de mitigación, prevención y emergencia.
- Concientizar a la población sobre los riesgos naturales y la percepción del peligro que se tiene sobre esta problemática.
Proporcionar una herramienta de referencia para los profesionales relacionados con el urbanismo y la planificación territorial. Así como para el desarrollo de nuevas normativas o corrección/ampliación de normativas existentes.

La información del potencial de ocurrencia de derrumbes catastróficos, al ser combinada con datos espaciales (geográficos) adicionales, tales como la localización de infraestructura importante (hospitales, escuelas), infraestructura civil (caminos, puentes, tuberías subterráneas) y población (zonas residenciales, tipos de vivienda, densidad de la población), es de suma importancia para los tomadores de decisiones, en relación al planeamiento urbano y establecer protocolos de escape.

El programa QGIS ofrece una serie de algoritmos propios y otros que se apoyan en herramientas como el SAGA GIS o el GRASS, capaces de realizar variados análisis y modelos utilizando poca información de base. Por ello la aplicación de estas metodologías posee una ventaja frente a la falta de datos y/o realizar un análisis preliminar. Sin embargo, representan un modelo de la realidad, por ello es necesaria la validación y el control a campo. En relación a los modelos es importante saber cómo funcionan los algoritmos, identificar en forma correcta los datos de entrada y de salida.

En este trabajo se utilizaron metodologías automáticas, manuales y mixtas pudiéndose emplear ambas. La efectividad de los resultados dependerá de la calidad de los datos de entrada, por ello en este trabajo se obtuvieron mejores resultados con las metodologías manuales y mixtas. Esto depende también de la escala de análisis y del juicio y la experiencia del ejecutor.

Es necesaria la intervención en este tipo de trabajos de los ingenieros ambientales como compiladores y evaluadores de las características ambiental de forma integral, es necesario que este tipo de trabajos sean multidisciplinarios, y los profesionales intervinientes como pueden ser, geólogos, biólogos, ingenieros civiles, educadores, etc., produciendo la información de base.

Así, las decisiones deben tomarse considerando no solo aspectos económicos, en términos ambientales, no todos los factores que se modifican con una intervención son cuantitativamente expresables de modo tradicional o monetario. Por ello es difícil cuantificar el impacto ambiental, evaluar las externalidad que puede generar, es decir, las consecuencias al realizar un proyecto. En particular aquellos que poseen importancia en la agenda política y son necesarias para la provisión de servicios de la comunidad, como puede ser un camino, una ruta, la colocación de infraestructura. Por otra parte, un proyecto con frecuencia afecta no solo a las variables que se pretenden intervenir, sino que trae consecuencias adicionales (externalidades negativas), muchas de ellas no deseadas o inesperadas, consecuencia de la complejidad de las interacciones del ambiente con la sociedad.

Conociendo esta dinámica, el ingeniero proyectista tanto como el planificador, deben estudiar y tener en cuenta la conservación y/o mitigación de las áreas naturales; ya que la construcción de cualquier obra en estas zonas, representa fuertes inversiones y elaborados diseños de ingeniería, además de poner en riesgo la zona urbana cercana. Se deberá evaluar el costo – beneficio de intervención, incluyendo la necesidad de realizar los estudios necesarios y contemplar los costos de un plan de seguimiento y monitoreo.

Igualmente, debe considerarse que una vez ocurrido un evento, el costo que se genera por la intervención de un importante número de personas involucradas en la escena (protección civil, vialidad nacional, gendarmería, etc.) es mayor que el costo propio que ocasiona el daño de la infraestructura.

Esta metodología demostró ser un puntapié para la evaluación de otros sectores de la región andina. De la misma forma, siendo San Carlos de Bariloche la ciudad más poblada cercana al sitio de estudio, atento a la gran heterogeneidad ambiental que presenta y observándose una urbanización desordenada puede ser de gran interés para los tomadores de decisiones la aplicación de estos métodos. Se observó predisposición al desarrollo de este tipo de eventos en barrios como Lera, Vivero II, Arayanes, Las Muticias, Rancho Grande y áreas correspondientes a las laderas del Cerro Otto, Cerro San Martín, Balcón del Gutierrez, Colonia Suiza y Península San Pedro.

## 11. Bibliografía

- Aceves Quesada, J.F., Legorreta Paulín, G., Lugo Hubp, J., Umaña Romero, J. y Legorreta Cuevas, H. (2016). Sistemas de información geográfica y cartografía geomorfológica aplicados al inventario de deslizamientos y cartografía de susceptibilidad en la cuenca del río El Estado, Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*.(91), 43-55.
- Alcántara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno?. Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas, UNAM*(41), 1-25.
- Alonso Moreno, H., Vélez, M.V., Montoya, J.D. y Rhenals, R.L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intranual y diaria. *Revista EIA*(5), 59-69.
- Alonso Moreno, H., Vélez, M.V., Montoya, J.D., y Rhenals, R.L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria. *Revista EIA*, 5, 59-69.
- Alzate Llano, M. (2015). *Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Santa Rosa de Cabal-Risaralda*. Tesis de especialización en sistemas de información geográfica , Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Manizales.
- Anguita Virella, F. y Moreno Serrano, F. . (1993). *Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental* . Madrid: Editorial Rueda.
- Aparicio Mijares, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa S.A.
- Aristizábal, E., Gamboa, M.F. y Leoz, F.J. (2010a). Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA*(13), 155-169.
- Aristizábal, E., Martínez, H. y Vélez J.I. (2010b). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 131(34), 209-227.
- ASF. (2018). *Alaska Satellite Facility*. Recuperado el 15 de enero de 2017, de About Alos Pasar: <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/about-palsar/>

- Ayala Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, J. (2002). *Riesgos Naturales*. España: Editorial Ariel.
- Ayalew, L. y Yamagishi, H. (2004). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-Yahiko mountains, Centra Japan. *Geomorphology*(65), 15-31.
- Bari, M. (26 de Febrero de 2016). Encargado de Área Técnica. Departamento Incendios Comunicaciones y Emergencias. Parque Nacional Nahuel Huapi. (M. A. Cotelo, Entrevistador)
- Barros, Vicente R., V.H. Cordón, C.L. Moyano, R.J. Mendez, J.C. Forquera y H. Pizzio. (1983). Cartas de precipitación de la zona oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén. (F. Umaña, Ed.) Cinco Saltos. Río Negro. Facultad de Ciencias Agrarias: INTA.
- Barry, R. (2008). *Mountain weather and climate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bautista, F., Cram Heydrich, S. y Cervantes Sommer, I. (2011). Suelos. En F. Zuñiga (Ed.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (págs. 227-259). México: Centro de investigaciones en geografía ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- BDHI. (10 de octubre de 2017). *Secretaría de Infraestructura y Política Hidrica*. Obtenido de Base de datos Hidrológica Integrada :  
<https://www.argentina.gob.ar/interior/secretaria-de-infraestructura-y-politica-hidrica/base-de-datos-hidrologica-integrada>
- Berumen, S. y LLamazores Redondo, F. (2007). Decisión Multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuad. Adm. Bogota*, 34(20), 65-87.
- Bisbal Sanz, A., Picón González, J., Casaverde Río, M., Jáuregui Laveriano, F., Anchayhua Anltamirani, R., Sánchez Vidalón, R., Masan García, M.G. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo* (Vol. 1). San Isidro, Perú: Instituto Nacional de defensa civil (INDECI) - Dirección Nacional de Prevención (DINAPRE).
- Brüngen, J. (1928). *La glaciación actual y cuaternaria de la Cordillera de Los Andes*. Santiago de Chile: Balcels & Co.
- Caldenius, C. (1932). Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. *Geografiska Annaler*, 14, 1-164.

- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico* (Tercera reimpresión ed.). San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. Facultad de Ingeniería.
- Capra, L., Lugo Hubp, J., y Dávila Hernández, N. (2003). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(2), 95-106.
- Castellanos Abella, E.A. y Van Westen C.J. (2009). Descripción y uso del mapa nacional de índice de riesgo por deslizamientos de terreno. *VI Congreso Internacional Geomática*.
- Castellanos, E.A. y Van Westen C.J. (2007). Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology*(20), 2-14.
- Castro,A.,MorenoVentas,I.,Fernández,C.,Vujivich,G.,Gallastegui,G.,Heredia,N.,Martino,R.D.,Becchio,R.,Corretgé,L.G., Díaz-Alvarado, J., Such,P., García-Arias, M. y Liu, D.Y. (2011). Petrology and SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Cordilleran granitoids of the Bariloche area,Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 1 -23.
- Celemín, J. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterui:un análisis comparativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*.(6), 47-63.
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Lima, Perú: CENEPRED.
- Chacón Montero, J. (2008). Los conceptos actuales de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo, en la prevención de movimientos de ladera, con ejemplos de aplicaciones prácticas. (págs. 2-42). 44° Congreso Brasileiro de Geología.
- Chauchard, L. (2016). *Guía para la evaluación del riesgo de caída de árboles en áreas recreativas. Región Patagónica*. Administración de Parques Nacionales (APN).
- Chaverri Molina, I. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. . Cartago, Costa Rica.: Escuela de Ingeniería Forestal. .

- Chávez, F., Flores, N., Arnold, I. y Zamora, M. (2015). *Manual de Planificación Municipal de Adaptación Urbana al Cambio Climático*. Tarija, Bolivia: NATIVA-AVINA-REDESCHACO.
- Chávez-Negrete, C., Alarcón-Ibarra, J., Espinosa-Arreola, J.J. y Arreygüe-Rocha, J.E. (2016). Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista Páztcuaro-Uruapan. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(2), 201-210.
- Chuvieco, E. (2006). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. (Segunda Edición actualizada ed.). Barcelona: Editorial Ariel S.A.
- Ciarlo, E., Constantini, A., Conti, M.E., Cosentino, D., Cruzate, G., Giardina, E., Giuffré, L., González, M.G., Heredia, O.S., Marbán, L., Moreno, G., Moscatelli, G., Palma, M., Pascale, C., Pasos, M.S., Puentes, I., Ratto, S.E., Ríos, P., y otros . (2014). *Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas* (Segunda Edición ed.). (M. y. Conti, Ed.) Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- CONAE. (Octubre de 2017). Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de Catalogos CONAE. Guía única de productos SPOT:  
[https://catalogos4.conae.gov.ar/spot6/Docs/Guia\\_Unica\\_UsuariosSPOT-V1.0.pdf](https://catalogos4.conae.gov.ar/spot6/Docs/Guia_Unica_UsuariosSPOT-V1.0.pdf)
- Corchero Nuñez, M., del Puerto Centeno, M., Leal Cindoncha, C. y Camello Lázaro, A. (2014). *Análisis de dos métodos de interpolación y sus parámetros, para temperatura y precipitación mensuales en Extremadura*. Universidad de Extremadura.
- Corominas, J. (2006). El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. *Revista C&G*, (3-4)(20), 89-113.
- Corradine, M. (2017). *Caracterización físico biótica, morfometría* . Consorcio Río Garagoa, Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Garagoa (POMCA), Bogotá, Colombia.
- Cravero, S.A.C., Bianchi, C.L., Elena, H.J. y Bianchi, A.R. (2017). *Clima de la Argentina. Mapas digitales mensuales de precipitación y precipitación menos evapotranspiración potencial*. INTA Ediciones.
- Dencheff, E. (Abril de 2019). Ing. Civil de Vialidad Provincial.
- Di Gregorio, A. (2016). *Land Cover Classification System*. Roma: FAO.

*Diario digital La Nación.* (6 de febrero de 2005). Recuperado el octubre de 2018, de <https://www.lanacion.com.ar/677148-ruta-40-crecio-y-cambio-el-rumbo>

*Diario digital Río Negro.* (29 de Septiembre de 2005). Obtenido de La ruta 40 ahora pasa por Bariloche y El Bolsón: <https://www.rionegro.com.ar/region/la-ruta-40-ahora-pasa-por-bariloche-y-el-bolson-FGHRN0509291929609>

*Diario Digital Río Negro.* (29 de Septiembre de 2005). Obtenido de La ruta 40 ahora pasa por Bariloche y El Bolsón: <https://www.rionegro.com.ar/region/la-ruta-40-ahora-pasa-por-bariloche-y-el-bolson-FGHRN0509291929609>

*Diario Digital Río Negro y Neuquén.* (13 de Octubre de 2004). Recuperado el 7 de Noviembre de 2018, de Reclaman Mantenimiento de la deteriorada Ruta 258: [www1.rionegro.com.ar/arch200410/13/m13j10.php](http://www1.rionegro.com.ar/arch200410/13/m13j10.php)

*Diario Digital Río Negro.* (9 de Septiembre de 2019). Obtenido de Un estudio alerta sobre el riesgo de un tsunami por el bosque sumergido en Traful: <https://www.rionegro.com.ar/un-estudio-alerta-sobre-el-riesgo-de-un-tsunami-por-el-bosque-sumergido-en-traful-1102698/>

Díaz, P. (Mayo de 2019). Subsecretaria de Protección civil de la Municipalidad de San Carlos de Bariloche.

Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía Metodologica para su evaluación.* Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: Planeta Tierra.

Domínguez, E., Rabasa, J. y Cabral, R. (1978). *Estudio del Aluvión de Melipal.* San Carlos de Bariloche .

Dzendoletas, M.A., Cavallaro, S., Crivelli, E. y Pereyra, F. . (2006). Mapa de vegetación del ejido municipal de San Carlos de Bariloche y alrededores. Río Negro. Patagonia Argentina. *Ecología*(20), 65-88.

*El Constructor. Periodico de la Construcción y Negocios.* (15 de Marzo de 2018). Recuperado el 7 de Noviembre de 2018, de RN 40: repavimentación en la provincia de Río Negro: [https://www.elconstructor.com/vialidad/rn-40-repavimentacion-en-la-provincia-de-rio-negro\\_5160.html](https://www.elconstructor.com/vialidad/rn-40-repavimentacion-en-la-provincia-de-rio-negro_5160.html)

ERDAS. (2010). ERDAS. Obtenido de [ftp://ftp.ecn.purdue.edu/jshan/ERDAS\\_Library/2011help/html/FieldGuide/wwh](ftp://ftp.ecn.purdue.edu/jshan/ERDAS_Library/2011help/html/FieldGuide/wwh)



elp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=FieldGuide&file=Classification\_Decision\_Rules.html

- Esper Agilieri, M. (2012). Análisis de la vulnerabilidad por flujos en masa en la provincia de San Juan (Oeste de Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 3-4(25), 145-156.
- Esper Angilieri, M. (2011). Inventario de procesos de remoción en masa de un sector del Departamento Iglesia, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 2(68), 225-232.
- Espíritu Tlatepla, G. (2012). Criterios geológicos hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a afectaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM.*(80), 36-54.
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo: Pentalfa Ediciones .
- Ferreira, M.V., Grigera, D. y Úbeda, C. (2005). Conservación de los ecosistemas de alta montaña: La zona altoandina del Parque Nacional Nahuel Huapi (Argentina). *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 33, 41-58.
- Feruglio, E. (1947). Carta Geológico-Económica San Carlos de Bariloche. (Hoja 40b.), *Relevada entre los años 1926-1939*. Secretaria de Industria y Comercio. Dirección general de minas y geología.
- Fjeld, R.A., Eisemberg, N.A., y Compton, K.L. . (2007). *Quantitative Environmental risk analysis for human health*. New Jersey. USA: Ed. Jhon Wiley Sons.
- Flint, R.F. y Fidalgo, F. . (1963). *Geología Glacial de la zona de borde entre los paralelos 39° 10 y 41°20 de Latitud Sur en la Cordillera de los Andes*.Boletín 93. República Argentina. Buenos Aires: Ministerio de Economía de la Nación. Dirección Nacional de Geología y Minería.
- Fonseca Roselló, J.A. y Rego, M. (2009). La teledetección en el manejo de riesgo de desastres. Sus impactos en la sociedad. *Medio Ambiente y Sociedad*, 76-88.
- Flint, R. y Fidalgo, F. (1969). Glacial drift in the eastern Argentine Andes between latitude 41° 10'S and latitude 43° 10'S. *Geological Society of America Bulletin*, 80(1), 1043-1052.

- García-Sanseguundo, J., Farias, P., Gallastegui, G., Giacosa, R.E. y N. Heredia, C. (2008). Structure and metamorphism of the Gondwanan basement in the Bariloche region (North Patagonian Argentina Andes). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 98, 1599-1608.
- GeoSpatial*. (2013). Recuperado el 10 de diciembre de 2017, de <http://www.geospatial.com.co/imagenes-de-satelite/alos-palsar.html>
- Giacosa, R.E. y N. Heredia, C. (2004). Structure of the North Patagonian thick-skinned fold-and-thrust belt, southern central Andes, Argentina (41° - 42° S). *Journal of South American Earth Sciences*(18), 61-72.
- Giacosa, R.E. y N. Heredia, C. (2001). Hoja Geológica 4172-IV. 1:250.000. Boletín N° 279. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. Programa nacional de cartas de la República Argentina. .
- Gobierno de Jujuy (2019). Recuperado el 22 de octubre de 2019; de <http://prensa.jujuy.gob.ar/tag/reconstruccion-de-volcan/>.
- González de Matauco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicando a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E*, 311-329.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- González Díaz, E.F. y Floguera, A. (2009). Los deslizamientos de la cordillera neuquina al sur de los 38° S : su inducción. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 4(64), 569-585.
- González, M., Pinyol, J., Camafort, M., Vilaplana, J., y Oller, P. (2013). El mapa para la prevención de riesgos geológicos de cataluña 1:25000: Aplicación de una metodología a escala regional para la evaluación de la susceptibilidad a generar flujos torrenciales. *VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Pala de Mallorca.
- González, M.A, y Bejerman, N.J. . (2004). *Peligrosidad Geológica en Argentina . Metodología de análisis y mapeo. Estudio de casos*. (Vol. 4). Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.
- Gowda, J.H., Kitzberger, T., Edwards, P., Suarez, L., Cavallero, L., Rapoport, E. y Ladio, A. (2014). *Researchgate*. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/260597767\\_COMUNIDADES\\_VEGETALES\\_Y\\_ECOSISTEMAS\\_TERRESTRES\\_INFORME\\_FINAL\\_Tabla\\_de\\_contenido](https://www.researchgate.net/publication/260597767_COMUNIDADES_VEGETALES_Y_ECOSISTEMAS_TERRESTRES_INFORME_FINAL_Tabla_de_contenido)

Grajales Quintero, A., Serrano Moya, E.D. y Hahn Von-H, C.M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul- Universidad de Caldas*(36), 285-306.

Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson.

Haneck, I. (2 de Junio de 2015). *Municipalidad de San Carlos de Bariloche*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2018, de Consejo Municipal. Comunicaciones 796-CM-15. Solicitar a Vialidad Nacional obras en la ruta 40 tramo Bariloche - El Bolsón: <http://concejobariloche.gov.ar/index.php/comunicaciones/9890-c-15-796>

Hervás, J., Barredo, J.I. y Lomoschitz, A. . (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio, aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria). 169-180.

Hoek, E. M. (1998). Applicability of the geological strenght index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(2), 151-160.

Infobae. (27 de julio de 2019). *Villa La Angostura seguirá aislada otros 20 días por tierra: catamaranes gratuitos la conectan con Bariloche*. Obtenido de <https://www.infobae.com/sociedad/2019/07/27/villa-la-angostura-seguira-aislada-otros-20-dias-por-tierra-catamaranes-grautitos-la-conectan-con-bariloche/>

INPRES. (2019). Recuperado el 10 de Enero de 2019, de Instituto Nacional de prevención sísmica: <https://www.inpres.gob.ar/>

INTA y CONAE. (2009). *Informe técnico unificado (Anexo II). Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos. Programa Nacional de Ecorregiones*. INTA.

Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista Geografía*, 19, 41-68.

Jobbágy, E.G., Paruelo, J.M. y León, R.L.C. (1995). Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología Austral*, 5, 47-53.

- Jurio, E.M. y Capua, O.C. (2011). Susceptibilidad del paisaje en la cuenca alta del Río Aluminé, Neuquén. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*(3), 54-70.
- Kanji, M.A., Cruz, P.T., Massad, F. y Araújo Filho, H.A. (2001). Environmental effects of debris flows and their protection measures. *XV International Conference on Soil Mechanics and geotechnical Engineering*, 1913-1916.
- Keller, E.A. y Blodgett, R.H. (2004). *Riesgos Naturales: Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Madrid, España: Pearson educación.
- Lario Gómez, J. y Bardají Azcárate, T. (2017). *Introducción a los Riesgos Geológicos*. Madrid: UNED.
- Lehr, A. (Julio de 2019). Coordinador del área de gestión ambiental. PNNH.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulus, J.L.H. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill Latinoamerica.
- López, C.R., Gaitán, J.J. y Lagorio, P. (2007). *Modulo I: Relevamiento y cartografía de suelos y aptitud forestal de las tierras. Área Río Foyel, Departamento Bariloche, Provincia de Río Negro. Área recursos naturales*. San Carlos de Bariloche: INTA. Centro Regional Patagonia Norte.
- Lozano, P., Bussmann, R.W., Kueppers, M. (2006). Landslides as ecosystem disturbance- their implications and importance in Southern Ecuador. *Lyonia*, 1(9), 75-81.
- Macari, E. (2001). Evaluación de riesgos de derrumbes causados por lluvias torrenciales. *Rev.Int. de desastres naturales. Accidentes e Infraestructura Civil*, 117-126.
- Marcano Montilla, A. y Cartaya Ríos, S. (2012). Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa, empleando sistemas de información geográfica (SIG), en la cuenca del río San Julián, estado Vargas, Veenzuela. *Revista de Investigación*, 36(75), 67-88.
- Martinez, J. (11 de enero de 2016). Personal de Vialidad Nacional. Delegación San Carlos de Bariloche . (M. A. Cotelo, Entrevistador)
- Martínez, J.C., Dristas, J.A., Massonne, H-J. (2011). Palaeozoic accretion of the microcontinent Chilenia, North Patagonian Andes: high-pressure metamorphism and subsequent thermal relaxation. *International Geology Review*. 1-19.

- Mazurek, H. (2009). *Espacio y Territorio. Instrumentos metodológicos de investigación social*. Marseille: IRD Éditions.
- Mendoza, M.E. y Reyes Hernández, H. (2011). Los Sistemas de Información Geográfica. En B. Zuñiga, *Técnicas de muestreo para el manejo de recursos naturales* (págs. 641-674). Universidad Autónoma de México.
- Mergili, M., Marchant Santiago, C.I., y Moreiras S.M. (2014). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131.
- Ministerio de Educación, C. C. (24 de Septiembre de 2018). *Vialidad Nacional. Argentina.gob.ar*. Obtenido de Ruta 40: Un puente al conocimiento: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/ruta-40-un-puente-al-conocimiento>
- Ministerio de Vivienda de España, C. O. (2008). *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de Riesgos Naturales en España*. Madrid: Gobierno de España.
- Mizerit. I. (2017). *Evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en los alrededores de los Lagos Mascardi y Guillermo, Parque Nacional Nahuel Huapi, Río Negro*. General Roca: Tesis de Licenciatura. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología. Universidad Nacional de Río Negro.
- Molina Molina, J. (2014). *Técnica para crear e identificar mapas de susceptibilidad por remoción en masa usando aplicaciones de SIG*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Montiel, K.A. y Secco R.H. (2006). Niveles de peligro de inestabilidad de las laderas de un sector del flanco norandino venezolano: Monte Carmelo, Estado de Trujillo. *Espacio y Desarrollo*(18), 30-48.
- Mora, R. (1998). Propiedades Físicas, Hidráulicas y Mecánicas de suelos de origen volcánico, en sitios seleccionados del valle central de Costa Rica. *Revista Geológica de América central*(19), 81-98.
- Moreiras, S.M., Lenzano, M.G. y Riveros, N. (2008). Inventario de procesos de remoción en masa en el parque provincial Aconcagua, provincia de Mendoza, Argentina. *Multequina*(17), 129-146.
- Mujica, S. y Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río

- Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, 37(20), 215-244.
- Muñiz Jauregui, J.A. y Hernández Madrigal, V. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1), 103-114.
- Noe, Y., Elena, H., Morales, C.P., y Ledesma, F. (2014). *Sistema de Información Geográfica con QGIS 2.X. Nivel I*. Salta: INTA.
- Novotý, J. (2013). *Varnes Landslide Classification (1978)*. Ethiopia: Addis Abada University, Ethiopia.
- Oriolo, S., Schulz, B., González, P.D., Bechis, F., Olaizola, J.K., Renda, E.M., Vizán, H. (2019). The Late Paleozoic Tectonometamorphic Evolution of Patagonia Revisited: Insights From the Pressure-Temperature-Deformation-Time (P-T-D-t) Path of the Gondwanide Basement of the North Patagonian Cordillera (Argentina). *Tectonics*. (2378-2400).
- Osorio Gómez, J.C. y Orejuela Cabrera, J.P. (2008). El proceso de análisis jerárquico(AHP) y la toma de decisiones multicriterio.Ejemplo de Aplicación. *Scientia et Technica*(39), 247-252.
- Pacheco, H., Scarlet, C., Méndez, W. (2007). *Análisis estadístico multivariado para la ponderación de variables, físico geográficas que influyen en los deslizamientos: Caso de estudio, cuenca de la quebrada Curucutí estado de Vargas Venezuela*. Caracas. Venezuela: IX Congreso Geológico Venezolano.
- Parque Nacional Nahuel Huapi*. (2019) Recuperado el 20 de enero de 2019, de <https://www.parquesnacionales.gob.ar/areas-protegidas/region-patagonia/pn-nahuel-huapi/>.
- Paz Tenorio, J.A., González Herrera, R., Gómez Ramírez, M., y Velasco Herrera, J.A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso de la ladera sur de Tuxla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas(UNAM)*(92), 1-16.
- Peck, E. y. (1962). An approach to development of isohyetal maps for mountainous areas. *Journal of geophysical research*, 67(2), 681-694.

- Pedre, D. (Abril de 2019). Ing.civil especialista en caminos.
- Pereyra, F. (2007). Geomorfología urbana de San Carlos de Bariloche y su influencia en los peligros naturales, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 2(62), 309-320.
- Pereyra, F. y Roverano, D. (2010). Glaciares de roca fósiles y otras formas criogénicas en San Carlos de Bariloche, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3(66), 40-437.
- Pereyra, F., Elissondo, M., López, C., Dzenoletas, A., Roverano, D. y Wilson, C. (2009). *Carta de Peligrosidad Geológica 4172-IV. 1:250.000*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. Programa nacional de cartas de la República Argentina. .
- Perucca, L. y Esper Angileri, M.Y. (2009). El deslizamiento de rocas y detritos sobre el río Santa Cruz y el aluvión resultante por el colapso del dique natural, andes centrales de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3(65), 571-585.
- PNNH. (2019). *Plan de Gestión del Parque Nacional Nahuel Huapi*. San Carlos de Bariloche. .
- Press, E. (03 de Marzo de 2018). *Ciencia Plus*. Obtenido de <https://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-nasa-presenta-mapamundi-riesgo-deslizamiento-casi-instantaneo-20180322184153.html>
- Rabassa, J. (2010). El cambio climático global en la Patagonia desde el viaje de Charles Darwin hasta nuestros días. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1), 139-156.
- Rabassa, J. y Clapperton, C.M. (1990). Quaternary glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9, 153-174.
- Racca, J. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales de terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 1-2(77), 31-38.
- Ramírez Navas, M. (2006). *La evaluación del peligro por fenómenos de remoción de masa y su aplicación territorial*. Quito: Escuela politécnica nacional de Ingeniería.
- Recondo, C., Menéndez, C., García, P., González, R., y Sáez, E. (2000). Estudio de las zonas propensas a sufrir deslizamientos en los Concejos de Oviedo Mieres (Asturias) a

partir de una imagen LandsatTM y de un Modelo Digital de Elevaciones. *Revista de Teledetección* (14), 1-10.

Remondo Tejerina, J. (2001). *Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, Departamento de geología, España.

Renda, E., Rozas Garay, M., Moscardini, O., y Torchia, N.P. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Buenos Aires, Argentina: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Seguridad de la Nación Argentina.

Roa, J. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 183-219.

Ruiz, L. (2013). *Análisis geomorfológico, sedimentológico y cronoestratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogénicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación*. Buenos Aires: Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Ruiz, L. y Liaudat Trombotto, D. (2012). Glaciares de escombros fósiles en el cordón Leleque, Noroeste del Chubut: significado paleoclimático y paleográfico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3(69), 418-435.

Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 9-29.

SAGA GIS. (2018). Obtenido de SAGA-GIS Module Library Documentation: <http://www.saga-gis.org>

Saha, A.K., Gupta, R.P., y Arora, M.K. (2002). GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Int.J. Remote Sensing*, 23(2), 357-369.

Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A., y Marturia, J. (2003). A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Población de Lilet area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*(30), 281-295.



- Sarkar, S. y Kanungo, D.P. (2004). An integrated approach for landslide susceptibility y mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(5), 617-625.
- Sempere, D., Urbano, A., Lavabre, J. y Dolz, J. (1994). Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales. *Ingeniería del agua*, 1(4), 33-48.
- Sepúlveda, A.B., Patiño Franco, J. y Rodríguez, C.E. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y Proyectos*(20), 31-43.
- Sepúlveda, S.A, Náquira, V., Arenas, M. (2011). Susceptibilidad de Remociones en masa costeras y amenazas asociadas en la Patagonia Chilena: El caso del área de Hornopirén (42°S). *Investig. Geogr.*(43), 35-46.
- Serey, A., Sepúlveda, S.A, y Lara, M. . (2009). *Análisis de las remociones en masa generadas por el terremoto en el Fiordo de Aysén en el 2007 (45° 25' S)*. Santiago de Chile: XII Congreso Geológico Chileno.
- SIPAN. (24 de marzo de 2018). *Sistema de Información Patagonia Norte*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): <http://sipan.inta.gov.ar/productos/ssd/vc/bariloche/ig.html?url=ig/introduccion.htm>
- Solivérez, C. (11 de Mayo de 2017). *La enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina*. Recuperado el 2018, de Ruta Nacional 40: <https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/>
- Solsona Perales, M. (2017). *Generación automática de mapas agroclimáticos a partir de recursos de red*. Tesis final de grado, Universidad Politecnica de Valencia , Escuela técnica superior de ingeniería geodésica, catográfica y topográfica.
- Sosa, P. (Junio de 2019). Ing. civil especialista en caminos.
- Spot Image. (2005). Recuperado el 10 de junio de 2017, de Los satélites Spot en números: [www.spotimage.com](http://www.spotimage.com)
- Spot Image. (2006). Recuperado el 10 de junio de 2017, de Niveles de preprocesamiento y precisión de localización: [www.spotimage.com](http://www.spotimage.com)
- Strahler, A. (1952). Hypsometric (Área-Altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of geological society of america*, 63, 1117-1142.

- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen I*. España: Universidad de Santander.
- Tambo Encalada, W. (2011). *Estudio de peligro de deslizamiento del Norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja.Ecuador*. Facultad de Geografía. La Habana: Universidad de La Habana.
- Tarbuck, E.J y Lutgens, F.K. (2008). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Torres Giraldo, H. (2015). *Actualización de Unidades Hidrográficas y codificación de fuentes de agua superficial en ámbitos de administraciones locales de agua*. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
- Trombotto, D. (2000). Survey or cryogenic processes, periglacial forms and permafrost conditions in south america. *Revista do Instituto Geológico Sao Paulo*, 1(21), 33-55.
- Urta Matus, C.S. y Jurio, E.M. (2012). Desestabilización de laderas y peligro de procesos de remoción en masa. Caso de estudio: faldeos de cerro Curruhuinca. San Martín de los Andes. Neuquén. *Boletín geográfico. Departamento Geografía Universidad Nacional del Comahue*.(34), 77-89.
- USGS. (2019). Recuperado el 18 de Enero de 2019, de Servicio Geologico de los Estados Unidad. Programa de Riesgos de Terremotos.: <https://earthquake.usgs.gov/>
- Valladares, A. (2003). *Cuencas de los Ríos Manso y Puelo. Cuenca N° 75*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio del Interior.
- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J. y Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation, why is it still so difficult? *Bull Eng. Geol.Env.*, 65, 167-184.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En D. J. Varnes, & R. L. Schuster (Ed.), *Special Report 176: Landslides: Analysis* (págs. 11-33). Washington D. C: Transportation and Road Research Board, National.
- Vialidad Nacional. (2017). Recuperado el 22 de Septiembre de 2018, de Datos del tránsito medio anual: <https://www.argentina.gob.ar/vialidad-nacional/institucional/informacion-publica/tmda>

- Vialidad, N. (2019). *SIG- VIAL*. Recuperado el 15 de enero de 2019, de <https://www.argentina.gob.ar/transporte/vialidad-nacional>
- Villarosa, G., Outes, V., Gomez, E.A., Chapron, E., Ariztegui, D. (2009). Origen del tsunami de mayo de 1960 en el Lago Nahuel Huapi, Patagonia: Aplicación de técnicas batimétricas y sísmicas de alta resolución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3(65), 593-597.
- Viltres Milán, Y., Pintón Castro, R. y Guardado Lacaba, R. (2011). Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas del sector este del municipio MOA. *IX Congreso Cubano de Geología. III Simposio de Riesgos Geológicos y Sismicidad*. Cuba.
- Viramontes Olivas, O.A., Escoboza García, L.F., Pinedo Álvarez, C., Pinero Álvarez, A., Reyes Gómez, V.M., Román Callejeros, J.A., Pérez Márquez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Medio ambiente y desarrollo sustentable*, 1(3), 21-31.
- Vivienda. Revista de la Construcción*. (16 de Abril de 2018). Recuperado el 7 de Noviembre de 2018, de Ruta Nacional 40: Repavimentación entre Bariloche y Esquel: <http://www.revistavivienda.com.ar/actualidad/noticias/ruta-nacional-40-repavimentacion-entre-bariloche-y-esquel>
- Weppen, R.Q. y Domínguez Morales, L. . (2003). *Informe de la visita realizada a Bolivia del 7 al 14 de Abril de 2003 con motivo del deslizamiento de la ladera del cerro Puca Loma sobre el poblado de Chima, Prefectura de la Paz, Bolivia*. CENAPRED.
- WP/WLI. (1993). *Multilingual Landslide Glossary*. Richmond, British Columbia, Canada : Bi-Tech Publishers.
- Zarco, I.A., Alonso Rodríguez, C., Bosque Sendra, J., Malpica Velasco, J.A., Martín-Loeches, M., Pérez Asensio, E. y Temiño Vela, J. (2003). Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 23, 55-73.
- Zerda, H. (2005). Percepción remota y SIG en la planificación y gestión ambiental. En G. y. Ludueña, *Santiago del Estero : una mirada ambiental* (págs. 333-354). Santiago del Estero, Argentina: Ed. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

## 12. Anexo I: Glosario

**Andosoles:** Suelos con propiedades andicas (presencia de alofanos y vidrio volcánico)

**Banda:** Intervalo de longitud de onda dentro del espectro electromagnético. Por extensión, se denomina banda a cada uno de los canales de adquisición de datos de un sistema sensor. Aquellas que se emplean más frecuentemente son las siguientes: espectro visible (0,4  $\mu\text{m}$  – 0,7  $\mu\text{m}$ ) – Infrarrojo cercano (0,7  $\mu\text{m}$  – 1,3  $\mu\text{m}$ ) – Infrarrojo medio (1,3  $\mu\text{m}$  – 8  $\mu\text{m}$ ) – Infrarrojo lejano o térmico (8  $\mu\text{m}$  – 14  $\mu\text{m}$ ).

**Banda de absorción:** Cada uno de los intervalos de longitud de onda en los que un cuerpo absorbe radiación electromagnética. En consecuencia, en un espectro de emisión reflexión dichos intervalos presentarán valores nulos o proporcionalmente muy pequeños.

**Bandeado de la imagen:** Fenómeno por el cual la imagen espacial formada mediante un barredor de líneas (scanner) presenta bandas horizontales a intervalos regulares anormalmente claras u oscuras, como consecuencia del fallo de un detector del sensor durante la adquisición. Cuando el sensor es del tipo *push-broom* los eventuales fallos de detectores se traducen en bandeo vertical distribuido irregularmente.

**Bit:** Abreviatura de binary digit, unidad de información binaria utilizada por los sistemas informáticos.

**Clasificador:** Operador que asigna el vector de características de una celda a una clase determinada, en función de los criterios establecidos.

**Clasificador de mínima distancia:** Operador cuyo criterio de asignación es el de la distancia estadística entre el vector de características de la celda considerada y el vector de medias de cada una de las clases establecidas en la fase de entrenamiento.

**Clasificación no supervisada:** Procedimiento de clasificación digital basado en el análisis cluster, mediante el cual el sistema de tratamiento busca los agrupamientos *naturales* de los datos para establecer las correspondientes clases. A pesar del nombre, el operador ha de supervisar el proceso al menos en cuanto al número de clases solicitadas, número de iteraciones del proceso y algunos parámetros más.

**Clasificación supervisada:** Procedimiento de clasificación digital mediante el cual se establecen una serie de campos de entrenamiento seleccionados por el operador en razón de su homogeneidad temática, a partir de los cuales el sistema de tratamiento establece los parámetros estadísticos de las clases, básicamente vector de medias y matriz

de covarianzas. En una fase posterior de asignación, el sistema etiqueta cada celda de la imagen en función de la similaridad con cada clase. Habitualmente se utilizan funciones basadas en distancias estadísticas o en medidas de probabilidad.

**Color compuesto:** Proceso de formación de una imagen en color mediante la composición de tres bandas, a cada una de las cuales se les hace corresponder uno de los tonos primarios rojo, verde y azul, en una intensidad proporcional a la luminancia que muestre cada una de ellas.

**Contraste:** Razón existente entre la energía emitida o reflejada por un objeto y sus alrededores más inmediatos. El contraste en una imagen es un indicio de la información que proporciona y suele expresarse con la varianza de sus ND.

**Corrección geométrica:** Transformación de la imagen consistente en el desplazamiento de las celdas de su posición original para minimizar las distorsiones existentes en la misma, con el propósito de darle a aquélla validez cartográfica. Cuando la corrección geométrica conlleva dotar de coordenadas cartográficamente válidas al conjunto de celdas se habla de georreferenciación.

**Deslizamientos rotacionales:** se generan alrededor de un eje que es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, implica un desplazamiento en cizalla a lo largo de una superficie cóncava. Una vez que se inicia el proceso de rotura, la masa deslizada comienza a rotar y puede romperse en varios bloques dependiendo de las grietas transversales que posea. . En general se producen sobre superficies onduladas y anomalías en la red de drenaje. Presentan un pequeño grado de deformación interna en el material desplazado, esto los diferencia de los flujos.

**Deslizamientos transicionales** La masa se desliza sobre la superficie del terreno, hacia afuera y hacia abajo. El deslizamiento se produce a favor de planos de discontinuidad de rocas y en depósitos con variaciones en la resistencia al cizallamiento.pueden ser de bloques, rocosos o de suelos y detritos.

**Dispersión:** Fenómeno por el cual la radiación electromagnética es desviada de su trayectoria original, como consecuencia de los choques entre los rayos luminosos y las partículas atmosféricas, ya sean éstas las moléculas de los gases que la constituyen o aerosoles en suspensión.

**Distorsión:** Alteración de la geometría de la imagen en el proceso de adquisición, como consecuencia de los movimientos accidentales de oscilación de la plataforma, de la

rotación terrestre, del tiempo de barrido, de la velocidad de basculación del espejo barredor, del alejamiento de la celda del nadir y de la curvatura terrestre.

**Entisoles:** Suelos no evolucionados. No suelen presentar horizontes diagnósticos.

**Escena:** Área terrestre abarcada por una imagen adquirida por un sistema de teledetección.

**Espectro electromagnético:** Sucesión creciente de longitudes de onda de todas las radiaciones conocidas.

**Factor de seguridad (FS):** Coeficiente de estabilidad de taludes y /o laderas que indica cuando las fuerzas motrices exceden las fuerzas de resistencia. Para taludes en suelos o roca muy fracturadas:  $FS > 1,3$ , para taludes temporales con un mínimo de riesgo de dalos.  $FS > 1,5$  para taludes permanentes con riesgo significativo de daños. Para taludes en macizos rocosos fracturados:  $FS > 1,3$ , para taludes temporales con un mínimo de riesgo de dalos.  $FS > 1,5$  para taludes permanentes con riesgo significativo de daños.

**Falso color:** Composición de tres bandas para formar una imagen en color en la que la relación entre intervalo espectral y tono primario asociado a ella no sea el correspondiente a los intervalos espectrales naturales o al orden de éstos. Toda asignación de colores que no sean el azul para la banda situada en torno o dentro del intervalo 400-500 nm, el verde para el intervalo 500-600 nm y el rojo para el intervalo 600-700 nm se considera falso color.

**Filtro:** Operador local mediante el cual se obtiene una nueva imagen cuyos ND son función de los ND originales y de los de las celdas contiguas. Dependiendo del tipo, se utilizan para suavizar y eliminar ruido, o bien para realzar los rasgos lineales de una imagen.

**Filtro de media:** Tipo de filtro de paso bajo que asigna un nuevo ND a la celda, resultado de calcular la media aritmética de los nueve ND originales centrados sobre aquélla.

**Filtro de mediana:** Tipo de filtro de paso bajo no lineal que asigna un nuevo ND a la celda, resultado de calcular la mediana de los nueve ND originales centrados sobre aquélla.

**Filtro de paso alto:** Filtros destinados a reforzar los componentes de alta frecuencia de una imagen digital. Este filtro acentúa los contrastes espaciales entre píxeles vecinos, así refuerza los contornos entre áreas homogéneas

**Filtro de paso bajo:** Filtros destinados a suavizar la imagen mediante la eliminación de los componentes de alta frecuencia de ésta.

**Formato raster:** Forma de tratamiento y representación espacial de las entidades mediante la disposición de celdas o *píxeles* en forma de matriz numérica de ND.

**Formato vectorial:** Forma de tratamiento y representación espacial de las entidades mediante la asignación de un par de datos para cada punto, cuyo valor es el de sus propias coordenadas espaciales (tres, en el caso de incluir la cota). Cuando la entidad sea puntual solamente constará de un par de datos. Si se trata de una entidad lineal requerirán dos pares de valores por cada segmento. Por último, si la entidad es zonal, se representará una polilínea cuyo fin deberá coincidir con el principio de la misma.

**Gelisoles:** Suelos que se encuentran helados gran parte del año. Tienen permafrost en los 100 cm superficiales.

**Geoestacionario:** Condición de un satélite cuya velocidad angular en la descripción de su órbita es coincidente con la de la Tierra. En consecuencia, el vector de posición del satélite cortará a la superficie del geoide siempre en el mismo punto y virtualmente permanecerá inmóvil con respecto a él.

**Georreferenciación:** Procedimiento mediante el cual se dota de validez cartográfica a una imagen digital corrigiendo geoméricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en algún sistema de referencia.

**Geotecnia:** Disciplina que abarca el estudio de los diversos tipos de materiales en relación a sus propiedades mecánicas e hidráulicas, con la finalidad del diseñar y construir diversos tipos de obras de ingeniería civil.

**Granitoides:** Sinónimo de rocas graníticas. Los granitos son rocas que afloran en grandes macizos. Por lo general son de colores claros, con granos individualizados a simple vista.

**Histosoles:** Suelos con un horizonte superficial hístico. Tienen > 50% de materia orgánica y son <80cm.

**Inceptisoles:** Suelos poco evolucionados. Se los encuentra en ambientes húmedos a sub húmedos, poseen poca acumulación de materia orgánica y se observan horizontes afectados por procesos pedogenéticos.

**Imagen digital:** Función discretizada de la imagen analógica, tanto en las dimensiones geométricas, mediante la generación de celdas por muestreo equidistante de la superficie, como en sentido radiométrico, mediante la asignación de valores enteros denominados Niveles Digitales (ND), que están comprendidos entre 0 y  $k-1$ , siendo  $k$  el margen dinámico del sistema, determinado a su vez por su resolución radiométrica (que habitualmente suele ser de 8 bits, es decir,  $k=2^8=256$ , o de 10 bits, es decir,  $k=1024$ ).

**Interpretación digital:** conjunto de técnicas y herramientas que se aplican a la interpretación de imágenes utilizando software especializado.

**Interpretación visual:** Se utilizan distintos tipos de criterio para la visualización, como el tono, el color, las formas, los tamaños, la textura, la estructura, el emplazamiento o disposición. También son importantes los aspectos temporales.

**Interpolación:** La interpolación es una manera de estimar los valores de datos desconocidos a partir de datos u observaciones conocidas para el sitio de estudio. Este procedimiento supone que las localizaciones más cercanas en el espacio son más semejantes a las más lejanas. La calidad de la interpolación va a depender de la precisión, exactitud, número y distribución de los datos conocidos junto con el modelo de interpolación que se seleccione.

**Interpolación kriging:** Forma parte un grupo de métodos geoestadísticos. Se basa en una ponderación de los valores medidos en relación a una variable de estudio. Considera la correlación de los valores en el espacio.

**Longitud de onda:** Distancia entre dos nodos o dos valles consecutivos de una onda. En el caso de la radiación electromagnética, es el recíproco de la frecuencia de dicha radiación multiplicada por la velocidad de la luz. De su longitud de onda derivan la mayor parte de las propiedades de la radiación electromagnética. La clasificación del espectro electromagnético en regiones espectrales consiste en la agrupación de aquellos intervalos de longitud de onda en los cuales la radiación tiene comportamientos electromagnéticos similares.

**Molisoles:** Suelos con horizontes superficiales oscuros y profundos que suelen tener al menos 25 cm de espesor y alta saturación de bases (> 50%). Puede encontrarse en



diferentes regímenes de humedad y temperatura, pero el necesario para que se desarrollen las praderas.

**Nivel digital (ND):** Es el valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda en respuesta a la irradiancia recibida sobre el plano focal del sensor. Se le conoce asimismo como nivel de gris, luminancia, número digital, valor de pixel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.

**Parque Nacional:** Es un área a conservar en su estado natural, debido a que posee comunidades vegetales y animales que interrelacionan entre sí, y son representativas de una región. Así como tenga gran atractivo en bellezas escénicas o interés científico, las que serán mantenidas sin otras alteraciones que las necesarias para asegurar su control, la atención del visitante y aquellas que correspondan a medidas de Defensa Nacional adoptadas para satisfacer necesidades de Seguridad Nacional. En ellos está prohibida toda explotación económica con excepción de la vinculada al turismo.

**Píxel:** Abreviatura de *picture element*, cada una de los elementos que componen una imagen dispuestos matricialmente en filas y columnas.

**Realce de imágenes:** Procesos digitales que tienen como fin mejorar la calidad visual de la imagen mediante el aumento de contraste o la creación de nuevas bandas que ilustren mejor sobre sus características originales.

**Reflectancia:** Medida de la capacidad de una superficie para reflejar energía electromagnética en una determinada longitud de onda. Es la razón existente entre el flujo reflejado y el incidente sobre dicha superficie. Aplicado al espectro visible, suele hablarse de albedo.

**Reserva Nacional:** Es un sector donde se tiene como objetivo la conservación de sistemas ecológicos, el mantenimiento de zonas protectoras del Parque Nacional contiguo, o la creación de zonas de conservación independientes. Es prioridad la conservación de la fauna y de la flora autóctonas, de las principales características fisiográficas, de las bellezas escénicas, de las asociaciones bióticas y del equilibrio ecológico. La promoción y desarrollo de asentamientos humanos se hará en la medida que resulte compatible con los fines específicos y prioritarios enunciados.

**Resiliencia:** Habilidad de una unidad social o sistema natural para mitigar los impactos de los eventos adversos que las afectan y desarrollar actividades de

recuperación de modo de minimizar los daños sobre la sociedad y el ambiente mitigando los efectos de los eventos que pueden ocurrir en el futuro.

**Resolución:** Capacidad de un sistema sensor para distinguir información de detalle en un objeto. En teledetección se habla de distintos tipos de resolución: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

**Resolución angular:** Capacidad del sensor para la observación de un sector desde diferentes ángulos. La observación multiangular permite solapar los efectos de reflectividad bidireccional y resulta de interés para la estimación de algunas variables atmosféricas.

**Resolución espacial:** Es la mínima distancia a la cual dos objetos se distinguen como distintos y separados. Esta definición puede traducirse como la distancia sobre el terreno hacia el ángulo que forma con el sensor. La misma se corresponde al tamaño de un píxel, que es la mínima unidad de información que se incluye en una imagen. Tiene relación directa con la escala de trabajo y la fiabilidad que se puede obtener en la interpretación.

**Resolución espectral:** Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede diferenciar el sensor. A medida que el sensor discrimine un mayor número de bandas facilitará la caracterización de un número mayor de coberturas. Esta capacidad del sensor dependerá fundamentalmente del objetivo para el cual fue diseñado.

**Resolución radiométrica:** Refiere a la sensibilidad del sensor, es decir, su capacidad para detectar las variaciones en la radiancia espectral que recibe. Se expresa en el número de bits que necesita cada elemento de la imagen para ser almacenado. Actualmente la mayoría de los sistemas ofrecen 8 bits que equivalen a 256 niveles por píxel. Esta resolución es de importancia al momento de realizar un análisis digital, ya que una mayor resolución radiométrica permitirá discriminar objetos con niveles similares de reflectividad.

**Resolución temporal:** Es la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes del mismo sector de la superficie terrestre. Este concepto es la frecuencia de cobertura y dependerá de las características orbitales del satélite o la plataforma y dependerá de la altura, la velocidad y la inclinación así como el diseño del sensor, en particular el ángulo de apertura. Asimismo dependerá del objetivo del sensor.

**Ruido:** Todos aquellos errores aleatorios introducidos en la imagen durante el proceso de adquisición, transmisión o grabación de la misma. Producen la alteración de los niveles digitales que corresponderían a la escena real. El proceso de análisis de la señal debe ser capaz de distinguir y separar las alteraciones que son consecuencia del ruido sin eliminar con ello información sustancial de la imagen.

**Sensores activos:** Aquellos que emiten energía electromagnética generada artificialmente en la plataforma, la cual será después detectada a bordo tras sufrir una reflexión más o menos difusa en la superficie objeto de estudio.

**Sensores pasivos:** Aquellos otros que solamente registran la energía emitida por la superficie estudiada o la que, procedente del sol, es reflejada por ésta.

**Territorio:** remite a cualquier extensión de la superficie terrestre habitada por grupos humanos y delimitados en diferentes escalas políticas: local, municipal, regional, nacional. Sin embargo, se lo puede entender no solo como una representación del espacio, sino como una construcción social, cultural, económica y política.

**Textura:** Frecuencia de cambio y disposición que tienen los niveles de gris en una imagen espacial o fotográfica.

**Tono:** Percepción diferencial por parte del ojo humano de las distintas longitudes de onda del espectro visible. Es lo que coloquialmente se designa por color.

**Unidad de gestión territorial:** Se define como un área geográfica que posee una continuidad espacial y funcional. Se considera la presencia de valores de conservación natural, cultural y los usos existentes que resulten de problemáticas operativas y de gestión similares.

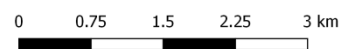
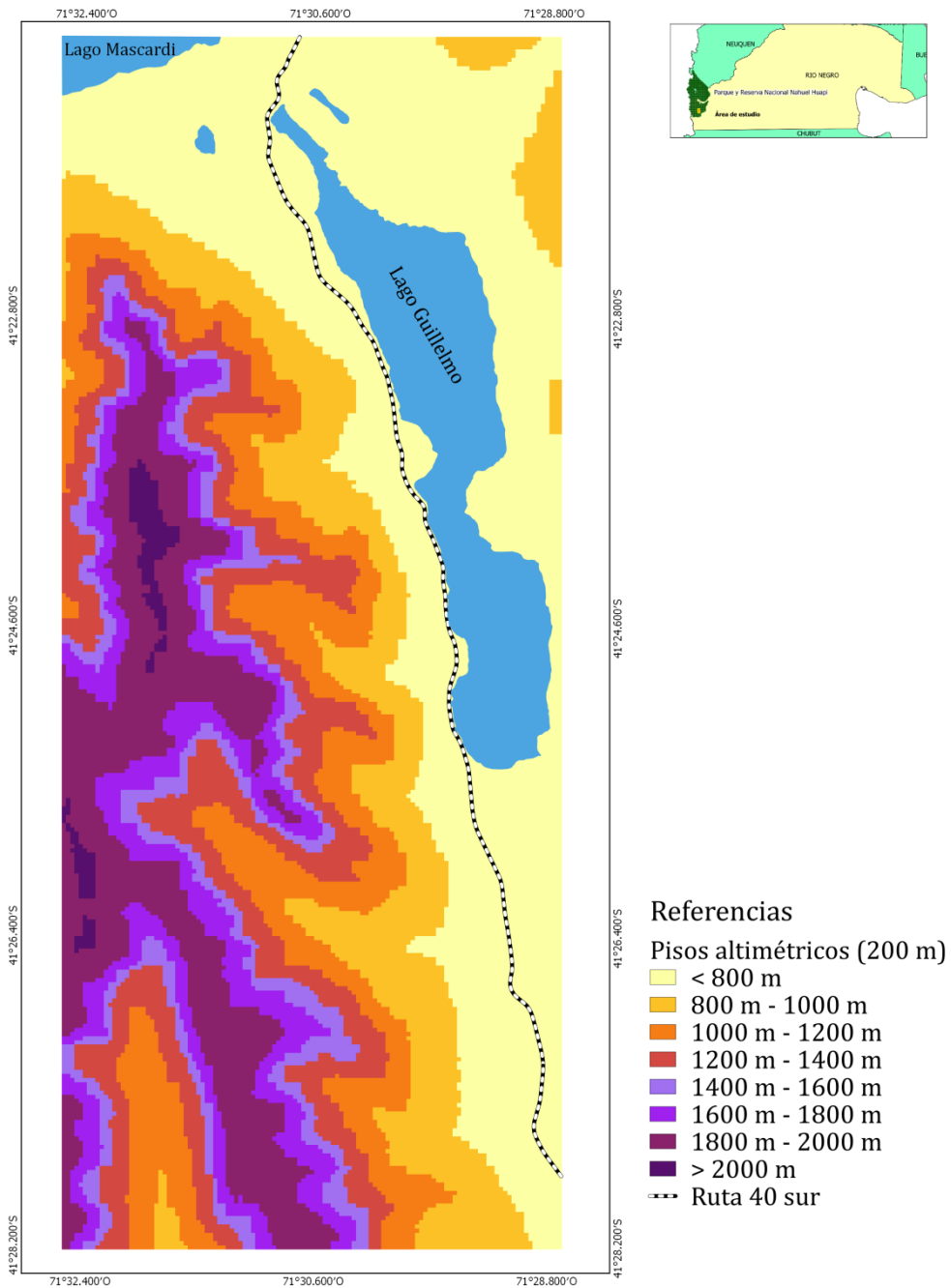
**Vecino más próximo:** Se aplica esta expresión a dos conceptos bien diferentes. Uno de ellos es uno de los métodos de remuestreo habituales, que consiste en asignar a una celda en la imagen corregida el ND que tiene más próximo en la imagen transformada, después de la aplicación de las funciones de corrección. El otro se refiere a uno de los métodos de clasificación, en el que el clasificador adopta el criterio de vecindad estadística o de mínima distancia.

## 13. Anexo II: Capas temáticas, productos básicos e intermedios

### 13.1. Productos Básicos

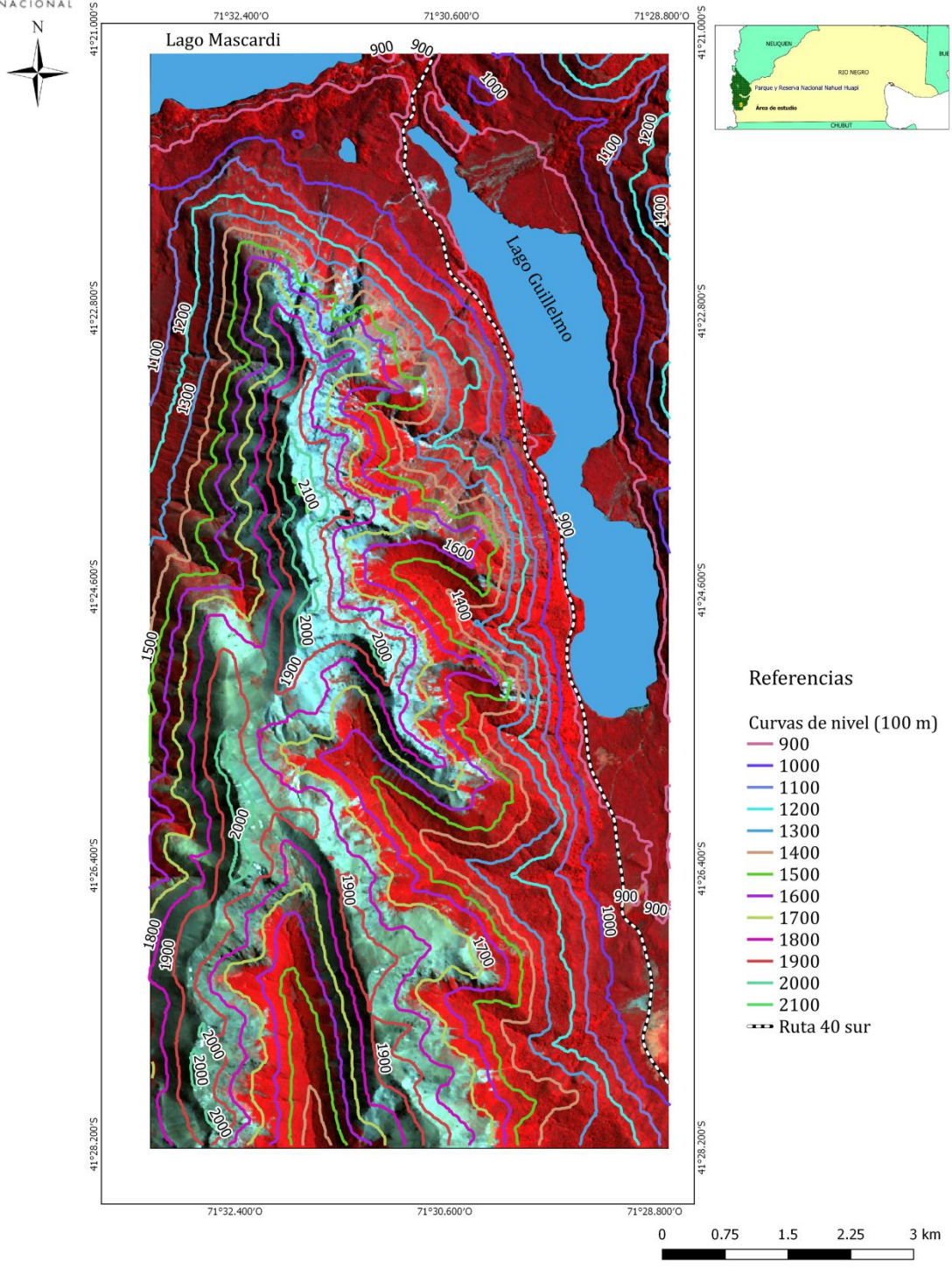


Pisos altimétricos cada 200 m



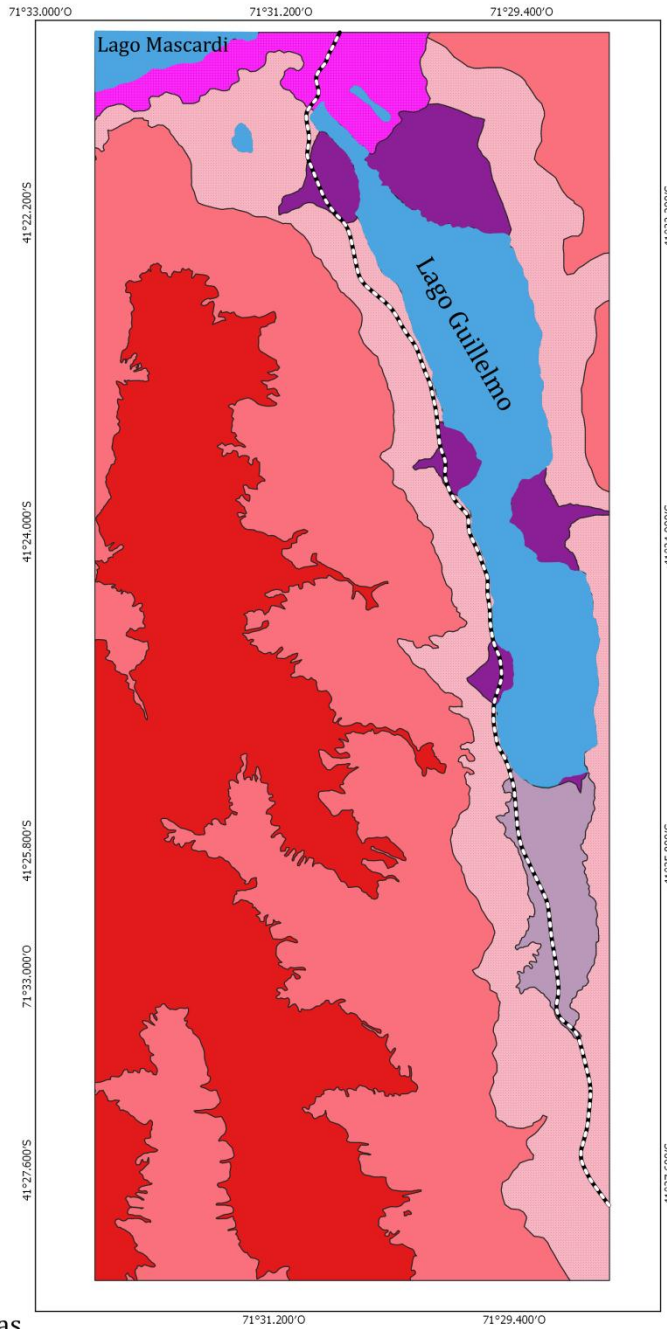


### Curvas de nivel cada 100 m





# Geología

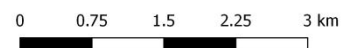


## Referencias

### Unidades de geología

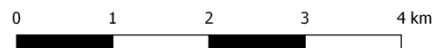
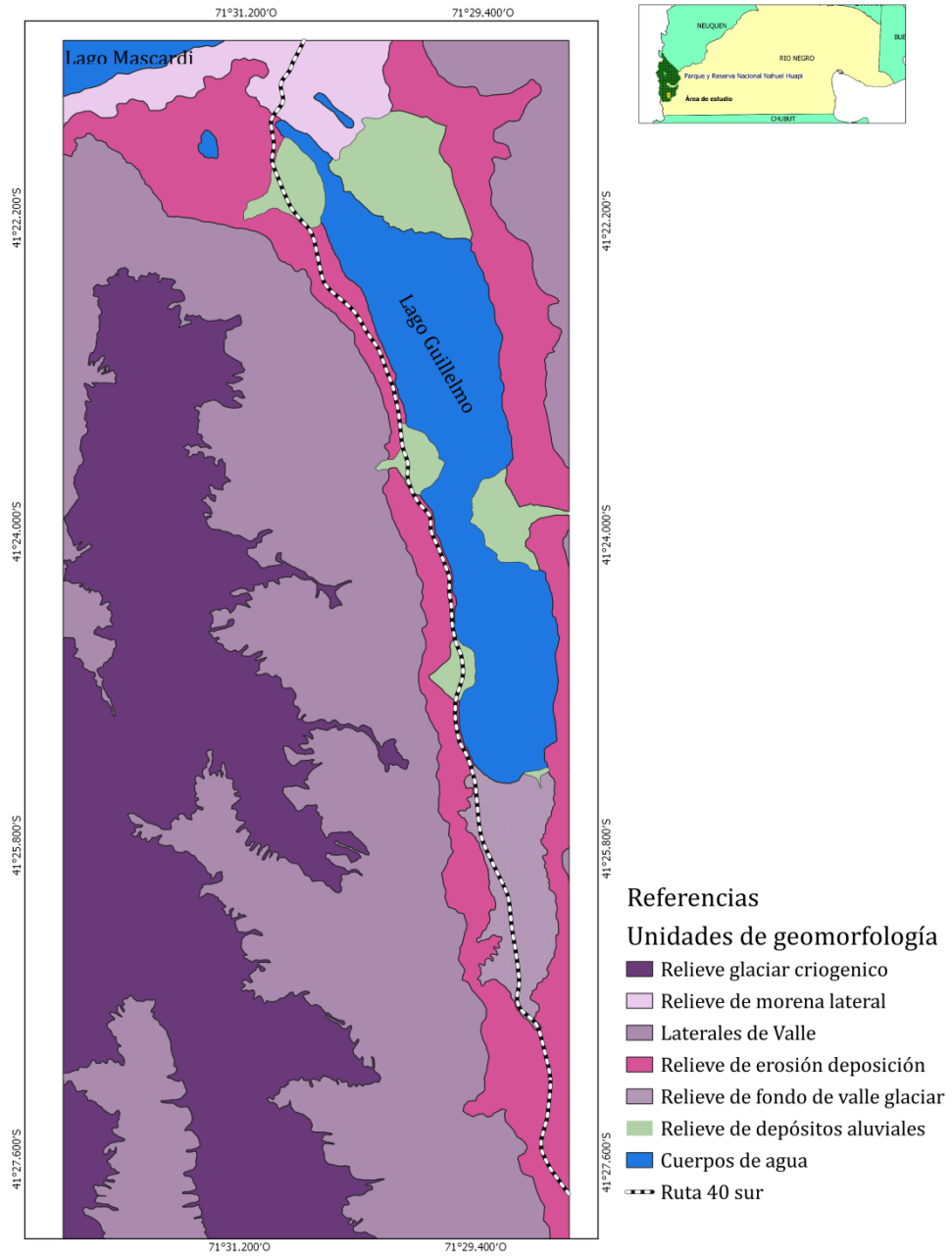
- Rocas ígneas muy met. y frac.
- Rocas ígneas moderadamente met. y frac.
- Rocas mixtas (metamórficas e ígneas)
- Fondo de valle de glaciar, sedimentos antiguos

- Depósitos coluviales y aluviales-Holoceno
- Depósitos glaciares-Pleistoceno (morenas)
- Cuerpos de agua
- Ruta 40 sur



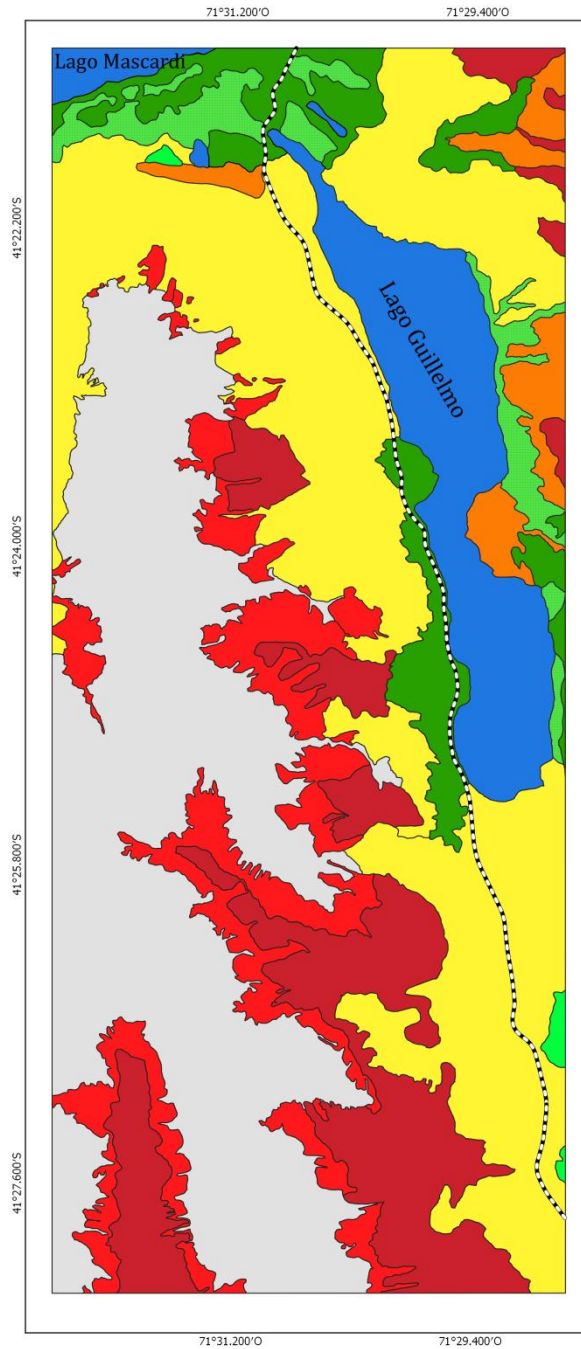


## Geomorfología





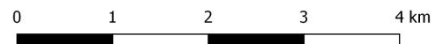
# Vegetación



## Referencias

### Unidades de vegetación

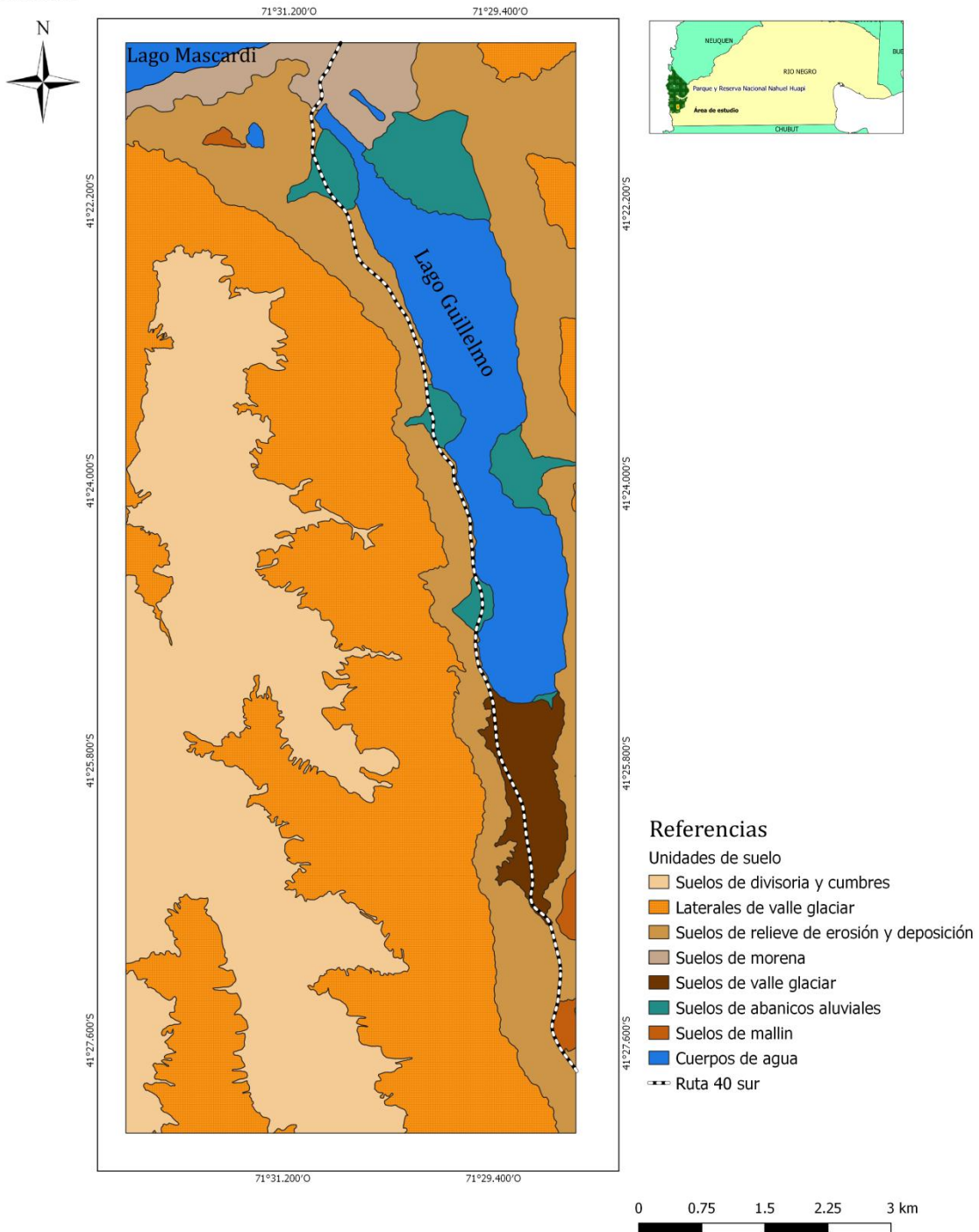
- Semidesierto de altura
- Lengua
- Lengua achaparrada
- Matorral mixto
- Matorral de ñire
- Ciprés
- Coihue
- Mallín
- Cuerpo de agua
- Ruta 40 sur





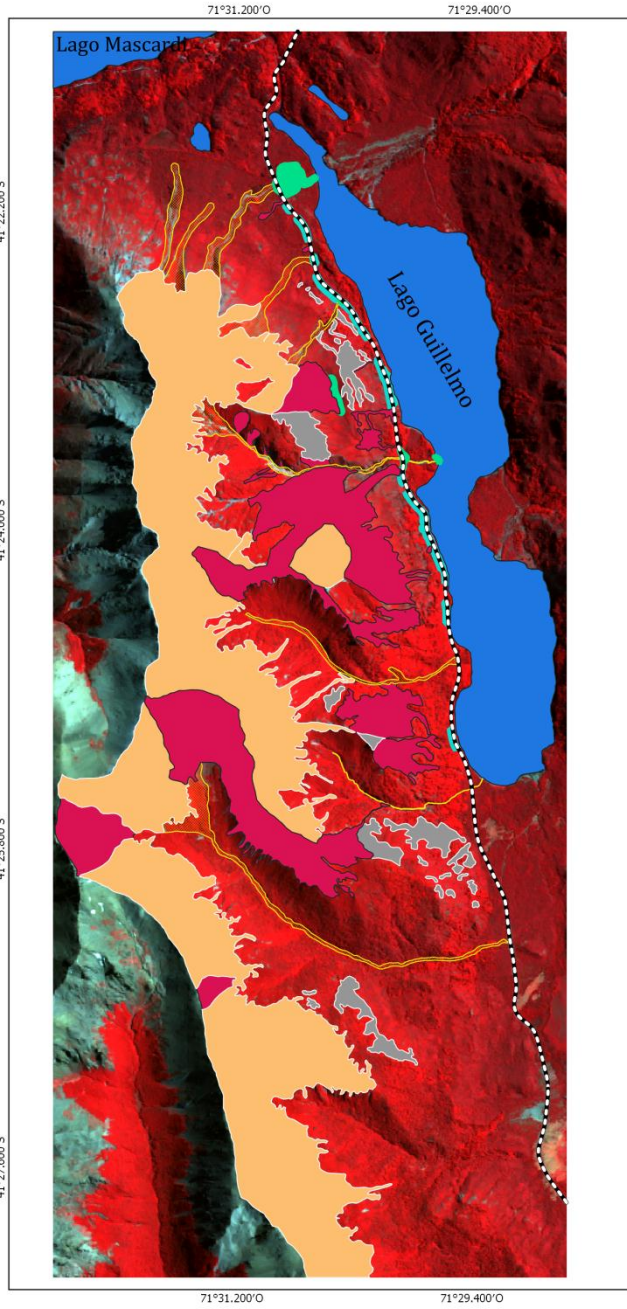


# Suelos



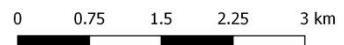


### Mapa de Inventario



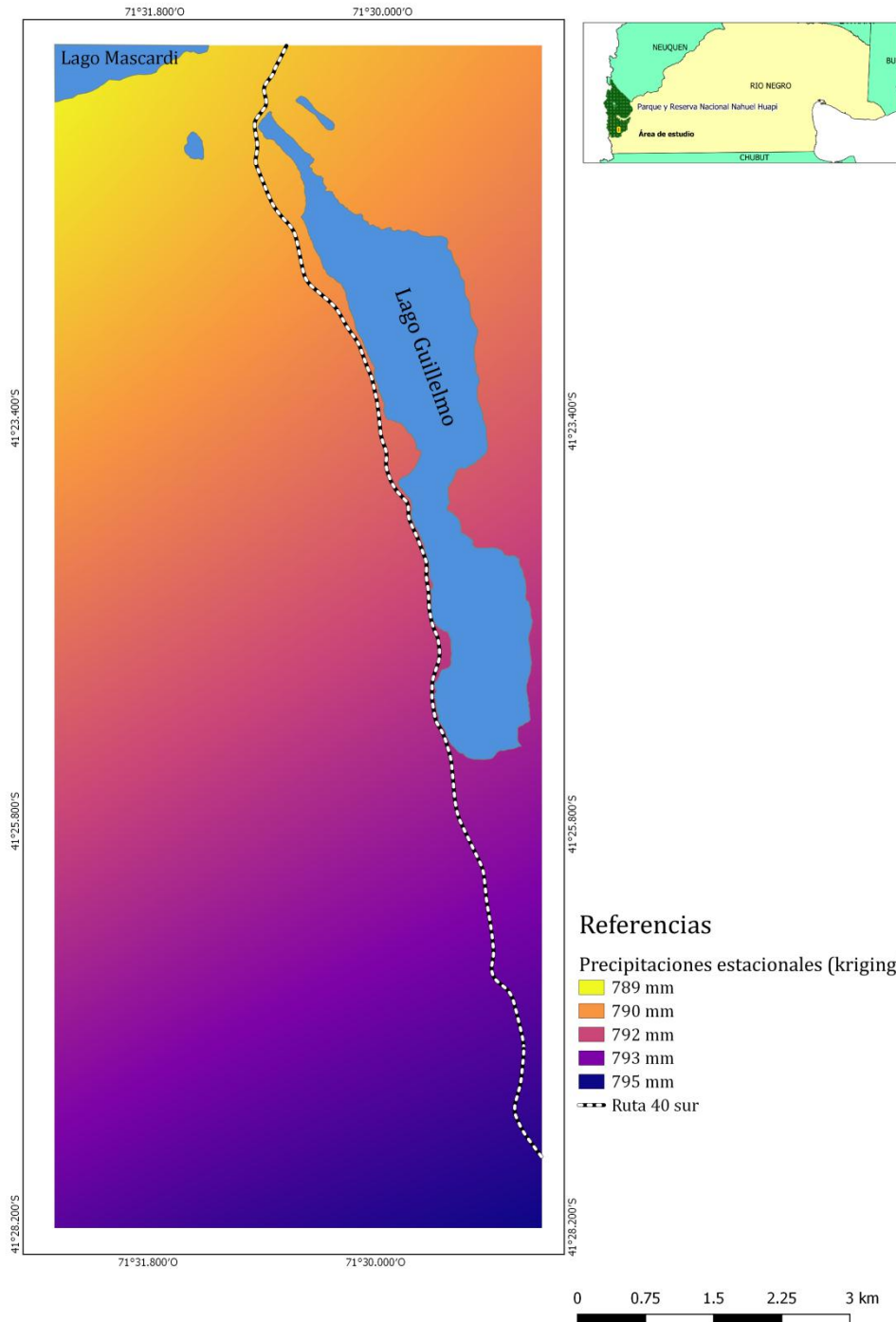
#### Referencias

- Unidades de inventario
- Corona y Escarpe Principal
  - Escarpe Menor- Zona de remoción localizada
  - Cuerpo Principal- Zona de desplazamiento de material
  - Zona de Acumulación
  - Zona de rocas desnudas y sin o muy escasa vegetación
  - Zona de Taludes
  - Cuerpos de agua
  - Ruta 40 sur



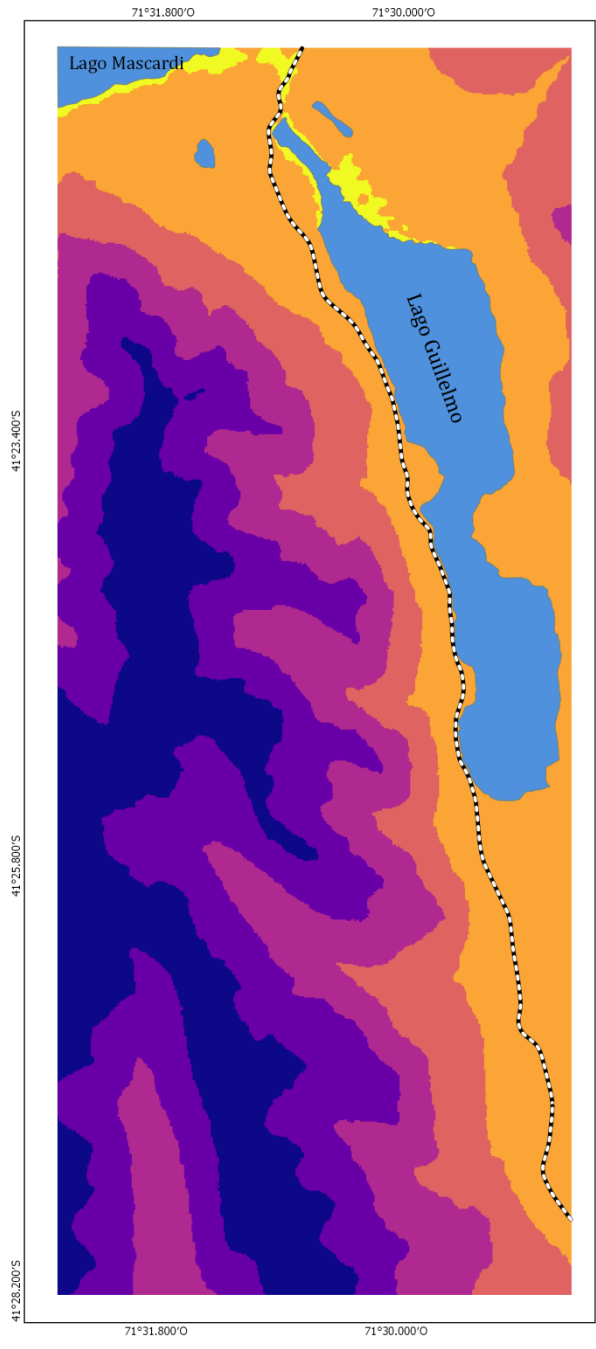


### Mapa de Precipitaciones Estacionales Acumuladas- Interpolación Kriging

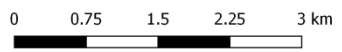




### Mapa de Precipitaciones Anuales Acumuladas corregidas por altura

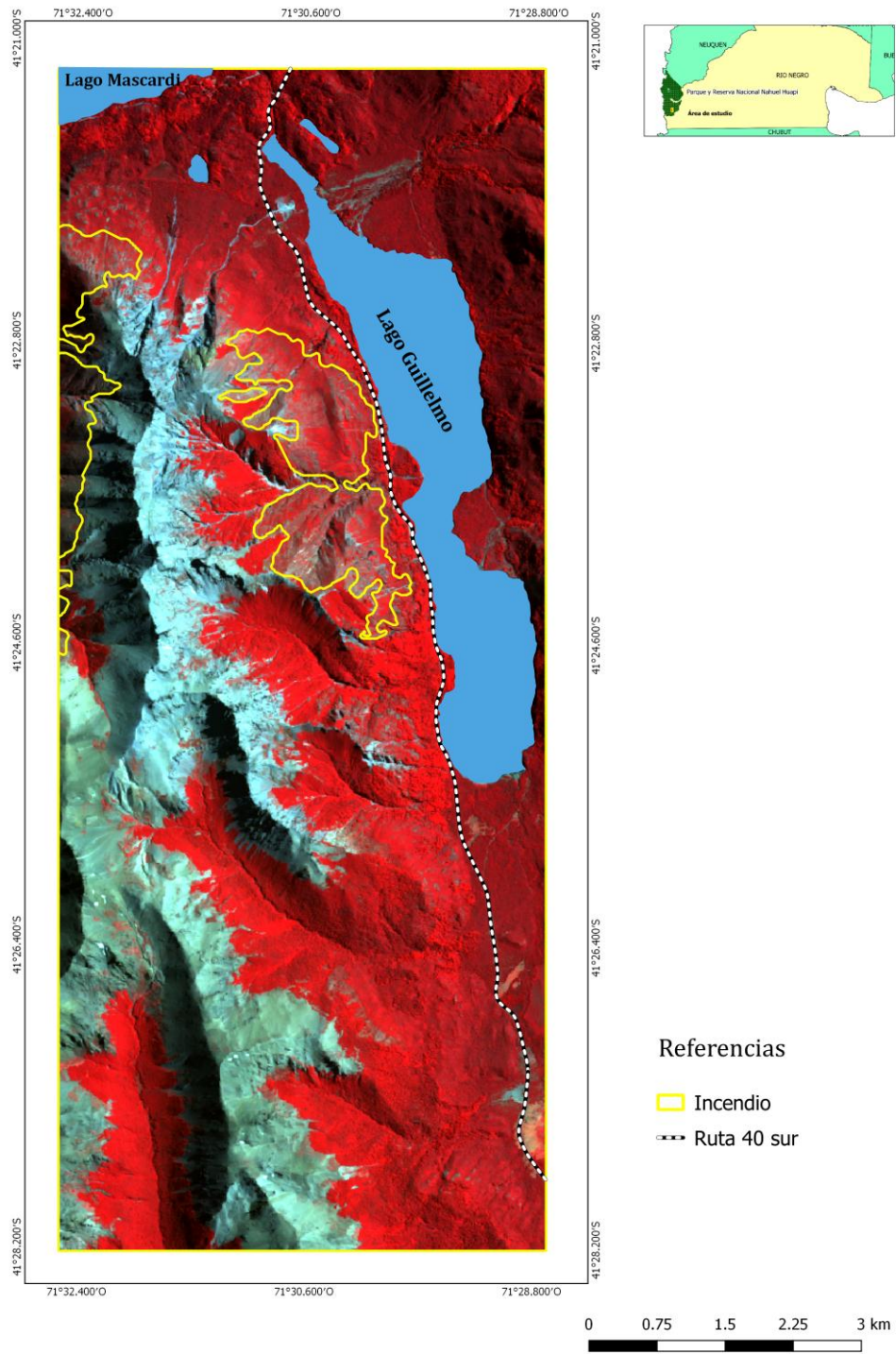


- Referencias**  
PP anuales acumuladas corregidas por altura
- < 1300 mm
  - 1300 mm -1400 mm
  - 1400 mm-1500 mm
  - 1500mm -1600 mm
  - 1600mm - 1700 mm
  - Ruta 40 sur





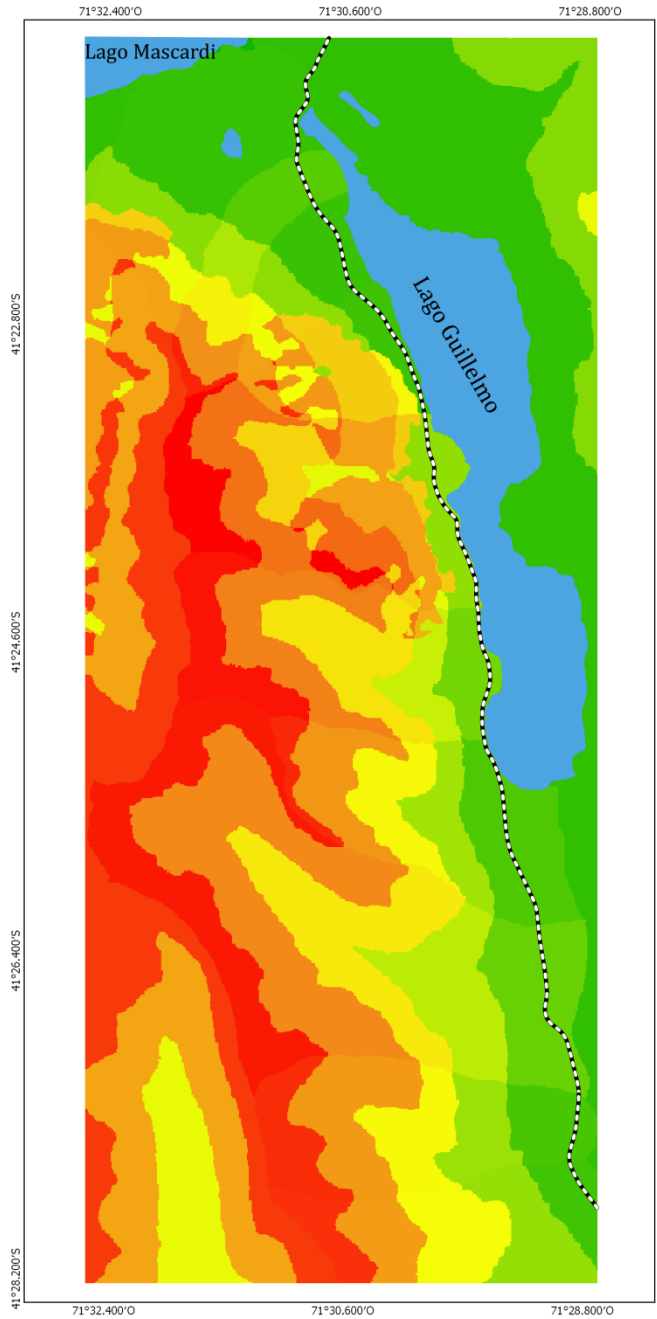
# Incendio del año 1999



### 13.2. Productos Intermedios



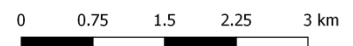
#### Factores desencadenantes



#### Referencias

##### F. Desencadenantes

- < 10 %
- 10 % - 40%
- 40 % - 70%
- > 70 %
- Ruta 40 sur



### 13.3. Datos de precipitación

Los Alerces						
Latitud	41° 22' 25,40"		Datos desde	1/6/1954		
Longitud	71° 44' 45,40"		Datos Hasta	31/10/2017		
	Máxima	Promedio anual diario	Acumulada	Acumulada Método de doubles masas	Cant. de Datos	Acumulada estacional
1993	68,00	5,88	2147,20	2147,20	365	1111,6
1994	49,00	5,52	2013,50	4160,70	365	1396
1995	95,20	4,35	1589,00	5749,70	365	1105,4
1996	67,70	2,78	1016,10	6765,80	366	554,1
1997	81,90	5,02	1831,30	8597,10	365	943,6
1998	51,40	2,68	977,00	9574,10	365	650
1999	93,90	3,36	1226,70	10800,80	365	1107,5
2000	90,30	3,97	1452,60	12253,40	366	985,9
2001	69,40	4,08	1489,10	13742,50	365	1108,3
2002	96,00	5,21	1903,20	15645,70	365	837,4
2003	83,00	3,51	1282,40	16928,10	365	868
2004	92,00	4,64	1698,30	18626,40	366	869
2005	65,50	3,76	1371,30	19997,70	365	813,9
2006	70,50	5,11	1864,25	21861,95	365	1200,3
2007	53,00	2,60	950,80	22812,75	365	399
2008	64,00	3,72	1361,00	24173,75	366	978
2009	55,00	3,46	1264,00	25437,75	365	691
2010	56,00	2,56	936,00	26373,75	365	493
2011	50,00	2,42	884,00	27257,75	365	559
2012	50,00	3,46	1266,00	28523,75	366	705
2013	55,00	3,90	1425,00	29948,75	365	1045,5
2014	50,00	3,42	1249,90	31198,65	365	700,7
2015	65,00	2,27	829,60	32028,25	365	673,7
2016	35,00	1,39	509,10	32537,35	366	207,2
<b>Promedio</b>			1355,72			833,46
<b>Desvío Estándar</b>			412,43			281,37

Mascardi						
Latitud	41° 21' 28,60"		Datos desde	1/1/1991		
Longitud	71° 33' 46,50"		Datos Hasta	31/10/2017		
	Máxima	Promedio anual diario	Acumulada	Acumulada Método de doubles masas	Cant. de Datos	Acumulada estacional
1993	78,00	4,51	1646,30	1646,30	365	995,7
1994	74,20	4,64	1691,80	3338,10	365	1179,3
1995	108,10	4,23	1544,90	4883,00	365	1063,2
1996	91,90	3,42	1250,50	6133,50	366	636,6
1997	73,50	4,97	1815,10	7948,60	365	980,4
1998	55,60	1,92	702,10	8650,70	365	467,2
1999	166,00	3,14	1145,80	9796,50	365	948,1
2000	97,50	2,94	1070,20	10866,70	366	537,4
2001	94,10	4,29	1566,10	12432,80	365	1146,9
2002	103,20	5,27	1923,50	14356,30	365	832,4
2003	53,90	4,19	1528,80	15885,10	365	1080,8
2004	114,20	4,69	1715,80	17600,90	366	1003,5
2005	55,80	5,01	1829,90	19430,80	365	1278,6
2006	72,60	5,48	2001,90	21432,70	365	1264,4
2007	56,80	2,75	1004,00	22436,70	365	559,7
2008	69,40	4,03	1473,70	23910,40	366	1171,6
2009	88,20	4,85	1769,10	25679,50	365	1144,5
2010	77,20	3,35	1221,20	26900,70	365	740,8
2011	65,80	2,89	964,60	27865,30	365	591,7

<b>2012</b>	59,10	4,03	1473,40	29338,70	366	883,1
<b>2013</b>	39,10	3,78	1381,00	30719,70	365	1050,3
<b>2014</b>	71,30	3,74	1365,10	32084,80	365	882,7
<b>2015</b>	78,10	3,15	1148,40	33233,20	365	898,1
<b>2016</b>	40,30	2,22	813,00	34046,20	366	486,7
<b>Promedio</b>			1418,59			909,32
<b>Desvío Estándar</b>			355,92			251,73

<b>Villegas</b>						
<b>Latitud</b>		41° 34' 48,30"	<b>Datos desde</b>		1/9/1956	
<b>Longitud</b>		71° 29' 59,80"	<b>Datos Hasta</b>		31/10/2017	
	Máxima	Promedio anual diario	Acumulada	Acumulada Método de dobles masas	Cant. de Datos	Acumulada estacional
<b>1993</b>	105,00	4,33	1579,00	1579,00	365	1051,1
<b>1994</b>	45,00	3,43	1252,70	2831,70	365	813
<b>1995</b>	74,00	3,03	1106,90	3938,60	365	814
<b>1996</b>	60,00	2,41	882,70	4821,30	366	471
<b>1997</b>	70,00	3,36	1228,00	6049,30	365	585
<b>1998</b>	40,00	0,97	354,00	6403,30	365	238
<b>1999</b>	43,00	0,95	347,80	6751,10	365	303,3
<b>2000</b>	49,00	2,13	779,00	7530,10	366	525
<b>2001</b>	35,00	2,21	808,00	8338,10	365	550
<b>2002</b>	45,00	2,56	934,00	9272,10	365	416
<b>2003</b>	60,00	2,21	808,00	10080,10	365	577
<b>2004</b>	54,00	2,12	774,60	10854,70	366	385,9
<b>2005</b>	43,00	2,20	802,22	11656,92	365	786,9
<b>2006</b>	1,20	0,09	31,77	11688,69	365	19,48
<b>2007</b>	36,00	0,61	222,11	11910,80	365	113,61
<b>2008</b>	37,00	0,35	128,01	12038,81	366	14,8
<b>2009</b>	47,00	2,39	873,43	12912,24	365	602,9
<b>2010</b>	48,00	1,48	541,00	13453,24	365	365
<b>2011</b>	37,00	0,76	276,40	13729,64	365	154
<b>2012</b>	51,50	1,74	636,60	14366,24	366	273,9
<b>2013</b>	41,00	1,18	431,80	14798,04	365	316
<b>2014</b>	33,00	1,77	645,40	15443,44	365	437
<b>2015</b>	19,00	1,26	459,20	15902,64	365	348,2
<b>2016</b>	18,00	0,94	343,00	16245,64	366	166
<b>Promedio</b>			676,90			430,29
<b>Desvío Estándar</b>			383,82			263,60

<b>Confluencia</b>						
<b>Latitud</b>		41° 35' 12,60"	<b>Datos desde</b>		1/5/1965	
<b>Longitud</b>		71° 41' 01,20"	<b>Datos Hasta</b>		31/10/2017	
	Máxima	Promedio anual diario	Acumulada	Acumuladas Método doble masas	Cant. de Datos	Acumulada estacional
<b>1993</b>	68,00	5,84	2132,60	2132,60	365	1161,8
<b>1994</b>	87,00	7,01	2556,90	4689,50	365	1831,3
<b>1995</b>	95,80	4,98	1818,90	6508,40	365	1305,8
<b>1996</b>	50,30	3,90	1429,10	7937,50	366	653,1
<b>1997</b>	90,00	5,84	2132,70	10070,20	365	1113
<b>1998</b>	99,00	2,89	1055,50	11125,70	365	662,7
<b>1999</b>	98,00	3,95	1438,00	12563,70	365	1075
<b>2000</b>	112,00	2,66	974,40	13538,10	366	338,1
<b>2001</b>	82,00	3,51	1282,50	14820,60	365	932,2
<b>2002</b>	109,00	6,01	2194,00	17014,60	365	1042



2003	70,00	4,28	1561,50	18576,10	365	1045,5
2004	117,00	4,75	1737,40	20313,50	366	894,4
2005	70,00	4,55	1660,70	21974,20	365	1089
2006	70,00	3,69	1348,20	23322,40	365	785,8
2007	30,00	2,16	787,50	24109,90	365	406,8
2008	90,00	4,44	1623,21	25733,11	366	1257,21
2009	100,00	5,63	2056,70	27789,81	365	1197,7
2010	115,00	4,23	1543,40	29333,21	365	873,5
2011	80,00	4,05	1477,50	30810,71	365	929,7
2012	110,00	3,65	1336,10	32146,81	366	791,1
2013	90,50	3,73	1361,40	33508,21	365	1110,4
2014	65,00	3,80	1385,20	34893,41	365	701,5
2015	120,00	5,05	1841,70	36735,11	365	1622
2016	70,00	1,23	450,80	37185,91	366	78,1
<b>Promedio</b>			1549,41			954,07
<b>Desvío Estándar</b>			475,18			383,57

<b>Poblador Turra</b>						
<b>Latitud</b>		41° 35' 36,70"	<b>Datos desde</b>		1/4/1974	
<b>Longitud</b>		71° 31' 15,20"	<b>Datos Hasta</b>		31/10/2017	
	Máxima	Promedio anual diario	Acumulada	Acumuladas Método de doble masas	Cant. de Datos	Acumulada estacional
1993	71,00	5,26	1609,30	1609,30	365	959
1994	40,90	4,04	1474,30	3083,60	365	914,5
1995	80,90	3,62	1320,10	4403,70	365	1039,9
1996	47,90	2,38	869,60	5273,30	366	518,7
1997	49,20	3,76	1374,20	6647,50	365	653,6
1998	25,70	1,10	400,30	7047,80	365	260,3
1999	26,90	0,94	342,00	7389,80	365	260,6
2000	51,00	1,76	642,00	8031,80	366	286,6
2001	26,70	1,76	640,90	8672,70	365	396,6
2002	49,00	2,88	1051,20	9723,90	365	493,8
2003	27,70	2,13	778,00	10501,90	365	494,3
2004	20,90	1,78	652,60	11154,50	366	312,9
2005	37,00	3,80	1387,30	12541,80	365	1005,6
2006	30,90	3,31	1209,00	13750,80	365	694,5
2007	40,70	2,15	783,80	14534,60	365	433,6
2008	40,60	2,64	965,50	15500,10	366	688
2009	45,90	3,94	1439,80	16939,90	365	849,5
2010	97,60	2,67	973,20	17913,10	365	571,7
2011	42,50	2,39	872,50	18785,60	365	541,2
2012	70,40	3,24	1184,30	19969,90	366	495,4
2013	30,90	2,94	1072,80	21042,70	365	821,5
2014	33,20	2,86	1043,70	22086,40	365	589,1
2015	30,40	2,94	1074,90	23161,30	365	717,2
2016	20,90	2,02	740,40	23901,70	366	437,8
<b>Promedio</b>			995,90			601,49
<b>Desvío Estándar</b>			339,04			236,03

<b>Steffen Muelle</b>					
<b>Latitud</b>		41° 35' 36,70"	<b>Datos desde</b>		1/1/1993
<b>Longitud</b>		71° 31' 15,20"	<b>Datos Hasta</b>		29/29/2016
	Máxima	Promedio	Acumulada	Cant. de Datos	Acumulada estacional
1993	110,00	5,02	1832,00	365	955

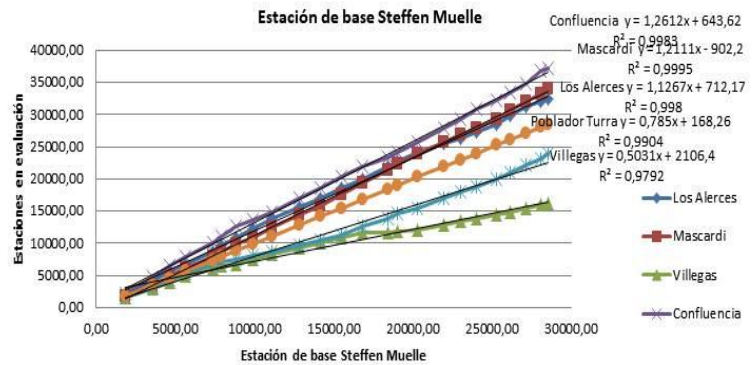
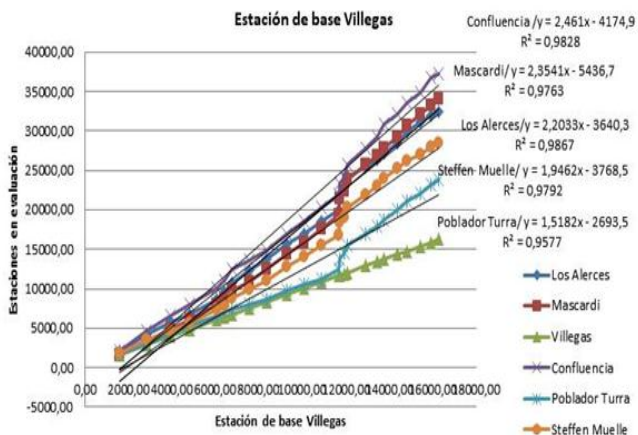
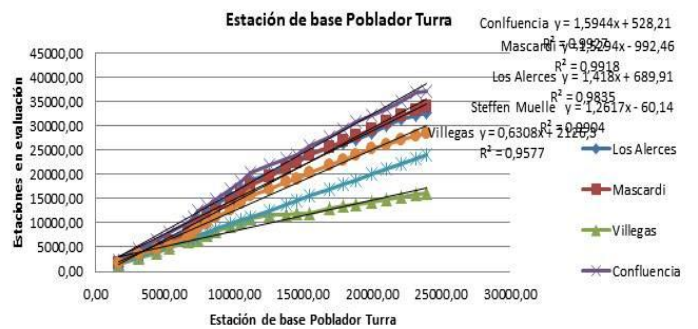
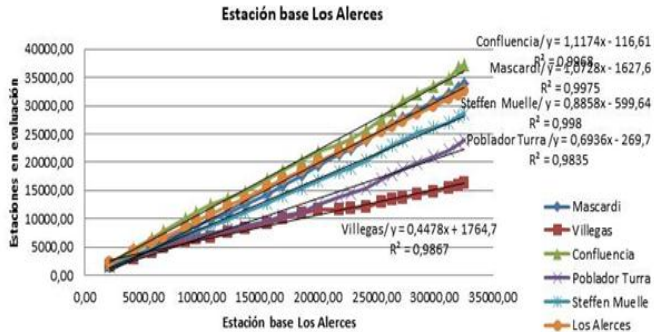
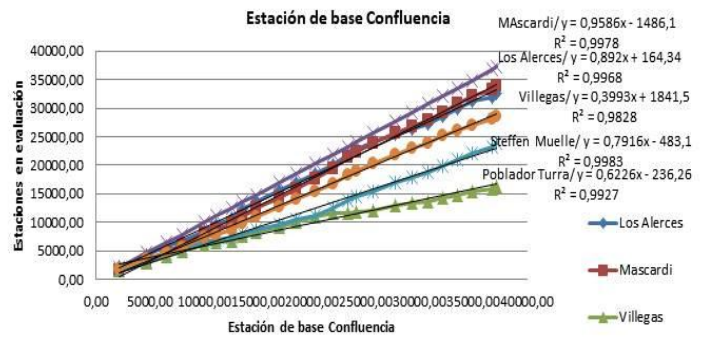
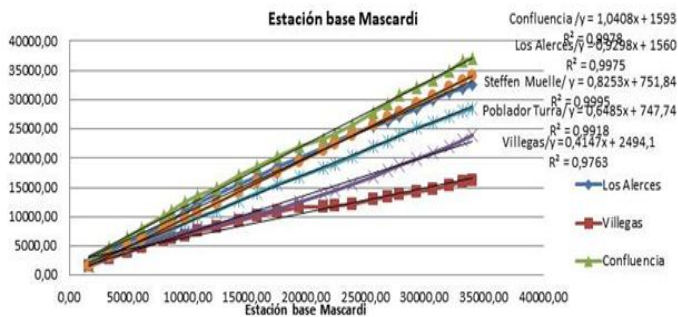
1994	40,90	4,81	1756,00	365	1148,5
1995	80,90	2,80	1021,00	365	685
1996	47,90	2,80	1024,70	366	519
1997	49,20	4,69	1712,00	365	887
1998	25,70	1,56	568,20	365	379,7
1999	26,90	2,40	875,50	365	702,5
2000	51,00	3,05	1115,50	366	752,5
2001	26,70	3,19	1163,50	365	879,5
2002	49,00	4,86	1772,50	365	829,5
2003	27,70	3,51	1282,50	365	965
2004	20,90	3,71	1356,20	366	693,7
2005	37,00	3,69	1347,40	365	860,9
2006	30,90	4,35	1586,40	365	986,3
2007	40,70	1,62	592,50	365	222,5
2008	40,60	3,48	1274,20	366	947,7
2009	45,90	4,61	1680,90	365	954
2010	97,60	2,76	1007,30	365	519,1
2011	42,50	2,75	1002,60	365	599,8
2012	70,40	3,61	1320,20	366	875,4
2013	30,90	2,37	863,50	365	703
2014	33,20	2,60	950,10	365	491,9
2015	30,40	2,56	933,10	365	688,2
2016	20,90	1,39	509,80	366	267,4
<b>Promedio</b>			1189,48		729,71
<b>Desviación estándar</b>			389,73		238,06

## 13.4. Análisis de las Unidades Hidrográficas

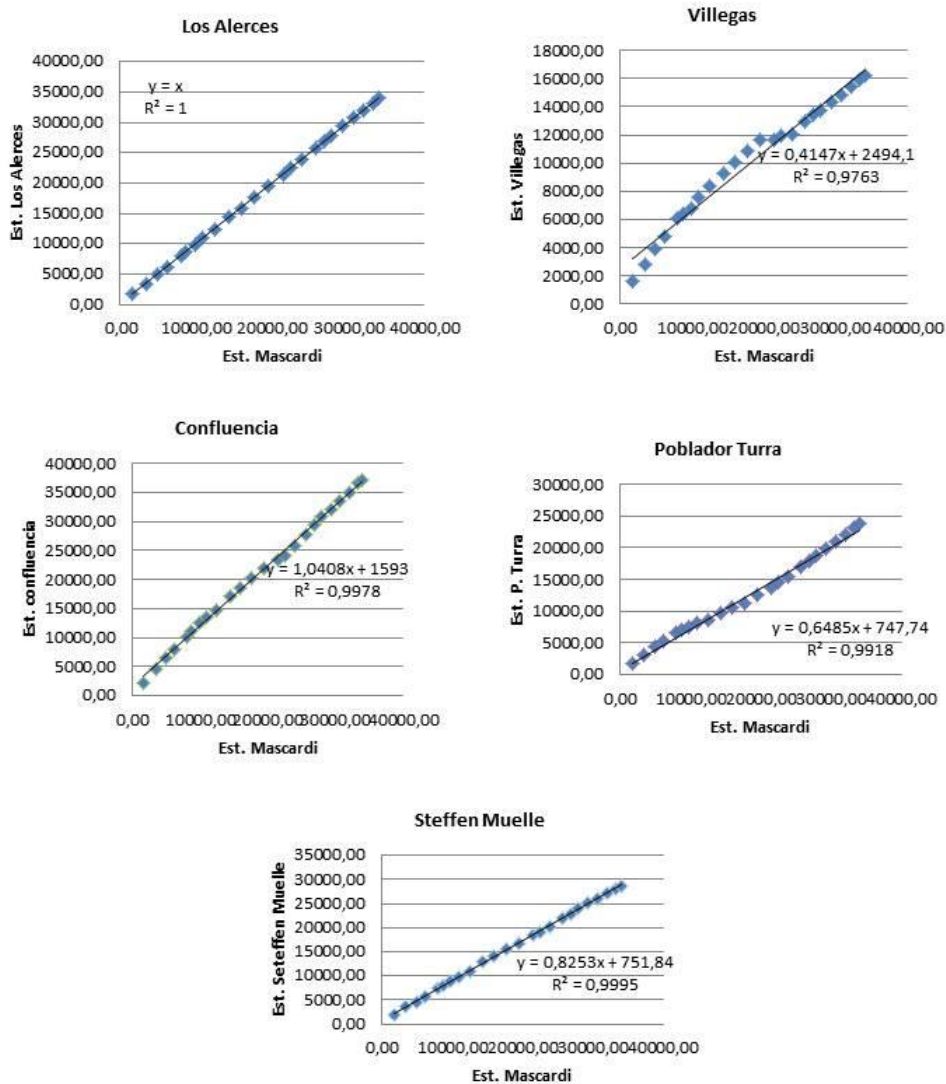
### 13.4.1. Método de dobles masas

Este considera que los valores de precipitación ya sea en períodos anuales o estacionales tienen una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente. Esta consiste en identificar una estación cuyos datos sean confiables, llamándola “estación base” cuya serie de datos de precipitaciones anuales medias acumuladas se coloca en las ordenadas y en las abscisas los valores de precipitación de la o las estaciones a evaluar. Si los datos son homogéneos, se alinearán en una línea recta y por lo tanto no se necesitará realizar correcciones. En caso contrario la línea cambia de pendiente en el año a partir del cual la estación presenta irregularidades. Para que todos los datos sean consistentes se pueden corregir multiplicándolos por un factor de ajuste, que se calcula a partir de la diferencia de las pendientes de las rectas que no posean la linealidad mencionada (Aparicio Mijares, 1992)

Valores de R2	Estaciones en evaluación					
Estación de base	Los Alerces	Mascardi	Villegas	Confluencia	Poblador Turra	Steffen Muelle
Los Alerces	1	0,9975	0,9877	0,9968	0,9835	0,998
Mascardi	0,9975	1	0,9763	0,9978	0,9918	0,9995
Villegas	0,9877	0,9763	1	0,9828	0,9577	0,9792
Confluencia	0,9968	0,9978	0,9828	1	0,9927	0,9983
Poblador Turra	0,9835	0,9918	0,9577	0,9927	1	0,9904
Steffen Muelle	0,998	0,9995	0,9792	0,9983	0,9904	1



Método de dobles masas. Estaciones a verificar : Los Alerces, Villegas, Poblador Turra, Confluencia , Steffen Muelle. Se tomó como Estación de base Mascardi.



Comparación de homogeneidad de datos de todas las estaciones de estudio. Se muestran los valores de R2, luego de ser graficadas y obtenidas las líneas de tendencia correspondiente

### 13.4.2. Curvas Hipsométricas-Relaciones Hipsométricas- Integrales Hipsométricas

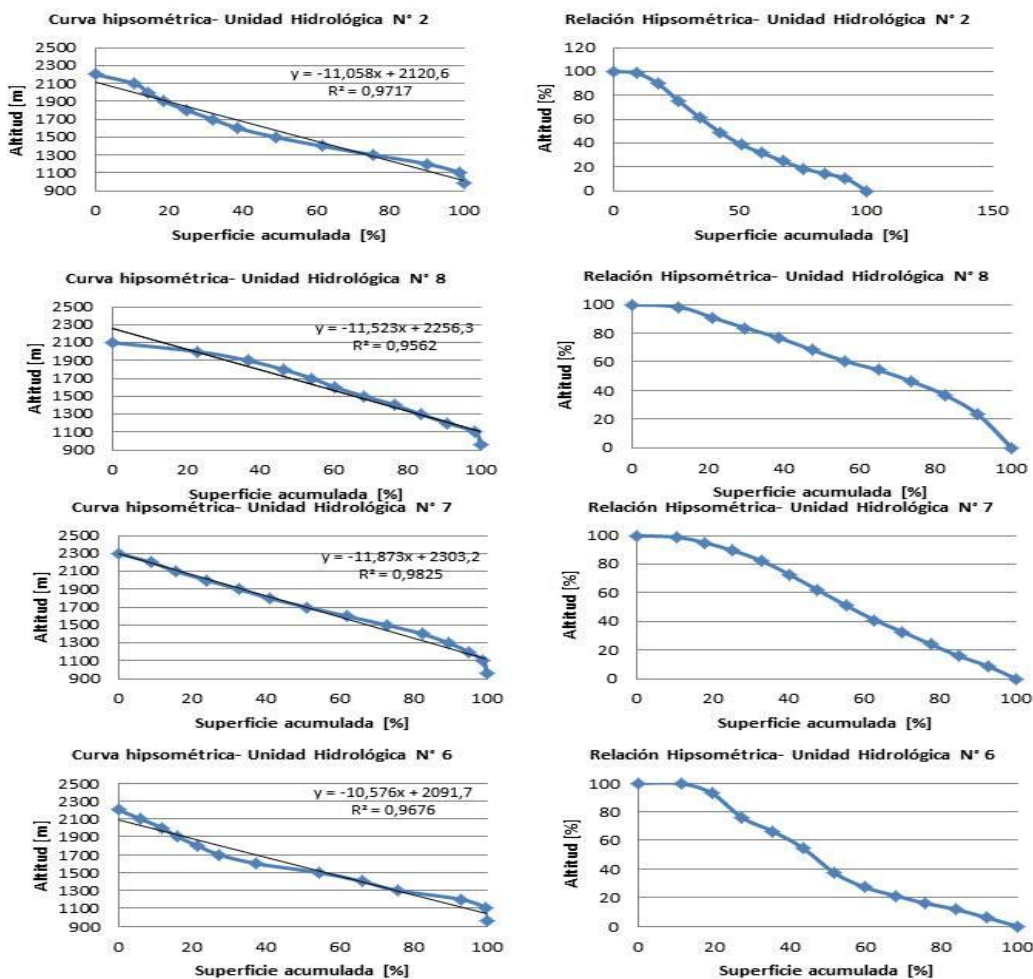
Para obtener la Curva Hipsométrica utilizó como herramienta el módulo "Terrain analysis and morphometry - Hypsometry" del QGIS. Se utilizó como capa de contorno a la capa vectorial de unidades hidrográficas. Los datos se presentan en forma de tablas en una hoja de datos, indicando las áreas acumuladas con la altitud respectiva. Luego construyó

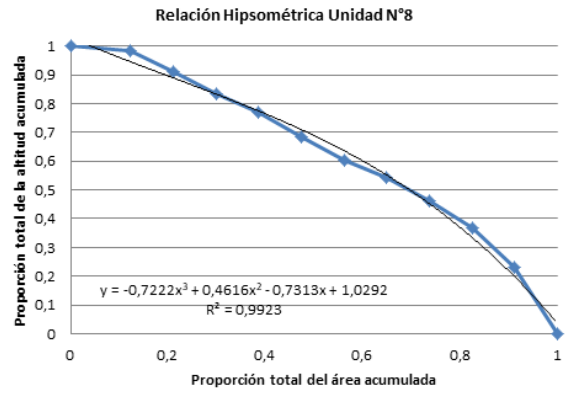
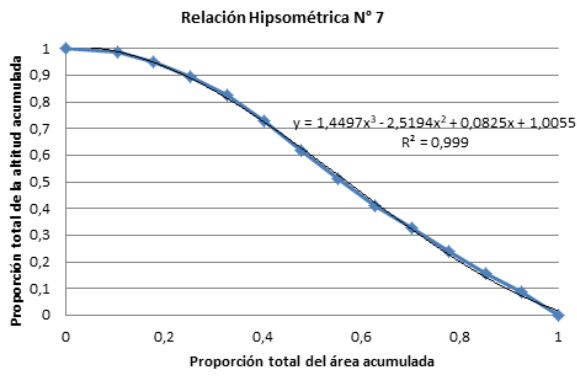
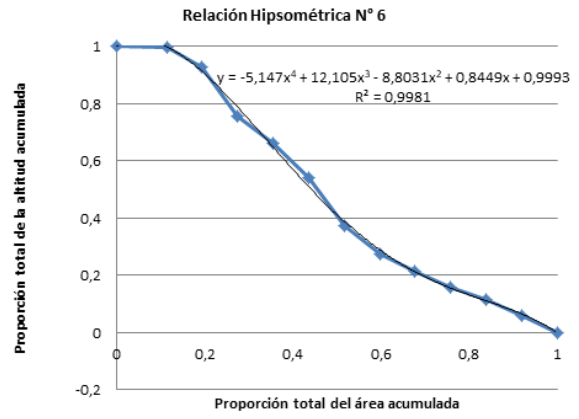
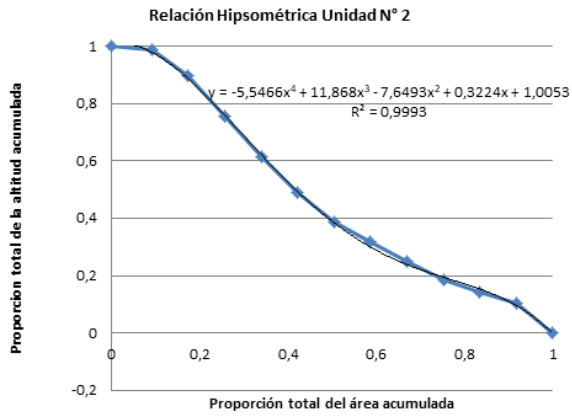
manualmente en una hoja cálculo la curva hipsométrica y la relación hipsométrica para cada unidad.

También se calculó la elevación media utilizando los resultados obtenidos en cada curva. Para ello se utilizó la ecuación de la línea de tendencia para la ordenada 50%. También se calcularon las integrales hipsométricas para estas unidades, calculando la integral definida de las fórmulas de las líneas de tendencia que mejor se ajustaron a cada curva.

A continuación se muestran los gráficos de las curvas hipsométricas relaciones hipsométricas con sus respectivas ecuaciones ajustadas a fin de calcular la integral definida. Se utilizó una hoja de cálculo. Se calculó cada integral definida utilizando las reglas matemáticas correspondientes y los límites de la integral que se observan en el gráfico. Los resultados obtenidos se muestran en la sección 5.5.2.2.

Gráficos de Curva Hipsométrica y Relación Hipsométrica para las Unidades Hidrológicas N°2, N°6, N°7y N°8.





## 13.5. Herramientas generales utilizadas de software: QGIS y ERDAS

CAPAS ENTRADA	FORMATO CAPA ENTRADA	METODOLOGÍA	ESCALA DE TRABAJO	SOFTWARE	FORMATO CAPA DE SALIDA	PRODUCTO	ESCALA GRÁFICA
<b>IMAGEN COMPLETA</b>	RASTER	Posterior interpretación visual, se realizó el corte utilizando la herramienta "Subset" y se re proyectó a POSGAR 2007 faja 1.	1:5000 - 1:10000	ERDAS	RASTER	<b>IMAGEN CORTE</b>	Variable de acuerdo a producto final
<b>IMAGEN RECORTE</b>	VECTOR	Por medio de una interpretación visual se realizó una digitalización manual.	1:3000 - 1:5000	QGIS	VECTOR	<b>RUTA 40 SUR</b>	Variable de acuerdo a producto final
<b>MDE RECORTE</b>	RASTER	De acuerdo al corte de la imagen, se definió y el espacio de trabajo. Luego se creó una capa vectorial (polígono) con la misma superficie de forma de utilizarla como capa de máscara. El MDE se recortó por medio de la herramienta "Corte raster por capa de máscara" y posteriormente se re proyectó a POSGAR 2007 faja 1.	1:5000 - 1:10000	QGIS	RASTER	<b>MDE CORTE</b>	No se realizó producto final
<b>MDE RECORTE</b>	RASTER	Se desarrolló una clasificación supervisada. Para ello, se definieron las firmas espectrales por medio de una interpretación visual utilizando el comando AOI junto con el comando "Signature Editor". Luego se implementó la herramienta "Supervised Clasification" para realizar la asignación de clases. Para realizar este proceso de asignación se analizaron las diferentes opciones que brinda este programa. El mejor resultado se obtuvo utilizando reglas paramétricas y la opción "maximun likelihood". Posteriormente se aplicó un filtro de paso alto.	1:5000 - 1:10000	ERDAS	RASTER	<b>PISOS ALTIMETRICOS</b>	1:40.000
<b>MDE RECORTE</b>	RASTER	Se utilizó la herramienta "Analysis Slope". Los datos de salida fueron en porcentaje. Luego de generada la capa en ERDAS 8.2 se realizó la clasificación en QGIS. Se realizó una operación basada en reglas en la calculadora raster del QGIS, generando así un nuevo archivo raster con los límites de clase elegidos. Para una mejor visualización se aplicaron dos series de filtros simples, que el programa ofrece dentro del mismo menú "Raster", utilizando dos umbrales diferentes. Estos filtros suavizan los límites de clases.	1:5000 - 1:10000	ERDAS y QGIS	RASTER	<b>PENDIENTES</b>	1:40.000
<b>MDE RECORTE</b>	RASTER	El programa QGIS, que cuenta con una herramienta dentro del menú general de Raster para la extracción directa de las curvas de nivel. Luego se clasificaron curvas cada 100 m	1:5000 - 1:10000	QGIS	RASTER	<b>CURVAS DE NIVEL</b>	1:40.000
<b>IMAGEN RECORTE</b>	RASTER	Se generó en el programa QGIS como una capa vectorial de polígonos y se digitalizaron las unidades manualmente de acuerdo	1:5000 - 1:8000	QGIS - SAGA GIS	VECTOR Y RASTER	<b>GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA</b>	1:40.000
<b>PISOS ALTIMETRICOS</b>	VECTOR						

CAPAS ENTRADA	FORMATO CAPA ENTRADA	METODOLOGÍA	ESCALA DE TRABAJO	SOFTWARE	FORMATO CAPA DE SALIDA	PRODUCTO	ESCALA GRÁFICA
CURVAS DE NIVEL	VECTOR	a lo observado, los puntos de control de campo y la bibliografía citada. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar". Previamente se utilizó la herramienta del SAGA GIS "Polygon Dissolve (by attribute)".					
PUNTOS DE CONTROL A CAMPO	VECTOR						
CARTA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA DE SAN CARLOS DE BARILOCHE	...						
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA ESPECIFICA DEL TEMA	...						
IMAGEN RECORTE	RASTER	Se desarrolló una clasificación supervisada en el ERDAS 8.2, ya que se conocía previamente el área de estudio. Se eligieron las "áreas de entrenamiento" que se consideraron representativas de las categorías a identificar acompañadas de una leyenda provisoria. Así, se demarcaron 9 clases iniciales, incluyendo: semidesierto de altura, lenga achaparrada, lenga, coihue, ciprés, ñires, matorral mixto, mallines, cuerpos de agua cuyos límites no se encontraron bien definidos. Luego con control a campo y la información complementaria se generó una capa vectorial de polígonos y se digitalizaron las clases descriptas. Para la asignación final de clases se utilizó la misma metodología de "unión de tablas". Igualmente para la re clasificación de la ponderación por el método AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar". Previamente se utilizó la herramienta del SAGA GIS "Polygon Dissolve (by attribute)".	1:5000-1:8000	ERDAS 8.2 y QGIS	VECTOR Y RASTER	VEGETACIÓN	1:40.000
PISOS ALTIMETRICOS	VECTOR						
CURVAS DE NIVEL	VECTOR						
PUNTOS DE CONTROL A CAMPO	VECTOR						
CAPA VECTORIAL DE MAPA DE VEGETACIÓN DEL CIEFAP (Bari, 2016)	VECTOR						
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA ESPECIFICA DEL TEMA	...						
IMAGEN RECORTE	RASTER	Se generó en el programa QGIS como una capa vectorial de polígonos y se digitalizaron las unidades manualmente de acuerdo a lo observado, los puntos de control de campo y la bibliografía citada. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar". Previamente se utilizó la herramienta del SAGA GIS "Polygon Dissolve (by attribute)".	1:5000-1:8000	QGIS - SAGA GIS	VECTOR Y RASTER	SUELOS	1:40.000
PISOS ALTIMETRICOS	VECTOR						
CURVAS DE NIVEL	VECTOR						
PENDIENTES	RASTER						
PUNTOS DE CONTROL A CAMPO	VECTOR						
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA ESPECIFICA DEL TEMA	...						



CAPAS ENTRADA	FORMATO CAPA ENTRADA	METODOLOGÍA	ESCALA DE TRABAJO	SOFTWARE	FORMATO CAPA DE SALIDA	PRODUCTO	ESCALA GRÁFICA
IMAGEN RECORTE	RASTER	Se realizó una capa vectorial de polígonos y se digitalizaron las unidades manualmente. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar". También se utilizó la herramienta del SAGA GIS "Polygon Dissolve (by attribute)"	1:5000-1:8000	QGIS - SAGA GIS	VECTOR Y RASTER	INVENTARIO	1:40.000
REGISTRO DE EVENTOS	...						
PUNTOS DE CONTROL A CAMPO	VECTOR						
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA ESPECIFICA DEL TEMA	...						
MDE RECORTE	RASTER	Se procesaron los datos de precipitación utilizando el programa R commander y una hoja de cálculo. Se cargaron los datos de cada estación al programa QGIS, como una capa de puntos geoferenciados. Se realizó la interpolación "Kriging ordinario (global)" en el programa SAGA GIS. Luego utilizando la calculadora raster se realizó la corrección considerando el factor de corrección por altura. Para la re clasificación se utilizó la calculadora raster, por medio de una fórmula basada en reglas. La misma metodología de re clasificación se utilizó para aplicar la técnica AHP.	1:5000-1:8000	QGIS - SAGA GIS	RASTER	PRECIPITACIONES ANUALES ACUMULADAS Y PRECIPITACIONES ESTACIONALES ACUMULADAS	1:40.000
DATOS METEOROLOGICOS	VECTOR						
PRECIPITACIONES ESTACIONALES ACUMULADAS	RASTER	Se utilizó como herramienta la extracción de curvas de nivel. Se indicaron cada 100 m.	1:5000 - 1:8000	QGIS	VECTOR	ISOYETAS	1:40.000
IMAGEN RECORTE	RASTER	Se digitalizó la misma mediante la observación de las cimas y los puntos más elevados.	1:5000 - 1:8000	QGIS	VECTOR	DIVISORIA DE AGUAS PRINCIPAL	1:40.000
CURVAS DE NIVEL	VECTOR						
IMAGEN RECORTE	RASTER	Mediante la interpretación visual se digitalizaron los cauces y arroyos. Para realizar la clasificación entre permanentes e intermitentes, se realizaron controles a campo.	1:5000 - 1:8000	QGIS	VECTOR	CAUCES Y ARROYOS	1:40.000
DIVISORIA	VECTOR						
CURVAS DE NIVEL	VECTOR						
CARTA TOPOGRÁFICA	...						
IMAGEN RECORTE	RASTER	Se demarcaron los límites, identificando las cimas y los puntos más elevados, en relación a la observación de los drenajes principales y sus tributarios. De esta manera los trazos se definieron paralelos a las curvas de nivel, tomando los puntos más elevados e incluyendo los drenajes dentro de la	1:5000 - 1:8000	QGIS	VECTOR Y RASTER	UNIDADES HIDROLOGICAS	1:40.000
CURVAS DE NIVEL	VECTOR						

CAPAS ENTRADA	FORMATO CAPA ENTRADA	METODOLOGÍA	ESCALA DE TRABAJO	SOFTWARE	FORMATO CAPA DE SALIDA	PRODUCTO	ESCALA GRÁFICA
<b>DIVISORIA</b>	VECTOR	unidad correspondiente, luego se clasificaron y enumeraron. Por medio de la herramienta "Estadísticas de zona", se calcularon las precipitaciones estacionales acumuladas que recibe cada unidad hidrográfica. Se aplicó la metodología de "unión tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar"					
<b>CAUCES Y ARROYOS</b>	VECTOR						
<b>PRECIPTACIONES ESTACIONALES ACUMULADAS</b>	RASTER						
<b>MDE RECORTE</b>	RASTER	Se utilizó como base el valor de 8,91 °C para una altitud de 797 m. Luego considerando la relación de 5,5 °C de calcularon las temperaturas a diferentes alturas (cada 100 m). Posteriormente se generó el raster, re clasificando el MDE utilizando la calculadora raster aplicando una formula basada en reglas. La misma metodología se utilizó luego de aplicar la técnica AHP.	1:5000 - 1:8000	QGIS	RASTER	<b>TEMPERATURAS</b>	1:40.000
<b>DATOS METEOROLOGICOS (Estación Los Alerces )</b>	VECTOR						
<b>La misma fue provista por Marcel Bari del Parque Nacional Nahuel Huapi en el año 2016 (Bari, 2016)</b>	VECTOR	En primer lugar se re proyecto a POSGAR 2007 F1. Se recortó la capa vectorial utilizando la herramienta "Cortar vector por capa de máscara" utilizando una máscara que representa la superficie de estudio.	...	QGIS	VECTOR	<b>INCENDIOS</b>	1:40.000
<b>PUNTOS DE CONTROL A CAMPO</b>	VECTOR	Se identificaron los usos, indicándolos manualmente como una capa de vectorial de polígonos. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar".	1:5000 - 1:8000	QGIS	RASTER	<b>USOS DEL SECTOR</b>	1:40.000
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA ESPECIFICA DEL TEMA</b>	...						
<b>INVENTARIO</b>	RASTER	Se digitalizaron las unidades manualmente, como una capa de vectorial de polígonos. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar"	1:5000 - 1:8000	QGIS	RASTER	<b>DEGRADACIÓN DE COBERTURA DE SUELO</b>	1:40.000
<b>PUNTOS DE CONTROL DE CAMPO</b>	VECTOR						

<b>CAPAS ENTRADA</b>	<b>FORMATO CAPA ENTRADA</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>ESCALA DE TRABAJO</b>	<b>SOFTWARE</b>	<b>FORMATO CAPA DE SALIDA</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>ESCALA GRÁFICA</b>
<b>CAUCES Y ARROYOS</b>	VECTOR	<p>Se aplicó la herramienta "buffer" tomando un área de influencia total de 10 m, considerando las observaciones a campo. La clasificación se realizó por medio del proceso "unión de tablas" tanto para la clasificación de la leyenda como la re clasificación del resultado de la técnica AHP. Posteriormente a esta re clasificación se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar".</p>	1:5000 - 1:8000	QGIS	RASTER	<b>EROSIÓN DE CAUCES</b>	1:40.000
<b>PUNTOS DE CONTROL A CAMPO</b>	VECTOR						
<b>RUTA 40 SUR</b>	VECTOR	<p>Se tomó la capa vectorial ya generada. Se consideró un área de influencia de 15 m considerando la jurisdicción correspondiente a Vialidad Nacional. Esta se realizó utilizando la herramienta vectorial "buffer". Se reclasificó y luego se rasterizó la capa utilizando la herramienta del menú Raster general del QGIS "Conversión" - "Rasterizar"</p>	1:5000 - 1:8000	QGIS	RASTER	<b>RUTA 40 SUR</b>	1:40.000

## 14. Anexo III: Proceso Analítico Jerárquico

### 14.1. Factores Condicionantes – Susceptibilidad

Ponderación general- Susceptibilidad

	MATRIZ DE COMPARACION						MATRIX NORMALIZADA						VECTOR PRIORIDAD
	EDAFOLOGIA	VEGETACION	GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA	PENDIENTES	INVENTARIO	EDAFOLOGIA	VEGETACION	GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA	PENDIENTES	INVENTARIO	
EDAFOLOGIA	1,00	0,50	0,33	0,20	0,14	0,11	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,034
VEGETACION	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,14	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,055
GEOMORFOLOGIA	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,11	0,11	0,08	0,07	0,08	0,09	0,090
GEOLOGIA	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,19	0,16	0,17	0,14	0,12	0,15	0,154
PENDIENTES	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,26	0,27	0,25	0,28	0,24	0,22	0,254
INVENTARIO	9,00	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,38	0,42	0,43	0,48	0,44	0,413
SUMA DE CADA COLUMNA	27,00	18,50	11,83	7,03	4,18	2,29	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,20435652	NMAX	6,08547687
0,3288334	N	6
0,54575742	CI	0,01709537
0,93302389	IA	1,24
1,55048575	CR	0,0137866
2,52301989		
6,08547687		

	MATRIZ DE COMPARACION							MATRIX NORMALIZADA							VECTOR PRIORIDAD
	Corona y Escarpe Principal	Escarpe Menor- Zona de remoción localizada	Zona de rocas desnudas y sin o muy escasa vegetación	Zona de Acumulación	Cuerpo Principal- Zona de desplazamiento de material	Zona de Taludes	Zona con vegetación	Corona y Escarpe Principal	Escarpe Menor- Zona de remoción localizada	Zona de rocas desnudas y sin o muy escasa vegetación	Zona de Acumulación	Cuerpo Principal- Zona de desplazamiento de material	Zona de Taludes	Zona con vegetación	
INVENTARIO															
Corona y Escarpe Principal	1,00	0,50	0,33	5,00	0,20	0,20	7,00	0,06	0,04	0,05	0,15	0,05	0,08	0,18	0,087
Escarpe Menor- Zona de remoción localizada	2,00	1,00	0,50	5,00	0,33	0,20	5,00	0,12	0,08	0,07	0,15	0,08	0,08	0,13	0,103
Zona de rocas desnudas y sin o muy escasa vegetación	3,00	2,00	1,00	5,00	0,50	0,33	5,00	0,18	0,17	0,14	0,15	0,12	0,14	0,13	0,146
Zona de Acumulación	0,20	0,20	0,20	1,00	0,14	0,11	3,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,08	0,035
Cuerpo Principal- Zona de desplazamiento de material	5,00	3,00	2,00	7,00	1,00	0,50	9,00	0,31	0,25	0,28	0,22	0,23	0,20	0,23	0,246
Zona de Taludes	5,00	5,00	3,00	9,00	2,00	1,00	9,00	0,31	0,42	0,41	0,28	0,47	0,41	0,23	0,361
Zona con vegetación	0,14	0,20	0,20	0,33	0,11	0,11	1,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,05	0,03	0,023
SUMA DE CADA COLUMNA	16,34	11,90	7,23	32,33	4,29	2,46	39,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,64260639	NMAX	7,66091622
0,7925607	N	7
1,14464329	CI	0,1101527
0,24583275	IA	1,32
1,91223427	CR	0,083449
2,75895004		
0,16408878		
7,66091622		

MATRIZ DE COMPARACION							MATRIX NORMALIZADA						
PENDIENTES	LEVE (0-15)	MUY LEVE (15-30)	MODERADA (30-45)	ALTA (45-60)	MUY ALTA (60-80)	ESCARPADA (MAS DE 80)	LEVE (0-15)	MUY LEVE (15-30)	MODERADA (30-45)	ALTA (45-60)	MUY ALTA (60-80)	ESCARPADA (MAS DE 80)	VECTOR PRIORIDAD
LEVE (0-15)	1,00	0,50	0,33	0,20	0,14	0,11	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,0339
MUY LEVE (15-30)	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,14	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,0547
MODERADA (30-45)	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,11	0,11	0,08	0,07	0,08	0,09	0,0903
ALTA (45-60)	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,19	0,16	0,17	0,14	0,12	0,15	0,1540
MUY ALTA (60-80)	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,26	0,27	0,25	0,28	0,24	0,22	0,2542
ESCARPADA (MAS DE 80)	9,00	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,38	0,42	0,43	0,48	0,44	0,4128
SUMA DE CADA COLUMNA	27,00	18,50	11,83	7,03	4,18	2,29	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,20435652	NMAX	6,08547687
0,3288334	N	6
0,54575742	CI	0,01709537
0,93302389	IA	1,24
1,55048575	CR	0,0137866
2,52301989		
6,08547687		

MATRIZ DE COMPARACION							MATRIX NORMALIZADA						
GEOLOGÍA	DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	DEPOSITOS GLACIARES	ROCAS ACIGNEAS METEORIZADAS	ROCAS ACIGNEAS POCO METEORIZADAS	FONDO DE VALLE	SUPERFICIE DE EROSION DEPOSICION	DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	DEPOSITOS GLACIARES	ROCAS ACIGNEAS METEORIZADAS	ROCAS ACIGNEAS POCO METEORIZADAS	FONDO DE VALLE	SUPERFICIE DE EROSION DEPOSICION	VECTOR PRIORIDAD
DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
DEPOSITOS GLACIARES	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
ROCAS ACIGNEAS METEORIZADAS	7,00	7,00	1,00	3,00	7,00	5,00	0,39	0,39	0,51	0,61	0,39	0,50	0,464
ROCAS ACIGNEAS POCO METEORIZADAS	5,00	5,00	0,33	1,00	5,00	3,00	0,28	0,28	0,17	0,20	0,28	0,30	0,251
FONDO DE VALLE	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
SUPERFICIE DE EROSION DEPOSICION	3,00	3,00	0,20	0,33	3,00	1,00	0,17	0,17	0,10	0,07	0,17	0,10	0,128
SUMA DE CADA COLUMNA	18,00	18,00	1,96	4,93	18,00	10,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,315923746	NMAX	6,25141858
0,315923746	N	6
2,955054083	CI	0,05028372
1,573828197	IA	1,24
0,315923746	CR	0,0405514
0,774765056		
6,251418575		

GEOMORFOLOGÍA	MATRIZ DE COMPARACION						MATRIX NORMALIZADA						VECTOR PRIORIDAD
	RELIEVE DE DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	RELIEVE DE FONDO DE VALLE	RELIEVE DE GLACIAR CRIOGENICO	LATERALES DE VALLE	RELIEVE DE MORENA LATERAL	RELIEVE DE EROSION DEPOSICION	RELIEVE DE DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	RELIEVE DE FONDO DE VALLE	RELIEVE DE GLACIAR CRIOGENICO	LATERALES DE VALLE	RELIEVE DE MORENA LATERAL	RELIEVE DE EROSION DEPOSICION	
RELIEVE DE DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
RELIEVE DE FONDO DE VALLE	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
RELIEVE DE GLACIAR CRIOGENICO	7,00	7,00	1,00	3,00	7,00	5,00	0,39	0,39	0,51	0,61	0,39	0,50	0,464
LATERALES DE VALLE	5,00	5,00	0,33	1,00	5,00	3,00	0,28	0,28	0,17	0,20	0,28	0,30	0,251
RELIEVE DE MORENA LATERAL	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	0,33	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,03	0,052
RELIEVE DE EROSION DEPOSICION	3,00	3,00	0,20	0,33	3,00	1,00	0,17	0,17	0,10	0,07	0,17	0,10	0,128
SUMA DE CADA COLUMNA	18,00	18,00	1,96	4,93	18,00	10,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,31592375	NMAX	6,25141858
0,31592375	N	6
2,95505408	CI	0,05028372
1,5738282	IA	1,24
0,31592375	CR	0,0405514
0,77476506		
6,25141858		

VEGETACIÓN	MATRIZ DE COMPARACION								MATRIX NORMALIZADA								VECTOR PRIORIDAD
	CIPRES	COIHUE	LENGA	LENGA ACHAP	MALLIN	MATORRAL NIRE	MATORRAL MX	SEMIDESIERTO DE ALTURA	CIPRES	COIHUE	LENGA	LENGA ACHAP	MALLIN	MATORRAL NIRE	MATORRAL MX	SEMIDESIERTO DE ALTURA	
CIPRES	1,00	0,33	0,33	0,33	3,00	1,00	0,33	0,20	0,05	0,05	0,05	0,04	0,10	0,04	0,03	0,06	0,053
COIHUE	3,00	1,00	2,00	2,00	5,00	3,00	2,00	0,33	0,16	0,16	0,30	0,24	0,17	0,13	0,20	0,10	0,180
LENGA	3,00	0,50	1,00	2,00	5,00	5,00	2,00	0,50	0,16	0,08	0,15	0,24	0,17	0,21	0,20	0,15	0,169
LENGA ACHAP	3,00	0,50	0,50	1,00	5,00	5,00	2,00	0,50	0,16	0,08	0,07	0,12	0,17	0,21	0,20	0,15	0,144
MALLIN	0,33	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,032
MATORRAL NIRE	1,00	0,33	0,20	0,20	1,00	1,00	0,33	0,20	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,06	0,041
MATORRAL MX	3,00	0,50	0,50	0,50	5,00	3,00	1,00	0,50	0,16	0,08	0,07	0,06	0,17	0,13	0,10	0,15	0,113
SEMIDESIERTO DE ALTURA	5,00	3,00	2,00	2,00	5,00	5,00	2,00	1,00	0,26	0,47	0,30	0,24	0,17	0,21	0,20	0,29	0,267
SUMA DE CADA COLUMNA	19,33	6,37	6,73	8,23	30,00	24,00	9,87	3,43	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,445818867	NMAX	8,476930906
1,564150236	N	8
1,431198537	CI	0,068132987
1,202824768	IA	1,41
0,265257863	CR	0,0483213
0,340088741		
0,93608215		
2,291509743		
8,476930906		

MATRIZ DE COMPARACION							MATRIX NORMALIZADA									
SUELOS	CUMBRE SEMID DE ALTURA	L. VALLE PEND. PRONUNCIADAS	SUELOS DE ABANICOS	SUELOS DE MALLIN	SUELOS DE MORENA	SUELOS DE RELIEVE DE DEPOSITACION	SUELOS DE VALLE	CUMBRE SEMID DE ALTURA	L. VALLE PEND. PRONUNCIADAS	SUELOS DE ABANICOS	SUELOS DE MALLIN	SUELOS DE MORENA	SUELOS DE RELIEVE DE DEPOSITACION	SUELOS DE VALLE	VECTOR PRIORIDAD	
CUMBRE SEMIDES DE ALTURA	1,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,43	0,60	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,394	
L. VALLE PEND. PRONUNCIADAS	0,33	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,279	
SUELOS DE ABANICOS	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,065	
SUELOS DE MALLIN	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,065	
SUELOS DE MORENA	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,065	
SUELOS DE RELIEVE DE DEPOSITACION	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,065	
SUELOS DE VALLE	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,065	
SUMA DE CADA COLUMNA	2,33	5,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
2,86666667	NMAX	7,22010582
2,04550265	N	7
0,4615873	CI	0,0366843
0,4615873	IA	1,32
0,4615873	CR	0,0277911
0,4615873		
0,4615873		
7,22010582		

## 14.2. Factores detonantes - Peligrosidad

MATRIZ DE COMPARACION					MATRIX NORMALIZADA				
	Isotermas	U.Hidrologia (PP estacionales)	Isoyetas estacionales Acumuladas	Incendios	Isotermas	U.Hidrologia (PP estacionales)	Isoyetas estacionales Acumuladas	Incendios	VECTOR PRIORIDAD
F. DETONANTES									
Isotermas	1,00	0,33	0,20	0,50	0,09	0,09	0,10	0,08	0,0883
U.Hidrologia (PP estacionales)	3,00	1,00	0,50	2,00	0,27	0,26	0,25	0,31	0,2718
Isoyetas estacionales Acumuladas	5,00	2,00	1,00	3,00	0,45	0,52	0,49	0,46	0,4824
Incendios	2,00	0,50	0,33	1,00	0,18	0,13	0,16	0,15	0,1575
SUMA DE CADA COLUMNA	11,00	3,83	2,03	6,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,35412208	NMAX	4,01774976
1,09287977	N	4
1,93996381	CI	0,00591659
0,6307841	IA	0,9
4,01774976	CR	0,006574

MATRIZ DE COMPARACION							MATRIX NORMALIZADA						
PRECIPITACIÓN	<800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	<800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	VECTOR PRIORIDAD
<800	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,0434
800-900	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,20	0,10	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,0633
900-1000	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,33	0,14	0,12	0,10	0,07	0,08	0,13	0,1078
1000-1100	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,19	0,18	0,20	0,14	0,12	0,13	0,1611
1100-1200	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,24	0,30	0,31	0,28	0,24	0,20	0,2604
1200-1300	6,00	5,00	3,00	3,00	2,00	1,00	0,29	0,30	0,31	0,42	0,47	0,39	0,3641
SUMA DE CADA COLUMNA	21,00	16,50	9,83	7,08	4,23	2,53	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,26397225	NMAX	6,18079201
0,3825158	N	6
0,65319511	CI	0,0361584
0,9915943	IA	1,24
1,62133075	CR	0,02916
2,2681838		
6,18079201		



MATRIZ DE COMPARACION										MATRIX NORMALIZADA										VECTOR PRIORIDAD	
U. Hidrográficas	11	10	9	4	3	5	8	2	6	7	11	10	9	4	3	5	8	2	6		7
11	1,00	0,50	0,33	0,33	0,20	0,20	0,14	0,11	0,11	0,11	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0137
10	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,20	0,14	0,14	0,11	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0225
9	3,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,20	0,20	0,14	0,06	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0339
4	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,20	0,14	0,06	0,05	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,0443
3	5,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,20	0,09	0,08	0,07	0,08	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,0629
5	5,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,20	0,09	0,08	0,10	0,08	0,11	0,07	0,05	0,06	0,04	0,02	0,0812
8	7,00	5,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,13	0,13	0,10	0,12	0,11	0,13	0,10	0,06	0,06	0,04	0,1120
2	9,00	7,00	5,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,17	0,18	0,17	0,12	0,17	0,13	0,20	0,12	0,06	0,04	0,1590
6	9,00	7,00	5,00	5,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,17	0,18	0,17	0,21	0,17	0,20	0,20	0,25	0,12	0,06	0,1931
7	9,00	9,00	7,00	7,00	5,00	5,00	3,00	3,00	2,00	1,00	0,17	0,23	0,24	0,29	0,29	0,34	0,30	0,37	0,25	0,12	0,2773
SUMA DE CADA COLUMNA	53,00	39,50	28,83	24,33	17,53	14,87	10,01	8,12	5,32	3,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	0,38	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,16577794	NMAX	10,2730224
0,24055134	N	10
0,34805496	CI	0,03033582
0,43884311	IA	1,49
	CR	0,0203596
0,62474505		
0,78869389		
1,11169681		
1,50638393		
1,97792503		
3,07035031		
10,2730224		

MATRIZ DE COMPARACION										MATRIX NORMALIZADA										VECTOR PRIORIDAD
TEMPERATURAS	800-900 (8,91 °C)	900-1000 (7,91 °C)	1000-1200 (6,71 °C)	1200-1400 (5,71 °C)	1400-1600 (4,51 °C)	1600-1800 (3,41 °C)	1800-2000 (2,31 °C)	2000-2200 (1,21 °C)	800-900 (8,91 °C)	900-1000 (7,91 °C)	1000-1200 (6,71 °C)	1200-1400 (5,71 °C)	1400-1600 (4,51 °C)	1600-1800 (3,41 °C)	1800-2000 (2,31 °C)	2000-2200 (1,21 °C)				
800-900 (8,91 °C)	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,11	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0239			
900-1000 (7,91 °C)	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,20	0,14	0,14	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,0331			
1000-1200 (6,71 °C)	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,33	0,33	0,17	0,08	0,07	0,05	0,03	0,03	0,06	0,08	0,05	0,0562			
1200-1400 (5,71 °C)	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,11	0,10	0,11	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,0748			
1400-1600 (4,51 °C)	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,14	0,16	0,16	0,12	0,09	0,09	0,08	0,07	0,1144			
1600-1800 (3,41 °C)	6,00	5,00	3,00	3,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,16	0,16	0,16	0,19	0,18	0,18	0,24	0,15	0,1771			
1800-2000 (2,31 °C)	7,00	7,00	3,00	4,00	3,00	1,00	1,00	1,00	0,19	0,23	0,16	0,25	0,27	0,18	0,24	0,30	0,2261			
2000-2200 (1,21 °C)	9,00	7,00	6,00	5,00	4,00	2,00	1,00	1,00	0,24	0,23	0,32	0,31	0,36	0,36	0,24	0,30	0,2943			
SUMA DE CADA COLUMNA	37,00	30,50	18,83	16,08	11,23	5,53	4,20	3,37	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			

RELACION DE CONSISTENCIA		
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD		
0,195317159	NMAX	8,3634154
0,266633532	N	8
0,453151664	CI	0,05191649
0,613781086	IA	1,41
	CR	0,0368202
0,955131535		
1,481221218		
1,907674341		
2,49050486		
8,363415395		

### 14.3. Vulnerabilidad

	MATRIZ DE COMPARACION				MATRIX NORMALIZADA				VECTOR PRIORIDAD
	Pérdida de Suelo	Influencia de los cauces	Usos	Ruta	Pérdida de Suelo	Influencia de los cauces	Usos	Ruta	
Pérdida de Suelo	1,00	0,50	0,33	0,20	0,09	0,08	0,09	0,10	0,0883
Influencia de los cauces	2,00	1,00	0,50	0,33	0,18	0,15	0,13	0,16	0,1575
Usos	3,00	2,00	1,00	0,50	0,27	0,31	0,26	0,25	0,2718
Ruta	5,00	3,00	2,00	1,00	0,45	0,46	0,52	0,49	0,4824
SUMA DE CADA COLUMNA	11,00	6,50	3,83	2,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA			
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD			
1	0,35412208	NMAX	4,01774976
2	0,6307841	N	4
3	1,09287977	CI	0,005916587
4	1,93996381	IA	0,9
	4,01774976		CR 0,006574

	MATRIZ DE COMPARACION			MATRIX NORMALIZADA			VECTOR PRIORIDAD
	Erosion por pérdida de vegetación	Erosión y meteorización de rocas	Meteorización de taludes expuestos	Erosion por pérdida de vegetación	Erosión y meteorización de rocas	Meteorización de taludes expuestos	
Erosion por pérdida de vegetación	1,00	2,00	0,33	0,22	0,25	0,22	0,2299
Erosión y meteorización de rocas	0,50	1,00	0,20	0,11	0,13	0,13	0,1222
Meteorización de taludes expuestos	3,00	5,00	1,00	0,67	0,63	0,65	0,6479
SUMA DE CADA COLUMNA	4,50	8,00	1,53	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA			
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD			
	0,69021739	NMAX	3,005394525
	0,36670692	N	3
	1,94847021	CI	0,002697262
		IA	0,58 0,66
	3,00539452		CR 0,0046505

MATRIZ DE COMPARACION			MATRIX NORMALIZADA		
	Cauce Alta Montaña	Cauce Modificado	Cauce Alta Montaña	Cauce Modificado	VECTOR PRIORIDAD
Cauce Alta Montaña	1,00	0,33	0,25	0,25	0,2500
Cauce Modificado	3,00	1,00	0,75	0,75	0,7500
SUMA DE CADA COLUMNA	4,00	1,33	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA			
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD			
0,5	NMAX	2	
1,5	N	2	
	CI	0	
2	IA	0,01	0
2		CR	0

MATRIZ DE COMPARACION					MATRIX NORMALIZADA				
	Área de degradación antrópica	Sendero	Área de Picnic y Uso de Costas	Área Protegida	Área de degradación antrópica	Sendero	Área de Picnic y Uso de Costas	Área Protegida	VECTOR PRIORIDAD
Área de degradación antrópica	1,00	3,00	2,00	3,00	0,43	0,46	0,50	0,38	0,4413
Sendero	0,50	1,00	0,50	2,00	0,21	0,15	0,13	0,25	0,1858
Área de Picnic y Uso de Costas	0,50	2,00	1,00	2,00	0,21	0,31	0,25	0,25	0,2555
Área Protegida	0,33	0,50	0,50	1,00	0,14	0,08	0,13	0,13	0,1174
SUMA DE CADA COLUMNA	2,33	6,50	4,00	8,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

RELACION DE CONSISTENCIA			
M.COMPARACION X VECTOR PRIORIDAD			
1,86195055	NMAX	4,198775183	
0,76905907	N	4	
1,08258929	CI	0,066258394	
0,48517628	IA	0,9	0,99
4,19877518		CR	0,07362044