



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**“RIESGO VOLCANICO A ESCALA NACIONAL/REGIONAL: ESTUDIO
COMPARADO DE VARIANTES METODOLOGICAS, PARA SU
EVALUACION Y ADAPTACION AL CONTEXTO VOLCANICO DE
CHILE”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS
MENCION GEOLOGIA**

DIEGO MAURICIO AGUILERA SAEZ

**PROFESORA GUÍA:
SOFIA REBOLLEDO LEMUS
PROFESOR CO-GUÍA:
LUIS LARA PULGAR**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
SERGIO SEPULVEDA VALENZUELA
ANGELO CASTRUCCIO ALVAREZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

**I.-RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL
GRADO DE:** Magister en Ciencias mención Geología
POR: Diego Mauricio Aguilera Sáez
Fecha: 26 Abril de 2016
Profesor Guía y Co-Guía: Sofía Rebolledo, Luis Lara

**RIESGO VOLCANICO A ESCALA NACIONAL/REGIONAL: ESTUDIO COMPARADO
DE VARIANTES METODOLOGICAS, PARA SU EVALUACION Y ADAPTACION AL
CONTEXTO VOLCANICO DE CHILE**

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), mediante la adaptación de la metodología National Volcano Early Warning System (NVEWS), desarrollada por el Servicio de Geología de los Estados Unidos, ha determinado el riesgo asociado a los 90 volcanes activos que existen en Chile.

Por otra parte, investigadores de la Universidad de Bristol, utilizando el listado de los países acogidos al “*Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR) of the World Bank*”, en el estudio llamado “*Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measures*”, desarrollaron una metodología para la evaluación del riesgo volcánico (Metodología de la Universidad de Bristol, MUB). En ésta se estima el nivel de peligro, el nivel de incerteza según la disponibilidad de información y el índice de exposición de la población. El riesgo de cada volcán se estima de la combinación del peligro y la exposición, en un área espacial determinada.

De acuerdo a lo anterior, el presente estudio consistió en realizar la evaluación del riesgo volcánico a los 90 volcanes activos de Chile con la mencionada metodología y comparar los resultados con aquellos obtenidos por SERNAGEOMIN con el fin de realizar un análisis integrado de los resultados de ambas metodologías que permite establecer para cada volcán la mejor metodología para evaluar el riesgo volcánico asociado.

Aplicando la metodología de la Universidad de Bristol, se han obtenido cuatro volcanes con un nivel de riesgo medio (Villarrica, Calbuco, Fui e Isla de Pascua), mientras que los 86 volcanes activos restantes han sido categorizados con un nivel de riesgo bajo, sin tener volcanes en categoría de riesgo alto. Mientras que en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN son 12 los volcanes que tienen un nivel de riesgo muy alto, 19 con un nivel de riesgo alto, 17 volcanes están en la categoría de riesgo medio, 15 tienen un nivel de riesgo bajo y 27 volcanes activos están en la categoría de bajo riesgo. Estos resultados indican las evidentes diferencias entre ambas metodologías lo que ha motivado el desarrollo de este trabajo, para poder determinar la que mejor se puede aplicar al contexto volcánico de Chile.

Finalmente se propone utilizar la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN para evaluar el ranking de riesgo, la MUB para determinar las áreas de peligro excluyendo aquellas zonas de altas pendientes y además se propone realizar una adaptación de la MUB al contexto volcánico de Chile, reasignando nuevos puntajes de peligro y vulnerabilidad mediante el proceso de análisis jerárquico (PAJ).

II.- Tabla de Contenido

I.-Resumen	i
II.- Tabla de Contenido	ii
III.-Índice de Tablas	v
IV.-Índice de Gráficos	vi
V.-Índice de Figuras	vi
CAPÍTULO 1.-INTRODUCCIÓN	1
1.1.-Objetivos	4
1.2.-Metodología	5
1.3.- Ubicación de los volcanes a evaluar.	7
CAPÍTULO 2.- MARCO TECTÓNICO	8
CAPITULO 3.- METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR RIESGO VOLCÁNICO	17
3.1.-Metodología de “Volcano hazard and exposure in GFDRR (<i>Global Facility for Disaster Reduction and Recovery</i>) priority countries and risk mitigation Measures” (Metodología Universidad de Bristol, MUB)	17
3.1.1.-Factores para evaluar el peligro e incerteza	17
Tipo de Volcán	18
Presencia de un lago en el cráter o de capas de hielo o nieve	19
Flujos piroclásticos	20
Peligro de lahar	21
Peligro de lava	23
Cantidad de subcaracterísticas	24
IEV máximo	25
Frecuencia de erupción	26
3.1.2.-Índice de exposición de la población	27
3.1.3.-Riesgo volcánico	28
3.1.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico	29
Frecuencia de monitoreo	29
Existencia y proximidad a las redes sísmicas	30
3.1.5.-Análisis frecuencia de magnitud	31
3.1.6.-Determinar áreas de peligro (Análisis en GIS)	32
3.2.- Metodología NVEWS-SERNAGEOMIN	33
3.2.1.-Factores de peligro	33
Tipo de Volcán	33
Máximo Índice de Explosividad Volcánica (IEV)	34
Actividad explosiva <500 años	35
Actividad explosiva < 5.000 años	35
Recurrencia Eruptiva	35
Ocurrencia de Flujos piroclásticos en el Holoceno	36
Ocurrencia de lahares en el Holoceno	36
Ocurrencia de tsunamis en el Holoceno	36
Potencial de explosiones hidrotermales	37
Potencial de colapso de flanco	37
Potencial de generación de lahares	37
Actividad Sísmica	37
Deformación	37
Desgasificación	38

3.2.2.-Factores de exposición (vulnerabilidad)	38
Población en zona de alto peligro	38
Población en zona distal	39
Víctimas fatales	39
Evacuaciones	39
Exposición de la aviación local	39
Exposición de la aviación regional	39
Infraestructura energética	40
Infraestructura de transportes	40
Áreas de desarrollo o protección	40
Islas Volcánicas	40
3.2.3.-Riesgo Volcánico	41
3.2.4.-Determinar áreas de peligro (Análisis en GIS)	41
Área proximal: lavas, lahares, avalanchas volcánicas y flujos piroclásticos	41
Área proximal y distal: caída de piroclastos	44

CAPÍTULO 4.-RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BRISTOL _____ 48

4.1.- Resultados de la metodología de la Universidad de Bristol	48
4.1.1.- Valores de peligro e incerteza	48
4.1.2.- Valores de peligro y exposición	50
4.1.3.- Nivel de riesgo	52
4.1.4.- Nivel de riesgo con monitoreo	53
4.1.5.- Análisis de frecuencia de magnitud	54
4.1.6.- Análisis de Valores de Peligro	55
4.1.7.- Análisis de Valores de Exposición	58
4.1.8.- Análisis de Áreas de Peligro	61

CAPÍTULO 5.-COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS _____ 63

5.1.- Análisis detallado de ambas metodologías mediante estudios de casos	63
5.1.1.- Resultados de ambas metodologías para el volcán Taapaca	63
5.1.1.1.-Evaluación del peligro del volcán Taapaca, con la metodología de la Universidad de Bristol	63
5.1.1.2.-Evaluación de la exposición del volcán Taapaca	64
5.1.1.3.-Evaluación del riesgo del volcán Taapaca	65
5.1.1.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico	66
5.1.1.5.-Análisis frecuencia de magnitud	66
5.1.1.6.-Determinar las áreas de peligro del volcán Taapaca	67
5.1.1.7.-Evaluación del riesgo del volcán Taapaca, con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN	80
5.1.1.8.- Área de peligro proximal en volcán Taapaca	81
5.1.1.9.-Infraestructura en zona proximal de peligro del volcán Taapaca	83
5.1.1.10-Comparación de las áreas obtenidas	85
5.1.2.- Resultados de ambas metodologías volcán Villarrica.	87
5.1.2.1.-Evaluación del peligro del volcán Villarrica, con la metodología de la Universidad de Bristol	87
5.1.2.2.-Evaluación de la exposición del volcán Villarrica	88
5.1.2.3.-Evaluación del riesgo del volcán Villarrica	89
5.1.2.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico	89
5.1.2.5.-Análisis frecuencia de magnitud	90
5.1.2.6.-Determinar áreas de peligro del volcán Villarrica	91

5.1.2.7.-Evaluación del riesgo del volcán Villarrica, con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN _____	103
5.1.2.8.-Área de peligro proximal en volcán Villarrica _____	104
5.1.2.9.-Infraestructura en zona proximal de peligro del volcán Villarrica _____	106
5.1.2.10.-Comparación de las áreas obtenidas _____	108
5.2.- Comparación de ambas metodologías mediante los estudios de casos _____	110
5.2.1.-Comparación de los niveles de peligros _____	110
5.2.2.-Comparación de los niveles de vulnerabilidad _____	112
5.2.3.-Comparación de los niveles de riesgo _____	113
5.3.-Análisis comparativo de los resultados totales de las metodologías _____	114
5.3.1.-Niveles de Peligro _____	114
5.3.2.-Niveles de Exposición _____	116
5.3.3.-Áreas de Peligro _____	119
CAPÍTULO 6.- ADAPTACION DE LA MUB AL CONTEXTO VOLCÁNICO DE CHILE _____	123
6.1 Reasignación de las ponderacionesde (valor) de peligro y vulnerabilidad de los factores de riesgo evaluados _____	124
6.1.1 Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico a los factores de peligro de la MUB. _____	124
6.2 Adaptación de la MUB a los valores de Población de Chile _____	127
6.3 Niveles de Riesgo _____	129
CAPÍTULO 7.- DISCUSIONES _____	133
CAPÍTULO 8.- CONCLUSIONES _____	143
CAPÍTULO 9.-RECOMENDACIONES _____	147
10.-BIBLIOGRAFÍA _____	147
11.-ANEXOS _____	155

III.-Índice de Tablas

Tabla 1:Tipos de volcanes activos en Chile _____	16
Tabla 2:Valores de rangos de peligro e incerteza _____	18
Tabla 3:Valores de rangos de peligro e incerteza para los flujos pirocláticos _____	21
Tabla 4:Valores de rangos de peligro e incerteza para los peligros de lahar _____	22
Tabla 5:Valores de rangos de peligro e incerteza para los flujos de lava _____	24
Tabla 6:Niveles de peligro según la evaluación_____	27
Tabla 7:Niveles de incerteza según la evaluación_____	27
Tabla 8:Índice de exposición de población según la evaluación _____	28
Tabla 9:Nivel de índice de exposición de población según la evaluación _____	28
Tabla 10:Nivel de riesgo volcánico _____	29
Tabla 11:Nivel de monitoreo _____	31
Tabla 12:Nivel de incerteza _____	31
Tabla 13:Niveles y categorías de riesgo _____	41
Tabla 14:Volcanes con razón H/L. _____	42
Tabla 15:Tipos de erupciones, según cada volcán y sus características _____	44
Tabla 16: Clasificación de volcanes según su Tipo de erupción _____	47
Tabla 17:Volcanes según peligro e incerteza _____	49
Tabla 18:Volcanes según peligro y exposición _____	51
Tabla 19:Niveles de riesgo de los volcanes_____	52
Tabla 20:Volcanes según riesgo y monitoreo _____	53
Tabla 21:Período de retorno de las erupciones _____	54
Tabla 22: Evaluación de peligro del volcán Taapaca_____	63
Tabla 23: Nivel de riesgo volcánico del volcán Taapaca _____	65
Tabla 24: Valores de monitoreo volcánico del volcán Taapaca_____	66
Tabla 25:Nivel de monitoreo volcánico del volcán Taapaca _____	66
Tabla 26: Nivel de incerteza del monitoreo del volcán Taapaca _____	66
Tabla 27: Período de retorno según magnitud de la erupción del volcán Taapaca _____	67
Tabla 28:Evaluación del riesgo del volcán Taapaca, NVEWS-SERNAGEOMIN _____	80
Tabla 29: Evaluación de peligro del volcán Villarrica _____	87
Tabla 30: Nivel de riesgo volcánico del volcán Villarrica _____	89
Tabla 31: Valores de monitoreo volcánico del volcán Villarrica _____	89
Tabla 32: Nivel de monitoreo volcánico del volcán Villarrica _____	90
Tabla 33: Nivel de incerteza del monitoreo del volcán Villarrica _____	90
Tabla 34:Período de retorno según magnitud de la erupción del volcán Villarrica _____	90
Tabla 35:Evaluación del riesgo del volcán Villarrica, NVEWS-SERNAGEOMIN _____	103
Tabla 36:Áreas de peligro de ambas metodologías en Km ² _____	121
Tabla 37: Escala de criterios utilizados para el PAJ _____	124
Tabla 38: Ejemplo de la aplicación del PAJ _____	125
Tabla 39: Comparación de los valores originales y ponderados con el PAJ de la MUB _____	125
Tabla 40: Intervalos de Población y su índice _____	127
Tabla 41: : Población, índice de población y Peligro MUB PAJ _____	127
Tabla 42: Ranking de Riesgo volcánico, adaptando la MUB al contexto de Chile _____	129
Tabla 43: Valores de Peligro del volcán Taapaca adaptando la MUB al contexto de Chile _____	131
Tabla 44: Valores de Peligro del volcán Villarrica adaptando la MUB al contexto de Chile _____	132

IV.-Índice de Gráficos

Gráfico 1:Valores de Peligro _____	57
Gráfico 2:Valores de Exposición _____	60
Gráfico 3:Áreas de Peligro _____	62
Gráfico 4:Comparación niveles de peligro _____	116
Gráfico 5:Valores de exposición de ambas metodologías _____	118
Gráfico 6:Comparación de áreas de peligro _____	120

V.-Índice de Figuras

Figura 1:Mapa de los Volcanes Activos de Chile _____	7
Figura 2: Placas Tectónicas del Margen Continental Chileno _____	9
Figura 3:Ambiente de Subducción _____	10
Figura 4:Evolución del Arco Magmático _____	12
Figura 5:Zonas Volcánicas de Chile _____	15
Figura 6:Localización del volcán Taapaca _____	69
Figura 7:Cuenclas en el área de Influencia del volcán Taapaca _____	71
Figura 8:Zona de peligro proximal en el Volcán Taapaca _____	73
Figura 9:Infraestructura zona de peligro proximal en el Volcán Taapaca _____	75
Figura 10:Población en área de influencia de 30 kilómetros del Volcán Taapaca _____	77
Figura 11:Zona de peligros proximales y distales del Volcán Taapaca _____	79
Figura 12: Zona de peligro proximal del Volcán Taapaca, por SERNAGEOMIN _____	82
Figura 13: Infraestructura y localidades en zona de peligros proximales del Volcán Taapaca _____	84
Figura 14: Comparación de áreas de peligro del Volcán Taapaca _____	86
Figura 15:Localización del Volcán Villarrica _____	92
Figura 16:Cuenclas en el área de Influencia del Volcán Villarrica _____	94
Figura 17:Zona de peligro proximal en el Volcán Villarrica _____	96
Figura 18:Infraestructura zona de peligro proximal del Volcán Villarrica _____	98
Figura 19:Población en área de influencia de 30 kilómetros del Volcán Villarrica _____	100
Figura 20:Zona de peligros proximales y distales del Volcán Villarrica _____	102
Figura 21: Zona de peligro proximal del Volcán Villarrica, por SERNAGEOMIN _____	105
Figura 22: Infraestructura y localidades en zona de peligros proximales del Volcán Villarrica _____	107
Figura 23: Comparación de áreas de peligro del Volcán Villarrica _____	109

CAPÍTULO 1.-INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de volcanes que existen en Chile, en particular los 90 que son considerados como activos por el Servicio Nacional de Geología y Minería, requiere contar con metodologías que permitan determinar áreas potenciales de peligro y riesgo volcánico.

Con esta motivación y considerando que las erupciones volcánicas son una de las principales amenazas naturales en Chile, después de los terremotos se realiza este estudio.

Esta información será una herramienta indispensable para asegurar y mantener en alerta a las personas y su entorno.

Según Camarasa et. al (2001) los dos grandes componentes que determinan el riesgo son el evento físico que origina el desastre y los impactos negativos que se originan sobre la sociedad que lo sufre. Estos autores sitúan como factores de riesgo a la peligrosidad y la vulnerabilidad. El primero hace referencia al evento físico y a la probabilidad de alcanzar valores extremos; el segundo, se relaciona con el grado de adaptación de las sociedades susceptibles de ser afectadas. También es posible mencionar, que la mayor parte de los autores, entre ellos Lavell (1999) y Brignardello (1997), considera a estos factores como los condicionantes a desarrollar riesgo.

Por otra parte, el axioma propuesto por Sánchez (1993), dice que el riesgo es el producto de la multiplicación del factor peligro por el factor vulnerabilidad. De esta forma, el riesgo depende no sólo de la magnitud del peligro natural como tal, sino también de la vulnerabilidad de la sociedad expuesta a este peligro.

Por lo tanto, la peligrosidad o amenaza será entendida como un fenómeno natural, cuya dinámica puede desbordar sus umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo ocasionar daños a las personas y sus bienes (Mardones y Vidal, 2001).

Por otra parte, según Cardona (2001), la vulnerabilidad se entiende, en general, como un factor de riesgo interno que está expresado como la factibilidad de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza a la amenaza.

Una visión que complementa la definición de vulnerabilidad es la que propone Calvo (1997), pues la plantea como el grado de eficacia de un grupo social determinado para adecuar su organización frente a aquellos cambios en el medio natural. Además, considera que el concepto de vulnerabilidad es estrictamente de carácter social, el que

se manifiesta como un conjunto de factores en interacción que convergen en un grupo humano particular (Calvo, 1997).

En cuanto al riesgo, la UNISDR (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*), (2015) lo describe como la combinación de la probabilidad de un evento y sus negativas consecuencias sobre el entorno. Al peligro lo define como el fenómeno peligroso, tal como flujos, tormentas, sequías y terremotos que tiene efectos adversos sobre la población y sus propiedades. La vulnerabilidad para la UNISDR la define como aquellas condiciones de la infraestructura económica, política, física, social y ambiental de una comunidad que determinan la probabilidad que una cierta intensidad de peligro causará un cierto grado de daño.

La Universidad de Bristol en su investigación define al riesgo como una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la salud de la personas, propiedad o al medio ambiente. El peligro corresponde a una condición con el potencial para causar una indeseable consecuencia, que en el caso del peligro volcánico debería incluir la localización, intensidad y probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo dado.

Para el caso de este estudio, se utilizaron los conceptos definidos por el Servicio Nacional de Geología y Minería (2011) en donde se indica que el peligro es la probabilidad de ocurrencia de un proceso en un tiempo y lugar determinado con una intensidad definida, mientras que la vulnerabilidad es descrita como la susceptibilidad al impacto que presentan los elementos potencialmente afectados y el riesgo es definido como el valor esperado de las pérdidas asociadas a un proceso natural determinado que generalmente es conceptualizado como el producto del peligro y la vulnerabilidad.

El peligro de una erupción volcánica depende del tipo de volcán, el tiempo desde la última erupción de ese volcán, la ubicación geográfica, el clima local y el tiempo del año. Por cuanto más tiempo un volcán está inactivo entre las erupciones, más grande tiende a ser la erupción (Sigurdsson, 1999).

Para eso existen dos metodologías para determinar el riesgo volcánico, la metodología correspondiente al "*Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measures*" realizado por investigadores de la Universidad de Bristol (UB) y siendo GFDRR el "*Global Facility for Disaster Reduction and Recovery*" un listado del Banco Mundial de países prioritarios para la reducción del riesgo volcánico y la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN que ha aplicado el SERNAGEOMIN para determinar el riesgo volcánico en Chile. Esta fue creada por el Servicio de Geología de Estados Unidos y que se detalla en la publicación "*An Assessment of Volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcano Early Warning System*, (NVEWS, 2005).

El motivo de este estudio es aplicar la metodología MUB y realizar una comparación con los resultados obtenidos por el SERNAGEOMIN con la finalidad de identificar sus potencialidades y debilidades, de manera de obtener un método más completo de evaluación de riesgo volcánico a escala nacional. Se ha considerado trabajar a una escala 1:2.000.000 a nivel nacional, la que es similar a la del estudio “Peligros Volcánicos de Chile, 2011” del SERNAGEOMIN.

1.1.-Objetivos

Objetivos Generales

Evaluar el riesgo volcánico asociado a los 90 volcanes activos de Chile mediante la metodología de la Universidad de Bristol

Comparar los resultados de la metodología de la Universidad de Bristol con los resultados obtenidos de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

Objetivos Específicos

Utilizando la metodología de la Universidad de Bristol:

Evaluar el peligro volcánico de los 90 volcanes activos de Chile.

Identificar los niveles de incerteza asociados a los distintos factores de peligro.

Estimar el índice de exposición de la población.

Determinar la frecuencia de erupciones para cada volcán.

Determinar el peligro de cada volcán en las áreas distal y proximal.

Estimar la capacidad de monitoreo de Chile sobre los volcanes activos.

Adaptar la metodología MUB al contexto volcánico de Chile.

1.2.-Metodología

Pasos metodológicos a seguir para la ejecución del estudio:

- Recopilación y análisis detallado de los registros históricos de las erupciones de los 90 volcanes activos de Chile.
- Revisión bibliográfica y familiarización con la metodología de la Universidad de Bristol (MUB) utilizada para evaluar riesgo volcánico.
- Recopilación, comprensión y análisis crítico de los resultados de riesgo volcánico de los 90 volcanes obtenido por SERNAGEOMIN con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.
- Determinación de los niveles de peligro e incerteza para cada uno de los volcanes.
- Determinación, mediante herramientas SIG, de las áreas de exposición a peligro de lahares y de piroclastos y definición de las cuencas hidrográficas.
- Creación de mapas temáticos para representar las áreas de peligro.
- Determinación de los niveles de vulnerabilidad, en base a la cantidad de población, estimada mediante la herramienta LandScan.
- Determinación del riesgo asociado a cada uno de los 90 volcanes mediante la MUB.
- Comparación de los resultados en términos de áreas de peligro y de nivel de riesgo.
- Análisis de los resultados obtenidos con la MUB y comparación con los datos de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

Fuentes de la información, Metodología U. de Bristol

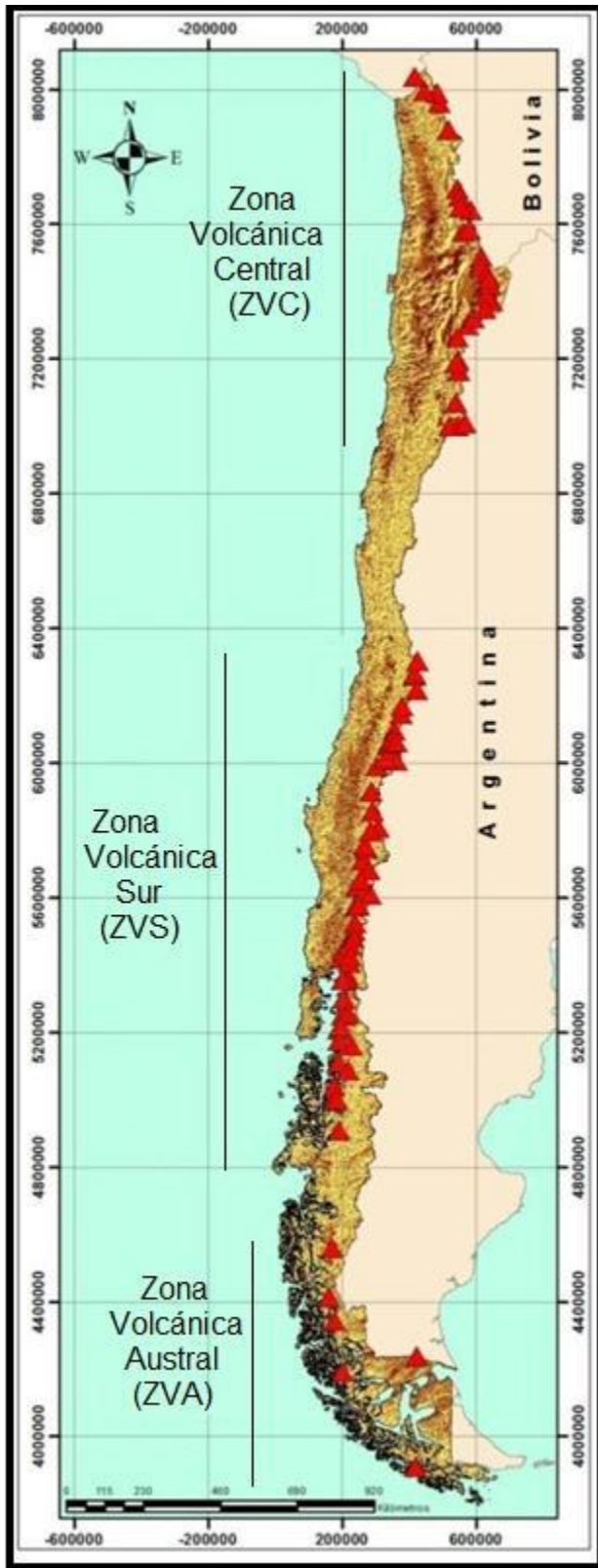
Para realizar esta investigación fue necesario efectuar una recopilación de los antecedentes de erupciones volcánicas para cada uno de los volcanes activos de Chile y de las referencias utilizadas por la metodología de la Universidad de Bristol entre las que destacan las publicaciones del SERNAGEOMIN y publicaciones científicas.

Para determinar los diferentes valores de cada factor de peligro (tipo de volcán, lahares, piroclastos, IEV, recurrencia eruptiva, presencia de agua/nieve, entre otros) y vulnerabilidad (cantidad de población que habita dentro de un área de influencia de 30 km), se han utilizado una serie de fuentes de información, entre las que destaca: El *Smithsonian Institution, Natural Museum of Natural History, Global Volcanism Program* con su página web <http://www.volcano.si.edu/>, en la cual se encuentra un registro histórico de la actividad volcánica de los últimos 10 mil años (Holoceno).

Cabe considerar que el registro que lleva esta página web para los volcanes activos de Chile, se basa principalmente en los boletines y cartas geológicas que ha desarrollado el SERNAGEOMIN para cada volcán.

Además, se cuentan las siguientes fuentes bibliográficas que recopila el *Smithsonian Institution* y que también han sido revisadas:

- Papers científicos
- Comunicación personal (Geólogos)
- Revistas y Libros de Volcanología
- Imágenes Satelitales
- Fotografías aéreas
- Fotografías de testigos presenciales de erupciones
- Prensa escrita
- Organismos de Emergencias y monitoreo (ONEMI, OVDAS)
- Investigación de la literatura geológica, libros, crónicas históricas, artículos, mapas geológicos.



1.3.- Ubicación de los volcanes a evaluar.

Los 90 volcanes activos de Chile se distribuyen geográficamente en tres macrozonas volcánicas, como se aprecia en la Figura 1. Al norte se ubica la Zona Volcánica Central, luego la Zona Volcánica Sur y finalmente la Zona Volcánica Austral (Moreno y Gibbons, 2007).

Figura 1: Mapa de los Volcanes Activos de Chile.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2.- MARCO TECTÓNICO

Para comprender la geodinámica y composición geoquímica que condiciona el comportamiento eruptivo de los volcanes, es necesario conocer sus características geológicas.

La constante interacción existente entre las placas tectónicas y el tamaño estático de la Tierra, implica que la corteza en ciertos lugares se está destruyendo mientras que en otros se está creando. Esta destrucción ocurre en las zonas de bordes convergentes, proceso que ocurre donde las placas colisionan unas con otras como en el caso de las zonas subducción (USGS, <http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/>).

El caso de Chile está inmerso en un borde de convergencia de placas oceánica-continental, proceso en el que la placa oceánica de Nazca converge con la placa continental Sudamericana y la corteza más densa de la placa oceánica se subducta debajo de la placa continental más ligera. En este tipo de convergencias son comunes las fosas, los terremotos destructivos y el rápido alzamiento de cadenas montañosas. Éstas se generan mediante el proceso que se inicia con la subducción, donde luego el agua que es liberada facilita la fusión y el ascenso de este material fusionado, lo que genera la construcción del arco volcánico que para el caso de Chile corresponde a la actual Cordillera de Los Andes (USGS, <http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/>).

Al describir la placa de Nazca, es posible distinguir dentro de ésta cinco zonas que se están subductando bajo la placa sudamericana. Las dos primeras fracciones corresponden a zonas de flat-slab, el primero se ubica en el norte y centro de Perú mientras que el segundo se sitúa entre los 27° y 33° S en Chile. Estos se caracterizan por ser zonas con carencia de volcanismo Cuaternario y poseer un bajo ángulo de subducción por parte de placa de Nazca (Barazangi e Isacks 1976; Cahill y Isacks, 1992). En Chile este bajo ángulo se justifica por la subducción del Ridge de Juan Fernández (JFR) y engrosamiento de la corteza oceánica lo que impide que el ángulo de inclinación de la placa de Nazca aumente bajo la placa sudamericana en este sector (Pilger 1981; Corvalán et. al., 1997; Gutscher et. al., 2000; Gutscher 2002).

Mientras que los otros tres segmentos (Ecuador, sur de Perú-norte de Chile y Sur de Chile) poseen ángulos de inclinación de la placa oceánica entre los 25-30 grados y con una abundante actividad volcánica (Muawia Barazangi e Bryan L Isacks 1976).

En la Figura 2, se puede observar las placas tectónicas que interactúan en la generación de la Cordillera de los Andes.

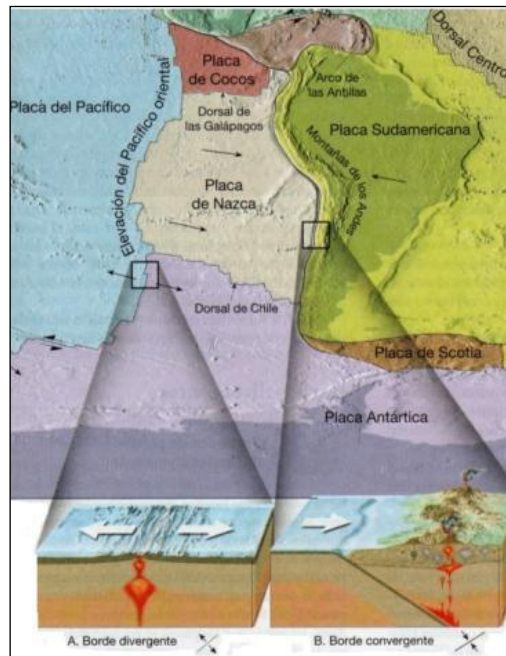


Figura 2: Placas Tectónicas del Margen Continental Chileno
Fuente: Tarbuck y Lutgens.2005.

SUBDUCCION

La Cordillera de Los Andes constituye el mayor sistema orogénico desarrollado por la subducción de la corteza oceánica a lo largo de un margen continental. La subducción se inició poco después de la ruptura de Rodinia en tiempos Proterozoico tardío, y desde entonces, ha tenido actividad intermitente hasta el presente (Ramos, 2009). En estas zonas se concentra una mayor deformación cortical causada por la convergencia de placas mediante la subducción. Esta deformación se concentra más en la zona del arco magmático, lugar en que se produce la circulación del fluido magmático con un flujo de calor más alto, lo que trae como consecuencia el debilitamiento térmico de la corteza. (Creixell et. al., 2011).

Por lo tanto, independientemente del ambiente tectónico, el fluido magmático se mueve a lo largo de grietas y conductos hacia la superficie de la Tierra. Lo que provoca la formación de los volcanes como consecuencia de esta ascensión (Brown et. al, 2015), tal como se aprecia en la Figura 3. Siendo el proceso de subducción, el principal impulsor del origen de la cadena montañosa de Los Andes (Mpodozis y Ramos 1990; Jordan et. al., 2001; Moreno y Gibbons, 2007).



Figura 3: Ambiente de Subducción
Fuente: Tarbuck y Lutgens.2005.

ARCO VOLCÁNICO

Para entender la evolución que ha tenido el arco volcánico en Chile es necesario realizar un análisis geológico desde sus inicios hasta el presente. De esta forma, desde el Jurásico temprano el arco magmático del norte de Los Andes de Chile se ha desplazado desde la Cordillera de la Costa hacia la Cordillera Occidental (Andriessen y Reutter, 1994). Esta migración hacia el este ha ocurrido por cuatro sucesivos sistemas de arcos estacionarios que pueden ser distinguidos claramente (Scheuber et. al., 1994).

En cuanto a la evolución tectónica de Los Andes Centrales del norte de Chile, los últimos 200 Ma se caracterizan por el inicio de un nuevo periodo de magmatismo (Inicio del Ciclo Andino) (Coira et. al., 1982). Éste se inicia con: 1) un primer arco Jurásico-Cretácico temprano (200-120 Ma) en la Cordillera de la Costa; 2) un arco del Cretácico medio (110-75 Ma) en el valle longitudinal; 3) un arco del Cretácico tardío-Paleógeno (72-34 Ma) en la Precordillera Chilena y un 4) arco del Oligoceno tardío-Holoceno (25-0 Ma) en la Cordillera Occidental (Scheuber y González, 1999).

El comienzo del primer arco se produce “después de la fase de rifting del Triásico-Jurásico temprano, con el inicio de la subducción y las primeras evidencias de un arco magmático activo en el margen occidental de América del Sur que se observan aproximadamente a los 183 Ma y que se les pueden asociar al inicio de la separación entre Gondwana Occidental y Oriental” (Mpodozis y Ramos, 2008). Este primer arco, activo durante el Jurásico Temprano y Medio, se compone principalmente de un 37% rocas volcánicas, de un 40% de rocas plutónicas y de un 16% de unidades preandinas (Scheuber y González, 1999).

El segundo arco magmático se generó durante el Cretácico medio. En éste el centro de la actividad ígnea se desplazó hacia el este en una posición correspondiente al presente valle longitudinal (Pichowiak, 1994). Este arco se extiende al interior de las partes adyacentes de la Cordillera de la Costa y Precordillera Chilena, considerando

que la migración del arco desde la Cordillera de la Costa hacia el valle longitudinal fue un proceso gradual (Scheuber et. al., 1994).

El tercer arco magmático correspondiente a la Precordillera Chilena, que fue emplazado al este del arco magmático precedente y estuvo activo desde el Cretácico tardío hasta el Oligoceno. El volcanismo y plutonismo decrece entre los 80 y 30 Ma (Scheuber et. al., 1994). La Precordillera destaca estructuralmente por “las fallas de desplazamiento en el rumbo paralelas al orógeno así como el acortamiento normal al orógeno, procesos que se consideran como fenómenos de la tectónica de arco magmático, puesto que desde el Cretácico tardío hasta el tiempo de la deformación (45-30 Ma), la actividad magmática de los Andes Centrales estuvo ubicada en este sector. La deformación en el sistema de fallas de la Precordillera está también relacionada con la mineralización de los grandes yacimientos de pórfidos cupríferos de la zona” (Reutter et. al., 1991).

El cuarto y actual arco se generó alrededor del Oligoceno-Mioceno, instalándose en la Cordillera Occidental (Figura 4), al este del precedente extinto arco volcánico (Scheuber et. al., 1994). En la zona volcánica central del norte de Chile, se encuentran ubicados grandes estratovolcanes andesítico-basálticos y dacíticos que han sido originados por la presencia del arco magmático actual. Además, considerando las condiciones climáticas de esta zona de Chile, los volcanes se encuentran muy bien conservados debido a la aridez. En la región al sur del segmento de flat-slab, hasta los 35°S, se aprecian escasos vestigios de volcanes de este período, encontrándose conos muchos más juveniles. Mientras que al sur de 35°S, comienzan a desarrollarse extensas acumulaciones de lavas andesíticas (Charrier et. al., 2009).

En la Figura 4, es posible distinguir la Cordillera de la Costa, Valle Longitudinal, Precordillera Chilena, Cordillera Occidental, los que representan los 4 arcos magmáticos anteriormente descritos.

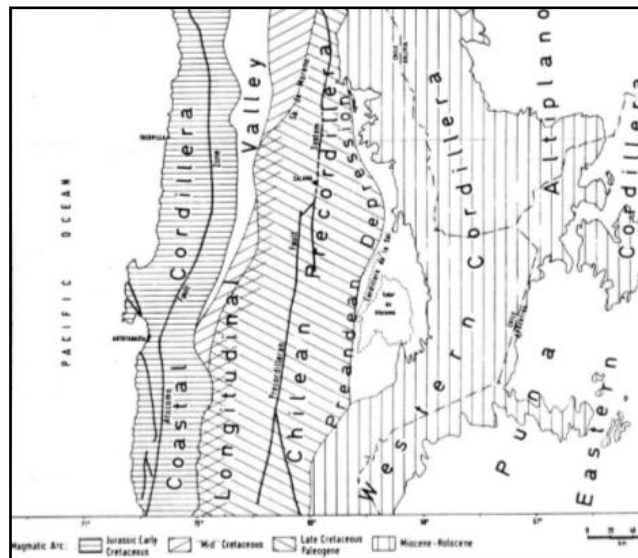


Figura 4: Evolución del Arco Magmático en la zona norte de Chile
 Fuente: Scheuber et. al., 1994

FLAT-SLAB

Hacia el sur, la continuidad de las unidades morfoestructurales paralelas al margen continental de Chile, como son el arco volcánico y la fosa oceánica, se interrumpen en la zona del Ridge de Juan Fernández que se intersecta con el margen continental chileno, provocando la segmentación del orógeno, en la región que se ubica entre los 27° S a 33° S que se denomina zona del flat-slab (Charrier et. al., capítulo 3, 2007).

El principal cambio morfológico causado por el flat-slab es la ausencia de la depresión central longitudinal (27-33°S), unidad morfológica que separa la Cordillera de la Costa de la Cordillera Principal. Por lo tanto, en esta región no es posible diferenciar estas dos cordilleras, por lo que se le denomina zona de cordones montañosos transversales o Norte Chico. Esta zona de flat-slab separa dos segmentos, uno entre los 18° y 27° S y el otro entre los 33° y 46°S en los que la Depresión Central está bien desarrollada. Además, se asocia a la ausencia de actividad volcánica reciente, lo cual indica que la subducción del Ridge de Juan Fernández controla la morfología, magmatismo y la tectónica de esta zona (Charrier et. al, 2007).

Más al sur (46-47°S), se encuentra la intersección del Ridge de Chile con el margen continental. En este lugar es donde se produce el “Punto Triple” ya que es la zona en que se une la Placa de Nazca con la Placa Antártica y ambas se subducen bajo la placa Sudamericana (Charrier et. al, 2007).

ZONAS VOLCANICAS

Como se ha dicho anteriormente los volcanes activos alcanzan un total de 90 a lo largo de toda la Cordillera de los Andes de Chile (Lara et. al., 2011), agrupándose en tres macrozonas volcánicas que poseen características geográficas y geológicas particulares. Estas macrozonas corresponden, a la Zona Volcánica Central (ZVC) ubicada al norte del flat-slab; la Zona Volcánica Sur (ZVS); Zona Volcánica Austral (ZVA) (Aubouin et. al., 1973; Gansser, 1973).

En las ZVC y la ZVS del norte y centro-sur de Chile, la subducción de la Placa de Nazca se produce con ángulos relativamente empinados ($> 25^\circ$) y a profundidades de 90 kilómetros aproximadamente. El límite norte de la ZVS corresponde a la subducción del Ridge de Juan Fernández mientras que su límite sur está determinado por la extensión del Ridge de Chile, que separa la placa de Nazca de la placa Antártica, siendo ambas subducidas bajo la placa Sudamericana (Moreno y Gibbons, 2007). De esta manera, en la Figura 5 es posible apreciar la zona de flat-slab y la ausencia de volcanismo. Además, a continuación se describen las características de las tres ZV de Chile.

-Zona Volcánica Central (ZVC) (14° - 27° S) (Stern et al. 2007): los volcanes de la ZVC forman una cadena continua en Chile que va entre el volcán Tacora, situado cercano a la frontera entre Perú y Chile a $17,5^\circ$ S hasta el complejo volcánico Nevado Ojos del Salado en los 27° S (Simkin & Siebert 1994). Los 32 volcanes se caracterizan por presentar altitudes sobre los 5.000 m s. n. m. a excepción del volcán Caichinque (4450m). La actividad volcánica reciente en la ZVC del norte de Chile tiene estratovolcanes, centros monogenéticos e ignimbritas. Los estratovolcanes son los edificios volcánicos más altos (hasta 2000 m sobre su base). Éstos están compuestos principalmente de los flujos de lava andesíticas y pequeñas cantidades de depósitos piroclásticos, mientras que algunos son producto de depósitos de avalancha generados por el colapso del edificio central. (Moreno y Gibbons, 2007).

-Zona Volcánica Sur (ZVS) (33° - 46° S) (Stern et al. 2007): va desde la latitud de Santiago hasta el Golfo de Penas y está compuesta por 53 volcanes activos. La actividad volcánica en Chile entre los 33° S y 46° S (ZVS) ha sido continua y muy activa (una erupción por año en promedio) durante la época post-glaciales (últimos 15.000 años). El frente volcánico del Holoceno, cuyo eje se encuentra a unos 280 km al Este de la Fosa Chile-Perú, tiene un ancho promedio de 40 km, a pesar de que es de casi 80 km de ancho alrededor de la latitud 39° S. La actividad volcánica se expresa con numerosos estratovolcanes compuestos, cúpulas y cientos de centros eruptivos menores consistentes en conos de escoria; se suman flujos de lava y lagos volcánicos. Los lahares, caída de cenizas y flujos de lava han sido los principales riesgos volcánicos dentro de los tiempos históricos, aunque los flujos y oleadas piroclásticas junto con los residuos voluminosos de avalancha también se han producido durante el Pleistoceno tardío y Holoceno (Moreno y Gibbons, 2007).

-Zona Volcánica Austral (ZVA) (49°-55°S): va desde el Golfo de Penas hasta la Tierra del Fuego. Corresponde al segmento volcánico andino austral, situada entre las latitudes 49 °S y 55 °S, con tan sólo seis centros volcánicos y que se caracteriza por tener erupciones de materiales compuestos por andesitas y dacitas, careciendo de basaltos y andesitas basálticas comúnmente visto en las otras zonas volcánicas de Chile. A diferencia de los volcanes de la ZVC y ZVS, los centros volcánicos de la ZVA son el resultado de la subducción de la placa oceánica Antártica por debajo de la Placa de América del Sur, lo que puede ser un indicio del cambio en la composición geoquímica de las lavas de esta zona en comparación al resto de Chile (Moreno y Gibbons, 2007).

En la Figura 5 se pueden observar las diferentes Zonas Volcánicas que han sido identificadas según su tipo de volcanismo y tectonismo, se suma a éstas un perfil esquemático que muestra las características geomorfológicas propias que definen a cada una de estas zonas y la zona del flat-slab que corresponde a la región de ausencia de volcanismo debido a la baja pendiente en la subducción de la placa de Nazca.

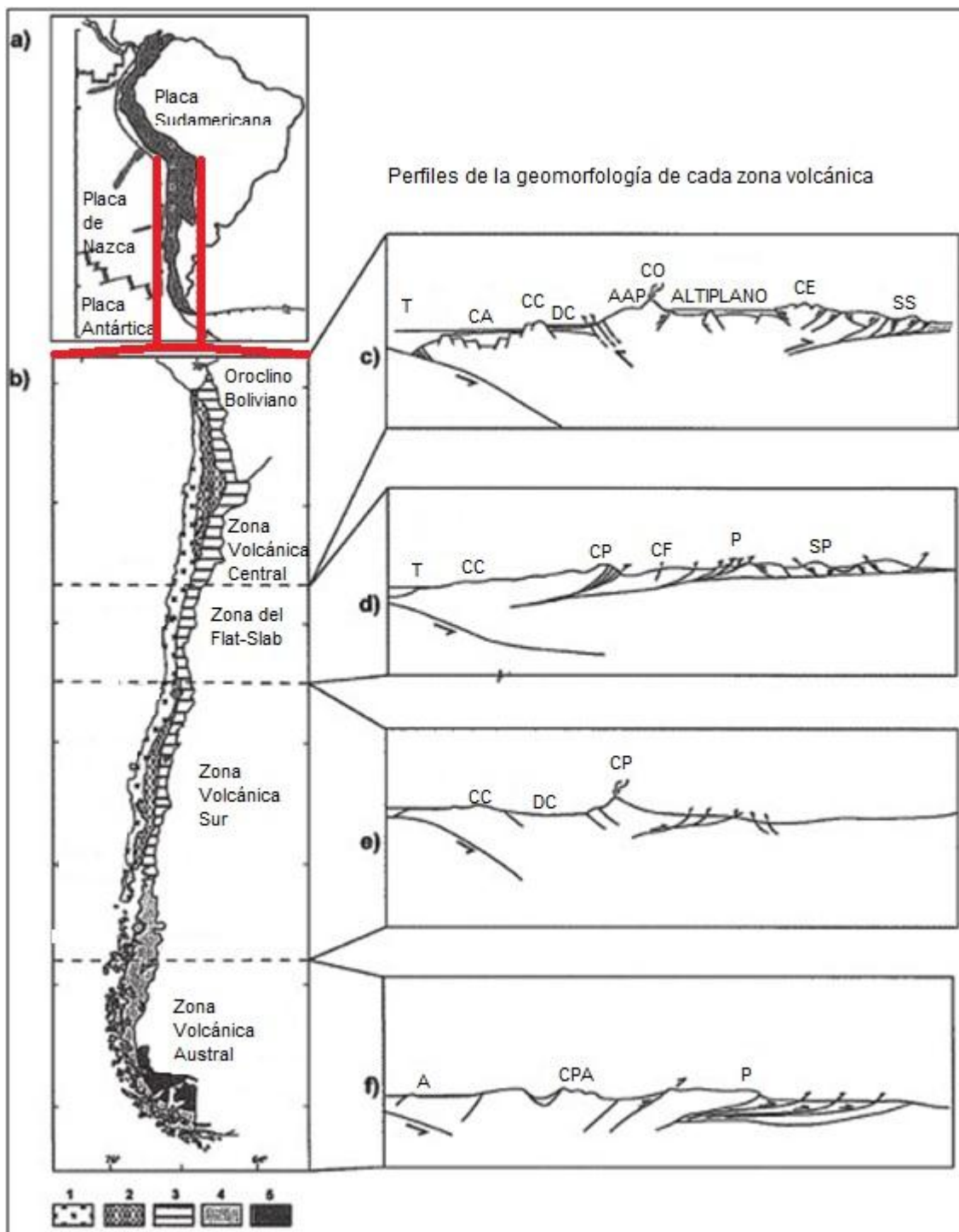


Figura 5: Zonas volcánicas de Chile y perfiles con su geomorfología representativa.
Fuente: Moreno y Gibbons, 2007

Unidades: **A:** Altiplano; **AAP:** Antearco Precordillerano; **CA:** Cuenca de Arica; **CC:** Cordillera de la Costa; **CE:** Cordillera Este; **CF:** Cordillera Frontal; **CO:** Cordillera Oeste; **CP:** Cordillera Principal; **CPA:** Cordillera Patagónica; **DC:** Depresión Central; **P:** Precordillera; **SP:** Sierras Pampeanas; **SS:** Sierras Subandinas; **T:** Trinchera.

TIPOS DE VOLCANES

Considerando que en las dos metodologías analizadas en esta Tesis, el primer factor de peligro corresponde al tipo de volcán, es que se hace necesario realizar una descripción de éstos, la cual se detalla en el ANEXO I. Además, el Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería realiza una clasificación de los volcanes para lograr entender los eventuales peligros que pueden llegar a desencadenar. La Tabla 1 muestra los principales volcanes de Chile que presentan actividad durante el Holoceno y que han sido clasificados en las siguientes categorías:

Tabla 1: Tipos de volcanes activos de Chile

Tipos de Volcanes	Volcanes
56 Estratovolcanes: Edificio volcánico mayor formado por una alternancia de lavas y depósitos piroclásticos, construido por sucesivas erupciones desde un cuerpo de emisión principal o desde dos o más centros de emisión.	Parinacota; Tacora; Irruputuncu; Acamarachi; Chascón (Purico); Chilikues; Colachi; Licancabur; Lullaillaco; Láscar; Ollague; Putana; San Pedro; Socompa; Nevado de Incahuasi; Maipo; Tupungatito; Palomo; Cerro Azul-Quizapu; Cerro del Medio (Calabozos); Descabezado Chico; Descabezado Grande; Planchón – Peteroa; San Pedro-Pellado; Nevado de Longaví; Antuco Callaqui; Copahue; Llaima; Lonquimay; Sollipulli; Tolhuaca; Villarrica; Lanin; Quetrupillán; Apagado o Hualaihué; Calbuco; Cayutué; Chaitén; Corcovado; Hornopirén; Huequi; Michinmahuida; Osorno; Yanteles; Yate; Cay; Macá; Melimoyu; Mentolat; Aguilera; Fuegoino o Cook; Hudson; Lautaro; Monte Burney; Reclus
17 Complejos Volcánicos: Conjunto de centros de emisión, con sus respectivos cráteres, domos, lavas y depósitos piroclásticos, que están espacial, temporal y genéticamente relacionados entre sí.	Guallatiri; Taapaca; Isluga; Apacheta-Aguilucho; Aucanquilcha; Caichinque; Cordón del Azufre; Lastarria; Olca-Paruma; Cerro Bayo; Nevado Tres Cruces; Ojos del Salado; Sierra Nevada; Isla de Pascua; Nevados de Chillán; Mocho-Choshuenco; Puyehue-Cordón Caulle
13 Grupos: se caracterizan por presentar una serie de conos y estructuras asociadas a la misma fuente eruptiva.	San José; Tinguiririca; Laguna del Maule; Caburgua-Huelemolles; Fui; Alto Palena; Antillanca; Carran-Los Venados; Palvitad; Puntiafudo-Cordón Cenizas; Ralún; Grupo Puyuhuapi; Grupo Pali-Aike
3 Cordones Volcánicos: se identifican por presentar una asociación de dos o más volcanes de grandes dimensiones, por lo cual es posible encontrar cordones con más de una cumbre de gran importancia.	Escalante-Sairecabur; Pular-Pajonales; Puntas Negras
1 Maar: se caracterizan por ser de un bajo-relieve, con un amplio cráter volcánico formado por erupciones explosivas de poca profundidad.	Alítar

Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2011.

CAPITULO 3.- METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR RIESGO VOLCÁNICO

En este capítulo se realiza la descripción en detalle de los factores considerados por cada una de las dos metodologías utilizadas para determinar el peligro, vulnerabilidad y riesgo volcánico.

3.1.-Metodología de “Volcano hazard and exposure in GFDRR (*Global Facility for Disaster Reduction and Recovery*) priority countries and risk mitigation Measures” (Metodología Universidad de Bristol, MUB)

A continuación se detallan los factores que se consideran para evaluar y determinar áreas de riesgo volcánico en base a esta metodología.

3.1.1.-Factores para evaluar el peligro e incerteza

Para evaluar el peligro la metodología ha considerado los siguientes 8 factores: el tipo de volcán; presencia de hielo/nieve o lago en el cráter; peligro de flujos piroclásticos; peligro de lahar; peligro de flujo de lava; número de subcaracterísticas (conos u otros); máximo valor del índice de explosividad y frecuencia de erupciones. Además, se ha determinado la incerteza de cada uno de los valores de los factores de peligro, la que está definida como la natural variación y/o incompleto conocimiento (ya sea por falta de entendimiento o falta de información). En el contexto de los peligros, la incerteza puede ser atribuida a (i) incerteza aleatoria: que es inherente a la variabilidad de los procesos naturales y la (ii) incerteza epistémica: correspondiente al incompleto conocimiento de procesos o de los parámetros de cada uno de los factores de peligro evaluados.



De esta manera, los creadores de esta metodología, han definido los siguientes valores de peligro e incerteza para cada factor, según la Tabla 2, los cuales se suman y con ello se obtiene el valor total de peligro para cada volcán:

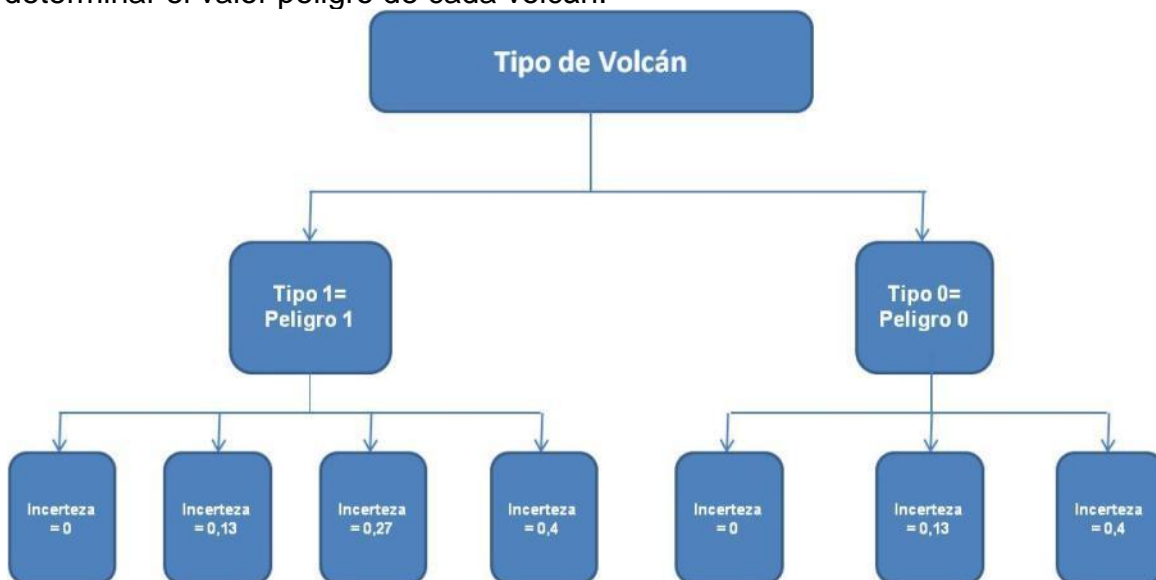
Tabla 2: Valores de rangos de peligro e incerteza
 Fuente: *Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure (2011)*.

Factor de Peligro	Valores de Peligro	Valores de Incerteza
Tipo de Volcán	0; 1	0; 0,13; 0,27; 0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0; 1	N/A
Flujo Piroclástico	0; 1; 2	0; 0,23; 0,47; 0,7
Peligro de Lahar	0; 1; 2	0; 0,23; 0,47; 0,7
Flujo de lava	0; 0,2	0; 0,13; 0,27; 0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1 para las primeras 15, 0,05 para cada adicional	N/A
Máximo IEV	1; 2; 3; 4	0; 0,13; 0,27; 0,4
Frecuencia de la Erupción	1; 2; 3; 4	0; 0,15; 0,45
SUMATORIA TOTAL DE PELIGRO	2 a 14,55	0 a 3,05

A continuación se describen las condiciones que debe cumplir cada factor para determinar su valor de peligro e incerteza:

Tipo de Volcán

Dependiendo de las características del volcán, es posible asignarle un valor de peligro. Además, dependiendo del valor de peligro, también se le asigna un valor de incerteza que corresponde a la confiabilidad de la fuente de información utilizada para determinar el valor peligro de cada volcán.



En este caso se le asigna un valor de peligro 1: cuando se tiene en cuenta a los volcanes más explosivos, denominados como "Tipo 1", estos son: caldera, complejo volcánico, volcán compuesto, cráter explosivo, cono de lava, domo de lava, maar, escudo piroclástico, estratovolcán.

Y su valor de incerteza para un volcán Tipo 1, corresponde según:

Incerteza 0: El volcán es definitivamente Tipo 1; o bien se hace mención de la actividad propia de un volcán Tipo 1 de características explosivas, según el texto resumen. Se indica como "texto resumen" a algunas de las fuentes bibliográficas que

han sido recopiladas por la página de internet del *Smithsonian Institution, Natural Museum of Natural History, Global Volcanism Program* <http://www.volcano.si.edu/>, en esta Tesis corresponden principalmente a los estudios realizados por el SERNAGEOMIN sobre cada volcán en cuestión.

Incerteza 0,13: El tipo de volcán está descrito como Tipo 1, pero con ciertas dudas sobre su actividad volcánica y geoquímica, a menos que la actividad volcánica sea fumarólica, en cuyo caso su incerteza es de 0,27.

Incerteza 0,27: El volcán es del holoceno y está descrito como Tipo 1, pero la actividad del volcán es fumarólica.

Incerteza 0,4: No hay mención de un volcán con características de Tipo 1 y sólo se menciona los flujos de lava en el texto resumen.

Los Tipos de edificios volcánicos más efusivos, son denominados "Tipo 0", estos corresponden a: los conos de ceniza, fisuras, campo de fumarolas, campo hidrotermal, conos de piedra pómez, conos piroclásticos, conos de escoria, escudos volcánicos, volcán submarino, conos de toba y campo volcánico.

En caso de ser un volcán Tipo 0, sus valores de incerteza corresponden según se señala a continuación:

Incerteza 0: El tipo de volcán es del holoceno y de Tipo 0; además no existe ninguna mención de actividad explosiva, de características Tipo 1 o de composiciones félsicas en algún texto o cita que mencionen al volcán.

Incerteza 0,13: El tipo de volcán del holoceno está escrito como Tipo 0, pero no hay certeza plena de su clasificación.

Incerteza: 0,4: en el texto resumen del volcán se hace mención de actividad explosiva, características de un volcán Tipo 1 o composiciones no basálticas.

Presencia de un lago en el cráter o de capas de hielo o nieve

Este factor solamente considera la existencia o la no presencia de alguna fuente de agua en el cráter del volcán, que haya sido observada o documentada en cualquier fuente bibliográfica, por lo que no considera la incerteza para este factor.

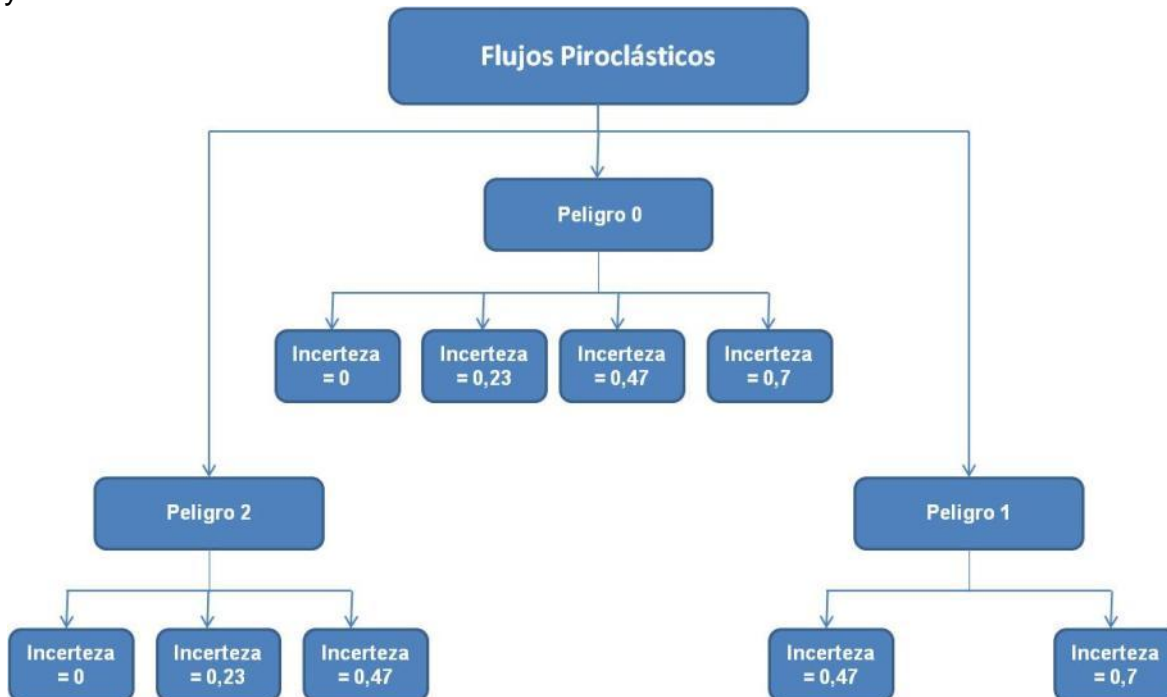


Peligro 0: Sin presencia de un lago en el cráter o de capas de hielo o nieve, ni tampoco mencionados en algún texto ni vistos en alguna imagen del volcán.

Peligro 1: Con presencia de un lago en el cráter o de capas de hielo o nieve, o bien pueden ser mencionados en algún texto o visto en alguna imagen del volcán.

Flujos piroclásticos

El peligro de flujos piroclásticos está asociado a la presencia de éstos en los registros históricos de la actividad eruptiva de cada volcán. Mientras que el nivel de incerteza del peligro se estima en cuanto a la cantidad de flujos piroclásticos registrados y la confiabilidad de la información.



De esta manera en la Tabla 3, se describen las condiciones que se deben generar para que el factor de peligro "flujos piroclásticos" obtenga un determinado valor de peligro e incerteza.

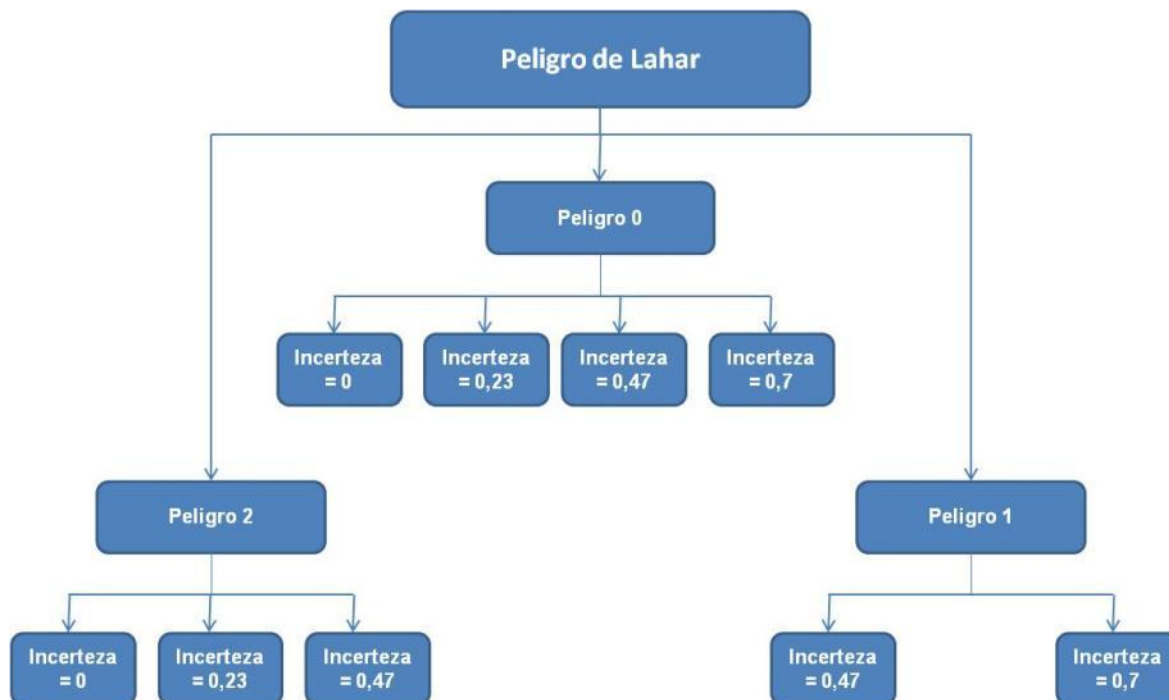
Tabla 3: Valores de rangos de peligro e incerteza para los flujos piroclásticos

<div style="text-align: center;">Peligro</div> <div style="text-align: center;">Incerteza</div>	<div style="text-align: center;">Nivel de Peligro 0</div>	<div style="text-align: center;">Nivel de Peligro 1</div>	<div style="text-align: center;">Nivel de Peligro 2</div>
Nivel de Incerteza 0	El volcán debe ser de Tipo 1, con más de tres erupciones certeras en su historia, sin flujos piroclásticos; o bien es un volcán submarino; o bien es un volcán de Tipo 0 de composición basáltica; o el estado del volcán es con fumarolas hidrotermales.		Cuando los flujos piroclásticos que se enumeran en la historia eruptiva* del volcán han sido registrados por alguna institución de confianza (Ejemplo: SERNAGEOMIN). *(La historia eruptiva corresponde a la recopilación de la información de todas las erupciones que ha tenido un volcán, las que se encuentran descritas completamente en la página de internet del <i>Smithsonian Institution</i> http://www.volcano.si.edu/)
Nivel de Incerteza 0,23	Debe ser un volcán de Tipo 1 con una o dos erupciones certeras sin flujos piroclásticos mencionados en su historia eruptiva.		Cuando los flujos piroclásticos se mencionan en la historia eruptiva, pero existen dudas sobre su información.
Nivel de Incerteza 0,47	Cuando es un volcán de Tipo 0, sin historia eruptiva y sin flujos de lava mencionados en su bibliografía; o bien cuando el volcán es de Tipo 0 y no posee ninguna información sobre su composición geoquímica.	Debe ser un volcán de Tipo 1, pero no posee flujos piroclásticos que figuren en la historia eruptiva o mencionada en la bibliografía del volcán, pero tiene erupciones explosivas que se mencionan en su historia eruptiva.	Cuando los flujos piroclásticos no aparecen enumerados claramente en la historia eruptiva del volcán, pero se mencionan en el texto resumen de su descripción.
Nivel de Incerteza 0,7	Se debe cumplir que el volcán sea de Tipo 0 y de composiciones no basálticas.	Se debe cumplir que el volcán sea de Tipo 1, pero sin historia eruptiva o una historia eruptiva sólo de erupciones inciertas.	

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información del "Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure (2011)".

Peligro de lahar

El nivel de peligro de lahar va a estar condicionado por la veracidad de la información histórica registrada en la bibliografía y por la cantidad de lahares, tipo de volcán, cantidad de erupciones y presencia de agua en el cráter. Mientras que su nivel de incerteza se va a determinar, según las condiciones que se detallan a continuación.



De esta manera en la Tabla 4, se describen las condiciones que se deben generar para que el factor de peligro “lahar” obtenga un determinado valor de peligro e incerteza

Tabla 4: Valores de rangos de peligro e incerteza para peligro de Lahar

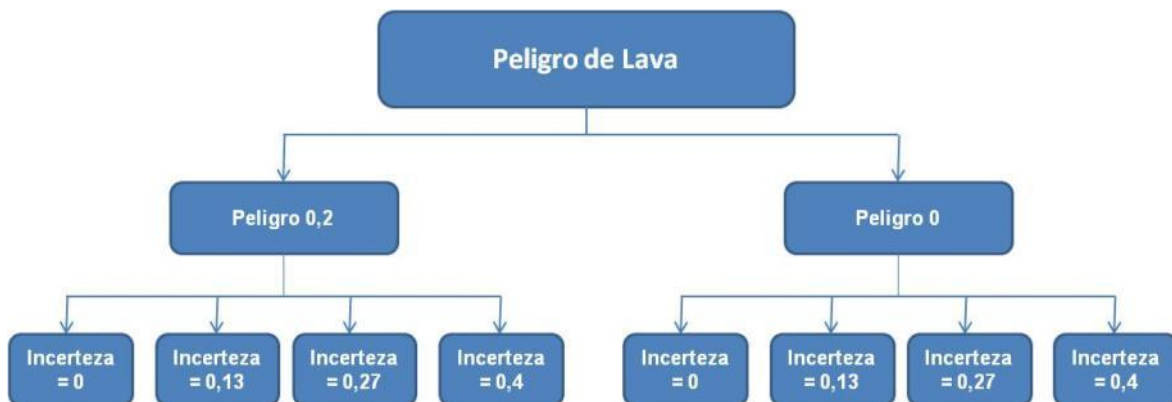
Peligro Incerteza	Nivel de Peligro 0	Nivel de Peligro 1	Nivel de Peligro 2
Nivel de Incerteza 0	Se debe cumplir que el volcán sea de Tipo 1, con tres o más erupciones certeras en la historia eruptiva y sin lahares mencionados.		Se debe considerar que los lahares se enumeran claramente en la historia eruptiva del volcán.
Nivel de Incerteza 0,23	Se considera cuando el volcán es Tipo 1, con una o dos erupciones certeras en su historia eruptiva y sin lahares enumerados en su bibliografía.		Cuando los lahares se mencionan en la historia eruptiva, pero con un cierto grado de incerteza.
Nivel de Incerteza 0,47	El volcán debe ser de Tipo 0 con erupciones inciertas.	Cuando los flujos piroclásticos, que figuran con certeza, se han producido en los últimos cincuenta años (1960 en adelante) o el volcán tiene un lago en el cráter o capas de hielo o nieve.	Cuando los lahares no aparecen en la historia eruptiva de alguna institución oficial, pero se mencionan en algún texto de manera informal.

Peligro Incerteza	Nivel de Peligro 0	Nivel de Peligro 1	Nivel de Peligro 2
Nivel de Incerteza 0,7	Cuando el volcán posee un nivel final de peligro 1 e incerteza 0,47, o incerteza 0,7 en el peligro de flujos piroclásticos.	Cuando los flujos piroclásticos figuran con incerteza en la bibliografía y se han producido en los últimos cincuenta años (1960 en adelante).	

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información del “*Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure (2011)*”.

Peligro de lava

Considerando el bajo nivel de peligro que tienen los flujos de lava, es que sus valores son de 0,2 y 0, el cual va a depender del nivel de incerteza de la información bibliográfica.



De esta manera en la Tabla 5, se describen las condiciones que se deben generar para que el factor de peligro “flujos de lava” obtenga un determinado valor de peligro e incerteza.

Tabla 5: Valores de rangos de peligro e incerteza para flujos de lava

Peligro Incerteza	Nivel de Peligro 0,2	Nivel de Peligro 0
Nivel de Incerteza 0	Cuando los flujos de lava se enumeran en la historia eruptiva.	Cuando el volcán es Tipo 0, con tres erupciones certeras en la historia eruptiva y sin mención a flujos de lava; o bien, el volcán es de fumarolas hidrotermales.
Nivel de Incerteza 0,13	Cuando los flujos de lava se enumeran en la historia eruptiva, pero no son descritos de manera clara.	Se considera cuando el volcán es de Tipo 0, con una o dos erupciones certeras en la historia eruptiva y sin mención a flujos de lava.
Nivel de Incerteza 0,27	Cuando los flujos de lava no se enumeran en la historia eruptiva, pero se mencionan en algún texto resumen.	Cuando el volcán es de Tipo 1, sin flujos de lava en la historia eruptiva o el volcán es de Tipo 1 sin historia eruptiva.
Nivel de Incerteza 0,4	Cuando los flujos de lava no se enumeran en la historia eruptiva y no se mencionan en el texto resumen pero se infieren a partir del Tipo de volcán y su composición geoquímica (por ejemplo: campo volcánico basáltico).	Cuando un volcán es de Tipo 0, sin historia eruptiva y ninguna mención de los flujos de lava en el texto del resumen.

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información del "Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure (2011)".

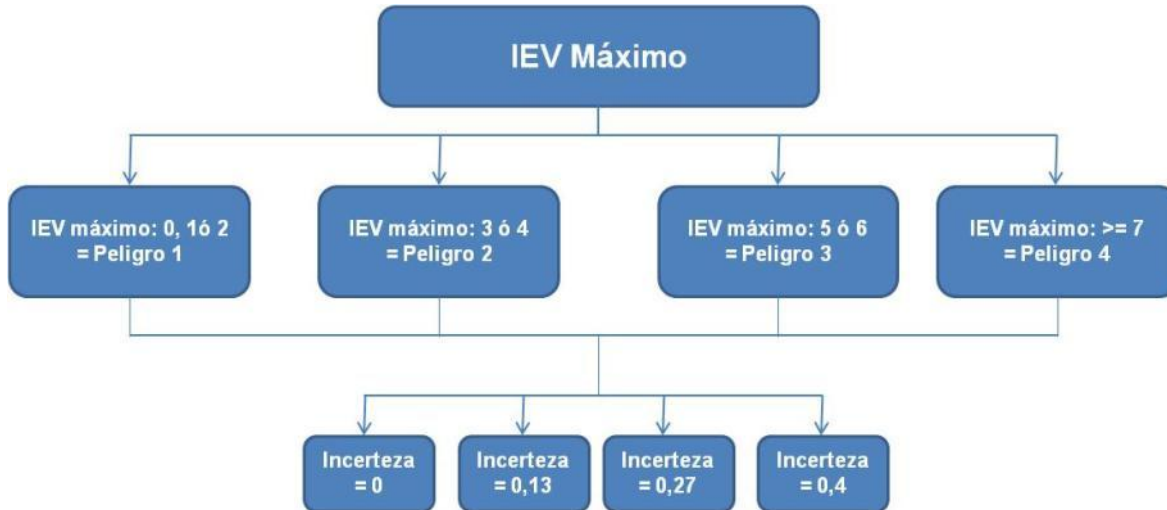
Cantidad de subcaracterísticas

Las subcaracterísticas corresponden a aquellas estructuras volcánicas que se han ido formando con el transcurso de las erupciones. Para este ítem se consideran como subcaracterísticas a: los conos, fisuras, cráteres, nombres secundarios, cerros entre otros, que se hayan generado dentro o en los alrededores del edificio volcánico principal. Un ejemplo es el caso del Complejo Volcánico Lonquimay y sus diferentes cráteres y fisuras que se han generado a lo largo de su historia eruptiva.

El valor de peligro es de 0,1 para las quince primeras subcaracterísticas enumeradas y luego se le suma un valor de peligro de 0,05 por cada subcaracterísticas adicional. Éstas aparecen mencionadas en la página web <http://volcano.si.edu/> (correspondiente a la *Smithsonian Institution* (SI)), en la que aparece el detalle para cada uno de los volcanes activos de Chile.

IEV máximo

El nivel de peligro que alcanza un volcán según su Índice de Explosividad Volcánica, va a depender del máximo valor que posea cada volcán. En donde, mientras mayor sea el índice de explosividad mayor es el valor de peligro del volcán, según se detalla a continuación:



Se cataloga con un valor de peligro 1 cuando el máximo IEV histórico del volcán es de 0, 1 ó 2.

Con un valor de peligro 2 cuando el máximo IEV histórico del volcán es de 3 ó 4.

Con un valor de peligro 3 cuando el máximo IEV histórico del volcán es de 5 ó 6.

Se estima un valor de peligro 4 cuando el volcán presenta un máximo IEV histórico de valor mayor o igual a 7.

Respecto a los niveles de incerteza, se considera según la confiabilidad de la información, obteniendo diferentes valores según las condiciones que se describen a continuación:

Un nivel de Incerteza 0 corresponde cuando el máximo IEV del volcán se toma de una erupción certera de su historia eruptiva, sin ninguna duda sobre el valor de su IEV

Un valor de incerteza de 0,13 corresponde cuando el máximo IEV del volcán se toma de una erupción certera de la historia eruptiva, pero con incertidumbre sobre su IEV máximo, según la base de datos del *Smithsonian Institution* (SI) de su página web <http://volcano.si.edu/> en donde recopila la información existente de cada volcán.

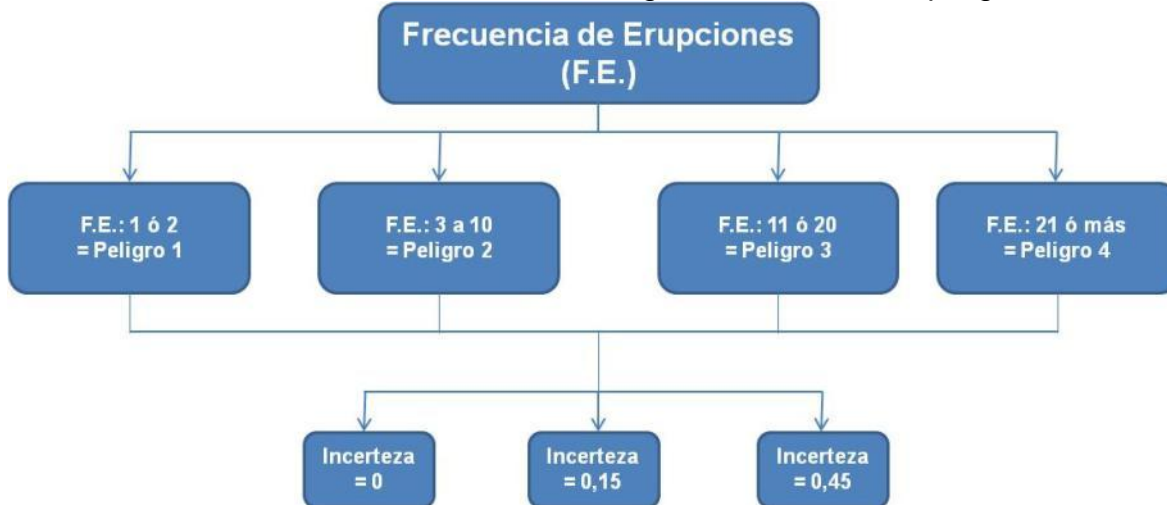
Se considera un nivel de Incerteza de 0,27 cuando el máximo IEV del volcán se ha tomado de una erupción incierta de su historia eruptiva y con o sin incertidumbre sobre el valor de su IEV máximo.

Y un nivel de Incerteza de 0,4 corresponde cuando el volcán tiene una historia eruptiva pero sin valores de IEV, por lo que el máximo IEV se estima a partir de la información disponible o el volcán no tiene historia eruptiva por lo que el máximo IEV se estima a partir de la información disponible.

Frecuencia de erupción

Corresponde a la cantidad de erupciones que ha tenido el volcán durante los últimos 10.000 años. Y donde una mayor cantidad de erupciones corresponde a un mayor valor de peligro para este factor.

Para este análisis se consideran los siguientes valores de peligro:



Para una puntuación de peligro 1, el volcán debe tener 1 o 2 erupciones del Holoceno que figuren en su historia eruptiva.

Para una puntuación de peligro 2 el volcán tiene entre 3 a 10 erupciones del Holoceno que figuran en su historia eruptiva. O el volcán es un campo volcánico y no tiene historia eruptiva y no hay información relativa al número de erupciones; o el volcán no tiene historia eruptiva y no hay información relativa al número de erupciones, pero el texto se refiere a un "grupo" o "serie volcánica".

Para una puntuación de peligro 3, el volcán tiene de 11 a 20 erupciones del holoceno que figuran en su historia eruptiva.

En tanto que se considera una puntuación de peligro 4 cuando el volcán tiene 21 o más erupciones del holoceno que figuran en su historia eruptiva.

Para el nivel de incerteza de las frecuencias de erupciones, se consideran las siguientes categorías:

Se considera un nivel de Incerteza 0 cuando el número de erupciones enumeradas como inciertas en la historia eruptiva es menos de la mitad del número de erupciones totales.

Se considera un nivel de Incerteza de 0,15 cuando el número de erupciones enumeradas como incierta en la historia eruptiva es mayor o igual a la mitad del número de erupciones totales.

Se considera un nivel de Incerteza 0,45 cuando el volcán no tiene historia eruptiva, por lo que el número de erupciones se estima a partir de la información disponible.

Para cada volcán se realiza la evaluación de cada uno de los factores descritos. A partir del resultado de la suma de los distintos elementos considerados y del valor de

peligro asignado a cada uno en esta metodología se distinguen tres niveles de peligro y tres niveles de incerteza, dependiendo de la sumatoria que alcance cada uno de los volcanes (Tablas 6 y 7).

En la Tabla 6, se observa que un nivel 1 corresponde a un peligro bajo, por el contrario un nivel 3 corresponde a un nivel de peligro alto.

Tabla 6: Niveles de peligro según la evaluación

Suma de Peligro	Nivel de Peligro	Clasificación
0-5	1	Bajo
5-9	2	Medio
9+	3	Alto

En tanto, la Tabla 7 indica que un nivel 1 de incerteza es bajo, en contraste a un nivel 3 que corresponde a una incerteza Alta.

Tabla 7: Niveles de incerteza según la evaluación

Suma de Incerteza	Nivel de Incerteza	Clasificación
0-1	1	Baja
1-2	2	Media
2-3	3	Alta

3.1.2.-Índice de exposición de la población

Para estimar el índice de exposición de la población la metodología de la Universidad de Bristol utiliza la herramienta *LandScan 2009 Database*, la que realiza una estimación de la población a nivel mundial mediante la luminosidad de la Tierra, con lo cual calcula un promedio de la probable cantidad de población que existe en cada zona habitada en base a diferentes imágenes tomadas a lo largo de un año. Por otra parte, considera dos áreas de influencia del peligro volcánico para la población, un área proximal de 10 km circundante al centro eruptivo y un área distal de 30 km. Para cada una de estas áreas se estima la cantidad de población existente y dicho valor se multiplica por dos coeficientes que se han obtenido bajo dos parámetros. El primer coeficiente se ha calculado en base a la cantidad de fallecidos que han provocado las erupciones de los volcanes del Holoceno, según la información disponible del *Smithsonian Institution* (SI). Se ha establecido que en los países considerados en la MUB dentro de los 10 km ha habido un promedio de 25 eventos fatales y para la zona entre los 10 y los 30 km un promedio de 15 fatalidades, dando en total un promedio de 40 fallecidos dentro de los 30 km de influencia. Con lo cual se obtiene proporcionalmente un coeficiente de 0,625 que representan a los 25 eventos fatales ocurridos en promedio dentro de los 10 km y un coeficiente de 0,375 para el área entre los 10 y 30 km el que representa el numero de eventos fatales de esta área de influencia.

Además, se considera un segundo coeficiente que tiene relación con el área de cada radio de influencia, ya que el área del círculo de 30 km es nueve veces mayor al área del círculo de 10 km. Por esto se ha establecido que los 10 primeros kilómetros

tengan un coeficiente de 0,9 y el área que va desde los 10 a los 30 km un coeficiente de 0,1.

De esta manera al combinar ambos coeficiente se obtienen los valores finales de 0,9375 y 0,0625, siendo el primero 15 veces mayor que el segundo. Estos coeficientes finales se multiplican por la cantidad de población, (obtenida desde el LandScan) que habita en los radios de influencia de 0 a 10 km y de 10 a 30 km respectivamente. Una vez obtenida la población ponderada de cada área de influencia, se suman ambos números y con esto se obtiene la cantidad de población ponderada total, que habita dentro de los 30 km de influencia.

Una vez calculada la población ponderada, con estos coeficientes finales, se determinan los tres niveles de exposición detallados en las Tablas 8 y 9:

La Tabla 8 detalla el índice de exposición el cual depende del coeficiente de población que se ha obtenido de la suma de la población ponderada que habita en las áreas de influencia proximal y distal.

Tabla 8: Índices de exposición de población según la evaluación

Coeficiente de Población	Índice de Exposición de Población
0	0
< 3000	0,5
3000-9999	1
10000-29999	1,5
30000-99999	2
100000-300000	2,5
>300000	3

En tanto en la Tabla 9 se hace mención a los niveles de exposición a partir del índice de población, el cual posee un valor 1 para un nivel bajo de vulnerabilidad, en contraste, con un valor 3 que representa un nivel de vulnerabilidad alto.

Tabla 9: Nivel del índice de exposición de población según la evaluación

Índice de Exposición de Población	Nivel del Índice de Exposición de la Población	Nivel de Vulnerabilidad
0; 0,5	1	Bajo
1; 1,5	2	Medio
2; 2,5; 3	3	Alto

3.1.3.-Riesgo volcánico

El riesgo volcánico ha sido calculado en base a lo que propone la MUB a partir de la combinación de los niveles de peligro de la Tabla 6, con los valores de la Tabla 8, del índice de exposición de población, con los que se genera una matriz que permite obtener el nivel de riesgo volcánico. De esta manera se determina el riesgo en base a la Tabla 10:

Tabla 10: Nivel de riesgo volcánico

Índice de Exposición de Población	Nivel de Peligro Volcánico		
	1	2	3
0, 0.5	1	1	1
1	1	2	2
1.5	1	2	3
2	2	2	3
2.5,3	2	3	3

Niveles de Riesgo: 1=Bajo; 2=Medio; 3=Alto

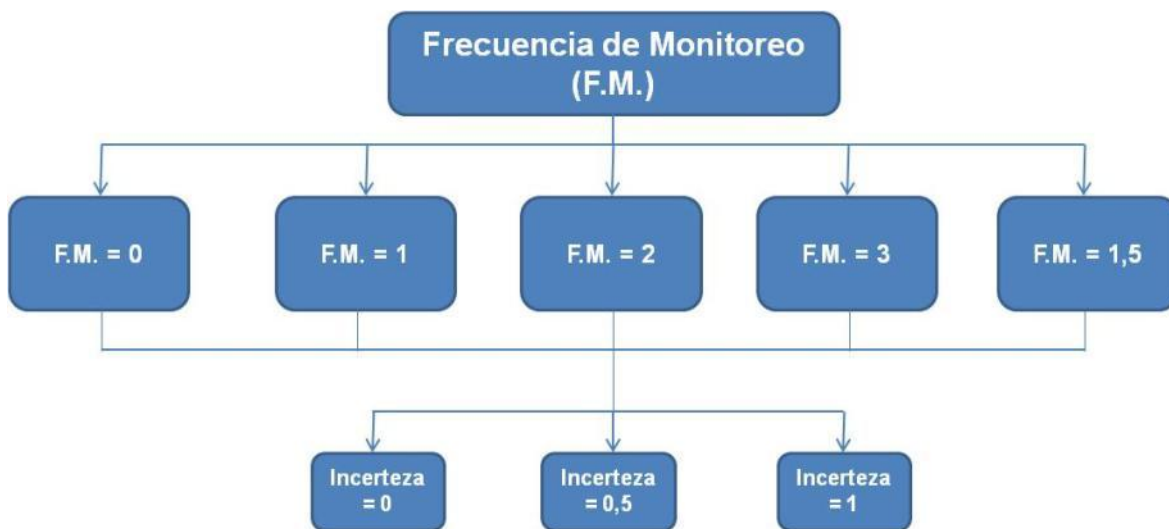
Sin embargo, esta tabla no considera los niveles de incerteza, ya que según los autores de la MUB, la incerteza es solamente para cuantificar la calidad de la información utilizada para determinar el nivel de riesgo de cada volcán.

3.1.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico

Según describe la metodología de la Universidad de Bristol, la capacidad de reacción corresponde a la preparación que posee un país para responder a alguna emergencia volcánica. Esta capacidad está condicionada por dos factores, el primero consiste en la frecuencia del monitoreo de los volcanes. El segundo es la existencia y proximidad de una red sísmica a los volcanes. Ambos factores al sumarse obtienen el nivel de monitoreo ante eventos de peligro y junto a ello se estima los valores incerteza, que se detallan a continuación:

Frecuencia de monitoreo

La frecuencia del monitoreo volcánico posee 5 niveles, dependiendo de las características que a continuación se describen.



El monitoreo adquiere una puntuación 0 cuando el volcán no se controla

Una puntuación 1 corresponde cuando el volcán es monitoreado anualmente, o con menos frecuencia.

Para un valor 2 corresponde cuando el volcán es monitoreado semanalmente o mensualmente.

Una puntuación 3 es para cuando el volcán es monitoreado continuamente.

Mientras que se asigna una puntuación 1,5 cuando no hay datos relativos a la frecuencia de monitoreo en el volcán emitida por alguna institución oficial.

En cuanto a los valores de incerteza, estos se utilizan dependiendo de la institución que realiza el monitoreo del volcán. De esta manera se detallan los valores a continuación:

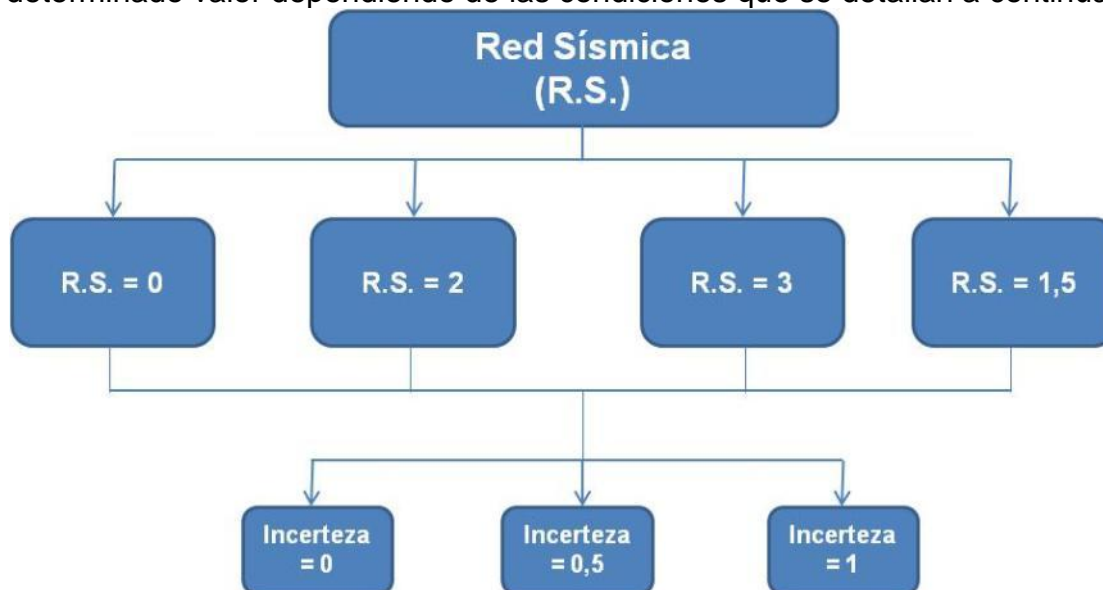
Un valor de incerteza 0, corresponde cuando los datos se toman de una fuente confiable, como un contacto en una institución relevante o un sitio web actualizado recientemente.

Para un valor de Incerteza 0,5 es cuando los datos se toman de una fuente más débil, como un sitio web desactualizado o de una fuente secundaria.

Mientras que se asigna un valor de Incerteza 1 cuando la fuente de la información es desconocida o no se ha confirmado.

Existencia y proximidad a las redes sísmicas

La otra variable utilizada para determinar la capacidad de monitoreo corresponde a la proximidad del volcán a una red de monitoreo sísmico, el cual tendrá un determinado valor dependiendo de las condiciones que se detallan a continuación:



Puntuación 0: El volcán no está cubierto por una red sísmica regional y no tiene sismómetros dentro de 15 km.

Puntuación 2: El volcán está cubierto por una red sísmica regional o temporal situada dentro de 15 km.

Puntuación 3: El volcán está cubierto por una red sísmica permanente especial situado dentro de 15 km

Puntuación 1.5: No hay datos relativos a la existencia o la proximidad de las redes sísmicas en el volcán

Incerteza 0: Los datos se toman de una fuente confiable, como un contacto en una institución relevante o un sitio web actualizado recientemente.

Incerteza 0.5: Los datos se toman de una fuente más débil, como un sitio web desactualizado o de una fuente secundaria.

Incerteza 1: Desconocido, o no se ha confirmado.

A partir de los valores, de frecuencia de monitoreo y proximidad a una red sísmica, se suman ambos factores y se obtienen los diferentes niveles, tal como se muestra en la Tabla 11:

Tabla 11: Nivel de monitoreo

Sumatoria Nivel de monitoreo	Nivel de Monitoreo	Calidad del Monitoreo
0	0	Nulo
1,1.5,2	1	Bajo
2.5,3,3.5	2	Medio
4,4.5,5,6	3	Alto

Además, se realiza la sumatoria de los valores de incerteza de los dos factores de capacidad de monitoreo, obteniéndose los niveles que se describen en la Tabla 12:

Tabla 12: Nivel de incerteza

Promedio de incerteza	Nivel de incerteza
0-0,5	Bajo
0,5-1	Bajo-medio
1-1,5	Medio-alto
1,5-2	Alto

3.1.5.-Análisis frecuencia de magnitud

Para determinar la frecuencia de las erupciones volcánicas que ocurren en Chile dependiendo de su magnitud (IEV), se ha utilizado el valor promedio del periodo de retorno de todas las erupciones del mundo expresadas en años según un determinado IEV y este valor se multiplica por el número que se obtiene de la división entre la cantidad de volcanes explosivos de Sudamérica dividido por la cantidad de volcanes explosivos existentes en todo el Mundo (Delinge et al, 2010).

$$\text{Frecuencia de Magnitud} = PR * (\text{VES} / \text{VEM})$$

PR= Promedio del Período de retorno a nivel global de las erupciones para una determinada magnitud (IEV), en años (incluidos los volcanes de Chile).

VES= Número de Volcanes Explosivos de Sudamérica (con IEV > 4).

VEM= Número de Volcanes Explosivos del Mundo (con IEV > 4).

Para el caso de Sudamérica, la MUB realizó el estudio para los países de Ecuador y Colombia, por lo que al estar ambas naciones en América del Sur, se pueden utilizar los mismos resultados para el caso de Chile.

De esta manera es que se han obtenido los valores de la frecuencia de una erupción volcánica (en años) según una determinada magnitud, para todos los volcanes explosivos de Sudamérica.

Para el desarrollo de este análisis se utiliza la base de datos correspondiente a las Grandes Magnitudes de Erupciones Volcánicas Explosivas (*Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions*, LaMEVE por sus siglas en inglés), datos obtenidos desde la página web del VOGRIPA <http://www.bgs.ac.uk/> (*Volcano Global Risk Identification & Analysis Project*) y que considera en su análisis solamente las erupciones con un índice de explosividad mayor a 4.

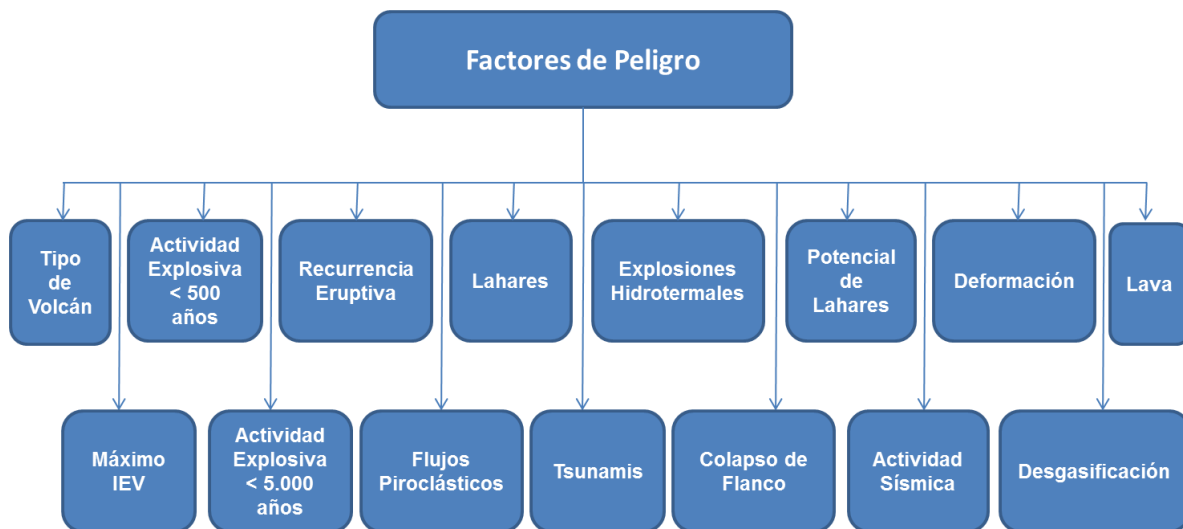
3.1.6.-Determinar áreas de peligro (Análisis en GIS)

Para entregar la información espacial mediante el análisis GIS es necesario realizar diversos buffer (áreas de influencia) dependiendo del peligro asociado. Para el caso de los flujos piroclásticos se realizan buffer circundantes al volcán de 3 y 30 kilómetros considerado como el área proximal, en tanto para el peligro de lahar se realizan buffer de 10 y 100 kilómetros considerado como el área distal, las que han sido determinadas en la metodología de la Universidad de Bristol en base a la distancia de alcance. De este modo, el área de influencia de menor tamaño se considera como el “área potencial de peligro” la cual se delimita por las cuencas hidrográficas, que están total o parcialmente dentro del buffer interno y que se obtienen con las imágenes satelitales SRTM y el software ArcGis 10 mediante la herramienta “*Hidrology*”, en tanto que los buffer distales son considerados como zonas de seguridad ya que poseen una menor probabilidad de sufrir peligros por algún evento eruptivo.

En el “Capítulo 5 de Resultados” se han utilizado los casos de estudio del volcán Taapaca y Villarrica para generar los mapas que van desde la Figura 6 hasta la Figura 23 entre los que destacan: el de las áreas de influencias, las cuencas hidrográficas, el de infraestructura susceptible de sufrir con las erupciones, las ciudades o poblados vulnerables y la población expuesta, que se encuentren dentro de los buffer ya sea de los flujos piroclásticos o de lahar.

3.2.- Metodología NVEWS-SERNAGEOMIN

Se describen los factores de peligro y vulnerabilidad con sus respectivos valores. Dentro de los factores de peligro a evaluar se encuentra el tipo de volcán; máximo índice de explosividad máxima; actividad volcánica explosiva ocurrida hace menos de 500 años; actividad explosiva menor a 5.000 años; recurrencia eruptiva; ocurrencia de flujos piroclásticos en el holoceno; ocurrencia de flujos de lava en el holoceno; ocurrencia de lahares en el holoceno; ocurrencia de tsunamis en el holoceno; potencial de explosiones hidrotermales; potencial de colapso de flanco; potencial de generación de lahares; actividad sísmica; deformación y desgasificación. Mientras que los factores de vulnerabilidad utilizados para la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN son la población en zona de alto peligro; población en zona distal; víctimas fatales; evacuaciones; exposición de la aviación local; exposición de la aviación regional; infraestructura energética; infraestructura de transportes; áreas de desarrollo o protección; islas volcánicas. Cada uno de estos factores posee un valor que representa su peligrosidad o exposición, según corresponda y que se detalla a continuación.



3.2.1.-Factores de peligro

Tipo de Volcán

Dependiendo del Tipo de volcán, el nivel de peligro adquiere un valor cero o uno, según se describe como sigue.



Si el volcán es un cono de piroclastos, un pequeño volcán de escudo o un centro fisural (Tipo 1) se le asigna un valor de peligro 0 (cero).

Mientras que si el volcán es un estratocono, domo, complejo volcánico, mar o caldera (Tipo 2) su valor de peligro adquiere un valor 1 (uno).

Máximo Índice de Explosividad Volcánica (IEV)

Respecto al IEV, sus valores de peligro dependen de la intensidad con la que se categorizan las erupciones, de esta manera.



Si una erupción posee un IEV máximo conocido menor o igual a 2 su valor de peligro es 0 (cero).

Para el caso que el máximo IEV conocido sea de 3 ó 4 su valor de peligro es 1 (uno).

En tanto si el máximo IEV conocido es 5 ó 6 su valor de peligro alcanza un valor de 2 (dos).

Mientras que si el máximo IEV conocido es mayor o igual a 7 su valor de peligro es de 3 (tres).

Para el caso en que ningún valor máximo de IEV es consignado por *Global Volcanism Program* o el volcán es Tipo 1 el valor de peligro asignado es 0 (cero).

O bien, si ningún valor máximo de IEV es consignado por *Global Volcanism Program* o el volcán es Tipo 2 su nivel de peligro es 1 (uno).

Y si el volcán no tiene erupciones conocidas en el Holoceno y no es una caldera, se le asigna un valor 0 al peligro (cero).

Actividad explosiva <500 años



Consiste en integrar todos los registros de actividad volcánicas ocurridos en los últimos 500 años, para lo cual si existe evidencia de actividad explosiva con un IEV igual o mayor a 3 su valor de peligro es de 1 (uno).

Actividad explosiva < 5.000 años



La actividad eruptiva que se ha registrado en los últimos 5.000 años y con evidencia de actividad explosiva con un IEV igual o mayor a 4 adquiere un valor de peligro de 1 (uno).

Recurrencia Eruptiva

Este factor corresponde a las erupciones que han ocurrido durante cierta cantidad de años.



Para el caso que el intervalo entre erupciones es de 1-99 años su valor de peligro es de 4 (cuatro).

Si el intervalo entre erupciones es de 100 – 1.000 años su valor de peligro corresponde a un valor 3 (tres).

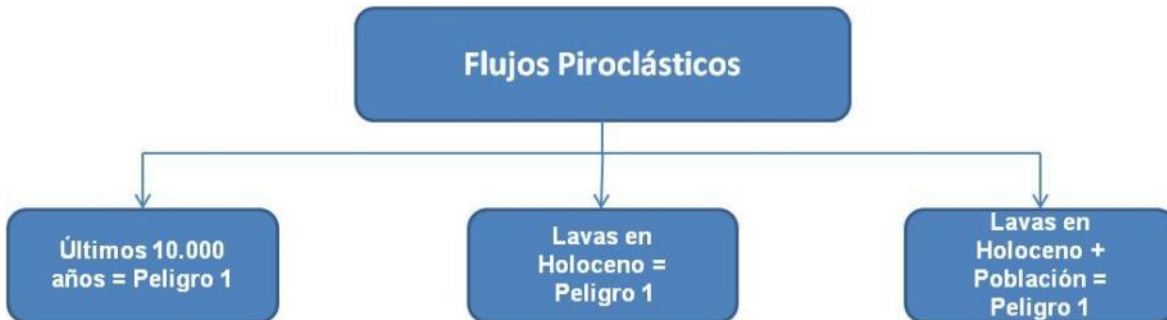
Si el intervalo entre erupciones es 1.000 a varios miles de años su valor de peligro es de 2 (dos).

En tanto, si el intervalo entre erupciones es de 5.000 - 10.000 o no existe evidencia de erupciones holocenas pero es un sistema silíceo activo en los últimos 100.000 años su valor de peligro corresponde a 1 (uno).

Y si no hay evidencia de erupciones holocenas su nivel de peligro es 0 (cero).

Ocurrencia de Flujos piroclásticos en el Holoceno

El peligro de flujos piroclásticos está asociado a la cantidad de eventos ocurridos en cierta cantidad de años.



Por tanto, si han ocurrido flujos piroclásticos en los últimos 10.000 años su nivel de peligro es 1.

Ocurrencia de lavas en el Holoceno



En el caso que las lavas holocenas han escurrido más allá de los flancos del volcán y han afectado áreas pobladas su valor de peligro es de 1.

Ocurrencia de lahares en el Holoceno



En el caso de la existencia de lahares holocenos y que han viajado más allá de los flancos del volcán y afectado áreas pobladas su nivel de peligro corresponde a 1 (uno).

Ocurrencia de tsunamis en el Holoceno



Si algún tsunami ocurrido por alguna erupción volcánica ha sido generado en el Holoceno su puntaje de peligro es 1 (uno).

Potencial de explosiones hidrotermales



Si el volcán ha tenido erupciones freáticas y/o tiene manifestaciones geotermales extendidas, su nivel de peligro es 1 (uno).

Potencial de colapso de flanco



Si el volcán ha colapsado alguna vez en el Cuaternario y ha sido reconstruido o si tiene un relieve empinado, flancos abruptos, su nivel de peligro es 1 (uno).

Potencial de generación de lahares



Si el volcán tiene una fuente permanente de agua/hielo con volumen de agua $>106 \text{ m}^3$ su nivel de peligro es 1 (uno).

Actividad Sísmica



Si se registra actividad sísmica desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva y en un radio de 20 km del edificio volcánico su nivel de peligro es 1 (uno).

Deformación



Si se registra deformación del terreno desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, u otra evidencia de inyección de magma su nivel de peligro es 1 (uno).

Desgasificación



Si se registra actividad fumarólica desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, sea de origen hidrotermal o magmática su nivel de peligro es 1 (uno).

3.2.2.-Factores de exposición (vulnerabilidad)

La metodología NVEWS-SERNAGEOMIN consta de una serie de factores de vulnerabilidad con sus respectivas características que determinan su valor según corresponda a cada volcán:



La información que se utilizó para la estimación de los factores de vulnerabilidad corresponde a datos de instituciones del Estado (SERNAGEOMIN, CONAF, ONEMI, MOP) así como también de la bibliografía existente de publicaciones científicas, congresos, entre otros, que utilizó el SERNAGEOMIN para la realización de esta evaluación de vulnerabilidad.

Población en zona de alto peligro



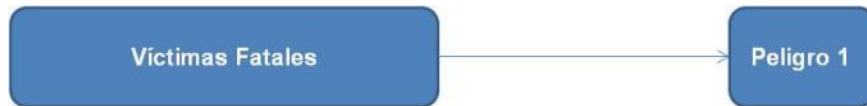
Para determinar el valor de peligro de la población en zonas proximales, se calcula el Log_{10} del número de habitantes situado en un radio de 30 km en torno del volcán, valor que se toma para la sumatoria de vulnerabilidad $[\text{Log}_{10} (n)]$ siendo n la cantidad de población] cantidad que se obtiene del Censo de población del año 2002.

Población en zona distal



Para estimar el valor de peligro de la población en zona distal, se calcula el Log_{10} del número de habitantes más allá del radio de 30 km pero incluida en el área afectada o susceptible de ser afectada por lahares (solo para volcanes con peligro declarado de lavas y lahares) siendo dicho valor sumado al valor total de la vulnerabilidad $[\text{Log}_{10} (n)]$ siendo n la cantidad de población] cantidad que se obtiene del Censo de población del año 2002.

Víctimas fatales



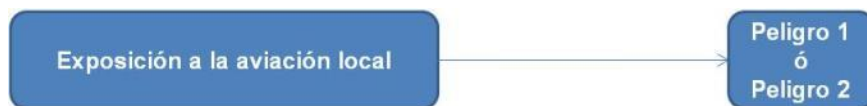
Si hay registro de víctimas fatales en tiempos históricos y aún existe población residente en esas áreas, su valor de exposición es 1 (uno).

Evacuaciones



Si hay registro de evacuaciones en tiempos históricos y aún existe población residente en esas áreas, su valor de vulnerabilidad es 1 (uno).

Exposición de la aviación local



Si existe un Aeropuerto o aeródromo a menos de 50 km del volcán su valor de exposición es 1 (uno).

En el caso que el volcán sea Tipo 1 y existe un Aeropuerto o aeródromo en un radio de 300km, su valor de exposición es 1 (uno).

Y para el caso que el volcán sea Tipo 1 y exista un Aeropuerto Internacional en un radio de 300km, su valor de exposición es 2 (dos).

Exposición de la aviación regional



Para estimar el valor de vulnerabilidad se calcula el Log_{10} del número de pasajeros diarios [$\text{Log}_{10} n_{\text{pasajeros diarios}}$] que llegan a la región desde otras zonas de Chile.

En ausencia de información se asume un valor común nulo de 0 (cero).

Infraestructura energética



Ante la existencia de una instalación energética (planta de generación, línea de transmisión, etc.) en un área de alto peligro o que sea altamente susceptible de ser afectada por la caída de piroclastos su valor de vulnerabilidad es 1 (uno).

Infraestructura de transportes



Si existe alguna obra ingeniería que preste servicios de transporte y conectividad (puerto, carretera, etc.) en un área de alto peligro o que sea altamente susceptible de ser afectada por la caída de piroclastos se le asigna un valor de exposición de 1 (uno).

Áreas de desarrollo o protección



Ante la existencia de alguna zona de desarrollo (industrial, recreacional), instalaciones críticas o áreas protegidas (SNASPE y áreas protegidas privadas) su valor de vulnerabilidad es 1 (uno).

Islas Volcánicas



En el caso que más del 25% de una isla esté cubierta por material volcánico holoceno su valor de vulnerabilidad es 1.

3.2.3.-Riesgo Volcánico

Para determinar el riesgo volcánico con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, se realiza la sumatoria de todos los valores que se han obtenido de cada uno de los factores de peligro; de igual manera se suman los valores de los factores de vulnerabilidad y luego estas dos sumatorias se multiplican, con lo cual se obtiene el valor de riesgo para un determinado volcán. En base a los resultados obtenidos, se realiza la división en 5 intervalos de valores, según se detalla en la Tabla 13.

$$\text{Riesgo} = \sum \text{factores de peligro} * \sum \text{factores de vulnerabilidad}$$

Tabla 13: Niveles y categorías de riesgo

Nivel	Valores de Riesgo	Categoría de Riesgo
5	99 y más	Muy Alto
4	68 - 98,99	Alto
3	46 - 67,99	Medio
2	27 - 45,99	Bajo
1	0 - 26,99	Muy Bajo

De esta manera un volcán que obtenga un valor superior a 99 puntos, tiene una categoría de Riesgo Muy Alto, en cambio un valor menor a 27 implica que el volcán posee un nivel de Riesgo Muy Bajo.

3.2.4.-Determinar áreas de peligro (Análisis en GIS)

Para determinar las áreas de peligro, con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, se han dividido en área proximal y área distal, según su cercanía al o los centros eruptivos, los que se detallan a continuación.

Área proximal: lavas, lahares, avalanchas volcánicas y flujos piroclásticos

El método utilizado por el SERNAGEOMIN para determinar áreas de peligros proximales como lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas, se ha empleado el programa "Cone3" que se ejecuta a través de la herramienta Workstation (ARC/INFO) de ArcGis 10, con la que se obtienen áreas que se clasifican como de alto peligro. Esta aplicación "Cone3" se basa en una relación existente entre la altura de inicio (H) del flujo y el máximo alcance o 'runout' del mismo (L). En un principio, la altura del edificio volcánico es directamente proporcional al cociente H/L, es decir a mayor altura mayor valor H/L y el valor del cociente es inversamente proporcional a la cantidad de material expulsado ya que su valor L será más grande. Para el estudio realizado por el SERNAGEOMIN, en este análisis a gran escala, se escogieron valores

de H/L entre 0,05 y 0,2, siendo los valores más comunes los 0,15 y 0,1 que fueron seleccionados debido a que se ajustaban de mejor manera a la distribución de los depósitos volcánicos holocenos según la información recogida en terreno, en imágenes satelitales, entre otros antecedentes y en algunos casos se ha incorporado una altura adicional a los valores “H” para ajustar los datos del cociente H/L al contexto de cada volcán en base a la información de terreno. Cada uno de los valores se detalla en la Tabla 14 en donde se ha seleccionado un cociente H/L para cada volcán. En cuanto a eventos de gran movilidad de material, a causa de erupciones mayores a $IEV = 5$, se ha establecido que aquellas zonas ubicadas fuera del área de influencia de 40 km de radio, como un área de bajo peligro (Lara et. al, 2011).

Tabla 14: Volcanes con razón H/L.
Fuente: Peligros Volcánicos de Chile (2011).

N°	Volcán	Razón H/L
1	Guallatiri	0,1
2	Parinacota	0,1
3	Taapaca	0,15
4	Tacora	0,15
5	Irruputuncu	0,15
6	Isluga	0,15
7	Acamarachi	0,15
8	Alítar	0,1
9	Apacheta-Aguilucho	0,15
10	Aucanquilcha	0,15
11	Caichinque	0,15
12	Chascón (Purico)	0,15
13	Chiliques	0,15
14	Colachi	0,15
15	Cordón del Azufre	0,15
16	Escalante-Sairecabur	0,15
17	Lastarria	0,1
18	Licancabur	0,15
19	Llullaillaco	0,15
20	Láscar	0,15
21	Olca-Paruma	0,1
22	Ollague	0,15
23	Pular-Pajonales	0,15
24	Puntas Negras	0,1/0,17
25	Putana	0,15
26	San Pedro	0,15
27	Socompa	0,15
28	Cerro Bayo	0,15
29	Nevado de Incahuasi	0,15
30	Nevado Tres Cruces	0,15

N°	Volcán	Razón H/L
31	Ojos del Salado	0,15
32	Sierra Nevada	0,15
33	Isla de Pascua	0,05
34	Maipo	0,15
35	San José	0,15
36	Tupungatito	0,15
37	Palomo	0,17
38	Tinguiririca	0,1
39	Cerro Azul-Quizapu	0,15
40	Cerro del Medio (Calabozos)	0,15
41	Descabezado Chico	0,1/0,15
42	Descabezado Grande	0,15
43	Laguna del Maule	0,05/0,1/0,15
44	Nevado de Longaví	0,17
45	Planchón - Peteroa	0,1
46	San Pedro-Pellado	0,15
47	Antuco	0,15
48	Callaqui	0,1
49	Copahue	0,1
50	Nevados de Chillán	0,1
51	Caburgua-Huelemolles	0,15/0,1
52	Llaima	0,1
53	Lonquimay	0,15
54	Sollipulli	0,1
55	Tolhuaca	0,1
56	Villarrica	0,1
57	Fui	0,1
58	Lanin	0,15
59	Quetrupillán	0,1
60	Alto Palena	0,15
61	Antillanca	0,15
62	Apagado o Hualaihué	0,15
63	Calbuco	0,1
64	Carran-Los Venados	0,1
65	Cayutué	0,15
66	Chaitén	0,1
67	Corcovado	0,1
68	Hornopirén	0,15
69	Huequi	0,15
70	Michinmahuida	0,15
71	Mocho-Choshuenco	0,1

N°	Volcán	Razón H/L
72	Osorno	0,17
73	Palvidad	0,1
74	Puntiagudo-Cordón Cenizos	0,15
75	Puyehue-Cordón Caulle	0,1
76	Ralún	0,15/2
77	Yanteles	0,15
78	Yate	0,15
79	Cay	0,15
80	Grupo Puyuhuapi	0,05/0,1
81	Macá	0,15
82	Melimoyu	0,15
83	Mentolat	0,1
84	Aguilera	0,2
85	Fueguino o Cook	0,05/0,1
86	Grupo Pali-Aike
87	Hudson	0,05
88	Lautaro	0,15
89	Monte Burney	0,1
90	Reclus	0,2

Área proximal y distal: caída de piroclastos

La estimación de las áreas de caída de piroclastos, se basa en la dinámica del evento eruptivo (Tipo de Erupción), ver Tabla 15, y en las condiciones de vientos imperantes para cada volcán. De acuerdo a lo anterior se han identificado 6 Tipos de erupciones en donde además, se describe la clasificación de la erupción, el ejemplo de erupción utilizado, IEV, eje mayor y eje menor de la elipse de caída de piroclastos, Ht (m) que es la altura máxima de la columna eruptiva y Hb (m) que corresponde a la altura de equilibrio en la atmósfera (sustentación) de los materiales piroclásticos.

Tabla 15: Tipos de erupciones, según cada volcán y sus características.
Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011.

Tipo Erupción		Clasificación	Ejemplo	IEV	Eje Mayor (km)	Eje Menor (km)	Ht(m)	Hb(m)
M1	Máfica menor	Estromboliano	Lonquimay 1988 (Moreno y Gardeweg, 1989)	~ 2	24	12	4.000	2.800
M2	Máfica Moderada	Sub-pliniana	Hudson, primera fase, agosto 1991 (Naranjo <i>et al.</i> , 1993)	~ 3	44	14	8.000	5.600
M3	Máfica Mayor	Vulcaniana	Fuego, 1974 (Guatemala) (Rose <i>et al.</i> , 2007)	3-4	74	48	12.000	8.400
S1	Silícea menor	Sub-pliniana	Láscar, abril 1993 (Déruelle <i>et al.</i> , 1996)	3	130	50	12.000	8.400
S2	Silícea moderada	Sub-pliniana	Chaitén 2008 (Alfano <i>et al.</i> , 2010)	3-4	160	64	15.000	10.500

Tipo Erupción		Clasificación	Ejemplo	IEV	Eje Mayor (km)	Eje Menor (km)	Ht(m)	Hb(m)
S3	Silíceea mayor	Pliniana	Hudson, segunda fase, diciembre 1991 (Naranjo et al., 1993)	4-5	840	210	17.500	17.500

Con el detalle de los Tipos de erupciones se estima la cantidad de material que puede llegar a caer; según su ubicación geográfica y velocidad del viento y además se estima la extensión superficial que puede llegar alcanzar la caída de piroclastos. Para ello es necesario describir las erupciones para conocer su comportamiento.

De esta manera SERNAGEOMIN utiliza los 6 Tipos de eventos eruptivos que sirven para ejemplificar las erupciones, que han sido mencionados en la Tabla 15 y que se describen a continuación:

M1= Máfica Menor: es el evento volcánico que caracterizó a la erupción del Lonquimay en el año 1988. Moreno y Gardeweg (1989) indican que la erupción que ha permitido clasificarlo como M1 corresponde a la que se inició el día 25 de Diciembre de 1988, la que generó una erupción de tipo estromboliano explosivo, siendo el índice de explosividad volcánica promedio de un nivel 2. En consideración al área que alcanza la caída de piroclastos en base a datos de terreno se ha logrado establecer que el área de alcance genera una elipse, con centro en el edificio volcánico, con un eje mayor de 24 km y un eje menor de 12 km, mientras que la altura máxima que alcanza la columna eruptiva, en donde las partículas quedan en suspensión, es de 4.000 metros.

M2= Máfica Moderada: corresponde al evento volcánico del Hudson, en su primera fase, ocurrida en Agosto de 1991. Naranjo et. al, (1993) describen a la erupción que tuvo lugar entre los días 8 y 9 de Agosto de 1991, la que corresponde a la primera etapa de un nuevo ciclo eruptivo explosivo de este volcán. Esta se caracteriza por ser una erupción de tipo sub-pliniana. En cuanto al índice de explosividad volcánica, éste alcanza un valor aproximado de 3 y según los datos registrados en terreno, el área alcanzada por la caída de piroclastos es de un eje mayor de 44 km y un eje menor de 14 km, mientras que la altura de la columna eruptiva en su nivel de suspensión en la atmósfera se elevó hasta los 8.000 metros aproximadamente.

M3=Máfica Mayor: corresponde al Tipo de erupción descrito para el volcán Fuego de 1974 (Guatemala). Rose et. al, (2007) describen que las características eruptivas del volcán preliminarmente fueron catalogadas como vulcaniana, aunque fue difícil de detallar considerando las diferentes series de erupciones que se mantuvieron de manera constante, las que se caracterizaban por tener una actividad de emisiones de gas y explosiones de corta duración. Es ante estos antecedentes que se puede considerar también como vulcaniana y subpliniana dependiendo de su actividad eruptiva; alcanzó un índice de explosividad entre 3 a 4 aproximadamente, con un área

de alcance de piroclastos de un eje mayor de 74 km y un eje menor de 48 km y una columna eruptiva en equilibrio en suspensión de 12 mil metros de altura.

S1=Silícea Menor: corresponde a un tipo de erupción del volcán Láscar de Abril de 1993. Déruelle et. al, (1996) describen la erupción que ocurrió entre el 18-20 de Abril de 1993; indican que el volcán posee varias explosiones subplinianas, que formaron una columna eruptiva que alcanzó 23 km de altura. Su índice de explosividad alcanza un valor 4 y sus piroclastos forman un área elíptica con un eje mayor que alcanza los 130 km y un eje menor 50 km y una altura de la columna eruptiva de 12 mil metros en promedio.

S2=Silícea Moderada: corresponde a la descripción realizada por Alfano et. al, (2010) para la erupción del volcán Chaitén en el año 2008. Los autores detallan que la erupción fue de tipo riolítica caracterizada por un inicio rápido y de mucha energía, para luego dar paso a una etapa de apaciguamiento asociado con el crecimiento de un domo y generación de lahares. Debido a esta actividad el volcán tuvo dos eventos de erupciones subplinianas que presentaban una composición geoquímica similar de entre 74-75% de SiO₂, alcanzando un índice de explosividad del rango entre 3 a 4 y un área de alcance de caída de piroclastos que simula una elipse con un eje mayor de 160 km y 64 km para su eje menor y con una columna eruptiva que toma una altura de 19 mil metros.

S3=Silícea Mayor: corresponde a la erupción del volcán Hudson, en su segunda fase, de diciembre de 1991. Naranjo et. al, (1993) describen la segunda etapa de la erupción como explosiva, la que se registró principalmente entre los días 12 y 15 de Agosto en donde la columna eruptiva alcanzó una altura de 18 km, la cual estaba compuesta principalmente de lapilli y ceniza pumácea con un 61% a 66% de SiO₂ en su composición geoquímica, lo cual entrega como evidencia que ambas erupciones descritas del Hudson tienen una diferencia geoquímica de sus magmas, siendo el primero de una composición basáltica en tanto la segunda es de tipo andesíticas silíceas y dacitas, lo cual la clasifica como una erupción de tipo pliniana, que alcanzó un índice de explosividad con valores de entre 4 a 5. Su área de alcance de caída de piroclastos generó una elipse con un eje mayor de 840 km y de 210 km para su eje menor y una altura para su columna de 17.500 metros.

De esta forma, y luego de conocer las características de los tipos de erupciones utilizadas, SERNAGEOMIN ha clasificado los volcanes activos de Chile, según como se muestran en la Tabla 16 en seis categorías, siendo la erupción Tipo S1 Silícea Menor la que más caracteriza a los volcanes de Chile con 40 representantes.

Tabla 16: Clasificación de volcanes según su Tipo de erupción.
Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011.

Tipo de Erupción	Volcán
M1 Máfica Menor	Isla de Pascua; Caburgua-Huelemolles; Fui; Alto Palena; Apagado o Hualaihué; Cayutué; Hornopirén; Palvitad; Puntia Guido-Cordón Cenizas; Ralún; Grupo Puyuhuapi; Grupo Pali-Aike;
M2 Máfica Moderada	Antuco; Copahue; Tolhuaca; Lanin; Antillanca; Carrán-Los Venados; Corcovado; Cay; Macá; Mentolat;
M3 Máfica Mayor	Callaqui; Llaima; Lonquimay; Villarrica; Michinmahuida; Mocho-Choshuenco; Osorno; Yanteles;
S1 Silícea Menor	Parinacota; Tacora; Irruputuncu; Isluga; Acamarachi; Alítar; Apacheta-Aguilucho; Aucanquilcha; Caichinque; Chascón (Purico); Chilikues; Colachi; Cordón del Azufre; Escalante-Sairecabur; Lastarria; Licancabur; Lullaillaco; Olca-Paruma; Pular-Pajonales; Puntas Negras; Putana; San Pedro; Socompa; Cerro Bayo; Nevado de Incahuasi; Nevado Tres Cruces; Ojos del Salado; Sierra Nevada; Maipo; San José; Tupungatito; Palomo; Tinguiririca; Cerro del Medio (Calabozos); Descabezado Chico; Laguna del Maule; San Pedro-Pellado; Yate; Fueguino o Cook; Lautaro;
S2 Silícea Moderada	Guallatiri; Taapaca; Ollague; Descabezado Grande; Nevado de Longaví; Planchón – Peteroa; Nevados de Chillán; Sollipulli; Quetrupillán; Calbuco; Chaitén; Huequi; Puyehue-Cordón Caulle; Melimoyu;
S3 Silícea Mayor	Láscar; Cerro Azul-Quizapu; Aguilera; Hudson; Monte Burney; Reclus

CAPÍTULO 4.-RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BRISTOL

En este capítulo se exponen los resultados de la aplicación de la metodología de la Universidad de Bristol (MUB) a todos los volcanes activos de Chile. Se muestran los niveles de peligro, incerteza, riesgo, monitoreo y frecuencia de magnitud obtenidos en base al análisis realizado a las principales fuentes bibliográficas, que son los boletines de los mapas de peligro elaborados por el Servicio Nacional de Geología y Minería para los volcanes más peligrosos de Chile y la información disponible en la página de internet del *Smithsonian Institution* <http://www.volcano.si.edu/> que recopila toda la información científica existente relativa a cada volcán de Chile y del Mundo.

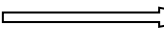

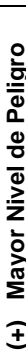
4.1.- Resultados de la metodología de la Universidad de Bristol

Considerando los diferentes aspectos analizados en esta metodología es posible obtener diversas conclusiones a partir de la información de los valores de peligro, incerteza, exposición, riesgo, nivel de monitoreo y recurrencia de las erupciones volcánicas. En los ANEXOS II y III se pueden ver en detalle los resultados para cada uno de los 90 volcanes activos de Chile.

4.1.1.- Valores de peligro e incerteza

Al comparar el nivel de peligro con el nivel de incerteza para cada volcán es posible obtener los datos, que se indican en la Tabla 17. Ésta considera un nivel de peligro 1 como bajo en cambio un nivel de peligro 3 como alto, en tanto, para un nivel de incerteza 1 se categoriza como bajo mientras que un nivel de incerteza 3 como alto, tal como se detalla a continuación:

Tabla 17: Volcanes según peligro e incerteza
Fuente: Elaboración propia

		Menor Nivel de Incerteza (-)  (+) Mayor Nivel de incerteza		
		Incerteza Nivel 1	Incerteza Nivel 2	Incerteza Nivel 3
Mayor Nivel de Peligro (+) 	Peligro Nivel 3	Lascar Tupungatito Cerro Azul-Quizapu Descabezado Grande Planchón-Peteroa Copahue Llaima Lonquimay Sollipulli Villarrica Fui Calbuco Chaitén Mocho-Choshuenco Puyehue-Cordón Caulle Hudson	Parinacota Taapaca San Jose Nevados de Chillán Apagado Hualaihué Carrán-Los Venados Hornopirén Huequi Michinmahuida Osorno Aguilera Lautaro; Monte Burney	Corcovado
	Peligro Nivel 2	Irruputuncu; Isluga; San Pedro; Ojos del Salado; Maipo; Callaqui	Guallatiri; Apacheta-Aguilucho; Chascón; Colachi; Escalante-Sairecabur; Licancabur; Lullaillaco; Olca-Paruma; Ollagüe; Pular-Pajonales; Puntas Negras; Isla de Pascua; Palomo; Cerro del Medio; Descabezado Chico; Laguna del Maule; Antuco; Lanin; Quetrupillán; Antillanca; Cayutué; Puntagudo-Cordón Cenizos; Cay; Fueguino o Cook; Grupo Pali-Aike; Reclus	Acamarachi; Chilikues; Lastarria; Nevado de Incahuasi; Nevado de Longavi; Caburgua-Huelemolles; Tolhuaca; Palvita; Ralún; Yanteles; Yate; Puyuhuapi; Macá; Melimoyu; Mentolat
	Peligro Nivel 1	Socompa	Tacora; Alítar; Aucanquilcha; Cordón del Azufre; Putana; Cerro Bayo; Sierra Nevada	Caichinque; Nevado Tres Cruces; San Pedro-Pellado; Alto Palena; Tinguiririca
Menor Nivel de Peligro (-) 				

Respecto a la información que se aprecia en la Tabla 17 los volcanes han sido evaluados según sus niveles de peligrosidad, concentrándose mayoritariamente en el nivel de peligro 2 (medio) y un nivel de incerteza también de nivel 2 (medio), lo que se debe a que los datos y fuentes de información con los que se cuenta para realizar la evaluación no son muy exactos, lo que puede incidir en que el nivel de peligrosidad tienda a ser menor. En general, los volcanes que han sido categorizados en nivel de peligro 3 (peligro alto), cuentan principalmente con una categoría de incerteza nivel 1 (incerteza baja) y nivel 2 (incerteza media) debido a que la información disponible es más fidedigna en dichos volcanes, debido a que en su gran mayoría se encuentran en constante monitoreo por el Servicio Nacional de Geología y Minería. La única

deficiencia de información tiene relación con la historia eruptiva y el máximo valor de explosividad de cada volcán. Además, se puede apreciar, en la Tabla 17, que los volcanes principalmente de peligro nivel 3 (peligro alto) están en la zona volcánica sur y austral de Chile, debido a que son lo que tienen un mayor historial de erupciones y monitoreo. En tanto, los volcanes con peligro nivel 1 (peligro bajo) se sitúan generalmente en la zona volcánica central a excepción de dos (Alto Palena y Tinguiririca), aunque presentan niveles de incerteza de 2 y 3 (incerteza media y alta, respectivamente).

4.1.2.- Valores de peligro y exposición

Para la comparación de los niveles de peligro y niveles de exposición, es posible tener en consideración la Tabla 18, que muestra los resultados de la aplicación de la metodología de la Universidad de Bristol y que se detallan en el Anexo II. La MUB considera un nivel de peligro 1 como bajo en cambio un nivel de peligro 3 como alto, en tanto, para un nivel de exposición 1 se categoriza como bajo mientras que un nivel de exposición 3 como alto, tal como se detalla a continuación:

Tabla 18: Volcanes según peligro y exposición
Fuente: Elaboración propia

		Menor Nivel de Exposición (-) \rightleftarrows (+) Mayor Nivel de Exposición			
		Exposición Nivel 1	Exposición Nivel 2	Exposición Nivel 3	
Menor Nivel de Peligro (-)	(+)	Mayor Nivel de Peligro	Peligro Nivel 3	Parinacota; Taapaca; Láscar; San José; Tupungatito Cerro Azul-Quizapu; Descabezado Grande; Planchón - Peteroa; Copahue; Nevados de Chillán; Llaima ;Lonquimay; Sollipulli; Apagado o Hualaihué; Carran-Los Venados; Chaitén; Corcovado; Hornopirén; Huequi; Michinmahuida; Mocho-Choshuenco; Osorno; Puyehue-Cordón Caulle; Aguilera;Hudson;Lautaro; Monte Burney	Villarrica Fui Calbuco
			Peligro Nivel 2	Guallatiri; Irruputuncu; Isluga; Acamarachi; Apacheta-Aguilucho; Chascón; Chilikues; Colachi; Escalante-Sairecabur; Lastarria; Licancabur; Lullaillaco; Olca-Paruma; Ollagüe; Pular-Pajonales; Puntas Negras; San Pedro; Nevado de Incahuasi; Ojos del Salado; Maipo; Palomo; Cerro del Medio; Descabezado Chico; Laguna del Maule; Nevado de Longaví; Antuco; Callaqui; Caburgua-Huelemolles; Tolhuaca; Lanin; Quetrupillán; Antillanca; Cayutué; Palvitad; Punttiagudo-Cordón Cenizos; Ralún; Yanteles; Yate; Cay; Grupo Puyuhuapi; Macá; Melimoyu; Mentolat; Fuegoينو o Cook; Grupo Pali-Aike ; Reclus	Volcanes de la Isla de Pascua
			Peligro Nivel 1	Tacora; Alítar; Aucanquilcha; Caichinque; Cordón del Azufre; Putana; Socompa; Cerro Bayo; Nevado Tres Cruces; Sierra Nevada; Tinguiririca; San Pedro-Pellado; Alto Palena	

Al analizar la relación existente entre el nivel de exposición de la población con el peligro volcánico, 86 volcanes son clasificados dentro del nivel de exposición 1, debido a que la población vive mayoritariamente a más de 30 km de los volcanes (distancia que es utilizada en la metodología de la U. de Bristol para determinar áreas de peligro volcánico y exposición de la población). En el caso de Chile los habitantes se concentran en la depresión intermedia y en la zona costera del país alejado del arco volcánico actual. Los volcanes Villarrica, Fui y Calbuco poseen un nivel de peligro 3

(alto) y alcanzan un nivel de exposición 2 (medio), representando una mayor amenaza para los centros de turismo.

En el caso de Isla de Pascua alcanza un nivel de exposición 2 (medio) debido a que su población se concentra en el poblado de Hanga Roa. Aunque debido al reducido tamaño de la isla, de igual manera queda dentro del área de influencia de 30 km lo que genera que posea un nivel medio de exposición. A esto se suma que por ser una isla que está compuesta en su totalidad por volcanes, su nivel de peligro alcanza un nivel 2 (medio). No obstante, los volcanes de Isla de Pascua no presentan actividad sísmica ni eruptiva hace varios miles de años por lo que estos niveles de peligro son más bien por sus registros históricos y no por su actividad volcánica reciente.

4.1.3.- Nivel de riesgo

Considerando los resultados de la evaluación de peligro y vulnerabilidad aplicando la metodología de la Universidad de Bristol y observando la Tabla de síntesis de resultados del ANEXO II se puede apreciar que solamente los volcanes Villarrica, Fui, Calbuco e Isla de Pascua, poseen un nivel de riesgo 2 (medio) mientras que el resto de los 86 volcanes tiene un riesgo de nivel 1 (bajo). Esto se debe principalmente a que los niveles de exposición de la población son demasiado bajos para el caso de Chile lo que hace que el nivel de riesgo sea bajo (1). En tanto, que los cuatros volcanes que poseen un nivel de riesgo medio se debe a que alrededor de éstos vive una mayor cantidad de población lo que, según la Tabla 10, genera que obtengan un nivel de riesgo 2.

En la Tabla 19, se expone una síntesis de los niveles de riesgo que adquieren cada uno de los 90 volcanes con la metodología de la U. de Bristol.

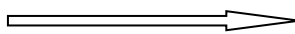
Tabla 19: Niveles de riesgo de los Volcanes
Fuente: Elaboración propia

Nivel de Riesgo	Volcanes
Riesgo 3 (Alto)	
Riesgo 2 (Medio)	Isla de Pascua, Fui, Villarrica, Calbuco
Riesgo 1 (Bajo)	Tacora; Acamarachi; Alítar; Apacheta-Aguilucho; Aucanquilcha; Caichinque; Chascón (Purico); Chilikues; Colachi; Cordón del Azufre; Escalante-Sairecabur; Licancabur; Lullailaco; Pular-Pajonales; Puntas Negras; Putana; Socompa; Cerro Bayo; Nevado de Incahuasi; Nevado Tres Cruces; Ojos del Salado; Sierra Nevada; Maipo; Palomo; Cerro del Medio; Descabezado Chico; Caburgua-Huelemolles; Alto Palena; Cayutué; Palvitad; Puntigudo-Cordón Cenizos; Ralún; Yanteles; Grupo Puyuhuapi; Aguilera; Fueguino o Cook; Grupo Pali-Aike; Lautaro; Monte Burney; Reclus; Guallatiri; Parinacota; Taapaca; Irruputuncu; Isluga; Lastarria; Láscar; Olca-Paruma; Ollagüe; San Pedro; San José; Tupungatito; Tinguiririca; Cerro Azul-Quizapu; Descabezado Grande; Laguna del Maule; Nevado de Longaví; Planchón-Peteroa; San Pedro-Pellado; Antuco; Callaqui; Copahue; Nevados de Chillán; Llaima; Lonquimay; Sollipulli; Tolhuaca; Lanin; Quetrupillán; Antillanca; Carran-Los Venados; Chaitén; Corcovado; Hornopirén; Huequi; Michinmahuida; Mocho-Choshuenco; Osorno; Puyehue-Cordón Caulle; Yate; Cay; Macá; Melimoyu; Mentolat; Hudson; Apagado o Hualaihué

4.1.4.- Nivel de riesgo con monitoreo

En la comparación del riesgo volcánico con el nivel de monitoreo que alcanza cada uno de los volcanes, es posible distinguir tres niveles de riesgo y cuatro niveles de monitoreo, tal como se detalla en la Tabla 20, que muestra los resultados de la aplicación de la metodología de la Universidad de Bristol (ver Anexo II). En este análisis se considera un nivel de riesgo 1 como bajo, en cambio, un nivel de riesgo 3 como alto. Para un nivel de monitoreo 1 se categoriza como bajo mientras que un nivel de monitoreo 3 como alto y además se considera un nivel de monitoreo cero cuando no existe ninguna información ni reporte del volcán, tal como se detalla a continuación:

Tabla 20: Volcanes según riesgo y monitoreo
Fuente: Elaboración propia

		Menor Nivel de Monitoreo (-)  (+) Mayor Nivel de Monitoreo			
		Monitoreo Nivel 0*	Monitoreo Nivel 1	Monitoreo Nivel 2	Monitoreo Nivel 3
Mayor Nivel de Riesgo (+)	Riesgo Nivel 3				
	Riesgo Nivel 2	Isla de Pascua, Fui			Villarrica, Calbuco
	Riesgo Nivel 1	Tacora; Acamarachi Alítar Apacheta-Aguilucho Aucanquilcha Caichinque Chascón (Purico) Chiliques Colachi Cordón del Azufre Escalante-Sairecabur Licancabur; Lullaillaco Pular-Pajonales Puntas Negras Putana; Socompa Cerro Bayo Nevado de Incahuasi Nevado Tres Cruces Ojos del Salado Sierra Nevada Maipo; Palomo Cerro del Medio Descabezado Chico Caburgua-Huelemolles Alto Palena Cayutué; Palvitad Puntiagudo-Cordón Ralún Yanteles Grupo Puyuhuapi Aguilera; Fuegoينو o Cook; Grupo Pali-Aike Lautaro; Monte Burney Reclus	Apagado Hualaihué	o	Guallatiri Parinacota Taapaca Irruputuncu Isluga; Lastarria Láscar Olca-Paruma Ollagüe; San Pedro San José; Tupungatito Tinguiririca Cerro Azul-Quizapu Descabezado Grande Laguna del Maule Nevado de Longaví Planchón - Peteroa San Pedro-Pellado Antuco; Callaqui; Copahue Nevados de Chillán Llaima; Lonquimay Sollipulli; Tolhuaca Lanin; Quetrupillán Antillanca Carran-Los Venados Chaitén; Corcovado Hornopirén; Huequi Michinmahuida Mocho-Choshuenco Osorno; Puyehue- Cordón Caulle; Yate; Cay; Macá; Melimoyu Mentolat; Hudson
Menor Nivel de Riesgo (-)					

*Nivel de monitoreo "Cero": El volcán no se monitorea.

A partir de los valores, de frecuencia de monitoreo y proximidad a una red sísmica, se suman ambos factores y se obtienen los diferentes niveles, tal como se muestra en la Tabla 11, donde un “nivel 0” indica un nulo monitoreo mientras que un “nivel 3” es un alto monitoreo.

Al analizar la relación existente entre el nivel de riesgo y nivel de monitoreo, es posible destacar que 43 volcanes se encuentran monitoreados de manera constante en Chile y el encargado de realizar dicha tarea es el Servicio Nacional de Geología y Minería a través de su Red de Vigilancia Volcánica administrada por el Observatorio Volcanológico de Los Andes del Sur, el cual realiza reportes mensuales a nivel regional de los volcanes, en los que describe la actividad eruptiva y sísmica de cada uno de éstos, a esto se suma que casi todos los volcanes monitoreados poseen un mapa de zonas de riesgo volcánico. El Volcán Apagado o Hualahihué posee un mapa de riesgo pero no está monitoreado de manera constante, es por ello que su nivel es de valor 1 (Bajo). En tanto que el resto de los volcanes que presentan un nivel de riesgo 1 (Bajo) tienen un nivel de monitoreo equivalente a cero (Nulo), ya que no cuentan con ningún tipo de reporte de su actividad.

4.1.5.- Análisis de frecuencia de magnitud

Como se ha detallado en la MUB los valores de la frecuencia eruptiva según su magnitud (IEV) han sido calculados para todos los volcanes explosivos de Sudamérica. Para el caso de Chile, en donde se pueden establecer períodos de retorno de acuerdo a diferentes magnitudes de erupciones volcánicas. Como lo muestra la Tabla 21 se puede establecer, por ejemplo, que en promedio ocurre una erupción de magnitud 3 (IEV) cada 0,6 años en Sudamérica.

Tabla 21: Período de retorno de erupciones explosivas en Sudamérica
Fuente: *Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure, 2011.*

Magnitud IEV	Período de Retorno (años)
3	0,6
3,5	1,1
4	2,3
4,5	4,4
5	8
5,5	20
6	42
6,5	110
7	490
8	30.000

Aunque en muchos casos de los volcanes activos de Chile, estos períodos de retorno volcánico (de la Tabla 21) no se condicen con los registros históricos de sus erupciones, debido a que muchos de éstos no presentan actividad eruptiva hace miles de años. Por lo tanto, para el caso de una erupción de magnitud 3 con un período de retorno de 0,6 años, que se ha calculado para los volcanes de Sudamérica, en el caso de Chile no se cumple esta condición, no obstante, si se cumple al considerar a toda la

región de Sudamérica (En el capítulo de casos de estudio se describirá con mayor detalle esta observación).

4.1.6.- Análisis de Valores de Peligro

Considerando los resultados de los valores de peligro que adquieren cada uno de los volcanes, al utilizar la metodología de la Universidad de Bristol, es posible mencionar que según lo que se aprecia en el Gráfico 1, existe una tendencia en la Zona Volcánica Central (ZVC) a presentar valores de peligro menores que el resto de las zonas volcánicas de Chile. En la ZVC en su gran mayoría los volcanes alcanzan valores de peligro menores a 7, aunque con algunas excepciones como son los volcanes Taapaca, Parinacota, Guallatiri, Isluga, San Pedro y Lászar con valores superiores a 7 y que para el caso del Lászar llega a un valor de 11,3, de un máximo de 14,55.

Los volcanes que se ubican en la Zona Volcánica Sur, tienen valores de peligro mayores que oscilan entre los 4,1 hasta los 14,75, siendo junto a la Zona Volcánica Austral las zonas que concentran la mayor cantidad de volcanes con valores de peligro superiores a 6.

La condicionante que principalmente influye en sus altos valores de peligro es la gran actividad eruptiva que presentan estas zonas en la actualidad. Por el contrario, los volcanes de la zona norte de Chile, presentan una actividad eruptiva bastante baja e incluso existen casos en que no se ha reportado actividad por varios miles de años, lo que por un lado aumenta el nivel de incerteza y por otro repercute en los bajos valores de peligrosidad de los volcanes de esta zona del país.

Además, es necesario mencionar el caso de la Isla de Pascua. Si bien, por la metodología utilizada la isla no presenta actividad eruptiva hace miles de años, es debido a la pequeña extensión superficial y las características geológicas de la isla, -la que está compuesta por una serie de volcanes- lo que provoca que tenga un valor de peligro de 6,3 (de un máximo de 14,55 posibles) lo cual la hace tener un valor significativo de peligro considerando su baja extensión superficial.

Al comparar los resultados de la aplicación de la metodología con los países de Sudamérica que han sido evaluados, Colombia y Ecuador y a los que se le aplica el período de recurrencia eruptiva, en ambas naciones predominan los volcanes con niveles de peligro 3 (alto) y con una incerteza baja, mientras que los con bajo peligro (1) poseen una alta incerteza. Además en Ecuador existe un predominio de los volcanes con nivel de riesgo bajo y en menor medida riesgo alto y medio. En cambio, Colombia tiene más volcanes con riesgo alto, lo que está asociado a los altos índices de población, ya que sus habitantes se ubican muy próximos a los volcanes. En Chile hay solamente 4 volcanes con niveles de riesgo medio, ya que si bien existen muchos volcanes con niveles de peligro alto, la variable de vulnerabilidad, que está dado por la

cantidad de población que vive alrededor de los volcanes, es bastante baja para el caso de Chile lo que incide en que el nivel de riesgo volcánico sea bastante menor si se compara con Colombia y Ecuador, que son los países en que se ha realizado la evaluación de riesgo volcánico utilizando la MUB.

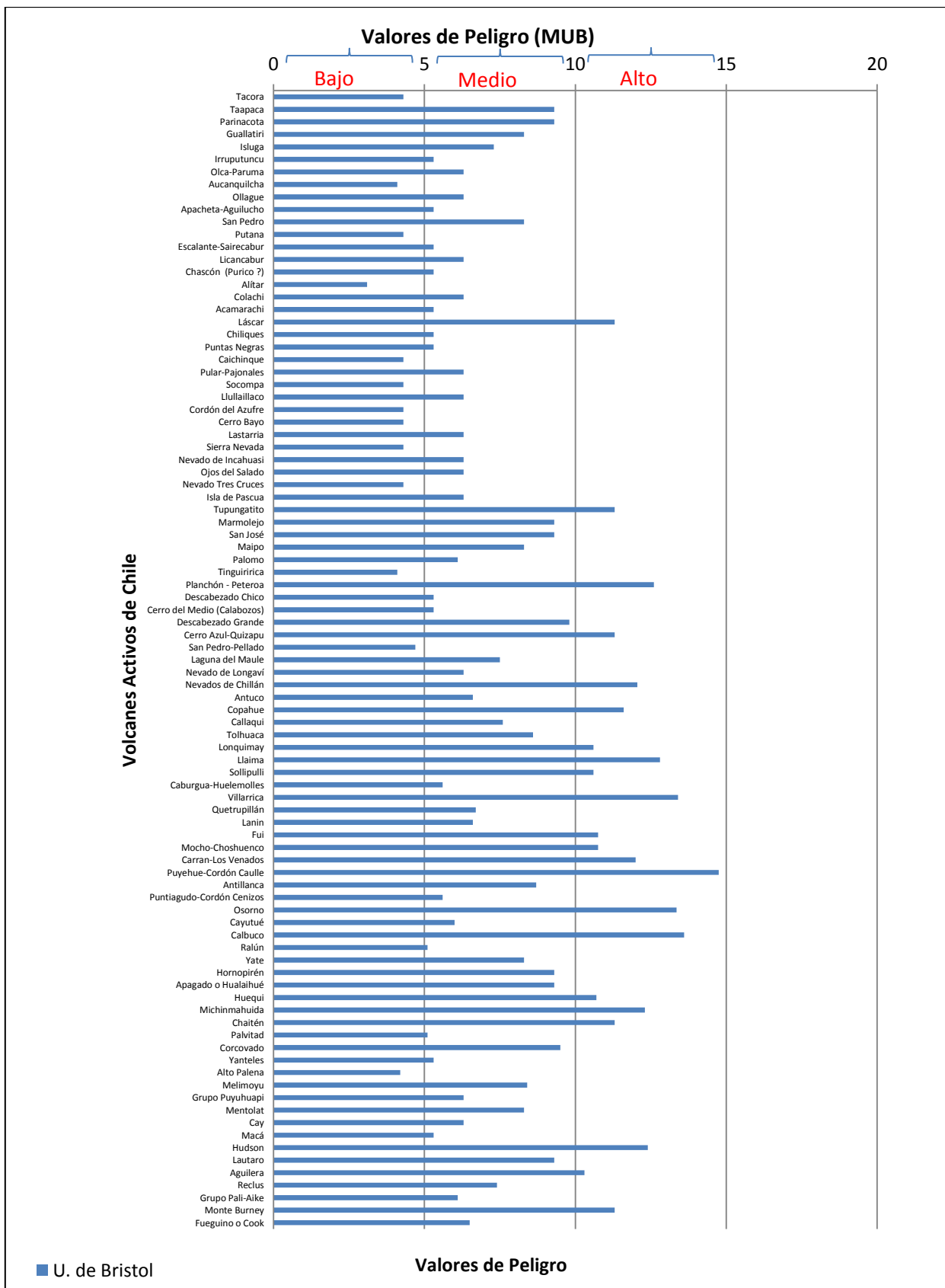


Gráfico 1: Valores de peligro aplicando la Metodología de la U. de Bristol (MUB).
Fuente: Elaboración propia

4.1.7.- Análisis de Valores de Exposición

Los resultados de exposición, en la metodología de la Universidad de Bristol, están determinados en base a la cantidad de población que habita en zonas de influencias de 10 y 30 kilómetros de un volcán, cantidad que ha sido ponderado por coeficientes que se han mencionado en la descripción de la metodología.

De esta manera, según se aprecia en el Gráfico 2, los valores obtenidos para la población presentan variadas diferencias según su distribución geográfica. Es así, como existe una evidente tendencia en la Zona Volcánica Central a presentar valores menores a 1.000 personas llegando incluso a valores ponderados de 15 personas en el caso del volcán Puntas Negras. Cabe mencionar, que para el caso de Isla de Pascua su cantidad de población asciende a casi los 4.000 habitantes ponderados debido a que su extensión territorial es bastante reducida, por lo que la totalidad de la población de la Isla se encuentra dentro del área de influencia de 30 kilómetros; ya que la longitud máxima de la isla alcanza a tan solo 23 kilómetros aproximadamente.

Luego existe una zona en donde se encuentran los volcanes Tupungatito, San José, Maipo, que presentan valores de población superiores a los 1.400. Esto se debe a que estos volcanes se sitúan en la zona cordillerana de la Región Metropolitana de Santiago, lo que incide en su alta cantidad de población.

Mientras que desde el Volcán Palomo hasta el Volcán Fuego o Cook, que corresponde al volcán más austral activo de Chile, existe una distribución gaussiana de la población en el gráfico. Es decir, que en los extremos de esta distribución se aprecia una baja cantidad de habitantes, mientras que en su parte central la cantidad población es mucho mayor, siendo el valor más elevado el que corresponde al volcán Fui, que posee una cantidad de 5.297 personas ponderados. Aunque también existen excepciones de volcanes, los que presentan una alta cantidad de habitantes como es el caso de los volcanes Peyuhue-Cordón Caulle, Ralún y Chaitén, para que finalmente el número de personas ponderadas disminuya paulatinamente hasta el volcán Fuego o Cook.

Es evidente una concentración de población tanto en la zona centro-sur de Chile como alrededor de los volcanes que presentan una mayor frecuencia de actividad eruptiva, según información del SERNAGEOMIN. Esta concentración de personas se caracteriza principalmente por la presencia de balnearios en la zona lacustre los que se encuentran en las orillas de los volcanes más activos del país.

Finalmente, considerando la población que habita dentro del área de influencia de 30 kilómetros de radio de los 90 volcanes activos de Chile, que se estimó en base a la herramienta LandScan, se obtiene un valor total de 450.637 habitantes ponderados

que residen en zonas de peligro volcánico alto a lo largo del país, aplicando la Metodología de la Universidad de Bristol.

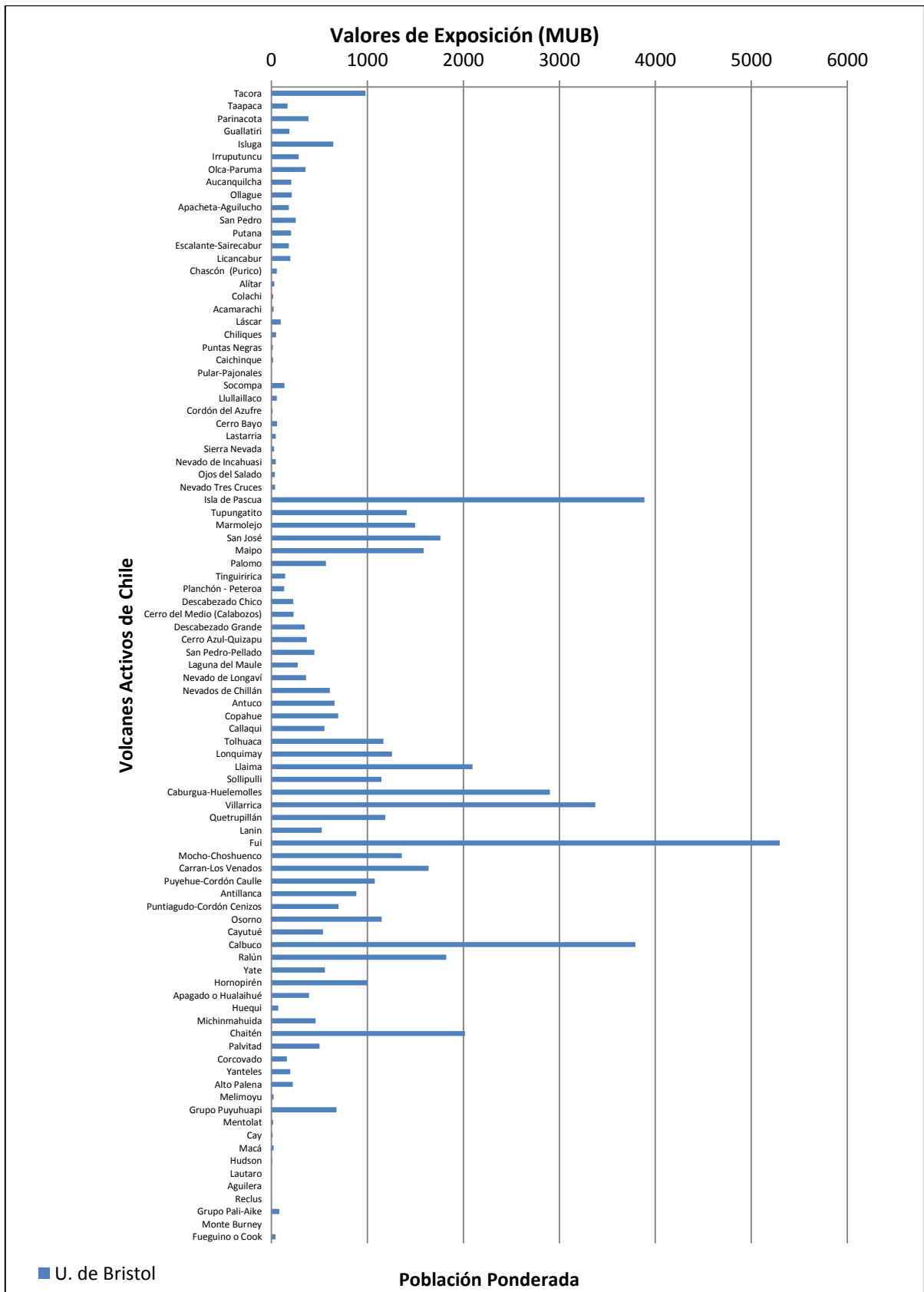


Gráfico 2: Valores de exposición aplicando la metodología de la U. de Bristol
Fuente: Elaboración propia

4.1.8.- Análisis de Áreas de Peligro

La distribución de las áreas de peligro alto que posee cada uno de los volcanes de Chile, se han obtenido al utilizar la metodología de la Universidad de Bristol. Estos datos son posibles observar en el Gráfico 3.

De esta manera es posible mencionar que existen áreas que tienen una distribución heterogénea de su superficie a lo largo de los volcanes de Chile que van desde los 36,3 km² hasta los 2.208,5 km². Aunque los que presentan una mayor superficie de peligro tienden a concentrarse en la zona centro sur del país, con áreas que superan los 1.500 km².

En tanto en la zona austral de Chile, la extensión superficial en general disminuye a valores que son inferiores a los 500 km², aunque con las excepciones de los volcanes Alto Palena y Lautaro, ambos con áreas de peligro superiores a los 1.300 km².

Considerando que el territorio continental Chileno posee una extensión de 756.770 Km², las áreas de peligro volcánico en Chile ascienden a los 84.648,43 Km² de superficie. Es decir que un 11,18% del territorio nacional continental se encuentra en zona de peligro volcánico alto aplicando la MUB, considerando que las áreas de peligro proximal (dentro del área de influencia de 30 km) son consideradas completamente como de peligro alto.

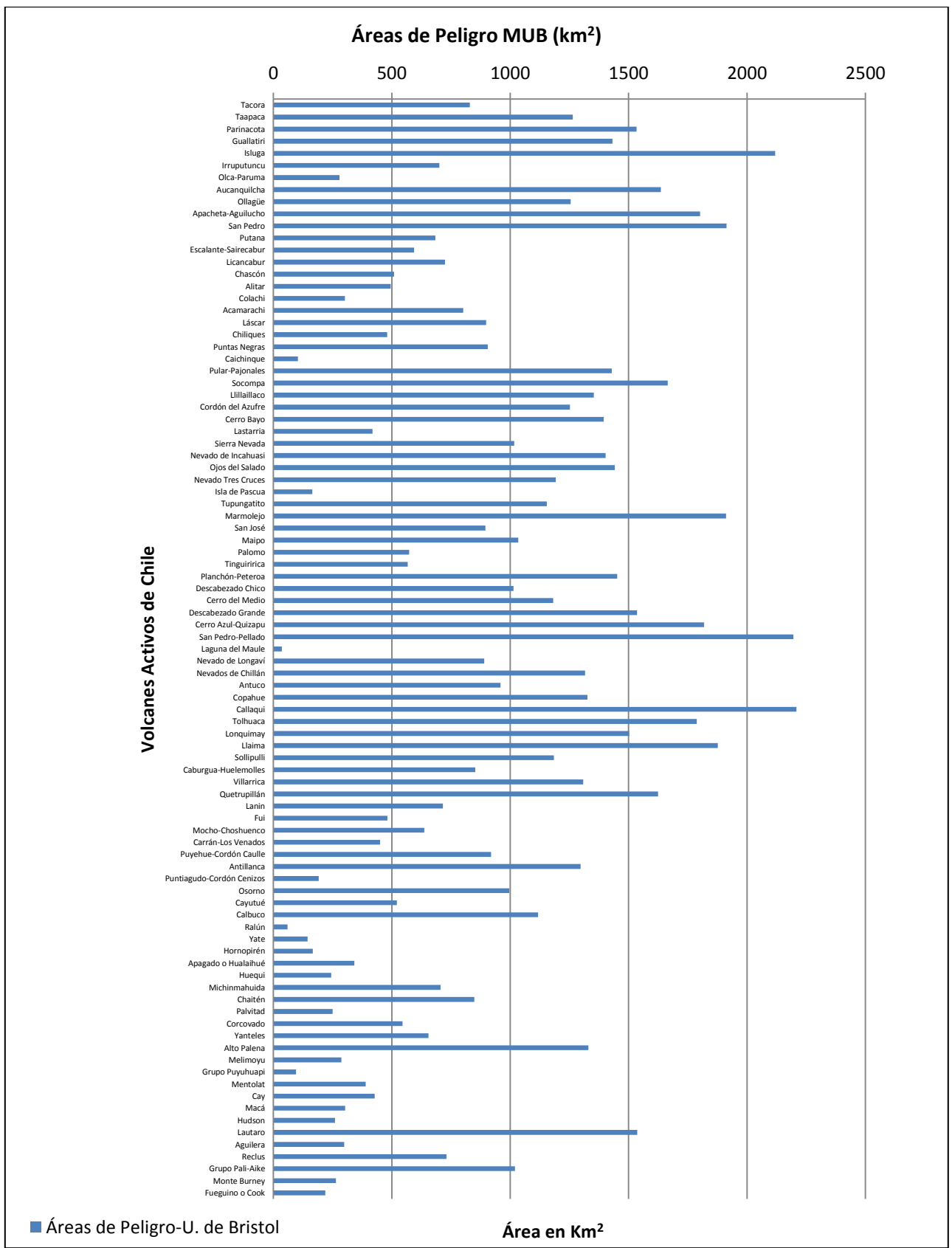


Gráfico 3: Áreas de peligro aplicando la metodología de la U. de Bristol
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5.-COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

5.1.- Análisis detallado de ambas metodologías mediante estudios de casos

Para ejemplificar con un mayor detalle la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgo se ha utilizado el volcán Taapaca y el volcán Villarrica, con la finalidad de tener el contraste de un volcán de la zona Norte de Chile con uno del Sur, además, de uno con un bajo nivel de vulnerabilidad como el Taapaca con uno de altos niveles de vulnerabilidad como el Villarrica, de manera de poner en contraste los diferentes escenarios de peligro, vulnerabilidad, riesgo y área de peligro de los distintos volcanes activos del país, para ello se expone a continuación el escenario actual que presentan estos volcanes.

5.1.1.- Resultados de ambas metodologías para el volcán Taapaca

A continuación se expone en detalle los resultados de la evaluación de riesgo para el volcán de Taapaca aplicando la MUB y los resultados de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

5.1.1.1.-Evaluación del peligro del volcán Taapaca, con la metodología de la Universidad de Bristol

Considerando la información histórica disponible de las erupciones del volcán Taapaca, la que ha sido obtenida de la Smithsonian Institution y de su página de internet <http://www.volcano.si.edu/>, es posible obtener los siguientes valores de peligro, según indica la Tabla 22.

Tabla 22: Evaluación de peligro del volcán Taapaca
Fuente: Elaboración propia

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1= Se ha asignado este valor ya que corresponde a un complejo volcánico	0= su incerteza en cero ya que el volcán ha sido catalogado como un estratovolcán por el SERNAGEOMIN.
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1= Según la información de la carta de "Peligros del complejo volcánico Taapaca" del SERNAGEOMIN el complejo presenta nieve en su cima.	--
Flujo Piroclástico	2= Si bien los eventos no aparecen enumerados claramente en la carta de "Peligros del complejo volcánico Taapaca" si se menciona la ocurrencia de éstos a causa de la evidencia encontrada en terreno.	0,47= Los flujos no son enumerados con fecha ni con características específicas, pero si se menciona que han ocurrido en la historia eruptiva del volcán.
Peligro de Lahar	2= Si bien los eventos no aparecen enumerados claramente en la carta de "Peligros del complejo volcánico Taapaca" si se menciona la ocurrencia de éstos a causa de la evidencia encontrada en terreno.	0,47= Los lahares no son enumerados con fecha ni con características específicas, pero si se menciona que han ocurrido en la historia eruptiva del volcán.
Flujo de lava	0,2= Los flujos de lava no son mencionados con claridad en la carta de	0,4= Los flujos de lava no son enumerados con fecha ni con

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
	"Peligros del complejo volcánico Taapaca", pero se pueden inferir por el tipo de volcán.	características específicas, pero se infieren por el tipo de volcán.
Numero de Subcaracterísticas	0,1 = Como la cantidad de conos o nombres sinónimos del complejo son solamente dos (fuente: www.volcano.si.edu), adquiere este valor.	--
Máximo IEV	1 = La historia eruptiva del volcán presenta solamente eventos datados mediante radiocarbono, por lo que su IEV es categorizado con el menor valor de peligro (fuente: www.volcano.si.edu).	0,4 = la historia eruptiva del volcán ha sido estimada en base a dataciones de radiocarbono, por lo tanto no posee datos de IEV (fuente: www.volcano.si.edu).
Frecuencia de la Erupción	2 = Las erupciones que han sido datadas mediante radiocarbono corresponde a ocho (fuente: www.volcano.si.edu).	0 = Como las ocho erupciones datadas mediante radiocarbono han sido confirmadas como certeras, es que su valor de incerteza es cero.
Sumatoria de valores de peligro	9,3	1,74

Como se observa en la Tabla 22, los factores de peligro suman 9,3, el nivel de peligro del Volcán Taapaca de acuerdo a la metodología es de valor 3 según los valores de la Tabla 6, que además establece una categoría de peligro alto.

Su valor de incerteza de 1,74 le asigna un nivel 2, que según la Tabla 7, le corresponde una categoría de incerteza media.

Una vez realizado la valoración se sintetiza de la siguiente manera:

Nivel de Peligro = 3 Alto

Nivel de Incerteza: = 2 Medio

5.1.1.2.-Evaluación de la exposición del volcán Taapaca

Continuando con la evaluación, corresponde incorporar los valores de la población que han sido estimados por el LandSacan, en donde cada píxel (30x30 metros) posee un valor determinado de población.

Para el caso del volcán Taapaca, se han realizados dos buffer de acuerdo a la metodología de la Universidad de Bristol. El primero es una circunferencia de 10 km de radio y el segundo es de 30 km de radio.

Área de influencia de 10 km:

-Personas que viven a menos de 10 Km del Volcán

21 personas

Multiplicando la cantidad de 21 personas por el coeficiente de 0,9375, que ha sido explicado en el ítem 3.1.2, se obtiene la siguiente cantidad de población ponderada:

Población Ponderada	19,6875
----------------------------	----------------

Área de influencia de 10-30 Km:

-Personas que viven entre 10 a 30 Km del Volcán

2.395 personas

Multiplicando la cantidad de 2.395 personas por el coeficiente de 0,0625, que ha sido explicado en el ítem 3.1.2, se obtiene la siguiente cantidad de población ponderada:

Población Ponderada	149,6875
----------------------------	-----------------

Suma Población Ponderada **19,6875** + **149,6875** = **169,375 personas**

Con el valor de la población ponderada de 170 personas, es posible obtener el índice de exposición de población que en base a la Tabla 8, el que alcanza un valor de 0,5:

Con este índice de exposición, se obtiene el nivel de exposición para el volcán Taapaca, el cual alcanza el nivel 1 (Bajo), según los datos de la Tabla 9.

Una vez obtenido los valores de peligro (Nivel 3-Alto) y el de exposición (Nivel 1-Bajo), es factible realizar la evaluación del riesgo volcánico.

5.1.1.3.-Evaluación del riesgo del volcán Taapaca

Considerando que el peligro del volcán Taapaca es de un nivel 3 y su índice de exposición es de 0,5, se puede determinar según la Tabla 23,

Tabla 23 Nivel de riesgo volcánico del volcán Taapaca

Índice de Exposición de Población	Nivel de Peligro		
	1	2	3
0, 0.5	1	1	1
1	1	2	2
1.5	1	2	3
2	2	2	3
2.5,3	2	3	3

que el nivel de riesgo del volcán Taapaca es 1 (Bajo) ya que si bien su nivel de peligro es alto, la baja cantidad de población que habita dentro de los 30 km de radio de influencia incide en que su nivel de riesgo sea bajo. En cuanto a su nivel de incerteza, es de nivel medio (2), ya que el volcán se encuentra en constante monitoreo por el

SERNAGEOMIN lo que incide en que desde los últimos años se tenga registro de su actividad volcánica.

Nivel de Riesgo del Volcán Taapaca
1

5.1.1.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico

Respecto a la capacidad de monitoreo que posee el volcán Taapaca, es posible apreciar en la Tabla 24, que tanto su frecuencia de monitoreo como su cercanía a una red sísmica (15 km), ver 3.1.4, es de valor 3 o sea un nivel alto, ya que éste se encuentra monitoreado por el SERNAGEOMIN.

Tabla 24: Valores de monitoreo volcánico del volcán Taapaca

F. Monitoreo (FM)	Incerteza	Red Sísmica (RS)	Incerteza
3	0	3	0

Al sumar ambos valores se obtiene un valor de 6 que implica que su nivel de monitoreo sea 3 (Alto), según se observa en la Tabla 25.

Tabla 25: Nivel de monitoreo volcánico del volcán Taapaca

Sumatoria (FM+RS)	Nivel Monitoreo
6	3

Mientras que su nivel de incerteza es 0 (cero) siendo un nivel bajo, tal como se aprecia en la Tabla 26, ya que está monitoreado de manera constante por el SERNAGEOMIN.

Tabla 26: Nivel de incerteza del monitoreo del volcán Taapaca

Sumatoria Incerteza (FM+RS)	Nivel Incerteza
0	Bajo

5.1.1.5.-Análisis frecuencia de magnitud

Para determinar la frecuencia de las erupciones volcánicas que ocurren en Chile dependiendo de su magnitud (IEV), se utilizaron los resultados obtenidos en la Metodología de la Universidad de Bristol. Para calcularlo, se ha utilizado el valor promedio del periodo de retorno de todas las erupciones del mundo expresadas en años según un determinado IEV y este valor se multiplica por el total que se obtiene de la división entre la cantidad de volcanes explosivos de Sudamérica dividido por la cantidad de volcanes explosivos existentes en todo el Mundo (Delinge et al, 2010) con esto se han obteniendo los valores que se observan en la Tabla 27.

Para el caso del volcán Taapaca es posible considerar que su historia eruptiva es bastante limitada, ya que sus registros de erupciones han sido estimados en base a técnicas isotópicas de radiocarbono, no teniendo ningún registro visual de algún evento, es por ello que en este caso su estimación tiende a error ante la escasa cantidad de registros disponibles, según el cálculo que se ha realizado en la metodología de la Universidad de Bristol, para la región de Sudamérica. Por lo tanto, para el caso del volcán Taapaca los periodos de retorno calculados en la MUB, que considera a todos los volcanes de Sudamérica, no tendrán validez para las diferentes magnitudes que tuvo o pudiese llegar a tener este volcán debido a que los valores que se aprecian en la Tabla 27 no tienen relación con los registros históricos y actuales de la actividad eruptiva para el caso del volcán Taapaca.

Tabla 27: Período de retorno según magnitud para todos los volcanes explosivos de Sudamérica
 Fuente: *Volcano Hazard and Exposure in GFDRR, Countries and Risk Mitigation Measures - GFDRR Volcano Risk Study*”.

Magnitud IEV	Período de Retorno (años)
3	0,6
3,5	1,1
4	2,3
4,5	4,4
5	8
5,5	20
6	42
6,5	110
7	490
8	30.000

Ya que en el caso de considerar un IEV 3 con un periodo de retorno de 0,6 años, para los volcanes de Sudamérica, el volcán Taapaca no cumple dicha condición ya que no presenta actividad volcánica hace miles de año, por lo que el resto de los IEV obtenidos tampoco aplican para el caso de este volcán

5.1.1.6.-Determinar las áreas de peligro del volcán Taapaca

Utilizando el software ArcGis 10 y las diferentes fuentes de información, se han obtenido las cartografías necesarias para determinar las áreas de peligro y de vulnerabilidad.

Localización del volcán Taapaca

En este apartado se ha realizado un análisis GIS, en donde se han creado diferentes mapas, el primero de ellos corresponde a la ubicación del volcán Taapaca, ver Figura 6, el cual se encuentra en las cercanías de la localidad de Putre, siendo la capital de la provincia de Parinacota y el pueblo de mayor importancia dentro de las cercanías del volcán. A éste se suman una serie de caseríos que se ocupan principalmente para el pastoreo, con habitantes de manera esporádica dependiendo la época del año. Además, la localidad de Putre se sitúa en las cercanías de la Quebrada Jurase, que abastece de agua al valle en que se encuentra emplazado.

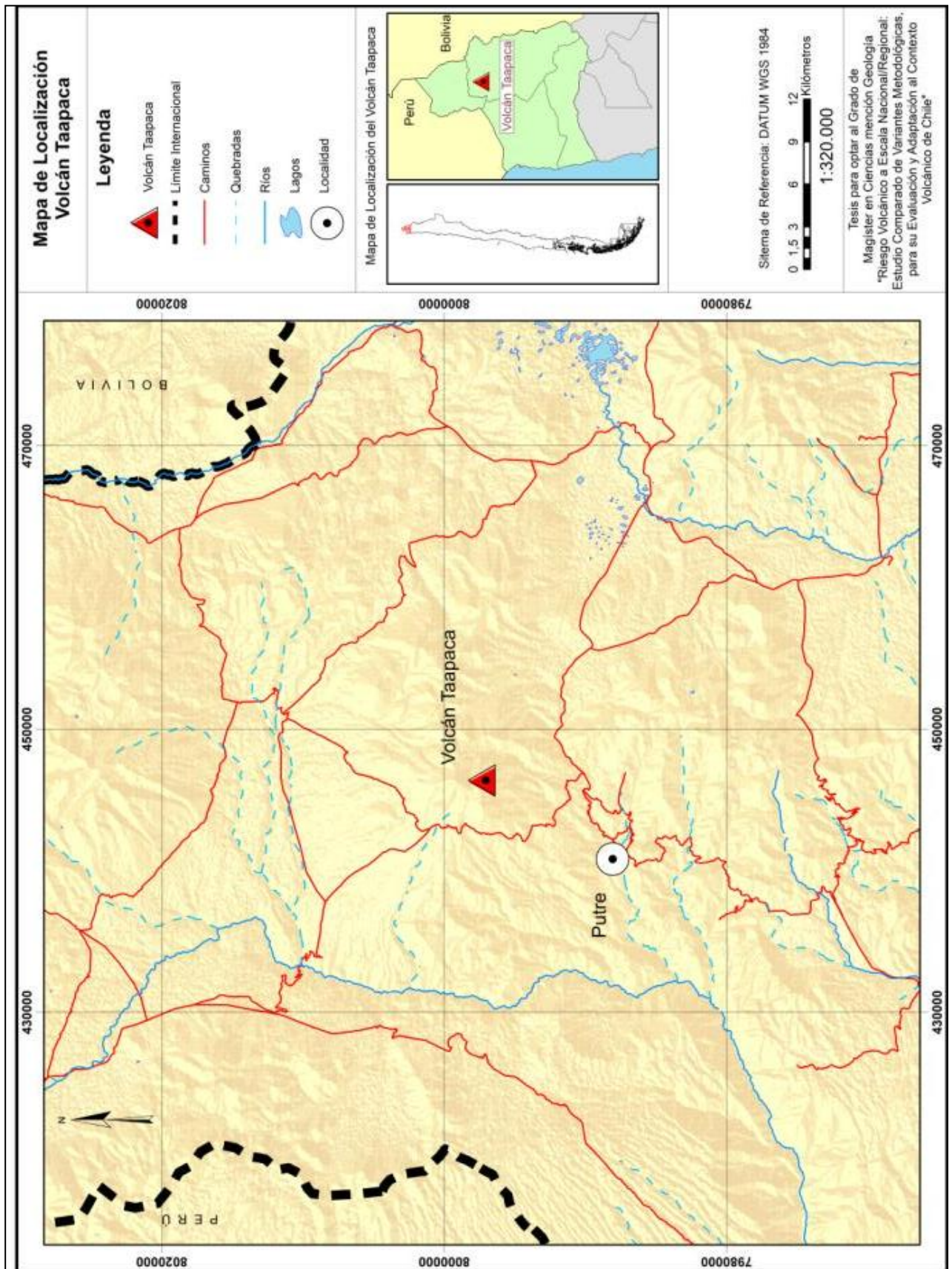


Figura 6: Localización del Volcán Taapaca

Áreas de influencia de peligro del volcán Taapaca

En la Figura 7 se aprecian las áreas de influencia interna (3km) en línea roja continua y el área de influencia externa (30km) de línea roja discontinua y las cuencas hidrográficas en azul, en donde se establecen como área de peligro aquellas cuencas que se encuentran de manera total o parcial dentro del buffer interno de 3 km de acuerdo a la MUB.

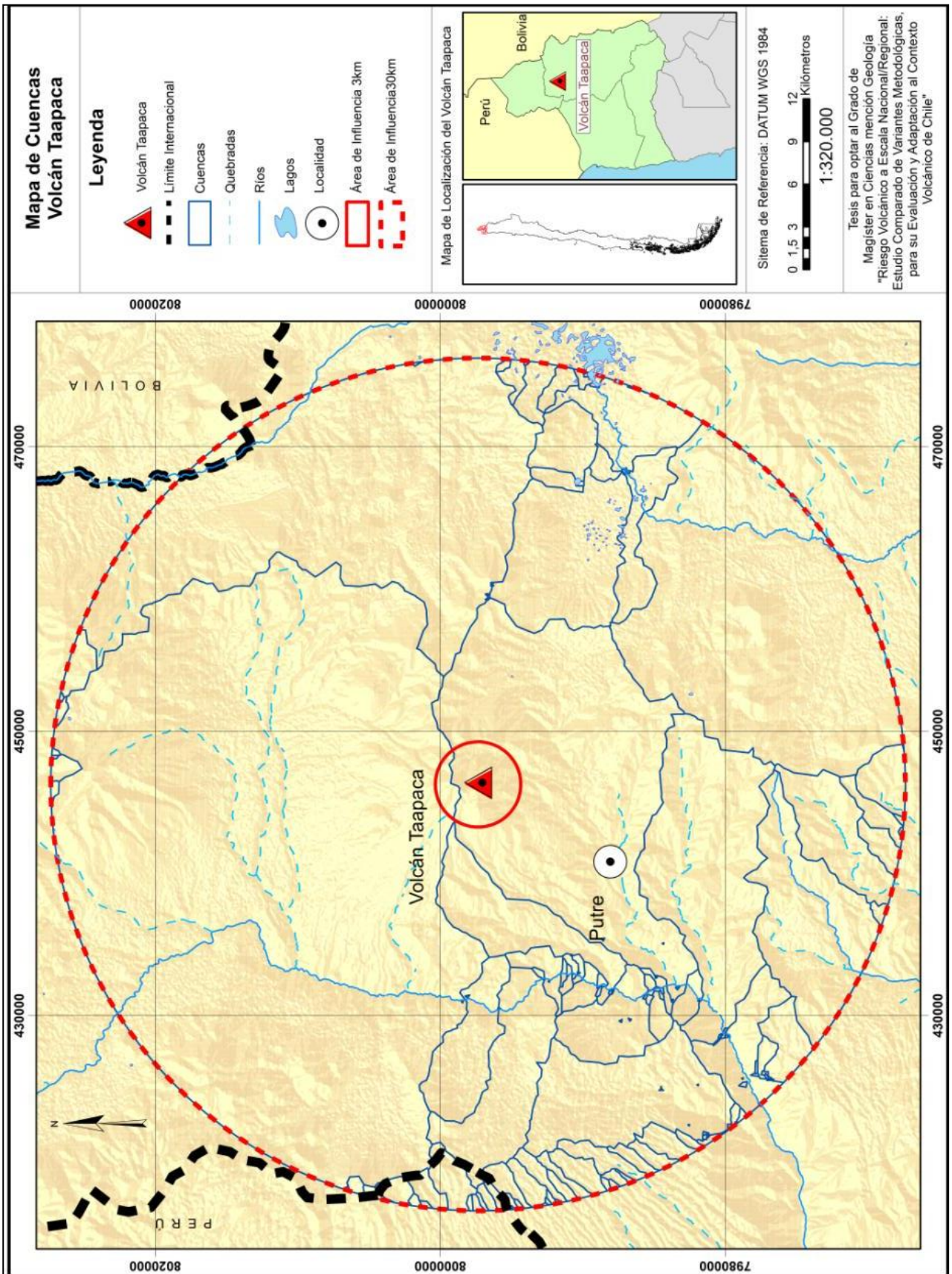


Figura 7: Cuencas en el área de Influencia del Volcán Taapaca

Zona proximal de peligro del volcán Taapaca

El área de peligro estimado para el volcán Taapaca alcanza una extensión de 1.264,32 Km², que se estima en base al área de influencia de 3 km y las cuencas hidrográficas que se encuentran de manera total o parcial dentro de ésta, según se aprecia en la Figura 8. Aquellas cuencas que no han sido consideradas como de peligro alto, se pueden calificar como de seguridad. Estas zonas proximales están dadas por los probables flujos piroclásticos que puedan afectar los 30 km alrededor del volcán y que se consideran indistintamente como de peligro alto.

En este caso el poblado de Putre, se localiza dentro del área de peligro volcánico alto, en la que se han considerado a los flujos piroclásticos como el peligro que abarca a las zonas proximales según la MUB.

Además, es posible considerar que dentro de esta área de peligro alto de flujos piroclásticos, contienen las cuencas hidrográficas que se sitúan alrededor de los volcanes, en las que se incluyen tanto las zonas de valles y quebradas, que por geomorfología es donde se encauzan los flujos piroclásticos, avalanchas, lahares entre otros, así como también considera las zonas de lomajes y cerros que en primera instancia por la topografía no serán afectadas por estos flujos, por lo cual al estar consideradas en la zona proximal, tiende a sobreestimar la extensión de estas áreas de peligro, por lo que se hace necesario corregir esta deficiencia en el método de manera de poder generar mapas con las áreas que sean realmente afectadas por algún tipo de peligro volcánico, de forma de canalizar los recursos hacia las zonas de mayor prioridad.

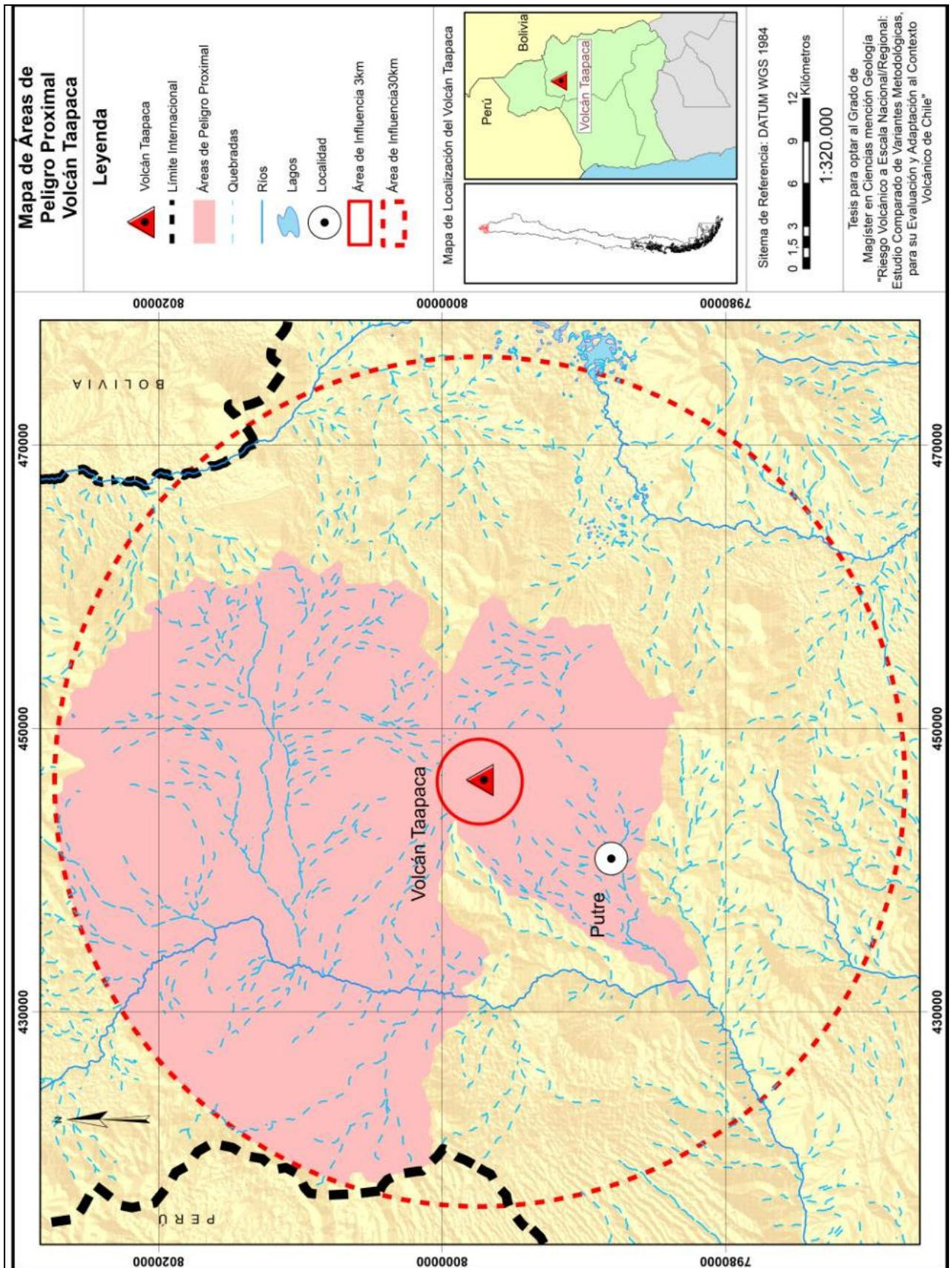


Figura 8: Zona de peligro proximal en el Volcán Taapaca, determinado en base a la MUB.

Infraestructura y poblados en la zona proximal de peligro del volcán Taapaca

La Figura 9, muestra la infraestructura que es susceptible de ser afectada por algún peligro volcánico, ya que se encuentra dentro del área potencial de peligro. Los kilómetros de caminos de tierra y pavimento que se encuentran dentro del área de peligro alcanzan una extensión de 204,8 kms de longitud, en tanto los pueblos y caseríos (entre paréntesis la cantidad de habitantes de cada poblado según estimación del LandScan) que se localizan dentro de esta área de peligro son: Ollada, Llussuma, Curaguara, Japane, Vilacabrane, Putre, Ancoma, Pioco, Vilaque, Bendecita, Morocruz, Pacollo, Las Cuevas, Surunche, Taipicahue, Pairumani, Llancoma, Guanuni, LLaytuma, Quillane, Taapaca, Casoachane, Muntirune, Quebrada Guayllas, Japocota, Curacuara, Amachuma, Vilavilani, Humapalca(11), Quemahuña, Queumahuana, Vuelta Amache, Coronel Alcerreca, Goipancate (0), Taquebeco, Papajune, Parquiuta, Taipiuta, Guarichuto, Hornone, Macaya, Colpitas(13), Cotapalca, Churaje, Guaranculco, Tiacolpa (10), Pampa Alcúrreca, Copatanca, Iquilla, Alcurreca, Pahuta, Chapuma (14), Pauta.

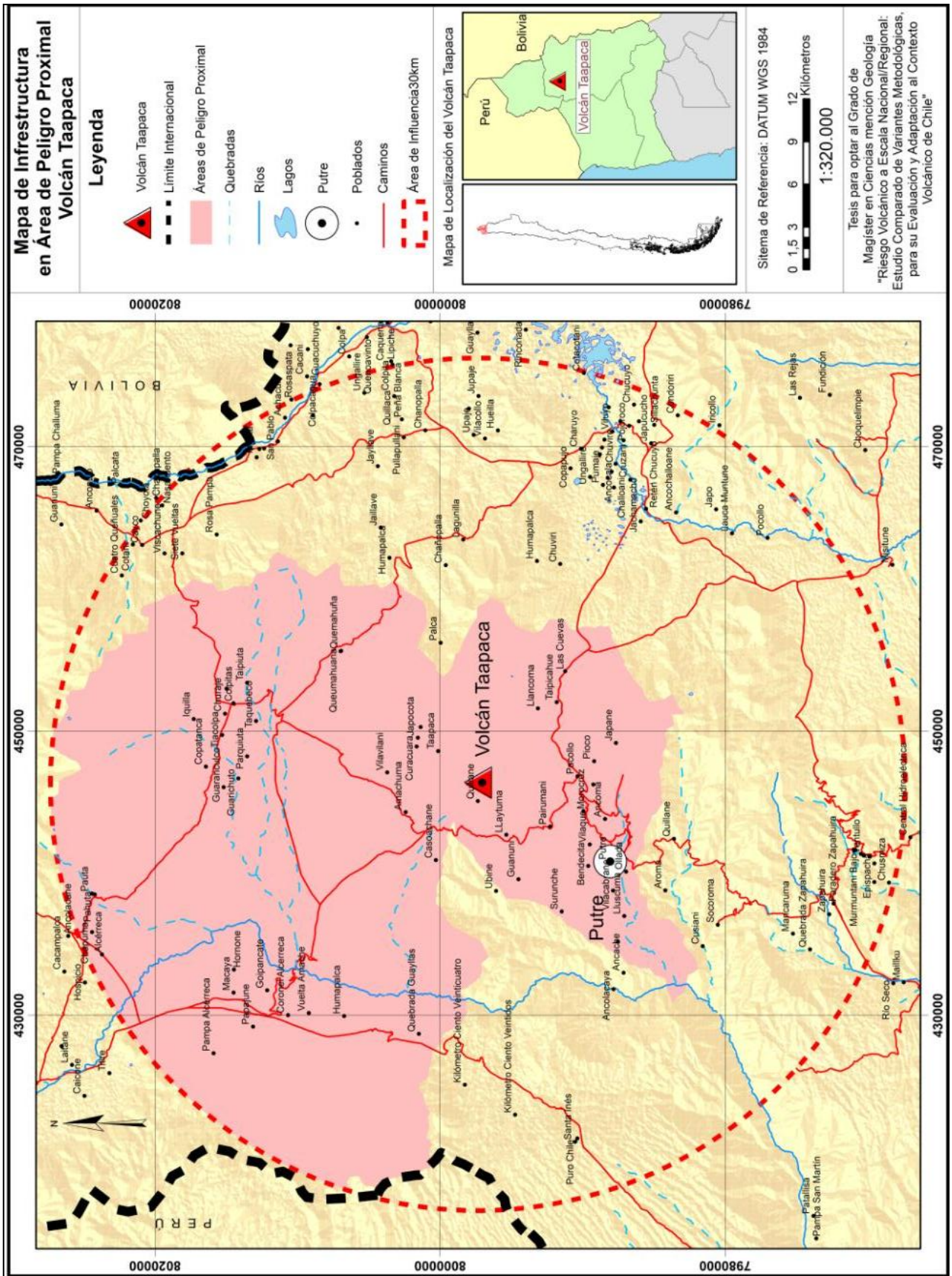


Figura 9: Infraestructura zona de peligro proximal en el Volcán Taapaca

Población en zona proximal de peligro del volcán Taapaca

En tanto la Figura 10 corresponde a la población localizada dentro del área de influencia de 30 km.

Cabe considerar que varios caseríos se utilizan solamente para el pastoreo, lo que hace que la población sea muy reducida y variable a lo largo del año, siendo el poblado Putre el más importante con una población estimada por el LandScan de 1.153 personas, a éste se suman los caseríos más importantes en población de Humapalca (11), Colpitas (13), Chapuma (14), Tiacolpa (10) entre otros con una población estimada total de 1.546 habitantes que se ubican dentro del área de peligro volcánico de 30 km de radio.

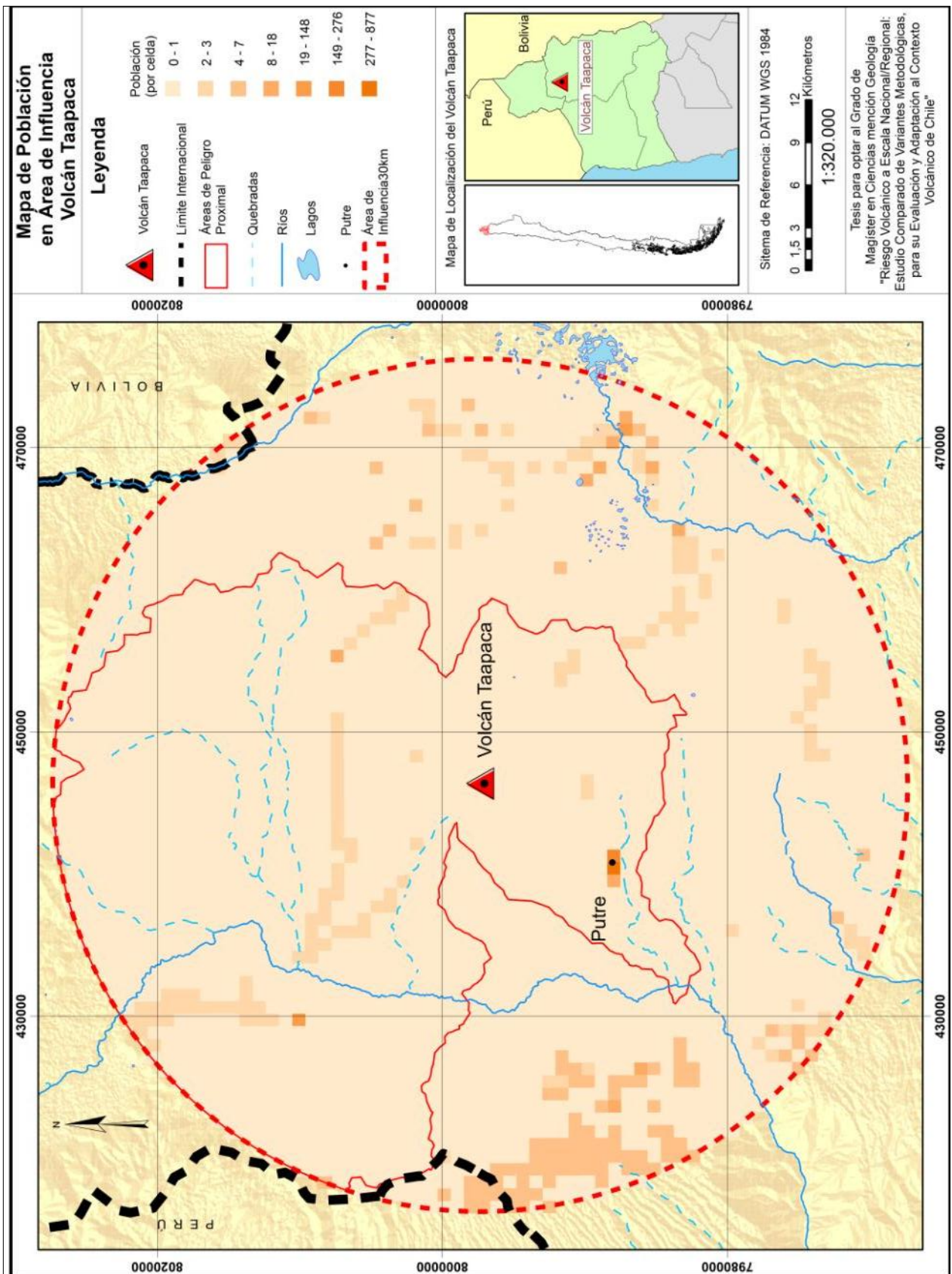


Figura 10: Población en área de influencia de 30 kilómetros del Volcán Taapaca, determinado en base a la MUB.

Zonas de peligros proximales y distales del volcán Taapaca

Las áreas de peligro proximal y distal han sido estimadas en base al método utilizado por la MUB. De esta forma las áreas de peligro proximal corresponden a aquellas que pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y se determinan por aquellas cuencas hidrográficas que se encuentran completamente dentro o en parte del buffer interno de 3km y con una extensión máxima de 30 km de radio; mientras que las áreas de peligro distales corresponden a aquellas que pueden ser afectadas por lahares y se determinan con las cuencas que se encuentran dentro del buffer interno de 10 km en el área de influencia máximo de 100 km.

Estas zonas alcanzan grandes extensiones territoriales con un área para el peligro de lahar de 9.341 Km² en rojo y de 1.264,32 Km² en achurado para los piroclastos, que incluye tanto valles como zonas de montaña, según se aprecia en la Figura 11.

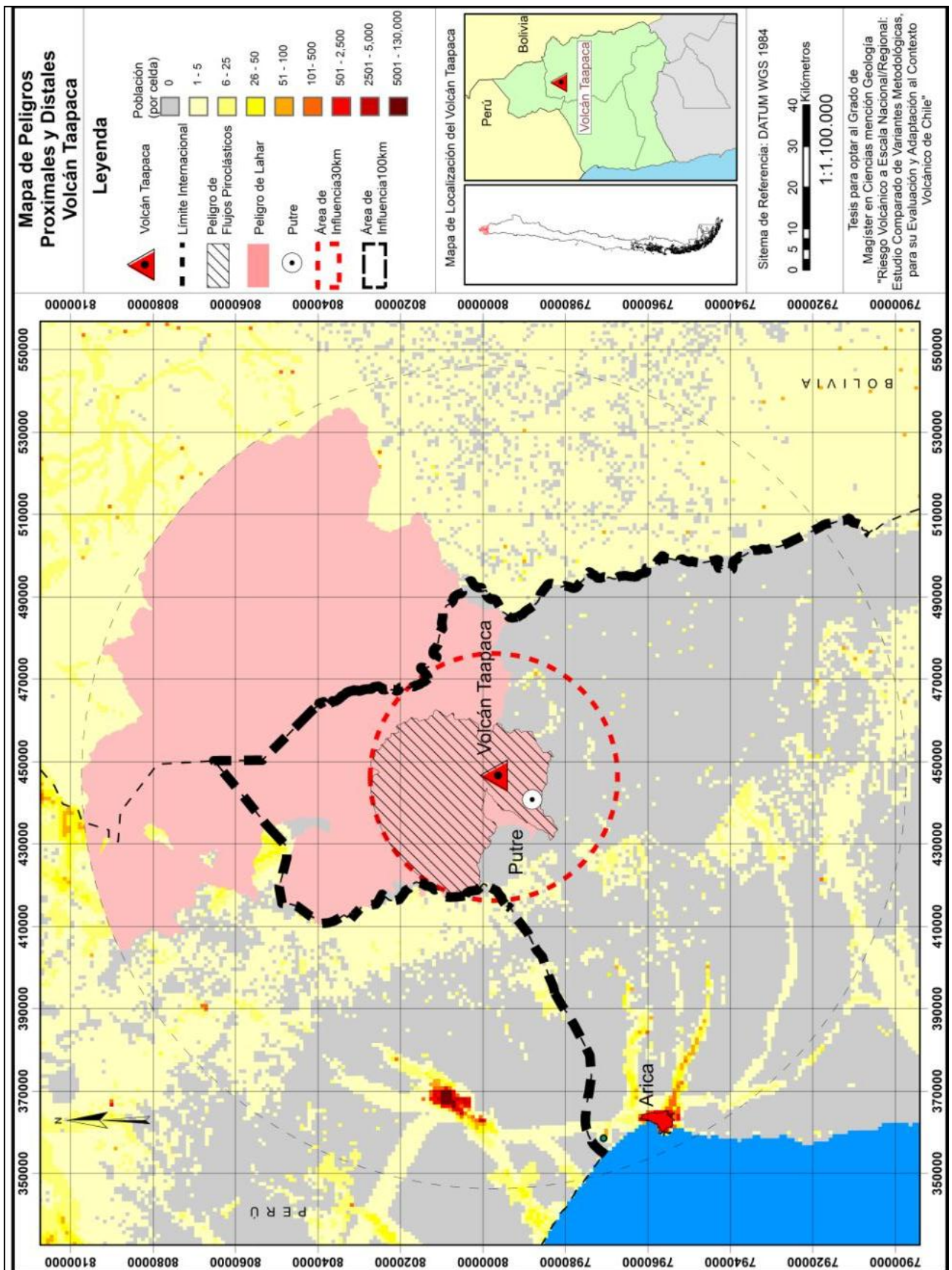


Figura 11: Zona de peligros proximales y distales del Volcán Taapaca, determinados en base a la MUB.

Ante este análisis, es posible mencionar que existen varios poblados que son susceptibles de ser afectados por algunos de los peligros volcánicos, aunque el más importante corresponde al poblado de Putre, ya que si bien por su cantidad de habitantes su nivel de exposición es 1 (bajo) pero alcanza un nivel de peligro 3 (alto), lo que produce un nivel de riesgo 1 (bajo). Aunque de igual manera es necesario mantener el monitoreo constante de esta fuente eruptiva por parte de la Red de Vigilancia Volcánica, ante eventuales peligros de flujos piroclásticos (peligro proximal de 30 km de radio de influencia) y lahares (peligro distal de 100 km de radio de influencia).

5.1.1.7.-Evaluación del riesgo del volcán Taapaca, con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN

Los datos que se exponen corresponden a la evaluación realizada por el SERNAGEOMIN, en la publicación “Peligros Volcánicos de Chile, 2011”, en la que para determinar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo, fue necesario realizar un exhaustivo estudio de sus factores para determinar los valores que pueden alcanzar (Lara, L., Febrero de 2014, comunicación personal), lo cual depende de la calidad de la información y del registro histórico de sus erupciones y productos volcánicos, con lo cual se obtienen los valores que se detallan en la Tabla 28, que se observa a continuación.

Tabla 28: Evaluación del riesgo del volcán Taapaca, NVEWS-SERNAGEOMIN
Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011.

Factores	Taapaca
Tipo de Volcán(0-1)	1
Máximo IEV(0-3)	1
Actividad Explosiva < 500 años (0-1)	0
Actividad Explosiva < 5000 años (0-1)	1
Recurrencia Eruptiva (0-4)	3
Ocurrencia de flujos piroclásticos en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lavas en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lahares en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de tsunamis en el Holoceno (0-1)	0
Potencial de explosiones hidrotermales (0-1)	0
Potencial de colapso de flanco (0-1)	1
Potencial de generación de Lahares (0-1)	0
Actividad sísmica (0-1)	0
Deformación (0-1)	1
Desgasificación (0-1)	1
Subtotal de Factores de Peligro	12
Log10 Población en zona de alto peligro	3,3
Log10 Población en zona distal	0
Víctimas Fatales (0-1)	0
Evacuaciones (0-1)	0

Factores	Taapaca
Exposición de la aviación local (0-2)	2
Exposición de la aviación regional (0)	0
Infraestructura energética (0-1)	0
Infraestructura de transportes (0-1)	1
Áreas de desarrollo o protección (0-1)	1
Islas Oceánicas (0-1)	0
Subtotal Factores de Vulnerabilidad	7,3
TOTAL RIESGO (Peligro * Vulnerabilidad)	87,25

Como se observa en el detalle de la Tabla 28, el valor total de peligro que alcanza el volcán Taapaca es de 12 y el valor total de los factores de vulnerabilidad alcanza un valor de 7,2. Estos dos valores se multiplican y con ello se obtiene el valor del riesgo que alcanza un valor de **87,25 (Alto)**.

5.1.1.8.- Área de peligro proximal en volcán Taapaca

El área de peligro se ha calculado en base a la metodología del Servicio Nacional de Geología y Minería. Utilizando los resultados obtenidos por el SERNAGEOMIN, se han logrado representar en base a lo que se aprecia en la Figura 12, en la que se puede observar un área de peligro proximal de menor tamaño en comparación a la metodología anterior, ya que considera principalmente zona de laderas del volcán. Aunque de igual manera el pueblo de Putre queda situado dentro del área considera de peligro alto la cual posee una extensión de 448,03 km².

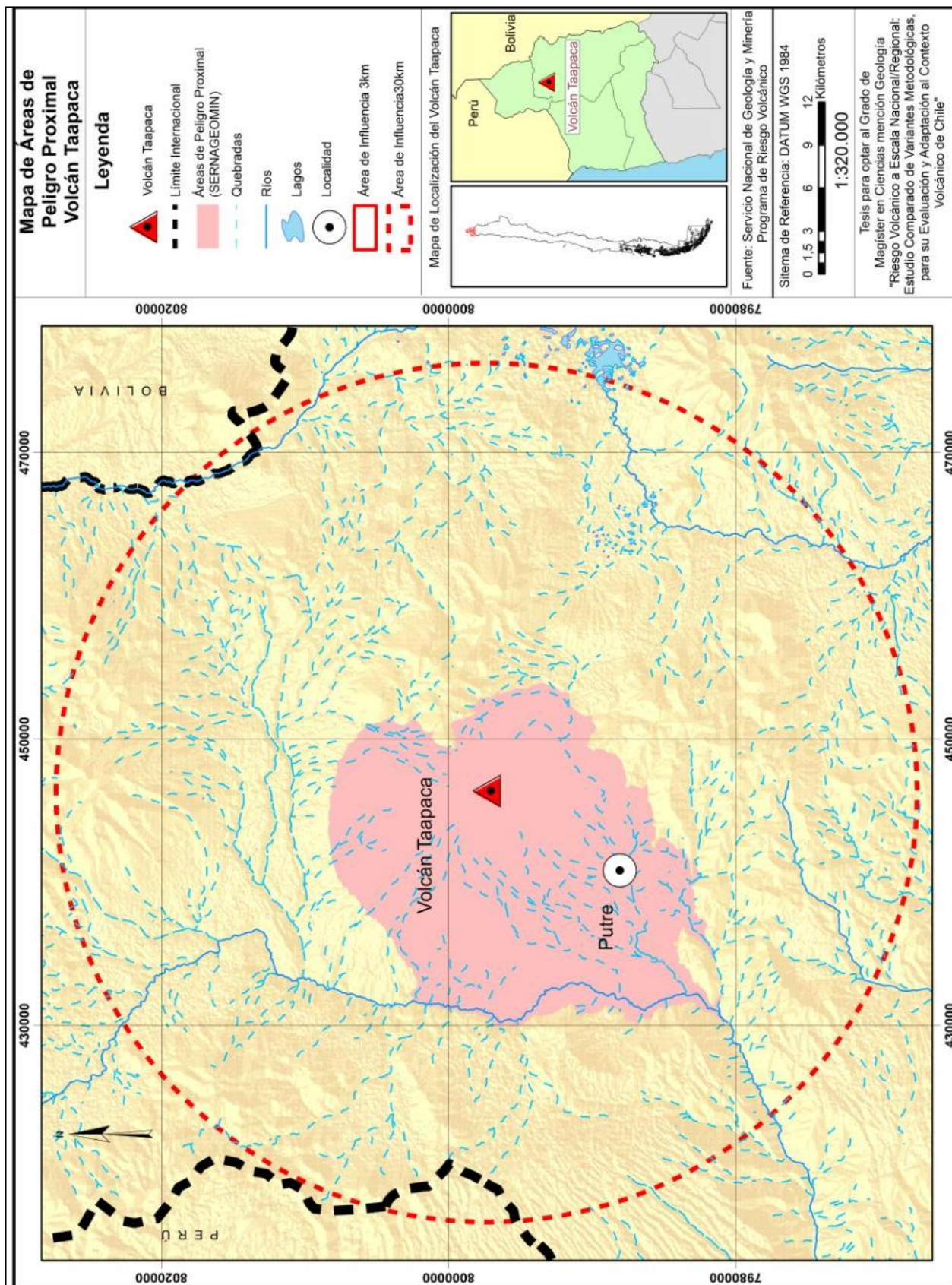


Figura 12: Zona de peligro proximal del Volcán Taapaca, determinada en base a la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

5.1.1.9.-Infraestructura en zona proximal de peligro del volcán Taapaca

En cuanto a la infraestructura susceptible dentro del área de peligro, se puede establecer que la cantidad de kilómetros de caminos que pueden ser afectados es de 73,47 km de longitud, mientras que los poblados y caseríos que se ubican dentro del área de peligro, según datos del CENSO 2002, su población alcanza la cantidad de 1.235 habitantes en el poblado de Putre y además se consideran sectores de pastores que la mayor parte del tiempo se encuentran sin población, que se aprecian en la Figura 13, entre los cuales se pueden nombrar a Cusiani, Aroma, Ollada, Llussuma, Ancache, Curaguara, Ancolacaya, Vilacabrane, Putre (1.235), Ancoma, Pioco, Sector Camino Internacional, Vilaque, Bendecita, Morocruz, Pacollo, Surunche, Taipicahue, Pairumani, Llancoma, Guanuni, LLaytuma, Ubine, Quillane, Taapaca, Casoachane, Muntirune, Japocota, Curacuara, Amachuma, Vilavilani.

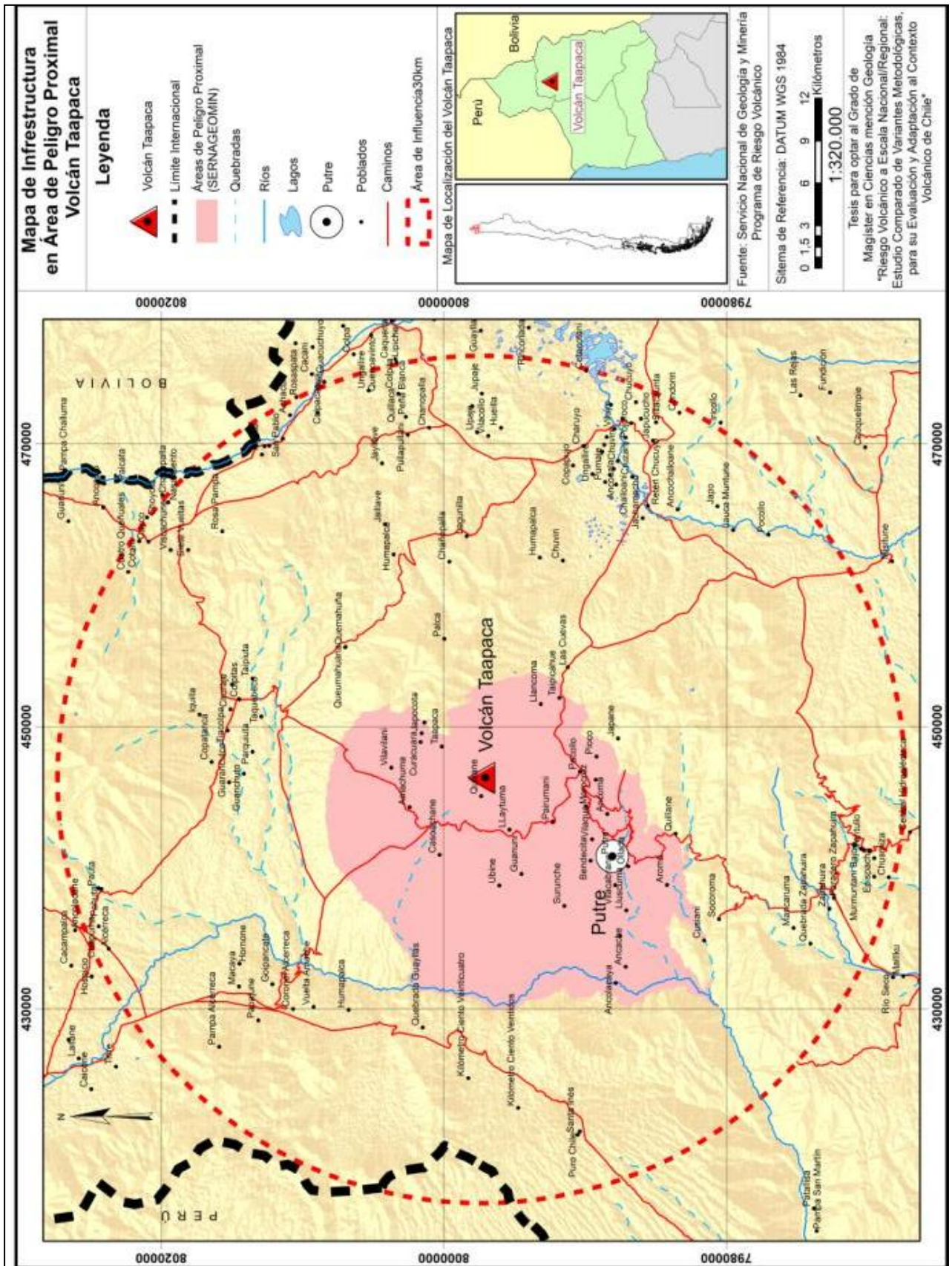


Figura 13: Infraestructura y localidades en zona de peligros proximales del Volcán Taapaca

5.1.1.10-Comparación de las áreas obtenidas

Los dos tipos de áreas de peligro estimadas con la metodología de la U. de Bristol se han establecido en base a las cuencas hidrográficas que se encuentran alrededor del volcán. Para los flujos piroclásticos se ha establecido un área de influencia proximal de 30 Km en tanto que para los lahares un área distal de 100 Km, en tanto que su área de peligro está determinada por las cuencas que se encuentran parcial o totalmente en el área de influencia interno de 3 y 10 km respectivamente.

Para el caso del volcán Taapaca el área de peligro de lahar alcanza un valor de 9.341,09 km², en tanto que para peligros de flujos piroclásticos se extiende por 1.264,32 Km².

Mientras en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN existe tan solo un área calculada para peligros de lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas, que alcanza una superficie de 448,03 km² y de un nivel de peligro alto.

De esta manera las áreas de peligro comparables del volcán Taapaca son bastante heterogéneas entre ambas metodologías para el caso de los flujos piroclásticos (proximal), ya que tienen una extensión superficial muy dispar siendo de 1.264,32 Km² para la MUB y de 448,03Km² para la NVEWS-SERNAGEOMIN lo que significa una diferencia de superficie de casi tres veces la una de la otra, según se observa en la Figura 14. Al comparar ambas metodologías, para el caso del volcán Taapaca las áreas de peligro son separadas en flujos piroclásticos (proximal) y flujos de lahar (distal) en la MUB, mientras que la del SERNAGEOMIN considera un área proximal en base a los peligros de lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas, considerados como de un alto peligro, lo cual ya induce a una primera diferencia entre ambos métodos. Además, existe una clara diferencia entre las áreas estimadas por cada una de las metodologías, en donde la MUB establece las áreas a partir de las cuencas hidrográficas aledañas a cada volcán. No obstante, estas áreas incluyen tanto las zonas de valles y quebradas que es por donde se encauzan los flujos como los cerros y lomajes que por topografía están más resguardadas ante estos peligros. Esto genera que el área de peligro calculada con la MUB sea de una gran extensión. Mientras que, la segunda metodología que se basa en la relación H/L asociada a datos de campo, lo que explica que posea una menor área de peligro estimada por esta metodología.

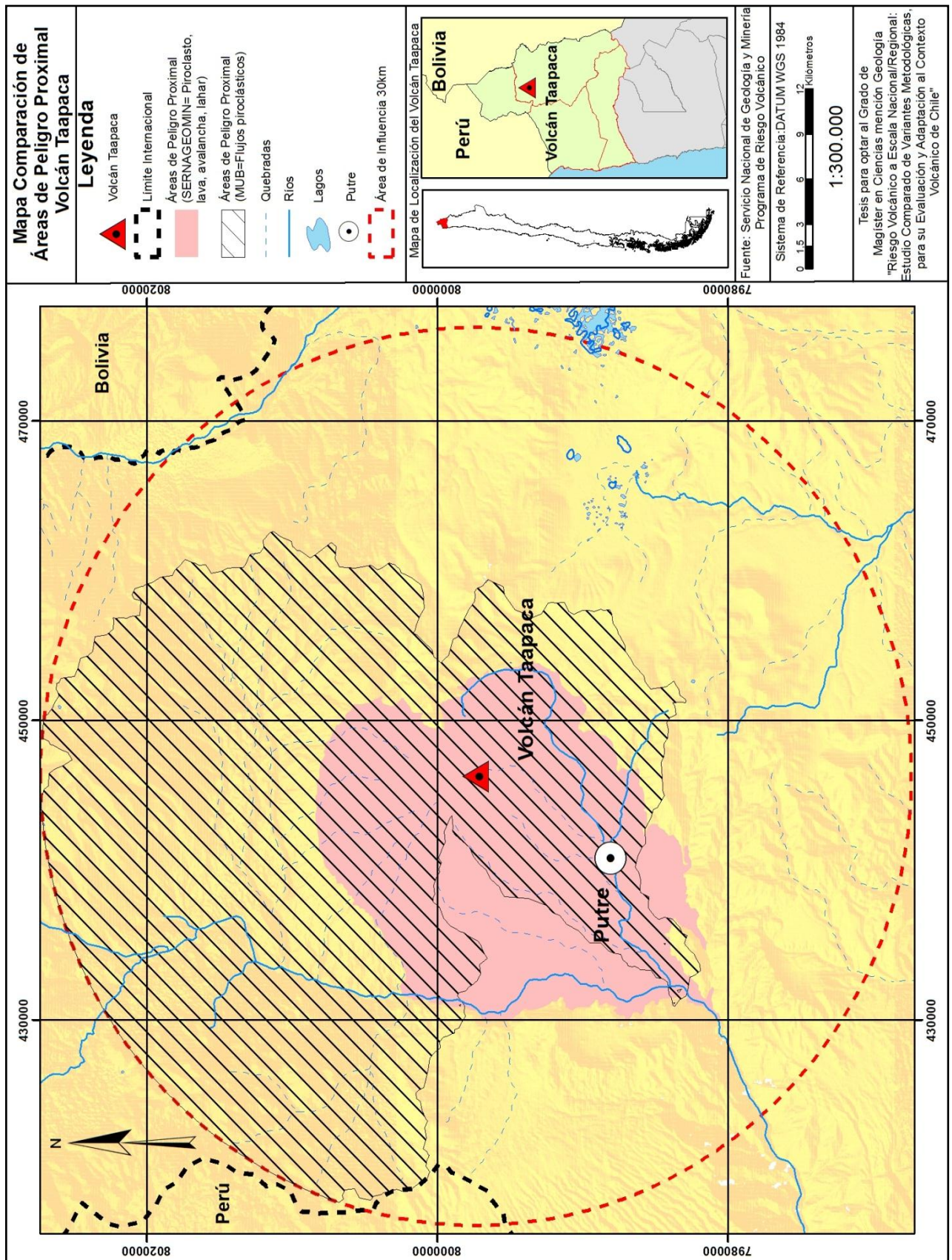


Figura 14: Comparación de las áreas de peligro obtenidas para el Volcán Taapaca

5.1.2.- Resultados de ambas metodologías volcán Villarrica.

A continuación se expone en detalle los resultados de la evaluación de riesgo para el volcán de Villarrica aplicando la MUB y los resultados de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

5.1.2.1.-Evaluación del peligro del volcán Villarrica, con la metodología de la Universidad de Bristol

Al considerar al volcán Villarrica para este análisis se puede clasificar dentro del nivel de peligro alto (3) y un nivel de incerteza bajo (1), ya que es uno de los volcanes con mayor frecuencia eruptiva del país lo que incide en su alta peligrosidad y que además esté frecuentemente monitoreado, lo cual justifica su baja incerteza en la información disponible para su evaluación.

Considerando la información histórica disponible de erupciones para el volcán Villarrica, la que ha sido obtenida de la Smithsonian Institution y de su página de internet <http://www.volcano.si.edu/>, es posible obtener los siguientes valores de peligro, según indica la Tabla 29.

Tabla 29: Evaluación de peligro del volcán Villarrica

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1= El volcán ha sido clasificado por SERNAGEOMIN como un estratovolcán	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1= El volcán posee un glaciar en su cráter	--
Flujo Piroclástico	2= Los flujos piroclásticos han sido bien descritos en la historia eruptiva del volcán	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.
Peligro de Lahar	2= Los lahares han sido bien descritos en la historia eruptiva del volcán	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.
Flujo de lava	0,2= Los flujos de lava han sido bien descritos en la historia eruptiva del volcán	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.
Numero de Subcaracterísticas	0,2= corresponde al valor que adquiere por los diferentes nombres o cráteres que posee el volcán villarrica	--
Máximo IEV	3= El máximo IEV registrado para el volcán Villarrica es de un valor 5 (fuente: www.volcano.si.edu), con lo cual se le asigna este valor.	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.
Frecuencia de la Erupción	4= Debido a la gran cantidad de erupciones registradas del volcán Villarrica, cuando son más de 21 adquiere un valor de	0= El volcán es uno de los más estudiados en Chile, por lo que la fuente de los datos principal es el SERNAGEOMIN.

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
	peligro 4	
Sumatoria total de peligro	13,4	0

Como se observa en la Tabla 29, los factores de peligro suman 13,4, el nivel de peligro del volcán Villarrica de acuerdo a la metodología es de valor 3 según los valores de la Tabla 3, que además establece una categoría de peligro alto.

Su valor de incerteza de "0" le asigna un nivel 1, que según la Tabla 7, le corresponde una categoría de incerteza baja.

Una vez realizado la valoración se sintetiza de la siguiente manera:

Nivel de Peligro = 3 Alto

Nivel de Incerteza = 1 baja

5.1.2.2.-Evaluación de la exposición del volcán Villarrica

Continuando con la evaluación, corresponde incorporar los valores de la población que han sido estimados por el LandSacan, en donde cada píxel (30x30 metros) posee un valor determinado de población.

Para el caso del volcán Villarrica, se han realizados dos buffer de acuerdo a la metodología de la Universidad de Bristol. El primero es de una circunferencia de 10 km de radio y el segundo es de 30 km de radio.

Área de influencia de 10 km:

-Personas que viven a menos de 10 km del Volcán

1.035 personas

Multiplicando la cantidad de personas por el coeficiente de 0,9375, que ha sido calculado en la metodología se obtiene la siguiente cantidad de población ponderada:

Población Ponderada	970,3125
----------------------------	-----------------

Área de Influencia de 10-30 Km:

-Personas que viven entre 10 a 30 Km del Volcán

38.454 personas

Multiplicando la cantidad de 38.454 personas por el coeficiente de 0,0625, que ha sido calculado en la metodología se obtiene la siguiente cantidad de población ponderada:

Población Ponderada	2.403,375
----------------------------	------------------

Suma Población Ponderada: **970,3125 + 2.403,375 = 3.374 personas**

Con el valor de la población ponderada de 3.374 personas, es posible obtener el índice de exposición de población que se detalla en la Tabla 8, el que alcanza un valor 1.

Con este índice, se obtiene el nivel de exposición para el volcán Villarrica, el cual alcanza el nivel 2 (Medio), según los datos de la Tabla 9.

Una vez obtenido los valores de peligro (Nivel 3-Alto) y el de exposición (Nivel 2-Medio), es factible realizar la evaluación del riesgo volcánico.

5.1.2.3.-Evaluación del riesgo del volcán Villarrica

Considerando que el peligro del volcán Villarrica es de un nivel 3 y su índice de exposición es de 1, se puede determinar según la Tabla 30,

Tabla 30: Nivel de riesgo volcánico del volcán Villarrica

Índice de Exposición de Población	Nivel de Peligro		
	1	2	3
0, 0.5	1	1	1
1	1	2	2
1.5	1	2	3
2	2	2	3
2.5,3	2	3	3

que el nivel de riesgo del volcán Villarrica es 2 (Media) ya que su nivel de peligro 3 y la gran cantidad de personas que habitan en las cercanías del volcán Villarrica influye en que su nivel de peligro sea medio (2). En cuanto a su nivel de incerteza, es bajo (1), ya que el volcán se encuentra en constante monitoreo por el SERNAGEOMIN lo que favorece a que sus registros históricos sean de gran calidad informativa.

Nivel de Riesgo del Volcán Villarrica
2

5.1.2.4.-Evaluación de la capacidad de monitoreo de riesgo volcánico

Respecto a la capacidad de monitoreo que posee el volcán Villarrica, es posible apreciar en la Tabla 31, que tanto su frecuencia de monitoreo como su cercanía a una red sísmica (15 km), es de un valor 3 o sea un nivel alto, ya que éste se encuentra monitoreado continuamente por el SERNAGEOMIN.

Tabla 31: Valores de monitoreo volcánico del volcán Villarrica

F. Monitoreo (FM)	Inceteza	Red Sísmica (RS)	Inceteza
3	0	3	0

Al sumar ambos valores se obtiene un valor de 6 que implica que su nivel de monitoreo sea 3 (Alto), según se observa en la Tabla 32.

Tabla 32: Nivel de monitoreo volcánico del volcán Villarrica

Sumatoria (FM+RS)	Nivel Monitoreo
6	3

Mientras que su nivel de incerteza es 0 (cero) siendo un nivel bajo, tal como se aprecia en la Tabla 33, ya que está monitoreado de manera constante por el SERNAGEOMIN.

Tabla 33: Nivel de incerteza del monitoreo del volcán Villarrica

Sumatoria Incerteza (FM+RS)	Nivel Incerteza
0	Bajo

5.1.2.5.-Análisis frecuencia de magnitud

Este indicador corresponde al período de retorno de las erupciones en base a su magnitud. Para el caso del volcán Villarrica, a diferencia del Taapaca, es posible considerar que su historia eruptiva es bastante nutrida, ya que los registros históricos de sus erupciones se encuentran muy bien detallados, con un amplio registro visual de los eventos. Es por ello que en este caso la estimación del período de retorno de erupciones suele ser un poco más certera, según el cálculo que se ha realizado en la metodología de la Universidad de Bristol, para la región de Sudamérica. Por lo tanto, para el caso del volcán Villarrica los periodos de retorno calculados para la región poseen una mayor validez para las diferentes magnitudes que tuvo o pudiese llegar a tener ya que se asemeja a la realidad eruptiva del volcán, según los valores que se aprecian en la Tabla 34.

Tabla 34: Período de retorno según magnitud para los volcanes explosivos de Sudamérica
Fuente: *Volcano Hazard and Exposure in GFDRR, Countries and Risk Mitigation Measures - GFDRR Volcano Risk Study*”.

Magnitud	Período de Retorno (años)
3	0,6
3,5	1,1
4	2,3
4,5	4,4
5	8
5,5	20
6	42
6,5	110
7	490
8	30.000

Aunque a la fecha el Villarrica no ha presentado un IEV 3, siendo la erupción de 1963 la última con este índice. Por lo que, si bien posee una alta recurrencia eruptiva sus valores de explosividad se encuentran por debajo de los valores calculdos para los volcanes de Sudamérica.

5.1.2.6.-Determinar áreas de peligro del volcán Villarrica

Utilizando el software ArcGis 10 y las diferentes fuentes de información, se han obtenido las cartografías necesarias para determinar las áreas de peligro y de vulnerabilidad.

Localización del volcán Villarrica

Se han creado diferentes mapas para el volcán Villarrica, el primero correspondiente a la Figura 15 en que se observa la ubicación del volcán situado en las cercanías de las localidades de Pucón, Villarrica, Licanray y Coñaripe. Los dos primeros poblados se localizan en la ribera del Lago Villarrica, uno de los centros turísticos más importantes de la zona lacustre de la Región de La Araucanía, mientras que los dos últimos se ubican en la ribera del Lago Calafquén, en donde Licanray pertenece a la comuna de Villarrica y Coñaripe a la comuna de Panguipulli en la Región Los Ríos.

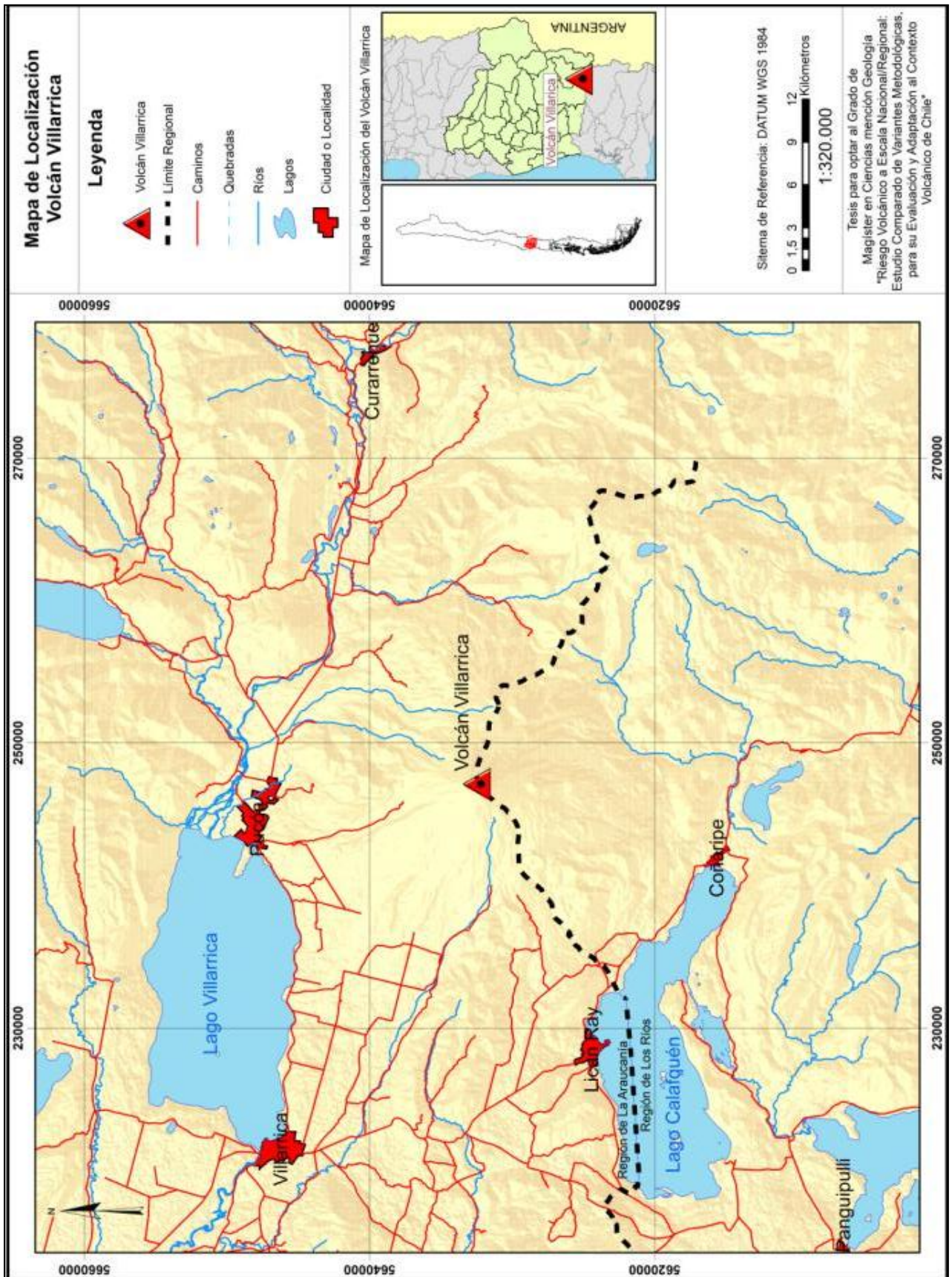


Figura 15: Localización del Volcán Villarrica

Áreas de influencia de peligro

En la Figura 16 se aprecian las áreas de influencia interna (3km) en línea roja continua y el área de influencia externa (30km) con la línea roja discontinua y las cuencas hidrográficas en azul, donde se establecen como área de peligro para la MUB, aquellas cuencas que se encuentran de manera total o parcial dentro del buffer interno de 3 km de acuerdo a la MUB.

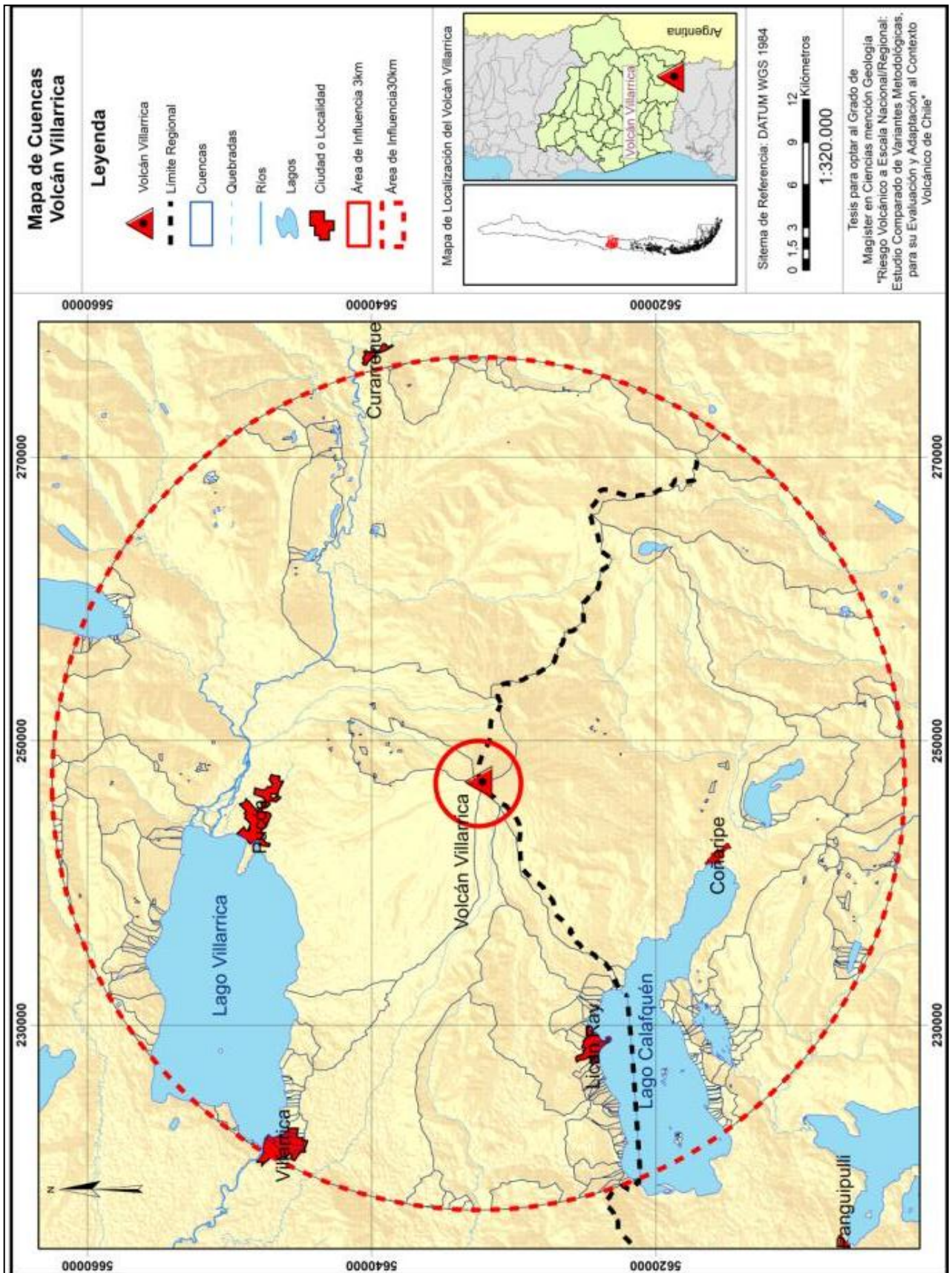


Figura 16: Cuencas en el área de Influencia del Volcán Villarrica, determinadas en base a la MUB.

Zona proximal de peligro del volcán Villarrica

El área de peligro estimado para el volcán Villarrica alcanza una extensión de 1.307,6 Km², que se calcula en base al área de influencia de 3 km y las cuencas hidrográficas que se encuentran dentro de ésta de manera total o parcial, según se aprecia en la Figura 17, en donde aquellas cuencas que no han sido consideradas como de peligro, se pueden considerar como de seguridad. Estas zonas proximales están dadas por los probables flujos piroclásticos que puedan afectar los 30 km alrededor del volcán y que se consideran indistintamente como de peligro alto.

En este caso las ciudades de Pucón, Villarrica y el poblado de Coñaripe, son los que tienen mayor cantidad de habitantes y que se localizan dentro del área de peligro volcánico de flujos piroclásticos. Además, es necesario considerar que dentro de esta área de peligro se incorporan tanto las zonas de valles, lagos, quebradas, que por geomorfología es donde se encauzan los flujos como también considera las zonas altas de lomajes y cerros que en primera instancia por la topografía no serán afectadas por estos flujos, por lo cual al estar considerados en el área proximal se tiende a sobreestimar la extensión de las áreas de peligro asociado al volcán según esta metodología. Por tanto, es necesario corregir esta deficiencia en el método de manera de generar mapas con las áreas que se sean realmente afectadas por algún peligro volcánico de forma de canalizar los recursos hacia las zonas de mayor prioridad.

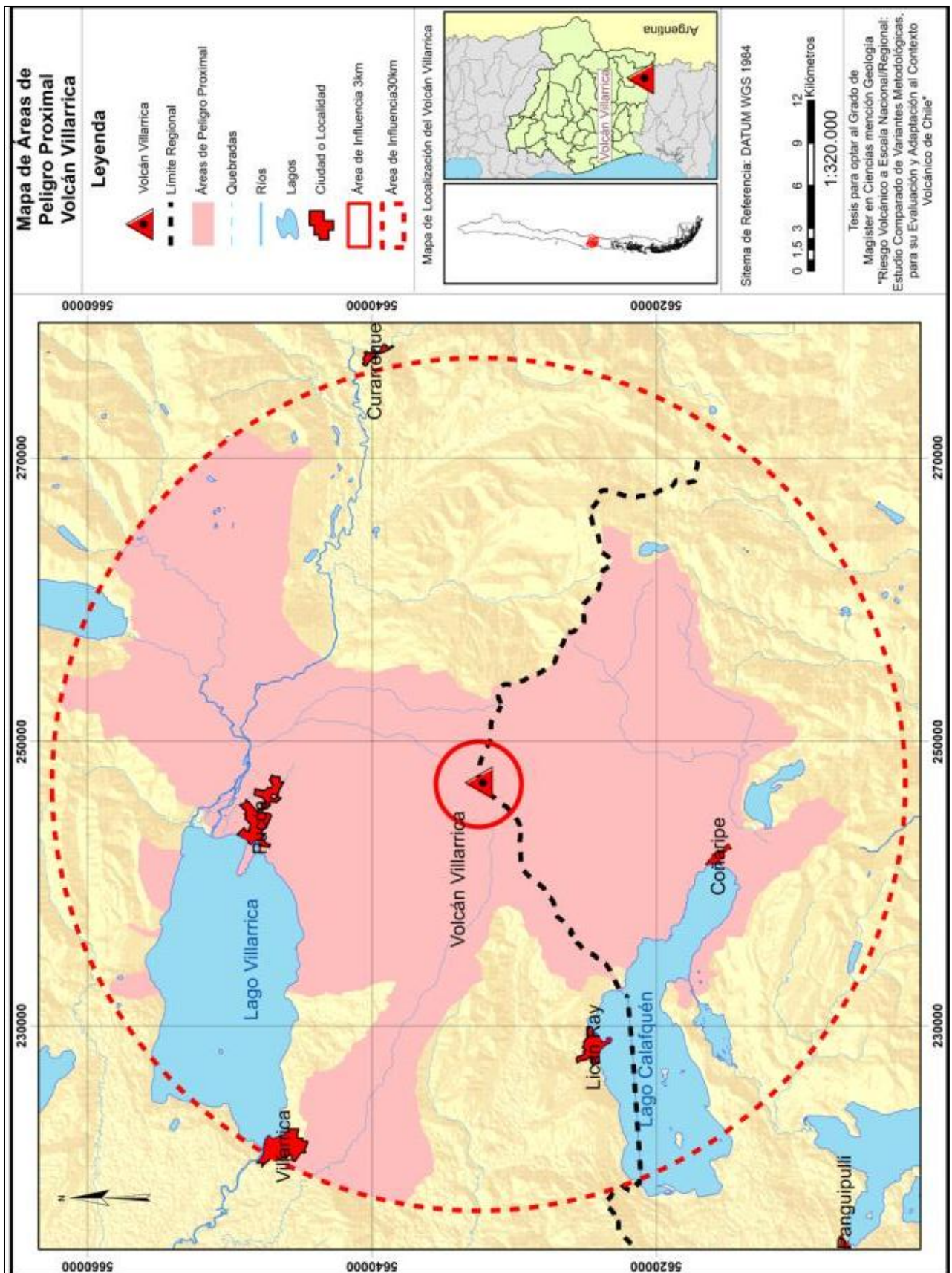
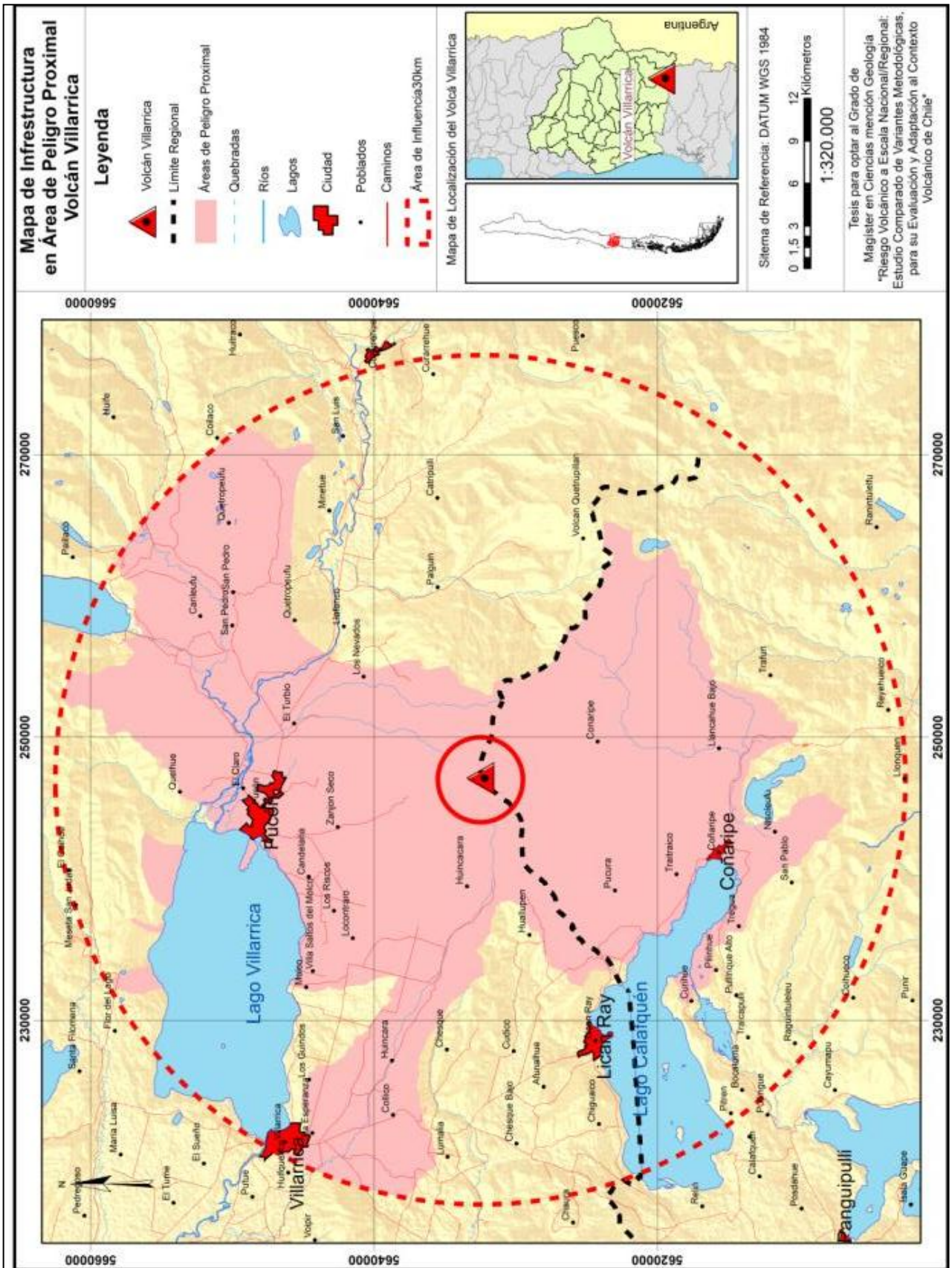


Figura 17: Zona de peligro proximal en el Volcán Villarrica, determinado en base a la MUB.

Infraestructura y poblados en la zona proximal de peligro del volcán Villarrica

La Figura 18 corresponde a la infraestructura que está susceptible de ser afectada por algún peligro volcánico debido a que se encuentran dentro del área potencial de peligro. Los kilómetros de caminos de tierra y pavimento que se hallan en el área de peligro alcanzan una extensión de 319,8 kms de longitud, en tanto las ciudades, pueblos, aldeas y caseríos (entre paréntesis la cantidad de habitantes de cada poblado según estimación del LandScan) que se localizan al interior de esta área de peligro son: Huincacara, Collico, Huincara, Los Nevados, Locontraro, Zanjón Seco, Los Riscos (252), Villa Saltos del Molco(28), La Esperanza, Los Guindos, Candelaria (183), Molco (130), El Turbio, El Claro, San Pedro (187), Quetropeufu, Carileufu, Quelhue, Nisoleufu, Tregua, Llancahue Bajo, Pilinhue, Curihue, Traitraico, Pucura. Además, se incluye el aeropuerto de Pucón que se localiza dentro del área de peligro volcánico.



Población en zona proximal de peligro del volcán Villarrica

La Figura 19 corresponde a la población localizada dentro del área de influencia de 30 km.

Cabe considerar que la zona en que se sitúa el volcán Villarrica se caracteriza por ser turística, la cual ve aumentada su población durante el período estival (Diciembre a Febrero), lo que hace que la población sea variable a lo largo del año, siendo las ciudades de Pucón, Villarrica y Lican Ray las que concentran la mayor cantidad de visitantes durante este período, con una población estimada por el LandScan de 10.295, 4.686 y 1.450 personas respectivamente, a éstos se suman los caseríos más importantes como Los Riscos (252), Villa Saltos del Molco(28), Candelaria (183), Molco (130), San Pedro (187) entre otros, con una población total estimada de 20.657 habitantes que se ubican dentro del área de peligro volcánico de 30 km de radio.

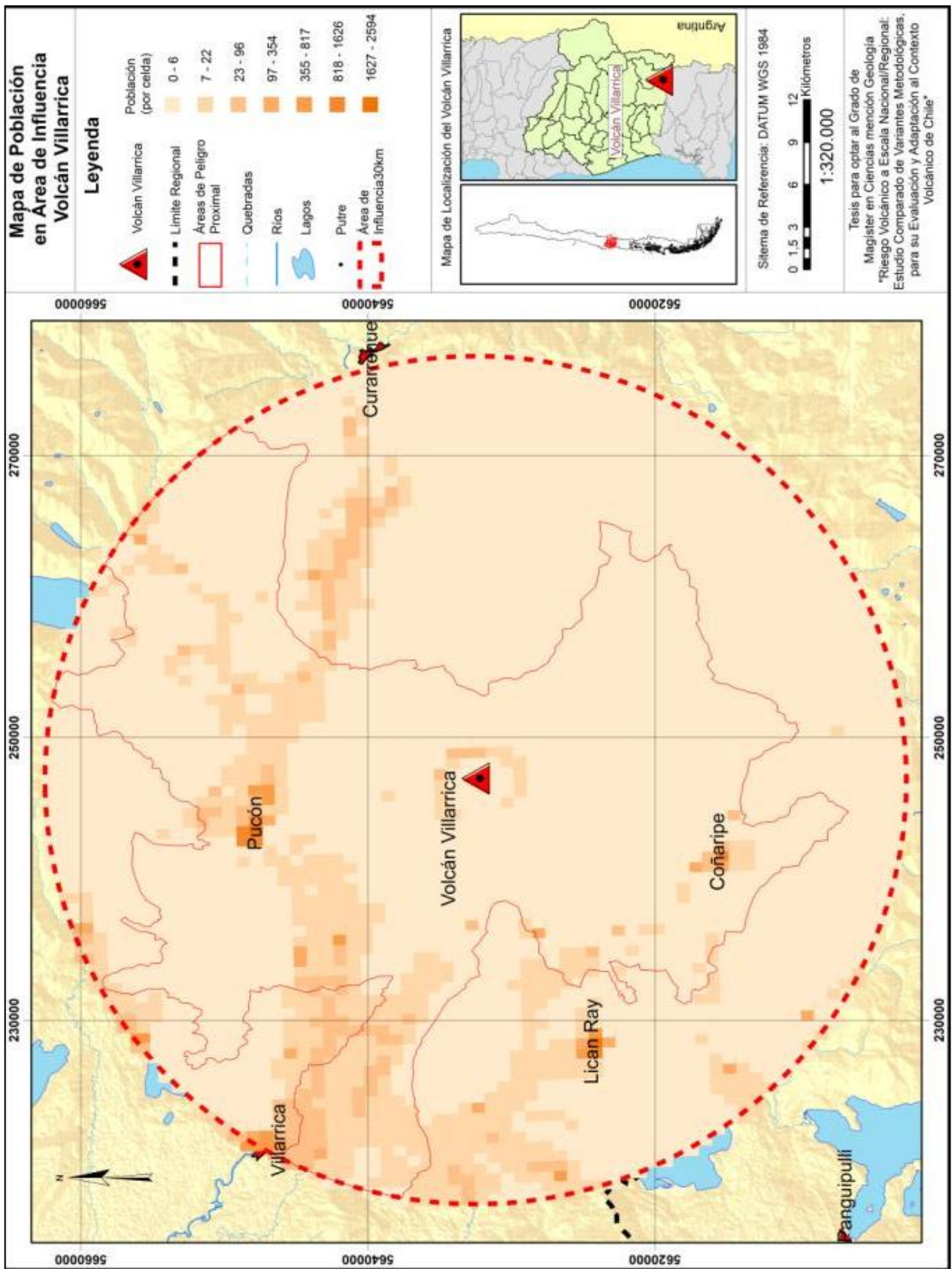


Figura 19 Población en área de influencia de 30 kilómetros del Volcán Villarrica, determinado en base a la MUB.

Zonas de peligros proximales y distales del volcán Villarrica

Las áreas de peligro proximal y distal han sido estimadas en base al método utilizado por la MUB. De esta forma las áreas de peligro proximal corresponden a aquellas que pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y se determina por la cuencas hidrográficas que se encuentran completamente o en parte dentro del buffer interno de 3km y con una extensión máxima de 30 km de radio; mientras que las áreas de peligro distales corresponden a aquellas que pueden ser afectadas por lahares y se determinan con las cuencas que se encuentran dentro del buffer interno de 10 km en el área de influencia máximo de 100 km.

Estas zonas alcanzan grandes extensiones territoriales con un área para el peligro de lahar de 6.949,6 Km² y de 1.307,6 Km² para piroclastos, que incluye tanto valles, montañas como zonas lacustres, según se aprecia en la Figura 20.

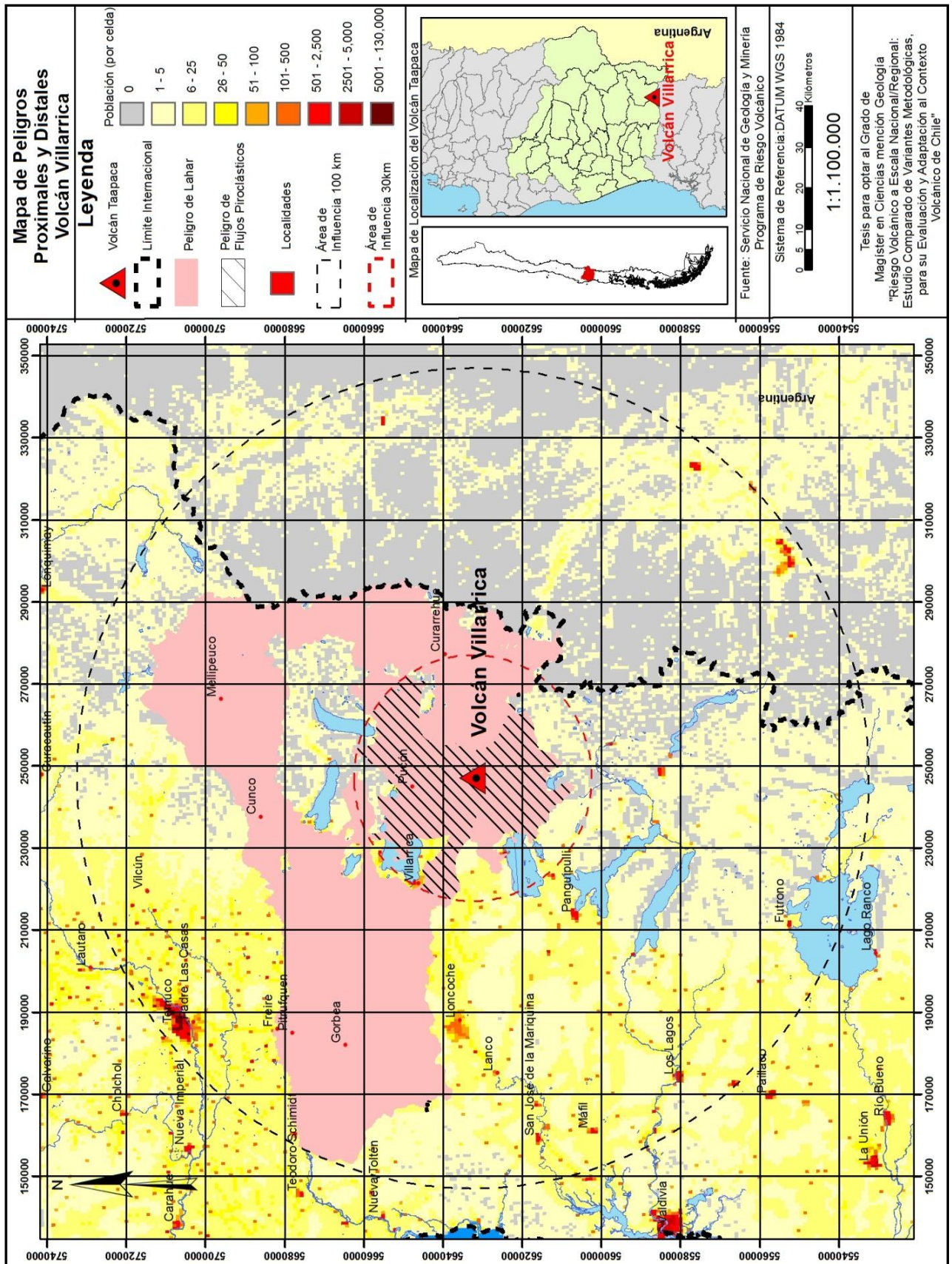


Figura 20: Zona de peligros proximales y distales del Volcán Villarrica, determinados en base a la MUB.

Ante este análisis, es posible mencionar que existen varios poblados que son susceptibles de ser afectados por algunos de los peligros volcánicos, aunque los más importantes corresponden a Pucón, Villarrica y Licanray. Debido a alta cantidad de habitantes cercana al volcán, su nivel de exposición es 2 (Medio) y el peligro alcanza un nivel 3 (Alto), lo que produce un nivel de riesgo 2 (Medio) según la Tabla 10 (ver 3.1.3). Además, es necesario considerar que la infraestructura que puede ser afectada corresponde a los caminos y al aeropuerto de Pucón, los que se pueden ver amenazados tanto por flujos piroclásticos como por peligros de lahar.

5.1.2.7.-Evaluación del riesgo del volcán Villarrica, con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN

Los datos que se exponen corresponden a la evaluación de riesgo realizado por el SERNAGEOMIN, en la publicación “Peligros Volcánicos de Chile, 2011”, en la que para determinar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo, se realizó un análisis para determinar los valores que pueden alcanzar (Lara, L., Febrero de 2014, comunicación personal), lo cual depende de la calidad de la información y del registro de sus erupciones, con lo cual se obtienen los valores que se detallan en la Tabla 35, que se observa a continuación.

Tabla 35: Evaluación del riesgo del volcán Villarrica, NVEWS-SERNAGEOMIN
Fuente: Peligros Volcánicos de Chile (2011).

Factores	Villarrica
Tipo de Volcán(0-1)	1
Máximo IEV(0-3)	1
Actividad Explosiva < 500 años (0-1)	1
Actividad Explosiva < 5000 años (0-1)	1
Recurrencia Eruptiva (0-4)	4
Ocurrencia de flujos piroclásticos en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lavas en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lahares en el Holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de tsunamis en el Holoceno (0-1)	1
Potencial de explosiones hidrotermales (0-1)	0
Potencial de colapso de flanco (0-1)	0
Potencial de generación de Lahares (0-1)	1
Actividad sísmica (0-1)	1
Deformación (0-1)	0
Desgasificación (0-1)	1
Subtotal de Factores de Peligro	15
Log10 Población en zona de alto peligro	4,7
Log10 Población en zona distal	0
Víctimas Fatales (0-1)	1
Evacuaciones (0-1)	0
Exposición de la aviación local (0-2)	2

Factores	Villarrica
Exposición de la aviación regional (0)	0
Infraestructura energética (0-1)	1
Infraestructura de transportes (0-1)	1
Áreas de desarrollo o protección (0-1)	1
Islas Oceánicas (0-1)	0
Subtotal Factores de Vulnerabilidad	10,7
TOTAL RIESGO (Peligro * Vulnerabilidad)	159,98

Como se observa en el detalle de la Tabla 35, el valor total de peligro que alcanza el volcán Villarrica es de 15 y el valor total de los factores de vulnerabilidad alcanza un valor de 10,7. Estos dos valores, se multiplican y con ello se obtiene la valoración del riesgo que alcanza un valor de **159,98 (Muy Alto)**.

5.1.2.8.-Área de peligro proximal en volcán Villarrica

El área de peligro se ha calculado en base a la metodología de Servicio Nacional de Geología y Minería, la que se ha logrado representar en base a lo que se aprecia en la Figura 21, en ésta se puede observar un área de peligro proximal de menor tamaño en comparación a la metodología anterior, ya que considera principalmente zona de valles y quebradas, la que se puede ver afectada por lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas. Aunque de igual manera las localidades de Pucón, Licanray, Coñaripe quedan situadas dentro del área de peligro la cual posee una extensión de 1.532,42 Km².

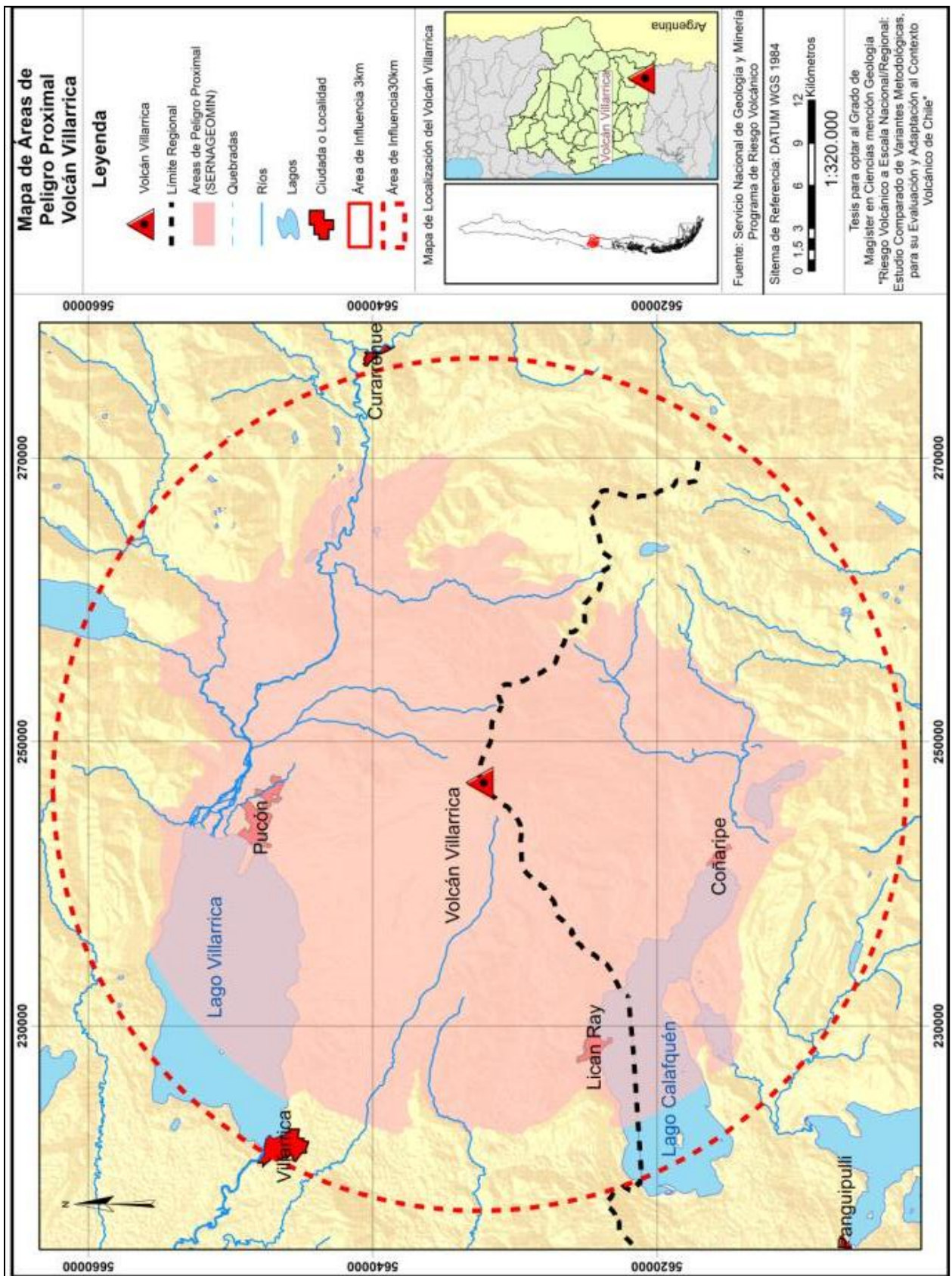


Figura 21: Zona de peligro proximal del Volcán Villarrica, determinada en base a la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

5.1.2.9.-Infraestructura en zona proximal de peligro del volcán Villarrica

En cuanto a la infraestructura susceptible dentro del área de peligro, se puede establecer que la cantidad de kilómetros de caminos que pueden ser afectados es de 456,64 km de longitud, mientras que los poblados y caseríos que se ubican dentro del área de peligro tal como se aprecia en la Figura 22, según datos del CENSO 2002, su población alcanzan la cantidad de 18.115 habitantes. Entre las localidades y sectores más importantes que se encuentran dentro del área de peligro se cuentan: Nisoleufu, Pullinque Alto, Llancahue Bajo, Coñaripe (1.416), Pilinhue, Curihue, Traitraico, Pucura, Licanray (2.169), Afunalhue, Huallupen, Cudico, Huincacara, Chesque, Palguin, Collico, Huincara, Los Nevados, Locontraro, Llafenco, Zanjón Seco, Los Riscos (252), Minetue, Villa Saltos del Molco (28), Los Guindos, Candelaria (183), Molco (130), Quetropeufu, El Turbio, Pucón (13.750), El Claro, San Pedro (187), además del aeropuerto de Pucón

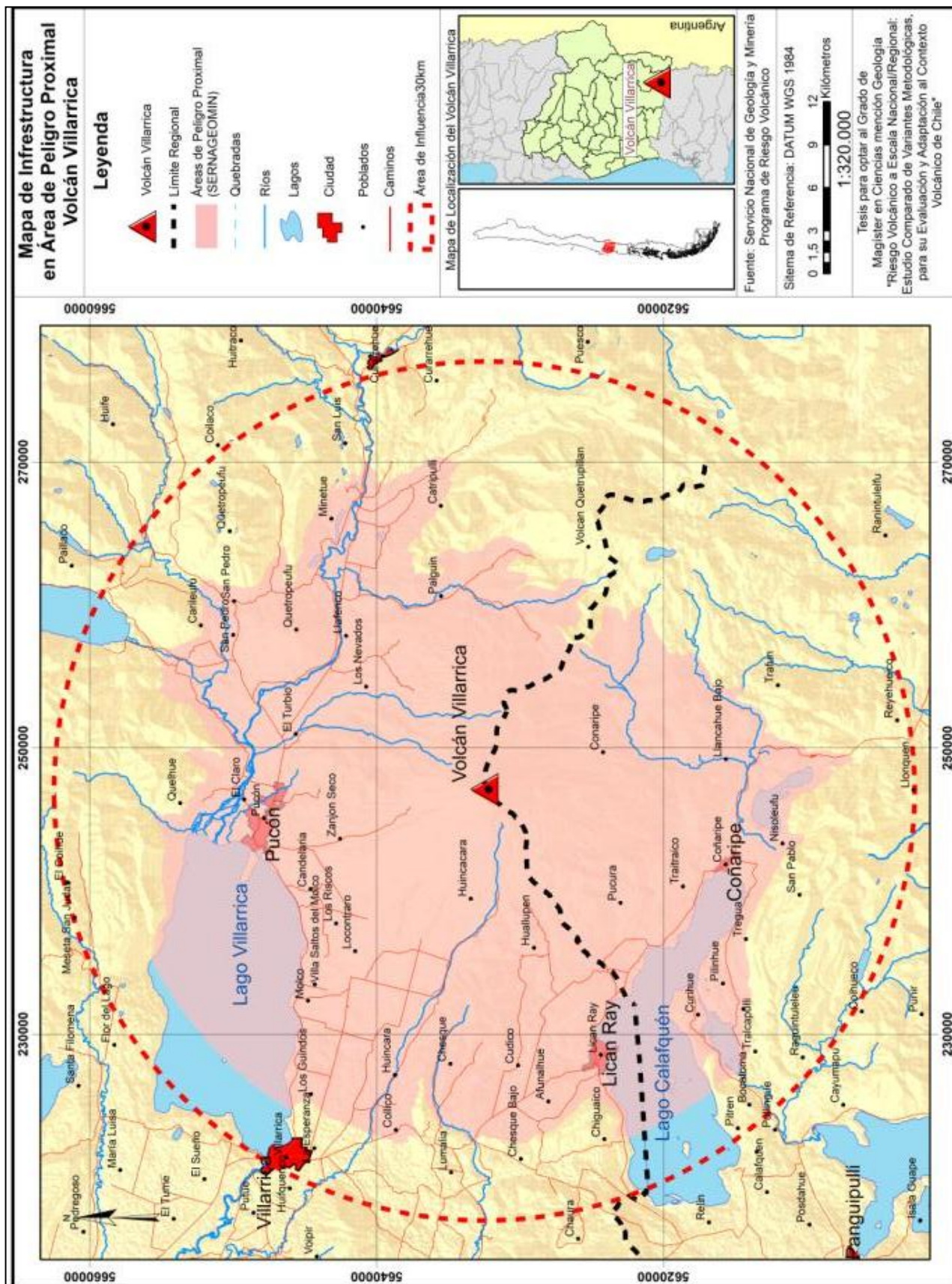


Figura 22: Infraestructura y localidades en zona de peligros proximales del Volcán Villarrica

5.1.2.10.-Comparación de las áreas obtenidas

En cuanto, a la comparación de las áreas de peligro del volcán Villarrica, para flujos piroclásticos el área de peligro proximal se estima en 1.307,61 km² de extensión, en tanto que la zona de peligro distal de lahar alcanza una superficie de 6.949,57 Km² con la MUB. Mientras que en la metodología del NVEWS-SERNAGEOMIN el área calculada para peligros proximales de lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas, se estima en 1.532,42 km² y que es posible observar en la Figura 23.

De esta manera las áreas de peligro proximal del volcán Villarrica son más homogéneas en ambas metodologías para el caso de los flujos piroclásticos, ya que tienen una extensión superficial casi similar, de 1.307,6 Km² para la de la Universidad de Bristol y de 1.532,42 Km² para la NVEWS-SERNAGEOMIN, sin embargo, la forma en que se evalúa la zona de peligro es diferente ya que en la MUB se considera el área de las cuencas hidrográficas mientras que con el método H/L tiene forma radial. No obstante, la superficie que alcanza las zonas con peligros de lahar es demasiado extensa (6.949,57 km² para la MUB) lo cual ha sido sobreestimada, ya sea por considerar montañas y valles así como también, por presentar una zona de influencia de 100 km de radio lo cual incide en su sobreestimación superficial.

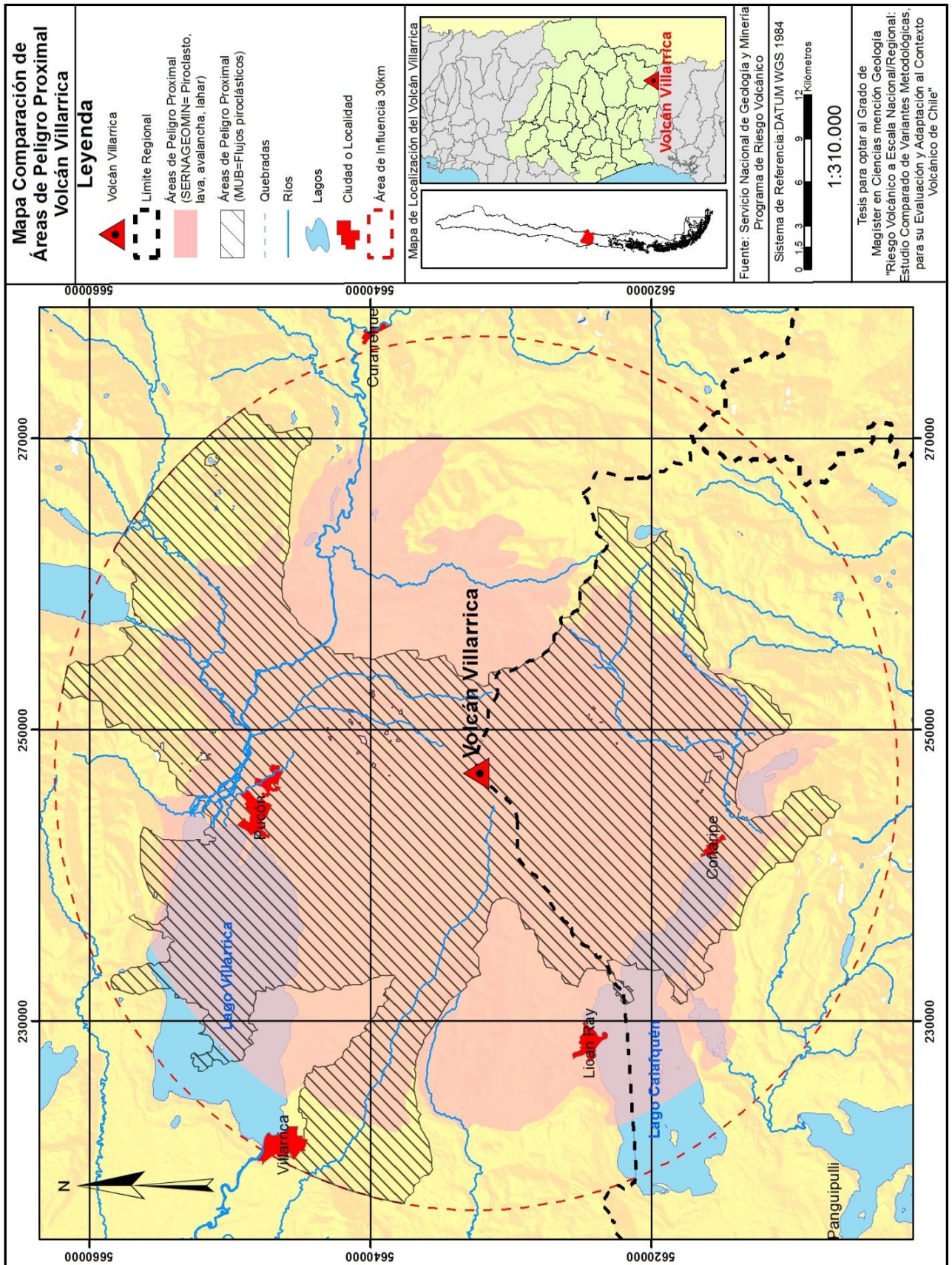


Figura 23: Comparación de las áreas de peligro obtenidas para el Volcán Villarrica

En la Tablas ANEXO II y ANEXO III, es posible observar el detalle para cada uno de los volcanes con su nivel de peligro, incerteza, exposición, su nivel de riesgo en base a los resultados que se han obtenido en esta Tesis utilizando la metodología de la Universidad de Bristol. Además, se detallan los valores de la frecuencia de monitoreo con su incerteza, la cercanía a una red sísmica con su incerteza, la sumatoria de estos dos factores de monitoreo y el nivel que alcanza cada uno de éstos, datos fueron obtenidos en base a la metodología de la Universidad de Bristol aplicada para los 90 volcanes activos de Chile en esta investigación.

5.2.- Comparación de ambas metodologías mediante los estudios de casos

Para realizar la comparación de los resultados de ambas metodologías, además de graficar los datos de todos los volcanes para contrastar las áreas de peligro y los valores de peligro y vulnerabilidad, también se han utilizado los casos de estudio del volcán Taapaca y volcán Villarrica, de manera de tener un contraste de un volcán con una baja o nula actividad eruptiva versus un volcán con una frecuente actividad, respectivamente.

5.2.1.-Comparación de los niveles de peligros

Dentro de cada una de las metodologías estudiadas se han incorporado diferentes factores que inciden en que cada volcán tenga ciertos niveles de peligro, a los cuales se le asigna un puntaje según sus características. Luego se realiza una sumatoria con el que se obtiene el nivel de peligro total para cada caso.

En la metodología de la U. de Bristol se consideran 8 factores, entre los que se cuentan el Tipo de volcán, presencia de agua o hielo en cráter, flujo piroclástico, lahares, máximo IEV, frecuencia de erupciones, flujo de lava, numero de subcaracterísticas. Comparado con los factores utilizados en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, coincide con los siete primeros factores del método anterior agregándose a la metodología del Servicio la actividad explosiva menor a 500 años y mayor a 5.000 años, ocurrencia de tsunamis, potencial de explosiones hidrotermales, potencial de colapso de flanco, actividad sísmica, deformación y desgasificación.

Si bien la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN posee una mayor cantidad de factores que la hacen ser más completa, en ambos métodos se utilizan fuentes de información como los registros históricos, crónicas, datos, investigaciones científicas, entre otras. No obstante, esto genera un cierto grado de incerteza, la cual se encuentra cuantificada dentro de la metodología de la Universidad de Bristol y que se obtiene a partir de los factores descritos anteriormente. Ésta puede alcanzar valores de entre 0 y 3,5, las cual va a depender de la calidad y cantidad de la información histórica disponible.

Además, la MUB puede alcanzar un valor máximo de peligro de 14,55 puntos, en tanto la segunda NVEWS-SERNAGEOMIN alcanza un valor máximo de 20 puntos. Esto hace que cada método tenga, además de diferentes factores a evaluar, distintos parámetros de valorización. Todo esto depende de la calidad y cantidad de información histórica disponible, ya que si bien en el país existen 90 volcanes activos, solamente 43 se encuentran en constante monitoreo, por lo que los 47 restantes poseen una escasa información para realizar una adecuada evaluación de riesgo

En cuanto a los resultados obtenidos para el caso del volcán Taapaca, con la metodología de la Universidad de Bristol se puede establecer que su ranking de *peligro* es el número 25, en tanto que con su nivel de *peligro* en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN se ubica en el lugar 16, lo cual se puede justificar por la diferencia en los factores utilizados en cada una de las metodologías y su rango de valores, ya que la MUB utiliza solamente 8 factores de peligro poseyendo un mayor valor de peligro el de recurrencia eruptiva y el de IEV máxima, lo que por la escasa información disponible de este volcán incide en que su valor de peligro sea bajo, mientras que la metodología del SERNAGEOMIN utiliza 15 factores lo que incide en que su valor de peligro sea más alto ya que tiene más opciones de adquirir un valor de peligro más alto, con factores como desgasificación o potencial de generar lahares (ver Anexo IX).

En cuanto al nivel de *peligro* del volcán Villarrica, en la MUB se sitúa en la posición número 3, esto es debido a que es un volcán que posee un alto nivel de monitoreo e información actualizada a causa de su continua actividad volcánica. En cambio en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN se ubica en el cuarto lugar de peligrosidad, según el ranking 2011 del SERNAGEOMIN (ver Anexo IX), por lo que la alta cantidad de información permite que sus valores de peligro sean similares en ambas metodologías.

En el Anexo IV y Anexo V, se indica en detalle los factores de peligro y su valor asociado, el cual depende de la información disponible, en base a la aplicación de la metodología de la Universidad de Bristol y NVEWS-SERNAGEOMIN, respectivamente, con el cual al sumarlos se obtiene el valor de peligro total para cada uno de los volcanes activos de Chile.

Cabe considerar que aquellos volcanes que no poseen valores en sus factores de peligro, se debe a que para cuando se realizó la evaluación en el año 2011, por parte de SERNAGEOMIN, éstos no estaban considerados dentro del listado de volcanes activos de Chile.

5.2.2.-Comparación de los niveles de vulnerabilidad

Para el caso de la vulnerabilidad la metodología de la Universidad de Bristol utiliza únicamente la cantidad de población que vive en los alrededores del volcán para sus dos áreas de influencia. La cantidad de población que se ubica dentro de los primeros 10 km alrededor del volcán se multiplica por el factor 0,9375, situación que para el caso de Chile la cantidad de habitantes no se ve demasiado afectada en su valor, no obstante para la población que vive entre los 10 hasta los 30 km alrededor del volcán se multiplica por el factor 0,0625, lo cual afecta considerablemente al valor final de población ya que en primer lugar dicho coeficiente es demasiado bajo y en segundo término la mayor cantidad de población habita a más de 30 km de los volcanes, lo cual no incide demasiado en el valor de población considerando que los valores finales en su mayoría son menores a 3.000 personas, que corresponde a un índice de exposición de 0,5, de un rango entre 0 a 3, según la Tabla 8. De esta forma, existen 85 volcanes que poseen un índice de exposición de 0,5 y el volcán Monte Burney posee un índice de exposición de 0, ya que no presenta habitantes a su alrededor; mientras que los volcanes Villarrica, Isla de Pascua, Fui y Calbuco poseen un índice de exposición de 1, ya que la población en éstos habita mayoritariamente dentro de los 10 km de radio superando los 3.000 habitantes, calculados en base a la herramienta LandScan.

En cuanto a los casos de estudios analizados, para el caso del volcán Taapaca la *vulnerabilidad* calculada con la MUB lo ubica en el lugar número 57, en cambio en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN la *vulnerabilidad* lo sitúa en el lugar número 25, lo cual hace que exista una diferencia de más de treinta posiciones al comparar ambas metodologías situación que se ve influenciada por la diferencia de factores que se consideran en cada una de éstas para evaluar la vulnerabilidad. Esta diferencia se debe a que la MUB considera únicamente la cantidad de población como su factor de vulnerabilidad mientras que la del SERNAGEOMIN además de considerar a la población en zonas de peligro distal y proximal también incluye la infraestructura, zonas de protección y antecedentes históricos que hayan generado consecuencias en la población como las evacuaciones y fatalidades, siendo el factor más importante en esta metodología el de cantidad de población (n) ya que su valor de peligro se estima de acuerdo al $\text{Log}_{10}(n)$ lo que genera que su valor sea variable en cada volcán y que en el caso del volcán Taapaca se ve aumentado a causa de la proximidad del poblado de Putre con el macizo volcánico.

En el caso del volcán Villarrica los valores de *vulnerabilidad* de la MUB ocupa el lugar número 4, mientras que en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN ocupa el lugar número 2, por lo que la evaluación de la *vulnerabilidad* en ambos métodos es muy similar. Esto se explica a causa de que el factor de población que habita alrededor del volcán es el que posee una mayor ponderación en ambas metodologías para el caso del Villarrica, lo cual incide que su nivel de vulnerabilidad sea alto (Anexo IX).

El Anexo VI, se muestra en detalle la cantidad de población que habita en el área de influencia de 10 kilómetros, luego la que se emplaza entre los 10 hasta 30

kilómetros. Estos dos valores se multiplican por su coeficiente con el cual se obtiene la población ponderada total que habita dentro de los 30 kilómetros de radio alrededor de cada volcán aplicando la MUB.

En tanto en el Anexo VII se aprecian los diferentes factores que se consideran para obtener la vulnerabilidad y el valor asociado a cada uno de ellos en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN siendo el de mayor importancia el de población, ya que entrega valores más altos. En esta tabla se encuentran el detalle de todos los volcanes activos de Chile, sin considerar aquellos que fueron agregados después de la evaluación que realizó el Servicio Nacional de Geología y Minería en 2011.

5.2.3.-Comparación de los niveles de riesgo

Al comparar el ranking de riesgo se puede apreciar que cada método utiliza diferentes maneras para estimar su valor, ya que la metodología de la Universidad de Bristol realiza la estimación de peligro con diferentes factores mientras que la vulnerabilidad solamente utiliza la cantidad de población, con ello se obtienen diferentes niveles de peligro y exposición, luego los niveles de ambos se “multiplican” según la Tabla 10, con lo cual se obtiene el nivel final de riesgo que va desde el 1 hasta el 3.

En tanto con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, se obtiene el riesgo en base a los puntajes de los diferentes factores de peligro los cuales se suman. Además, el valor de vulnerabilidad se obtiene con la cuantía de sus factores los cuales también se suman. Una vez obtenidos los valores para ambos, se “multiplican” y con ello se obtiene el nivel de riesgo obteniendo un valor bruto, el cual se agrupa dentro de cinco niveles de riesgo, Muy Alto (5). Alto (4), Medio (3), Bajo (2) y Muy Bajo (1).

De esta manera es posible considerar que en la MUB existen tan solo 4 volcanes con riesgo nivel 2, lo cual está condicionado por que poseen un nivel de exposición 2, mientras que los 86 volcanes restantes poseen un nivel de riesgo 1 ya que si bien muchos de éstos tienen un nivel de peligro alto (3) el bajo nivel de exposición (1) provoca que su nivel de riesgo sea bajo.

Para el caso de la metodología del Servicio Nacional de Geología y Minería los volcanes que se encuentran dentro del nivel de mayor riesgo (5) corresponden a doce. Al realizar la comparación de los quince primeros volcanes de los rankings de cada una de las metodologías es posible encontrar que tan solo ocho volcanes coinciden dentro de estos primeros quince lugares de riesgo, aunque en diferentes órdenes.

Para el caso del nivel de riesgo del volcán Villarrica, éste en la MUB se ubica segundo en tanto que en el método del SERNAGEOMIN se ubica en el primer lugar en el ranking 2014. Mientras que para el caso del volcán Taapaca para la MUB su nivel de

riesgo se encuentra en el lugar 27, en tanto que en el método NVEWS-SERNAGEOMIN se ubica en el lugar 22 del ranking (2014) de riesgo (ver ANEXO XI). Es necesario aclarar que los niveles de riesgo obtenidos con la MUB son en tres niveles (1 = bajo peligro; 2= medio peligro; 3= alto peligro) y no con valores absolutos como en la NVEWS-SERNAGEOMIN. Es ante esto, que para poder hacer comparables los resultados de ambas metodologías es que en la primera se ha utilizado la sumatoria del valor de peligro de cada volcán en función de la cantidad de población ponderada, de manera de poder hacer comparables sus rankings, aunque posicionando en los primeros lugares a los volcanes Villarrica, Fui, Calbuco e Isla de Pascua, que son los que poseen un nivel de riesgo medio (2) mientras que los 86 restantes poseen un nivel de riesgo bajo (1).

De este modo es posible obtener diferentes clasificaciones de riesgo para un mismo volcán con estas dos metodologías, lo cual está condicionado esencialmente en el tipo y cantidad de los factores que se consideran para evaluar el riesgo y la calidad de la información disponible para realizarla. La MUB utiliza solamente ocho factores de peligro y un factor de vulnerabilidad mientras que la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN utiliza 15 factores de peligro y 10 factores de vulnerabilidad, a esto se le agrega que cada factor puede adquirir diferentes valores de peligro o vulnerabilidad ya que poseen diferentes ponderación y diferentes criterios para evaluar el peligro o vulnerabilidad, como es el caso de la cantidad de erupciones, del IEV o de la presencia de lava o lahares, y que es ponderada de diferente manera en cada metodología, lo que produce en muchos casos una disímil evaluación del riesgo en un mismo volcán.

En el Anexo II se hace un resumen del nivel de peligro, nivel de incerteza y nivel de exposición de cada volcán, con lo cual se obtiene su nivel de riesgo final, basado en la aplicación en esta Tesis de la metodología de la Universidad de Bristol.

En el Anexo VII, se aprecia en detalle el valor de riesgo total para cada uno de los volcanes evaluados con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, pero de la evaluación del año 2011, mientras que en el Anexo XI aparecen los resultados de la actualización realizada por SERNAGEOMIN para el año 2014.

5.3.-Análisis comparativo de los resultados totales de las metodologías

En base a los resultados de los diferentes valores de peligro y vulnerabilidad se ha obtenido el riesgo volcánico, utilizando la MUB y NVEWS-SERNAGEOMIN, los cuales son comparados en este capítulo.

5.3.1.-Niveles de Peligro

Para realizar el análisis comparativo de los valores de peligro, tanto con los resultados de la metodología de la Universidad de Bristol como los de NVEWS-

SERNAGEOMIN, es necesario transformar los resultados de sus valores de peligro máximo a porcentaje de manera de hacerlos comparables. En el primer método su máximo valor de peligro puede alcanzar los 14,55, en tanto en el segundo método su valor máximo de peligro posible es de 20, por lo cual los valores que se presentan en el Gráfico 4, están expresados en porcentajes en relación del máximo valor de peligro de cada metodología.

De esta manera es posible distinguir una diferencia entre los resultados de los valores de peligro de ambas metodologías. En azul se observan los valores para la metodología de la Universidad de Bristol, que en su gran mayoría muestra que los volcanes de la zona del norte de Chile poseen valores menores de peligro en comparación a los de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN que está en rojo. En cuanto a la zona centro-sur y austral de Chile esta situación cambia, ya que los valores de la primera metodología (Azul) tienden a ser mayores que los del segundo método, lo cual está condicionado a que los volcanes de estas zonas de Chile poseen un mejor registro histórico de su actividad eruptiva, lo que incide en que los valores de peligro, de la MUB, sean más sensibles a una mayor cantidad de información disponible, en cambio en la zona norte al existir volcanes de una menor actividad eruptiva y por consiguiente un menor registro histórico de éstos, provoca que su valores de peligro sean menores en comparación con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN, ya que esta última metodología considera otros factores (deformación, desgasificación) que inciden en que en el norte los volcanes tengan un mayor valor de peligro.

También es posible apreciar que los volcanes con mayores valores de peligro se concentran geográficamente en la zona centro-sur de Chile, lo cual está estrechamente ligado a la alta frecuencia eruptiva que existe en esta zona del país.

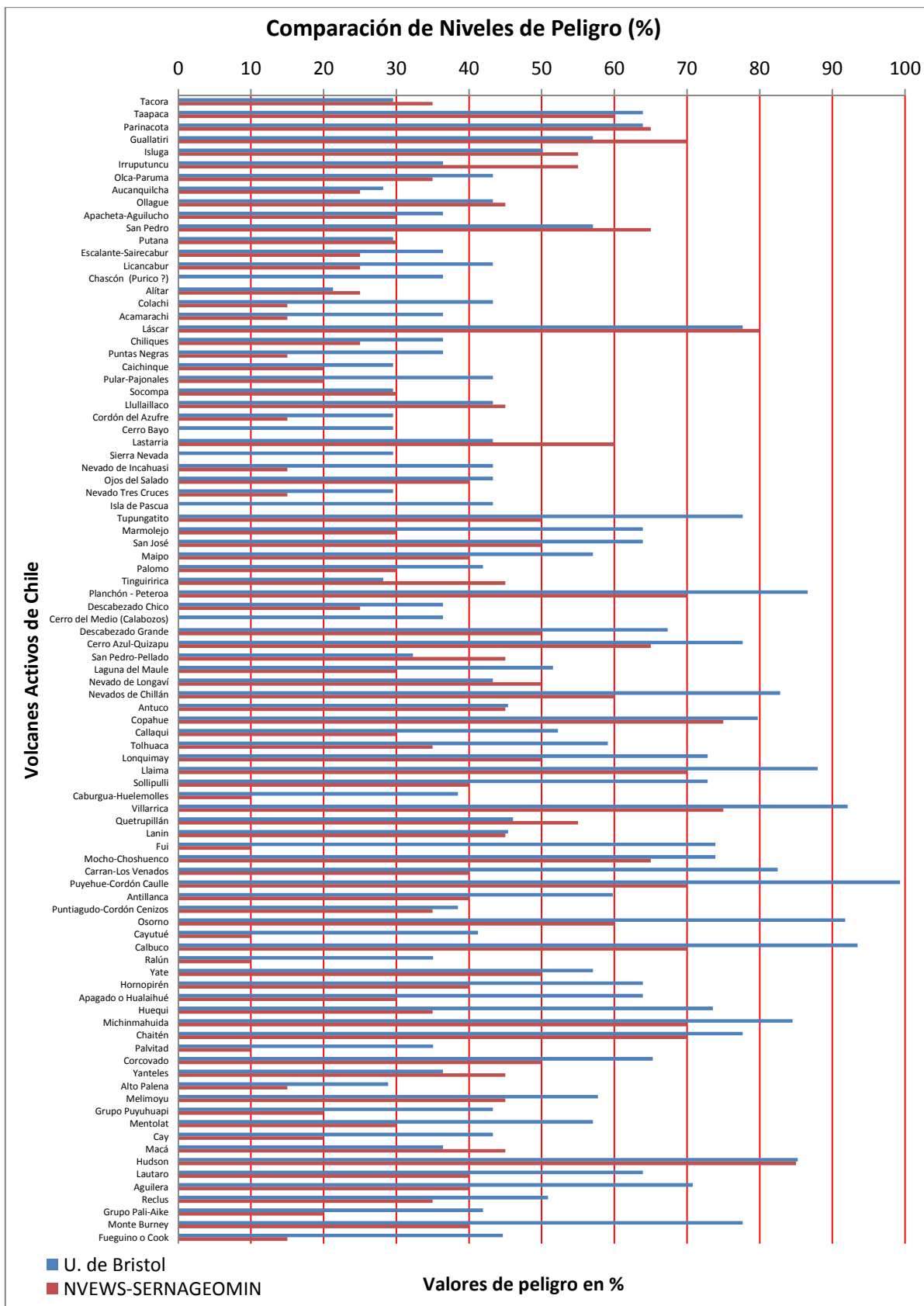


Gráfico 4: Comparación niveles de peligro
Fuente: Elaboración Propia

5.3.2.-Niveles de Exposición

En cuanto a los resultados de los valores de exposición que poseen cada una de las metodologías estudiadas, es necesario mencionar que por sus características metodológicas no es posible compararlas de manera demasiado directa, ya que la metodología de la U. de Bristol utiliza tan solo el valor de la población ponderada que habita en las áreas de influencia de 10 km y entre 10 y 30 kilómetros. En cambio la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN obtiene sus valores de vulnerabilidad a partir de la suma de una serie de factores con valores mínimos y máximos fijos. Por otra parte en la MUB la cantidad de población se estima utilizando la herramienta LandScan, que al ser comparada con los datos del Censo 2002 utilizados en la segunda metodología, presenta diferencias importantes en la cantidad de habitantes, ya que LandScan estima la población sobreestimado sus valores.

De acuerdo a lo anterior, el Gráfico 5 muestra que los valores de exposición respecto a la ubicación geográfica es heterogénea. En ambas metodologías la Zona Volcánica Central ubicada en el norte del país, presenta en general, una distribución descendente en sus valores de exposición desde el volcán Tacora por el norte hasta el volcán Nevado Tres Cruces por el sur. Aparte es el caso de Isla de Pascua, que en la metodología U. de Bristol presenta altos valores de exposición y esto se debe a la pequeña extensión territorial de la isla, por lo cual la población se concentra muy cerca de todos los volcanes que existen en Rapa Nui, mientras que para el caso de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN para el momento de la evaluación del riesgo volcánico, en el año 2011, la isla no se encontraba en la clasificación de los volcanes activos del país. Luego en ambas metodologías se presenta un aumento de similares características en los valores de vulnerabilidad de los volcanes localizados en la zona cordillerana de la Región Metropolitana lo que se ve influenciada por su cercanía a la ciudad de Santiago, que corresponde a la mayor urbe del país. Es a partir desde el volcán Palomo como límite norte hasta el volcán Fuego o Cook como límite sur, que se presenta una distribución gaussiana en los valores de exposición en ambas metodologías, aunque con ciertas excepciones de valores mayores y valores menores que se insertan dentro de este tipo de distribución.

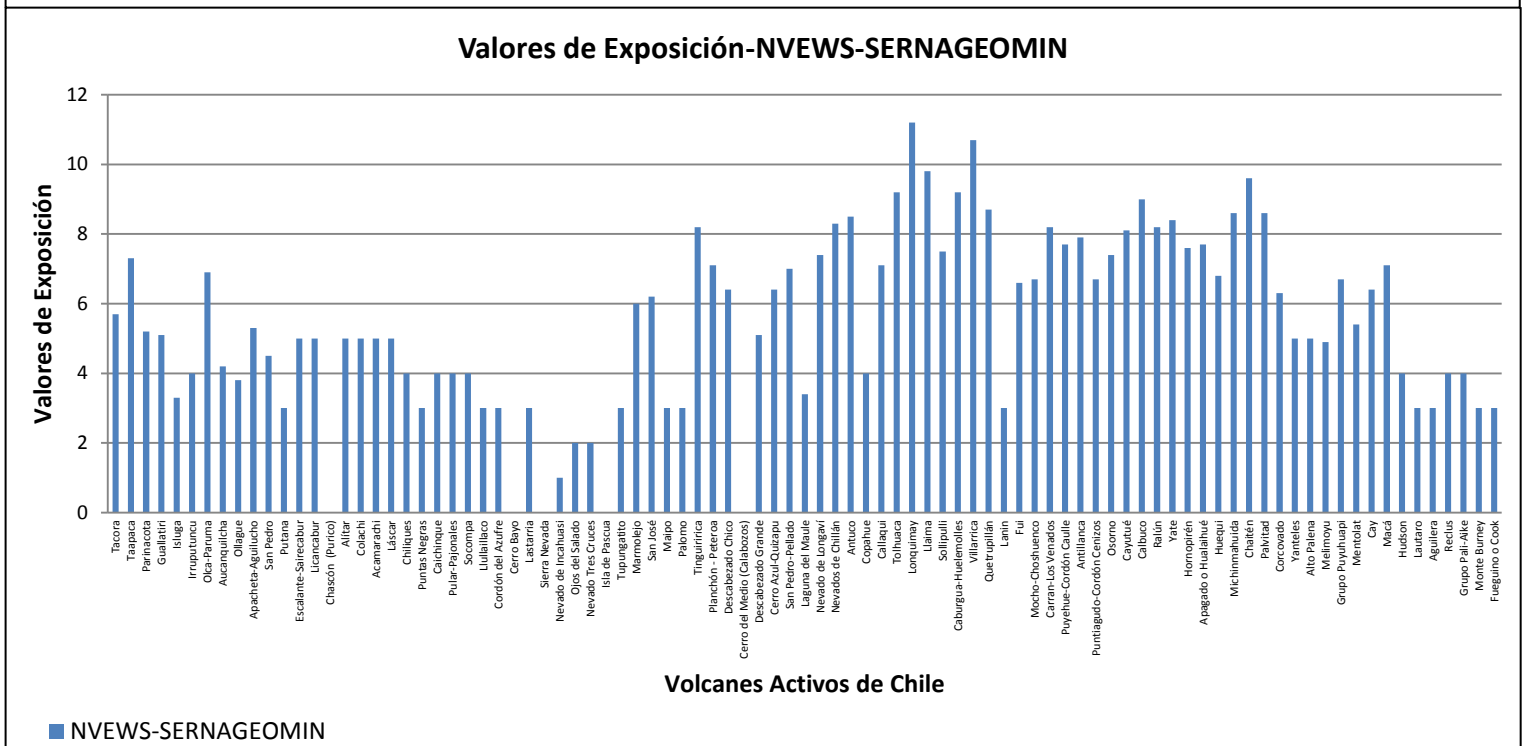
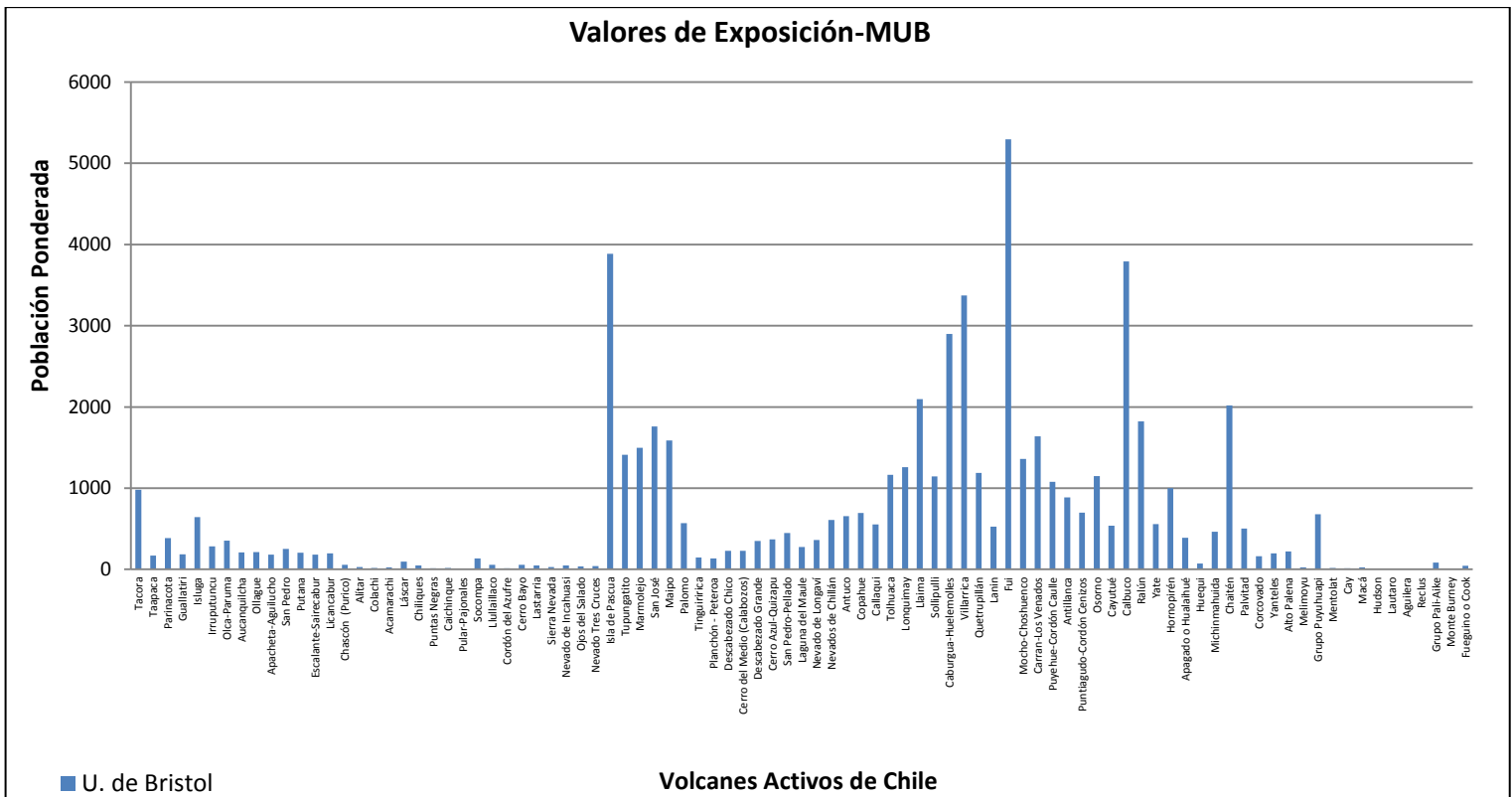


Gráfico 5: Valores de exposición de ambas metodologías
Fuente: Elaboración propia

5.3.3.-Áreas de Peligro

En cuanto a las áreas de peligro es posible realizar la comparación entre ambas metodologías a partir de la información que se presenta en el Gráfico 6. Este gráfico muestra una gran diferencia en las áreas de peligro estimadas entre ambas metodologías.

Ante esto es posible indicar que las áreas de peligro en su gran mayoría son de una mayor extensión en la metodología de la U. de Bristol. Esto se debe básicamente a que el método utilizado para determinar las áreas de peligro en dicha metodología considera las cuencas hidrográficas que se encuentran de manera total o parcial al interior del área de influencia de 3 kilómetros de radio al volcán, lo cual incorpora tanto áreas de ríos y quebradas, así como también zonas de altas cumbres, esto incide en que las áreas estén sobreestimadas en esta metodología. Mientras que las áreas de peligro resultantes con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN se encuentran estimadas en base al método de H/L, el cual tiende a acotar las áreas de peligro a las zonas por donde existe una mayor probabilidad de escurrimientos que corresponde al cono del volcán y las zonas de valle. Aunque existen una serie de casos en donde las áreas de peligro son mayores en esta segunda metodología, la tendencia es que la metodología de la U. de Bristol sobreestima la extensión superficial del peligro volcánico. Esta situación influye en la toma de decisiones ante posibles eventos de peligro, ya que al tener una superficie mejor estimada permite reaccionar y priorizar los esfuerzos y recursos hacia las áreas de alto peligro.

Respecto a la distribución geográfica de las áreas de peligro, es en la zona sur del país en donde los volcanes presentan las áreas de mayor extensión de peligro para ambas metodologías. Aunque en la zona norte del país también existe una distribución de extensas áreas de peligro para ambas metodologías. Es por esto que se puede considerar que en ambas metodologías los volcanes presentan una distribución similar de sus áreas de peligro, pero con la diferencia de que en la metodología de la U. de Bristol se sobreestima la superficie en comparación a la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN.

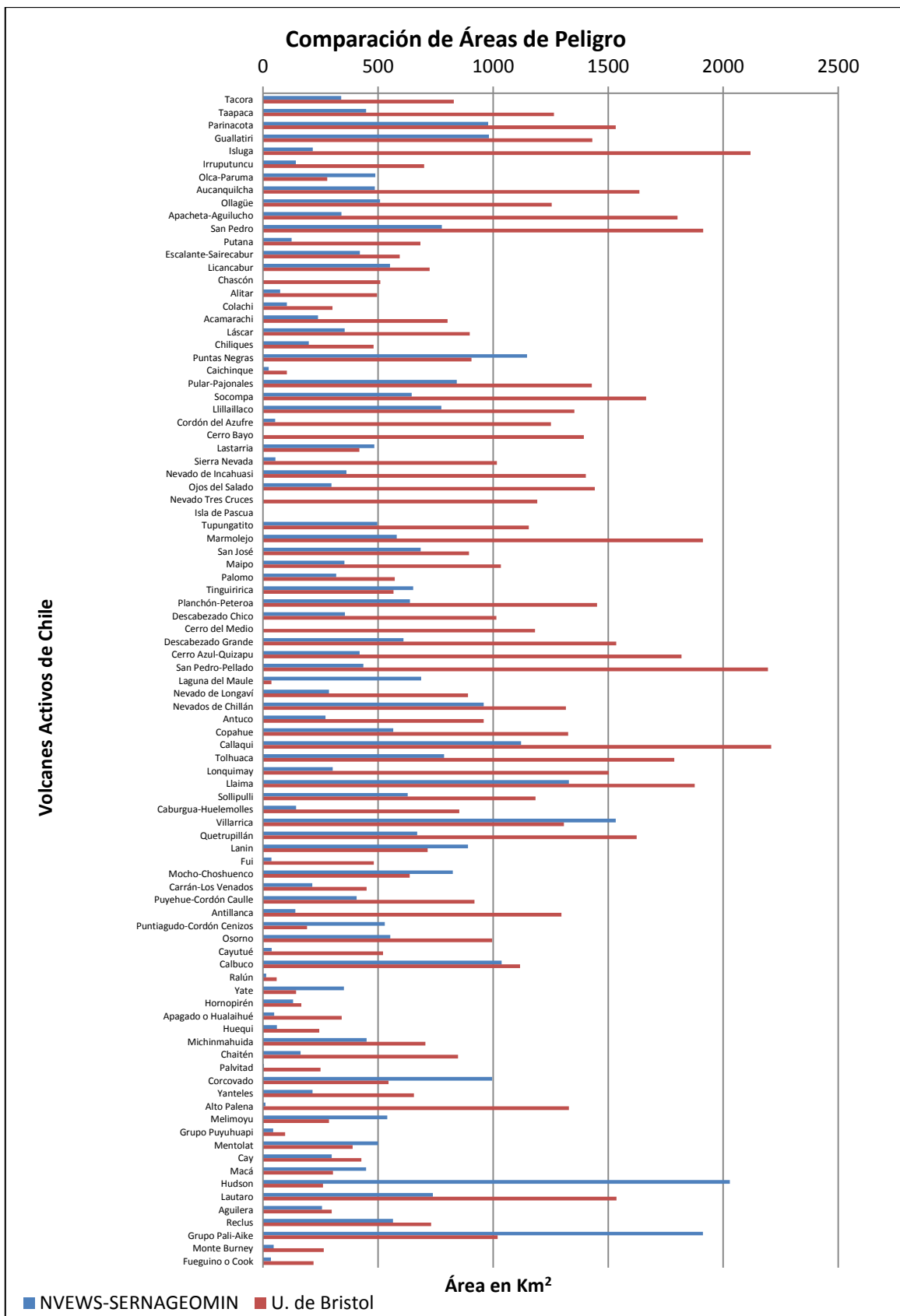


Gráfico 6: Comparación de áreas de peligro
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 36, se encuentra en detalle las áreas de peligro en km² que poseen cada volcán, calculadas tanto con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN como la de la Universidad de Bristol, ya que son las áreas posibles de comparar. En cuanto a los volcanes que no poseen valores de sus áreas de peligro, es debido a que para cuando se realizó el cálculo no se encontraban dentro del listado de volcanes activos del SERNAGEOMIN en el año 2011. Las áreas que poseen una mayor diferencia son el volcán Isluga con 216,31 km² para el SERNAGEOMIN y de 2118,86 km² con la MUB, lo que implica una diferencia de 1.902 km² entre ambas metodologías; el caso contrario corresponde al volcán Hudson el cual posee una superficie de 2.028,5 Km² con la metodología del SERNAGEOMIN y de 260,23 km² con la MUB lo que implica una diferencia de 1.768,27 Km². No obstante, es la MUB la que presenta mayoritariamente las áreas de más extensión superficial.

Tabla 36: Áreas de peligro de ambas metodologías en km²

	Volcán	SERNAGEOMIN Km ²	U.BRISTOL Km ²	DIFERENCIA (con respecto al área del SERNAGEOMIN)
1	Guallatiri	982,1058	1.431,3909	-449,29
2	Parinacota	979,1184	1.533,2837	-554,17
3	Taapaca	448,0378	1.264,3200	-816,28
4	Tacora	339,2948	829,4217	-490,13
5	Irruputuncu	142,8236	700,5244	-557,70
6	Isluga	216,3119	2.118,8595	-1.902,55
7	Acamarachi	239,4893	801,6660	-562,18
8	Alítar	74,0729	495,5059	-421,43
9	Apacheta-Aguilucho	341,0631	1.801,2558	-1.460,19
10	Aucanquilcha	486,2468	1.635,7905	-1.149,54
11	Caichinque	25,2122	103,9715	-78,76
12	Chascón	----	509,7766	----
13	Chiliques	198,5141	480,2869	-281,77
14	Colachi	103,8134	302,3589	-198,55
15	Cordón del Azufre	52,8847	1.251,8520	-1.198,97
16	Escalante-Sairecabur	420,7698	593,9091	-173,14
17	Lastarria	483,3314	418,9776	64,35
18	Licancabur	551,9876	724,4827	-172,50
19	Llullaillaco	775,5651	1.353,0642	-577,50
20	Láscar	355,0197	898,7987	-543,78
21	Olca-Paruma	488,0865	279,0161	209,07
22	Ollague	509,1107	1.255,1196	-746,01
23	Pular-Pajonales	841,9381	1.428,5677	-586,63
24	Puntas Negras	1147,0266	905,7695	241,26
24	Isla de Pascua	164,6201	164,6201	0,00
25	Putana	123,7615	683,8682	-560,11
26	San Pedro	777,2881	1.913,1617	-1.135,87

	Volcán	SERNAGEOMIN Km²	U.BRISTOL Km²	DIFERENCIA (con respecto al área del SERNAGEOMIN)
27	Socompa	645,9413	1.665,3167	-1.019,38
28	Cerro Bayo	----	1.394,6091	---
29	Nevado de Incahuasi	362,6478	1.402,7692	-1.040,12
30	Nevado Tres Cruces	----	1.191,9738	---
31	Ojos del Salado	297,8645	1.441,5881	-1.143,72
32	Sierra Nevada	54,2882	1.016,7873	-962,50
34	Maipo	353,6453	1.033,9597	-680,31
35	San José	685,2256	894,8592	-209,63
36	Tupungatito	496,8570	1.154,8752	-658,02
37	Palomo	318,5842	573,0791	-254,49
38	Tinguiririca	652,3829	566,8181	85,56
39	Cerro Azul-Quizapu	420,3469	1.818,7158	-1.398,37
40	Cerro del Medio (Calabozos)	---	1.181,6096	---
41	Descabezado Chico	356,3127	1.014,4072	-658,09
42	Descabezado Grande	610,3140	1.535,0326	-924,72
43	Laguna del Maule	687,3610	36,3313	651,03
44	Nevado de Longaví	287,1926	890,7956	-603,60
45	Planchón - Peteroa	639,0873	1.451,5566	-812,47
46	San Pedro-Pellado	436,4331	2.194,9800	-1.758,55
47	Antuco	271,7450	959,0807	-687,34
48	Callaqui	1121,8290	2.208,5400	-1.086,71
49	Copahue	566,5193	1.325,8628	-759,34
50	Nevados de Chillán	958,8811	1.315,9040	-357,02
51	Caburgua-Huelemolles	144,0903	852,4763	-708,39
52	Llaima	1329,5772	1.875,9348	-546,36
53	Lonquimay	303,0598	1.502,5031	-1.199,44
54	Sollipulli	628,5075	1.184,1041	-555,60
55	Tolhuaca	786,5534	1.787,3403	-1.000,79
56	Villarrica	1532,4225	1.307,6000	224,82
57	Fui	36,1476	481,8857	-445,74
58	Lanin	890,8613	715,6646	175,20
59	Quetripillán	669,6760	1.623,8305	-954,15
60	Alto Palena	10,7982	1.329,5476	-1.318,75
61	Antillanca	140,1577	1.296,7503	-1.156,59
62	Apagado o Hualaihué	48,0655	341,8331	-293,77
63	Calbuco	1037,0509	1.117,2311	-80,18
64	Carran-Los Venados	214,3443	450,1673	-235,82
65	Cayutué	38,1517	521,6388	-483,49
66	Chaitén	163,4457	847,9789	-684,53

	Volcán	SERNAGEOMIN Km ²	U.BRISTOL Km ²	DIFERENCIA (con respecto al área del SERNAGEOMIN)
67	Corcovado	996,2938	545,7523	450,54
68	Hornopirén	130,5419	166,8335	-36,29
69	Huequi	60,5765	244,5768	-184,00
70	Michinmahuida	449,9655	706,2507	-256,29
71	Mocho-Choshuenco	825,3253	637,2969	188,03
72	Osorno	553,0841	996,3396	-443,26
73	Palvidad	4,2046	250,3436	-246,14
74	Puntiagudo-Cordón Cenizos	528,8360	191,0902	337,75
75	Puyehue-Cordón Caulle	406,6493	919,0443	-512,40
76	Ralún	14,3501	59,6843	-45,33
77	Yanteles	215,6540	655,4681	-439,81
78	Yate	351,7952	144,1175	207,68
79	Cay	298,1680	427,7639	-129,60
80	Grupo Puyuhuapi	44,3049	96,1379	-51,83
81	Macá	448,0765	303,5816	144,49
82	Melimoyu	540,0187	286,6989	253,32
83	Mentolat	499,5081	389,7565	109,75
84	Hudson	2028,5036	260,2321	1.768,27
88	Aguilera	256,6998	299,1224	-42,42
85	Fueguino o Cook	34,6680	219,7293	-185,06
86	Grupo Pali-Aike	1911,8510	1.020,1908	891,66
87	Lautaro	737,7025	1.535,9861	-798,28
89	Monte Burney	565,3651	731,0530	-165,69
90	Reclus	46,1489	264,1029	-217,95

CAPÍTULO 6.- ADAPTACION DE LA MUB AL CONTEXTO VOLCÁNICO DE CHILE

6.1 Reasignación de las ponderaciones de (valor) de peligro y vulnerabilidad de los factores de riesgo evaluados

Una de las debilidades que presenta la MUB son los valores de ponderación de cada uno de sus factores de peligro, los cuales han sido asignados en base a la experiencia de los investigadores que han creado esta metodología (Sparks, S.; comunicación personal, 03 de junio de 2015; Auker, M.; comunicación personal, 22 de junio de 2015) lo que hace que muchos valores de peligro estén subestimados o sobreestimados debido a la subjetividad que ha tenido su designación.

Es ante esta situación es que se ha propuesto hacer una reasignación de los valores de los factores utilizados para evaluar riesgo, mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) de Saaty (1980), el cual se basa en calcular las ponderaciones de cada factor y sus intervalos utilizando una matriz comparativa la que evalúa la importancia relativa de cada factor con respecto a otro. Sin bien existe una variable de subjetividad, al considerar la importancia relativa entre dos factores en base a la experiencia del evaluador, los resultados son evaluados mediante la relación de consistencia (RC) que permite que la aplicación del PAJ tenga una consistencia científica-matemática.

6.1.1 Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico a los factores de peligro de la MUB.

Para definir la importancia relativa que tiene un factor en comparación con otro es necesario utilizar una escala de criterios que permiten darle un valor numérico a los factores, para lo cual se utiliza la siguiente escala de Saaty:

Tabla 37: Escala de criterios utilizados para el PAJ

Escala numérica	Escala Verbal
9	Extremadamente más importante
7	Mucho más importante
5	Más importante
3	Ligeramente más importante
1	Igual de importante
1/3	Ligeramente menos importante
1/5	Menos importante
1/7	Mucho menos importante
1/9	Extremadamente menos importante

Fuente: Saaty, 1980

Esta escala se aplica comparando con una matriz los diferentes factores, para lo cual el factor que se localiza en la columna es a quién se le asigna el valor numérico al compararlo con el factor que se ubica en la primera fila, como por ejemplo se aprecia en la Tabla 38.

Tabla 38: Ejemplo de la aplicación del PAJ

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2	1,00	0,20	0,14	0,11
3 a 4	5,00	1,00	0,33	0,14
5 a 6	7,00	3,00	1,00	0,33
>= 7	9,00	7,00	3,00	1,00

En este caso se ha realizado la comparación de los intervalos de peligrosidad del IEV, en donde un IEV de entre 3 a 4 es “Más importante (5)”, un IEV entre 5 a 6 es “Mucho más importante (7)” y un IEV ≥ 7 es “Absolutamente más importante (9)” que un IEV entre 0 a 2. Y así sucesivamente hasta completar la matriz de comparación.

Una vez que se ha realizado la matriz de comparación para todos los factores evaluados, se ha proseguido con el proceso de normalización y estandarización de los datos de manera de poder ponderar el peso específico de cada uno de los factores de peligro. Una vez concluido con esto, se realiza el cálculo de la relación de consistencia que permite determinar que los criterios utilizados en la matriz de comparación son los más adecuados, para lo cual esta relación debe tener un valor menor a 0,1 (el detalle de la estandarización y relación de consistencia se describen en el Anexo XII).

Luego de realizado el PAJ y la relación de consistencia, se han obtenido los nuevos valores para el IEV, flujos piroclásticos, lahar y frecuencia eruptiva y sus intervalos de peligro, en base a los que se han utilizado en la MUB, según se puede apreciar en la Tabla 39. Cabe considerar que los factores tipo de volcán, presencia de agua, hielo o nieve en la cima, las subcaracterísticas y el peligro de lava no se les ha aplicado el método PAJ ya que solamente poseen dos intervalos de peligro, lo que permite que los valores tengan consistencia.

Tabla 39: Comparación de los valores originales y ponderados con el PAJ de la MUB

IEV	MUB original	MUB PAJ
0-2	1	0
3 a 4	2	1
5 a 6	3	2
>= 7	4	5
Flujos P.		
0	0	0,25
1	1	1
2	2	2
Lahar		
0	0	0,25

1	1	1
2	2	2
F. Erupción	MUB original	MUB PAJ
1 a 2	1	0
3 a 10	2	1
11 a 20	3	2
>= 21	4	6

Con esta reevaluación de las ponderaciones del índice de Explosividad se disminuye el peso de los tres primeros intervalos, en cambio aquellos volcanes que poseen un IEV ≥ 7 se les asigna un valor de peligro 5 en vez de los 4 que originalmente poseía y con una relación de consistencia de 0,074 lo que valida la evaluación. En tanto, los valores de los tres primeros intervalos de peligro del factor de frecuencias de las erupciones han disminuido mientras que aquellos volcanes que tienen más de veinte erupciones pasan de un valor de peligro 4 a 6, y con una relación de consistencia de 0,05 con lo que se valida la evaluación. De esta manera la nueva ponderación resalta más a aquellos valores que tienen una baja probabilidad de ocurrencia como es el caso de una erupción de IEV mayor a 7 y de más de veinte erupciones registradas. Con esto los valores de peligro de aquellos volcanes más activos se ve incrementado como es el caso del Villarrica, mientras que los volcanes con una escasa actividad su valor de peligro se mantiene o disminuye como es el caso del Taapaca.

Mientras que, tanto los valores de peligro de los flujos piroclásticos como los de lahar mantienen sus valores originales, cambiando solamente el primer intervalo pasando de un valor original de 0 a 0,25, por lo que la relación de consistencia de los valores obtenidos es de 0,06 lo que certifica de adecuada la asignación de puntajes originales. Estos nuevos valores indican que la MUB original posee una buena asignación de valores de peligro para estos dos factores.

De esta forma, el Proceso de Análisis Jerárquico además de utilizarse en los intervalos de peligro de un mismo factor, también se puede utilizar para determinar la importancia que existe entre los diferentes peligros volcánicos que se evalúan tanto en la MUB como en la NVEWS-SERNAGEOMIN, obteniendo de esta manera un peso ponderado de cada peligro. En el anexo XII se detallan los valores ponderados de los factores de peligros utilizados en la metodología de la Universidad de Bristol.

6.2 Adaptación de la MUB a los valores de Población de Chile y de Peligro

Considerando que la cantidad de población que está expuesta a los peligros volcánicos en Chile, dentro de un radio de 30 km, es demasiado baja en comparación a los parámetros utilizados en la MUB, es que se ha realizado un ranking desde el volcán con la mayor cantidad de población expuesta hasta el volcán con la menor cantidad de población. De esta manera, el volcán que tiene el mayor número de habitantes a su alrededor, dentro de un radio de 30 km, corresponde al volcán Calbuco con 48.009 mientras que el volcán con menor población corresponde al Monte Burney con cero habitantes, según los datos obtenidos del LandScan. Con esta información de la cantidad de habitantes de cada volcán se han establecido, al igual que en la MUB, siete intervalos de población como se aprecian en la Tabla 40. Estos intervalos han sido obtenidos mediante una reclasificación realizada en el software ArcGis 10, el cual ha determinado los quiebres utilizando el método de Jenks el cual limita los intervalos en donde existen diferencias significativas entre los datos, según lo expuesto en la Tabla 40, los que se asocian a un valor denominado índice de población que han sido tomados desde la metodología de la Universidad de Bristol, de manera de adaptarla al contexto de Chile.

Tabla 40: Intervalos de Población y su índice.
Fuente: Adaptado de la Metodología: *Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure, 2011*

Intervalos de cantidad de Población	Índice de Población
48.009-20.001	3
20.000- 9.401	2,5
9.400- 6.001	2
6.000- 3.101	1,5
3.100-1.101	1
1.100-1	0,5
0	0

Estos intervalos se le ha asignado un índice de población que va desde el valor 3 para aquellos volcanes con una cantidad de población mayor a las 20 mil personas y que implica una mayor vulnerabilidad, hasta un valor cero que implica que no habita ninguna persona en los alrededores del volcán lo que indica un mínimo nivel de vulnerabilidad, todo esto en base a los valores de población de Chile, además se incluyen los nuevos valores de peligro que se obtienen luego de aplicado el método PAJ a la MUB, que se detallan en la Tabla 41.

Tabla 41: Población, índice de población y Peligro MUB PAJ

	Volcán	Población 30 km	Índice de Población	Peligro MUB PAJ
1	Calbuco	48009	3	14,6
2	Villarrica	39489	3	14,4
3	Caburgua-Huelemolles	29712	3	3,85
4	Llaima	20581	3	13,8

	Volcán	Población 30 km	Índice de Población	Peligro MUB PAJ
5	San José	17934	2,5	7,3
6	Mocho-Choshuenco	13582	2,5	8,75
7	Lonquimay	12839	2,5	8,6
8	Fui	12670	2,5	8,75
9	Tolhuaca	12553	2,5	6,6
10	Sollipulli	12356	2,5	8,6
11	Quetrupillán	11921	2,5	4,95
12	Osorno	9445	2,5	11,35
13	Maipo	9058	2	6,55
14	Tacora	8776	2	2,8
15	Carrán-Los Venados	8487	2	10
16	Tupungatito	7784	2	12,3
17	Michinmahuida	7277	2	10,3
18	Puyehue-Cordón Caulle	6959	2	15,75
19	Palvidad	6952	2	3,35
20	Chaitén	6934	2	9,3
21	Antillanca	6087	2	6,7
22	Puntiagudo-Cordón Cenizos	5776	1,5	3,85
23	Cayutué	5543	1,5	4,25
24	Yate	5454	1,5	6,3
25	Hornopirén	5381	1,5	7,3
26	Ralún	5158	1,5	3,35
27	Isluga	5059	1,5	5,55
28	Apagado o Hualaihué	4824	1,5	7,3
29	Palomo	4694	1,5	4,35
30	Callaqui	4402	1,5	5,85
31	San Pedro-Pellado	4256	1,5	3,2
32	Isla de Pascua	4167	1,5	5,85
33	Nevados de Chillán	4041	1,5	12,95
34	Nevado de Longaví	3904	1,5	4,55
35	Antuco	3873	1,5	4,85
36	Cerro Azul-Quizapu	3808	1,5	9,3
37	Descabezado Grande	3508	1,5	7,8
38	Parinacota	3494	1,5	7,3
39	Copahue	3147	1,5	9,6
40	Lanin	3100	1	4,85
41	Taapaca	2416	1	7,3
42	San Pedro	2374	1	6,55
43	Irruputuncu	2159	1	3,8
44	Guallatiri	2113	1	6,3
45	Putana	1993	1	2,8
46	Olca-Paruma	1929	1	4,55
47	Escalante-Sairecabur	1874	1	3,55
48	Licancabur	1839	1	4,55
49	Tinguiririca	1753	1	2,35
50	Descabezado Chico	1690	1	3,55
51	Aucanquilcha	1606	1	2,6
52	Planchón - Peteroa	1468	1	13,6
53	Yanteles	1397	1	3,55
54	Corcovado	1354	1	7,5
55	Apacheta-Aguilucho	1273	1	3,55
56	Laguna del Maule	1164	1	5,75
57	Ollague	1161	1	4,55
58	Huequi	1095	0,5	8,7
59	Cerro del Medio (Calabozos)	1094	0,5	3,55
60	Alto Palena	982	0,5	2,7
61	Grupo Puyuhuapi	935	0,5	4,3
62	Grupo Pali-Aike	783	0,5	4,35

	Volcán	Población 30 km	Índice de Población	Peligro MUB PAJ
63	Chiliques	703	0,5	3,55
64	Nevado Tres Cruces	635	0,5	2,8
65	Socompa	591	0,5	2,8
66	Láscar	557	0,5	12,3
67	Nevado de Incahuasi	537	0,5	4,55
68	Ojos del Salado	479	0,5	4,55
69	Lastarria	452	0,5	4,55
70	Llullaillaco	434	0,5	4,55
71	Chascón (Purico ?)	427	0,5	3,55
72	Macá	383	0,5	3,55
73	Sierra Nevada	373	0,5	2,8
74	Cerro Bayo	356	0,5	2,8
75	Melimoyu	307	0,5	6,4
76	Acamarachi	300	0,5	3,55
77	Alítar	269	0,5	1,6
78	Colachi	261	0,5	4,55
79	Puntas Negras	240	0,5	3,55
80	Cordón del Azufre	202	0,5	2,8
81	Mentolat	188	0,5	6,3
82	Fueguino o Cook	169	0,5	4,75
83	Caichinque	161	0,5	2,55
84	Reclus	96	0,5	5,65
85	Pular-Pajonales	85	0,5	4,55
86	Cay	81	0,5	4,55
87	Hudson	34	0,5	10,4
88	Aguilera	14	0,5	8,3
89	Lautaro	8	0,5	7,3
90	Monte Burney	0	0	9,3

6.3 Niveles de Riesgo

Una vez establecido el valor de exposición de cada volcán, mediante el índice de población, éste se multiplica con los valores de peligro total de cada volcán que se han obtenido aplicando el método PAJ a la MUB, con lo cual se obtienen los valores de riesgo total para cada volcán de Chile, con lo que se ha desarrollado el siguiente ranking que se aprecia en la Tabla 42. En ésta se observa que el volcán de mayor riesgo en Chile corresponde al Calbuco ya que tiene uno de los valores más altos de peligro y de exposición del país, le sigue en segundo lugar el volcán Villarrica que se encuentra en los primeros lugares de todos los ranking de riesgo y en contraste el de menor riesgo corresponde al volcán Monte Burney que si bien tiene un alto valor de peligro (9,3) su nivel de exposición es cero, lo que hace que el riesgo sea nulo.

Tabla 42: Ranking de Riesgo volcánico, adaptando la MUB al contexto de Chile

Ranking	Volcán	Riesgo
1	Calbuco	43,8
2	Villarrica	43,2
3	Llaima	41,4
4	Puyehue-Cordón Caulle	31,5
5	Osorno	28,4
6	Tupungatito	24,6
7	Mocho-Choshuenco	21,9

Ranking	Volcán	Riesgo
8	Fui	21,9
9	Lonquimay	21,5
10	Sollipulli	21,5
11	Michinmahuida	20,6
12	Carrán-Los Venados	20,0
13	Nevados de Chillán	19,4
14	Chaitén	18,6
15	San José	18,3
16	Tolhuaca	16,5
17	Copahue	14,4
18	Cerro Azul-Quizapu	14,0
19	Planchón - Peteroa	13,6
20	Antillanca	13,4
21	Maipo	13,1
22	Quetrupillán	12,4
23	Descabezado Grande	11,7
24	Caburgua-Huelemolles	11,6
25	Hornopirén	11,0
26	Apagado o Hualaihué	11,0
27	Parinacota	11,0
28	Yate	9,5
29	Callaqui	8,8
30	Isla de Pascua	8,8
31	Isluga	8,3
32	Corcovado	7,5
33	Taapaca	7,3
34	Antuco	7,3
35	Nevado de Longaví	6,8
36	Palvidad	6,7
37	San Pedro	6,6
38	Palomo	6,5
39	Cayutué	6,4
40	Guallatiri	6,3
41	Láscar	6,2
42	Puntiagudo-Cordón Cenizos	5,8
43	Laguna del Maule	5,8
44	Tacora	5,6
45	Hudson	5,2
46	Ralún	5,0
47	Lanin	4,9
48	San Pedro-Pellado	4,8
49	Olca-Paruma	4,6
50	Licancabur	4,6
51	Ollague	4,6
52	Huequi	4,4
53	Aguilera	4,2
54	Irruputuncu	3,8
55	Lautaro	3,7
56	Escalante-Sairecabur	3,6
57	Descabezado Chico	3,6
58	Yanteles	3,6
59	Apacheta-Aguilucho	3,6
60	Melimoyu	3,2
61	Mentolat	3,2
62	Reclus	2,8
63	Putana	2,8
64	Aucanquilcha	2,6
65	Fueguino o Cook	2,4

Ranking	Volcán	Riesgo
66	Tinguiririca	2,4
67	Nevado de Incahuasi	2,3
68	Ojos del Salado	2,3
69	Lastarria	2,3
70	Llullaillaco	2,3
71	Colachi	2,3
72	Pular-Pajonales	2,3
73	Cay	2,3
74	Grupo Pali-Aike	2,2
75	Grupo Puyuhuapi	2,2
76	Cerro del Medio (Calabozos)	1,8
77	Chiliques	1,8
78	Chascón (Purico)	1,8
79	Macá	1,8
80	Acamarachi	1,8
81	Puntas Negras	1,8
82	Nevado Tres Cruces	1,4
83	Socompa	1,4
84	Sierra Nevada	1,4
85	Cerro Bayo	1,4
86	Cordón del Azufre	1,4
87	Alto Palena	1,4
88	Caichinque	1,3
89	Alítar	0,8
90	Monte Burney	0

Con los valores de peligro que se han obtenido a partir de la aplicación del método PAJ a la MUB original y readecuando los intervalos de población al contexto de Chile se ha podido establecer un ranking ponderado con el riesgo que representa cada uno de los 90 volcanes activos del país.

Comparando los resultados de peligro, de los casos de estudio, obtenidos con la MUB original con los valores de peligro adaptados al contexto volcánico de Chile se puede mencionar que para el caso del volcán Taapaca su nivel de peligro ha disminuido ya que los factores de mayor incidencia en el valor de peligro total son el IEV y la frecuencia eruptiva y que para el caso de este volcán ha adquirido valores menores a los que poseen originalmente, como se observa en la Tabla 43.

Tabla 43: Valores de Peligro del volcán Taapaca adaptando la MUB al contexto de Chile

Factor	MUB original	MUB PAJ
Tipo Volcán	1	1
Lago en el cráter o presencia de hielo o nieve	1	1
Flujo Piroclástico	2	2
Peligro de Lahar	2	2
Flujo de Lava	0,2	0,2
Nº de Subcaracterísticas	0,1	0,1
Máximo IEV	1	0
Frecuencia de Erupción	2	1

Factor	MUB original	MUB PAJ
Total	9,3	7,3

Mientras que para el caso del volcán Villarrica su valor de peligro ha aumentado, ya que tanto el IEV y la recurrencia eruptiva además de ser los que tienen una mayor incidencia en el valor de peligro total también incide que el volcán Villarrica al ser uno de los más activos del Chile, adquiera un valor de peligro 6 para su factor de recurrencia eruptiva, lo que implica que aumente su nivel de peligro, como se indica en la Tabla 44.

Tabla 44: Valores de Peligro del volcán Villarrica adaptando la MUB al contexto de Chile

Factor	MUB	MUB PAJ
Tipo Volcán	1	1
Lago en el cráter o presencia de hielo o nieve	1	1
Flujo Piroclástico	2	2
Peligro de Lahar	2	2
Flujo de Lava	0,2	0,2
N° de Subcaracterísticas	0,2	0,2
Máximo IEV	3	2
Frecuencia de Erupción	4	6
Total	13,4	14,4

De esta manera en aquellos volcanes que tienen una historia eruptiva deficiente sus valores de peligro disminuyeron, mientras que los volcanes más activos han aumentado sus valores de peligro con la aplicación del método PAJ a la MUB original.

CAPÍTULO 7.- DISCUSIONES

Peligro

Uno de los principales problemas que existen para evaluar el riesgo volcánico tanto en Chile como a nivel mundial, es la cantidad y calidad de información disponible de las erupciones, ya que desde hace tan solo un siglo que existen registros más certeros de ellas. Los registros más antiguos realizados por cronistas tan solo las nombran como algo particular, pero sin mayores detalles de su magnitud y características. Esta es una de las complicaciones que existe tanto para el método de la Universidad de Bristol como para el NVWES-SERNAGEOMIN. De esta manera la amplia historia eruptiva del volcán Villarrica influye en que su nivel de incerteza sea bajo (nivel 1) y por ende su nivel de riesgo sea más exacto y más alto. Esto lo sitúa como el volcán más riesgoso de Chile y el de mayor actividad volcánica en Sudamérica (SERNAGEOMIN). El volcán Taapaca por su parte, posee una deficiente historia eruptiva ya que no existen registros de testigos presenciales y solamente hay dataciones de sus erupciones. Esto último ocurre en una gran cantidad de volcanes analizados. Debido a que no se cuenta con la información necesaria para determinar de buena manera el peligro de cada volcán, mientras mayor es el nivel de incerteza el nivel de peligro disminuye; la MUB incorpora la variable de incerteza, sin embargo, no se utiliza como un factor que implique aumentar o disminuir el nivel de riesgo, sino que solamente como una variable anexa a la evaluación y que no tiene incidencia en el nivel de riesgo final. Por tanto, solamente se utiliza para indicar que los volcanes con una mejor calidad de su historia eruptiva tendrán valores de riesgo con una mayor confiabilidad, siendo necesario incorporarla como un factor tanto de peligro como de vulnerabilidad para de esta manera obtener evaluación de riesgo más confiables y de mayor exactitud.

Vulnerabilidad

Uno de los grandes problemas que presenta la MUB es que considera niveles de exposición de la población con valores que no se condicen con lo que es la realidad de Chile donde en general la cantidad de población es muy baja; La metodología se concibió para evaluar principalmente a los países de Centroamérica y del Sudeste Asiático que poseen una densidad de población en los alrededores de los volcanes activos mucho mayor que la de Chile, por ejemplo un índice de exposición de la población igual a 1 considera que viven entre 3.000 y 9.999 personas en un radio de 30 km del volcán, lo que para nuestro país eso ocurre en tan solo 4 volcanes, mientras que el resto de los 86 volcanes activos tienen menos de 3 mil personas en esta área de influencia, lo que le da un índice de 0,5 (ver tabla 8). Debido a esta situación en este estudio se ajustó la metodología de la Universidad de Bristol a la realidad de Chile, ya que si se considera utilizar los parámetros originales de la MUB los niveles de exposición demasiado bajos, influyen directamente en los niveles de riesgo. Según los resultados obtenidos 86 volcanes poseen un nivel de riesgo 1 (bajo) y 4 volcanes valores de riesgo 2 (medio) lo cual está directamente relacionado con la baja cantidad de población, por lo que fue necesario realizar este ajuste a los niveles de población de

Chile que ha permitido obtener resultados más representativos de la realidad volcánica del país. De esta manera se han utilizado los mismos índices de población utilizados en la MUB (0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3) pero se han asignado en base a la cantidad de población que habita a los alrededores de los volcanes de Chile, de manera que se adapten la realidad del país.

Por otra parte una de las grandes diferencias que existe entre los factores de vulnerabilidad de la MUB con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN es la cantidad que utiliza cada una, ya que la Metodología de la Universidad de Bristol tan solo utiliza la cantidad de población ponderada en un determinado radio de influencia (30 km), en cambio la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN además de incorporar la cantidad de población en zonas proximales y distales también incluye los factores de infraestructura en zonas vulnerables, la cercanía de aeropuertos al volcán, evacuación de personas en períodos de emergencias, entre otras, lo cual incide que al tener una mayor cantidad de factores de vulnerabilidad la evaluación del riesgo sea más certera.

Riesgo

En ambas metodologías se han desarrollados rankings de riesgo volcánico de manera de determinar los volcanes activos con un mayor nivel de riesgo en Chile para así priorizar y destinar recursos a los más riesgosos. Así, tanto en la metodología de la Universidad de Bristol como la NVEWS-SERNAGEOMIN el volcán Villarrica se ubica en el segundo y primer lugar, respectivamente, siendo uno de los con mayor riesgo a nivel nacional, situación que se condice con que es uno de los 2 volcanes más activos de Sudamérica junto al volcán Llaima. En cambio, el volcán Taapaca, como muchos otros volcanes activos de Chile posee una difusa historia eruptiva y el nivel de riesgo estimado en ambas metodologías es muy diferente; en la MUB el Taapaca se ubica en el lugar número 27 de riesgo, mientras que con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN se ubica en la posición 22 de riesgo, lo cual está condicionado por los factores de peligro y vulnerabilidad que utilizan cada uno de los métodos. Se estima que, una certera determinación del nivel de riesgo de los volcanes permitirá priorizar aquellos que posean un mayor riesgo y que para este caso, y siendo así en la gran mayoría de los volcanes activos de Chile, la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN es la que mejor se aproxima en determinar un nivel de riesgo más certero de cada volcán ya que considera una mayor cantidad de factores tanto de peligro como de vulnerabilidad lo cual incide en que ante una mayor cantidad de factores evaluados la confiabilidad de los datos obtenidos aumenta, aunque es necesario realizar una evaluación volcán a volcán ya que cada uno de estos posee diferentes realidades y en algunos casos los factores de peligro y vulnerabilidad, de las metodologías utilizadas, con sus valores no representan la realidad de cada volcán ya que al ser metodologías que se han desarrollado para las realidades de otros países es que se hace necesario realizar ajustes que permitan adaptarlas al contexto de Chile, tal como se ha realizado en el Capítulo 6 con la MUB, que originalmente utiliza valores de población que no concuerdan con la realidad de Chile. Por lo que el ranking es una primera aproximación para la evaluación del riesgo volcánico tanto en Chile como en el mundo, pero es necesario realizar ajustes, como la asignación de nuevos valores de ponderación a los

factores de riesgo para evitar subestimar o sobreestimar algún peligro o factor de vulnerabilidad, para así llegar a una evaluación aún más certera.

Áreas de peligro

La MUB es buena para determinar las áreas de peligro a una escala de trabajo de 1:100.000, ya que su generación es rápida y fácil de realizar mediante el software ArcGis y las imágenes SRTM que son accesibles libremente. Esto permite obtener las cuencas hidrográficas que se encuentran dentro del área proximal de peligro, que en esta metodología es de un radio de 30 km. Es necesario considerar que se propone modificar y excluir aquellas áreas de altas pendientes, de cerros y lomajes que quedan dentro de las cuencas hidrográficas, para así representar de una manera más precisa las probables zonas de peligro ayudándose de los registros históricos dejados en terreno en aquellas zonas que fueron afectadas por lahares, flujos de lava o flujos piroclásticos de manera de definir de modo más preciso las zonas que deben ser consideradas de un alto peligro.

Respecto a las áreas de peligro obtenidas por el SERNAGEOMIN, que utiliza el método del H/L, es más adecuado utilizarlo para escalas más pequeñas, de menor detalle como en una escala de 1:2.000.000. Esto permite representar zonas de alto peligro a una escala nacional de manera de compararlas entre si, ya que no tiene en detalle las cuencas hidrográficas que utiliza la MUB. Esta diferencia tiende a sobreestimar la superficie de peligro, generando grandes diferencia entre ambas (ver tabla 36). Así lo grafica el caso del volcán Taapaca, que posee un área de peligro proximal de 1.264,32 Km² con la MUB y una superficie de 448,04 Km² con el método del SERNAGEOMIN. Por esto que es necesario ajustar las áreas de peligro modificando y excluyendo aquellas áreas de altas pendientes, de cerros y lomajes que quedan dentro de las cuencas hidrográficas, para utilizar de manera óptima los recursos en aquellas zonas que realmente se puedan ver afectadas. Esto incide en que al utilizar la superficie obtenida con la MUB la planificación de programas de contingencia ocuparán una mayor cantidad de recursos y un mayor despliegue superficial, mientras que la que extensión superficial obtenida con la del SERNAGEOMIN es demasiado acotada para el caso del volcán Taapaca, ya que deja fuera zonas con un alto potencial de peligro, por lo que en ambas es necesario realizar ajustes para representar una adecuada zona de peligro. En cuanto, al caso del volcán Villarrica sus áreas de peligro proximal son más homogéneas con una extensión de 1.307,61 km² para la MUB y de 1.532,42 km² para la del SERNAGEOMIN. Sin embargo, la forma de cada una de éstas es diferente ya que la primera representa las cuencas hidrográficas que pueden ser afectadas por algún peligro volcánico, mientras que la segunda posee una forma más radial lo cual entrega una distribución más homogénea de la superficie de peligro (ver Figura 23).

Respecto a las localidades y cantidad de población que se encuentra en las áreas de peligro es posible mencionar que los datos obtenidos mediante la MUB muestran que, en el caso del volcán Taapaca que se sitúa en la comuna de Putre existen 56 pueblos o caseríos de pastoreo que se ubican en la zona de peligro

proximal, los que no siempre se encuentran habitados o están abandonados y una población de 1.546 habitantes. Los caseríos y pueblos que se han analizado en la metodología del SERNAGEOMIN para el mismo volcán ascienden a 31 y la población es de 1.235 habitantes. Ante estos resultados, existen evidentes diferencias entre una metodología y otra, por lo que para este caso es más fiable los datos que se presentan en la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN ya que utilizada los datos estadísticos del INE de cantidad población, mientras que la MUB estima la cantidad de habitantes mediante la herramienta LandScan que entrega una cantidad aproximada no exacta de personas en un determinado lugar y en este caso sobreestimada. El caso del volcán Villarrica los resultados obtenidos indican que la cantidad de población estimada mediante la MUB es de 20.657 habitantes, en cambio con la NVEWS-SERNAGEOMIN es de 18.115. Por tanto, es esta última metodología la que entrega con una mayor exactitud los resultados de la cantidad de eventuales habitantes expuestos ante una erupción volcánica y sus diferentes amenazas.

Los gastos de un país en catástrofes son variables, por lo que es importante un buen análisis previo a las emergencias. Por lo tanto, una de las variables más importantes en el manejo y gestión de riesgo, es la cantidad de recursos disponibles y la cantidad que realmente se necesita para poder subsanar las eventuales pérdidas que se generan ante un evento eruptivo, ya que son miles de millones en pérdidas en infraestructura y en las actividades económicas de las zona afectadas. Según la evaluación del Banco Mundial sobre los impactos de desastres en los períodos 1960-2007 ha habido un aumento de las pérdidas absolutas, proporcional a los aumentos del PIB mundial (Okuyama y Sahin, 2009). Esta situación se ejemplifica con el caso de la erupción del volcán Calbuco, que con su última erupción del 22 de abril de 2015 causó pérdidas y daños en infraestructura de caminos y puentes estimadas en \$30 mil millones (Intendencia de Región de los Lagos, 05 mayo de 2015); a esto se suma la gran cantidad de materiales necesarios para la faenas de limpieza así como también el gasto que se produce por las evacuaciones. Para el caso de la erupción del volcán Chaitén, debido a los peligros de lahares, flujos y caída de piroclastos fue necesario evacuar a más de 4 mil personas las que representaban casi la totalidad de la población de esta localidad (ONEMI, 2008), a esto se suman los recursos utilizados en subsidios, bonos, transporte y comida que se le entregan a los afectados. Ante esto es necesario poder realizar una estimación lo más adecuada y precisa de las áreas de peligro y los volcanes más peligrosos de manera de poder enfocar los esfuerzos de mitigación y educación en aquellas zonas que presenten una mayor exposición al peligro volcánico.

Otro de las consecuencias que tienen las erupciones volcánicas son las fatalidades causadas por estos eventos. Considerando que 500 millones de personas viven en zonas de peligro volcánico a nivel mundial (Witham, 2005) en Chile a diferencia de lo que ocurre en países de Centroamérica y Sudeste Asiático donde la cantidad de consecuencias fatales suelen ser muy elevados debido a la gran cantidad de la población vive en los faldeos de los volcanes, situación que en Chile es diferente ya que la población habita principalmente en las zonas costeras y depresión intermedia. De esta manera en el siglo XX se han registrado tan solo 120 víctimas fatales a causa de alguna erupción, siendo la más trágica la que ha se han generado en el volcán

Villarrica, el más riesgoso según el SERNAGEOMIN, en las erupciones de 1964 y 1971 con más de 45 personas muertas y desaparecidas (Witham, 2005) entre ambos eventos, provocados principalmente por lahares, coladas de lava y avalanchas que fluyeron hacia los poblados de Coñaripe, Pucura, Traitraico y Llanahue. Lo cual lo sitúa sin duda como el volcán más riesgoso del país y uno de los de mayor actividad en Sudamérica (UNISDR, 2015).

Además de las grandes consecuencias sociales que genera una erupción volcánica también están las económicas que afectan a la ganadería. Aunque no existen datos certeros de la cantidad de cabezas de ganado, se ha estimado que para el caso de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle murieron alrededor de 750.000 cabezas de ganado ante la falta de pasto para su alimentación y por la contaminación de las aguas (Lagos et. al, 2013). Otro de los grandes afectados por las erupciones volcánicas es el turismo que ve reducido en una gran cantidad sus visitantes en las áreas afectadas, como es el caso del volcán Villarrica que por localizarse en uno de las zonas lacustres más importantes de Chile con las localidades Villarrica, Pucón Caburgua, Licanray, Coñaripe y Panquipulli entre otros, produce la cancelación de las reservas hoteleras en las zonas afectadas generando pérdidas millonarias, según el SERNATUR aunque no poseen los datos exactos en pesos. A esto se suma el efecto sobre la aviación y transporte de pasajeros, al producirse cancelaciones de vuelos en los aeropuertos cercanos a la erupción o en zonas que están a varios kilómetros de distancia como el caso de Buenos Aires y Montevideo que es hasta donde hubo repercusiones por la situación que ocurrió con la erupción del 2011 del Puyehue-Cordón Caulle, y que también implican miles de millones en pérdidas.

Uno de los grandes aportes que han generado las crisis volcánicas es ayudar a mejorar el monitoreo volcánico. Uno de los principales efectos institucionales que han tenido las erupciones volcánicas ha sido la creación y fortalecimiento del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) desde los años 2009-10, que ha aumentado su capacidad de monitoreo tanto en cantidad como en calidad instrumental, entregando pronósticos más precisos de la actividad volcánica de Chile. Aunque es necesario remontarse al 15 de octubre del año 1996 como el inicio del monitoreo volcanológico en Chile con los macizos Villarrica, Llaima, Mocho-Choshuenco, Osorno, Calbuco y Lonquimay y que se ha visto aumentado a 43 a la fecha de manera continua las 24 horas del día y los 365 días del año como consecuencias de la sorpresiva erupción del volcán Chaitén lo que generó un importante aporte de recursos al OVDAS (www.sernageomin.cl), lo que lo ha posicionado como el primer observatorio volcanológico a nivel mundial con la mayor cantidad de volcanes monitoreados de manera continua.

Ponderación de los factores y sus intervalos de peligro, para determinar el valor de peligro total de cada volcán.

Otro de los grandes inconvenientes que presentan tanto la MUB y la NVEWS-SERNAGEOMIN es la ponderación que posee cada uno de los peligros volcánicos evaluados en ambas metodologías, ya que el valor de peligro y vulnerabilidad que poseen en algunos casos se encuentran subestimado y en otros sobrestimado debido a que los “valores” de los diferentes peligros de la MUB fueron asignados mediante la percepción que tenían los autores hacia los amenazas de peligro (Auker, M.; comunicación personal por correo electrónico, 22 de junio de 2015). Para el caso de la incerteza utilizada en esta metodología, sus diferentes valores han sido asignados de la misma manera que la de los peligros (Auker; comunicación personal por correo electrónico, 22 de junio de 2015). y no mediante métodos estadísticos o matemáticos que le dan una relación de consistencia a los valores asignados, lo que genera que los niveles de riesgo no representen de manera correcta la realidad de cada uno de los volcanes evaluados

Situación muy similar ocurre con la metodología NVEWS (Ewert et. al., 2005) en donde la ponderación de los diferentes factores de peligro y vulnerabilidad han sido asignados mediante un sistema (a menudo) binario de asignación de valores de peligrosidad para cada factor (Ewert, J.; comunicación personal por correo electrónico, 14 de julio de 2015) y que se ha basado en las metodologías de Bailey et. al. (1983), Uhira (2003), Lowenstein y Talai (1984) y Yokoyama et. al. (1984) estando en estas dos últimas los peligros volcánicos ponderados principalmente con valores 0 y 1, que indican la presencia o no presencia del fenómeno sin importar su recurrencia, probabilidad ni efectos sobre la población, en tanto que en las dos primeras se basan en la frecuencia eruptiva y el potencial eruptivo de los volcanes.

Si bien la determinación de los diferentes factores le asigna un carácter cualitativo a las metodologías también es necesario asignar una ponderación a los factores de peligro que le dé un carácter de tipo cuantitativo a la evaluación del riesgo (Lara, 2007). Es el cómo asignar esta ponderación lo que es necesario readecuar en las todas las metodologías de evaluación de riesgo, incluso en las de riesgo volcánico de manera de obtener una evaluación lo más certera posible.

Ante esto existen una serie de métodos para asignar una adecuada ponderación a los factores de peligro y vulnerabilidad. No obstante, nunca se debe dejar de considerar la diversidad, y en muchos casos, la fuerte interdependencia que poseen los peligros, lo cual plantea un problema especial para la valoración del riesgo, debido a que los diferentes tipos de fenómenos pueden ocurrir simultáneamente, o uno tras otro (Sparks et al, 2013). Por ejemplo un flujo piroclástico o una fuerte caída de cenizas puede ser una condición favorable para generar lahares (Sparks et al, 2013). Otra dificultad a considerar tiene ver con la clasificación de los tipos de volcanes, ya que existen inconsistencias en la definición de un volcán, todo ello ligado a la alta subjetividad que puede haber dependiendo de la cantidad de expertos que los

cataloguen (Hone et al. 2007). Como consecuencia a esta situación es que se hace necesario realizar una ponderación en intervalos de cada uno de los factores de peligro para evaluar su riesgo ante una determinada situación, la que va a depender principalmente de la información y datos históricos de la actividad de cada volcán.

Otra variable que es utilizada para estimar una ponderación de peligro es la que considera los datos del IEV que, en general, es un buen indicador de número de víctimas mortales. Sin embargo, un examen más detallado del expediente de víctimas mortales demuestra que hay algunas grandes erupciones con un alto IEV que producen peligros muy destructivos y que han causado un número muy pequeño de víctimas mortales, y viceversa; por tanto, la magnitud de erupción (IEV) no es el factor dominante en el recuento de mortalidad (Blong, 1988). Los ejemplos incluyen la erupción del Unzen 1.792 (IEV 2, 14.524 muertes) y la erupción del Novarupta, Alaska 1.912 (VEI 6, 2 muertes). Lo cual demuestra que el IEV tampoco es un buen indicador para ponderar de manera directa el peligro o vulnerabilidad al relacionarlo con el valor de su índice.

El método propuesto para estimar las ponderaciones de los intervalos de cada factor de peligro, corresponde al Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) de Saaty (1980), el cual se basa en calcular las ponderaciones de cada factor y sus intervalos utilizando una matriz comparativa la que evalúa la importancia relativa de cada factor con respecto a otro. Ya que la mayoría de las metodologías que incorpora ponderaciones de peligro solo lo hace entre diferentes factores (peligros), pero no determinan los valores ponderados de los intervalos de un mismo peligro.

Para ello utiliza una escala de 9 valores, que compara a diferentes pares de factores dependiendo de si es “extremadamente menos importante” con un valor de (1/9) hasta el “extremadamente más importante” con un valor de (9) a los que le asigna un valor numérico generando una evaluación que incorpora lo cualitativo y que le da un sustento cuantitativo (Lozano, 2008).

Las ventajas que tiene el PAJ, son que: presenta un sustento matemático, permite medir criterios cuantitativos y cualitativos a través de una escala común; utiliza una relación de consistencia (RC) que permite que la comparación de factores realizada por los evaluadores sea aplicable y coherente y además es de un fácil uso (CENEPRED, 2013). Lo que le permite ser clasificada como una metodología heurística (Lozano, 2008).

Uno de los principales problemas que se han identificado en la metodología de la Universidad de Bristol y la NVEWS-SERNAGEOMIN, es la sobrevaloración que existen en las ponderaciones de los valores de peligro, como es el caso de la frecuencia eruptiva. La metodología del SERNAGEOMIN es buena para el ranking de riesgo, dentro de sus propios parámetros pero de igual forma es necesario modificar algunos factores de peligro y su ponderación e intervalos de peligrosidad y las condiciones que se deben cumplir para adquirir un cierto valor de peligro o vulnerabilidad, como es el

caso de la recurrencia eruptiva que si bien adquiere un valor de peligro igual a 4 si han existido erupciones en un rango de tiempo de entre 1 a 99 años, pero no se indica si es en el último siglo o hace 10 mil años, ya que se puede dar el caso que hayan existido muchas erupciones hace miles de años pero en los últimos cien años ninguna, lo cual en cierta manera tiende a aumentar el valor de peligro de un volcán el cual puede estar sobrevalorado en comparación con otro volcán que ha tenido pocas erupciones pero que han ocurrido en los últimos cien años, ya que eventualmente es más peligroso un volcán que ha tenido actividad eruptiva de manera más actual, que uno que lo tuvo hace miles de años, por lo que es necesario incorporar como condición además de los intervalos de erupciones por años, también cuando han ocurrido dichos eventos de manera de ponderar con un valor de peligro más alto los con actividad más actual. En tanto que para el caso de la frecuencia eruptiva en la MUB adquiere un valor de peligro 4 cuando han existido más de 21 erupciones en el holoceno. Sin embargo, puede darse el caso que éstas se hayan producido hace 10 mil años, mientras que un volcán que haya tenido menos erupciones en los últimos años posee un valor de peligro menor, siendo que su actividad es más reciente y puede ser más probable su reactivación. Una situación similar ocurre con los valores de peligro tanto para los peligros de lahar como para los flujos piroclásticos, que son los que mayores daños causan y que en ambas metodologías están subestimados con valores de peligro menores con respecto a la recurrencia eruptiva o el IEV.

Con este método del PAJ se pueden subsanar deficiencias que hay en la MUB y NVEWS-SERNAGEOMIN que se aprecian en el caso del volcán Villarrica el cual posee un mayor valor de riesgo a diferencia del Taapaca, ya que su evaluación está condicionado por que los factores de mayor ponderación (IEV y recurrencia eruptiva) están descritos de mejor forma en la historia eruptiva del primero mientras que en el segundo su peligro es menor porque no tiene una buena historia eruptiva, lo cual genera un sesgo en el nivel de riesgo entre los volcanes. Por lo que al desarrollar un análisis de peligro y vulnerabilidad con la matriz de PAJ, permite tener un análisis más detallado de cada factor y con ello asignar una ponderación más adecuada de acuerdo a la disponibilidad de datos de cada volcán de Chile, lo que facilita la estandarización de los resultados de riesgo obtenidos para cada volcán del país y de esta manera hacerlos comparables, resaltando aquellos casos extremos como el caso de erupciones con un IEV mayor a 7 que al tener una menor probabilidad de ocurrencia también mediante el PAJ adquiere un valor de peligro más alto.

Ranking de Riesgo Volcánico

Los ranking de riesgo son un buen indicador para determinar que volcán tiene una mayor nivel de riesgo, aunque su evaluación está condicionada por su historia eruptiva la que varía considerablemente en cada volcán (Ewert, 2007).

Para obtener una eficaz clasificación del riesgo se debe utilizar factores de peligro y vulnerabilidad, aunque suelen ser demasiado generales como para ser aplicados fácilmente a la mayoría o todos los volcanes (Ewert, 2007) y deben haber suficientes factores de tal manera que la presencia o ausencia de datos para uno o dos

factores no tendrán un efecto excesivamente grande en las puntuaciones individuales finales de riesgo de los volcanes (Ewert, 2007). Situación que en muchos volcanes de Chile no se cumple ya que sus registros históricos son nulos, lo cual incide en que su evaluación del riesgo sea deficiente.

Como se mencionó anteriormente una de las debilidades de los rankings de riesgo utilizados corresponde a la ponderación de peligro que poseen cada uno de los factores, ya que para el caso de la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN se han utilizados aquellos valores determinados por el método original NVEWS, que está basado principalmente en los ranking creados por Lowenstein and Talai (1984) y Yokoyama et al. (1984) ya que utiliza una serie de factores de peligro y vulnerabilidad similares. Sin embargo, su ponderación está limitada a la presencia o no presencia de algún peligro asignándole valores de 1 y 0 respectivamente, lo cual limita y subestima el valor de peligro de ciertos factores, como la recurrencia eruptiva que suele tener una mayor ponderación. Al igual que como en todas las metodologías descritas, el principal insumo en la evaluación de riesgo corresponde a la historia eruptiva de cada volcán (Lowenstein y Talai, 1984; Yokoyama et. al., 1984) la que mientras más detallada sea mejor es la evaluación del riesgo.

En cambio, los métodos creados por Bailey et al. (1983) y Uhira (2003) se basan en la recurrencia eruptiva y actividad volcánica para estimar potenciales erupciones a futuro, pero que de igual manera para estimarlas es necesario una detallada historia eruptiva (Bailey et. al., 1983).

Además, el sistema de puntuación de los ranking no da cuenta de la presencia de las actividades de monitoreo, evaluación del peligro, o planificación de medidas de mitigación, los cuales al ser considerados pueden reducir la amenaza en algún grado (Ewert, 2007). Como ocurre con la MUB que si bien evalúa el nivel de monitoreo del volcán, la cercanía alguna red sísmica e incluso estima la frecuencia eruptiva de los volcanes en función de su IEV, no los incorpora como factores dentro de la evaluación del riesgo volcánico. Además, el periodo de tiempo sobre el cual los peligros volcánicos están siendo evaluados no está explícitamente declarado en los métodos NVEWS y MUB. (Auker et. al, 2015) considerando solamente la información que se tiene de los últimos 10 mil años.

Es así como el ranking de las metodologías NVEWS-SERNAGEOMIN y MUB son de tipo heurístico o semicuantitativa, ya que más que predecir una probable erupción y sus probables efectos, más bien determinan el nivel de riesgo de un volcán en base a los datos históricos mediante la ponderación que le han dado sus autores a los diferentes factores de peligro. Por lo tanto, el ranking sirve para dar prioridad a la investigación, monitoreo y preparación de medidas de mitigación de un determinado volcán en función de su nivel riesgo.

Finalmente, es posible mencionar de la casi nula existencia de rankings de peligros volcánicos (que incluyan todos los peligros), ya que gran parte de los peligros son analizados de manera individual.

CAPÍTULO 8.- CONCLUSIONES

Considerando los resultados de peligro, vulnerabilidad y riesgo obtenidos mediante cada una de las metodologías utilizadas es posible aseverar que existe una evidente dependencia de los datos disponibles en la determinación de los valores de peligro y vulnerabilidad. Esto último genera que ante una precaria historia eruptiva los valores estimados para el riesgo tenderán a ser más inexactos. Es ante esto que se hace necesario reconstruir con mayor detalle la historia eruptiva de los volcanes de manera de poder obtener una mejor evaluación de su nivel de peligro y unos niveles de incerteza menores, lo que permitirá ponderar de mejor manera la áreas de peligro determinadas.

Los resultados obtenidos al aplicar la MUB, indican que se han clasificado 4 volcanes con un nivel de riesgo medio y 86 volcanes con un nivel de riesgo bajo, lo cual está influenciado por la baja cantidad de personas que habita alrededor de los volcanes en Chile. En cuanto a los resultados de los volcanes Taapaca en el Norte de Chile y el volcán Villarrica por el Sur al aplicar la MUB, es posible apreciar en primer lugar que los niveles de riesgo son diferentes, ya que la cantidad de población en peligro es menor en el volcán Taapaca y por ende su nivel de riesgo alcanza un nivel (bajo). En tanto que la cantidad de habitantes bajo peligro volcánico en las áreas de influencia del volcán Villarrica es de un nivel 2 (medio) por lo que su nivel de riesgo alcanza un valor 2 (medio).

Los resultados que se han obtenido aplicando la MUB para determinar el peligro, los volcanes que poseen un bajo nivel de peligro, corresponden a 13, los que se ubican principalmente en la zona norte de Chile, éstos tienen un nivel bajo de peligro influenciado principalmente por la escasa información disponible de su historia eruptiva. Los volcanes con un nivel de peligro medio, aplicando la MUB, corresponde a 47. los que se ubican a lo largo de todo Chile. Y los volcanes en categoría de peligro alto corresponden a 30 y se ubican principalmente en la zona centro-sur y austral del país con algunas excepciones en la zona norte; éstos poseen valores de peligro elevados debido a que su historia eruptiva es bastante nutrida lo que permite obtener valores más ciertos relacionados a su nivel de peligro.

De esta manera con los resultados obtenidos con la MUB, se puede indicar que aquellos que poseen valores de incerteza más altos tienen valores de peligro menores, mientras que aquellos con una incerteza baja o nula han obtenido los niveles de peligro más altos, como es el caso del Villarrica que tiene una incerteza 0 y es uno de los volcanes más peligrosos de Chile. Por lo que evidentemente la calidad y cantidad de la información disponible incide en el nivel de peligro.

En cuanto a los niveles de exposición que se han obtenido al aplicar la MUB han sido catalogados 86 volcanes con un nivel de exposición bajo mientras que solamente 4 volcanes han alcanzado un nivel de exposición medio, lo cual está dado por la cantidad

de población que habita en los alrededores de los volcanes, lo que según esta metodología para aquellas zonas con población ponderada menor a 3.000 es categorizada como bajo, mientras que para aquellas con una población que va desde los 3.000 hasta los 9.999 está en la categoría media. Ante estos parámetros y considerando el contexto de Chile es que se puede considerar que la población que habita cerca de los volcanes (30 km) es demasiado baja. Además es posible considerar que estos resultados de exposición inciden directamente en los niveles de riesgo al ser similares, con 86 volcanes en nivel bajo y 4 volcanes con nivel medio.

Respecto a los valores calculados en la MUB de la frecuencia eruptiva de los volcanes de Sudamérica según su IEV, se puede indicar que estos resultados no se condicen con la realidad de Chile, ya que para el caso de una erupción de un IEV 3 se estima un período de retorno de 0,6 años, lo que en el caso del volcán Taapaca no tiene ninguna relación, ya que este volcán no registra actividad volcánica hace miles de años, siendo sus únicos registros dataciones radiométricas, mientras que para el caso del volcán Villarrica, si bien éste posee una frecuencia eruptiva más recurrente, al ser uno de los más activos de Sudamérica, sus erupciones no han alcanzado un IEV 3, siendo la última con este índice la que se produjo en el años 1963. Por lo tanto, en ambos casos los datos obtenidos para la frecuencia eruptiva no se relacionan correctamente con la realidad de Chile.

Es posible también mencionar que dentro de los niveles de monitoreo los que poseen una mayor valoración corresponden a los volcanes que tienen un constante seguimiento por parte de la Red de Vigilancia Volcánica, que además de rastrear su actividad eruptiva también incorpora datos sísmicos que incide en que su nivel de incerteza para estos dos casos sea bajo (cero). Además, cabe indicar que para el factor que indica la cercanía de un volcán a una red sísmica manejada por el “Servicio Sismológico Nacional” la metodología revela que son catalogadas con un nivel alto (3) de monitoreo, aquellos volcanes que poseen alguna estación sismológica a menos 15 km, lo cual para el caso de Chile, según datos aportados por el Servicio Sismológico, ningún volcán cuenta con un monitoreo constante por parte de esta institución para registrar sus niveles sísmicos. Por lo que, lo ideal es llegar al monitoreo de los 90 volcanes activos de Chile de manera de conocer mejor su comportamiento con la finalidad de perfeccionar la información disponible de cada uno de éstos, lo cual repercutirá de manera positiva en mejorar su evaluación de riesgo.

Las áreas de peligro que se han obtenido tanto con la MUB como con la NVEWS-SERNAGEOMIN deben ser afinadas de manera de que representen de forma más detallada las zonas susceptibles de sufrir con algún peligro volcánico, ya que la primera tiende a sobreestimar su superficie de peligro, mientras que en la segunda la superficie de peligro tiende a ser más homogénea de tipo radial. Para esto se deben modificar y excluir aquellas áreas de altas pendientes, de cerros y lomajes que quedan dentro de las cuencas hidrográficas, para así representar de una manera más precisa las probables zonas de peligro ayudándose tanto de los registros históricos del paso de antiguos peligros como del registro en terreno.

En síntesis este estudio ha consistido en evaluar el riesgo volcánico de los 90 volcanes activos de Chile utilizando la metodología creada por la Universidad de Bristol para diferentes países del mundo. A partir de estos resultados se ha realizado una comparación con los datos obtenidos de la evaluación efectuada con la metodología NVEWS-SERNAGEOMIN que ha utilizado en Servicio Nacional de Geología y Minería en los volcanes activos del país.

Además, muchos de los parámetros utilizados en ambas metodologías, como los factores de peligro, la ponderación de los factores, las áreas de peligro y sus buffer, han sido determinados principalmente por decisiones de los evaluadores más que por métodos científicos, lo cual hace que las metodologías utilizadas tengan un amplio rango de subjetividad.

De esta manera, es posible indicar que la metodología que mejor se adapta al contexto volcánico de Chile para evaluar riesgo volcánico y así generar un ranking de riesgo es la NVEWS-SERNAGEOMIN, aunque es necesario realizar algunos ajustes en los valores de ponderación de los peligros de manera que estos no estén subestimados como el peligro de lahar o de flujos piroclásticos. Para ello es posible utilizar el método del PAJ que permite obtener valores de peligro y vulnerabilidad más consistentes.

Mientras, que la metodología de la Universidad de Bristol es mejor para determinar las áreas de peligro proximal, ya que mediante la obtención de las cuencas hidrográficas entrega una primera y rápida aproximación de las zonas que pueden estar expuestas a las amenazas volcánicas, aunque es necesario realizar algunos ajustes que permitan remover de las áreas de peligro a aquellas zonas de altas pendientes o de cerros que tendrán una baja o nula posibilidad de ser afectadas.

Además, se ha adaptado la MUB al contexto volcánico de Chile para obtener resultados de riesgo de acuerdo a las condiciones del país. De esta manera los niveles de exposición se han determinado en base a la cantidad de personas que habitan alrededor de los volcanes, siendo los valores extremos el volcán Calbuco con 48.009 habitantes como el valor máximo y el Monte Burney con 0 habitantes como el valor mínimo con lo cual se han determinado 7 niveles de exposición en base a estos valores, cada uno con un índice de 3, 2,5, 2, 1,5, 1, 0,5 y 0. Estos se multiplican con los nuevos valores de los factores peligro que han sido recalculados mediante el método del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ), con lo cual se han modificado los valores de peligro de los flujos piroclásticos, flujo de lahar, IEV y recurrencia eruptiva. Con esta reevaluación de las ponderaciones del índice de explosividad se disminuye el peso de los tres primeros intervalos, en cambio aquellos volcanes que poseen un IEV ≥ 7 se les asigna un valor de peligro 5 en vez de los 4 que originalmente poseía y con una relación de consistencia de 0,074 lo que valida la evaluación. En tanto, los valores de los tres primeros intervalos de peligro del factor de frecuencias de las erupciones han disminuido mientras que aquellos volcanes que tienen más de veinte erupciones pasan de un valor de peligro 4 a 6, y con una relación de consistencia de 0,05 con lo que se

valida la evaluación. De esta manera la nueva ponderación resalta más a aquellos valores que tienen una baja probabilidad de ocurrencia como es el caso de una erupción de IEV mayor a 7 y de más de veinte erupciones registradas. Con esto los valores de peligro de aquellos volcanes más activos se ve incrementado como es el caso del Villarrica, mientras que los volcanes con una escasa actividad su valor de peligro se mantiene o disminuye como es el caso del Taapaca.

Mientras que, tanto los valores de peligro de los flujos piroclásticos como los de lahar mantienen sus valores originales, cambiando solamente el primer intervalo pasando de un valor original de 0 a 0,25, por lo que la relación de consistencia de los valores obtenidos es de 0,06 lo que certifica de adecuada la asignación de puntajes originales. Estos nuevos valores indican que la MUB original posee una buena asignación de valores de peligro para estos dos factores.

Finalmente, hay que considerar que al tomar todas las medidas de mitigación y realizar todo tipo de estudios de delimitar áreas de peligro y generar rankings de riesgo, siempre habrán imprevistos que se pueden salir de toda planificación, por lo cual es necesario también invertir en educación, más que en alarmar a la población, de forma que se encuentre preparada ante eventos catastróficos de difícil manejo.

CAPÍTULO 9.-RECOMENDACIONES

En cuanto a los factores de peligro y vulnerabilidad que han sido utilizados tanto en la metodología de la Universidad de Bristol como en la del Servicio Nacional de Geología y Minería se propone incorporar entre los factores de peligro el tipo de clima que posee la zona en que ubica el volcán, de manera de complementar su evaluación de peligro de detalle con la probable ocurrencia de lahares producidos por lluvias abundantes o por la presencia de hielo o nieve en su cráter, lo que está ligado con la estación del año en que se puede llegar a producir una erupción, por lo cual se debe realizar en un análisis a una escala de mayor detalle ya sea a nivel local o comunal. Mientras que entre los factores de vulnerabilidad se recomienda incorporar en la MUB la calidad de los caminos para realizar eventuales evacuaciones así como también la disponibilidad de infraestructura que pueda servir como albergues o de acopio y que se encuentren dentro de las áreas de influencia de peligro volcánico y que puedan verse afectadas por las diferentes amenazas asociadas a una erupción.

Desarrollar mapas de riesgo a una escala mayor bien detallada en conjunto con las autoridades locales/comunales, de manera que sean capaces de informar oportunamente a la población de las zona de riesgo volcánico que existen en cada comuna para evitar/prohibir que sean habitadas.

Finalmente, se recomienda realizar una completa reasignación de valores (ponderación) de peligro para cada factor, utilizando el PAJ de manera de dar un peso con mayor objetividad a los peligros evaluados en los diferentes rankings.

10.-BIBLIOGRAFÍA

- ACEVES–QUESADA, F., LÓPEZ–BLANCO J. y MARTIN DEL POZZO, A.** 2006. “*Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México*” *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* v. 23, núm 2.
- ALFANO, F., BONADONNA, C., VOLENTIK,A., CONNOR,C., WATT,S., PYLE, D., COONOR, L.** 2010. “*Tephra stratigraphy and eruptive volume of the May, 2008, Chaitén eruption, Chile*”. *Bulletin of Volcanology*.
- ANDRIESEN,P. y REUTTER K.** 1994. “*K-Ar and Fission Track Mineral Age Determination of Igneous Rocks Related to Multiple Magmatic Arc Systems Along the 23°S Latitude of Chile and NW Argentina*”, *Tectonics of the Southern Central Andes* pp 141-153,
- APEL, H., THIEKEN, A. H., MERZ, B. AND BLOSCHL, G.** 2004. “*Flood risk assessment and associated uncertainty*”. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2004) 4: 295–308 SRef-ID: 1684-9981/nhess/2004-4-295 © European Geosciences Union.
- ARGIS RESOURCES** support.esri.com/en/knowledgebase/techarticles/detail/11961 (Consulta 12-08-2015)
- ASPINALL, W., AUKER, M., CROSWELLER, S., HINCKS, T.K., MAHONY, S., NADIM, F., J. POOLEY SPARKS, R.S.J., SYRE, E.** 2011. “*Volcano Hazard and Exposure in GFDRR, Countries and Risk Mitigation Measures - GFDRR Volcano Risk Study*”. Bristol University Cabot Institute and NGI Norway for the World Bank: NGI Report 20100806; 309pp.
- AUBOUIN, J., BORRELLO, A., CECIONI, G., CHARRIER, R., CHOTIN, P., FRUTOS, J., THIELE, R. y VICENTE, J.** 1973. “*Esquisse paléogéographique et structurale des Andes meridionales*”. *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique*, 15(1/2), 11–72.
- AUKER, M.R., SPARKS, R.S.J., JENKINS, S.F., BROWN, S.K., ASPINALL, W., DELIGNE, N.I., JOLLY, G., LOUGHLIN, S.C., MARZOCCHI, W., NEWHALL, C.G. y PALMA, J.L.** 2015. “*Development of a new global volcanic hazard index (VHI)*”. In *Global volcanic hazards and risk: Technical background paper for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Global Volcano Model and IAVCEI*.
- AUKER, M.R., SPARKS, R. S. J., SIEBERT, L., CROSWELLER, H. S. y EWERT, J.** 2013. “*A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record*”. *Journal of Applied Volcanology*, 2, 1-24.
- BAILEY, R.A., BEAUCHEMIN, P.R., KAPINOS, F.P., AND KLICK, D.W.** 1983. “*The Volcano Hazards Program: Objectives and long-range plans*.” Open-File Rep. No. 83-400, U.S. Geological Survey, Reston.
- BARAZANGI, M. e ISACKS, B.** 1976. “*Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America*”. *Geology* 4: 686-692.
- BLONG, R.** 1988. “*Assessment of eruption consequences*”. En: *Kagoshima International Conference on Volcanoes, Proceedings*.1988.
- BRIGNARDELLO, L.** 1997. “*Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de sistemas de información geográfica*”. *Revista de Geografía norte grande* N°24.
- BROWN, S., CROSWELLER, H., STEPHEN, R., SPARKS, J., COTTRELL, E., DELIGNE, N., ORTIZ, N., HOBBS, L., KIYOSUGI K., LOUGHLIN S., SIEBERT, L.**

- AND TAKARADA, S.** 2014. “*Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database*”, 2014, Journal of Applied Volcanology.
- BROWN, S.K., LOUGHLIN, S.C., SPARKS, R.S.J. y VYE-BROWN, C.** 2015. “*Global volcanic hazards and risk: Technical background paper for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015*”. Global Volcano Model and IAVCEI.
- CAHILL, T. e ISACKS, B. L.** 1992. “*Seismicity and shape of the subducted Nazca plate*”. Journal of Geophysical Research, 97, 17503–17529.
- CALVO, F.** 1997. “*Algunas cuestiones sobre Geografía de los riesgos*” N°10, Universidad de Barcelona.
- CAMARASA, A., SALAS F., y CHUVIECO, E.** 2001. “*Información Geográfica y Riesgos Naturales*”. La Cartografía: infraestructura Geográfica para la toma de decisiones. El campo de las Ciencias y las Artes. Servicio de Estudios BBVA, Madrid, España. N°138.
- CÁRDENAS, E., PORRAS, P. y MORALES, L.** 2013. “*Empleo del programa Volcflow para simular flujos piroclásticos del volcán Cerro Machín, Tolima, Colombia*” REVISTA CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA Vol.23 No.2.
- CARDONA, O.** 2001. “*La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: Una Crítica y una revisión necesaria para la gestión*”. Artículo y ponencias de Disaster Studies, Wageningen, Holanda.
- CARDONA, O. (Coordinador General).** 2011. “*CAPRA, TOMO I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales; Informe Técnico ERN-CAPRA-T1-1: Componentes Principales del Análisis de Riesgo*”.
- CARDONA, O. (Coordinador General).** 2011. “*CAPRA, TOMO I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales; Informe Técnico ERN-CAPRA-T1-3: Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección*”.
- CARDONA, O (Coordinador General).** 2011. *CAPRA, TOMO I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales; Informe Técnico ERN-CAPRA-T1-7: Módulos de Software.*
- CASTRUCCIO, A.** 2008. “*Comparación y modelación numérica de lahares calientes en el volcán Calbuco (41,3°s) y lahares fríos en el volcán Villarrica (39,5°s), Andes del Sur*”. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geología, Universidad de Chile. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 177p.
- CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (CENEPRED).** 2013. “*Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales*”.
- CORVALAN, J., FLUEH, E.R., HINZ, K., KORSTGARD, J., RANERO, C.R., WEINREBE W. and SCIENTISTS C.** 1997. “*Tectonic control of the subducting Juan Fernández Ridge on the Andean margin near Valparaiso, Chile*”, Tectonics, 16, 474–488.
- COIRA, B., DAVIDSON, J., MPODOZIS, C., y RAMOS, V.** 1982. “*Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile*”, Earth Science Reviews, 18, 303-332.
- CREIXELL, C., PARADA, M.A., MORATA, D., VÁSQUEZ, P., PÉREZ DE ARCE, C., ARRIAGADA, C.** 2011. “*Middle-Late Jurassic to Early Cretaceous transtension and transpression during arc building in Central Chile: evidence from mafic dike swarms*”, Andean Geology 38 (1): 37-63.
- CHARRIER, R., FARIÁS, M. y MAKSAEV, V.** 2009. “*Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y*

central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina". Revista Asociación Geológica Argentina. v.65 n.1.

CHANG, I. 2005. "*Indicadores de Vulnerabilidad y Desastres para América Latina*". Consultoría Profesional.

D'ALBE, E. M. F. 1979. "*Objectives of volcanic monitoring and prediction.*" Journal of the Geological Society. (London), 1363, 321–326.

DE PEDRAZA, J. 1989. "*Los riesgos Geológicos a la luz del dilema actualismo-catastrofismo*". Universidad Complutense. Facultad de Ciencias Geológicas, Madrid, España.

DELIGNE, N., COLES, S., AND SPARKS, J. 2010. "*Recurrence rates of large explosive volcanic eruptions*", Journal of Geophysical Research, vol. 115.

DÉRUELLE, B., FIGUEROA, O., MEDINA, E., VIRAMONTE, J., MARAGNO, M. 1996. "*Petrology of pumices of april 1993 eruption of Lascar (Atacama-Chile)*". Terra Nova 8, 191-199.

DUNKLEY, P. 1999. "*Volcanic Hazards: hazard, vulnerability and risk assessment*" Global Geohazards. British Geological Survey, Issue 14.

EASTMAN, J.R. 1997. "*IDRISI for Windows, Version 2.0, User's Guide*". Worcester, MA, Clark University, Clark Laboratories for Cartographic Technologies and Geographic Analysis.

EWERT, J. 2007. "*System for ranking relative threats of US Volcanoes*". Natural Hazards Review 8, 121-124.

EWERT, J., GUFFANI, M., AND MURRAY, T. 2005. "*An assessment of volcanic threat and monitoring capabilities in the United States: Framework for a national volcanic early warning system (NVEWS)*". United States Geological Survey, Open-File Report 1164: 1-62.

EWERT, J., MILLER, C.D., TILLING, R.I., AND NEAL, C.A. 1998. "Revised criteria for identifying high-risk volcanoes around the world." EOS Transactions American Geophysical Union.

FELPETO, A., MARTÍ, J. and ORTIZ, R. 2007. "*Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 166.

GANSSER, A. 1973. "*Theories and facts on the Andes*". Journal of the Geological Society, London, 129, 93–131.

GARDEWEG, M., y AMIGO, A. 2011. "*Mapa de preliminar de peligros volcánicos, Volcán Lascar, Región de Antofagasta*". Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe inédito, Programa de Riesgo Volcánico, escala 1:50.000.

GONZÁLEZ-FERRÁN, O. 1995. "*Volcanes de Chile*". Instituto Geográfico Militar, Santiago, 640 p.

GUTSCHER, M.A. 2002. "*Andean subduction styles and their effect on thermal structure and interplate coupling*", Journal South American Earth Sciences, 15, 3–10.

GUTSCHER, M.A., SPAKMAN, W., BIJWAARD H. AND ENGD AHL, E.R. 2000. "*Geodynamics of flat subduction: seismicity and tomographic constraints from the Andean margin*", Tectonics, 19, 814–833.

HONE, D.W.E., MAHONY, S.H., SPARKS, R.S.J. AND MARTIN, K.T. 2007. "*Cladistic analysis applied to the classification of volcanoes*". Bulletin Volcanology.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN) "*Volcanología: Peligrosidad y riesgo volcánico*" <http://www.ign.es/ign/layoutIn/peligrosidad.do> (Consulta: 01-09-2015)

JORDAN, T., BURNS, W., VEIGA, R., PÁNGARO, F., COPELAND, P., KELLEY, S. AND MPODOZIS, C. 2001. "*Extension and basin formation in the Southern Andes*

caused by increased convergence rate: A mid- Cenozoic trigger for the Andes". Tectonics, 20.

LAGOS, F., MARTÍNEZ, P., MORALES, C. 2013. "*Erupciones recientes del volcán Chaitén y Cordón Caulle*". Universidad de Chile Volcanología Física.

LARA, M. 2007. "*Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana*", Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias mención Geología, Memoria para Optar al Título de Geólogo. Santiago. Universidad de Chile. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 212p.

LARA, L., OROZCO, G., AMIGO, A., SILVA, C. 2011. "*Peligros Volcánicos de Chile*" CARTA GEOLÓGICA DE CHILE, Serie Geología Ambiental No. 13. Escala 1:2.000.000, Servicio Nacional de Geología y Minería.

LARRAÍN, P. y SIMPSON- HOUSLEY, P. 1994. "*Percepción y Prevención de catástrofes naturales en Chile*". Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.

LAVELL, A. 1999. "*Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos*". Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y la Red de Estudios Sociales en prevención de Desastres en América Latina. LA RED.

LOWENSTEIN, P.L. AND TALAI, B. 1984. "*Volcanoes and volcanic hazards in Papua New Guinea*." Rep. No. 263, Geological Survey of Japan, Tokyo, 315–331.

LOZANO, O. 2008. "*Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*". Centro de Estudios y Prevención de Desastres, Predes.

MORALES DE FRANCISCO, J.M. 2014. "*Algoritmo probabilístico para la simulación de flujos de lavas*", Master oficial en sistemas inteligentes y aplicaciones numéricas en ingeniería, Instituto de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI), Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

MARDONES, M. y VIDAL, C. 2001. "*La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de Tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción*". En revista Eure, Vol. XXVII, n 81.

MORENO, H., y GARDEWEG, M. 1989. "*La erupción reciente en el complejo volcánico Lonquimay (Diciembre 1988-), Andes del Sur*". Revista Geológica de Chile 26, 93-117.

MORENO, T AND GIBBONS, W. 2007. "*The Geology of Chile*", *The Geological Society London*.440p.

MORENO, H y NARANJO, J.A. 2003. "*Mapa de peligros del volcán Llaima, Región de La Araucanía*". Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental No. 7, escala 1:75.000.

MORENO, H y NARANJO, J.A. 2006. "*Peligros del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, Región de Los Lagos*". Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental No. 9, 1 mapa escala 1:50.000.

MPODOZIS, C. AND RAMOS, V.A. 1989. "*The Andes of Chile and Argentina*", In: Eriksen, G.E., Cañas, M.T. and Reintmund, J.A. (Editors). *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and energy resources*; Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, Earth Sciences Series, Houston, Texas, Vol. 11.

MPODOZIS, C. AND RAMOS, V.A. 2008. "*Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones*". Revista de la Asociación Geológica Argentina 63.

- NARANJO, J.A., MORENO, H. AND BANKS, N.G.** 1993. “*La erupción del volcán Hudson en 1991 (46° S), región XI, Aysén, Chile*”, Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 44, 50 p.
- NARANJO, J.A., MORENO, H., POLANCO, E. AND YOUNG, S.** 2000. “*Mapa de peligros de los volcanes del Alto Biobío, Regiones del Biobío y La Araucanía*”. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo No. 15, 1 mapa escala 1:100.000.
- NOVOA, J.** 1987. “*Consideraciones geomorfológicas para la evaluación del riesgo y peligro fluvial*”. Revista Geográfica Terra Australis, N°30.
- OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIAS (ONEMI).** 2001. “*Marco conceptual en protección civil*” nivel 1. Módulo básico programa de información profesional en protección civil.
- OKUYAMA, Y. AND SAHIN, S.** 2009. “*Impact estimation for disasters: a global aggregate for 1960 to 2007*”. World Bank Policy Working Paper 4963, pp. 1–40.
- PETIT-BREUILH, M.E.** 2004. “*La historia eruptiva de los volcanes hispanoamericanos (Siglos XVI al XX)*”. Servicio de Publicaciones del Excelentísimo. Cabildo Insular de Lanzarote-Casa de los volcanes: 431 p.
- PICHOWIAK, S.** 1994. “*Early Jurassic to Early Cretaceous Magmatism in the Coastal Cordillera and the Central Depression of North Chile*”. Tectonics of the Southern Central Andes.
- PILGER, R.** 1981. “*Plate reconstructions, aseismic Ridges, and low-angle subduction beneath the Andes*”, Geological Society of America Bulletin 92, 448–456.
- RAMOS, I.** 2012. “*Estudio de la dinámica de los lahares recientes del flanco oeste del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (36°50'S), Andes del Sur*”, Memoria de para optar al Título de Geólogo. Santiago. Universidad de Chile Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- RAMOS, V.A.** 2009. “*Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle*”. In Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision (Kay, S.M.; Ramos, V.A.; Dickinson, W.R.; editors). Geological Society of America Memoir 204: 31-65.
- REUTTER, K.J., SCHEUBER, E. AND HELMCKE, D.** 1991. “*Structural evidence of orogen-parallel strike slip displacements in the Precordillera of northern Chile*”, Volume 80, Issue 1, pp 135-153.
- ROSE, W., SELF, S., MURROW, P.J., BONADONNA, C., DURANT, A.J. AND ERNST, G.G.J.** 2007. “*Nature and significance of small volume fall deposits at composite volcanoes: insights from the October 14, 1974 Fuego eruption, Guatemala*”, Bulletin of Volcanology.
- SAATY, T.L.** 1980. “*The Analytic Hierarchy Process; Planning, Priority Setting Resource Allocation*”. New York, McGraw–Hill.
- SÁNCHEZ, M.** 1993. “*Base conceptuales y metodológicas para la confección de una cartografía de riesgos*”. Seminario Riesgos y Desastres naturales, Instituto Geográfico Militar, Instituto de Geografía, PUC.
- SCHEUBER, E., BOGDANIC, T., JENSEN, T. AND REUTTER, K.J.** 1994. “*Tectonic Development of the North Chilean Andes in Relation to Plate Convergence and Magmatism Since the Jurassic*”. Tectonics of the Southern Central Andes: Structure and Evolution of an Active Continental Margin.

- SCHEUBER, E. AND GONZALEZ, G.** 1999. "Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous arc of north Chilean Coastal Cordillera (22°-26°S): A story of crustal deformation along a convergent plate boundary". *Tectonics*, Volumen 18, No 5.
- SCHEUBER, E., AND REUTTER, K.J.** 1992. "Magmatic arc tectonics in the Central Andes between 21° and 25° S", *Tectonophysics*, 205, 127-140.
- SEPÚLVEDA, M.** 1991. "Prevención de Riesgos y catástrofes urbanas en el caso de Santiago Oriente. La Dehesa-Lo Barnechea". *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*.
- SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES (SNET)** "Instrumentos de apoyo para el: ANÁLISIS Y LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES" <http://www.snet.gob.sv/Riesgo/GuiaMetodologica.pdf> (Consulta: 16-08-2015).
- SIGURDSSON, H.** 1999. "Encyclopedia of Volcanoes", Editorial Academic Press.
- TARBUCK, E.J. y LUTGENS F.K.** 2005. "Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física". Octava Edición, Editorial Prentice Hall.
- SIMKIN, T. AND SIEBERT, L.** 1994. "Volcanoes of the World." Geoscience Press, Smithsonian Institute, Tucson, Arizona.
- SIMKIN, T.A., SIEBERT, L. AND BLONG, R.** 2001. "Volcano fatalities – lessons from the historical record". *Science* 291. 255p.
- SPARKS, R.S.J., ASPINALL, W.P., CROSWELLER, H.S. AND HINCKS, T.K.** 2013. "Risk and uncertainty assessment of volcanic hazards" in: Jonathan Rougier, RSJ Sparks, Lisa J Hill (eds) *Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards*. Cambridge University Press, pp. 364-397.
- STERN, C.R., MORENO, H., LÓPEZ-ESCOBAR, L., CLAVERO, J.E., LARA, L., NARANJO, J.A., PARADA, M.A. y SKEWES, M.A.** 2007. "Chapter 5: Chilean Volcanoes." In Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*, The Geological Society, 147-178, London.
- SUBSECRETARIA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRACIÓN (SUBDERE).** 2011. "Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial".
- UHIRA, K.** 2003. "Revised definitions and classification of active volcanoes in Japan, based on their past activities." Volcanological Division, Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency, pp. 1-6.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNISDR).** 2015. "Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction GAR-2015, Annex 1 GAR GLOBAL RISK ASSESSMENT: DATA, METHODOLOGY, SOURCES AND USAGE".
- USGS.** 2014. "Volcano Hazards Program", <http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/maar.html>, [Consulta: 17 de Octubre de 2014]
- VOLCANPEDIA.** 2014. "Volcanes. Enciclopedia Especializada" <http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>. [Consulta: 17 de Octubre de 2014].
- WITHAM, CS.** 2005. "Volcanic disasters and incidents: a new database". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 148:191–233.
- YOKOYAMA, I., TILLING, R., AND SCARPA, R.** 1984. "International mobile early-warning systems for volcanic eruptions and related seismic activities." UNESCO, Paris.
- YOUNG, S.R., BAXTER, P.J., POMONIS, A., ERNST, G.G.J. AND BENSON, C.** 1998. "Volcanic Hazard and Community Preparedness at Volcán Irazú, Costa Rica". British Geotechnical Survey Report WC/98/16R.

YOUNG, S.R. AND SPARKS, R.S.J, 1998. "*Preliminary Assessment of Volcanic Risk on Monserrat*". Monserrat Volcano Observatory Internal Report to UK Government; Vesuvius, Azores – EU-EXPLORIS project.

11.-ANEXOS

ANEXO I: Conceptos Geológicos

ANEXO II: Tabla resumen de la evaluación con la metodología de la Universidad de Bristol

ANEXO III: Tabla detallada de la evaluación de Peligro con la metodología de la Universidad de Bristol

ANEXO IV: Síntesis de la Evaluación del peligro de los volcanes activos de Chile (MUB)

ANEXO V: Síntesis de la Evaluación del peligro de los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN) Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011

ANEXO VI: Síntesis de la Evaluación de la vulnerabilidad en los volcanes activos de Chile (MUB)

ANEXO VII: Síntesis de la Evaluación de la vulnerabilidad en los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN); Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011.

ANEXO VIII: Síntesis de la Evaluación del riesgo en los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN) Fuente: Peligros volcánicos de Chile, 2011.

ANEXO IX: Ranking de los niveles de peligro de ambas metodologías

ANEXO X: Ranking de los niveles de vulnerabilidad de ambas metodologías

ANEXO XI: Ranking de los niveles de riesgo de ambas metodologías

ANEXO XII: Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ)

Anexo I: Conceptos Geológicos

Tipos de volcanes activos de Chile

De esta forma se pueden describir los siguientes Tipos de volcanes activos del país.

Estratovolcanes: “Volcán constituido a la vez por coladas de lava y por material piroclástico” (Tarbuck y Lutgens,2005).

También se le puede definir como un “edificio volcánico mayor formado por una alternancia de lavas y depósitos piroclásticos, construido por sucesivas erupciones desde un cuerpo de emisión principal o desde dos o más centros de emisión” (Moreno y Naranjo, 2003), según se ve en la Figura.

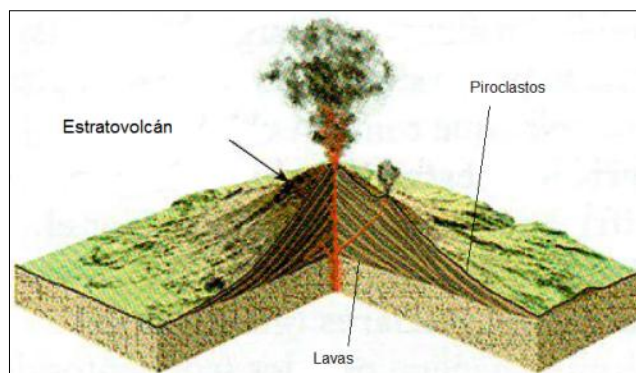


Figura: Esquema de un Estratovolcán
Fuente: Tarbuck y Lutgens.2005.

Otro Tipo de estructura volcánica que es posible encontrar en Chile son los Complejos Volcánicos que según Naranjo et. al, 2000, corresponde a un “Conjunto de centros de emisión caracterizado por una persistente actividad volcánica o pasada, compuesto por una asociación de diversas rocas volcánicas” o una definición más detallada la considera como un “conjunto de centros de emisión, con sus respectivos cráteres, domos, lavas y depósitos piroclásticos, que están espacial, temporal y genéticamente relacionados entre sí (Moreno y Naranjo, 2006). Dicho es el caso del complejo volcánico Lonquimay, que se presenta en la Figura la que muestra los diferentes cráteres, conos, fisuras, entre otros elementos que la componen.

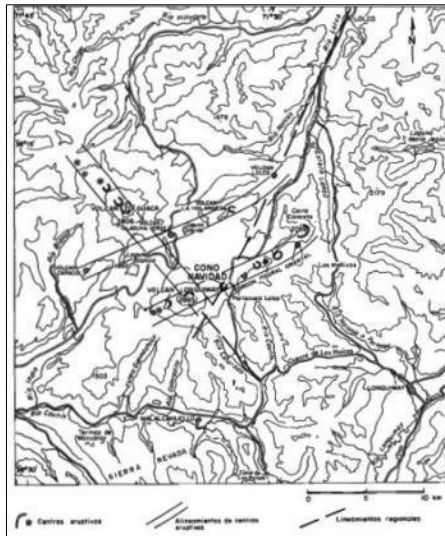


Figura: Ejemplo del Complejo volcánico Lonquimay.
Fuente de Figura: Mapa de peligros volcánicos, Complejo volcánico Lonquimay

Otro Tipo de estructura son los Grupos Volcánicos que se caracterizan por presentar una serie de conos y estructuras asociadas a la misma fuente eruptiva, como es el caso del Grupo Puyuhuapi que es una cadena de conos de ceniza que han surgido de dos fisuras eruptivas.

También es posible considerar a los Cordones Volcánicos los cuales se identifican por presentar una asociación de dos o más volcanes de grandes dimensiones, por lo cual es posible encontrar cordones con más de una cumbre de gran importancia.

Finalmente es posible distinguir un Maar (Alítar), éstos se caracterizan por ser de un bajo-relieve, con un amplio cráter volcánico formado por erupciones explosivas de poca profundidad. Las explosiones son causadas generalmente por aumento de la temperatura de las aguas subterráneas debido a que el magma invade la capa freática. Los maars a menudo se llenan de agua para formar un lago, según se aprecia con más detalle en la Figura a continuación (Fuente: <http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/maar.html>).

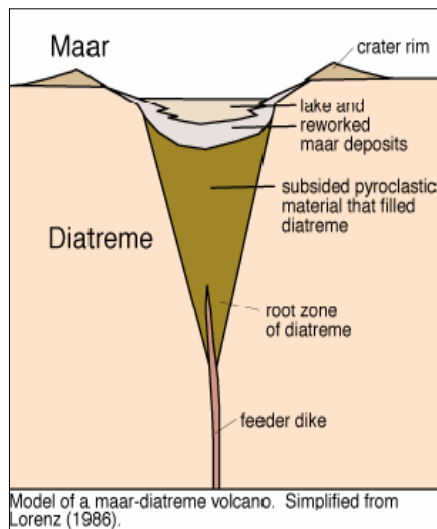


Figura: Esquema estándar de un Maar.

Fuente de Figura: Bulletin of Volcanology: October 1986, Volume 48, Issue 5, pp 265-274 *On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff rings* V. Lorenz.

Otro concepto que es necesario describir en este trabajo, son los Tipos de erupciones, aunque se ha hecho hincapié en definir solamente aquellas que se han producido históricamente en nuestro país, para ello se han definido las que siguen.

Tipos de erupciones volcánicas

Considerando las características de los volcanes activos de Chile es posible hacer una distinción según el Tipo de erupción que poseen, dependiendo de sus características y materiales expulsados, por lo cual es posible distinguir cuatro categorías que son las que predominan en el país las cuales corresponden a:

-Erupciones hawaiianas

En este Tipo de erupciones volcánicas, los pulsos de lava pueden durar varias horas, fenómeno denominado “fuente de fuego”. La lava después de ser expulsada por varias horas puede crear flujos de lava, o en otros casos construir colinas llamadas conos de salpicadura. Si la lava fluye lo suficientemente rápido puede viajar varios kilómetros antes de solidificarse luego de haberse enfriado (<http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>). Otra característica es que son las menos violentas, generalmente su composición geoquímica es de basalto o andesita basáltica, lo que permite que el gas se segregue y escape con relativa facilidad (Sigurdsson, 1999). La Figura, muestra un esquema de la forma de los volcanes con erupciones de Tipo hawaiiano, que se caracterizan por ser planos, de baja altura y cono bastante extensos.

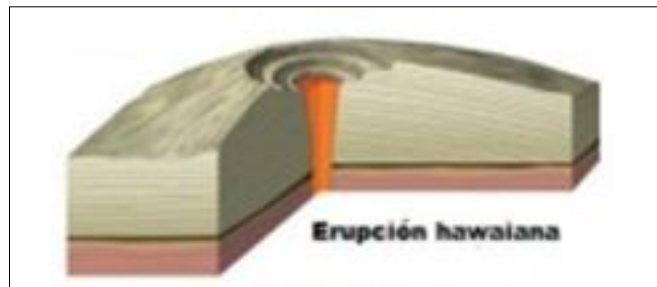


Figura: Esquema de una Erupción de Tipo Hawaiana
Fuente de Figura: <http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>

-Erupciones estrombolianas

Generalmente comienzan a partir de una fisura en una erupción de estilo hawaiano, o alternativamente, en una Tipo de vulcaniano con explosiones de rocas y cenizas. El magma en cuestión a menudo es de mayor viscosidad, debido tanto a la temperatura más fría como a la participación de magmas más silíceos, típicamente en el rango de andesita basáltica (Sigurdsson, 1999). Una erupción estromboliana es un Tipo de erupción que puede ser clasificada como de bajo nivel. Estas erupciones pueden ser de pequeñas a medianas cuando de volumen de material se trata y posee algunos períodos cortos de violencia. Sus flujos de lava durante las erupciones son más viscosas y gruesas. Además, debido a que la erupción no afecta fuertemente el sistema de conductos, éstas pueden durar mucho tiempo, de hecho algunos volcanes que han producido erupciones estrombolianas continúan durante varias décadas con actividad sísmica y volcánica (<http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>). En la Figura que sigue, se representa un esquema de una erupción de este Tipo.

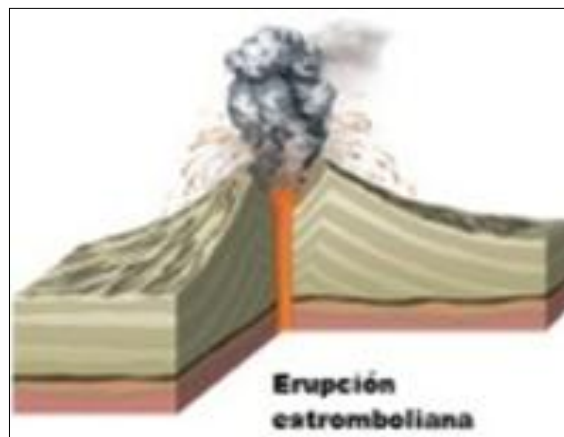


Figura: Esquema de una Erupción de Tipo Estromboliana
Fuente de Figura: <http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>

-Erupciones vulcanianas

Se identifican por ser explosiones violentas de unos pocos segundos o minutos de duración, lo cual es la característica más distintiva de la actividad vulcaniana. Sus productos volcánicos alcanzan velocidades de eyección superiores a los 200-400 m/s,

expulsando bloques y bombas a distancias superiores a 5 kilómetros, siendo mayor que cualquier otro Tipo de erupción, tal como se aprecia en la Figura que sigue.

La naturaleza explosiva de estos eventos ha sido atribuida a varios mecanismos. Una de ellas es la rotura de una fuerte roca impermeable que ha servido como tapón, bajo la cual existe una gran acumulación de gas magmático. Otro mecanismo implica la interacción del magma con agua externa tales como erupciones a través de lagos de cráter (Sigurdsson, 1999).

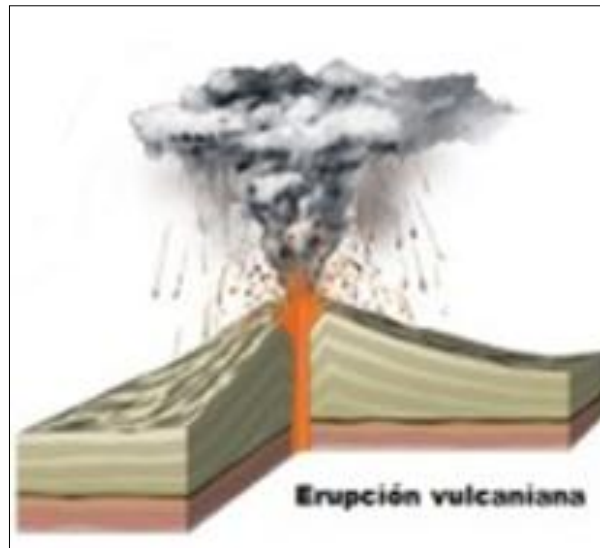


Figura: Esquema de una Erupción de Tipo Vulcaniana.

Fuente de Figura: <http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>

-Erupciones plinianas

Es necesario considerar que las erupciones plinianas han sido divididas en tres categorías, ya que la cantidad de factores que inciden en una erupción son variados, pudiendo encontrarse dentro de un mismo evento eruptivo diferentes Tipos de erupciones las que se van desarrollando a lo largo del mismo evento. Ante esto es necesario separar conceptualmente estos eventos en pliniano, subpliniano y ultrapliniano. En términos simples, las erupciones de rangos inferiores de magnitud e intensidad se pueden clasificar como subpliniano, éstas a menudo se caracterizan por presentar descargas de material en fases relativamente cortas, separados por lapsos variables. En cuanto, a una de Tipo pliniano pueden dar origen a corrientes densas de piroclásticos relacionados con la desestabilización de la columna eruptiva, sus valores del índice de explosividad volcánica (IEV) para las erupciones pliniano y subpliniano son del rango de 4-6. Magnitudes e intensidades mayores inducen generalmente al colapso de la columna eruptiva y a una mayor expulsión de elementos los cual genera oleadas piroclásticas, estas son las fases de ignimbrita ultrapliniana o erupciones ignimbríticas (Sigurdsson, 1999). En la Figura que sigue, se observa un esquema estándar de una erupción de este Tipo.



Figura: Esquema de una Erupción de Tipo Pliniana

Fuente de Figura: <http://www.volcanpedia.com/Tipos-de-erupciones-volcanicas/>

Tabla: Resumen de características de cada Tipo de erupción

Tipo de Erupción	Productos	IEV
Hawaiiana	Lavas muy fluidas	0-1
Estromboliana	Lavas fluidas. Ricos en gases	1-2
Vulcaniana	Lavas viscosas. Erupciones ricas en piroclastos	2-4
Pliniana	Lavas Viscosas	3-7

-Índice de explosividad volcánica (IEV)

El IEV utiliza una escala de números enteros de 0 a 8. Este índice se basa tanto en magnitud (volumen erupcionado) y la intensidad (altura de la columna eruptiva). El índice de explosividad volcánica se puede aplicar tanto a las erupciones explosivas modernas como a las antiguas. En el uso práctico, el valor del IEV se basa principalmente en el volumen de los depósitos antiguos y en la explosividad o altura de la columna de las erupciones observadas, según se detalla en la Figura que sigue. Esta escala no es útil para las erupciones de lava, ya que son principalmente de Tipo efusivo por lo que recibirá por defecto una clasificación de 0 o 1 (Sigurdsson, 1999).

The Volcano Explosivity Index												
VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8			
	Non-explosive	Small	Moderate	Moderate-large	Large	Very large						
Tephra volume (m ³)	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹	10 ¹²				
Column height (km)	< 0.1	0.1 - 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	> 25						
Tropospheric injection	Negligible	Minor	Moderate			Substantial						
Stratospheric injection		None		Possible	Definite		Significant					
Eruption type	Hawaiian		Strombolian		Vulcanian		Plinian		Ultra-Plinian			
Description	Gentle	Effusive	Explosive		Cataclysmic, paroxysmal, colossal							
Duration continuous blast (hours)	< 1 h		1-6 h		6-12 h		> 12 h					
Examples	Etna Ale, Ethiopia (fissure eruptions) ~1960-2010		Popo, Costa Rica 2000-present		Mount Cameroon, Cameroon 1969	Nevado del Ruiz, Colombia 1985	Eyafjallajökull, Iceland, 2010	Mont Pelee, Martinique, 1902	Agung, Indonesia 1960-04	Krakatau, Indonesia, 1883	Tambora, Indonesia, 1815	Toba, Indonesia, ~75 ka

Figura: Índice de Explosividad y sus características.

Fuente: *Volcano hazard and exposure in GFDRR priority countries and risk mitigation Measure, 2011.*

-Flujos y caída de piroclásticos

Piroclastos: los magmas viscosos (riolíticos) están muy cargados de gases tras su liberación, se expanden miles de veces conforme lanzan rocas pulverizadas, lava y fragmentos de vidrio desde la chimenea. Genera piroclastos que son fragmentos de tamaños que oscilan entre un polvo muy fino y cenizas volcánicas de tamaños inferiores a 2mm hasta trozos que pesan más de una tonelada. Estas partículas de ceniza y polvo se producen a partir de los magmas viscosos cargados de gases durante una erupción explosiva. Además se cuentan los lapilli (2-64 mm), bloques (>64 mm) y bombas (Tarbuck y Lutgens 2005)

Flujo de Piroclastos: nube eruptiva formada por piroclastos y gases transportados por gravedad como una corriente densa movilizada a nivel del suelo. La mayoría se origina por el colapso de una columna eruptiva explosiva cargada de partículas. Puede desplazarse a altas velocidades (sobre 100 km/h), encauzado a lo largo de los sistemas de drenaje, aunque algunos en forma más diluida, tienen energía suficiente como para remontar obstáculos topográficos de fuerte relieve (Moreno y Naranjo, 2003)

Caída de piroclastos: lluvia de piroclastos que cae sobre la superficie cuando una columna eruptiva es dispersada lateralmente según la dirección de vientos predominantes, según se observa en la siguiente Figura. Dependiendo de la distancia al volcán, el depósito resultante puede provocar caída de techos en las localidades cercanas, daños en la vegetación y efectos en la aeronavegación en las zonas alejadas. La ceniza más fina puede ascender a las capas superiores de la atmosfera y viajar enormes distancias (incluso dar varias vueltas al mundo). En el caso de grandes erupciones explosivas, puede eventualmente producirse enfriamiento terrestre y cambio climático temporal (Gardeweg y Amigo 2011).

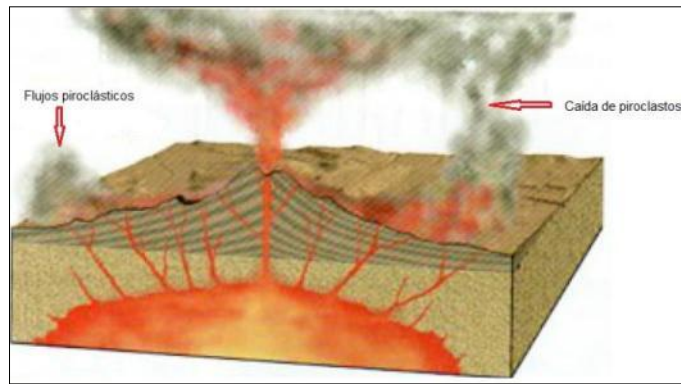


Figura: Flujos piroclásticos y caída de piroclastos
 Fuente Figura: Tarbuck y Lutgens, 2005

-Flujos de lava

Los flujos de lava son efusiones de roca fundida de los respiraderos o fisuras que se propagan por el suelo. La gran mayoría de lava flujos están compuestos de rocas de silicatos cuya composiciones varían desde basaltos a andesita y dacita.

Los flujos de lava son efusiones de roca fundida o magma. En la Tierra, la gran mayoría tiene composiciones de silicato, para el cual las temperaturas de fusión son comunes para el rango de 800-1200 °C.

Los flujos se distinguen de los domos de lava por ser extremadamente elongados pendiente abajo, tal como se aprecian en la siguiente Figura.

El comportamiento específico de un flujo de lava es controlado por una serie de factores, entre los más importantes son los que incluyen la velocidad de descarga de la lava, la duración del derrame, la pendiente del terreno y otros detalles de la topografía y la viscosidad de la lava que a su vez se rige por su composición química, la cantidad de cristales, el contenido de gases y la temperatura (Sigurdsson, 1999).

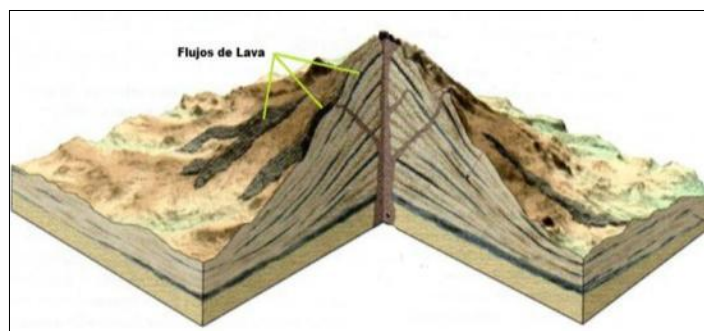


Figura: Flujos de Lava
 Fuente Figura: Tarbuck y Lutgens,2005

-Lahar

Corresponde a un término indonesio, que hace alusión a un flujo de detritos o de barro constituido de materiales volcánicos, cuyo principal agente de transporte es el agua. Se puede formar debido a la rápida fusión de nieve y/o hielo provocada por el calor de lavas o flujos piroclásticos durante una erupción volcánica o por el arrastre de depósitos volcánicos no consolidados producidos durante lluvias intensas o la ruptura violenta de las paredes de un lago cráter. (Moreno y Naranjo, 2003).

Génesis de lahares: Los lahares pueden ser primarios (syneruptive, generados junto con la erupción) o secundaria (posteruptiva o no con las erupciones). La génesis de un lahar requiere (1) una fuente de agua; (2) abundantes desechos no consolidados que normalmente incluyen depósitos de flujos piroclásticos, de derivación glacial, coluvial, suelo, entre otros (3) laderas empinadas y (4) un mecanismo de disparo. Las fuentes de agua incluyen aquellas que se derritieron rápidamente como la nieve, el hielo y glaciares que corresponde al agua atrapada en un cráter o lago (Sigurdsson, 1999).

-Deformación

Son los cambios en la superficie de un volcán que se producen debido al movimiento de magma debajo de la superficie. La mayoría de la deformación de un volcán sólo puede detectarse y medirse con técnicas topográficas precisas como con un sistema de posicionamiento global (GPS), por interferómetro de radar de apertura sintética (InSAR) o un medidor de distancia electrónico (EDM) (<http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/>).

Anexo II: Tabla resumen de la evaluación con la metodología de la Universidad de Bristol

	Volcán	Peligro	Incerteza	Exposición	Nivel Riesgo	Frecuencia Monitoreo (FM)	Incerteza	Red Sísmica (RS)	Incerteza	Sumatoria (FM+RS)	Nivel Monitoreo	Sumatoria Incerteza	Nivel Incerteza
1	Guallatiri	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
2	Parinacota	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
3	Taapaca	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
4	Tacora	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
5	Irruputuncu	2	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
6	Isluga	2	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
7	Acamarachi	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
8	Alítar	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
9	Apacheta-Aguilucho	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
10	Aucanquilcha	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
11	Caichinque	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
12	Chascón (Purico)	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
13	Chiliques	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
14	Colachi	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
15	Cordón del Azufre	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
16	Escalante-Sairecabur	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
17	Lastarria	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
18	Licancabur	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
19	Llullaillaco	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
20	Láscar	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
21	Olca-Paruma	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
22	Ollagüe	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
23	Pular-Pajonales	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
24	Puntas Negras	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
25	Putana	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo

26	San Pedro	2	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
27	Socompa	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
28	Cerro Bayo	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
29	Nevado de Incahuasi	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
30	Nevado Tres Cruces	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
31	Ojos del Salado	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
32	Sierra Nevada	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
33	Isla de Pascua	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
34	Maipo	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
35	San José	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
36	Tupungatito	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
37	Palomo	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
38	Tinguiririca	1	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
39	Cerro Azul-Quizapu	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
40	Cerro del Medio (Calabozos)	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
41	Descabezado Chico	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
42	Descabezado Grande	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
43	Laguna del Maule	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
44	Nevado de Longaví	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
45	Planchón - Peteroa	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
46	San Pedro-Pellado	1	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
47	Antuco	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
48	Callaqui	2	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
49	Copahue	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
50	Nevados de Chillán	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
51	Caburgua-Huelemolles	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo

52	Llaima	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
53	Lonquimay	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
54	Sollipulli	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
55	Tolhuaca	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
56	Villarrica	3	1	2	2	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
57	Fui	3	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
58	Lanin	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
59	Quetrupillán	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
60	Alto Palena	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
61	Antillanca	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
62	Apagado o Hualaihué	3	2	1	1	1	0	0	0	1	1	0	Bajo
63	Calbuco	3	1	2	2	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
64	Carran-Los Venados	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
65	Cayutué	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
66	Chaitén	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
67	Corcovado	3	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
68	Hornopirén	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
69	Huequi	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
70	Michinmahuida	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
71	Mocho-Choshuenco	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
72	Osorno	3	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
73	Palvidad	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
74	Puntiagudo-Cordón Cenizos	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
75	Puyehue-Cordón Caulle	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
76	Ralún	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
77	Yanteles	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
78	Yate	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
79	Cay	2	2	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
80	Grupo Puyuhuapi	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo

81	Macá	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
82	Melimoyu	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
83	Mentolat	2	3	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
84	Aguilera	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
85	Fueguino o Cook	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
86	Grupo Pali-Aike	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
87	Hudson	3	1	1	1	3	0	3	0	6	3	0	Bajo
88	Lautaro	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
89	Monte Burney	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo
90	Reclus	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Bajo

ANEXO III: Detalle de la evaluación de Peligro con la metodología de la Universidad de Bristol

Guallatiri

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	8,3	1,48

Parinacota

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,13
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	9,3	1,74

Taapaca

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	9,3	1,74

Tacora

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	1,62

Irruputuncu

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0,15
TOTAL	5,3	0,92

Isluga

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	7,3	0,74

Acamarachi

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	2,22

Alítar

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	3,1	1,85

Apacheta-Aguilucho

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,99

Aucanquilcha

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,1	1,62

Caichinque

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	2,45

Chascón

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,99

Chiliques

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	2,45

Colachi

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	1,95

Cordón del Azufre

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	1,98

Escalante-Sairecabur

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,99

Lastarria

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	2,09

Licancabur

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	1,48

Lullailaco

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	6,3	1,1

Láscar

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	1	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	11,3	0,47

Olca-Paruma

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	6,3	1,14

Ollagüe

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	1,82

Pular-Pajonales

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	6,3	1,65

Puntas Negras

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,32

Putana

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	4,3	1,05

San Pedro

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	3	0
TOTAL	8,3	0,74

Socompa

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	0,85

Cerro Bayo

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	1,08

Nevado de Incahuasi

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	2,22

Nevado Tres Cruces

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	2,11

Ojos del Salado

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,13
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	6,3	0,91

Sierra Nevada

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,3	1,98

Isla de Pascua

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,4	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	2	0,45
TOTAL	6,3	1,99

Maipo

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,13
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	---
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	3	0,15
TOTAL	8,3	0,28

San José

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	9,3	1,21

Tupungatito

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	11,3	0,47

Palomo

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,1	1,86

Tinguiririca

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	0	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,7
Flujo de lava	0	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,27
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	4,1	1,86

Cerro Azul-Volcán Quizapu

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	1	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	3	0
TOTAL	11,3	0,94

Cerro del Medio (Calabozos)

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,82

Descabezado Chico

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	1,82

Descabezado Grande

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	1	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,6	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	9,8	0,94

Laguna del Maule

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	1,3	---
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	7,5	1,55

Nevado de Longaví

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	2,22

Planchón-Peteroa

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	12,6	0,27

San Pedro-Pellado

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,23
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,5	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,7	2,41

Volcán Antuco

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,6	1,95

Volcán Callaqui

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0,15
TOTAL	7,6	0,89

Volcán Copahue

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	3	0
TOTAL	11,6	0,87

Nevados de Chillán

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	1	0,7
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,5+0,35=1,85	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	12,05	1,71

Caburgua-Huelemolles

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,6	2,45

Llaima

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,6	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	12,8	0

Lonquimay

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	10,6	0,47

Sollipulli

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	10,6	0,94

Tolhuaca

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	8,6	2,06

Villarrica

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,2	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	13,4	0

Fui

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,55	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	10,75	0,74

Lanin

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	6,6	1,77

Quetrupillán

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,5	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	6,7	1,1

Alto Palena

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	0	0,47
Peligro de Lahar	0	0,47
Flujo de lava	0	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,2	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	4,2	2,59

Antillanca

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,5	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	8,7	1,21

Apagado o Hualaihué

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	9,3	1,21

Calbuco

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	13,6	0

Carrán-Los Venados

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,8	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	12	1,21

Caytué

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,8	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	6	1,77

Chaitén

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,27
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	11,3	0,27

Corcovado

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,3	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	2	0,45
TOTAL	9,5	2,46

Hornopirén

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	2	0
Frecuencia de la Erupción	1	0
TOTAL	9,3	1,61

Huequi

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,5	--
Máximo VEI	2	0,13
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	10,7	1,34

Michimahuida

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,1	--
Máximo VEI	3	0,13
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	12,3	1,34

Mocho-Choshuenco

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,55	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	10,75	0,74

Osorno

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	2,15	--
Máximo VEI	2	0,13
Frecuencia de la Erupción	3	0
TOTAL	13,35	1,34

Palvitud

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,7
Flujo de lava	0	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,1	3,05

Puntiagudo-Cordón Cenizos

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,4	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	5,6	1,12

Puyehue-Cordón Caulle

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	1,55	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	4	0
TOTAL	14,75	0,27

Ralún

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,7
Flujo de lava	0	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,1	3,05

Yanteles

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	5,3	2,58

Yate

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	8,3	2,06

Cay

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	1,95

Grupo Puyuhuapi

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	1	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	6,3	2,45

Macá

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	5,3	2,28

Melimoyu

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0,4
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,2	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	8,4	2,46

Mentolat

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0,4
Frecuencia de la Erupción	1	0,45
TOTAL	8,3	2,06

Aguilera

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	10,3	1,49

Fuegoino o Cook

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,3	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	6,5	1,25

Grupo Pali-Aike

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	1	0,7
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,9	--
Máximo VEI	1	0,13
Frecuencia de la Erupción	1	0,15
TOTAL	6,1	1,48

Hudson

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0
Numero de Subcaracterísticas	0,2	--
Máximo VEI	3	0
Frecuencia de la Erupción	3	0
TOTAL	12,4	0,47

Lautaro

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	9,3	1,21

Monte Burney

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	2	0,47
Flujo de lava	0,2	0,27
Numero de Subcaracterísticas	0,1	--
Máximo VEI	3	0,13
Frecuencia de la Erupción	2	0,15
TOTAL	11,3	1,49

Reclus

Factor de Peligro	Rango de Peligro	Rango de Incertidumbre
Tipo de Volcán	1	0
Lago en el Cráter o presencia de capas de Hielo o Nieve	1	--
Flujo Piroclástico	2	0,47
Peligro de Lahar	0	0,23
Flujo de lava	0,2	0,4
Numero de Subcaracterísticas	0,2	--
Máximo VEI	1	0
Frecuencia de la Erupción	2	0
TOTAL	7,4	1,1

Anexo IV: Síntesis de la Evaluación del peligro de los volcanes activos de Chile (MUB)

Factores de Peligro									
Volcán	Tipo de Volcán	Lago o Hielo en cráter	Flujo Piroclástico	Peligro de Lahar	Flujo de Lava	Subcaracterísticas	Máximo IEV	Frecuencia de Erupción	Total
Guallatiri	1	1	1	2	0,2	0,1	1	2	8,3
Parinacota	1	1	2	2	0,2	0,1	1	2	9,3
Taapaca	1	1	2	2	0,2	0,1	1	2	9,3
Tacora	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Irruputuncu	1	1	0	0	0,2	0,1	1	2	5,3
Isluga	1	1	0	2	0,2	0,1	1	2	7,3
Acamarachi	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Alítar	1	0	0	0	0	0,1	1	1	3,1
Apacheta-Aguilucho	1	0	2	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Aucanquilcha	1	1	0	0	0	0,1	1	1	4,1
Caichinque	1	0	1	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Chascón (Purico ?)	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Chiliques	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Colachi	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Cordón del Azufre	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Escalante-Sairecabur	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Lastarria	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Licancabur	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Llullaillaco	1	1	1	0	0,2	0,1	1	2	6,3
Láscar	1	1	2	1	0,2	0,1	2	4	11,3
Olca-Paruma	1	1	0	2	0,2	0,1	1	1	6,3
Ollague	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Pular-Pajonales	1	1	0	2	0,2	0,1	1	1	6,3
Puntas Negras	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Isla de Pascua	1	0	2	0	0,2	1,4	1	2	6,3
Putana	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
San Pedro	1	1	2	0	0,2	0,1	1	3	8,3
Socompa	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Cerro Bayo	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Nevado de Incahuasi	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Nevado Tres Cruces	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3
Ojos del Salado	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Sierra Nevada	1	1	0	0	0,2	0,1	1	1	4,3

Maipo	1	1	2	0	0,2	0,1	1	3	8,3
San José	1	1	2	2	0,2	0,1	1	2	9,3
Tupungatito	1	1	2	2	0,2	0,1	1	4	11,3
Palomo	1	1	0	2	0	0,1	1	1	6,1
Tinguiririca	1	0	1	0	0	0,1	1	1	4,1
Cerro Azul-Quizapu	1	1	2	1	0,2	0,1	3	3	11,3
Cerro del Medio (Calabozos)	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Descabezado Chico	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Descabezado Grande	1	1	2	1	0,2	0,6	3	1	9,8
Laguna del Maule	1	1	2	0	0,2	1,3	1	1	7,5
Nevado de Longaví	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Planchón - Peteroa	1	1	2	2	0,2	0,4	2	4	12,6
San Pedro-Pellado	1	1	0	0	0,2	0,5	1	1	4,7
Antuco	1	1	2	0	0,2	0,4	1	1	6,6
Callaqui	1	1	2	0	0,2	0,4	1	2	7,6
Copahue	1	1	2	2	0,2	0,4	2	3	11,6
Nevados de Chillán	1	1	1	1	0,2	1,85	2	4	12,05
Caburgua-Huelemolles	1	1	1	0	0,2	0,4	1	1	5,6
Llaima	1	1	2	2	0,2	0,6	2	4	12,8
Lonquimay	1	1	2	2	0,2	0,4	2	2	10,6
Sollipulli	1	1	2	2	0,2	0,4	3	1	10,6
Tolhuaca	1	1	2	2	0,2	0,4	1	1	8,6
Villarrica	1	1	2	2	0,2	0,2	3	4	13,4
Fui	1	1	2	2	0,2	1,55	1	2	10,75
Lanin	1	1	1	0	0,2	0,4	1	2	6,6
Quetrupillán	1	1	2	0	0,2	0,5	1	1	6,7
Alto Palena	1	1	0	0	0	0,2	1	1	4,2
Antillanca	1	1	1	2	0,2	1,5	1	1	8,7
Apagado o Hualaihué	1	1	2	2	0,2	0,1	2	1	9,3
Calbuco	1	1	2	2	0,2	0,4	3	4	13,6
Carran-Los Venados	1	1	2	2	0,2	1,8	2	2	12
Cayutué	1	1	1	0	0,2	0,8	1	1	6
Chaitén	1	1	2	2	0,2	0,1	3	2	11,3
Corcovado	1	1	2	2	0,2	0,3	1	2	9,5
Hornopirén	1	1	2	2	0,2	0,1	2	1	9,3
Huequi	1	1	2	2	0,2	0,5	2	2	10,7
Michinmahuida	1	1	2	2	0,2	1,1	3	2	12,3
Mocho-Choshuenco	1	1	2	2	0,2	1,55	1	2	10,75
Osorno	1	1	2	2	0,2	2,15	2	3	13,35
Palvítad	1	1	1	0	0	0,1	1	1	5,1
Puntiafudo-Cordón Cenizos	1	1	1	0	0,2	0,4	1	1	5,6
Puyehue-Cordón Caulle	1	1	2	2	0,2	1,55	3	4	14,75
Ralún	1	1	1	0	0	0,1	1	1	5,1

Yanteles	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Yate	1	1	2	2	0,2	0,1	1	1	8,3
Cay	1	1	2	0	0,2	0,1	1	1	6,3
Grupo Puyuhuapi	1	1	1	1	0,2	0,1	1	1	6,3
Macá	1	1	1	0	0,2	0,1	1	1	5,3
Melimoyu	1	1	2	2	0,2	0,2	1	1	8,4
Mentolat	1	1	2	2	0,2	0,1	1	1	8,3
Aguilera	1	1	2	2	0,2	0,1	3	1	10,3
Fueguino o Cook	1	1	2	0	0,2	0,3	1	1	6,5
Grupo Pali-Aike	1	1	1	0	0,2	0,9	1	1	6,1
Hudson	1	1	2	2	0,2	0,2	3	3	12,4
Lautaro	1	1	2	2	0,2	0,1	1	2	9,3
Monte Burney	1	1	2	2	0,2	0,1	3	2	11,3
Reclus	1	1	2	0	0,2	0,2	1	2	7,4

Anexo V: Síntesis de la Evaluación del peligro de los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN) Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011

Factores de peligro																
Volcán	Tipo de Volcán(0-1)	Máximo IEV(0-3)	Actividad Explosiva < 500 años (0-1)	Actividad Explosiva < 5000 años (0-1)	Recurrencia Eruptiva (0-4)	Ocurrencia de flujos piroclásticos en el Holoceno (0-1)	Ocurrencia de lavas en el Holoceno (0-1)	Ocurrencia de lahares en el Holoceno (0-1)	Ocurrencia de tsunamis en el Holoceno (0-1)	Potencial de explosiones hidrotermales (0-1)	Potencial de colapso de flanco (0-1)	Potencial de generación de Lahares (0-1)	Actividad sísmica (0-1)	Deformación (0-1)	Desgasificación (0-1)	Subtotal de Factores de Peligro
Guallatiri	1	1	0	1	4	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	14
Parinacota	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	13
Taapaca	1	1	0	1	3	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	12
Tacora	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	7
Irruputuncu	1	1	0	1	3	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	11
Isluga	1	1	0	0	4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	11
Acamarachi	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Alítar	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5
Apacheta-Aguilucho	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	6
Aucanquilcha	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5
Caichinque	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Chascón (Purico)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chiliques	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
Colachi	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Cordón del Azufre	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Escalante-Sairecabur	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
Lastarria	1	1	1	0	2	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	12
Licancabur	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Llullaillaco	1	1	0	0	4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	9
Láscar	1	2	1	1	4	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	16
Olca-Paruma	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	7
Ollague	1	1	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	9
Pular-Pajonales	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Puntas Negras	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Isla de Pascua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Putana	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	6

Factores de peligro																
San Pedro	1	1	1	1	4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	13
Socompa	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	6
Cerro Bayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nevado de Incahuasi	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Nevado Tres Cruces	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Ojos del Salado	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8
Sierra Nevada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maipo	1	0	0	0	4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	8
San José	1	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	10
Tupungatito	1	0	0	0	4	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	10
Palomo	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6
Tinguiririca	1	1	0	0	3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	9
Cerro Azul-Quizapu	1	2	1	1	4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	13
Cerro del Medio (Calabozos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descabezado Chico	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5
Descabezado Grande	1	1	1	1	4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10
Laguna del Maule	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	6
Nevado de Longaví	1	2	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	10
Planchón - Peteroa	1	1	0	1	4	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	14
San Pedro-Pellado	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	9
Antuco	1	0	0	0	4	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	9
Callaqui	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	6
Copahue	1	1	1	0	4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	15
Nevados de Chillán	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	12
Caburgua-Huelmolles	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Llaima	1	1	1	0	4	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	14
Lonquimay	1	1	0	1	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	10
Sollipulli	1	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
Tolhuaca	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	7
Villarrica	1	1	1	1	4	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	15
Fui	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lanin	1	1	0	0	2	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	9
Quetrupillán	1	1	0	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	11
Alto Palena	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Antillanca	1	2	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8
Apagado o Hualaihué	1	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Calbuco	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	14
Carran-Los Venados	0	1	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	8
Cayutué	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Chaitén	1	2	1	1	3	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	14
Corcovado	1	1	0	0	3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	10
Hornopirén	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	8

Factores de peligro																
Huequi	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7
Michinmahuida	1	1	1	1	4	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	14
Mocho-Choshuenco	1	2	1	1	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	13
Osorno	1	1	0	1	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	12
Palvitat	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Puntiagudo-Cordón Cenizos	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	7
Puyehue-Cordón Caulle	1	1	1	1	4	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	14
Ralún	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Yanteles	1	1	0	0	3	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	9
Yate	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	10
Cay	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4
Grupo Puyuhuapi	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Macá	1	1	0	1	2	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	9
Melimoyu	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	9
Mentolat	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	6
Aguilera	1	2	0	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	8
Fueguino o Cook	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Grupo Pali-Aike	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Hudson	1	2	1	1	4	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	17
Lautaro	1	1	0	0	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
Monte Burney	1	2	0	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	8
Reclus	1	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	7

ANEXO VI: Síntesis de la Evaluación de la vulnerabilidad en los volcanes activos de Chile (MUB)

Factor de Vulnerabilidad (Población)					
Volcán	10 Km	10 a 30 km	Ponderación 10k	Ponderación 10-30k	Suma Población ponderada total
Guallatiri	62	2051	58,125	128,1875	186,3125
Parinacota	192	3302	180	206,375	386,375
Taapaca	21	2395	19,6875	149,6875	169,375
Tacora	492	8284	461,25	517,75	979
Irruputuncu	170	1989	159,375	124,3125	283,6875
Isluga	376	4683	352,5	292,6875	645,1875
Acamarachi	5	295	4,6875	18,4375	23,125
Alítar	15	254	14,0625	15,875	29,9375
Apacheta-Aguilucho	117	1156	109,6875	72,25	181,9375
Aucanquilcha	123	1483	115,3125	92,6875	208
Caichinque	8	153	7,5	9,5625	17,0625
Chascón (Purico)	35	392	32,8125	24,5	57,3125
Chiliques	5	698	4,6875	43,625	48,3125
Colachi	3	258	2,8125	16,125	18,9375
Cordón del Azufre	0	202	0	12,625	12,625
Escalante-Sairecabur	74	1800	69,375	112,5	181,875
Lastarria	21	431	19,6875	26,9375	46,625
Licancabur	93	1746	87,1875	109,125	196,3125
Llullaillaco	33	401	30,9375	25,0625	56
Láscar	71	486	66,5625	30,375	96,9375
Olca-Paruma	268	1661	251,25	103,8125	355,0625
Ollague	160	1001	150	62,5625	212,5625
Pular-Pajonales	0	85	0	5,3125	5,3125
Puntas Negras	0	240	0	15	15
Putana	92	1901	86,25	118,8125	205,0625
San Pedro	119	2255	111,5625	140,9375	252,5
Socompa	112	479	105	29,9375	134,9375
Cerro Bayo	41	315	38,4375	19,6875	58,125
Nevado de Incahuasi	15	522	14,0625	32,625	46,6875
Nevado Tres Cruces	0	635	0	39,6875	39,6875
Ojos del Salado	7	472	6,5625	29,5	36,0625
Sierra Nevada	7	366	6,5625	22,875	29,4375
Isla de Pascua	4145	22	3885,9375	1,375	3887,3125
Maipo	1165	7893	1092,1875	493,3125	1585,5
San José	731	17203	685,3125	1075,1875	1760,5

Factor de Vulnerabilidad (Población)					
Tupungatito	1055	6729	989,0625	420,5625	1409,625
Palomo	313	4381	293,4375	273,8125	567,25
Tinguiririca	40	1713	37,5	107,0625	144,5625
Cerro Azul-Quizapu	150	3658	140,625	228,625	369,25
Cerro del Medio (Calabozos)	184	910	172,5	56,875	229,375
Descabezado Chico	139	1551	130,3125	96,9375	227,25
Descabezado Grande	148	3360	138,75	210	348,75
Laguna del Maule	230	934	215,625	58,375	274
Nevado de Longaví	134	3770	125,625	235,625	361,25
Planchón - Peteroa	49	1419	45,9375	88,6875	134,625
San Pedro-Pellado	209	4047	195,9375	252,9375	448,875
Antuco	474	3399	444,375	212,4375	656,8125
Callaqui	317	4085	297,1875	255,3125	552,5
Copahue	571	2576	535,3125	161	696,3125
Nevados de Chillán	407	3634	381,5625	227,125	608,6875
Caburgua-Huelemolles	1193	28519	1118,4375	1782,4375	2900,875
Llaima	925	19656	867,1875	1228,5	2095,6875
Lonquimay	519	12320	486,5625	770	1256,5625
Sollipulli	428	11928	401,25	745,5	1146,75
Tolhuaca	436	12117	408,75	757,3125	1166,0625
Villarrica	1035	38454	970,3125	2403,375	3373,6875
Fui	5148	7522	4826,25	470,125	5296,375
Lanin	379	2721	355,3125	170,0625	525,375
Quetrupillán	505	11416	473,4375	713,5	1186,9375
Alto Palena	184	798	172,5	49,875	222,375
Antillanca	576	5511	540	344,4375	884,4375
Apagado o Hualaihué	102	4722	95,625	295,125	390,75
Calbuco	904	47105	847,5	2944,0625	3791,5625
Carran-Los Venados	1265	7222	1185,9375	451,375	1637,3125
Cayutué	217	5326	203,4375	332,875	536,3125
Chaitén	1810	5124	1696,875	320,25	2017,125
Corcovado	89	1265	83,4375	79,0625	162,5
Hornopirén	758	4623	710,625	288,9375	999,5625
Huequi	3	1092	2,8125	68,25	71,0625
Michinmahuida	8	7269	7,5	454,3125	461,8125
Mocho-Choshuenco	584	12998	547,5	812,375	1359,875
Osorno	638	8807	598,125	550,4375	1148,5625
Palvidad	78	6874	73,125	429,625	502,75
Puntiagudo-Cordón Cenizos	385	5391	360,9375	336,9375	697,875
Puyehue-Cordón Caulle	735	6224	689,0625	389	1078,0625

Factor de Vulnerabilidad (Población)					
Ralún	1714	3444	1606,875	215,25	1822,125
Yanteles	125	1272	117,1875	79,5	196,6875
Yate	248	5206	232,5	325,375	557,875
Cay	10	71	9,375	4,4375	13,8125
Grupo Puyuhuapi	708	227	663,75	14,1875	677,9375
Macá	0	383	0	23,9375	23,9375
Melimoyu	6	301	5,625	18,8125	24,4375
Mentolat	8	180	7,5	11,25	18,75
Aguilera	0	14	0	0,875	0,875
Fueguino o Cook	39	130	36,5625	8,125	44,6875
Grupo Pali-Aike	39	744	36,5625	46,5	83,0625
Hudson	6	28	5,625	1,75	7,375
Lautaro	0	8	0	0,5	0,5
Monte Burney	0	0	0	0	0
Reclus	0	96	0	6	6

Anexo VII: Síntesis de la Evaluación de la vulnerabilidad en los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN); Fuente: Peligros Volcánicos de Chile, 2011.

Factores de vulnerabilidad												
Volcán	Log10 Población en zona de alto peligro	Log10 Población en zona distal	Víctimas Fatales (0-1)	Evacuaciones (0-1)	Exposición de la aviación local (0-2)	Exposición de la aviación regional (0)	Infraestructura energética (0-1)	Infraestructura de transportes (0-1)	Áreas de desarrollo o protección (0-1)	Islas Oceánicas (0-1)	Subtotal	Factores de Exposición
Guallatiri	2,1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	5,1	
Parinacota	2,2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	5,2	
Taapaca	3,3	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,3	
Tacora	2,7	0	0	0	2	0	0	1	0	0	5,7	
Irruputuncu	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	4	
Isluga	0,3	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,3	
Acamarachi	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5	
Alítar	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5	
Apacheta-Aguilucho	1,3	0	0	0	2	0	1	1	0	0	5,3	
Aucanquilcha	1,2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	4,2	
Caichinque	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	4	
Chascón (Purico)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chiliques	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	4	
Colachi	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5	
Cordón del Azufre	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	
Escalante-Sairecabur	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5	
Lastarria	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	
Licancabur	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5	
Llullaillaco	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	
Láscar	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	5	
Olca-Paruma	2,9	0	0	0	2	0	1	1	0	0	6,9	
Ollague	0,8	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3,8	
Pular-Pajonales	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	4	
Puntas Negras	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3	
Isla de Pascua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Putana	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	
San Pedro	1,5	0	0	0	2	0	0	1	0	0	4,5	
Socompa	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	4	
Cerro Bayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Factores de vulnerabilidad											
Nevado de Incahuasi	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Nevado Tres Cruces	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Ojos del Salado	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Sierra Nevada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maipo	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3
San José	2,2	0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,2
Tupungatito	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3
Palomo	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3
Tinguiririca	2,3	2	0	0	2	0	1	0	1	0	8,2
Cerro Azul-Quizapu	2,4	0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,4
Cerro del Medio (Calabozos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descabezado Chico	2,4	0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,4
Descabezado Grande	1,1	0	0	0	2	0	1	0	1	0	5,1
Laguna del Maule	1,4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3,4
Nevado de Longaví	3,4	0	0	0	2	0	1	1	0	0	7,4
Planchón - Peteroa	0	2	0	0	2	0	1	1	1	0	7,1
San Pedro-Pellado	3	0	0	0	2	0	1	0	1	0	7
Antuco	3,5	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,5
Callaqui	3,1	0	0	0	2	0	1	0	1	0	7,1
Copahue	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	4
Nevados de Chillán	3,3	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,3
Caburgua-Huelemolles	4,2	0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,2
Llaima	3,8	0	1	1	2	0	0	1	1	0	9,8
Lonquimay	4,2	0	1	1	2	0	1	1	1	0	11,2
Sollipulli	3,5	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,5
Tolhuaca	4,2	0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,2
Villarrica	4,7	0	1	0	2	0	1	1	1	0	10,7
Fui	3,6	0	0	0	2	0	0	0	1	0	6,6
Lanin	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3
Quetrupillán	3,7	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,7
Alto Palena	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5
Antillanca	2,9	0	0	0	2	0	1	1	1	0	7,9
Apagado o Hualaihué	3,7	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,7
Calbuco	4	0	0	0	2	0	1	1	1	0	9
Carran-Los Venados	3,2	0	1	1	2	0	0	0	1	0	8,2
Cayutué	3,1	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,1
Chaitén	3,6	0	0	1	2	0	1	1	1	0	9,6
Corcovado	1,3	0	0	0	2	0	1	1	1	0	6,3
Hornopirén	3,6	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,6
Huequi	2,8	0	0	0	2	0	0	1	1	0	6,8
Michinmahuida	3,6	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,6
Mocho-Choshuenco	3,7	0	0	0	2	0	0	0	1	0	6,7

Factores de vulnerabilidad											
Osorno	3,4	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,4
Palvitat	3,6	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,6
Puntiagudo-Cordón Cenizos	2,7	0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,7
Puyehue-Cordón Caulle	3,7	0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,7
Ralún	3,2	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,2
Yanteles	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	5
Yate	3,4	0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,4
Cay	3,4	0	0	0	1	0	1	0	1	0	6,4
Grupo Puyuhuapi	2,7	0	0	0	1	0	1	1	1	0	6,7
Macá	3,1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	7,1
Melimoyu	1,9	0	0	0	2	0	0	0	1	0	4,9
Mentolat	3,4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	5,4
Aguilera	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Fueguino o Cook	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3
Grupo Pali-Aike	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	4
Hudson	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	4
Lautaro	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Monte Burney	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3
Reclus	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	4

ANEXO VIII: Síntesis de la Evaluación del riesgo en los volcanes activos de Chile (NVEWS-SERNAGEOMIN) Fuente: Peligros volcánicos de Chile, 2011.

Volcán	RIESGO TOTAL	Volcán	RIESGO TOTAL	Volcán	RIESGO TOTAL
Guallatiri	71,78	Nevado Tres Cruces	6	Alto Palena	15
Parinacota	67,4	Ojos del Salado	16	Apagado o Hualaihué	45,95
Taapaca	87,25	Sierra Nevada	--	Calbuco	125,99
Tacora	39,81	Maipo	24	Carran-Los Venados	65,44
Irruputuncu	44	San José	62,28	Cayutué	16,16
Isluga	36,31	Tupungatito	30	Chaitén	134,92
Acamarachi	15	Palomo	18	Corcovado	63,22
Alítar	25	Tinguiririca	74,13	Hornopirén	60,4
Apacheta-Aguilucho	31,93	Cerro Azul-Quizapu	83,13	Huequi	47,88
Aucanquilcha	21,02	Cerro del Medio (Calabozos)	--	Michinmahuida	120,66
Caichinque	16	Descabezado Chico	32,16	Mocho-Choshuencho	86,54
Chascón (Purico)	--	Descabezado Grande	50,79	Osorno	88,72
Chiliques	20	Laguna del Maule	20,39	Palvidad	17,24
Colachi	15	Nevado de Longaví	74	Puntiagudo-Cordón Cenizos	46,9
Cordón del Azufre	9	Planchón - Peteroa	99,4	Puyehue-Cordón Caulle	107,2
Escalante-Sairecabur	25	San Pedro-Pellado	63,3	Ralún	16,31
Lastarria	36	Antuco	76,4	Yanteles	45
Licancabur	25	Callaqui	42,55	Yate	84,24
Llullaillaco	27	Copahue	60	Cay	25,6
Láscar	80	Nevados de Chillán	99,53	Grupo Puyuhuapi	26,91
Olca-Paruma	48,42	Caburgua-Huelemolles	18,47	Macá	63,81
Ollague	34,61	Llaima	136,89	Melimoyu	44,36
Pular-Pajonales	16	Lonquimay	112,33	Mentolat	32,51
Puntas Negras	9	Sollipulli	59,63	Aguilera	24
Isla de Pascua	--	Tolhuaca	64,59	Fueguino o Cook	9
Putana	18	Villarrica	159,98	Grupo Pali-Aike	20
San Pedro	58,01	Fui	13,28	Hudson	102
Socompa	24	Lanin	27	Lautaro	24
Cerro Bayo	--	Quetrupillán	95,42	Monte Burney	24
Nevado de Incahuasi	3	Antillanca	63,11	Reclus	21

ANEXO IX: Ranking de los niveles de peligro de ambas metodologías

MUB	Ranking de Peligro	NVEWS-SERNAGEOMIN
Puyehue-Cordón Caulle	1	Hudson
Calbuco	2	Láscar
Villarrica	3	Copahue
Osorno	4	Villarrica
Llaima	5	Guallatiri
Planchón - Peteroa	6	Planchón - Peteroa
Hudson	7	Llaima
Michinmahuida	8	Puyehue-Cordón Caulle
Nevados de Chillán	9	Calbuco
Carran-Los Venados	10	Michinmahuida
Copahue	11	Chaitén
Láscar	12	Parinacota
Tupungatito	13	San Pedro
Cerro Azul-Quizapu	14	Cerro Azul-Quizapu
Chaitén	15	Mocho-Choshuenco
Monte Burney	16	Taapaca
Fui	17	Lastarria
Mocho-Choshuenco	18	Nevados de Chillán
Huequi	19	Osorno
Lonquimay	20	Isluga
Sollipulli	21	Irruputuncu
Aguilera	22	Quetrupillán
Descabezado Grande	23	Tupungatito
Corcovado	24	San José
Taapaca	25	Descabezado Grande
Parinacota	26	Nevado de Longaví
San José	27	Lonquimay
Hornopirén	28	Yate
Apagado o Hualaihué	29	Corcovado
Lautaro	30	Ollague
Antillanca	31	Lullailaco
Tolhuaca	32	Tinguiririca
Melimoyu	33	San Pedro-Pellado
Guallatiri	34	Antuco
San Pedro	35	Lanin
Maipo	36	Yanteles
Yate	37	Melimoyu
Mentolat	38	Macá
Callaqui	39	Ojos del Salado
Laguna del Maule	40	Maipo

MUB	Ranking de Peligro	NVEWS-SERNAGEOMIN
Reclus	41	Sollipulli
Isluga	42	Carran-Los Venados
Quetrupillán	43	Antillanca
Antuco	44	Hornopirén
Lanin	45	Lautaro
Fueguino o Cook	46	Aguilera
Olca-Paruma	47	Monte Burney
Ollaque	48	Tacora
Licancabur	49	Olca-Paruma
Colachi	50	Tolhuaca
Pular-Pajonales	51	Puntiagudo-Cordón Cenizos
Llullaillaco	52	Huequi
Lastarria	53	Reclus
Nevado de Incahuasi	54	Apacheta-Aguilucho
Ojos del Salado	55	Putana
Isla de Pascua	56	Socompa
Nevado de Longaví	57	Palomo
Grupo Puyuhuapi	58	Laguna del Maule
Cay	59	Callaqui
Palomo	60	Apagado o Hualaihué
Grupo Pali-Aike	61	Mentolat
Cayutué	62	Aucanquilcha
Caburgua-Huelemolles	63	Escalante-Sairecabur
Puntiagudo-Cordón Cenizos	64	Licancabur
Irruputuncu	65	Alítar
Apacheta-Aguilucho	66	Chiliques
Escalante-Sairecabur	67	Descabezado Chico
Chascón (Purico)	68	Caichinque
Acamarachi	69	Pular-Pajonales
Chiliques	70	Grupo Puyuhuapi
Puntas Negras	71	Cay
Descabezado Chico	72	Grupo Pali-Aike
Cerro del Medio (Calabozos)	73	Colachi
Yanteles	74	Acamarachi
Macá	75	Puntas Negras
Ralún	76	Cordón del Azufre
Palvidad	77	Nevado de Incahuasi
San Pedro-Pellado	78	Nevado Tres Cruces
Tacora	79	Alto Palena
Putana	80	Fueguino o Cook
Caichinque	81	Caburgua-Huelemolles
Socompa	82	Fui

MUB	Ranking de Peligro	NVEWS-SERNAGEOMIN
Cordón del Azufre	83	Cayutué
Cerro Bayo	84	Ralún
Sierra Nevada	85	Palvita
Nevado Tres Cruces	86	Chascón (Purico)
Alto Palena	87	Cerro Bayo
Aucanquilcha	88	Sierra Nevada
Tinguiririca	89	Isla de Pascua
Alítar	90	Cerro del Medio (Calabozos)

ANEXO X: Ranking de los niveles de vulnerabilidad de ambas metodologías

MUB	Ranking de Vulnerabilidad	NVEWS-SERNAGEOMIN
Fui	1	Lonquimay
Isla de Pascua	2	Villarrica
Calbuco	3	Llaima
Villarrica	4	Chaitén
Caburgua-Huelemolles	5	Tolhuaca
Llaima	6	Caburgua-Huelemolles
Chaitén	7	Calbuco
Ralún	8	Quetrupillán
San José	9	Michinmahuida
Carran-Los Venados	10	Palvidad
Maipo	11	Antuco
Tupungatito	12	Yate
Mocho-Choshuenco	13	Nevados de Chillán
Lonquimay	14	Tinguiririca
Quetrupillán	15	Carran-Los Venados
Tolhuaca	16	Ralún
Osorno	17	Cayutué
Sollipulli	18	Antillanca
Puyehue-Cordón Caulle	19	Puyehue-Cordón Caulle
Hornopirén	20	Apagado o Hualaihué
Tacora	21	Hornopirén
Antillanca	22	Sollipulli
Puntiagudo-Cordón Cenizos	23	Nevado de Longaví
Copahue	24	Osorno
Grupo Puyuhuapi	25	Taapaca
Antuco	26	Planchón - Peteroa
Isluga	27	Callaqui
Nevados de Chillán	28	Macá
Palomo	29	San Pedro-Pellado
Yate	30	Olca-Paruma
Callaqui	31	Huequi
Cayutué	32	Mocho-Choshuenco
Lanin	33	Puntiagudo-Cordón Cenizos
Palvidad	34	Grupo Puyuhuapi
Michinmahuida	35	Fui
San Pedro-Pellado	36	Descabezado Chico
Apagado o Hualaihué	37	Cerro Azul-Quizapu
Parinacota	38	Cay
Cerro Azul-Quizapu	39	Corcovado
Nevado de Longaví	40	San José

MUB	Ranking de Vulnerabilidad	NVEWS-SERNAGEOMIN
Oica-Paruma	41	Tacora
Descabezado Grande	42	Mentolat
Irruputuncu	43	Apacheta-Aguilucho
Laguna del Maule	44	Parinacota
San Pedro	45	Guallatiri
Cerro del Medio (Calabozos)	46	Descabezado Grande
Descabezado Chico	47	Escalante-Sairecabur
Alto Palena	48	Licancabur
Ollague	49	Alítar
Aucanquilcha	50	Colachi
Putana	51	Acamarachi
Yanteles	52	Láscar
Licancabur	53	Yanteles
Guallatiri	54	Alto Palena
Apacheta-Aguilucho	55	Melimoyu
Escalante-Sairecabur	56	San Pedro
Taapaca	57	Aucanquilcha
Corcovado	58	Irruputuncu
Tinguiririca	59	Chiliques
Socompa	60	Caichinque
Planchón - Peteroa	61	Pular-Pajonales
Láscar	62	Socompa
Grupo Pali-Aike	63	Copahue
Huequi	64	Hudson
Cerro Bayo	65	Reclus
Chascón (Purico)	66	Grupo Pali-Aike
Llullaillaco	67	Ollague
Chiliques	68	Laguna del Maule
Nevado de Incahuasi	69	Isluga
Lastarria	70	Putana
Fueguino o Cook	71	Puntas Negras
Nevado Tres Cruces	72	Llullaillaco
Ojos del Salado	73	Cordón del Azufre
Alítar	74	Lastarria
Sierra Nevada	75	Tupungatito
Melimoyu	76	Maipo
Macá	77	Palomo
Acamarachi	78	Lanin
Colachi	79	Lautaro
Mentolat	80	Aguilera
Caichinque	81	Monte Burney
Puntas Negras	82	Fueguino o Cook

MUB	Ranking de Vulnerabilidad	NVEWS-SERNAGEOMIN
Cay	83	Ojos del Salado
Cordón del Azufre	84	Nevado Tres Cruces
Hudson	85	Nevado de Incahuasi
Reclus	86	Chascón (Purico)
Pular-Pajonales	87	Cerro Bayo
Aguilera	88	Sierra Nevada
Lautaro	89	Isla de Pascua
Monte Burney	90	Cerro del Medio (Calabozos)

ANEXO XI: Ranking de los niveles de riesgo de ambas metodologías

MUB	Ranking de Riesgo	NVEWS-SERNAGEOMIN (2014)
Calbuco	1	Villarrica
Villarrica	2	Llaima
Fui	3	Calbuco
Isla de Pascua	4	Chaitén
Puyehue-Cordón Caulle	5	Láscar
Osorno	6	Michinmahuida
Llaima	7	Nevados de Chillán
Planchón - Peteroa	8	Lonquimay
Hudson	9	Copahue
Michinmahuida	10	Cerro Azul-Quizapu
Nevados de Chillán	11	Puyehue-Cordón Caulle
Carran-Los Venados	12	Quetrupillán
Copahue	13	Guallatiri
Láscar	14	Osorno
Tupungatito	15	Planchón - Peteroa
Cerro Azul-Quizapu	16	San Pedro
Chaitén	17	Yate
Monte Burney	18	Mocho-Choshuenco
Mocho-Choshuenco	19	Hudson
Huequi	20	Irruputuncu
Lonquimay	21	Parinacota
Sollipulli	22	Taapaca
Aguilera	23	Ollague
Descabezado Grande	24	Socompa
Corcovado	25	Antuco
Parinacota	26	Corcovado
Taapaca	27	Descabezado Grande
San José	28	Laguna del Maule
Apagado o Hualaihué	29	Nevado de Longaví
Hornopirén	30	Carran-Los Venados
Lautaro	31	San Pedro-Pellado
Antillanca	32	Tolhuaca
Tolhuaca	33	San José
Melimoyu	34	Macá
Guallatiri	35	Olca-Paruma
San Pedro	36	Hornopirén
Maipo	37	Isluga
Yate	38	Sollipulli
Mentolat	39	Antillanca
Callaqui	40	Tacora

MUB	Ranking de Riesgo	NVEWS-SERNAGEOMIN (2014)
Laguna del Maule	41	Yanteles
Reclus	42	Lanin
Isluga	43	Puntiagudo-Cordón Cenizos
Quetrupillán	44	Huequi
Antuco	45	Melimoyu
Lanin	46	Apagado o Hualaihué
Fueguino o Cook	47	Tinguiririca
Colachi	48	Callaqui
Lastarria	49	Escalante-Sairecabur
Licancabur	50	Reclus
Llullaillaco	51	Púlar-Pajonales
Olca-Paruma	52	Putana
Ollaquë	53	Ojos del Salado
Pular-Pajonales	54	Tupungatito
Nevado de Incahuasi	55	Aguilera
Ojos del Salado	56	Puntas Negras
Nevado de Longaví	57	Descabezado Chico
Cay	58	Lastarria
Grupo Puyuhuapi	59	Maipo
Palomo	60	Grupo Puyuhuapi
Grupo Pali-Aike	61	Mentolat
Cayutué	62	Nevado Tres Cruces
Caburgua-Huelemolles	63	Apacheta-Aguilucho
Puntiagudo-Cordón Cenizos	64	Llullaillaco
Irruputuncu	65	Lautaro
Acamarachi	66	Monte Burney
Apacheta-Aguilucho	67	Alto Palena
Chascón (Purico)	68	Licancabur
Chiliques	69	Grupo Pali-Aike
Escalante-Sairecabur	70	Caburgua-Huelemolles
Puntas Negras	71	Palomo
Cerro del Medio (Calabozos)	72	Aucanquilcha
Descabezado Chico	73	Ralún
Yanteles	74	Palvítad
Macá	75	Cayutué
Palvítad	76	Cerro del Medio
Ralún	77	Cay
San Pedro-Pellado	78	Isla de Pascua
Caichinque	79	Fui
Tacora	80	Chiliques
Cordón del Azufre	81	Chascón (Purico ?)
Putana	82	Caichinque

MUB	Ranking de Riesgo	NVEWS-SERNAGEOMIN (2014)
Socompa	83	Colachi
Cerro Bayo	84	Acamarachi
Nevado Tres Cruces	85	Fueguino o Cook
Sierra Nevada	86	Cordón del Azufre
Alto Palena	87	Cerro Bayo
Aucanquilcha	88	Sierra Nevada
Tinguiririca	89	Nevado de Incahuasi
Alítar	90	Alítar

ANEXO XII: Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ)

Para determinar los pesos específicos de cada uno de los factores de peligro y sus intervalos se ha utilizado el PAJ. Para su desarrollo se deben seguir los siguientes pasos.

Primero es necesario definir los factores a evaluar, en este caso a modo ejemplo se utilizó el factor de peligro del IEV, con los mismos intervalos utilizados en la MUB. Con esto se buscó reasignar nuevos valores de peligro a estos rangos de índices de explosividad.

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2				
3 a 4				
5 a 6				
>= 7				

Luego se ha realizado la comparación de los pares en función de los parámetros que se han descrito en la Escala de Saaty, llegando al siguiente resultado.

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2	1,00	0,20	0,14	0,11
3 a 4	5,00	1,00	0,33	0,14
5 a 6	7,00	3,00	1,00	0,33
>= 7	9,00	7,00	3,00	1,00

Posteriormente se suman las columnas de la matriz para obtener la inversa de cada sumatoria

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2	1,00	0,20	0,14	0,11
3 a 4	5,00	1,00	0,33	0,14
5 a 6	7,00	3,00	1,00	0,33
>= 7	9,00	7,00	3,00	1,00
Suma	22,00	11,20	4,47	1,58
1/Suma	0,05	0,09	0,22	0,63

Se prosigue multiplicando la inversa de las sumas con cada uno de los valores de su propia columna, con lo que se obtiene la matriz de normalización.

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2	0,05	0,02	0,03	0,07
3 a 4	0,23	0,09	0,07	0,09
5 a 6	0,32	0,27	0,22	0,21
>= 7	0,41	0,63	0,67	0,63
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00

Se continúa con la suma de cada una de las filas dividido por la cantidad de criterios utilizados (4 en este caso), con lo cual se obtiene el vector de priorización (ponderación).

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7	Suma	Vector de Priorización Suma/N= %
0-2	0,05	0,02	0,03	0,07	0,16	0,04
3 a 4	0,23	0,09	0,07	0,09	0,48	0,12
5 a 6	0,32	0,27	0,22	0,21	1,02	0,25
>= 7	0,41	0,63	0,67	0,63	2,34	0,58
	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00

Con esto se obtiene el peso de importancia de cada uno de los intervalos del IEV. De esta manera un IEV de 0-2 = 4; 3-4 = 12; 5-6 = 25; >= 7 = 60.

Al factorizarlos el valor de peligro de cada intervalo de IEV es:

0-2 = 0; 3-4= 1; 5-6 =2 y >= 7 = 5

Para el calculo de Relación de Consistencia (RC) se utiliza la matriz de comparación original y se multiplican los valores de cada una de las columnas con el vector de priorización

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7
0-2	1,00	0,20	0,14	0,11
3 a 4	5,00	1,00	0,33	0,14
5 a 6	7,00	3,00	1,00	0,33
>= 7	9,00	7,00	3,00	1,00
Vector de priorización	*0,04	* 0,12	* 0,25	* 0,58

De esta manera se obtiene esta nueva matriz en la que se suman las filas

IEV	0-2	3 a 4	5 a 6	>= 7	Suma Ponderada
0-2	0,04	0,02	0,04	0,06	0,16
3 a 4	0,21	0,12	0,08	0,08	0,49
5 a 6	0,29	0,36	0,25	0,19	1,09
>= 7	0,37	0,84	0,76	0,58	2,56

Luego se dividen los valores del Vector Suma Ponderada y el Vector de Priorización, obteniendose los siguientes resultados

Suma Ponderada/ Vector de Priorización	
0,16/0,04	=4,01731719
0,49/0,12	=4,09972432
1,09/0,25	=4,29695738
2,56/0,58	=4,37320974

A continuación se suman estos valores y se dividen por la cantidad de “n” para obtener el λ_{max} :

$$\lambda_{max} = \frac{4,01+4,09+4,29+4,37}{4} = 4,19$$

Con este resultado se obtiene el Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{4,19 - 4}{3} = 0,065$$

Para finalmente obtener la relación de consistencia:

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0,065}{0,882} = \mathbf{0,074}$$

El valor del RC es de 0,074 (menor a 0,1) por lo cual la evaluación es consistente

IA corresponde al índice aleatorio de diferentes “n” obtenido mediante la simulación de 100.000 matrices, y que en este caso el IA de n= 4 es 0,882

Siguiendo con el mismo análisis PAJ, se han evaluado los otros factores de peligro de la metodología de la Universidad de Bristol, obteniéndose los siguientes resultados:

Flujos Piroclásticos

IEV	0	1	2	Suma	PONDERADO		
					Suma/N= %		
0	0,08	0,05	0,10	0,22	0,07		1
1	0,38	0,24	0,23	0,85	0,28		4
2	0,54	0,71	0,68	1,93	0,64		9
	1,00	1,00	1,00		1,00		14,00

Ponderacion PAJ

0,25
1
2

Lahares

IEV	0	1	2	Suma	PONDERADO		
					Suma/N= %		
0	0,08	0,05	0,10	0,22	0,07		1
1	0,38	0,24	0,23	0,85	0,28		4
2	0,54	0,71	0,68	1,93	0,64		9
	1,00	1,00	1,00		1,00		14,00

Ponderacion PAJ

0,25
1
2

Recurrencia Eruptiva

Recurrencia	1 a 2	3 a 10	11 a 20	>= 21	Suma	PONDERADO		
						Suma/N= %		
1 a 2	0,06	0,03	0,03	0,08	0,19	0,05		1
3 a 10	0,17	0,09	0,05	0,10	0,40	0,10		2
11 a 20	0,28	0,26	0,15	0,14	0,83	0,21		4
>= 21	0,50	0,62	0,77	0,69	2,57	0,64		13
	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00		20,00

Ponderacion PAJ

0
1
2
6

Frecuencia de Monitoreo

F.M	0	1	1,5	2	3	Suma	PONDERADO		
							Suma/N= %		
0	0,05	0,02	0,03	0,04	0,08	0,22	0,04		1
1	0,16	0,06	0,03	0,04	0,08	0,37	0,07		2
1,5	0,16	0,18	0,09	0,04	0,11	0,58	0,12		3
2	0,26	0,31	0,43	0,22	0,18	1,40	0,28		7
3	0,37	0,43	0,43	0,65	0,55	2,43	0,49		12
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00		

Ponderacion PAJ

0
0,5
1
2
4

Red Sísmica

						PONDERADO		
R.S.	0	1,5	2	3	Suma	Suma/N= %		Ponderacion PAJ
0	0,07	0,07	0,05	0,09	0,28	0,07	1	1
1,5	0,07	0,07	0,05	0,09	0,28	0,07	1	1
2	0,36	0,36	0,23	0,21	1,15	0,29	3	3
3	0,50	0,50	0,68	0,62	2,30	0,57	8	8
	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00		