



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Departamento de Geografía

EVALUACIÓN OBJETIVA DE LA AMENAZA VOLCANICA DEL TERRITORIO NACIONAL

Memoria de título para optar al grado de Geógrafa

Por:

Lic. Cristina Alejandra Silva Briones

Profesor Guía: Dr. Francisco Ferrando A.

Profesor Informante Experto: Dr. Luis Lara P.

Profesor Informante: Enrique Zarate C.

Santiago de Chile - 2011

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2.1 Estado del Asunto	10
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo General	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. MARCO TEÓRICO	14
5. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	20
5.1 Exposición de la Amenaza	22
5.2 Integración Amenaza – Exposición: Análisis	26
6. RESULTADOS	29
6.1 Ranking	29
6.1.1 Factores de Riesgo	29
6.1.2 Factores de Exposición	30
6.1.3 Determinación de categorías	36
6.2 Superficie nacional bajo amenaza volcánica	40
6.3 Evaluación de la amenaza en el territorio nacional; índice de Riesgo Volcánico...	42
6.3.1 Población comunal dentro del área de amenaza	42
6.3.2 Superficie de amenaza comunal (km ²)	43
6.3.3 Promedio Ranking de amenaza volcánica	44
6.3.4 Índice de Desarrollo Humano	45
6.3.5 Cálculo del Índice de Riesgo Comunal	45
7. ANALISIS DE RESULTADOS	50
7.1 Ranking de Amenaza	50
7.2 Superficie de amenaza	54
7.3 Índice de Riesgo Volcánico Comunal	57
7.3.1 Categorías de amenaza	62
8. DISCUSIÓN	63
8.1 Ranking de Amenaza Volcánica	64
8.2 Índice de Riesgo Volcánico Comunal	65
9. CONCLUSIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA	74
11. ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Determinación de la cantidad de población dentro del buffer de 30km	31
2. Determinación de la cantidad de población en zonas de peligro	32
3. Determinación de distancias entre aeropuertos y volcanes	33
4. Determinación de la infraestructura de poder dentro de 30 km	34
5. Determinación de infraestructura de transporte	34
6. Ferrocarriles dentro de 30km	35
7. Determinación de áreas protegidas en buffer de 30km	36
8. Determinación de Categorías	37
9. Gráfico representativo de la distribución de la amenaza volcánica a lo largo del país	38
10. Ranking Nacional de Amenaza Volcánica	39
11. Superficie amenaza volcánica	40
12. Representación cartográfica de la superficie de amenaza nacional	41
13. Cálculo de población comunal en amenaza	43
14. Cálculo de superficie de amenaza comunal	44
15. Gráfico representativo de la determinación de categorías	48
16. Representación cartográfica del Índice de Riesgo Volcánico Comunal	49
17. Ranking de amenaza volcánica, por zona volcánica, elaboración propia	51
18. Gráfico Factores de riesgo v/s Factores de exposición	52
19. Gráfico Factores de Peligro y Factores de Exposición	53
20. Gráfico de porcentaje de superficie amenazada respecto de la superficie regional	56
21. Gráfico de porcentaje de área amenazada respecto al porcentaje país	57
22. Gráfico representativo de la relación entre el IRVC y la densidad de población	59
23. Representación cartográfica de la relación entre el IRVC y el Ranking de amenaza volcánica	61
24. Gráfico representativo de las diversas formas de cálculo del IRVC	65
25. Interacción de los factores de vulnerabilidad	66
26. Gráfico de crecimiento de población en épocas estivales	69

ÍNDICE DE TABLAS

1. Índice de Explosividad Volcánica	19
2. Factores de Riesgo	20
3. Aspectos del Índice de Desarrollo Humano	27
4. Ejemplo de asignación de valores en Factores de Peligro	30
5. Superficie de amenaza regional	55

AGRADECIMIENTOS

La siguiente memoria de título representa un gran esfuerzo desarrollado y corresponde a la etapa final de un camino, en el cual directa o indirectamente, han sido involucradas muchas personas, ya sea leyendo, opinando y corrigiendo, aportando o simplemente apoyando y brindando su compañía en aquellos momentos más difíciles.

Es por esto que quiero agradecer a todos aquellos que estuvieron ahí, en este largo proceso, que como ustedes saben, no sólo significó este último año de carrera, sino que desde muchos años atrás comenzó a gestarse esta pasión, o como mucho llamaron 'locura' por los volcanes.

Quiero agradecer principalmente a mis padres y hermanos por su constante apoyo y comprensión, por estar siempre cuando los necesite y por creer en mí cuando yo pensaba que nunca lograría llegar a lo que siempre soñé, por darme las fuerzas para seguir adelante.

Un especial agradecimiento a mis compañeros del Programa de Riesgo Volcánico del SERNAGEOMIN, que formaron parte importantísima en esta última etapa de mi desarrollo profesional y porque no decirlo en el cumplimiento de mi gran sueño. Carolina Silva, mi eterna jefa y amiga que me dio la bienvenida al grupo, Daniel Sellés, por su gran aporte en conocimientos y apoyo profesional, Don Luis Lara, por la paciencia y la dirección de este trabajo, a Carolina Valenzuela, por su gran compañía en esos días de oficina y colaboración, y a mis siempre amigos Gabriel Orozco y Álvaro Amigo, los que me llevaron a cumplir mi sueño y enseñaron grandes cosas, siempre me apoyaron e incitaron a seguir con esto y siempre me hicieron sentir importante. Amigos míos gracias a ustedes puedo decir que logré lo que por tanto tiempo luché. GRACIAS!

También debo agradecer enormemente a mi gran amor Felipe Rocha por su constante apoyo y por siempre creer en mí y alentarme cuando me desanimaba, aunque grandes distancias nos separaban siempre sentí tu apoyo en cada momento, por su amor y comprensión que me permite sentir que puedo lograr lo que me proponga.

A mi amigas Valentina Vázquez y María José Gonzales, que me acompañaron en esta aventura y en los complicados momentos universitarios, con todas las dificultades que esto significó para mi, siempre me entendieron y estuvieron ahí formando un gran equipo, las adoro!

A mi amiga y hermana Carolina Prieto, por sus aportes en cuanto a la visión social, su apoyo profesional y por sobretodo su cariño.

A mis profesores Francisco Ferrando y Enrique Zarate por su disposición conocimientos y ayuda brindada.

Por estos y por muchos otros motivos gracias a todos, y al fin puedo decir que estos años de sacrificio no fueron en vano, he logrado alcanzar lo que siempre quise y puedo decir... misión cumplida y sobre todo cumplí uno de mis más grandes sueños.... GRACIAS A TODOS!

Y agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones...

RESUMEN

El nivel de riesgo asociado a un volcán no solo depende de las características geológicas que éste presente sino también del grado de vulnerabilidad de zona en la que se encuentra emplazado. En la caracterización de la vulnerabilidad intervienen muchos factores (demográficos, económicos, sociales, etc.) pero algunos de ellos tienen mayor incidencia en el impacto de una potencial explosión volcánica.

Chile posee 95 volcanes geológicamente activos y un 16.6% de su territorio se encuentra bajo amenaza volcánica. Estas áreas de amenaza se encuentran distribuidas a lo largo del territorio nacional, en donde mayoritariamente en la Zona Volcánica Sur, más específicamente entre los volcanes Planchón – Peteroa y Chaitén, se encuentran los valores más altos del ranking. Esta amenaza se percibe distintamente, a lo largo del territorio, producto de las diferencias sociales, económicas y culturales, de quienes se encuentran dentro del área de influencia de sus manifestaciones.

El desarrollo de este trabajo demuestra que tanto la amenaza (peligro intrínseco impuesto por cada volcán) y el riesgo (vulnerabilidad del territorio circundante) no está uniformemente distribuida en el país y, por lo tanto, es posible identificar objetivamente las regiones, provincias, comunas y asentamientos más sensibles.

1. INTRODUCCIÓN

Chile está ubicado en un 'margen activo de convergencia de placas', siendo responsable de parte importante de la actividad sísmica y generador de la Cordillera de los Andes y sus más de 2.000 volcanes. De ellos, más de 500 son considerados geológicamente activos y unos 60 poseen registro eruptivo histórico, dentro de los últimos 450 años (SERNAGEOMIN, 2008; ONEMI, 2008).

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna de un volcán (activo) y que al alcanzar la superficie pierde parte de los gases. De esta forma, las erupciones son explosiones más o menos violentas de mezclas de magma, gases volcánicos que se separan de este y fragmentos de roca de la corteza del edificio volcánico que son arrastrados en el proceso.

Los volcanes activos no se encuentran dispersos arbitrariamente sobre la superficie de la Tierra, sino que se distribuyen en diferentes regiones definidas por procesos tectónicos de escala global, como las interacciones de las placas tectónicas que conforman la corteza y las corrientes convectivas del manto terrestre que las mueven (CENAPRED, 2004; ONEMI, 2008).

Durante el año 2008, nuestro país estuvo marcado por significativos eventos de origen geológico. Las erupciones de los volcanes Llaima y Chaitén destacaron por la magnitud de sus manifestaciones y el impacto generado en la comunidad local, nacional e internacional y actualmente el sistema Cordón Caulle – Puyehue se encuentra en actividad y está generando diversos y relevantes impactos.

En este contexto la siguiente investigación se desarrolló mediante una metodología semicuantitativa, orientada a la evaluación objetiva de la amenaza volcánica a nivel nacional, en donde se pretende demostrar la distribución territorial y magnitud, del peligro volcánico y su relación con la vulnerabilidad del medio construido.

De esta forma se presentan dos formas de evaluación diferentes, una determinada por la metodología Ewert et al (2005), para Estados Unidos, "National Volcano Early Warning System" (NVEWS), que reúne una clasificación simple y estructurada para las características intrínsecas de un volcán (Factores de peligro) y los aspectos de vulnerabilidad del territorio (Factores de

exposición). De este trabajo se desprenden distintas categorías de amenaza y por consiguiente su distribución a nivel latitudinal para todos los volcanes geológicamente activos de nuestro país.

En una segunda etapa se muestra una nueva metodología aplicada a nivel sectorial, con el fin de representar la vulnerabilidad real del territorio, de acuerdo a la división político administrativa, y sus diferencias socioculturales, desarrollando un Índice de Amenaza Comunal, en donde se puede apreciar que la amenaza volcánica no se manifiesta de igual forma en el territorio nacional continental, sino que está directamente relacionada con los aspectos de vulnerabilidad de la comunidad que se encuentra en torno al centro volcánico.

Este estudio, contribuye con una mirada objetiva del problema y a orientar posibles soluciones desde una perspectiva de estrategia de desarrollo nacional (Lara et al, 2011).

El principal propósito de este estudio es aportar con antecedentes que sirvan como respaldo para la mitigación y la toma de decisiones frente a una eventualidad volcánica, teniendo siempre en consideración el dinamismo de estos procesos y la diversidad socio espacial, cultural y económica de quienes se podrían ver afectados.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el territorio de Chile continental existen alrededor de 2000 volcanes a lo largo de la Cordillera de los Andes, de los cuales 95 de estos son considerados geológicamente activos (ver marco teórico), con capacidad de iniciar ciclos eruptivos. Producto de ello, cerca del 30% del territorio nacional corresponde a áreas susceptibles de ser afectadas de algún modo, directo o indirecto, por las erupciones volcánicas. Por otra parte, el crecimiento de la población y la economía determinan que la exposición de los centros poblados e infraestructura a los peligros volcánicos crezca en el tiempo (Chester; Lara et al. 2011).

Si bien los efectos de erupciones pasadas han sido importantes, su impacto en la sociedad no ha alcanzado los niveles observados en otras regiones del mundo como Centroamérica o el sudeste asiático, lo que está directamente relacionado con el hecho de que Chile posee aún una baja densidad poblacional y ésta disminuye con la proximidad a los centros volcánicos. No obstante, se debe tener en consideración que parte importante de la infraestructura crítica a nivel nacional (faenas mineras, centrales hidroeléctricas, etc.) se encuentran dentro del área expuesta a efectos directos o indirectos de las erupciones volcánicas. Asimismo, el área cordillerana más densamente poblada del país coincide también con el segmento que incluye a los volcanes geológicamente más activos del territorio nacional y es el lugar donde más eventos volcánicos se han registrado en los últimos siglos (Petit-Breuilh, 2004; Lara, 2008; Lara et al. 2011). Por lo tanto, resulta de suma importancia cuantificar la distribución espacial de la población respecto a la fuente de peligro y analizar cuan vulnerable es el territorio frente a esta amenaza.

La naturaleza y el impacto potencial de un peligro depende de la relación entre el peligro y la población o los bienes que estén en riesgo y, en la actualidad, la coincidencia espacial entre volcanes y población se está incrementando (Small y Naumann, 2001). No obstante, en Chile no existe una evaluación objetiva, completa y de carácter nacional que permita dimensionar el problema, definir prioridades y orientar la política pública en materia de ordenamiento territorial, pronóstico o manejo de emergencias. El primer avance en la materia lo constituye la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), dependiente de SERNAGEOMIN y conformada por el Programa de Riesgo Volcánico y una red de observatorios volcanológicos (entre ellos OVDAS, el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur), que corresponde a un programa quinquenal 2009-2013

construido sobre la base del conocimiento disponible respecto de los volcanes chilenos y una escala de prioridades definidas de acuerdo a estándares internacionales. En efecto, se ha adaptado el sistema denominado NVEWS (National Volcano Early Warning System) desarrollado por Ewert et al. (2005) del US Geological Survey, en Estados Unidos. Este sistema se basa en una clasificación simple estructurada sobre la base de la consideración de factores de peligro volcánico como: tipo de volcán; Máximo VEI (Índice de Explosividad Volcánica sensu Newhall y Self, 1982); Ocurrencia de actividad explosiva en los últimos 500 años; Recurrencia eruptiva; Ocurrencia en el Holoceno de flujos piroclásticos, lahares o lavas; Potencial de explosiones hidrotermales; Ocurrencia de Tsunamis en el Holoceno (aplicable a islas Volcánicas); Potencial de colapso parcial del edificio; Existencia de fuente primaria de lahares (hielo/detritos); Actividad sísmica observable; Actividad fumarólica o desgasificación magmática. Estos parámetros se evaluaron de acuerdo a un criterio preestablecido a partir de información pública e inédita disponible y con la suma de ellos se origina un puntaje asociado al peligro volcánico para cada centro eruptivo considerado. Un primer esfuerzo de clasificación fue realizado por Lara et al. (2006) y una actualización de él será realizada en el marco de las actividades del Programa de Riesgo Volcánico de SERNAGEOMIN (Lara et al., 2011) y dispuesta como base del presente estudio. En complemento de lo anterior, el análisis de la exposición y vulnerabilidad del territorio es abordado en el presente estudio, particularmente en los aspectos más sensibles como la población e infraestructura crítica.

En términos formales, el riesgo volcánico (o amenaza volcánica en el sentido de Ewert et al., 2005) es la combinación del peligro (el fenómeno o proceso destructivo natural de un volcán) y la exposición (personas y bienes expuestos a un peligro). De esta forma, no solo las vidas humanas son los elementos en riesgo, ya que nuestra sociedad posee y depende de estructuras básicas muy vulnerables, como los sistemas de comunicación o redes de distribución de agua y energía. Además, los núcleos urbanos en la proximidad de los volcanes potencialmente peligrosos son cada vez mayores, pudiéndose llegar incluso en algunos casos a urbanizar hasta las laderas de volcanes como ocurre en otros lugares del mundo (Ortiz, 1996) o en el caso turístico donde estas áreas forman parte importante en el desarrollo de centros de deporte blanco.

Teniendo en consideración lo anteriormente planteado, en este estudio se realiza una nueva categorización de la amenaza volcánica para nuestro país, utilizando la información geológica disponible y se desarrollan nuevas formas de cuantificar la exposición, lo que permite finalmente

actualizar la categorización de los volcanes activos de Chile y aportar al diagnóstico objetivo de la amenaza volcánica en el territorio nacional.

Esta información permitirá establecer un sistema de evaluación de la amenaza que podrá ser actualizado periódicamente de acuerdo a la información disponible, para ser utilizado ampliamente en el marco de la preparación y/o actualización de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial y la gestión del riesgo a nivel nacional y regional.

2.1. Estado del asunto

Los territorios volcánicos han sido los sitios preferidos para los asentamiento humanos desde tiempos precolombinos y como fuente de recursos hídricos y materiales, dado que son muy fértiles, ricos en agua potable y con extensas regiones planas de relleno volcánico y fluvial (Alvarado, 2000)

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, respecto a la localización de entidades pobladas, no siempre se comprende, que el medio en el que se emplazan corresponde a un medio natural dinámico cuyos procesos naturales responden o son producto de los “ajustes permanentes y continuos” de su propio proceso evolutivo (Abumohor, 1998), procesos espaciales que ponen en riesgo el desarrollo de la vida humana.

Desde esta perspectiva, el riesgo adquiere una dimensión espacial, vale decir, localización, distribución y causalidad. Su valorización y la potencialidad intrínseca que conlleva ésta de amenaza y vulnerabilidad, permite enfocar su análisis bajo una visión integral, lo que se denomina Administración del Riesgo, cuyo pilar fundamental se sustenta en el reconocimiento y disposición de los elementos , recursos y procesos que configuran u ordenan el territorio (Abumohor, 1998)

En este escenario, para que exista una correcta mitigación de los peligros y reducción del riesgo volcánico, debe generarse un programa efectivo que debe incluir los siguientes componentes: 1) identificación de los volcanes que representan riesgo, 2) evaluación y zonificación de los peligros volcánicos, 3) vigilancia volcánica y predicción de erupciones, y 4) manejo de la emergencia (Tilling, 1998). El desarrollo de la evaluación y mitigación del riesgo en este sentido, se encuentra en una etapa incipiente a nivel mundial. La mayoría de los estudios actuales apuntan a la

evaluación y zonificación de los peligros y su vigilancia, y consecuentemente se han desarrollado, en algunos casos, planes de manejo de la emergencia, aspecto que se encuentra en constante aumento. Sin embargo, estos planes no apuntan a grandes desarrollos a nivel de ordenamiento territorial, sino que más bien a difusión de información y planes de emergencia y evacuación frente a una eventualidad.

La experiencia demuestra que estos esfuerzos ni la información disponible son suficientes. En algunos países han debido ocurrir grandes tragedias para que se establezcan organismos o instituciones encargadas de prevenir los desastres o de desarrollar estudios que apuntes a la información de la comunidad o evaluación del riesgo. Como por ejemplo lo ocurrido en nuestro país posterior a la erupción del volcán Chaitén en el año 2008, donde se forma la Red Nacional de Vigilancia Volcánica, o lo ocurrido en Colombia, tras la erupción del volcán Nevado del Ruiz, donde murieron más de 25000 personas. Desde entonces los avances científicos son indudables: para la prevención de corto plazo se cuenta con observatorios como los de Ingeominas para el monitoreo volcánico y del Observatorio Sismológico del Sur Occidente Osso para tsunamis. Y para la prevención de largo plazo, a pesar del notable retraso cartográfico de Colombia, se cuenta con mapas de amenazas temáticos y a escala suficiente para la planeación y el ordenamiento territorial de casi todas las grandes ciudades, incluso de los principales volcanes activos de Colombia y de otros escenarios de riesgo, todo esto además útil para dar soporte a la labor educativa comunitaria (Duque-Escobar, 2005).

A modo de otros ejemplos en México funciona el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), además de los institutos científicos vinculados a las universidades que se encargan del monitoreo de volcanes y zonas sísmicas. En Nicaragua existe el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), quien se encarga de la geodesia y cartografía, meteorología, volcanología y sismología además de los estudio de ordenamiento territorial. Ecuador por su parte realiza sus investigaciones científicas desde el Instituto Geofísico y a nivel de América central, se cuenta con la presencia del Centro de Coordinación para la Prevención de los desastres naturales en América Latina (CEPREDENAC) (Berrocal, 2008)

Actualmente se trabaja más profundamente en el desarrollo de la evaluación de los peligros, su zonificación y la elaboración de cartografía representativa de su especialización, junto con la

elaboración de planes de manejo de emergencia, cuyos esfuerzos apuntan a posteriores evaluaciones de ordenamiento territorial.

Hoy sabemos con certeza que de nada sirven observatorios y mapas de amenazas, si la planeación y el ordenamiento territorial no resultan coherentes con los temas del medio ambiente y sus potencialidades y limitantes culturales y naturales, de igual modo que si no parten del consenso de los actores sociales y comunitarios, y si no se apropian por las colectividades humanas, entre ellas las expuestas a la amenaza y quienes, además de información adecuada, requieren organización y entrenamiento entre otras acciones y recursos necesarios para mitigar su vulnerabilidad global. Esto quiere decir que el manejo de los desastres no es competencia especializada de nadie en particular: ni de los científicos, ni de los políticos, ni de los planificadores: lo es de la propia comunidad y por lo tanto de todos. (Duque-Escobar, 2005)

Lo anterior refleja la necesidad de profundizar en el conocimiento de los volcanes activos, perfeccionar las gestiones tanto preventivas como de respuesta frente a este tipo de eventos e incorporar esta variable de riesgo en los instrumentos de ordenamiento territorial.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Generar un diagnóstico objetivo de escala nacional de la amenaza volcánica en Chile y el riesgo asociado, a partir de consideraciones geológicas y de vulnerabilidad en términos de exposición del territorio en sus aspectos más sensibles como asentamientos humanos e infraestructura.

3.2 Objetivos Específicos

- Compilar y organizar la información geológica relativa a las amenazas asociadas a los volcanes activos de Chile.
- Reevaluar la amenaza relativa que cada volcán representa de acuerdo a los parámetros establecidos, elaborando un ranking de amenaza.
- Evaluar la Amenaza Volcánica a escala comunal y su expresión espacial en el territorio de cada municipio involucrado.
- Analizar la relación espacial entre vulnerabilidad y amenaza volcánica de la comunas que se encuentran dentro de esta área.
- Elaborar una cartografía representativa de la distribución espacial de la amenaza y hacer un análisis de dichos resultados.
- Generar un diagnóstico nacional de la amenaza volcánica identificando y jerarquizando las áreas críticas como base para orientar una estrategia de protección civil a escala nacional en este ámbito.

4. MARCO TEÓRICO

Para desarrollar esta investigación es importante tener en claro, como primera consideración, el concepto de **Volcán** y la diferenciación de **Volcán Geológicamente Activo**. Un **Volcán** puede ser una simple abertura circular (cráter) o alargada (fisura) en la superficie de la tierra a través de la cual se emiten del interior gases, piroclastos (fragmentos de roca proyectados) y derrames de lava (roca fundida) en forma de coladas. En términos muy simples, un volcán está constituido además por una chimenea o conducto eruptivo, por el cual asciende el material fundido y cargado de gases desde uno o varios reservorios o cámaras magmáticas ubicadas a profundidades variables desde menos de 0,5 km hasta más de 20 km. Ahora bien, es más frecuente que el concepto de volcán este asociado con el de una montaña cónica que ha sido construida por sucesión de materiales eruptados. Sin embargo, podemos tener volcanes tan pequeños que solo cuentan con unas pocas decenas o centenas de metros de altura, u otros cuyo tamaño es de mayor envergadura y con una morfología suave e irregular (el caso de los volcanes de la cordillera de los andes central (G. Alvarado, 2000). Una vez entendido este concepto, es importante entender que un **Volcán Geológicamente Activo**, como aquellos considerados en este estudio, es aquel que ha tenido, al menos, una erupción en los últimos 10 mil años (Holoceno) o bien que, sin certeza de esto último ni evidencias de manifestaciones eruptivas recientes, presenta signos cuantificables de actividad como desgasificación, sismicidad o deformación del terreno. (Ewert et *al.*, 2005; Ewert et *al.*, 2007; modificado de Simkin y Siebert. 1994)

El **Peligro o Amenaza Volcánica** está determinado por la probabilidad de ocurrencia de un proceso eruptivo en un tiempo y lugar determinado con una intensidad definida. Consiste en un evento potencialmente perjudicial, que puede causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

La amenaza volcánica está determinada por la intensidad de los procesos y su manifestación en el territorio, en términos de la proyección espacial de sus productos, de los que es posible identificar 6 principales:

a) Flujos de Lava: son emanaciones de roca fundida o magma en la superficie de la tierra a través de una fisura o cráter en un volcán (D. Peterson, R. Tilling, Enciclopedia de volcanes).

Según Williams y McBirney 1979 (extraido de Tillin 1989) la morfología de las extrusiones está determinada por el volumen de lava emitido por unidad de tiempo (tasa de emisión), por la pendiente de la superficie sobre la cual la lava se derrama y por la viscosidad de la lava. Dadas sus bajas velocidades de escurrimiento, los flujos de lava rara vez constituyen una amenaza directa para la vida humana. El mayor peligro relacionado con los flujos de lava está representado por el daño parcial o la destrucción total por enterramiento, trituración o incendio de todo lo que éstos encuentran a su paso. Los flujos de lava también pueden fundir nieve y hielo, lo cual a su vez puede producir flujos de detritos y aluviones volcánicos o lahares (W. Scott, 1989; Tilling 1989).

b) Flujos Piroclásticos: Son masas o corrientes de piroclastos (fragmentos rocosos calientes) y gases que se movilizan rápidamente a gran temperatura (300 a >800°C) sobre la superficie a velocidades en un rango de diez a varios cientos de metros por segundo. Un flujo piroclástico se compone normalmente de dos partes: (1) un flujo basal, denso y ceñido al piso, que es el flujo piroclástico propiamente tal; y (2) una oleada en forma de nube turbulenta de ceniza que precede o cabalga sobre el mismo.

Se ha observado que los flujos piroclásticos se forman de varias maneras y éstas incluyen: colapso gravitacional de altas columnas eruptivas verticales, derrame o 'boiling over' de columnas eruptivas de poca altura que parecen derramarse sobre el filo del cráter y destrucción gravitacional o explosiva de domos lávicos y flujos de lava calientes (W. Scott, 1989; Tilling 1989)

c) Avalanchas volcánicas: son comunes en volcanes debido a pendientes fuertes, fallas, presencia de materiales débiles, deformación interna causada por intrusiones y otros factores. La repentina caída de rocas, deslizamientos y avalanchas de escombros constituyen un gran peligro puesto que poseen una gran movilidad. Ejemplo de grandes avalanchas fue lo ocurrido en Mount St. Helens, donde una gran avalancha puede producir una abrupta caída en la presión litostática (presión de la rocas sobre una superficie) que mantiene confinados a los sistemas magmático o hidrotermal, lo cual puede a su vez

generar explosiones que varían desde explosiones freáticas (magma en contacto con agua) menores hasta grandes explosiones dirigidas (W. Scott, 1989; Tilling 1989).

- d) Lahares o aluviones volcánicos:** son mezclas de detritos movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes. Pueden ser generados de varias maneras, las cuales resultan en la mezcla de escombros de roca y agua en un volcán. Las explosiones volcánicas pueden desaguar de forma catastrófica las lagunas cratéricas. Avalanchas de escombros saturados de agua pueden transformarse en lahares, y si estas llegan a detenerse pueden generar lahares al soltar agua y pequeños deslizamientos en masa. Flujos piroclásticos pueden entrar en ríos, incorporar su agua y formar lahares. La interacción de flujos y oleadas con nieve y hielo provoca la fusión de estos últimos y el agua así generada se puede mezclar con sedimentos, tal como ocurrió durante la erupción del Nevado del Ruiz en 1985.

Los lahares amenazan las vidas humanas y las propiedades tanto en los volcanes como en los valles que los drenan. Debido a su alta densidad y su velocidad, los lahares pueden destruir la vegetación y hasta estructuras importantes a lo largo de sus rutas. (W. Scott, 1989; Tilling 1989)

- e) Caída de piroclastos:** La tefra está constituida por material piroclástico que ha sido expulsado hacia la atmosfera y que luego cae sobre la superficie terrestre. Las partículas son transportadas hacia arriba por medio de columnas eruptivas, las cuales consisten en una zona inferior de empuje por gases, y una zona superior convectiva. Una columna continuara ascendiendo por convección hasta que su densidad sea igual a la de la atmosfera circundante. Luego sufrirá una expansión lateral, pero también continuara ascendiendo debido a la inercia, y formara una amplia nube en forma de paraguas.

En contraste, los fragmentos más grandes se compactan como proyectiles balísticos que abandonan el cráter a velocidades que varían de decenas a centenares de metros por segundo, y siguen trayectorias que no son afectadas por la dinámica de la columna eruptiva o por el viento. En consecuencia, estos proyectiles típicamente se hayan restringidos a un radio de 5 km del centro de emisión (Blong, 1984; Tilling 1989)

La tefra varia de tamaño desde ceniza (<2mm), lapilli (2-64mm) hasta bloques y bombas (>64mm) que pueden alcanzar diámetros de hasta varios metros.

La tefra y las bombas son una amenaza para la vida y las propiedades por (1) la fuerza del impacto de los fragmentos que caen, (2) enterramiento, (3) formación de una suspensión de partículas de grano fino en el agua y en el aire, que pueden afectar la visibilidad, la salud, maquinarias, y el transporte aéreo, ferroviario y en carreteras son especialmente vulnerables, y (4) el transporte de gases nocivos, ácidos, sales. (W. Scott, 1989; Tilling 1989)

- f) **Gases volcánicos:** El magma contiene gases disueltos, los cuales escapan hacia la atmosfera tanto durante las erupciones como mientras el magma permanece estacionado cerca de la superficie. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua; otros gases importantes incluyen el dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxido de azufre, acido sulfhídrico, cloro y flúor. Estos gases son transportados desde sus centros de emisión como aerosoles ácidos, como compuestos químicos absorbidos por la tefra y como sales en partículas microscópicas.

Los efectos de un gas volcánico están relacionados directamente con su concentración, la cual decrece con la distancia desde su punto de emisión, ya que el gas es diluido por el aire. Normalmente, los efectos nocivos están restringidos a un radio de 10 km desde el punto de emisión, con excepción de algunas circunstancias especiales relacionadas con la ventilación local. Sin embargo, las erupciones explosivas de gran volumen, pueden formar un velo estratosférico de polvo y de aerosoles ácidos, los cuales también pueden formarse durante erupciones modestas de magma ricos en azufre que a su vez pueden producir efectos climáticos locales o regionales (W. Scott, 1989; Tilling 1989).

Por otro lado, el **Riesgo Volcánico** está definido como el producto entre la amenaza (peligro) y la vulnerabilidad del medio expuesto (Lara, 2008). Corresponde al peligro que implica la manifestación de una erupción en el territorio y se expresa como la probabilidad de pérdida de vidas humanas, propiedades, capacidad productiva, etc., dentro de un área determinada, (Tilling, 1989).

A su vez, la **vulnerabilidad** representa la susceptibilidad de los elementos a ser dañados que también se entiende como las condiciones determinadas por procesos y factores físicos, sociales,

económicos y ambientales que aumentan la sensibilidad de una comunidad determinada ante los efectos de los procesos naturales extremos.

La vulnerabilidad considera 4 aspectos espaciales importantes: 1) Factores físicos; que tienen una connotación material, de las corrientes del ordenamiento territorial, de la ingeniería y la arquitectura, 2) Factores sociales; relacionado con el grado de bienestar de las personas, educación, cultura, valores, costumbres, ideologías etc., 3) Factores económicos; la vulnerabilidad depende mucho de la situación económica de las personas, comunidades y países, 4) Factores ambientales; se refiere al medio ambiente natural y al estado de los recursos (ONU, 2004).

Como se muestra en el párrafo anterior, al evaluar la vulnerabilidad se relacionan distintos aspectos del territorio que se consideran como un todo. Dentro de esta investigación, el nivel de detalle desarrollado no alcanza a reunir cada uno de estos aspectos en forma independiente, sino que solo se consideran algunos como representativos y que abarcan, de cierta forma, todas las variables.

Por otra parte, **amenaza** es usado como sinónimo de peligro en muchos países latinoamericanos. Sin embargo, en este trabajo y siguiendo a Ewert et al. (2005), amenaza (en inglés 'threat') corresponde a la combinación de factores asociados con el peligro intrínseco que representa cada volcán y la exposición (en cierto modo la vulnerabilidad) del territorio potencialmente afectado (Lara, 2008).

- Amenaza Volcánica: Cuantificando su magnitud

Respecto al concepto de la amenaza volcánica, una forma de cuantificar la magnitud de una erupción volcánica es el **Índice de Explosividad Volcánica (VEI)** propuesto por Newhall y Self (1982), basado en características subjetivas y cualitativas, además de algunos criterios cuantitativos (total del volumen de los productos eyectados y altura de la columna eruptiva). El VEI tiene 8 niveles de incremento de la explosividad y puede ser aplicado al 80% de las erupciones volcánicas explosivas conocidas (Schmincke, 2004). (Ver tabla 1)

Para analizar la amenaza volcánica a nivel nacional, en base a los aspectos desarrollados anteriormente, es necesario también determinar la estructuración del territorio, y entender que nuestro país está dividido en unidades territoriales diferentes con administraciones,

infraestructura y recursos naturales disímiles, en donde el peligro se manifiesta de distintas formas de acuerdo a la vulnerabilidad de cada lugar. Por esta razón, para un mejor análisis que considere las diferentes formas de respuesta frente a los peligros, se selecciona la Comuna, como entidad de estudio. La **Comuna** es el territorio legalmente definido para fines de administración local en que se divide la provincia. Constituye el nivel básico de la estructuración del Estado. Su autoridad jurisdiccional es la Municipalidad, cuya sede es determinada por la ley (INE, 2005)

Tabla 1: Índice de Explosividad Volcánica

IEV	Clasificación de tipo de Erupción	Altura de la Pluma	Descripción	Ejemplo
0	Hawaiana	100 m	No explosivo	Kilauea, Hawai
1	Hawaiana/Stromboliana	100 – 1000	Reducido	Stromboli, Italia
2	Stromboliana/Vulcaniana	1 – 5 km	Moderado	Galeras 1992, Colombia
3	Vulcaniana (Sub-Pliniana)	3 – 15 km	Severo/ Grande	Nev. Del Ruiz 1985, Colombia
4	Vulcaniana (Sub-Pliniana)/Pliniana	10 – 25	Cataclísmico	Galunggung 1982, Indonesia
5	Pliniana	+ 25	Paroxismal	Santa Helena 1982, EEUU
6	Pliniana/Ultra-Pliniana	+ 25	Colosal	Krakatau 1982, Indonesia
7	Ultra-Pliniana	+ 25 km	Supercolosal	Tambora 1815, Indonesia
8	Ultra-Pliniana	+ 25 km	Megacolosal	Yellowstone, EEUU

Fuente: elaboración propia, a partir de SERNAGEOMIN

5. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del siguiente estudio se consideró la información geológica provista por el Programa de Riesgo Volcánico de SERNAGEOMIN. El desarrollo de esta investigación utilizó las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis 9.3), mediante los cuales se realizó un análisis espacial de la información con dos etapas importantes de desarrollo: la elaboración y actualización del denominado 'Ranking de Amenaza Volcánica Nacional' y el análisis territorial de dicha información.

En una primera instancia se compiló la información relativa a las amenazas volcánicas de cada uno de los volcanes geológicamente activos, con el fin de actualizar el ranking actual.

Esta compilación y actualización de la información se realiza en base a información de primera fuente, entrevistando a 4 especialistas del Programa de Riesgo Volcánico (PRV) del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y cruzando la información con la bibliografía disponible.

- Álvaro Amigo → desde volcán Tacora – a volcán El Solo
 desde volcán Palomo – a Cerro Azul- Quizapu
- Carolina Silva → desde volcán Tupungatito – a volcán Maipo
- Daniel Sellés → desde volcán San Pedro-Pellado – a volcán Lomas Blancas
 desde Grupo Alto Palena – a volcán Fuego
- Luis Lara → desde volcán Nevados de Chillán – a volcán Hudson

Los criterios que se utilizaron fueron los propuestos por Ewert *et al.* (2005) en "An Assessment of Volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcano Early Warning System, NVEWS, en donde los factores de peligro a analizar son:

Tabla 2: Factores de Riesgo

Factor de Peligro	Rango	Descripción
Tipo de Volcán	0 - 1	0 → Conos de ceniza, campo volcánico basáltico, volcanes escudo pequeños, volcanes de fisura. 1 → Estratoconos, domos, volcanes compuestos, mar o caldera.

Máximo IEV (Índice de Explosividad Volcánica)	0 - 3	0 → IEV ≤ 2 1 → IEV 3 o 4 2 → IEV 5 o 6 3 → ≥ 7 Si la información es desconocida 0 → si el volcán es del tipo 0 1 → si el volcán es del tipo 1
Actividad explosiva	0 - 1	1 → Actividad explosiva dentro de los últimos 500 años (IEV ≥ 3)
Mayor actividad explosiva	0 - 1	1 → Actividad explosiva dentro de los últimos 5000 años (IEV ≥ 4)
Recurrencia eruptiva	0 - 4	4 → intervalo de erupciones 1 – 99 años 3 → intervalo de erupciones 100 – 1000 años 2 → intervalo de erupciones 1000 a varios miles de años 1 → 5000 – 10000 años 0 → No se conocen erupciones Holocenas
Flujos piroclásticos Holocenos	0 - 1	1 → si existieron flujos piroclásticos holocenos
Flujos de lava Holocenos	0 - 1	1 → si existieron flujos de lava holocenos
Lahares Holocenos	0 - 1	1 → si existieron lahares holocenos
Tsunamis Holocenos	0 - 1	1 → si existieron tsunamis holocenos
Potenciales explosiones hidrotermales	0 - 1	1 → si ha tenido explosiones freáticas o si el volcán presenta características termales q son suficientemente extensas para poseer una actividad explosiva.
Sector de colapso potencial	0 - 1	1 → si ha tenido algún sector de colapso en el Cuaternario – Holoceno y se ha reconstruido su edificio o si presenta un alto relieve o laderas escarpadas con alteración
Fuente primaria de Lahar	0 - 1	1 → si el volcán tiene cursos permanentes de agua o hielo en el edificio (volumen > 10 ⁶ m ³)
Actividad sísmica observada	0 - 1	1 → desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, dentro 20 km del edificio volcánico
Deformación observable de la superficie	0 - 1	1 → desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, presenta hinchamiento o otra evidencia de inyección de magma
Fumarola o desgasificación magmática	0 - 1	1 → desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, o fuente de calor o gases magmaticos

Fuente: en base a Ewert et al. (2005)

En base a estos criterios de evaluación se obtiene puntajes de acuerdo a la siguiente fórmula:

Factor de Riesgo = Vt + IEV + Ae + MAe + Re + Fp + Fl + Lh + Ts + Eh + Cp + Flh + As + Ds + F

donde:

Vt: Tipo de volcán

IEV: Índice de Explosividad Volcánica

Ae: Actividad explosiva

MAe: Mayor actividad explosiva

Re: Recurrencia eruptiva

Fp: Flujos piroclásticos holocenos

Fl: Flujos de lava holocenos

Lh: Lahares holocenos

Ts: Tsunami holocenos

Eh: Potenciales explosiones hidrotermales

Cp: Sector de colapso potencial

Flh: Fuente primaria de lahar

As: Actividad sísmica observada

Ds: Deformación observable de la superficie

F: Fumarola o desgasificación magmática

5.1 Exposición a la amenaza

Posteriormente se recopiló la información referente a los factores de exposición, en donde se reunió la información respectiva de la infraestructura nacional crítica (Aeropuertos, infraestructura de poder, faenas mineras, vías de conectividad terrestre) y distribución de la población, con respecto a la distancia al centro eruptivo y su geología asociada. Esto se realizó utilizando Sistemas de Información Geográfica.

Los criterios que se consideraron corresponden a los sugeridos por Ewert *et al.* (2005):

- \log_{10} de la población cercana al volcán en un radio de 30km:

Se determinan 30km de distancia al volcán por 2 razones

- a) La distribución de la población cercana a los volcanes varia considerablemente con la latitud y 30 km parece capturar la población más próxima en todas estas regiones.

b) Puesto que la distribución en cuanto al espesor de caída de ceniza y flujo piroclásticos disminuye de acuerdo a la distancia al centro eruptivo, los 30 km corresponde a un umbral de mayor exposición en cuanto a estos fenómenos y su acumulación, excediendo los 10cm de espesor, que corresponde a un espesor que puede provocar efectos adversos a la infraestructura y en la vida, lo que se ve aumentado con la humedad.

Por lo tanto este índice estima cuantas personas en la superficie pueden estar sujetas a serios efectos.

- \log_{10} de la población cercana a cursos de agua o valles fluviales.

Se refiere a la población fuera de los 30 km de radio que se encuentren sobre depósitos de flujos holocenos, o en zonas inundables, como son, lechos de ríos y valles y abanicos fluviales. Al valor obtenido se le extrae el \log_{10} .

- Muertes históricas (0-1)

Si existen en la historia nacional registros de muertes producto de la erupción del volcán en estudio, si es si el valor corresponde a 1 y 0 si no hay antecedentes o no existen fatalidades.

- Evacuaciones históricas (0-1)

Si existen en la historia nacional registro de evacuaciones de los centros poblados cercanos al volcán, debido al potencial riesgo que representa la erupción, si es sí el valor asignado es 1 y 0 si no hay antecedentes o no han existido evacuaciones.

- Exposición de la Aviación local (0-2)

Para el desarrollo de este criterio se analizó la ubicación geográfica de los principales aeropuertos con respecto a la distancia del centro eruptivo. Se consideró una distancia de amenaza de 300 km ya que según la investigación de Ewert *et al.*, 2005, el 75% de los aeropuertos, circunscritos en ese radio, se ven afectados, en mayor o menor grado, por la actividad volcánica, mientras que los daños generados por erupciones de tipo basálticas se observan críticamente dentro de los 50 km.

Es por esta diferencia en las distancias con respecto al grado de riesgo asociado que se determinan 3 rangos según distancia al centro eruptivo y el tipo de volcán en estudio.

- a) 1 → si el aeropuerto se encuentra dentro de 50 km con respecto al centro eruptivo y si el volcán es de tipo 1 (Estratoconos, domos, etc.) y dentro de 300 km de radio se encuentra algún aeropuerto.
- b) 2 → si el volcán es de tipo 1 y dentro de 300km de radio se encuentra algún aeropuerto internacional.
- c) 0 → Si en la relación entre aeropuerto y volcán no se presenta ninguno de estos criterios.

- Exposición de la aviación regional:

Este puntaje es basado en el \log_{10} de la aproximación del tráfico de pasajeros diarios de cada región.

- Infraestructura de poder (0-1)

Se refiere a las infraestructuras de generación, transmisión o distribución de electricidad, gas o petróleo. Estas instalaciones deben encontrarse dentro de un área de 30 km.

En este caso los valores asignados son 1 – 0 de acuerdo a si existe o no este tipo de infraestructura dentro de los 30km, respectivamente.

- Infraestructura de transporte (0-1)

Referida a todas aquellas zonas, dentro de los 30 km en donde se encuentre el desarrollo de las infraestructuras del transporte, como por ejemplo, instalaciones portuarias, líneas ferroviarias o carreteras principales, asignando 0 si no existen dentro de ese radio o 1 si es que las hay.

Para esto se utilizó información de vialidad del MOP y la página web www.amigosdeltren.cl, de la cual se pudo obtener por medio de un navegador de Google Earth, el mapa de los ferrocarriles de todo el territorio nacional.

- Zonas de mayor desarrollo o áreas sensibles (0-1)

Se refiere a todas aquellas zonas que presentan una mayor sensibilidad y vulnerabilidad frente a una erupción volcánica, como por ejemplo, parques nacionales, áreas de desarrollo indígena, reservas naturales, etc., y si se encuentran dentro de un radio de 30 km del volcán.

Al encontrarse dichas áreas contenidas dentro del buffer de influencia del volcán, se le asigna un puntaje de 1 y si esta área de influencia no se intercepta con ninguna de estas áreas de protección se le debe asignar un valor 0.

- Volcán como parte importante de una isla poblada (0-1)

Si el volcán forma parte importante de una isla poblada o si los depósitos volcánicos cubren más del 25% de la superficie de esta isla.

Teniendo los valores de todos los criterios, se realiza la sumatoria de todos los puntajes como se muestra en la siguiente formula.

$$\text{Factores de Exposición: } P_v + P_f + M_h + E_h + A_l + A_r + I_p + I_t + Z_d + V_i$$

donde:

Pv: \log_{10} de la población cercana al volcán en un radio de 30km

Pf: \log_{10} de la población cercana a cursos de agua o valles fluviales

Mh: Muertes históricas

Eh: Evacuaciones históricas

Al: Exposición de la Aviación local

Ar: Exposición de la aviación regional

Ip: Infraestructura de poder

It: Infraestructura de transporte

Zd: Zonas de mayor desarrollo o aéreas sensibles

Vi: Volcán, parte importante de una isla poblada

Una vez obtenidos todos los valores y desarrolladas las formulas anteriormente mencionadas, se realizó un nuevo cálculo, con el resultado de Factores de riesgo y Factores de Exposición, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Puntaje total} = \text{Factores de riesgo} \times \text{Factores de exposición}$$

Este producto representa el valor final, el puntaje asociado a cada volcán y la vulnerabilidad del territorio.

Posterior a la obtención de los valores, se determinó el ranking nacional de volcanes por orden de amenaza y se clasificó en categorías de peligrosidad, determinadas de acuerdo con el método 'breaks' (ver detalle en el capítulo de 6.1.3 Determinación de categorías) de esta lista y sus puntajes ordenados de manera descendente con la herramienta de selección y clasificación por cantidades de ArcGis 9.3.

De la información obtenida del ranking se desprende la cartografía representativa de la distribución de la amenaza volcánica a nivel territorial.

5.2 Integración Amenaza – Exposición: Análisis

Una vez obtenido el Ranking de amenaza volcánica, se pasa a la etapa de resultados, en donde los datos obtenidos y recopilados en la primera instancia de trabajo, se mezclan con nuevas variables para obtener nuevos objetos de análisis.

En esta instancia se desarrolla un diagnóstico de la amenaza volcánica a escala comunal, tomando los datos recopilados en el Ranking y combinándolo con otras variables de vulnerabilidad, para representar territorialmente la amenaza.

Para esto se utilizan variables de superficie de amenaza, obtenidas de la manipulación archivos vectoriales junto con la población contenida dentro de las áreas de amenaza, anteriormente mencionadas, pero relativas a cada comuna y combinadas con el Índice de Desarrollo Humano de cada comuna, que representa la vulnerabilidad socioeconómica.

Esto último, es considerado dentro del análisis de vulnerabilidad, ya que, según el Programa de las Naciones unidas para el Desarrollo de Chile (1990), el Desarrollo Humano es una nueva manera de analizar el desarrollo de los países. Este nuevo enfoque significa trasladar la "medida del éxito" de una sociedad desde la mera evaluación del desempeño económico hacia la forma en que ese desempeño se traduce en mayores oportunidades y capacidades de las personas en todos los ámbitos de su vida.

Este cambio de foco hizo necesario el diseño de un instrumento que pudiera dar cuenta de esa

relación y que de alguna manera compitiera con las clásicas mediciones económicas del progreso. Para ello se adaptó el Índice de Desarrollo Humano (IDH), (PNUD, 2000).

La elección se justifica en que El IDH permite tener una mirada resumida del nivel de logro en Desarrollo Humano de cada país, región o comuna, en tres dimensiones (salud, educación e ingresos) que, generalmente, se analizan por separado. Al mismo tiempo permite comparar unidades (países, regiones o comunas) a objeto de identificar cuáles presentan menores niveles de logro y requieren por ello una atención preferente (PNUD, 2000).

El valor final del IDH varía entre 0 y 1, el valor 1 representa el nivel ideal de Desarrollo Humano. En el IDH se consideran las variables de salud, educación e ingresos, de los cuales se consideran los siguientes aspectos: (Ver tabla 3)

Tabla 3: Aspectos del Índice de Desarrollo Humano

Salud	Educación	Ingresos
Años de Vida Potencial Perdidos (AVPP)*	Alfabetismo	Promedio per cápita de los ingresos autónomos del hogar **
	Años de Escolaridad promedio	Desigualdad en la distribución del Ingreso (en el IDH regional)
	Matriculación combinada (Cobertura escolar en cuatro niveles: preescolar, básica, media y superior)	Incidencia de la Pobreza de ingresos

Fuente: elaboración propia a partir de PNUD, 2000.

*Años de Vida Potencial Perdidos (AVPP): Se define como la diferencia entre el límite potencial de la vida (80 años) menos la edad de muerte de cada defunción.

** Ingreso Autónomo: Son los ingresos por conceptos de sueldos, salarios, ganancias provenientes del trabajo independiente, incluido el autosuministro y el valor del consumo de productos agrícolas producidos por el hogar, renta de propiedades, ingresos por interés, bonificaciones y gratificaciones, así como jubilaciones, pensiones, montepíos y transferencias entre privados.

Los datos considerados son extraídos de la encuesta CASEN 1998, en donde las dimensiones señaladas con anterioridad son analizadas individualmente, contrastando el nivel de logro alcanzado en cada una de ella, en base a la siguiente fórmula.

IDH = Logro en Salud + Logro en Educación + Logro en Ingresos

3

Este valor se tiene para todas las comunas de Chile, datos obtenidos de la encuesta CASEN 1998 e integrados en la formula anteriormente mencionada, considerando solos las comunas que se encuentran en contacto con la amenaza volcánica, a las que se les asigna el valor correspondiente.

Una vez obtenidos estos datos, se determina la forma de cálculo que represente, coherentemente la amenaza volcánica a nivel comunal, es decir, en donde la combinación de estos factores determine el valor específico de este carácter, para cada comuna seleccionada. Estos datos se representan en cartografías respectivas acompañadas de gráficos que ayudan con la presentación, manipulación y análisis de resultados.

6. RESULTADOS

6.1. Ranking

Como primera instancia se realizó una selección de los volcanes activos de Chile, actualizando el catálogo de aquellos que se consideraban como tales, de acuerdo a sus erupciones holocenas o su actividad reciente, quedando en 95 volcanes geológicamente activos de un total de 123 que se consideraban anteriormente (Lara et al. 2006 y Lara 2008). (Ver anexo 1)

El ranking de volcanes nacionales por grado de amenaza se obtuvo en base al desarrollo de los siguientes factores y su aplicación a la selección de volcanes anteriormente mencionada.

6.1.1. Factores de peligro.

El Factor de Peligro se refiere a la sumatoria de todos aquellos valores obtenidos de los criterios a evaluar de cada volcán, considerando sus aspectos geológicos, geomorfológicos, históricos y amenazas asociadas.

Los aspectos mencionados en la metodología referente a los factores de peligro son desarrollados individualmente, para cada uno de los volcanes seleccionados, dándoles el valor respectivo en cada caso.

Para cada uno de los 95 volcanes activos de Chile, se realizó la entrevista con el especialista respectivo (mencionado en la metodología) y se obtuvo un valor determinado para cada uno de estos criterios, dependiendo de la existencia o no existencia de lo planteado o en los otros caso como Máximo Índice de Explosividad Volcánica o Recurrencia eruptiva, el numero asociado a la característica del volcán, sea 4 o 10.000 años respectivamente, se le asociaba un valor común que contenía ese rango, todo esto dispuesto es un tabla Excel, como se muestra a continuación y lo que se puede ver con mayor detalle en el anexo 2. (Ver tabla 4)

Tabla 4: Ejemplo de asignación de valores en Factores de Peligro

VOLCÁN	Tipo de Volcán (0-1)	Máximo IEV (0-3)	Actividad Explosiva en los pasados 500 años (0-1)	Mayor actividad explosiva en los pasados 5000 años (0-1)	Recurrencia Eruptiva (0-4)	Flujos piroclásticos Holocenos (0-1)	Flujos de lava Holocenos (0-1)	Lahares Holocenos (0-1)	Tsunami: Holoceno (0-1)	Potenciales explosiones hidrotermales (0-1)	Sector de colapso potencial (0-1)	Fuente primaria de lahar (0-1)	Actividad sísmica observada (0-1)	Deformación observable de la superficie (0-1)	Fumarola o desgasificación magmática (0-1)	Puntaje total de Factores de Peligro
Tacora	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	7
Taapaca	1	1	0	1	3	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	12
Parinacota	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	13

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Factores de Exposición:

Para determinar cada uno de los valores correspondientes a cada criterio de exposición, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica, por medio del programa ArcGIS 9.3, junto con los Shapes representativos de cada temática.

- Log_{10} de la población cercana al volcán en un radio de 30km:

Para obtener el valor de este criterio, se realizó la superposición de algunos shapes, como las regiones de Chile, los volcanes activos de Chile, representados por puntos (x,y) desprendidos de la tabla Excel anteriormente mencionada, con sus correspondientes coordenadas (latitud, longitud). En base a esto se determinó el buffer de influencia de 30 km y los asentamientos de población que se encontraba en la intersección de este, (determinado del Censo 2002 del INE) todo esto en Sistema de Coordenadas Geográficas y Datum WGS84, quedando dispuesta de la siguiente forma: (ver figura 1)

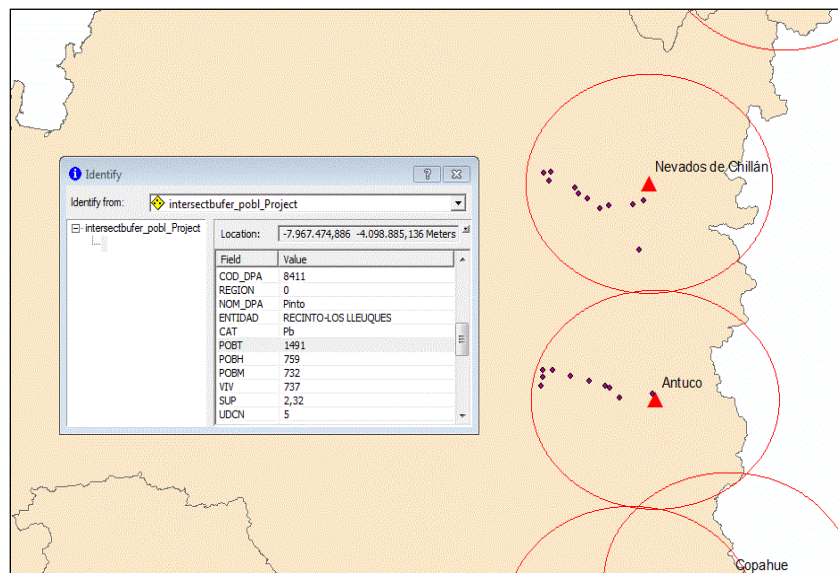


Figura 1: Determinación de la cantidad de población dentro del buffer de 30km, herramienta ArcGis

Según el resultado gráfico que muestra en la figura 1, se visualiza el buffer de 30 km que enmarca una serie de centros poblados, cuya base de datos fue obtenida a partir del CENSO INE 2002. Una vez realizado esto, se procedió a contabilizar la población total de cada entidad demográfica, obteniendo un valor total al cual se le extrajo el \log_{10} y así sucesivamente con todos los volcanes activos del territorio nacional, obteniendo el valor final que representaba las personas expuestas a serios daños.

- \log_{10} de la población cercana a cursos de agua o valles fluviales.

En este caso se utilizó la superposición de todos los Shapes anteriormente mencionados, pero considerando también las áreas de peligro, en donde hubiera manifestación, en la carta geológica (SERNAGEOMIN 1:1.000.000, 2002), de algún proceso de magnitud superior a los 30 km de radio, relacionado a depósitos flujos de materiales volcánicos holocenos, y que pudieran corresponder a zonas inundables, como son, lechos de ríos, valles y abanicos fluviales. (ver figura 2)

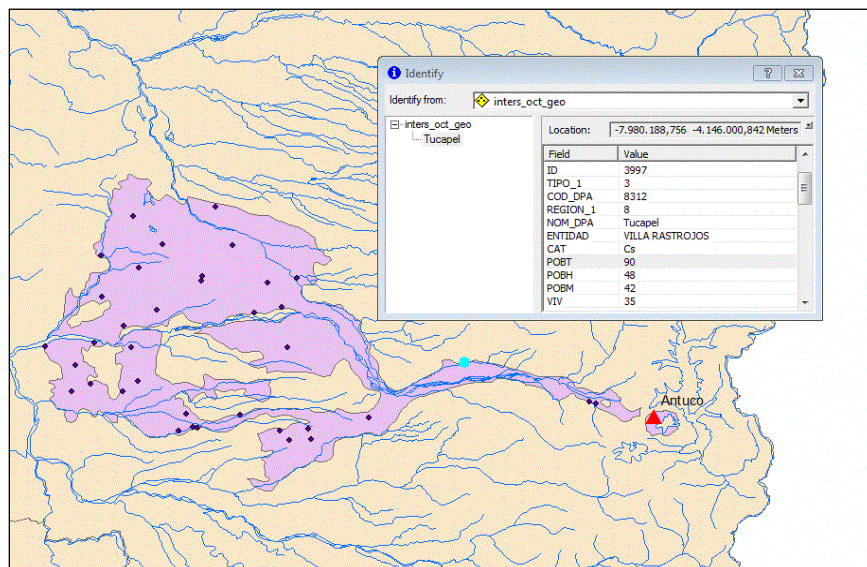


Figura 2: Determinación de la cantidad de población en zonas de peligro, herramienta ArcGis 9.3

Para la contabilización de población (figura 2), sólo se consideraron aquellas entidades que se ubicaban al lado de algún curso de agua o cercana a estos, puesto que corresponden a las zonas que representan un peligro potencial como áreas de inundación y constituyen áreas geográficas propicias para la propagación de los peligros asociados a flujos derivados de erupciones volcánicas (coladas de lava, flujos piroclásticos, lahares etc.). Al número que se obtuvo de la población cercana a cursos de agua o valles fluviales se le extrajo el \log_{10} para obtener el valor final, y esto para cada uno de los volcanes.

Este antecedente es importantísimo a la hora de analizar el área de amenaza real volcánica, lo que se mencionara más adelante en la discusión, que si bien se consideran 30km como radio de amenaza, existen diferenciaciones en el alcance de ésta de acuerdo a las variaciones topográficas del territorio.

- Exposición de la Aviación local (0-2)

Para su desarrollo y análisis se utilizaron capas de información representativas a la localización de los aeropuertos y los volcanes activos.

Se utilizó el programa Google Earth comparando la selección de volcanes activos de Chile, lista elaborada anteriormente, con los volcanes mostrados por este programa, considerando solo los de la selección y su ubicación, junto con la ubicación geográfica de los aeropuertos y aeródromos nacionales, archivo KML obtenido de la base de datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), año 2010. (Figura 3)

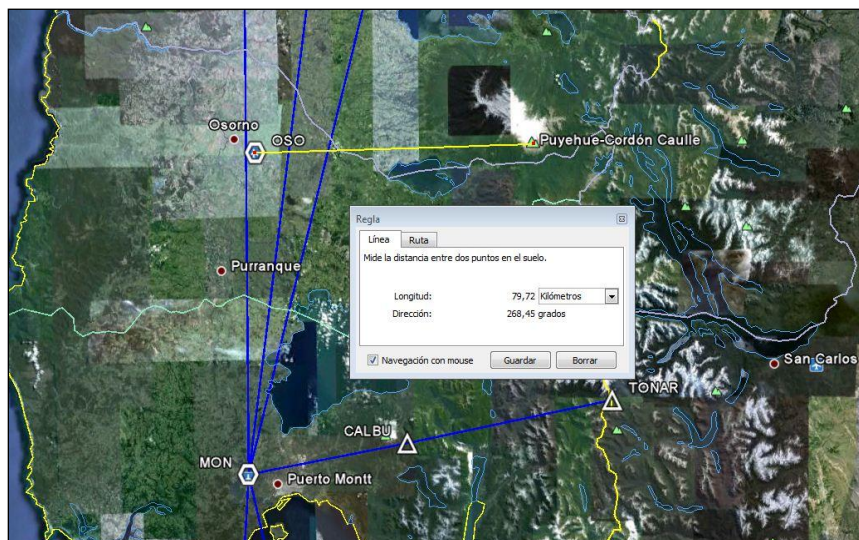


Figura 3: Determinación de distancias entre aeropuertos y volcanes, en base a información de la DGAC, Google Earth

Con este programa se pudo analizar las distancias correspondientes a cada uno de los puntos, y cuál era el valor que se le debía asignar, teniendo en consideración también, el tipo de volcán, si la distancia a la que se encontraban los aeropuertos era de 300 o 50 km y el grado de importancia (solo vuelos nacionales o nacionales e internacionales)

- Exposición de la aviación regional:

Como se mencionó en la metodología, este criterio de refería al tráfico aéreo diario, de pasajeros, por aeropuerto, pero en el caso nacional esta información es algo complicada de obtener en su valor bruto, es por esto y debido al plazo de esta investigación, es que esta información no fue considerada, completando cada puntaje de este criterio con valor 0, lo que no interviene en la investigación ya que no pondera mayor valor al puntaje final.

- Infraestructura energética (0-1)

Para esto se utilizó las bases de datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), que hace referencia a la localización puntual de centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, lugares de almacenamiento de combustible, líneas de transmisión, oleoductos y gaseoductos. Asimismo, se obtuvo la información de la localización de las faenas mineras de Chile, información obtenida de la base de datos de SERNAGEOMIN. (Figura 4)

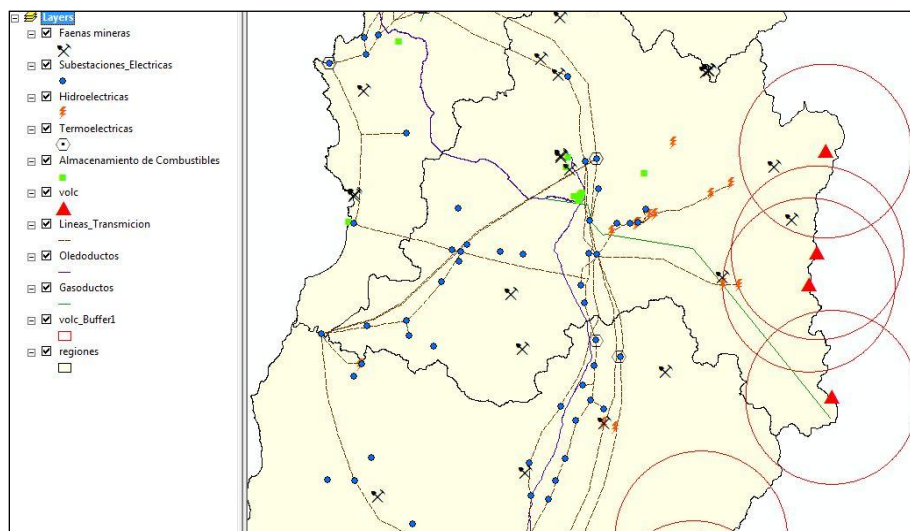


Figura 4: Determinación de la infraestructura de poder dentro de 30 km, ArcGis 9.3

Para su desarrollo se utilizaron los shapes del esquicio nacional continental, por regiones y los volcanes activos con su buffer correspondientes a 30 km de radio. Sobre esto se superpusieron los shapes de Infraestructura de energía (CNE, 2010) y las faenas mineras (SERNAGEOMIN).

En base a esta intersección de información se determinó la presencia de infraestructura dentro del área de peligro del volcán.

- Infraestructura de transporte (0-1)

Esto se realizó analizando dos categorías: carreteras y autopistas nacionales y conectividad nacional terrestre (extrayendo solo los caminos importantes). (Figura 5)



Figura 5: Determinación de infraestructura de transporte, ArcGis 9.3

Una vez realizado esto, se utilizó la página web www.amigosdeltren.cl, en base al cual se trabajó midiendo las distancias de las líneas férreas más cercanas hasta la distancia requerida (30 km), para saber si se encontraban contenidas dentro del área de influencia de cada volcán (fig.6), considerando solo aquellas líneas que se encuentran actualmente operativas.

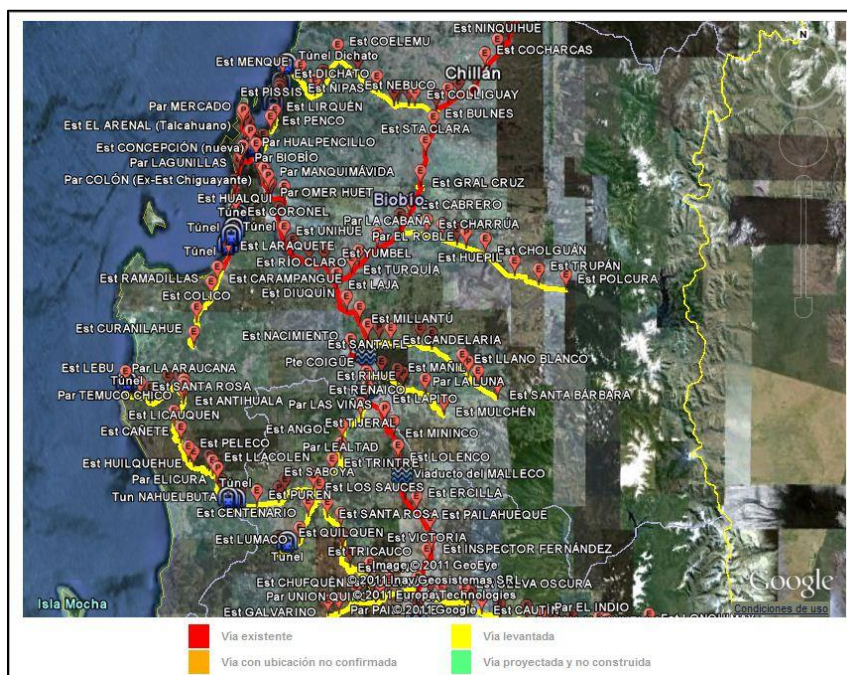


Figura 6: Red de líneas férreas según imagen, www.amigosdeltren.cl, Google Earth.

- Zonas de desarrollo o aéreas sensibles (0-1)

Este criterio se desarrolló en base a los mismos mecanismos mencionados en los criterios anteriores y sobre esto se proyectó la información obtenida de la base de datos del SERNAGEOMIN, sobre las aéreas de protección establecidas por SNASPE Chile (1879), que corresponden a un área delimitada geográficamente, destinada a asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental, y que es administrada a fin de alcanzar una serie de objetivos explícitos de conservación. (Figura 7)

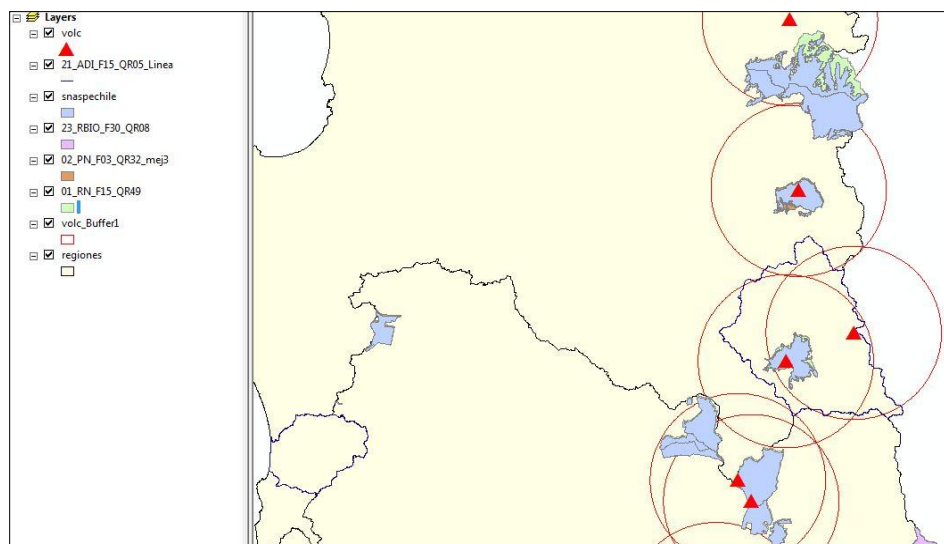


Figura 7: Determinación de áreas protegidas en buffer de 30 km, ArcGis

- Isla volcánica con población (0-1)

En el caso de estudio, como es orientado principalmente al territorio nacional continental, no son consideradas las islas, como por ejemplo Isla de Pascua, ni Antártica. Es por esta razón que el puntaje asociado a este criterio es 0 en todos los casos.

La recopilación final de los datos referentes a los factores de exposición y su valor final, puede verse en el anexo 3.

6.1.3 Determinación de categorías

Una vez obtenidos los valores del ranking, se procede a la determinación de las categorías lo que se realiza en base a ArcGis 9.3 y la clasificación por 'Natural Breaks'. Este tipo de clasificación de los valores de un shapefile o feature class, es un tipo de agrupación de datos cuantitativos que se basa en la naturaleza de esos datos y los agrupa atendiendo a los saltos inherentes a esos datos por lo que buscará los puntos donde se maximiza esa diferencia y los usará como límites de cada clase o intervalo, (Algoritmo de Fisher-Jenks, Esri 2008).

Los valores se presentan de manera descendente, como lo muestra la Figura 8, en donde se aprecian claramente los quiebres y la determinación de las categorías.

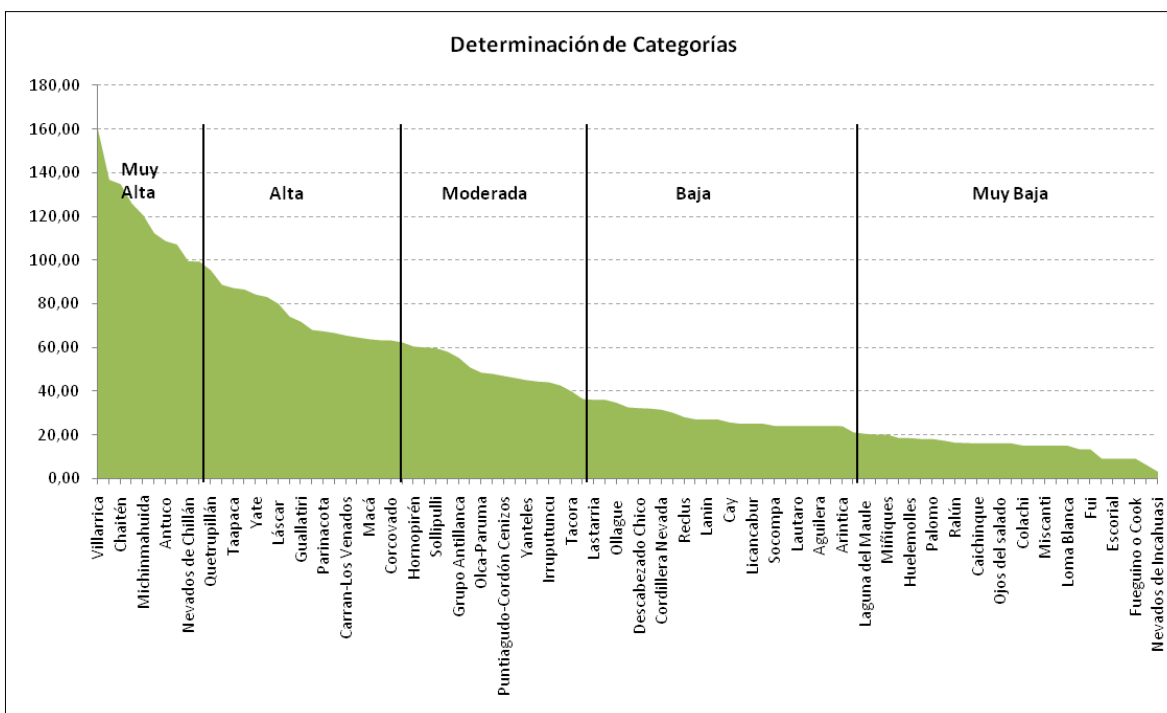


Figura 8: Determinación de Categorías, elaboración propia a partir de la información del ranking de amenaza

El Ranking de Amenaza Volcánica, queda establecido como se muestra en el anexo 4, en donde se muestra el puntaje de los factores de peligro, factores de exposición, y el producto entre ambos, que representa el puntaje final de cada volcán y su posición en el ranking, junto con esto, en el anexo 5 se muestran la determinación de las categorías y la distribución de cada volcán en ellas.

El siguiente gráfico representa el ranking de amenaza volcánica, donde se puede observar su distribución latitudinal. (Figura 9)

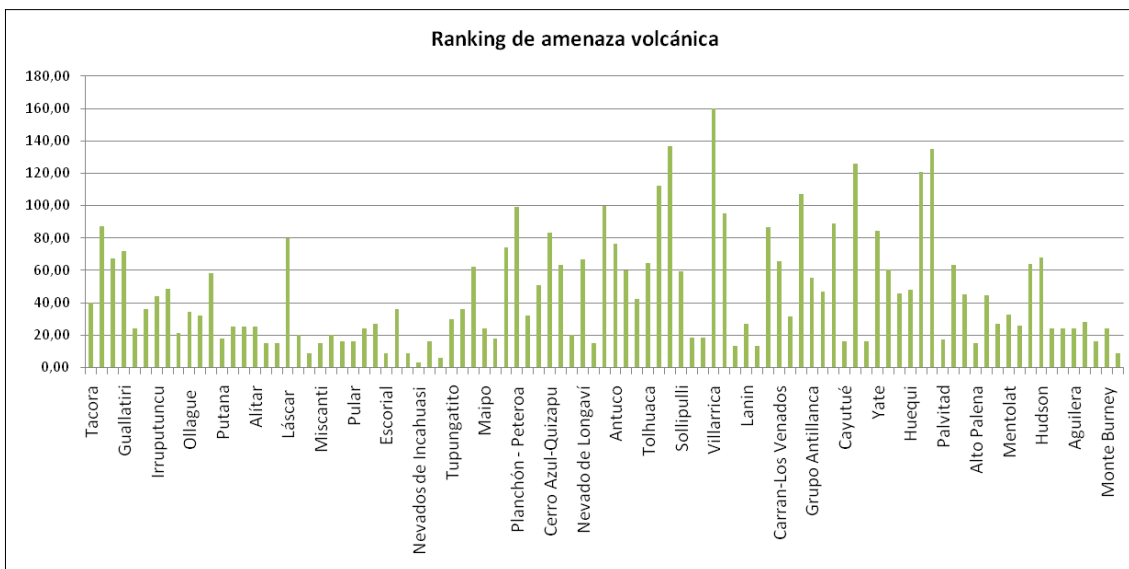


Figura 9: Gráfico representativo de la distribución de la amenaza volcánica a lo largo del país, elaboración propia a partir del ranking de amenaza

La expresión espacial de la distribución nacional de centros volcánicos según nivel de amenaza en el territorio nacional se expresa en el siguiente mapa. (Ver Figura 10)

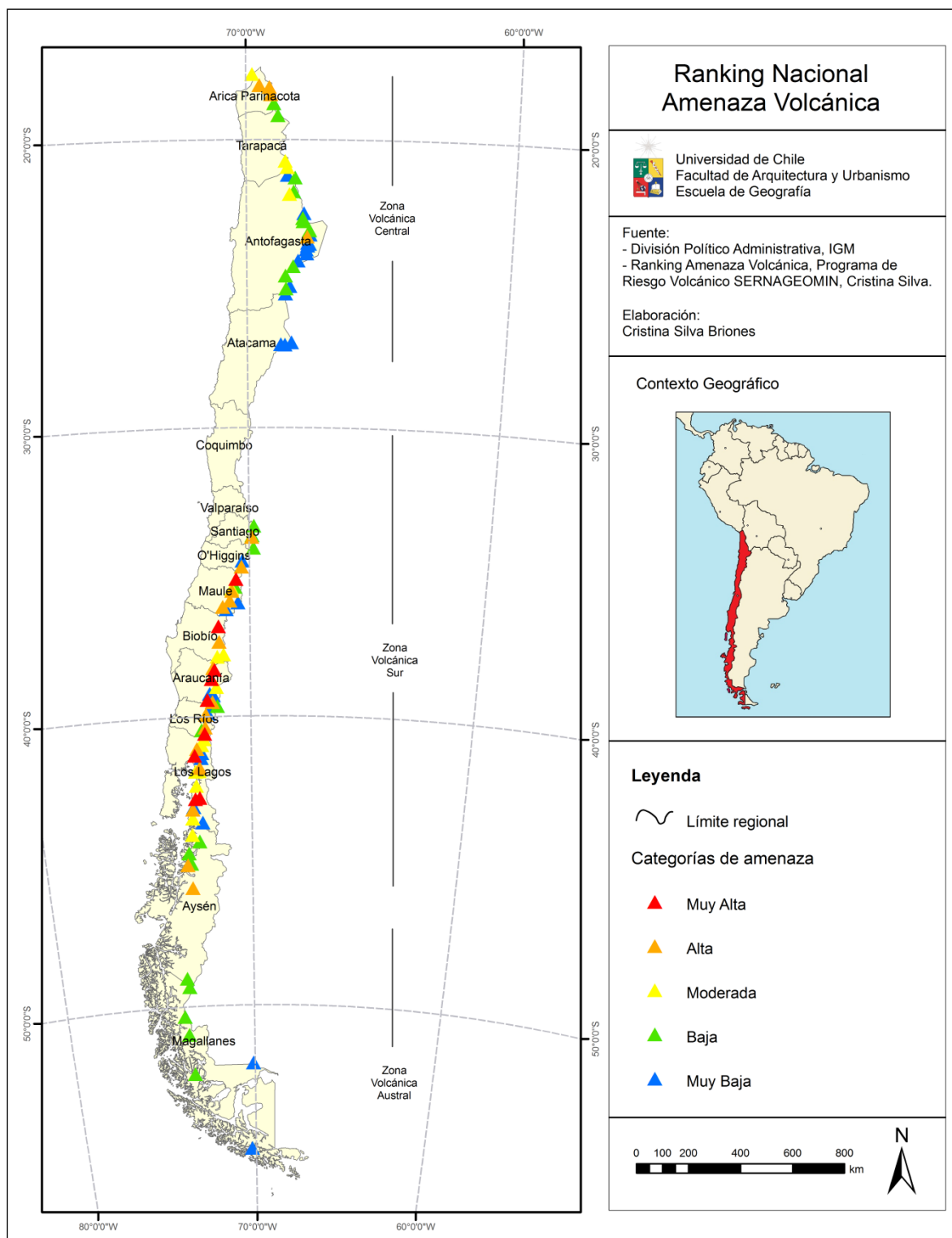


Figura 10: Ranking Nacional de Amenaza Volcánica, elaboración propia.

6.2 Superficie nacional total bajo amenaza volcánica.

Después de haber realizado el ranking de Amenaza Volcánica y obtenidos sus puntajes, se logra obtener una visión general de la distribución de la amenaza volcánica en el territorio nacional, como se muestra en la Figura 9.

Cada uno de estos 95 volcanes representa un área de influencia determinada por un radio de 30km desde el centro eruptivo, como se establece en los criterios del ranking y el cálculo de sus factores. Con esta información y los shapes de territorio nacional continental del SERNAGEOMIN, se realiza la manipulación de la información en Arcgis para obtener los datos de superficie que se encuentra bajo amenaza volcánica, es decir, realizar una intersección entre el territorio nacional y el área de peligro volcánico, obteniendo así, tanto el valor de superficie amenazada total, como los valores por región y su relación con respecto al total nacional.

En la Figura 11 se aprecia el área de amenaza determinada por la ubicación geográfica de cada volcán, su buffer de influencia correspondiente a los 30km y la superficie del territorio nacional.

Con esta información se obtiene la cartografía que representa la superficie amenazada, que permite dimensionar la amenaza volcánica respecto al territorio nacional.

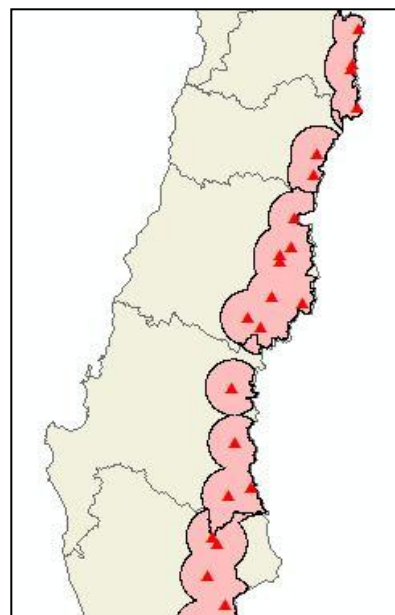


Figura 11: Superficie amenaza volcánica

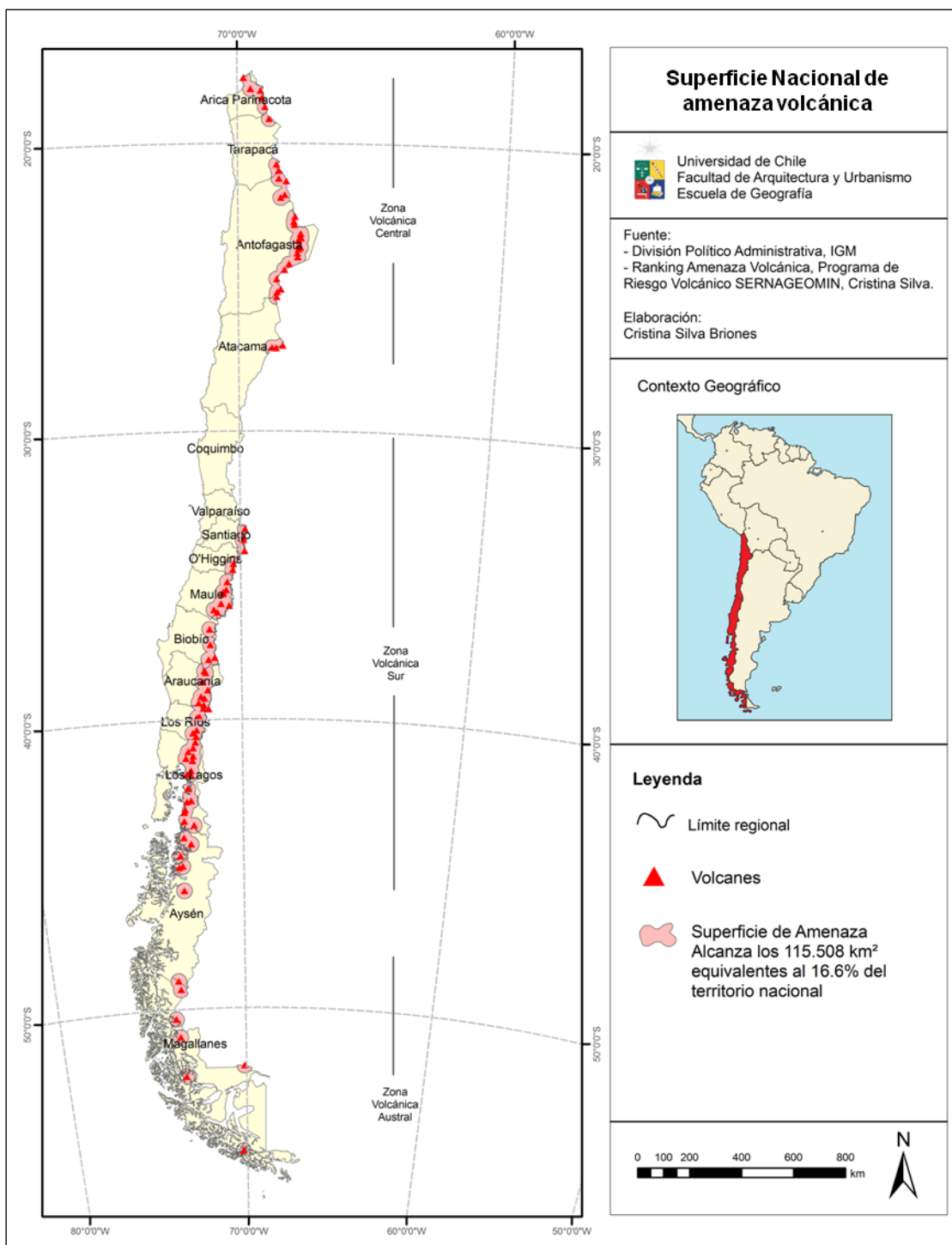


Figura 12: Representación cartográfica de la superficie de amenaza nacional, elaboración propia ArcGis 9.3

6.1 Evaluación de la amenaza en el territorio nacional; Índice de Amenaza Volcánica Comunal.

Es posible observar en la figura 10 la amenaza volcánica se distribuye de manera heterogénea a lo largo de nuestro país, aunque los más altos valores se concentran mayormente en la zona volcánica sur, y cada lugar percibe esa amenaza de manera distinta. Junto con esto, Chile está subdividido en diferentes unidades político administrativas: regiones, provincias y comunas, con realidades muy diferentes, es por esto que es necesario evaluar estas unidades del territorio de manera individual, escogiendo como escala de estudio el nivel comunal, como primera entidad independiente que debe enfrentar estas situaciones de peligro y responder a esto.

Para esto se seleccionaron cuatro criterios de análisis, que se desarrollaron para todas las comunas que se encontraban dentro del área de amenaza volcánica. Estos criterios fueron escogidos de forma que intentaran reflejar y representar aspectos importantes en la vulnerabilidad del territorio comunal en conjunto con la amenaza volcánica.

Como primera instancia, es necesario tomar en cuenta solo aquellas comunas que se encuentran en contacto con la amenaza volcánica, lo que es posible de visualizar en ArcGis 9.3, con la manipulación de datos de los volcanes y sus buffer, en conjunto con las División Político Administrativa Comunal (DPA). Considerando entonces todas aquellas comunas que se interceptan con el área de amenaza volcánica (ver anexo 6).

Una vez obtenidas todas las comunas que se considerarán, correspondientes a 75 comunas amenazadas, se procede a realizar el cálculo de las variables seleccionadas, las cuales son:

6.3.1 Población comunal dentro del área de amenaza:

En base al Censo de población del INE 2002 se obtiene la cantidad de población comunal, con esta se ejecuta la manipulación de datos en ArcGis generando una intersección entre la población, el área de amenaza, aspecto mencionado y desarrollado en puntos anteriores, y la superficie comunal. Con esto se realiza la suma de población comunal de todas las entidades pobladas que

se encuentran dentro del área de amenaza por comuna. De este cálculo resulta la cantidad de población comunal expuesta al peligro volcánico.

La figura 13 representa la metodología anteriormente mencionada para el cálculo de población.

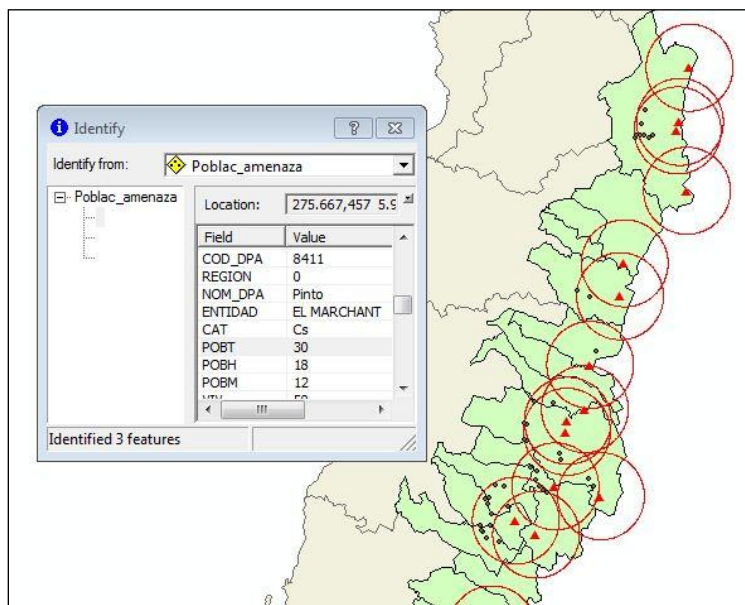


Figura 13: Cálculo de población comunal en amenaza

Es posible observar en la figura 13, que quizá dentro de alguna comuna existan varias áreas de influencia de volcanes distintos, en estos casos se contabilizó de igual manera toda la población existente dentro de esos buffer y se realizó la sumatoria de la población de cada entidad dentro de la comuna por área de amenaza

6.3.2 Superficie de amenaza comunal (km²):

Este criterio corresponde al cálculo de la superficie que se encuentra bajo amenaza volcánica. Para esto se realiza la manipulación de los datos en ArcGis correspondientes a la lista de volcanes y la División Político Administrativa (DPA) de las comunas para todo Chile.

En base a esta información se realiza un buffer general para todos los volcanes, correspondiente a los 30 km y se intercepta con la información comunal; con esto se obtiene sólo la superficie

comunal que se encuentra dentro del área de amenaza volcánica y con esto se realiza el cálculo de área. En la figura 14 es posible observar dicha metodología.

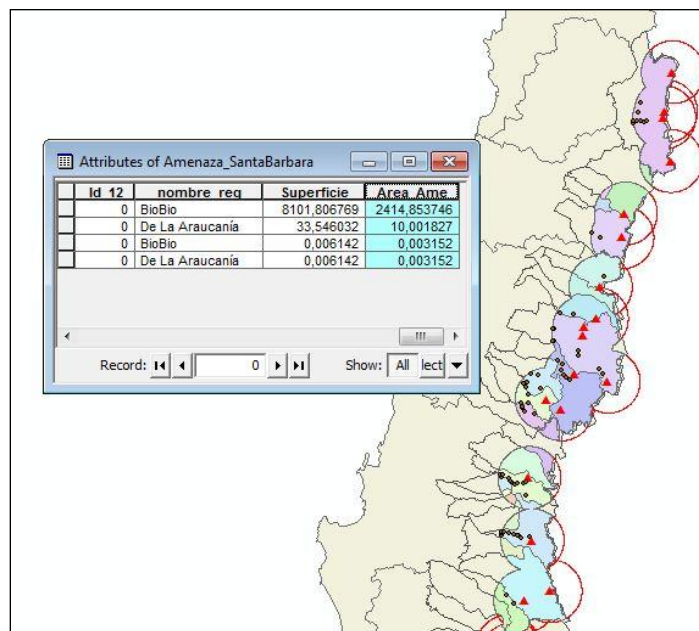


Figura 14: Cálculo de superficie de amenaza comunal, ArcGis 9.3

En esta figura es posible observar el área amenazada correspondiente a cada comuna, por diferenciación de color a lo que se le calcula su valor de superficie en km², como lo muestra la tabla de atributos.

Con este dato es posible discriminar entre la superficie total y el porcentaje de superficie comunal que se encuentra amenazada, dato muy importante en cuanto al alcance de la amenaza volcánica a nivel comunal y su importancia respecto de la superficie total.

6.3.3 Promedio ranking de amenaza volcánica:

Esta variable corresponde al promedio de los valores del ranking de amenaza volcánica, respectivo a los volcanes que se encuentran en cada comuna. Esta variable representa más bien una forma cuantificable de representar la amenaza volcánica a nivel comunal, ya que hay comunas que no solo están representadas por un volcán si no que en ellas se encuentran más de uno o en ocasiones las áreas de influencia de varios volcanes confluyen en un mismo sector, (como también puede apreciarse en la figura 14) entonces, en estos casos se consideran todos aquellos

volcanes y se calcula el promedio de la amenaza. Este último valor correspondería, entonces, a una representación del valor de amenaza volcánica comunal.

Cabe destacar que dentro de este ranking existe una previa contabilización de la población, lo que podría tomarse como una redundancia. Sin embargo, este cálculo no integra dicha perspectiva de la misma forma, no corresponde al mismo valor ni al mismo cálculo, ya que en el ranking, se consideran los aspectos propios a determinado volcán y su área de amenaza (30 km) y se considera la población dentro de esa área, por lo tanto corresponde a un riesgo relativo a este. En esta nueva etapa de estudio, se considera la población dentro de la superficie de amenaza comunal en donde se realiza una suma de toda la población y que puede corresponder a más de un volcán y a más de un área de influencia.

6.3.4 Índice de Desarrollo Humano:

En los criterios anteriores se reúnen datos propios de cada comuna, datos cuantificables de la amenaza volcánica, pero es necesario también, tener un valor específico de cada comuna y que refleje su nivel de desarrollo, y un índice que represente su valor en la sociedad, para esto se utiliza el Índice de Desarrollo Humano. El IDH pretende aproximarse sólo a aquellas dimensiones más esenciales y para las cuales existen datos disponibles y comparables (PNUD, 2000), representando en nivel de logro de cada comuna y su capacidad, como medio para enfrentar estas situaciones. De esta forma el IDH representa la ‘capacidad de enfrentar’ una adversidad, que según la ONU (2004) comprende una mejor o peor resiliencia para hacer frente a los efectos de las amenazas naturales.

De esta forma, el IDH representa la capacidad humana comunal, para enfrentarse a estas amenazas y responder ante ellas.

6.3.5 Cálculo del Índice de Riesgo Volcánico Comunal:

Una vez obtenidos los valores de los criterios anteriormente mencionados, para todas las comunas en área de riesgo, se integran en una fórmula, que trata de resaltar la importancia de cada uno de ellos en su manifestación territorial.

En este sentido lo que se intenta destacar en este índice es el riesgo (de una forma cuantificable) al que se encuentra expuesta cada comuna.

De esta forma, los niveles de riesgo representados en el Índice de Riesgo Volcánico Comunal, deben responder a la ecuación de la formulación del Riesgo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2004):

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times (\text{Vulnerabilidad} / \text{Capacidad})$$

Como lo realizado en el caso de 'Las Cascadas' (Segura *et al*, 2008) donde se evalúa el nivel de riesgo en diferentes zonas del abanico lahárico.

En base a esta fórmula planteada, se deben reemplazar dichos factores (Peligro, Vulnerabilidad y Capacidad), por los aspectos evaluados en este estudio y que representan a cada una de las 75 comunas.

Es decir:

- Peligro = Ranking de Amenaza Volcánica
- Vulnerabilidad = Población y Superficie
- Capacidad = IDH

La amenaza está representada, en este caso, por el Ranking de Amenaza Volcánica y su promedio para cada comuna.

La vulnerabilidad comunal está representada por la superficie bajo amenaza y el volumen población, en donde estos datos se suman en cada uno de los casos, para obtener el valor de vulnerabilidad total. Tal como se hace en el caso de 'Las Cascadas' (Segura *et al*, 2008) donde se suman todos los aspectos de vulnerabilidad referentes a población y vivienda, o en el caso de NVEWS (Ewert *et al*, 2005) donde se realiza una sumatoria de los valores discretos entre los factores de peligro y los factores de exposición para obtener un valor total representativo de cada aspecto.

Entonces, en base a lo anteriormente planteado, la suma entre Superficie de Amenaza y la Población Comunal dentro del Área de Amenaza, determina el valor de la vulnerabilidad comunal.

La variable de Capacidad como forma en que las personas y organizaciones utilizan los recursos y facultades disponibles para enfrentar condiciones adversas que podrían conducir a un desastre (Segura *et al*, 2008), está determinada por el IDH que representa, en este sentido, una mirada al nivel de logro alcanzado, buscando dar cuenta de las capacidades para alcanzar la meta ideal de desarrollo (PNUD, 1999; 2000) o un fin común como la capacidad para cambiar, resistir o cambiar frente a este tipo de situaciones.

Por lo tanto, la ecuación representativa del Índice de Riesgo Volcánico Comunal (IRVC) queda de la siguiente forma:

$$\text{IRVC} = \text{PRa} \times \frac{(\text{PA} + \text{SAc})}{\text{IDH}}$$

Donde:

PRa: Promedio Ranking de amenaza Volcánica.

PA: Población Comunal dentro del área de amenaza.

SAc: Superficie bajo Amenaza Comunal

IDH: Índice de Desarrollo Humano

Una vez obtenido el valor, se realiza una ‘normalización’ de los resultados, con el fin de tener una escala más clara y reducida a la hora de analizar dichos resultados.

Al obtener este valor del Índice de Riesgo Comunal, se procede a la manipulación de los datos en ArcGis, en donde se establecen las categorías de amenaza, con la metodología Natural Breaks, comentada en la metodología del ranking, en donde se determinan 5 categorías: Muy Alta, Alta, moderada, Baja y Muy Baja (Ver anexo 7), lo que se logra apreciar en la figura 15, en donde se muestra un gráfico con la distribución de los datos en forma decreciente y se determinan las categorías en los quiebres de la curva. En base a esto se realiza la cartografía representativa (Figura 16) que muestra la distribución de la amenaza comunal a nivel del territorio nacional.

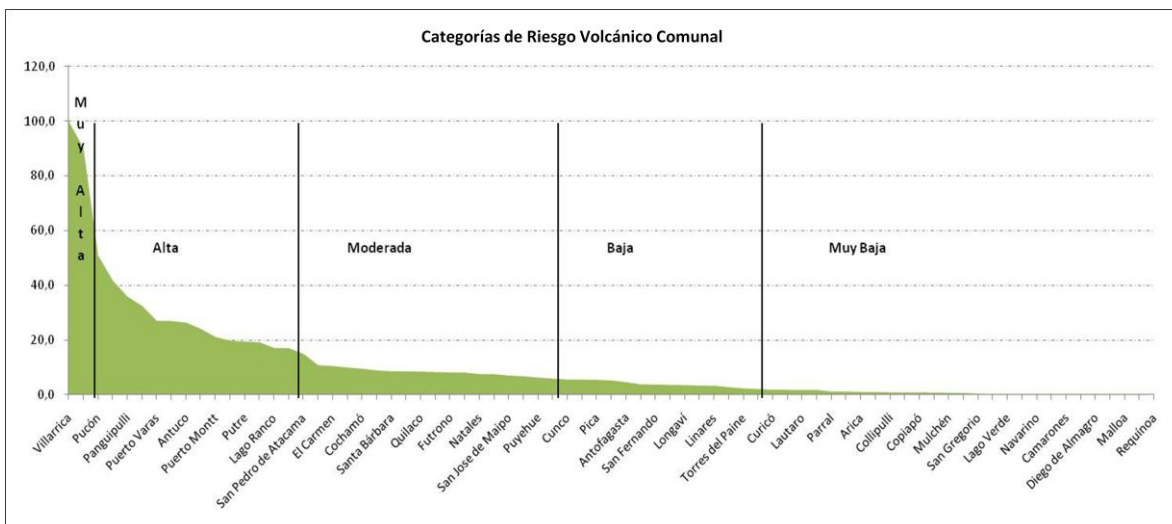


Figura 15: Gráfico representativo de la determinación de categorías

Representación cartográfica del Índice de Riesgo Volcánico Comunal.

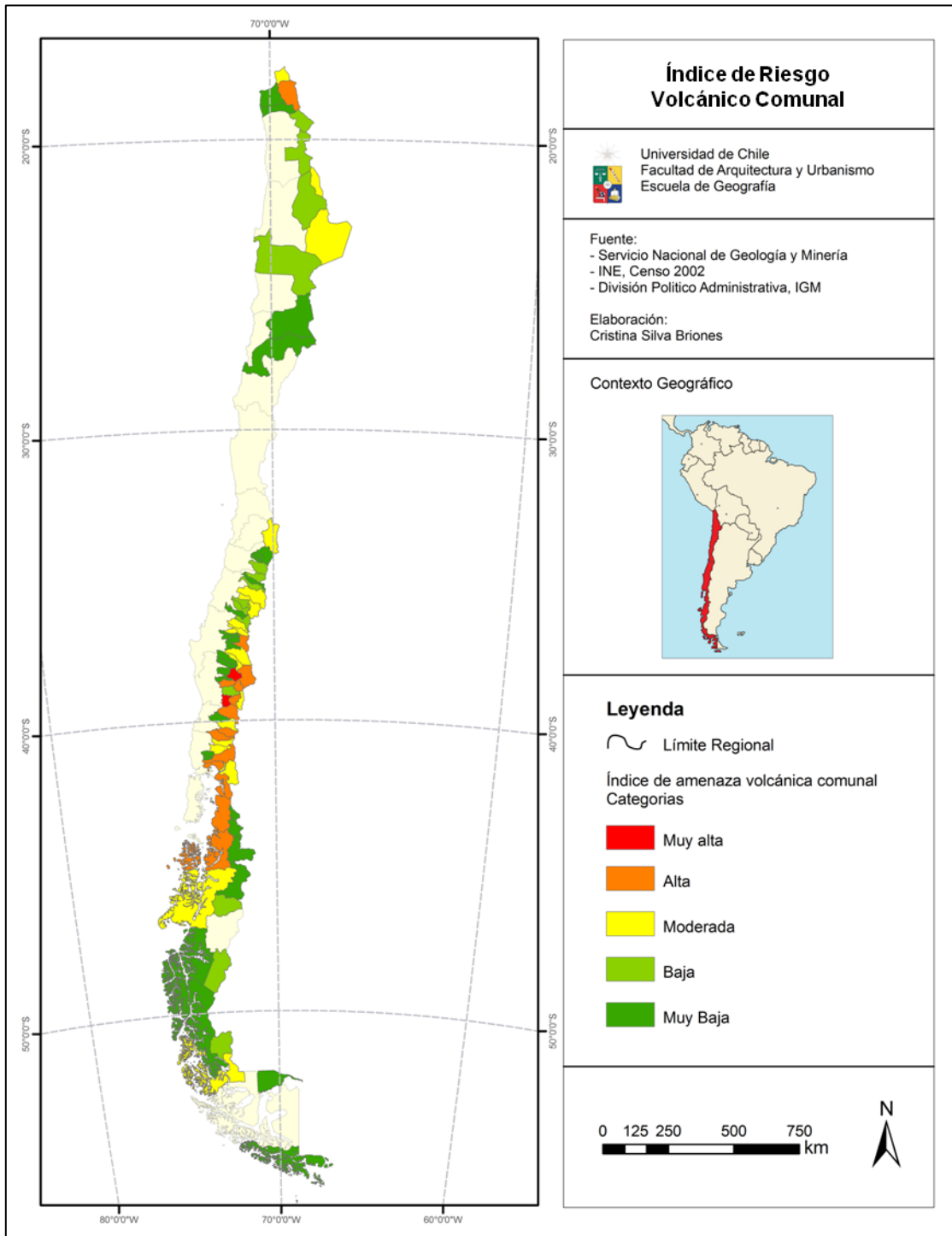


Figura 16: elaboración propia, ArcGIS 9.3

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Ranking de Amenaza

En base a este estudio se determinó que en el territorio chileno continental existen 95 volcanes geológicamente activos, número que decreció de acuerdo a los nuevos estudios realizados y a las nuevas informaciones entregadas por los especialistas.

Estos 95 volcanes han sido categorizados de acuerdo al nivel de amenaza que representan para la población, considerando variables geológicas y tendencias eruptivas del volcán propiamente tal, como de los aspectos infraestructurales que se encuentran en su área de amenaza, representada por un radio de 30 km desde el centro eruptivo. Se definieron 5 categorías diferentes: Muy alta, Alta, Moderada, Baja y Muy Baja, cuya representación grafica se aprecia en la figura 9 y cuyo detalle se encuentra en el anexo 5.

Dentro de la categoría **Muy Alta** existen 10 volcanes que son, por ende, los más peligrosos, cuyos puntajes van desde 159,98 hasta 99,4, los cuales en orden decreciente de su puntaje de peligrosidad son:

	VOLCÁN	Región	Longitud	Latitud
1	Villarrica	IX	-71,939	-39,420
2	Llaima	IX	-71,733	-38,694
3	Chaitén	X	-72,650	-42,837
4	Calbuco	X	-72,614	-41,329
5	Michinmahuida	X	-72,445	-42,798
6	Lonquimay	IX	-71,589	-38,379
7	Antuco	VIII	-71,351	-37,410
8	Puyehue-Cordón Caulle	X	-72,112	-40,585
9	Nevados de Chillán	VIII	-71,368	-36,871
10	Planchón - Peteroa	VII	-70,574	-35,241

Tabla 5: Volcanes categoría Muy Alta, Elaboración propia

Estos volcanes presentan los más altos valores en cuanto al producto de la peligrosidad por exposición, ya que si bien sus valores de peligrosidad, en algunos casos, no son necesariamente los

más altos del ranking, sus valores de exposición si lo son. Por lo tanto, el valor final del producto entre ambos será de los más elevados.

En la figura 17 se logra observar la distribución latitudinal y por zona volcánica, de acuerdo a la clasificación de toda la extensión de la Cordillera de los Andes, en donde las más altas categorías se ubican en la Zona Volcánica Sur (33° - 46°S), más específicamente en la VII, VIII, IX y X región, en donde los valores más altos corresponde a los volcanes Villarrica y Llaima y Láscar y Taapaca en la Zona Volcánica Central.

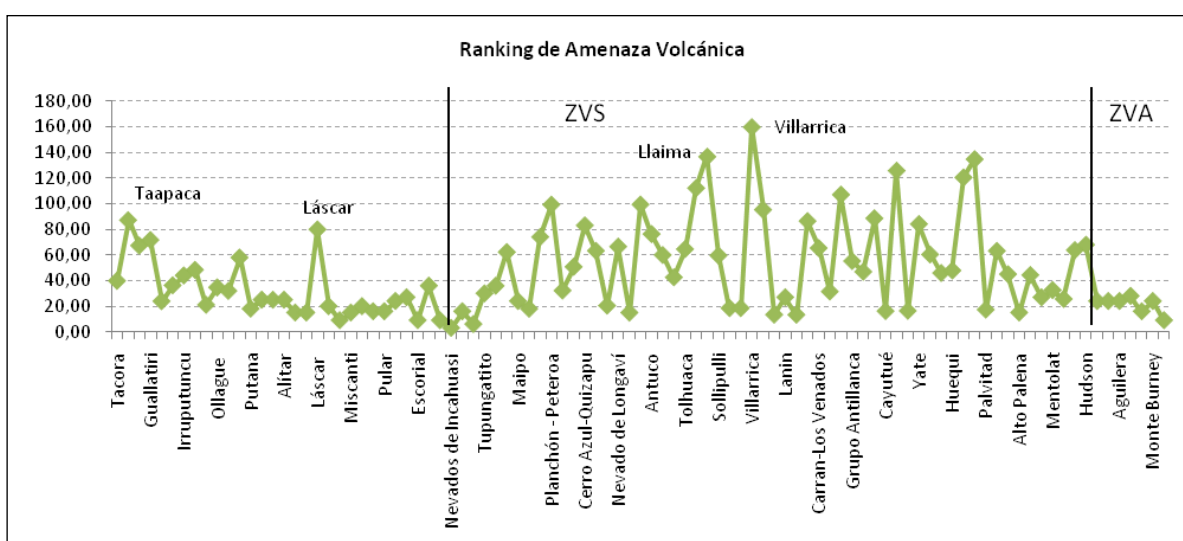


Figura 17: Ranking de amenaza volcánica, por zona volcánica, elaboración propia

- Dentro de la categoría **Alta** existen 18 volcanes cuyos puntajes van desde 95,42 hasta 62,48.
- En el caso de la categoría **Moderada**, se tienen 15 volcanes, que van entre los valores 60,4 hasta 39,81.
- Para la categoría **Baja**, existen 24 volcanes que bordean los valores de 36,31 hasta 23,89.
- Y finalmente en la categoría **Muy Baja**, se tienen 28 volcanes, cuyos valores se encuentran dentro de 21,02 y 3, que corresponde al valor más bajo dentro del ranking y es del volcán Nevados de Incahuasi.

En la figura 18 se puede apreciar la relación entre los dos factores de análisis, de acuerdo al orden decreciente del ranking.

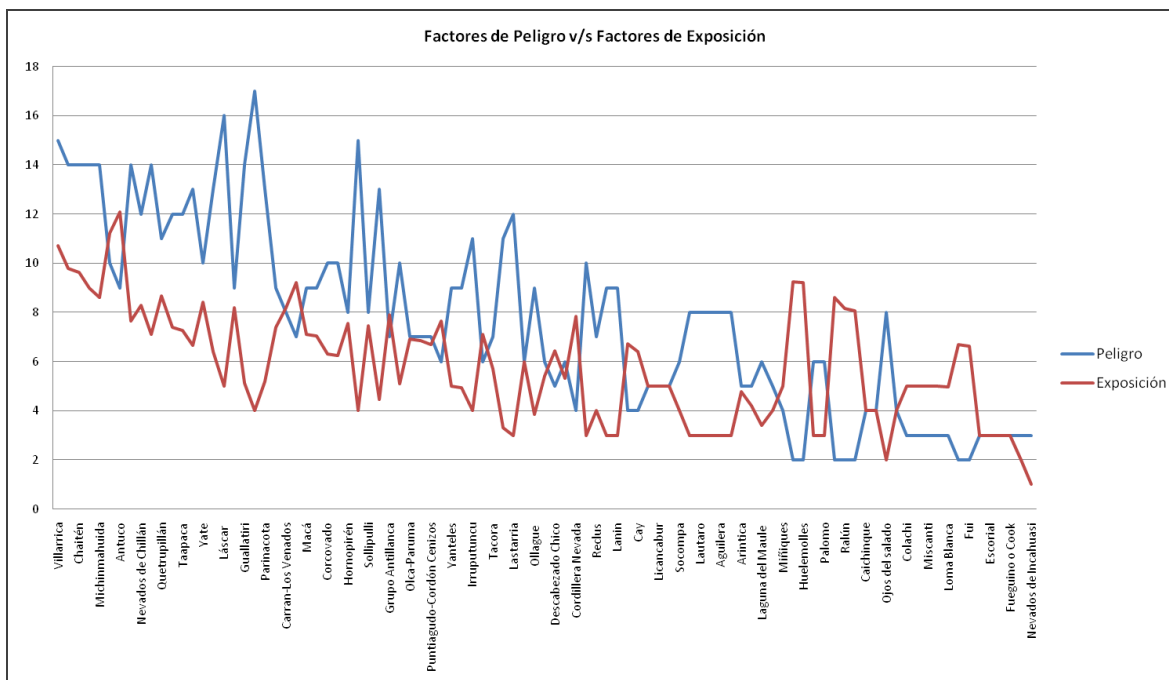


Figura 18: Gráfico Factores de riesgo v/s Factores de exposición

Lo anteriormente mencionado se puede apreciar en lo que sucede en el volcán Antuco, donde los valores de exposición superan los valores de peligro, y se registran dentro de los más altos de todos los volcanes. También, si lo comparamos con los valores de los volcanes Láscar y Hudson (categoría alta), que marcan los puntos más altos del gráfico en cuanto a peligro, pero sus valores en cuanto a exposición son todo lo contrario. Si se analiza el otro extremo del gráfico, es posible ver como los valores de exposición están por sobre los de peligro y se encuentran dentro de los más altos dentro del gráfico, pero aun así el producto entre ambos no supera los diez primeros mencionados.

Si bien estos aspectos se pueden analizar de manera separada, evaluando la amenaza asociada a cada volcán, y por ende su nivel de peligrosidad, como también la vulnerabilidad del territorio en torno a él, asociado a la infraestructura y población, es importante entender que para analizar el nivel de amenaza que representa cada volcán, es fundamental considerar ambos aspectos y su conjugación, puesto que esto es lo que determina el riesgo real. Por ejemplo, muchos volcanes del ranking presentan un alto índice en los factores de peligro, como los volcanes del norte y el extremo sur, (volcanes Hudson y Láscar, en la XII y II región, respectivamente), es decir, puede que un volcán represente una gran amenaza para el territorio, pero si su área de influencia no

representa mayor vulnerabilidad, determinada por el desarrollo socioeconómico cultural y estructural del entorno, el volcán no representa mayor riesgo para el territorio cercano.

En el gráfico de la figura 19 se observa la distribución de los factores de peligro y los factores de exposición por orden latitudinal. En el caso de la amenaza, esta se distribuye de manera heterogénea, si bien existen casos de altos valores, no existe una zona puntual en donde se observe una mayor cantidad de estos casos, en cambio, en el caso de los factores de exposición se observa una mayor distribución en la zona centro y sur del país, mayormente en la VII, VIII, IX, X y XI regiones, que corresponden precisamente a las regiones donde se concentran los más altos valores del ranking, por lo que en este sentido se puede entender que no solo la amenaza es un factor importante en el riesgo volcánico sino que la exposición del territorio en el que se inserta es un factor directamente proporcional, y en algunos casos un factor fundamental en el establecimiento del valor del riesgo y su posición en el ranking.

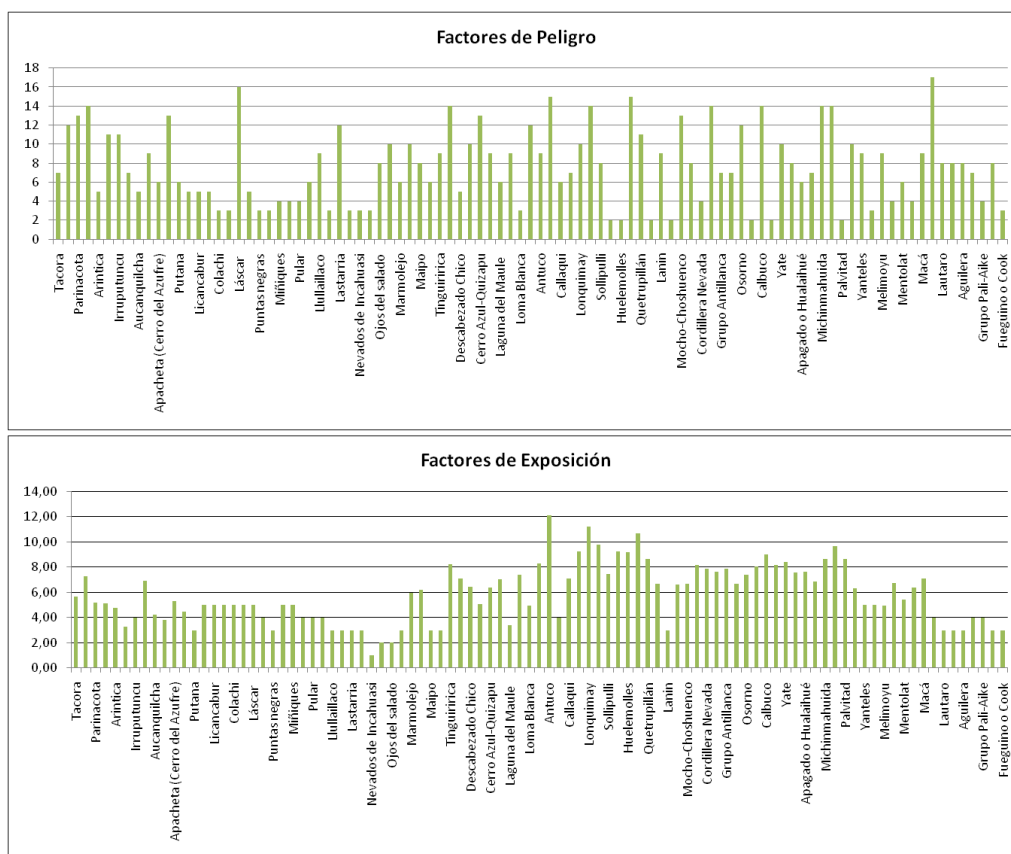


Figura 19: Gráfico Factores de Peligro y Factores de Exposición, elaboración propia a partir de los datos del ranking

7.2 Superficie de amenaza

Como se manifiesta en el punto anterior, donde se analiza la distribución de la amenaza volcánica, en Chile existen 95 volcanes geológicamente activos, cuyo radio de influencia está determinado por 30 km desde el centro eruptivo. Por ende cada uno de estos volcanes determina, junto con su buffer de influencia, una superficie de amenaza, tanto a nivel sectorial, calculando el área de la circunferencia de cada volcán (2.826km²) como a nivel territorial.

Es importante tener en consideración, como primer punto, que la superficie abarcada por cada volcán, no solo incluye al territorio nacional, sino que en muchas ocasiones esta área sobrepasa los límites fronterizos llegando a Argentina, por esto es importante para este estudio a nivel nacional, solo considerar como superficie de amenaza la extensión que queda dentro del país.

La superficie nacional continental es de 704.794,11 km², según los cálculos obtenidos en ArcGis y las bases de datos utilizadas, de los cuales el 16,6% (115.508,42 km²) se encuentra bajo amenaza volcánica, que corresponde a un número considerable ya que podría decirse que casi $\frac{1}{6}$ del país se encuentra bajo esta amenaza.

También este análisis se realiza a nivel regional, para determinar el porcentaje de área amenazada por región y el porcentaje de superficie que representa esta.

En la tabla 5 se muestran cada una de la regiones con su cálculo de superficie amenazada y el porcentaje correspondiente respecto de la superficie regional total. La tabla se complementa con el gráfico de superficie ilustrado en la figura 16, donde se muestra de forma más clara dicho aspecto y su relación con la magnitud de la región en sí.

Es posible determinar también que las regiones que poseen mayor superficie bajo amenaza corresponden a la II región de Antofagasta, la X región de Los Lagos, la XI región de Aysén y la VII región del Maule.

Región	Superf. de Amenaza (km ²)	Superf. Regional (km ²)	% de Superficie amenazada
Arica Parinacota	6557	17279,5	37,9
Tarapacá	3549,25	42039,74	8,4
Antofagasta	21916,07	127147,75	17,2
Atacama	2769	75764,81	3,6
Metropolitana	3025,19	15492,27	19,5
O'Higgins	2645,23	16332,87	16,1
Maule	9872,55	30608,34	32,5
Biobío	8046,4	37206,11	21,2
Araucanía	9458,11	31911,43	29,6
Los Ríos	7294,28	18497,46	39,4
Los Lagos	18698,54	48324,07	38,6
Aysén	13101,32	113532,91	11,5
Magallanes	8575,48	130656,85	6,5
TOTAL	115508,42	704794,11	

Tabla 6: Superficie de amenaza regional, elaboración propia en base a los cálculos realizados en ArcGis 9.3.

En la figura 20, que representa el porcentaje representativo de superficie amenazada con respecto a la superficie total. En este gráfico se puede identificar que existen 4 regiones críticas en cuanto a la exposición de su superficie y en algunos casos no coinciden con todas las anteriores ya que se relaciona directamente con lo mencionado respecto a la magnitud de su territorio, entonces, las regiones con mayor superficie de amenaza en orden decreciente, corresponden a las regiones de Los Ríos, Los Lagos, Arica Parinacota y el Maule. En estas regiones el porcentaje de superficie amenazada sobrepasa el 30% del territorio, magnitud muy significativa como para no considerar, más aun cuando esta superficie se encuentra asociada al desarrollo de la vida humana y su infraestructura.

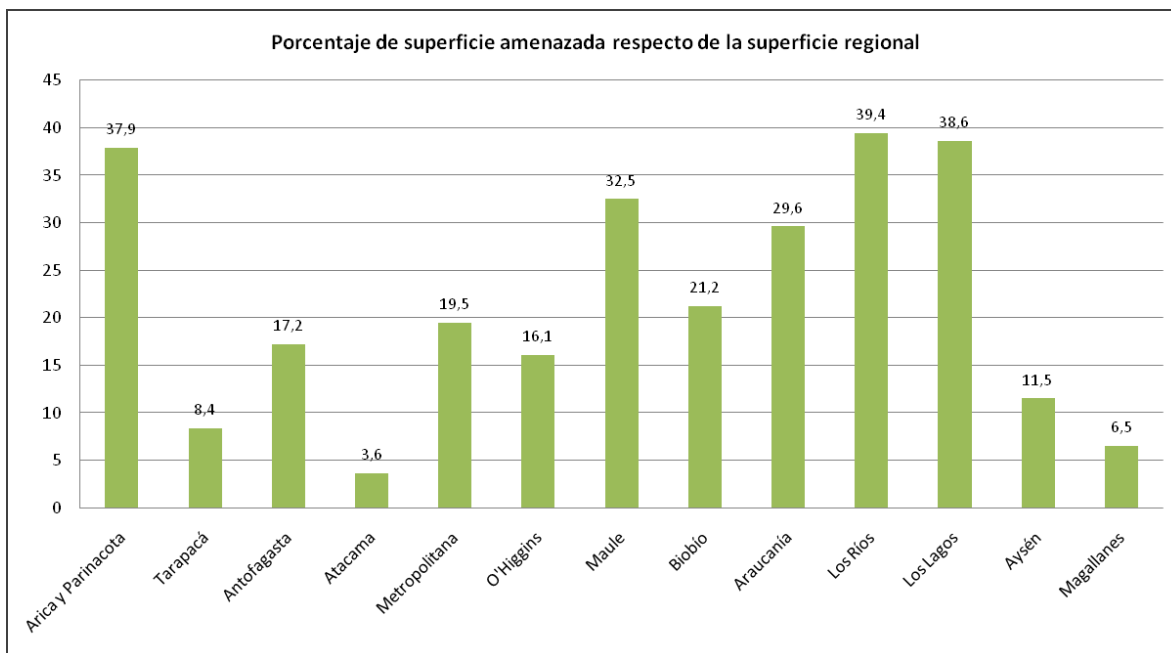


Figura 20: Grafico se porcentaje de superficie amenazada respecto de la superficie regional, elaboración propia en base a datos obtenidos de ArcGis 9.3.

Coincidentemente con lo anteriormente planteado, en estas regiones se encuentran volcanes que dentro de las categorías más elevadas y moderadas del ranking, como por ejemplo los volcanes Chaitén y Calbuco en la X región en la categoría Muy Alta o Cerro Azul-Quizapu y Nevados de Longaví en la Región del Maule, dentro de la categoría Alta (esto se puede apreciar con mayor detalle en el anexo 5). Esta consideración hace que esta superficie adquiera un carácter más importante, puesto que se encuentra expuesta a una alta amenaza y en muchas ocasiones no es solo uno sino varios volcanes que tienen su área de influencia dentro de estas regiones.

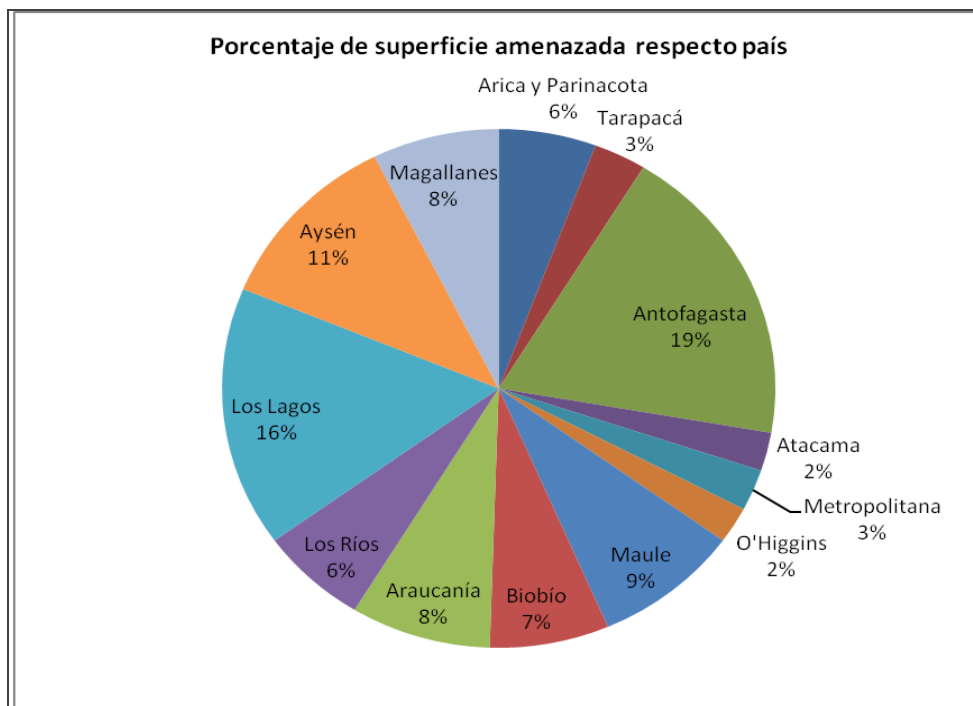


Figura 21: Gráfico de porcentaje de área amenazada respecto al porcentaje país

En la figura 21 se puede relacionar la superficie regional con la superficie amenazada nacional, equivalente al 16,6% del territorio nacional, que se considera como la totalidad de la superficie de amenaza equivalente al 100%, de esta forma es posible apreciar la distribución de la amenaza a través del territorio y como cada una de estas regiones es representativa de la amenaza a nivel nacional.

Las regiones que presentan mayor superficie de amenaza corresponden a las regiones de Antofagasta (19%), Los Lagos (16%) y Aysén (11%) (porcentajes representativos de la superficie de amenaza total), estas regiones coinciden con las de mayor extensión, pero también coinciden con regiones en las que se encuentran gran cantidad de volcanes o también que su área de influencia no se encuentra tanto en el límite nacional, sino que más bien, en su mayoría, dentro del país. Por lo tanto representan una superficie más extensa.

7.3 Índice de Riesgo Volcánico Comunal

En una etapa final, los antecedentes anteriormente recopilados referentes al ranking de amenaza volcánica y la superficie de amenaza, son recopilados e integrados en un estudio y análisis final,

con el fin de incorporar una nueva dimensión de la amenaza volcánica a otra escala, integrando la vulnerabilidad a nivel comunal. De esta forma, se representa espacialmente la amenaza de acuerdo a nuestra realidad nacional, con una entidad de administración a nivel más local y la comuna como nivel básico de estructuración.

En un estudio realizado por Wood y Soulard (2009) se demuestra que las características demográficas de los residentes varían en las zonas de riesgo de lahar y estas diferencias pueden hacer que ciertas personas sean menos capaces de prepararse o responder frente a este tipo de fenómeno. Esta sensibilidad demográfica no se basa en amplios estudios de los residentes en la zona de lahares del Monte Rainier, sino que en la literatura de las ciencias sociales que establece que la preparación y las consecuencias para ciertos desastres, tales como terremotos, huracanes etc., son diversos. Junto con esto, la raza y el origen étnico también influyen en la sensibilidad individual a los riesgos naturales, es decir que las diferencias culturales o desigualdades sociales pueden determinar que una comunidad carezca de los recursos para prepararse y mitigar los riesgos frente a estos desastres. Es por esto que es de suma importancia hacer hincapié en estas diferencias culturales y demográficas, con el fin de sectorizar la amenaza volcánica, no solo considerando los aspectos geológicos del territorio, infraestructura o cantidad de población, sino que también considerar aspectos socioculturales, socioeconómicos y distribución territorial de la amenaza.

Para esto se genera el Índice de Riesgo Volcánico Comunal, con el fin de representar la diversidad de población y las variaciones espaciales de la amenaza volcánica reuniendo características más específicas de las áreas de estudio y a una escala más detallada, dándole un enfoque más integrado a los aspectos de vulnerabilidad, tomando en consideración, aspectos importantes como, el Índice de Desarrollo Humano que reúne aspectos sociales tales como, educación, ingresos monetarios y salud, dato que se da a nivel comunal.

El territorio nacional está dividido en 346 comunas de las cuales 75 de ellas se encuentran bajo amenaza volcánica (ver anexo 6), es decir, bajo la intersección de su superficie de amenaza representada por los radios de 30 km, lo que es equivalente al 21% de todas las comunas de Chile.

Estas comunas están divididas en 5 categorías, dependiendo del nivel de riesgo representado por su exposición al volcán; superficie, población, ranking de amenaza volcánica y por sus características sociales y económicas, que representan en cierta medida su resiliencia.

Como se determina en los resultados, este índice relaciona el producto de la vulnerabilidad y la amenaza, ambos aspectos representados por el riesgo volcánico.

La naturaleza del impacto potencial de una erupción volcánica depende directamente de la relación entre la amenaza, la población y su distribución en el entorno (Small and Naumann, 2002), por lo que el principal aspecto evaluativo de la vulnerabilidad es la población, su densidad y su distribución en el área bajo amenaza volcánica.

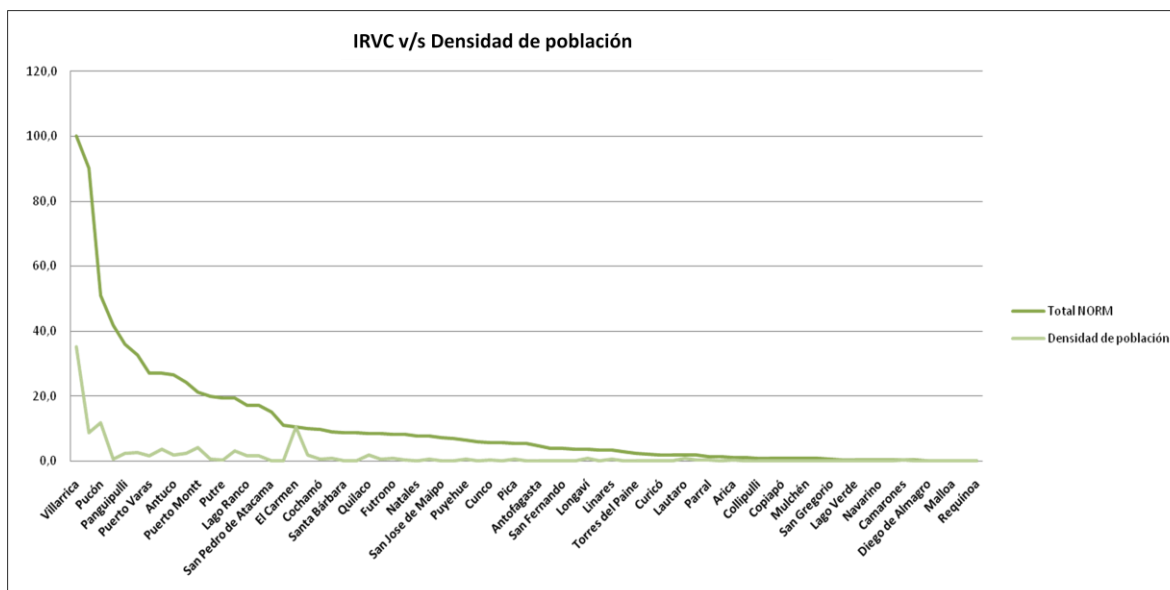


Figura 22: Gráfico representativo de la relación entre el IRVC y la densidad de población en áreas de amenaza volcánica, elaboración propia

En la figura 22 se muestra un gráfico que representa la relación entre el valor del IRVC y su directa relación con la densidad de población. Este valor se obtiene del cociente entre la población que se encuentra dentro de esta área de amenaza y el valor de la superficie que se considera. Con este cálculo se logra apreciar como la distribución de la población en el 16,6% del territorio nacional, representativo del área amenazada, determina en gran proporción la distribución del riesgo

volcánico a nivel comunal. Logra apreciarse dentro de la grafica que existen algunos saltos en los valores y que pueden corresponder a altos valores de densidad, en comparación a otras comunas que se pueden encontrar en categorías más altas de amenaza, por ejemplo la comuna de El Carmen. Sin embargo si se analiza de forma individual nos encontramos con que estas comunas representan magnitudes más pequeñas de población o superficie en comparación a las otras y que también corresponden a comunas menos cordilleranas, que se encuentra en contacto menos directo con la amenaza.

Entonces, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, la vulnerabilidad corresponde a los elementos en riesgo que pueden ser, la población, su estructura social, el medio construido y el medio ambiente natural (Jóhannesdóttir & Gísladottir, 2010). Por esta razón, la superficie dentro del área de amenaza juega un papel importante, entendiendo a la superficie no sólo como una extensión del espacio, sino que desde el punto de vista del espacio geográfico, como el medio en el cual se desarrolla la actividad del hombre, la acción humana y social, o sea, el marco de toda acción, relación, articulación o suceso en que participa como variable el espacio físico y en el que desarrollan su vida y actividad los hombres. Entendiendo entonces, que el espacio geográfico lo engloba todo, todas las relaciones humanas y sociales, y que todos los hechos físicos que se hallan a nuestro alcance están contenidos, y son, este espacio geográfico (Sánchez, 1990).

Dentro de la representación cartográfica del IRVC se aprecia una estrecha relación con el ranking de amenaza volcánica, lo que se observa, en la figura 23, donde las categorías del índice comunal se relacionan estrechamente con las categorías del ranking nacional.

En esta figura se aprecia la correspondencia entre las más altas categorías del IRVC y los volcanes de altas categorías, como por ejemplo en las comunas con mayor nivel de amenaza Villarrica, Curacautín, Pucón y Chaitén en donde se encuentran los volcanes con mayor nivel de amenaza Lonquimay, Llaima, Villarrica, Chaitén, Calbuco etc.

Existen otras comunas, que si bien no se encuentran en los primeros niveles de amenaza, sí están dentro de altas categorías, o poseen áreas de amenaza de los mismos volcanes anteriormente mencionados o quizá algunos en niveles más bajos de amenaza. Sin embargo, estas comunas registran valores más bajos del Índice, lo que se relaciona directamente con la superficie

involucrada y su población, demostrando claramente la relación existente entre amenaza y vulnerabilidad, ya que un alto nivel de amenaza, puede ser contrarrestado por una baja vulnerabilidad o ausencia de ella.

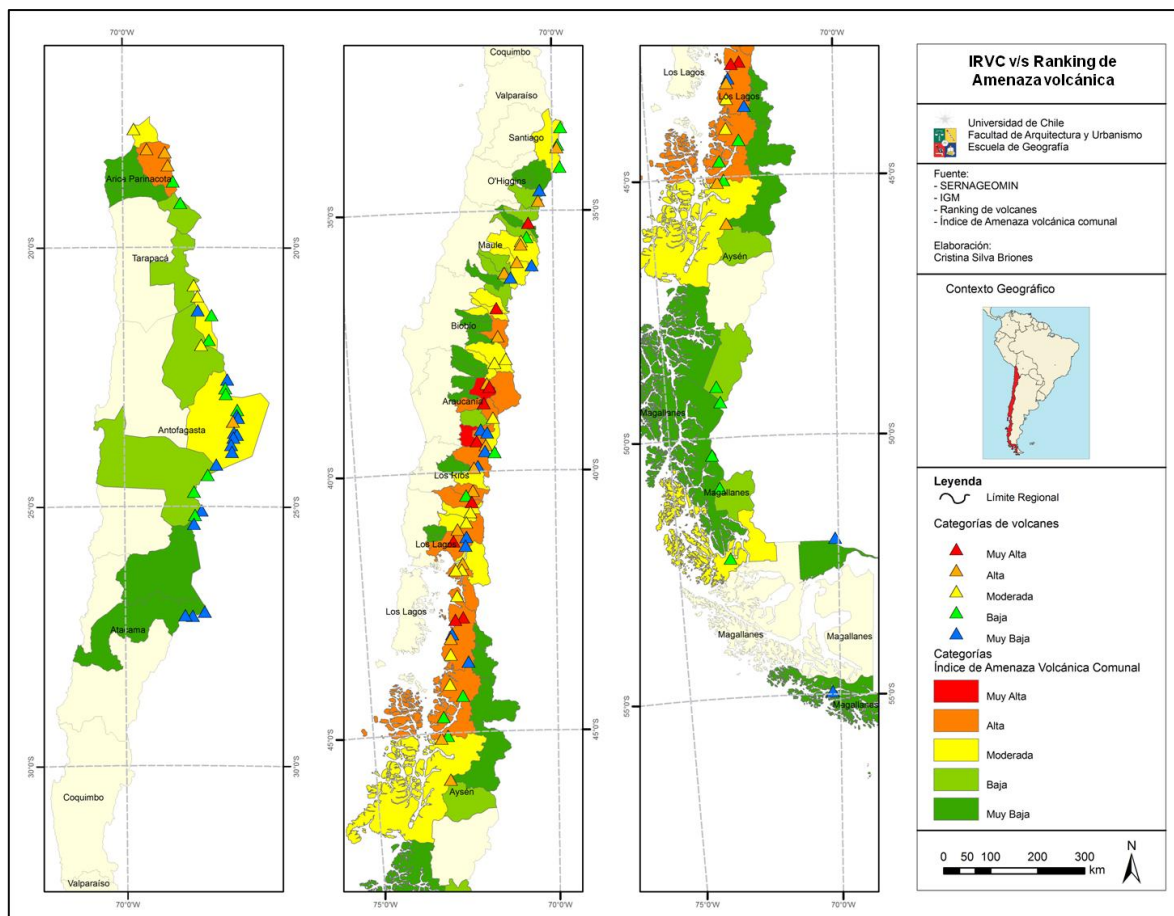


Figura 23: Representación cartográfica de la relación entre el IAVC y el Ranking de amenaza volcánica, elaboración propia ArcGis 9.3

Es importante tener en consideración que este estudio es un primer acercamiento al análisis de la amenaza volcánica a nivel territorial, como una primera forma cuantificable de evaluarla, donde se consideraron los aspectos más representativos de cada comuna y su respectiva amenaza. Sin embargo, existen otras variables, de carácter demográfico social, que podrían ser incluidas en un futuro análisis y desarrollo más completo y detallado tomando como antecedente esta investigación.

7.3.1 Categorías de Riesgo:

Como se menciona con anterioridad, la determinación de categorías de las comunas por grado de riesgo volcánico, estableció 5 grupos de comunas:

- Dentro de la categoría **Muy Alta** se encuentra dos comunas, Villarrica y Curacautín, cuyos valores representan los más altos dentro del nivel de amenaza volcánica, (100 y 90,3), asociados a sus altos valores de vulnerabilidad y a la cantidad de superficie comprometida.

- En la categoría **Alta**, se tienen 14 comunas, que van entre los valores 51 hasta 17,1, estas comunas también representan un alto nivel de amenaza casi al mismo nivel que las anteriormente mencionadas, pero en algunos casos sus valores de población y superficie involucrada, son menores, lo que no implica que la magnitud del riesgo volcánico en sí sea menor. Por ejemplo, la localidad de Vilcún registra unos de los mayores valores en el cálculo del promedio del ranking, sin embargo la superficie que se encuentra dentro de esta área es menor y su población también.

- En la categoría **Moderada**, se encuentran 18 comunas, cuyos rangos de valor están entre 15 a 6, aquí comienza a observarse una clara disminución en los valores, tanto a nivel de vulnerabilidad como a nivel de amenaza. Sin embargo, existen comunas que aún siendo así, se deberían tener en consideración, por su cercanía a volcanes de categorías más elevadas, por ejemplo la localidad Puyehue que posee poca cantidad de población y superficie en comparación a otras, pero se encuentra dentro del área de amenaza del volcán del mismo nombre. Es decir en este grupo, existe excepciones, que deben ser consideradas, es por esto que se encuentran en una categoría intermedia.

- Para la categoría **Baja** (5,6 a 2,2) y **Muy Baja** (1,9 a 0), existen 14 y 26 comunas respectivamente, en estos grupos el decrecimiento de los valores es notorio, en cuanto a la mayoría de las variables consideradas y junto con esto, corresponden a comunas más lejanas a la cordillera o que se encuentran más lejanas al área de influencia volcánica, involucrando menor cantidad de superficie expuesta.

8. DISCUSIÓN

Como se menciona con anterioridad, este estudio es un primer acercamiento a escala nacional, al conocimiento de la amenaza volcánica a nivel cuantitativo.

La determinación del ranking de Amenaza Volcánica y el Índice de Amenaza Volcánica Comunal, nos entrega un sinnúmero de antecedentes y expresa nuevas formas de cuantificar la amenaza volcánica, que son el resultado de la distribución de la población residente, la mayor cantidad de infraestructura amenazada (Lara, 2011) y su cercanía al peligro volcánico. Sin embargo, en ambos casos se debe tener en consideración lo dinámico de estos procesos, ya que estos datos recopilados corresponden a procesos históricos registrados.

En el caso del ranking, se consideran las erupciones de las que se tiene registro, por lo que al que al producirse nuevas erupciones en el presente, el valor de estas variables podrían ser modificadas por nuevas situaciones ocurrida o por nuevos datos incorporados. Un claro ejemplo de esto fue lo ocurrido hace 3 años con el volcán Chaitén, que ocupaba el lugar 40 del ranking (Lara, 2008) y con los nuevos antecedentes registrados, dicho volcán está ocupando el lugar 3 del ranking debido a las características explosivas de la última erupción.

En el caso de la actual erupción del volcán Puyehue–Cordón Caulle los datos no fueron modificados, puesto que su erupción no fue superior a los datos registrados en este estudio.

Es así como este ranking debe ser constantemente actualizado y modificado ya que nuevos datos pueden modificar la posición de un volcán en el ranking y consecuentemente la posición de los otros. Producto de esto, los valores del IRVC también variarían, teniendo una modificación en la posición del ranking o un crecimiento demográfico.

De esta forma, podemos entender entonces, que los valores sintéticos de la amenaza volcánica y esta metodología semicuantitativa, corresponden a registros que representan más o menos lo que habría de esperar de la actividad de determinado volcán, lo que no implica ciertamente que esto vaya a ser obligatoriamente así, ya que pueden existir modificaciones en esta actividad y el carácter de sus erupciones.

8.1 Ranking de Amenaza Volcánica

Dentro de la metodología de desarrollo de este ranking existen aspectos morfológicos del territorio que no se consideran dentro del análisis, por ejemplo, como se ha mencionado en capítulos anteriores, los productos volcánicos suelen descender por valles y quebradas alcanzando en algunos casos mayores distancias, sin embargo dentro de la metodología se establece un área de peligro delimitada por los 30 km de radio que representan la zona de mayor amenaza frente a la acumulación de material volcánico y sus consecuencias. Teniendo en consideración lo anteriormente descrito, quizá esta metodología debería modificarse de acuerdo a la morfología de la zona, dando una mayor distancia en aquellas zonas de valles, quebradas o cursos de agua, zonas que representan mayor amenaza en cuanto al alcance de estos productos, estableciendo quizá no un buffer circular, sino que un buffer determinado por la topografía. Un ejemplo de esto, es lo ocurrido en Estados Unidos con el Mount St. Helens en donde para la erupción del 1980 (VEI 5) se evacuó a la población que se encontraba dentro del radio de 30 km, sin embargo los flujos piroclásticos se extendieron por más de 30 km en las zonas de valles (Global Volcanism Program, Mount St. Helens: Contents of Monthly Reports)

Esta metodología nos entrega una visión general de la amenaza volcánica dentro de nuestro país, pero es de suma importancia tener en consideración que existen un sinnúmero de limitaciones y problemáticas que hace que estos valores nos entreguen solo una referencia de la situación: (1) la actividad prehistórica de muchos volcanes es muy poco conocida, (2) el registro histórico de muchos volcanes es corto y/o incompleto, (3) pueden ocurrir eventos de tipo y magnitud sin precedentes en tiempos históricos o prehistóricos, (4) debido a una morfología no-característica, algunos volcanes ubicados en zonas poco exploradas podrían no haberse identificado todavía, (5) los intervalos de reposo entre grandes erupciones pueden ser largos (cientos hasta miles de años; Simkin and Siebert; Tilling et al, 1989) y (6) muchos volcanes que no han sido priorizados pueden ser ignorados, volviéndose de esta manera aun más peligrosos, si no se anticipan efectos de futuras erupciones (Tilling et al, 1989).

8.2 Índice de Riesgo Volcánico Comunal

La zonificación de la amenaza, correspondiente a la división de una región en zonas y su ordenación en función del grado de riesgo frente a un peligro volcánico (Ortiz, 1996) es de carácter muy importante a la hora de evaluar.

El IRVC representa el producto entre vulnerabilidad y la amenaza, y la determinación de los datos a considerar en cada una de las variables, depende de los intereses del analista y de lo que se quiera determinar. Es decir, que las formas de realizar este cálculo y la información que se quiera considerar, pueden ser infinitas desde el punto de vista del análisis y corresponden a una selección arbitraria, la que se justifica desde el punto de vista de lo que se quiere analizar, que en este caso corresponde a una visión general del riesgo territorial a nivel comunal.

En la figura 24 se observa un gráfico que representa dos formas diferentes de realizar el cálculo del índice, además de la ya presentada, de acuerdo a su orden latitudinal, la línea azul corresponde al cálculo utilizado dentro de este estudio, en donde se consideran variables de vulnerabilidad (población + superficie), de capacidad (IDH) y el cociente entre estos dos se multiplica por el promedio del ranking de volcanes. La línea roja (IRVC 2) corresponde a un cálculo en donde se obtiene el producto entre las variables de población, superficie y ranking y se divide por el IDH, considerándolo como variable de capacidad, al igual que en el caso anterior. La línea verde (IRVC 3) corresponde a una incorporación del Fondo Común Municipal, dentro del cálculo utilizado en este estudio, pero integrado como variable de capacidad, siendo multiplicado por el IDH.

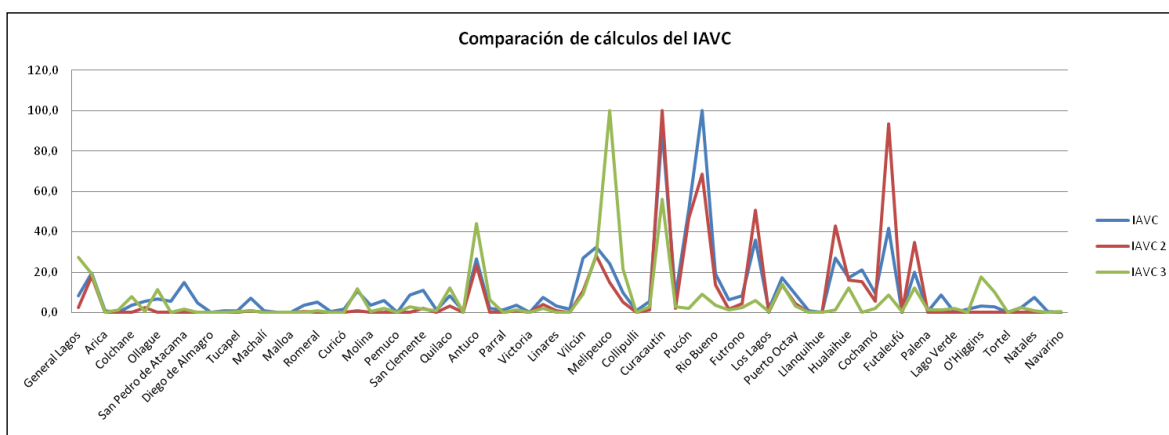


Figura 24: Gráfico representativo de las diversas formas de cálculo del IRVC, elaboración propia

A pesar de las diferencias resultantes ninguno de estos cálculos es erróneo, la determinación del IRVC y la utilización de determinada fórmula, se debe a su fundamentación en cuanto a la determinación del riesgo, como producto de vulnerabilidad por la amenaza y a la escala de estudio, en donde los datos utilizados corresponden a datos sectoriales del área comunal amenazada. Junto con esto, se logra apreciar que en los otros cálculos existen muchas comunas con valores 0, por ejemplo por que no existe registro de población dentro del área, que en estricto rigor, determina que ciertas comunas no presentan riesgo, por lo tanto serian eliminadas del ranking, pero se debe considerar que dentro de este análisis se consideran comunas que se encuentran dentro de la intersección del 'buffer' de cada volcán y no necesariamente esta superficie considerada implica zonas urbanas. Estos territorios pueden presentar infraestructura de transporte, de energía, parques nacionales etc., y se debe tener presente que el concepto de vulnerabilidad se refiere a condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto negativo de amenazas (ONU, 2004), como muestra la figura 25 en donde la vulnerabilidad es una interacción entre estos 4 factores. Es así como no se debe dejar de considerar una superficie que se encuentra dentro del 'buffer' de amenaza, porque no presenta población cuantificable, ya que existen otros factores importantes del punto de vista de la vulnerabilidad y que se pueden encontrar en este lugar.

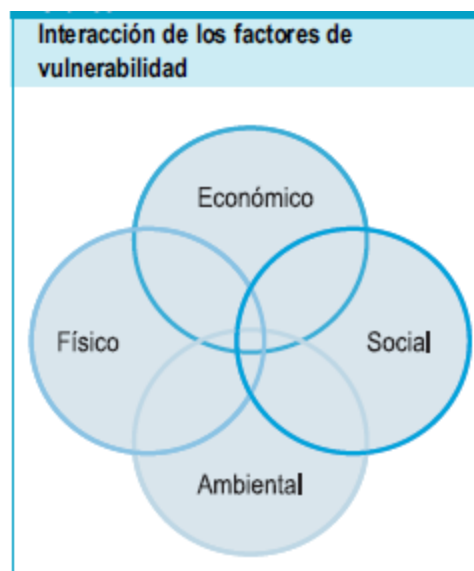


Figura 25: Interacción de los factores de vulnerabilidad, ONU 2004

Los indicadores para evaluar las pérdidas de vida son diferentes a los de impactos económicos y los de amenaza volcánica, es por esto que desarrollar múltiples objetivos en un solo análisis y concentrar todos estos aspectos dentro de un mismo cálculo se hace casi imposible, entendiendo tiempos, espacios y escalas diferentes.

De esta forma, los antecedentes recopilados en este estudio representan la amenaza y la vulnerabilidad de las zonas en forma parcial, con antecedentes netamente cuantificables, lo que

no corresponde a la situación estrictamente tal. De esta forma y dándole una visión más geográfica e integradora al análisis, existen parámetros cuantificables que debieran ser integrados, quizá no estrictamente en el índice, sino más bien a la hora de analizar dichos resultados y a la hora de entender la distribución espacial de la amenaza, teniendo en consideración que existen otros aspectos característicos de la vulnerabilidad social y comunal, como la pobreza, los fondos comunales, la población flotante o los flujos migratorio, completando de esta forma el análisis y la evaluación del riesgo y representando de mejor forma las características de las entidades comunales y su realidad, con el fin de producir datos más sintéticos y certeros.

En el anexo 8 se aprecian algunos de los datos mencionados, como la cantidad de pobres, la población flotante y el Fondo Común Municipal.

La pobreza se obtiene de la cantidad de personas pobres por comuna, que se extrae de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN, 2009), en donde se realiza una diferenciación entre pobreza e indigencia, que en términos absolutos corresponde a un mínimo de satisfacción de necesidades básicas en el caso de la pobreza, o alimentarias, en el caso de la indigencia. Entonces, en situación de pobreza se considera a aquellos hogares cuyos ingresos son inferiores al mínimo establecido para satisfacer las necesidades básicas de sus miembros, y en situación de indigencia a aquellos hogares cuyos ingresos son inferiores al mínimo establecido para satisfacer las necesidades alimentarias de sus miembros (CASEN, 1987).

Por lo tanto, los datos entregados y determinados en esta encuesta (anexo 8) apuntan a la contabilización de dichas personas en nivel de pobreza correspondiendo a la porción de población más vulnerable, donde el capital con el que cuentan para responder a estas eventualidades o para mitigar dichos peligros es menor o está representado por su vivienda y lo que tienen en ella.

Otro aspecto a considerar, corresponde a la población flotante que representan flujos significativos de población que llegan a las comunas, o distintas entidades pobladas, en ciertos periodos del año por razones de turismo (SERNATUR; Diario oficial de la Republica de Chile, 2009).

Otra definición utilizada por el SERNATUR corresponde a la población que transita o trabaja en una determinada jurisdicción sin residir en ella, lo que puede entenderse como, turistas, trabajadores

de otras comunas etc. Por lo tanto corresponde a población estacional o temporal, generando crecimientos en la población total en ciertos periodos del año y tiempo.

Esto representa una variación en la vulnerabilidad de población, ya que corresponde a un contingente del cual no se tiene control ni espacialización de sus itinerarios ni residencia, y si se toma en consideración que la mayoría de los volcanes en Chile se encuentran dentro de parques nacionales, que son de exclusivo interés turístico y de gran influencia de público en periodos estivales, ello determina un factor importante del riesgo a nivel estacional

Por ejemplo con las comunas Torres del Paine, Puyehue, Pucón, Villarrica, Melipeuco etc., se puede ver en la figura 26, que la población aumenta en más de un 200% llegando en algunos casos hasta un 2000%, que corresponde a un valor representativo, en donde se demuestra que la población aumenta más de 10 veces su valor en estas épocas. Es por este motivo que también la vulnerabilidad de ciertas comunas aumentaría en ciertos periodos del año, quedando demostrado en el gráfico que si el aumento de población es tal, el control que se tiene sobre estos lugares es distinto en determinado período del año, teniendo en consideración también que la población que se integra a estas zonas no tiene igualmente asumido el valor del riesgo volcánico asociado.

Es así como no se debe dejar de considerar este aspecto como característica dinámica de la población en cada comuna, que puede aumentar el nivel de riesgo, con respecto a la población y su distribución en el territorio, por lo que también podrían realizarse estudios de carácter estacional para determinar la variación de la vulnerabilidad en diferentes periodos del año.

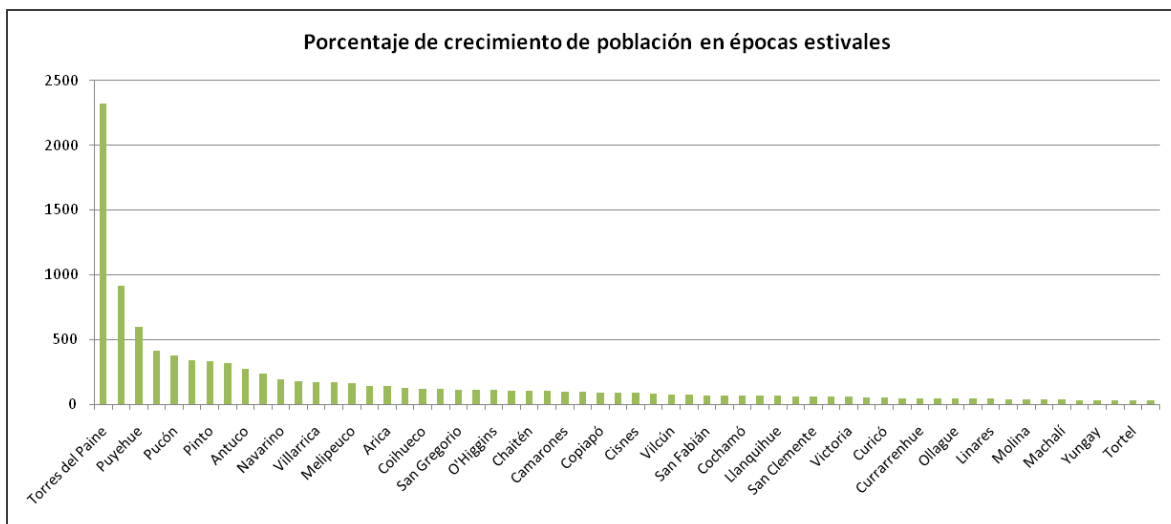


Figura 26: Gráfico de crecimiento de población en épocas estivales, elaboración propia en base a los datos del SERNATUR 2008

En el caso de los fondos municipales, como fondo monetario de recursos disponibles en cada comuna para su financiamiento, se utilizan los valores del Fondo Común Municipal (FCM), la principal fuente de financiamiento para los municipios chilenos, recaudado de los cobros de patentes, permisos de circulación, impuesto territorial etc. (SUBDERE, 2009), considerándolo como el fondo disponible para responder a la emergencia determinando si una comuna enfrentaría mejor o no un emergencia, de acuerdo a sus capacidades económicas.

Como se aprecia en el anexo 8, donde se muestra el detalle del FCM en miles de millones para cada comuna, se observan grandes diferencias en el capital disponible, lo que podría traducirse en mayores dificultades. Entonces, si las comunas que se encuentran dentro de los valores más elevados del Índice de Riesgo Volcánico Comunal poseen un FCM alto, Villarrica o Pucón, tienen mayores posibilidades de reducir este riesgo, ya que tiene mayores posibilidades económicas de elaborar planes de mitigación, de protección o de recuperación de lo que se encuentra más vulnerable.

De esta forma y tomando como antecedente lo mencionado, es que el Índice de Riesgo Volcánico Comunal, constituye un forma cuantificable de representar este a nivel comunal. Sin embargo, este valor no se debe entender como valor absoluto, ya que debemos entender el dinamismo de los aspectos sociales, lo que indica que deben tener en consideración aspectos más específicos de cada comuna, como la variación de población en ciertos periodos del año; la población pobre que

representa el grupo de población más vulnerable, del punto de vista económico y territorial; y la capacidad de financiamiento comunal del Fondo Común Municipal, para así integrarlos dentro su evaluación, tener una visión más completa y específica de la situación respectiva de cada entidad. Es así entonces, como este índice nos entrega una visión, más o menos esquemática de la situación de amenaza y vulnerabilidad a esta escala, pero no se deben dejar de lado aspectos cualitativos que quizá al integrarlos dentro de este mismo índice perderían su valor representativo.

Otro aporte importante, como mencionan Wood y Soulard (2009), podrían ser estudios sobre la capacidad de adaptación (o resistencia) de los individuos y las comunidades a la amenaza volcánicos, considerando condiciones y sensibilidades distintas, entendiendo que una mayor capacidad de adaptación disminuye la vulnerabilidad de una comunidad a eventos extremos. Este aspecto que se evalúa desde el punto de vista del IDH, no obstante existen infinidad de conceptos que podrían ser incorporados a esta perspectiva, como por ejemplo el mismo Fondo Común Municipal.

Wood y Soulard (2009) demuestran que la amenaza volcánica tiene un impacto en las comunidades de diferentes maneras y por lo tanto, tener un enfoque comparativo, entre diferentes realidades económicas y socioculturales, para evaluar la vulnerabilidad social a estos peligros se justifica en esfuerzos futuros.

Como es de entender entonces, las diversidades sociales son muy amplias como para integrarlas en un solo estudio, y más aún a esta escala de análisis, es por esto que en algunas ocasiones o para futuros estudios, podrían realizarse microzonificaciones, concepto aplicado a zonas concretas de análisis. Esta técnica se ha diseñado para mostrar la variación espacial del riesgo, a fin de concentrar los recursos y enviar los equipos de emergencia durante los periodos de crisis (Alexander, 1993). Es importante mencionar que el concepto de microzonificación es siempre local y los elementos básicos para determinar la vulnerabilidad de dicho lugar son: el número de personas (dato que se analiza en la presente memoria), sus actividades económicas, la localización de las estructuras y servicios de emergencia y sus vulnerabilidades frente a cada peligro considerado (Alexander, 1993). A la escala de este trabajo, ese nivel de detalle es imposible por el tiempo determinado para su realización, por lo que se engloban dichos aspectos de vulnerabilidad,

como la superficie afectada del punto de vista del territorio como un todo y lo que esto implica en el. Pero en esfuerzos futuros y para alcanzar un mayor nivel de detalle estos datos serian mejores para determinar la vulnerabilidad a nivel local y de forma más precisa.

Existen estudios a una escala más específica donde se integran también variables de percepción, como el de Jóhannesdóttir y Gísladóttir (2010), en donde se obtienen de primera fuente, datos sobre vulnerabilidad ya que los participantes trabajan y viven cerca del volcán y están familiarizados con el área. Por lo tanto sus conocimientos, las creencias y la percepción del riesgo pueden dar una indicación de su vulnerabilidad durante la erupción y proporcionar una comprensión básica de la condición de las personas que viven en riesgo. La razón de esto fue determinar el grado de conocimiento de los participantes, las capacidades de preparación y respuesta en un momento determinado.

Estas metodologías son muy útiles para obtener información directa de la vulnerabilidad de las comunidades y las diferencias existentes entre unas y otras dentro de una misma región y hasta dentro de una misma comuna y la integración de las diferentes dimensiones del punto de vista geográfico. Por lo tanto son aspectos y ejemplos de análisis que podrían ser integrados en una microzonificación del área de estudio.

9. CONCLUSIONES

A partir de este estudio se logró determinar que en el territorio chileno continental, existen 95 volcanes geológicamente activos que representan un distinto nivel de amenaza, determinado por sus componentes geológicas, como también de riesgo por sus aspectos de exposición del territorio en el que se encuentran insertos.

Los volcanes que se encuentran en la categoría más alta de amenaza se presentan distribuidos en la VII, VIII, IX, X región, lo que puede determinar que estas regiones corresponden a las con mayor amenaza volcánica.

A estos volcanes activos se les asocia una superficie de amenaza, establecida por 30 km de radio en torno al centro eruptivo, lo que en suma determina que un 16,6% (115.508,42 km²) del territorio nacional se encuentre bajo amenaza volcánica. Esta superficie se encuentra distribuida a lo largo del país, menos en la IV y V región (corresponde solo a Chile continental), lo que implica que cada una de las regiones restantes representa un cierto porcentaje de la superficie total de amenaza.

Por su parte el riesgo se percibe de diferentes formas de acuerdo a las diferencias sociales y estructurales del lugar en el que se emplaza. Por lo tanto, es de suma importancia diferenciar la amenaza, la vulnerabilidad de acuerdo a las diferencias territoriales, escogiendo como unidad de análisis la entidad comunal, como un nivel de administración mas local y como nivel básico de estructuración político administrativa.

De las 346 comunas existentes en nuestro país 75 de ellas presentan sectores bajo amenaza volcánica, lo que equivale al 21% de ellas. No todas estas comunas representan el mismo riesgo, pues la vulnerabilidad de cada una de ellas es diferente en todos los casos.

Este estudio representa un primer acercamiento a la cuantificación de la amenaza volcánica y su manifestación en el territorio, como una forma de aportar al conocimiento y posterior mitigación de los riesgos, con el fin de disponer de las herramientas necesarias para que los recursos sean apuntados en la dirección correcta, permitiendo prevenir perdidas o catástrofes mayores.

Estos resultados indican que las comunidades pueden experimentar grandes pérdidas, que reflejan a una pequeña parte de su comunidad o poblaciones significativas, pero que gran parte de su vulnerabilidad se refleja en su capacidad de adaptación y recuperación, y que la capacidad de las personas para prepararse frente a estos acontecimientos y tomar las medidas de protección cuando la amenaza es inminente varía a través de las diferentes entidades político administrativas. Por ende, es importante elaborar estrategias de reducción del riesgo que pueden ser abordadas en la educación y divulgación de la información enfocadas a cada grupo diferente de acuerdo a sus necesidades de preparación.

Por consiguiente, se desprende que una de las bases de la prevención es el conocimiento certero de lo que se está evaluando. Por esto se hace de suma importancia, a la hora de evaluar estas situaciones, considerar las variables que integran el carácter de la realidad social, económica y cultural de quienes se encuentran vulnerables.

Un aspecto importante en la mitigación y la gestión del riesgo volcánico es que los organismos públicos y la población comprendan su vulnerabilidad frente a esta amenaza y generen las estrategias para modificar esta vulnerabilidad y saber reaccionar cuando se produzcan este tipo de eventos. Para que esto sea más eficaz, como señala Wood y Soulard (2009), la caracterización del riesgo debe centrarse en los principales problemas, tales como minimizar las pérdidas de vida, las pérdidas económicas o los impactos en los ecosistemas, por ejemplo la calidad del agua o la biodiversidad, y que esto no sea simplemente un resumen de todos los datos disponibles que intentan cubrir todos los aspectos de la vulnerabilidad.

10. BIBLIOGRAFÍA

ABUMOHOR, J., **Configuraciones Territoriales desde una Perspectiva del Riesgo**; Conferencia Internacional “Sistemas Modernos de Preparación y Respuesta ante riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsumanis”, IGM 1998.

ALEXANDER, D., **Natural Disasters**, UCL Press, Londres, 1993.

ALVARADO, G. **Los Volcanes de Costa Rica**, geología, historia, riqueza natural y su gente, Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, 2000.

BERROCAL, M., **Análisis y Evaluación de la Vulnerabilidad de la Población de la fortuna de San Carlos a la Actividad Volcánica del volcán Arenal de Costa Rica**, Universidad de Girona, 2008.

DUQUE-ESCOBAR, G., **Las Lecciones del Volcán Nevado del Ruiz a los 20 años del desastre en Armero**, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Noviembre 2005.

EWERT et al., **An Assessment of volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcano Early Warning System, NVEWS**, U.S. Geological Survey, E.E.U.U, Abril 2005.

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, **Mount St. Helens: Contens of Monthly Reports**, (en línea) <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1201-05-&volpage=var> (consulta Julio 2011)

GONZALES-FERRÁN, O., **Volcanes de Chile**, Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile, 1995

JÓHANNESDÓTTIR, D., GÍSLADÓTTIR, G. **People living under threat of volcanic hazards Iceland: Vulnerability and risk perception**. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010.

LARA, L. **Volcanes activos de Chile: estado del conocimiento y evaluación preliminar de la amenaza volcánica**, Documento externo, SERNAGEOMIN, Departamento de Geología Aplicada, Subdirección Nacional de Geología, Julio 2008.

LARA et al., **Geosemántica como plataforma para la evaluación del riesgo volcánico**, 2011.

MINISTERIO DEL INTERIOR, **Diario Oficial de la república de Chile**, Gobierno de Chile, 2 de enero del 2009.

ONEMI, **Actividad volcánica en Chile año 2008**, Gobierno de Chile, Unidad de Gestión Territorial, Santiago de Chile, Septiembre 2009.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU), **Vivir con el riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres**. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, ONU, Ginebra 2004.

ORTIZ, O., **Riesgo Volcánico**, Dpto. Volcanología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 1996.

PNUD, **Desarrollo Humano en las Comunas de Chile**, Gobierno de Chile, Ministerio de Planificación y Cooperación, 2000.

SÁNCHEZ, J., **Espacio, economía y sociedad**, Siglo XXI de España Editores, Barcelona, Junio 1990.

SCHMINCKE, H., **Volcanism**, Editorial Springer Berlin Heidelberg, New York, 2004

SEGURA, I., BARRIENTOS, S., CARI, L., HOFFMAN, E., MUÑOS, J., BAEZA, E., BUCHHORST, G., CUI-CUI, R., MÁRQUEZ, S., PORTALES, V. **Las Cascadas; una comunidad activa y organizada al pie del volcán Osorno, Chile**, Servicio Nacional de Geología y Minería, Miscelánea n°14, 2008.

SMALL, C., NAUMANN, T., **The global distribution of human population and recent volcanism.** Environmental Hazards, 2001.

TILLING, R., **Los peligros volcánicos,** Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra, 1989.

WOOD, N., SOULARD, C., **Variations in population exposure and sensitivity to lahar hazards from Mount Rainier, Washington,** Journal of Volcanology and Geothermal Research 188, 2009.

Páginas web consultadas:

- <http://mappingcenter.esri.com/index.cfm?fa=ask.answers&q=514>
- http://www.sinim.gov.cl/desarrollo_local/selfcm.htm
- <http://www.volcano.si.edu/index.cfm>
- <http://www.subdere.gov.cl/1510/w3-propertyvalue-33039.html>

11. Anexos

1. Volcanes Activos de Chile y su ubicación geográfica

N°	VOLCÁN	Región	Longitud	Latitud
1	Tacora	XV	-69,775	-17,716
2	Taapaca	XV	-69,512	-18,103
3	Parinacota	XV	-69,144	-18,165
4	Guallatiri	XV	-69,090	-18,419
5	Arintica	XV	-68,982	-18,731
6	Isluga	I	-68,831	-19,145
7	Irruputuncu	I	-68,555	-20,733
8	Olca-Paruma	II	-68,479	-20,947
9	Aucanquilcha	II	-68,470	-21,220
10	Ollagüe	II	-68,186	-21,310
11	Apacheta (Cerro del Azufre)	II	-68,240	-21,790
12	San Pedro	II	-68,396	-21,887
13	Putana	II	-67,852	-22,551
14	Sairecabur	II	-67,892	-22,720
15	Licancabur	II	-67,880	-22,830
16	Alítar	II	-67,638	-23,140
17	Colachi	II	-67,646	-23,240
18	Acamarachi	II	-67,618	-23,290
19	Láscar	II	-67,728	-23,365
20	Chiliques	II	-67,701	-23,576
21	Puntas negras	II	-67,637	-23,616
22	Miscanti	II	-67,711	-23,673
23	Miñiques	II	-67,758	-23,813
24	Caichinque	II	-67,740	-23,950
25	Pular	II	-68,066	-24,195
26	Socompa	II	-68,245	-24,395
27	Llullaillaco	II	-68,534	-24,720
28	Escorial	II	-68,370	-25,080
29	Lastarria	II	-68,510	-25,170
30	Cordón del Azufre	II	-68,531	-25,340
31	Nevados de Incahuasi	III	-68,292	-27,035
32	Ojos del salado	III	-68,547	-27,115
33	El Solo	III	-68,708	-27,107
34	Tupungatito	RM	-69,802	-33,401
35	Marmolejo	RM	-69,876	-33,738
36	San José	RM	-69,894	-33,790
37	Maipo	RM	-69,828	-34,166
38	Palomo	VI	-70,302	-34,613
39	Tinguiririca	VI	-70,340	-34,817

40	Planchón - Peteroa	VII	-70,574	-35,241
41	Descabezado Chico	VII	-70,620	-35,515
42	Descabezado Grande	VII	-70,751	-35,586
43	Cerro Azul-Quizapu	VII	-70,759	-35,654
44	San Pedro-Pellado	VII	-70,855	-35,992
45	Laguna del Maule	VII	-70,507	-36,058
46	Nevado de Longaví	VII	-71,164	-36,199
47	Loma Blanca	VII	-71,011	-36,289
48	Nevados de Chillán	VIII	-71,368	-36,871
49	Antuco	VIII	-71,351	-37,410
50	Copahue	VIII	-71,170	-37,850
51	Callaqui	VIII	-71,446	-37,926
52	Tolhuaca	IX	-71,646	-38,314
53	Lonquimay	IX	-71,589	-38,379
54	Llaima	IX	-71,733	-38,694
55	Sollipulli	IX	-71,519	-38,977
56	Caburgua	IX	-71,830	-39,200
57	Huelemolles	IX	-71,671	-39,259
58	Villarrica	IX	-71,939	-39,420
59	Quetrupillán	XIV	-71,717	-39,498
60	Lizán	XIV	-71,738	-39,614
61	Lanin	XIV	-71,501	-39,639
62	Fui	XIV	-71,928	-39,901
63	Mocho-Choshuenco	X	-72,030	-39,930
64	Charran-Los Venados	X	-72,073	-40,366
65	Cordillera Nevada	X	-72,250	-40,460
66	Puyehue-Cordón Caulle	X	-72,112	-40,585
67	Grupo Antillanca	X	-72,155	-40,776
68	Puntiagudo-Cordón Cenizos	X	-72,269	-40,973
69	Osorno	X	-72,499	-41,102
70	Cayutue	X	-72,280	-41,253
71	Calbuco	X	-72,614	-41,329
72	Ralún	X	-72,310	-41,420
73	Yate	X	-72,400	-41,759
74	Hornopirén	X	-72,431	-41,876
75	Apagado o Hualaihué	X	-72,589	-41,884
76	Huequi	X	-72,579	-42,379
77	Michinmahuida	X	-72,445	-42,798
78	Chaitén	X	-72,650	-42,837
79	Palvidad	X	-72,750	-43,110
80	Corcovado	X	-72,794	-43,194

81	Yanteles	X	-72,814	-43,500
82	Alto Palena	X	-72,350	-43,650
83	Melimoyu	XI	-72,868	-44,072
84	Grupo Puyuhuapi	XI	-72,534	-44,300
85	Mentolat	XI	-73,079	-44,695
86	Cay	XI	-72,988	-45,058
87	Macá	XI	-73,164	-45,104
88	Hudson	XII	-72,970	-45,900
89	Lautaro	XII	-73,506	-49,020
90	Viedma	XII	-73,410	-49,318
91	Aguilera	XII	-73,750	-50,330
92	Reclus	XII	-73,580	-50,960
93	Grupo Pali-Aike	XII	-70,100	-52,000
94	Monte Burney	XII	-73,379	-52,326
95	Fueguino o Cook	XII	-70,250	-54,950

2. Ranking de puntaje total de Factores de Peligro, Volcanes activos de Chile.

VOLCÁN	Tipo de Volcán (0-1)	Máximo IEV (0-3)	Actividad Explosiva en los pasados 500 años (0-1)	Mayor actividad explosiva en los pasados 5000 años (0-1)	Recurrencia Eruptiva (0-4)	Flujos piroclásticos Holocenos (0-1)	Flujos de lava Holocenos (0-1)	Lahares Holocenos (0-1)	Tsunami Holoceno (0-1)	Potenciales explosiones hidrotermales (0-1)	Sector de colapso potencial (0-1)	Fuente primaria de lahar (0-1)	Actividad sísmica observada (0-1)	Deformación observable de la superficie (0-1)	Fumarola o desgasificación magmática (0-1)	Puntaje total de Factores de Peligro
Tacora	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	7
Taapaca	1	1	0	1	3	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	12
Parinacota	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	13
Guallatiri	1	1	0	1	4	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	14
Arintica	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5
Isluga	1	1	0	0	4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	11
Irruputuncu	1	1	0	1	3	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	11
Olca-Paruma	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	7
Aucanquilcha	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5
Ollagüe	1	1	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	9
Apacheta (Cerro del Azufre)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	6
San Pedro	1	1	1	1	4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	13
Putana	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	6
Sairecabur	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
Licancabur	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Alítar	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5
Colachi	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Acamarachi	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Láscar	1	2	1	1	4	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	16
Chiliques	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
Puntas negras	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Miscanti	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Miñiques	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Caichinque	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Pular	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Socompa	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	6
Llullaillaco	1	1	0	0	4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	9
Escorial	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Lastarria	1	1	1	0	2	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	12

Cordón del Azufre	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Nevados de Incahuasi	1	1	0	0	1	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	1	8
El Solo	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Tupungatito	1	0	0	0	4	0	1	0	0	1	0	1	1	0	10
Marmolejo	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6
San José	1	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	10
Maipo	1	0	0	0	4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	8
Palomo	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
Tinguiririca	1	1	0	0	3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	9
Planchón - Peteroa	1	1	0	1	4	1	0	1	0	1	1	1	1	0	14
Descabezado Chico	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	5
Descabezado Grande	1	1	1	1	4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	10
Cerro Azul-Quizapu	1	2	1	1	4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	13
San Pedro-Pellado	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	9
Laguna del Maule	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	6
Nevado de Longaví	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	9
Loma Blanca	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Nevados de Chillán	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	0	0	0	1	12
Antuco	1	0	0	0	4	0	1	1	0	0	1	0	0	0	9
Copahue	1	1	1	0	4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	15
Callaqui	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	6
Tolhuaca	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	7
Lonquimay	1	1	0	1	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	10
Llaima	1	1	1	0	4	1	1	1	0	0	1	1	1	0	14
Sollipulli	1	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	8
Caburgua	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Huelemolles	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Villarrica	1	1	1	1	4	1	1	1	1	0	0	1	1	0	15
Quetrupillán	1	1	0	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0	0	11
Lizán	0	0	0	0	2	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	9
Fui	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Mocho-Choshuenco	1	2	1	1	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	13
Charran-Los Venados	0	1	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	1	0	8
Cordillera Nevada	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4
Puyehue-Cordón Caulle	1	1	1	1	4	0	1	1	0	1	0	0	1	1	14
Grupo Antillanca	1	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	7
Puntiagudo-Cordón Cenizos	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	7
Osorno	1	1	0	1	3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	12
Cayutue	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Calbuco	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	14
Ralún	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Yate	1	1	1	0	2	0	1	1	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
Apagado o Hualaihué	1	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
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
Chaitén	1	2	1	1	3	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	14
Palvita	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Corcovado	1	1	0	0	3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	10
Yanteles	1	1	0	0	3	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	9
Alto Palena	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Melimoyu	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	9
Grupo Puyuhuapi	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Mentolat	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	6
Cay	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4
Macá	1	1	0	1	2	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	9
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
Viedma	1	1	0	0	3	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	8
Aguilera	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
Grupo Pali-Aike	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Monte Burney	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

3. Ranking de puntaje total de Factores de Exposición, Volcanes activos de Chile.

VOLCÁN	Log10 de la cantidad de población cercana al volcán (30km) (0-5.4)	Log10 de la población cercana a cursos de agua o valles fluviales (0-5.1)	Muertes históricas (0-1)	Evacuaciones históricas (0-1)	Exposición de la aviación local (0-2)	Exposición de la aviación regional (0-5.15)	Infraestructura de poder (0-1)	Infraestructura de transporte (0-1)	Zonas de mayor desarrollo y áreas sensibles (0-1)	Volcán es parte importante de una isla poblada (0-1)	Puntaje total de Factores de Exposición
Tacora	2,7	0,0	0	0	2	0	0	1	0	0	5,7
Taapaca	3,3	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,3
Parinacota	2,2	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	5,2
Guallatiri	2,1	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	5,1
Arintica	1,8	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	4,8
Isluga	0,3	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,3
Irruputuncu	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	0	0	4,0
Olca-Paruma	2,9	0,0	0	0	2	0	1	1	0	0	6,9
Aucanquilcha	1,2	0,0	0	0	2	0	0	1	0	0	4,2
Ollagüe	0,8	0,0	0	0	2	0	0	1	0	0	3,8
Apacheta (Cerro del Azufre)	1,3	0,0	0	0	2	0	1	1	0	0	5,3
San Pedro	1,5	0,0	0	0	2	0	0	1	0	0	4,5
Putana	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Sairecabur	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Licancabur	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Alítar	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Colachi	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Acamarachi	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Láscar	0,0	0,0	0	1	2	0	0	1	1	0	5,0
Chiliques	0,0	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	4,0
Puntas negras	0,0	0,0	0	0	1	0	0	1	1	0	3,0
Miscanti	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Miñiques	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Caichinque	0,0	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	4,0
Pular	0,0	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	4,0

Socompa	0,0	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	4,0
Llullaillaco	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Escorial	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Lastarria	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Cordón del Azufre	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Nevados de Incahuasi	0,0	0,0	0	0	1	0	0	0	0	0	1,0
Ojos del salado	0,0	0,0	0	0	1	0	0	0	1	0	2,0
El Solo	0,0	0,0	0	0	1	0	0	0	1	0	2,0
Tupungatito	0,0	0,0	0	0	2	0	1	0	0	0	3,0
Marmolejo	2,0	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,0
San José	2,2	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,2
Maipo	0,0	0,0	0	0	2	0	1	0	0	0	3,0
Palomo	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Tinguiririca	2,3	1,9	0	0	2	0	1	0	1	0	8,2
Planchón - Peteroa	0,0	2,1	0	0	2	0	1	1	1	0	7,1
Descabezado Chico	2,4	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,4
Descabezado Grande	1,1	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	5,1
Cerro Azul-Quizapu	2,4	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,4
San Pedro-Pellado	3,0	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	7,0
Laguna del Maule	1,4	0,0	0	0	2	0	0	0	0	0	3,4
Nevado de Longaví	3,4	0,0	0	0	2	0	1	1	0	0	7,4
Loma Blanca	3,0	0,0	0	0	2	0	0	0	0	0	5,0
Nevados de Chillán	3,3	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,3
Antuco	3,5	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,5
Copahue	0,0	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	4,0
Callaqui	3,1	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	7,1
Tolhuaca	4,2	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,2
Lonquimay	4,2	0,0	1	1	2	0	1	1	1	0	11,2
Llaima	3,8	0,0	1	1	2	0	0	1	1	0	9,8
Sollipulli	3,5	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,5
Caburgua	4,2	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,2
Huelmolles	4,2	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,2
Villarrica	4,7	0,0	1	0	2	0	1	1	1	0	10,7
Quetrupillán	3,7	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,7
Llizán	3,7	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	6,7
Lanin	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Fui	3,6	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	6,6
Mocho-Choshuenco	3,7	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	6,7
Charran-Los Venados	3,2	0,0	1	1	2	0	0	0	1	0	8,2
Cordillera Nevada	3,8	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,8
Puyehue-Cordón Caulle	3,7	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,7

Grupo Antillanca	2,9	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	7,9
Puntiagudo-Cordón Cenizos	2,7	0,0	0	0	2	0	1	0	1	0	6,7
Osorno	3,4	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,4
Cayutue	3,1	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,1
Calbuco	4,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	9,0
Ralún	3,2	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,2
Yate	3,4	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,4
Hornopirén	3,6	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,6
Apagado o Hualaihué	3,7	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	7,7
Huequi	2,8	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	6,8
Michinmahuida	3,6	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,6
Chaitén	3,6	0,0	0	1	2	0	1	1	1	0	9,6
Palvidad	3,6	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	8,6
Corcovado	1,3	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	6,3
Yanteles	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Alto Palena	0,0	0,0	0	0	2	0	1	1	1	0	5,0
Melimoyu	1,9	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	4,9
Grupo Puyuhuapi	2,7	0,0	0	0	1	0	1	1	1	0	6,7
Mentolat	3,4	0,0	0	0	1	0	0	0	1	0	5,4
Cay	3,4	0,0	0	0	1	0	1	0	1	0	6,4
Macá	3,1	0,0	0	0	1	0	1	1	1	0	7,1
Hudson	0,0	0,0	1	1	1	0	0	0	1	0	4,0
Lautaro	0,0	0,0	0	0	1	0	0	1	1	0	3,0
Viedma	0,0	0,0	0	0	1	0	0	1	1	0	3,0
Aguilera	0,0	0,0	0	0	1	0	0	1	1	0	3,0
Reclus	0,0	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	4,0
Grupo Pali-Aike	0,0	0,0	0	0	2	0	0	1	1	0	4,0
Monte Burney	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0
Fueguino o Cook	0,0	0,0	0	0	2	0	0	0	1	0	3,0

4. Puntaje total (Factores de peligro x Factores de exposición)

	Puntaje total de Factores de Peligro	Puntaje total de Factores de Exposición	Puntaje total (Peligro x Exposición)
VOLCÁN			
Tacora	7	5,7	39,81
Taapaca	12	7,3	87,25
Parinacota	13	5,2	67,40
Guallatiri	14	5,1	71,78
Arintica	5	4,8	23,89
Isluga	11	3,3	36,31
Irruputuncu	11	4,0	44,00
Olca-Paruma	7	6,9	48,42
Aucanquilcha	5	4,2	21,02
Ollagüe	9	3,8	34,61
Apacheta (Cerro del Azufre)	6	5,3	31,93
San Pedro	13	4,5	58,01
Putana	6	3,0	18,00
Sairecabur	5	5,0	25,00
Licancabur	5	5,0	25,00
Alítar	5	5,0	25,00
Colachi	3	5,0	15,00
Acamarachi	3	5,0	15,00
Láscar	16	5,0	80,00
Chiliques	5	4,0	20,00
Puntas negras	3	3,0	9,00
Miscanti	3	5,0	15,00
Miñiques	4	5,0	20,00
Caichinque	4	4,0	16,00
Pular	4	4,0	16,00
Socompa	6	4,0	24,00
Llullaillaco	9	3,0	27,00
Escorial	3	3,0	9,00

Lastarria	12	3,0	36,00
Cordón del Azufre	3	3,0	9,00
Nevados de Incahuasi	3	1,0	3,00
Ojos del salado	8	2,0	16,00
El Solo	3	2,0	6,00
Tupungatito	10	3,0	30,00
Marmolejo	6	6,0	35,92
San José	10	6,2	62,28
Maipo	8	3,0	24,00
Palomo	6	3,0	18,00
Tinguiririca	9	8,2	74,13
Planchón - Peteroa	14	7,1	99,40
Descabezado Chico	5	6,4	32,16
Descabezado Grande	10	5,1	50,79
Cerro Azul-Quizapu	13	6,4	83,13
San Pedro-Pellado	9	7,0	63,30
Laguna del Maule	6	3,4	20,39
Nevado de Longaví	9	7,4	66,60
Loma Blanca	3	5,0	14,92
Nevados de Chillán	12	8,3	99,53
Antuco	9	8,5	76,40
Copahue	15	4,0	60,00
Callaqui	6	7,1	42,55
Tolhuaca	7	9,2	64,59
Lonquimay	10	11,2	112,33
Llaima	14	9,8	136,89
Sollipulli	8	7,5	59,63
Caburgua	2	9,2	18,47
Huelemolles	2	9,2	18,48
Villarrica	15	10,7	159,98
Quetrupillán	11	8,7	95,42
Llizán	2	6,7	13,35
Lanin	9	3,0	27,00
Fui	2	6,6	13,28
Mocho-Choshuenco	13	6,7	86,54
Charran-Los Venados	8	8,2	65,44
Cordillera Nevada	4	7,8	31,40
Puyehue-Cordón Caulle	14	7,7	107,20
Grupo Antillanca	7	7,9	55,23
Puntiagudo-Cordón Cenizos	7	6,7	46,90
Osorno	12	7,4	88,72

Cayutue	2	8,1	16,16
Calbuco	14	9,0	125,99
Ralún	2	8,2	16,31
Yate	10	8,4	84,24
Hornopirén	8	7,6	60,40
Apagado o Hualaihué	6	7,7	45,95
Huequi	7	6,8	47,88
Michinmahuida	14	8,6	120,66
Chaitén	14	9,6	134,92
Palvidad	2	8,6	17,24
Corcovado	10	6,3	63,22
Yanteles	9	5,0	45,00
Alto Palena	3	5,0	15,00
Melimoyu	9	4,9	44,36
Grupo Puyuhuapi	4	6,7	26,91
Mentolat	6	5,4	32,51
Cay	4	6,4	25,60
Macá	9	7,1	63,81
Hudson	17	4,0	68,00
Lautaro	8	3,0	24,00
Viedma	8	3,0	24,00
Aguilera	8	3,0	24,00
Reclus	7	4,0	28,00
Grupo Pali-Aike	4	4,0	16,00
Monte Burney	8	3,0	24,00
Fueguino o Cook	3	3,0	9,00

5. Ranking final y categorías de amenaza

		VOLCÁN	Región	Peligro	Exposición	Total
Muy Alta	1	Villarrica	IX	15	10,70	159,98
	2	Llaima	IX	14	9,78	136,89
	3	Chaitén	X	14	9,64	134,92
	4	Calbuco	X	14	9,00	125,99
	5	Michinmahuida	X	14	8,62	120,66
	6	Lonquimay	IX	10	11,23	112,33
	7	Antuco	VIII	9	12,09	108,78
	8	Puyehue-Cordón Caulle	X	14	7,66	107,20
	9	Nevados de Chillán	VIII	12	8,29	99,53
	10	Planchón - Peteroa	VII	14	7,10	99,40
Alta	11	Quetrupillán	XIV	11	8,67	95,42
	12	Osorno	X	12	7,39	88,72
	13	Taapaca	XV	12	7,27	87,25
	14	Mocho-Choshuenco	X	13	6,66	86,54
	15	Yate	X	10	8,42	84,24
	16	Cerro Azul-Quizapu	VII	13	6,39	83,13
	17	Láscar	II	16	5,00	80,00
	18	Tinguiririca	VI	9	8,20	74,13
	19	Guallatiri	XV	14	5,13	71,78
	20	Hudson	XII	17	4,00	68,00
	21	Parinacota	XV	13	5,18	67,40
	22	Nevado de Longaví	VII	9	7,40	66,60
	23	Charran-Los Venados	X	8	8,18	65,44
	24	Tolhuaca	IX	7	9,23	64,59
	25	Macá	XI	9	7,09	63,81
	26	San Pedro-Pellado	VII	9	7,03	63,30
	27	Corcovado	X	10	6,32	63,22
	28	San José	RM	10	6,23	62,28
Moderada	29	Hornopirén	X	8	7,55	60,40
	30	Copahue	VIII	15	4,00	60,00
	31	Sollipulli	IX	8	7,45	59,63
	32	San Pedro	II	13	4,46	58,01
	33	Grupo Antillanca	X	7	7,89	55,23
	34	Descabezado Grande	VII	10	5,08	50,79
	35	Olca-Paruma	II	7	6,92	48,42
	36	Huequi	X	7	6,84	47,88
	37	Puntiagudo-Cordón Cenizos	X	7	6,70	46,90
	38	Apagado o Hualaihué	X	6	7,66	45,95
	39	Yanteles	X	9	5,00	45,00

	40	Melimoyu	XI	9	4,93	44,36
	41	Irruputuncu	I	11	4,00	44,00
	42	Callaqui	VIII	6	7,09	42,55
	43	Tacora	XV	7	5,69	39,81
Baja	44	Isluga	I	11	3,30	36,31
	45	Lastarria	II	12	3,00	36,00
	46	Marmolejo	RM	6	5,99	35,92
	47	Ollagüe	II	9	3,85	34,61
	48	Mentolat	XI	6	5,42	32,51
	49	Descabezado Chico	VII	5	6,43	32,16
	50	Apacheta (Cerro del Azufre)	II	6	5,32	31,93
	51	Cordillera Nevada	X	4	7,85	31,40
	52	Tupungatito	RM	10	3,00	30,00
	53	Reclus	XII	7	4,00	28,00
	54	Llullaillaco	II	9	3,00	27,00
	55	Lanin	XIV	9	3,00	27,00
	56	Grupo Puyuhuapi	XI	4	6,73	26,91
	57	Cay	XI	4	6,40	25,60
	58	Sairecabur	II	5	5,00	25,00
	59	Licancabur	II	5	5,00	25,00
	60	Alítar	II	5	5,00	25,00
	61	Socompa	II	6	4,00	24,00
	62	Maipo	RM	8	3,00	24,00
	63	Lautaro	XII	8	3,00	24,00
64	Viedma	XII	8	3,00	24,00	
65	Aguilera	XII	8	3,00	24,00	
66	Monte Burney	XII	8	3,00	24,00	
67	Arintica	XV	5	4,78	23,89	
Muy Baja	68	Aucanquilcha	II	5	4,20	21,02
	69	Laguna del Maule	VII	6	3,40	20,39
	70	Chiliques	II	5	4,00	20,00
	71	Miñiques	II	4	5,00	20,00
	72	Caburgua	IX	2	9,24	18,47
	73	Huelemolles	IX	2	9,20	18,40
	74	Putana	II	6	3,00	18,00
	75	Palomo	VI	6	3,00	18,00
	76	Palvitad	X	2	8,62	17,24
	77	Ralún	X	2	8,15	16,31
	78	Cayutue	X	2	8,08	16,16
	79	Caichinque	II	4	4,00	16,00
	80	Pular	II	4	4,00	16,00

81	Ojos del salado	III	8	2,00	16,00
82	Grupo Pali-Aike	XII	4	4,00	16,00
83	Colachi	II	3	5,00	15,00
84	Acamarachi	II	3	5,00	15,00
85	Miscanti	II	3	5,00	15,00
86	Alto Palena	X	3	5,00	15,00
87	Loma Blanca	VII	3	4,97	14,92
88	Llizán	XIV	2	6,68	13,35
89	Fui	XIV	2	6,64	13,28
90	Puntas negras	II	3	3,00	9,00
91	Escorial	II	3	3,00	9,00
92	Cordón del Azufre	II	3	3,00	9,00
93	Fueguino o Cook	XII	3	3,00	9,00
94	El Solo	III	3	2,00	6,00
95	Nevados de Incahuasi	III	3	1,00	3,00

6. Índice de Riesgo Volcánico Comunal

Comunas	Cantidad de población	Superficie de amenaza comunal km ²	IDH	Promedio Ranking Amenaza volcánica	Vulnerabilidad = (Pobla + Superf) / IDH	Vulnerabilidad * Ranking	Total NORM
General Lagos	519	1585,2	0,648	63,53	3247,22	206296,03	8,2
Putre	1526	4633,7	0,72	57,21	8555,14	489405,28	19,5
Arica	46	205,03	0,743	87,25	337,86	29478,29	1,1
Camarones	35	132,6	0,722	30,10	232,13	6987,20	0,2
Colchane	2	1692,7	0,628	36,31	2698,57	97984,96	3,9
Pica	826	1850,1	0,726	37,81	3686,09	139370,99	5,5
Ollagüe	7	2737,6	0,579	36,39	4740,24	172497,40	6,8
Calama	37	3185,6	0,743	32,71	4337,28	141889,82	5,6
San Pedro de Atacama	15	11520,4	0,667	21,85	17294,45	377814,62	15,0
Antofagasta	0	4472,3	0,761	20,17	5876,87	118513,01	4,7
Diego de Almagro	0	651,6	0,75	6,00	868,80	5212,80	0,1
Copiapó	0	2117,4	0,726	8,33	2916,53	24303,44	0,9
Tucapel	0	190,53	0,677	87,97	281,43	24756,24	0,9
San José de Maipo	169	3025,1	0,763	42,73	4186,24	178890,53	7,1
Machalí	0	1068,5	0,782	21,00	1366,37	28693,73	1,1
Requínoa	0	63,8	0,675	18,00	94,52	1701,33	0,0
Malloa	0	158,08	0,689	18,00	229,43	4129,81	0,1
San Fernando	217	1354,7	0,745	46,07	2109,66	97181,69	3,8
Romeral	0	1021,6	0,663	86,77	1540,87	133694,00	5,3
Yungay	0	79,9	0,688	99,53	116,13	11558,79	0,4
Curicó	0	581,1	0,716	60,78	811,59	49331,01	1,9
El Carmen	1491	141,3	0,611	99,53	2671,52	265896,59	10,6
Molina	4	914,2	0,656	66,37	1399,70	92897,77	3,6
Coihueco	0	921,5	0,608	99,53	1515,63	150850,16	6,0
Pemuco	0	38,2	0,598	99,53	63,88	6357,94	0,2
Santa Bárbara	0	2414,8	0,627	56,65	3851,36	218179,30	8,7
San Clemente	269	3204,1	0,633	49,95	5486,73	274084,10	10,9

Quilleco	0	259,7	0,618	76,40	420,23	32105,31	1,2
Quilaco	1235	726,1	0,668	73,16	2935,78	214769,81	8,5
Mulchén	0	248,7	0,628	53,57	396,02	21214,74	0,8
Antuco	3084	1676,8	0,632	87,97	7532,91	662632,55	26,4
San Fabián	0	563,1	0,611	60,35	921,60	55618,80	2,2
Parral	98	405,7	0,634	40,76	794,48	32382,98	1,2
Longaví	693	755,3	0,646	40,76	2241,95	91381,90	3,6
Victoria	0	84,4	0,646	64,59	130,65	8438,69	0,3
Colbún	929	2187,3	0,672	41,30	4637,35	191531,88	7,6
Linares	436	801,01	0,694	48,11	1782,44	85745,83	3,4
Lautaro	98	134,2	0,662	136,89	350,76	48014,89	1,9
Vilcún	2262	620,1	0,583	136,89	4943,57	676724,99	27,0
Lonquimay	3941	1459,1	0,618	93,36	8738,03	815782,10	32,6
Melipeuco	2563	1101,2	0,594	98,26	6168,69	606135,17	24,2
Curarrehue	1862	1014,8	0,633	55,45	4544,71	252004,04	10,0
Collipulli	0	246,7	0,642	64,59	384,27	24819,86	0,9
Cunco	438	1171,6	0,658	58,37	2446,20	142777,39	5,6
Curacautín	13155	1524,1	0,68	104,60	21586,91	2258055,73	90,3
Pinto	449	840,9	0,608	99,53	2121,55	211157,48	8,4
Pucón	14519	1231,6	0,667	54,07	23614,09	1276695,94	51,0
Villarrica	30546	869,6	0,679	54,07	46267,45	2501449,80	100,0
Río Bueno	3649	1160,9	0,645	64,82	7457,21	483353,94	19,3
Puyehue	528	1047,2	0,685	69,78	2299,56	160454,24	6,4
Futroneo	1135	1572,4	0,642	49,17	4217,13	207335,39	8,2
Panguipulli	5786	2484,4	0,605	65,93	13670,08	901241,21	36,0
Los Lagos	162	449,8	0,636	49,91	961,95	48010,91	1,9
Lago Ranco	2582	1626,6	0,632	64,82	6659,18	431627,89	17,2
Puerto Octay	1066	1378,3	0,69	63,62	3542,46	225357,38	8,9
Frutillar	0	145,07	0,668	107,36	217,17	23314,36	0,9
Llanquihue	0	49,8	0,691	125,99	72,07	9080,03	0,3
Puerto Varas	4963	3227,9	0,702	58,22	11667,95	679284,64	27,1
Hualaihué	2893	1951,9	0,673	59,62	7198,96	429180,39	17,1
Puerto Montt	4648	1103,1	0,72	66,58	7987,64	531801,02	21,2
Cochamó	1208	1909,8	0,667	51,73	4674,36	241781,42	9,6
Chaitén	4454	7197,9	0,706	63,42	16504,11	1046640,99	41,8
Futaleufú	0	23,2	0,696	120,66	33,33	4022,00	0,1
Cisnes	3073	7224,7	0,718	34,70	14342,20	497645,67	19,8
Palena	0	867,7	0,684	15,00	1268,57	19028,51	0,7
Aisén	0	2970,07	0,719	52,47	4130,83	216744,89	8,6
Lago Verde	0	200,3	0,592	26,91	338,34	9104,85	0,3
Coihaique	0	536,5	0,756	68,00	709,66	48256,61	1,9

O'Higgins	0	2478,1	0,685	24,00	3617,66	86823,94	3,4
Río Ibáñez	0	680,5	0,636	68,00	1069,97	72757,86	2,8
Tortel	0	100,05	0,578	24,00	173,10	4154,33	0,1
Torres del Paine	0	1522,5	0,693	28,00	2196,97	61515,15	2,4
Natales	0	5484,2	0,706	24,80	7767,99	192646,12	7,6
San Gregorio	0	677,8	0,805	16,00	841,99	13471,80	0,5
Navarino	0	813,2	0,824	9,00	986,89	8882,04	0,3

7. Categorías de Riesgo Volcánico comunal

Categoría	ID	Comunas	Total NORM
Muy Alta	1	Villarrica	100,0
	2	Curacautín	90,3
Alta	3	Pucón	51,0
	4	Chaitén	41,8
	5	Panguipulli	36,0
	6	Lonquimay	32,6
	7	Puerto Varas	27,1
	8	Vilcún	27,0
	9	Antuco	26,4
	10	Melipeuco	24,2
	11	Puerto Montt	21,2
	12	Cisnes	19,8
	13	Putre	19,5
	14	Rio Bueno	19,3
	15	Lago Ranco	17,2
	16	Hualaihué	17,1
Moderada	17	San Pedro de Atacama	15,0
	18	San Clemente	10,9
	19	El Carmen	10,6
	20	Curarrehue	10,0
	21	Cochamó	9,6
	22	Puerto Octay	8,9
	23	Santa Bárbara	8,7
	24	Aisén	8,6
	25	Quilaco	8,5
	26	Pinto	8,4
	27	Futrono	8,2
	28	General Lagos	8,2
	29	Natales	7,6
	30	Colbún	7,6
	31	San José de Maipo	7,1
	32	Ollagüe	6,8
	33	Puyehue	6,4
	34	Coihueco	6,0
Baja	35	Cunco	5,6
	36	Calama	5,6
	37	Pica	5,5
	38	Romeral	5,3
	39	Antofagasta	4,7

	40	Colchane	3,9
	41	San Fernando	3,8
	42	Molina	3,6
	43	Longaví	3,6
	44	O'Higgins	3,4
	45	Linares	3,4
	46	Río Ibáñez	2,8
	47	Torres del Paine	2,4
	48	San Fabián	2,2
Muy Baja	49	Curicó	1,9
	50	Coihaique	1,9
	51	Lautaro	1,9
	52	Los Lagos	1,9
	53	Parral	1,2
	54	Quilleco	1,2
	55	Arica	1,1
	56	Machalí	1,1
	57	Collipulli	0,9
	58	Tucapel	0,9
	59	Copiapó	0,9
	60	Frutillar	0,9
	61	Mulchén	0,8
	62	Palena	0,7
	63	San Gregorio	0,5
	64	Yungay	0,4
	65	Lago Verde	0,3
	66	Llanquihue	0,3
	67	Navarino	0,3
	68	Victoria	0,3
	69	Camarones	0,2
	70	Pemuco	0,2
	71	Diego de Almagro	0,1
	72	Tortel	0,1
	73	Malloa	0,1
	74	Futaleufú	0,1
	75	Requínoa	0,0

8. Datos comunales

ID	Comunas	Total NORM	Población Flotante	Pobres	Ingresos Propios permanentes (M\$)
1	Villarrica	100,0	94017	9257	1377779
2	Curacautín	90,3	28427	5343	203424
3	Pucón	51,0	108383	5332	3029113
4	Chaitén	41,8	7576	487	603.388
5	Panguipulli	36,0	21563	5819	765245
6	Lonquimay	32,6	4922	2894	142634
7	Puerto Varas	27,1	161151	3490	2.750.012
8	Vilcún	27,0	17529	2280	370122
9	Antuco	26,4	10489	554	76036
10	Melipeuco	24,2	9059	1321	30714
11	Puerto Montt	21,2	240687	21601	10536907
12	Cisnes	19,8	5308	538	205.514
13	Putre	19,5	3462	148	128.209
14	Rio Bueno	19,3	10476	7970	665079
15	Lago Ranco	17,2	4756	2407	154522
16	Hualaihué	17,1	6062	363	179163
17	San Pedro de Atacama	15,0	72663	286	1.023.045
18	San Clemente	10,9	23579	6757	781.230
19	El Carmen	10,6	0	4571	115311
20	Curarrehue	10,0	3586	1084	58875
21	Cochamó	9,6	2989	239	565087
22	Puerto Octay	8,9	10731	1152	335530
23	Santa Bárbara	8,7	11453	7044	385819
24	Aisén	8,6	13713	1287	851707
25	Quilaco	8,5	0	1172	87986
26	Pinto	8,4	35871	2793	357938
27	Futrono	8,2	6287	2831	410115
28	General Lagos	8,2	0	235	38373

29	Natales	7,6	70727	2214	978.622
30	Colbún	7,6	31298	4109	491969
31	San José de Maipo	7,1	20626	1589	926460
32	Ollagüe	6,8	129	48	75.975
33	Puyehue	6,4	68351	1618	552103
34	Coihueco	6,0	30240	6634	372102
35	Cunco	5,6	16569	3065	247025
36	Calama	5,6	100998	14613	7124624
37	Pica	5,5	9967	1476	1309261
38	Romeral	5,3	0	521	786084
39	Antofagasta	4,7	430051	21622	18.851.912
40	Colchane	3,9	0	837	63872
41	San Fernando	3,8	21898	5323	2880502
42	Molina	3,6	18884	6592	1072754
43	Longaví	3,6	0	3714	369583
44	O'Higgins	3,4	672	48	24663
45	Linares	3,4	38505	21212	2372459
46	Río Ibáñez	2,8	1820	162	36429
47	Torres del Paine	2,4	23511	108	115620
48	San Fabián	2,2	2475	1212	45079
49	Curicó	1,9	68193	13177	4511131
50	Coihaique	1,9	22245	6744	1899621
51	Lautaro	1,9	0	7355	696763
52	Los Lagos	1,9	7461	4360	472058
53	Parral	1,2	0	9575	874939
54	Quilleco	1,2	0	3367	182084
55	Arica	1,1	260681	34243	6802251
56	Machalí	1,1	12639	9098	1797134
57	Collipulli	0,9	0	7255	541685
58	Tucapel	0,9	0	2584	232986
59	Copiapó	0,9	140494	18625	5306902
60	Frutillar	0,9	17583	1440	457078
61	Mulchén	0,8	0	7446	560395
62	Palena	0,7	968	69	62736
63	San Gregorio	0,5	943	0	209141
64	Yungay	0,4	6002	4383	402208
65	Lago Verde	0,3	3099	76	23523
66	Llanquihue	0,3	12017	1963	608900
67	Navarino	0,3	5258	78	69678
68	Victoria	0,3	19138	8213	659332
69	Camarones	0,2	1560	56	27052

70	Pemuco	0,2	0	2511	408670
71	Diego de Almagro	0,1	14131	563	1421164
72	Tortel	0,1	193	111	67714
73	Malloa	0,1	0	1442	466260
74	Futaleufú	0,1	2356	96	39060
75	Requínoa	0,0	0	2234	1091807