



ONEMI
Oficina Nacional de Emergencia del
Ministerio del Interior



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política
Instituto de Geografía

METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

Por

Daniel Alejandro Pérez Contreras

Informe de Práctica Profesional presentado al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, como uno de los requisitos para optar al título profesional de Geógrafo.

Profesional a cargo ONEMI: Geógrafo José Abumohor

Comisión Informante UC: Jazmine Calabrese
Jorge Qüense
Claudio Tesser

Junio, 2012

Santiago, Chile

ÍNDICE

I.	RESUMEN	3
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
III.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
IV.	OBJETIVOS	9
	4.1. Objetivo General	9
	4.2. Objetivos Específicos.....	9
V.	METODOLOGÍA Y APLICACIÓN.....	10
	5.1. Características Generales de la Amenaza Volcánica y del Volcán Villarrica.....	10
	5.2. Unidades de Gestión	14
	5.3. Variables de Vulnerabilidad	15
	5.4. Ponderación de Variables y Determinación de Vulnerabilidad.....	20
	5.5. Aplicación n° 1: Determinación de Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la Amenaza de Lahar.....	26
	5.6. Aplicación n° 2: Determinación de Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la Amenaza de Caída de Piroclastos	37
	5.7. Aplicación n° 1: Amenaza de Lahar	44
	5.8. Aplicación n° 2: Amenaza de Caída de Piroclastos.....	47
	5.9. Determinación del Riesgo por Lahar y por Caída de Piroclastos.....	48
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
VII.	BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXO		55

I. RESUMEN

Este trabajo consiste en la elaboración de una metodología de Gestión del Riesgo Volcánico, y su posterior aplicación. Se definieron unidades territoriales, llamadas Unidades de Gestión, a partir de las Unidades Vecinales y de los Radios para la Gestión.

Se determinó la vulnerabilidad, amenaza y riesgo para cada Unidad de Gestión, considerando dos aplicaciones: amenaza de lahar y amenaza de caída de piroclastos, provenientes del volcán Villarrica, en la comuna del mismo nombre.

Palabras claves: Metodología, Gestión del Riesgo Volcánico, Volcán Villarrica, Comuna de Villarrica, Unidad de Gestión, Unidad Vecinal, Radios para la Gestión, Lahar, Caída de Piroclastos, Vulnerabilidad, Amenaza, Riesgo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a las características del territorio chileno, éste se encuentra en gran medida expuesto a los efectos de la actividad volcánica. Esto se debe a la ubicación del país en el margen suroriental del llamado “Círculo de Fuego del Pacífico”, el cual se caracteriza por su intensa actividad sísmica y volcánica producto del deslizamiento de placas de corteza oceánica y corteza continental. En Chile continental existen cerca de 500 volcanes con actividad en los últimos 2.5 millones de años, de los cuales alrededor de 120 podrían iniciar ciclos eruptivos, 61 han tenido erupciones en los últimos 450 años y 34 han manifestado algún tipo de actividad visible o cuantificable instrumentalmente. Los procesos volcánicos que pueden ser eventualmente peligrosos incluyen a las erupciones de lava, caída de tefra, formación de lahares y crecidas, emisión de gases y generación de lluvia ácida, flujos y/u oleadas piroclásticas, avalanchas volcánicas, actividad sísmica local y alteración físico-química de las aguas (ONEMI, 2006).

Por lo tanto, se hace necesario el estudio y la determinación del riesgo volcánico, para reducir los impactos en situaciones de desastres. El riesgo de origen natural corresponde a la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, tales como muertes, lesiones, daños a la propiedad y a los medios de vida, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental, como resultado de interacciones entre las amenazas naturales y las condiciones de vulnerabilidad (Baas et. al, 2009). Los factores del riesgo de origen natural son la amenaza y la vulnerabilidad. La ONU (Ayala-Carcedo, 1993) define al riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad y la exposición.

La amenaza natural corresponde a un proceso o fenómeno externo que puede ocasionar los efectos anteriormente mencionados. En el caso de la amenaza volcánica, los procesos corresponden a la actividad eruptiva, la cual puede ser de tipo efusiva (emisión tranquila y constante de lava), explosiva (expulsión violenta de magma), explosiva hidromagmática y gaseosa. La caracterización de la amenaza se debe realizar a partir de información disponible (geológica, geomorfológica, etc.), estatus del volcán (si éste es activo o no activo), última erupción, actividad explosiva, flujos piroclásticos, lahares y tsunamis, aspectos de la historia del volcán (mecanismo eruptivo, índice de explosividad volcánica IEV), existencia de obstáculos orográficos e identificación de valles que conduzcan a la ladera del volcán (SUBDERE, 2011). Por lo tanto, la

amenaza volcánica es la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico en un tiempo y área determinada, y está función de la intensidad, magnitud y duración del evento (SUBDERE, 2011).

En cambio, la vulnerabilidad son las características y las circunstancias de una comunidad, sistemas o bienes que lo hacen susceptible a los efectos dañinos de una amenaza (SUBDERE, 2011). La vulnerabilidad es la disposición interna de un sistema, objeto o sujeto a ser afectado por una amenaza (Vargas, 2002).

El análisis de vulnerabilidad respecto a una amenaza de tipo volcánica es sumamente complejo (SUBDERE, 2011), dado la multiplicidad de fenómenos que se originan mediante una erupción (caída de piroclastos, dispersión de cenizas, lava, deslizamiento de laderas, deformación de terreno, terremotos o temblores. En el caso de la vulnerabilidad física (es decir, de edificaciones, infraestructura crítica, etc.) ante un evento de tipo volcánico, como lahares, erupción o ceniza volcánica, todas las estructuras son casi igualmente vulnerables (CEPAL, 2005). La SUBDERE en cambio, establece factores y supuestos para establecer niveles de vulnerabilidad volcánica, y parámetros para caída de rocas y cenizas.

- Materialidad: a mayor resistencia mecánica, menor vulnerabilidad.
- Vida útil: entre peor es el estado de conservación, mayor vulnerabilidad.
- Período de construcción: a mayor edad de la construcción, mayor vulnerabilidad.

Además de los factores de vulnerabilidad asociados al aspecto de edificaciones e infraestructura, se debe considerara aspectos propios de la organización social y de gestión que poseen las comunidades para hacer frente a una emergencia o desastre de origen volcánico (ONEMI, 2006), como:

- Factores culturales de las comunidades locales.
- Nivel de conocimiento de las amenazas a las que está expuesta la comunidad.
- Nivel de capacitación y preparación de los organismos e instituciones componentes del sistema local de Protección Civil.
- Nivel de gestión frente al riesgo volcánico

Con el fin de reducir los efectos de los riesgos naturales, la **Gestión del Riesgo** es imprescindible para prepararse e iniciar una respuesta inmediata en cuanto el desastre golpea (Baas et. al, 2009). La Gestión del Riesgo consta de tres fases: una de Pre-Desastre, en donde se desarrollan actividades de evaluación de riesgo, prevención, mitigación y preparación (Baas et. al, 2009). Una segunda fase es la de Respuesta, la cual se inicia seguidamente después de ocurrida la alarma y tiene como objetivo realizar las operaciones de emergencia, es decir, acciones destinadas al control de la situación (por ejemplo, alojamiento temporal, búsqueda y rescate de personas, etc.) (D.S. 156 Plan Nacional de Protección Civil, 2002). Y finalmente, una tercera fase de Post-Desastre, la cual comienza después que el evento destructivo aconteció, y que consiste en la recuperación y rehabilitación de infraestructuras y servicios básicos, la reconstrucción de viviendas, etc. (Baas et. al, 2009).

El organismo encargado en Chile de velar por la gestión nacional en Protección Civil es la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI (ONEMI, 2006). ONEMI se inserta en la Gestión del Riesgo, a través de la planificación, articulación y ejecución de acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo, tanto de origen natural como aquellos provocados por la acción humana (D.S. 156 Plan Nacional de Protección Civil, 2002). Para ello, cuenta con un instrumento de planificación, el llamado “Plan Nacional de Protección Civil”.

Los Planes de Emergencia deben elaborarse y ejercitarse en la etapa de Pre-Desastre (Preparación) (ONEMI, 2006). Para ello, el Plan Nacional de Protección Civil dispone de una herramienta metodológica para el diseño del Plan, llamada ACCEDER:

- **Alerta/Alarma**
- **Comunicación e Información**
- **Coordinación**
- **Evaluación preliminar**
- **Decisiones**
- **Evaluación complementaria**
- **Readecuaciones**

Esta metodología determina los pasos y acciones fundamentales a cubrir para el control efectivo de la situación de emergencia (D.S. 156 Plan Nacional de Protección Civil, 2002). En el caso de ocurrencia de eventos volcánicos, existe la metodología ACCEVOL.

Es en la etapa Alerta/Alarma en donde se necesita saber con precisión y rapidez el nivel de vulnerabilidad del territorio afectado. Una alerta Roja se declara ante la presencia de sismicidad fuerte y recurrente, enjambres sísmicos, explosiones, caída de piroclastos y lahares. Se recomienda evacuar la población de zonas de riesgo alto y moderado, dependiendo de las características de la actividad eruptiva (ONEMI, 2006). ¿Qué grupos de población se deben priorizar ante una evacuación?, ¿Cuál es su nivel de preparación y accesibilidad?, ¿Dónde se ubican? Este tipo de preguntas se pueden responder si se cuenta con información de vulnerabilidad y amenaza que permita tomar decisiones certeras en el territorio respecto a una situación de riesgo volcánico.

III. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Por lo tanto, debido a la necesidad de realizar una adecuada Gestión del Riesgo en caso de alerta o alarma, es que se debe contar con información respecto a vulnerabilidad, amenaza y riesgo volcánico.

Dentro de las funciones del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) se encuentra la confección de cartografía de peligro volcánico, con énfasis en el aspecto geológico (BID-CEPAL, 2007). De esta forma, para lograr una comprensión del riesgo volcánico de un territorio, falta establecer el grado de vulnerabilidad de éste, el cual ha sido abordado tanto por las comunas (como el caso de Villarrica y su Plan de Prevención y de Respuesta por Actividad Volcánica ACCEVOL), como por organismos como ONEMI.

Sin embargo, se detecta que hay una prevalencia, en la determinación de vulnerabilidad, a reducirla a un tema de vulnerabilidad física o de edificaciones, dejando de lado o haciendo menos relevante el tema de la vulnerabilidad de la población. Como se pudo constatar luego del terremoto y posterior tsunami del 27 de febrero de 2010, aspectos culturales y de preparación son claves para la Gestión del Riesgo.

A partir del grado de amenaza y vulnerabilidad, se podrá determinar aquellas zonas con mayor grado de riesgo volcánico, y por lo tanto, los lugares que se deben apoyar tanto al nivel de planificación y asistencia, como en caso de alerta y alarma ante un evento volcánico.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Elaborar una metodología de determinación de Vulnerabilidad, Amenaza y Riesgo Volcánico, para la Gestión del Riesgo.

4.2. Objetivos Específicos

- Elaboración de una metodología de Vulnerabilidad ante actividad volcánica.
- Elaboración de una metodología de Amenaza ante actividad volcánica.
- Elaboración de una metodología de determinación del Riesgo Volcánico para la Gestión de Riesgo.
- Evaluación de la metodología de Gestión de Riesgo mediante aplicación al volcán y comuna de Villarrica, considerando dos fenómenos: lahar y caída de piroclastos.

V. METODOLOGÍA Y APLICACIÓN

5.1. Características Generales de la Amenaza Volcánica y del Volcán Villarrica

La actividad volcánica corresponde a diversas manifestaciones en la superficie terrestre, principalmente fumarolas, movimientos de tierra y termales, debido a procesos de transformación energética, geofísica y geoquímica que ocurren en el interior de la Tierra. Si además, estas manifestaciones son acompañadas de salida a la superficie de material fundido a altas temperaturas, llamado magma, en forma de lava, gases, cenizas y piroclastos, se está en presencia de una erupción volcánica (ONEMI, 2006).

Las principales amenazas asociadas a la actividad volcánica son las siguientes:

- *Sismicidad*: La generación de sismos se produce por movimiento de magma y la formación de fracturas asociadas, explosiones volcánicas, movimientos de masas a gran escala y esfuerzos tectónicos. En general, los sismos no sobrepasan los 5.0 Richter de magnitud y raras veces causan daños en sitios alejados del volcán (ONEMI, 2006).
- *Flujos piroclásticos*: Son masas secas y calientes (de 300° a más de 800° C) de escombros piroclásticos y gases que se movilizan rápidamente a ras de la superficie a velocidades con un rango de 10 a varios cientos de metros por segundo. El gran volumen de su masa y velocidad les permite a estos flujos sobrepasar barreras topográficas (ONEMI, 2006). Los peligros asociados con los flujos piroclásticos incluyen asfixia, entierro, incineración y lesiones por impacto y daños (OEA, 1993).
- *Bombas*: Materiales rocosos (piroclastos) de dimensiones mayores a 64 milímetros y que pueden alcanzar diámetros de hasta varios metros. El peligro de impacto es máximo cerca del cráter y decrece al incrementarse la distancia al mismo (ONEMI, 2006).
- *Caída de tefra*: La tefra está constituida por fragmentos de rocas y lavas (piroclastos) que han sido expulsados hacia la atmósfera y que luego caen nuevamente sobre la superficie. La tefra varía de tamaño desde ceniza (menores a 2 mm), a lapilli (2 – 64 mm) (ONEMI, 2006). La acumulación de tefra puede causar el colapso de construcciones, destrucción de líneas de energía y comunicación, perturbación del tráfico vehicular y daños a la

vegetación. La tefra suspendida en el aire puede causar problemas respiratorios, daños a motores y cortocircuitos (OEA, 1993).

- *Flujos de lava:* Dadas las bajas velocidades de los flujos de lavas, el peligro por estos flujos es bajo. El mayor peligro relacionado representa el daño parcial o la destrucción total por enterramiento, trituración o incendio de todo lo que éstos encuentren a su paso (ONEMI, 2006).
- *Lahar:* es una mezcla de escombros rocosos movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se origina en las pendientes de los volcanes debido al derretimiento de la nieve o del glaciar por contacto con lava o por un flujo piroclástico. Debido a su alta densidad y velocidad, pueden destruir vegetación y estructuras, tales como puentes y caminos (ONEMI, 2006).
- *Gases / lluvia ácida:* Los gases escapan desde el magma, o pueden ser emitidos por sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua. El anhídrido carbónico y el monóxido de carbono son inodoros y no pueden ser detectados por las personas. Ambos son venenosos y pueden asfixiar a seres humanos y animales. Los compuestos de azufre, cloruros y fluoruros reaccionan con el agua formando ácidos venenosos, nocivos para los ojos, la piel y el sistema respiratorio de seres humanos y animales (ONEMI, 2006).

En la aplicación de esta metodología, se consideró al **volcán Villarrica**, pues es uno de los más activos de Sudamérica y a sus pies se ubican localidades turísticas como Villarrica, Pucón, Licán Ray y Coñaripe (Ilustre Municipalidad de Pucón, 2010), además de otros centros poblados menores, los cuales podrían verse afectados por la actividad del mismo.

Respecto a la aplicación de esta metodología, se consideraron dos casos: **amenaza ante lahar, y amenaza ante caída de piroclastos, en la comuna de Villarrica.**

El volcán Villarrica está ubicado en el límite de las regiones de la Araucanía y de Los Ríos (39° 25'S y 71° 56'W), entre los lagos Villarrica y Calafquén, abarcando parte de las comunas de

Villarrica, Pucón y Panguipulli. Ocupa el extremo noroccidental del Parque Nacional Villarrica (Intendencia Región de la Araucanía, 2004).

Tiene una altitud de 2.847 msnm, presenta una forma cónica casi perfecta, y se construyó en el borde NW de una caldera formada en un edificio más antiguo. En la cima presenta un cráter de 200 m de diámetro y 50 a 100 de profundidad, en cuyo fondo se encuentra un lago de lava, que habitualmente sufre oscilaciones verticales y actividad eruptiva débil. Tanto el cono principal como su caldera están cubiertos por un glaciar de casquete de 40 km². Además, la nieve invernal lo cubre desde mayo a septiembre, con un extenso manto sobre la cota 1200 m (Ilustre Municipalidad de Pucón, 2010).

El análisis histórico indica que, desde 1558 hasta 1984-1985, el volcán Villarrica ha registrado 60 erupciones importantes desde el cono principal, cráteres adventicios y fisuras laterales. Durante estas erupciones, se produjo la emisión de coladas de lava, la formación de lahares y la proyección de piroclastos (Moreno, 2000).

El volcán Villarrica y sus cráteres adventicios han emitido coladas de lava de hasta 18 km de longitud, que han afectado especialmente, el sector norte, occidental y sur del edificio volcánico. Caída de piroclastos se producirían, principalmente, hacia el este-sureste del volcán, transportados por los vientos predominantes del oeste-noroeste, siendo la zona más vulnerable a este fenómeno, el sector comprendido entre Palguín y Coñaripe. Durante erupciones prehistóricas, bombas y bloques (piroclastos > 6,4 cm de diámetro) se han depositado hasta 23 km al este-sureste del volcán (Moreno, 2000).

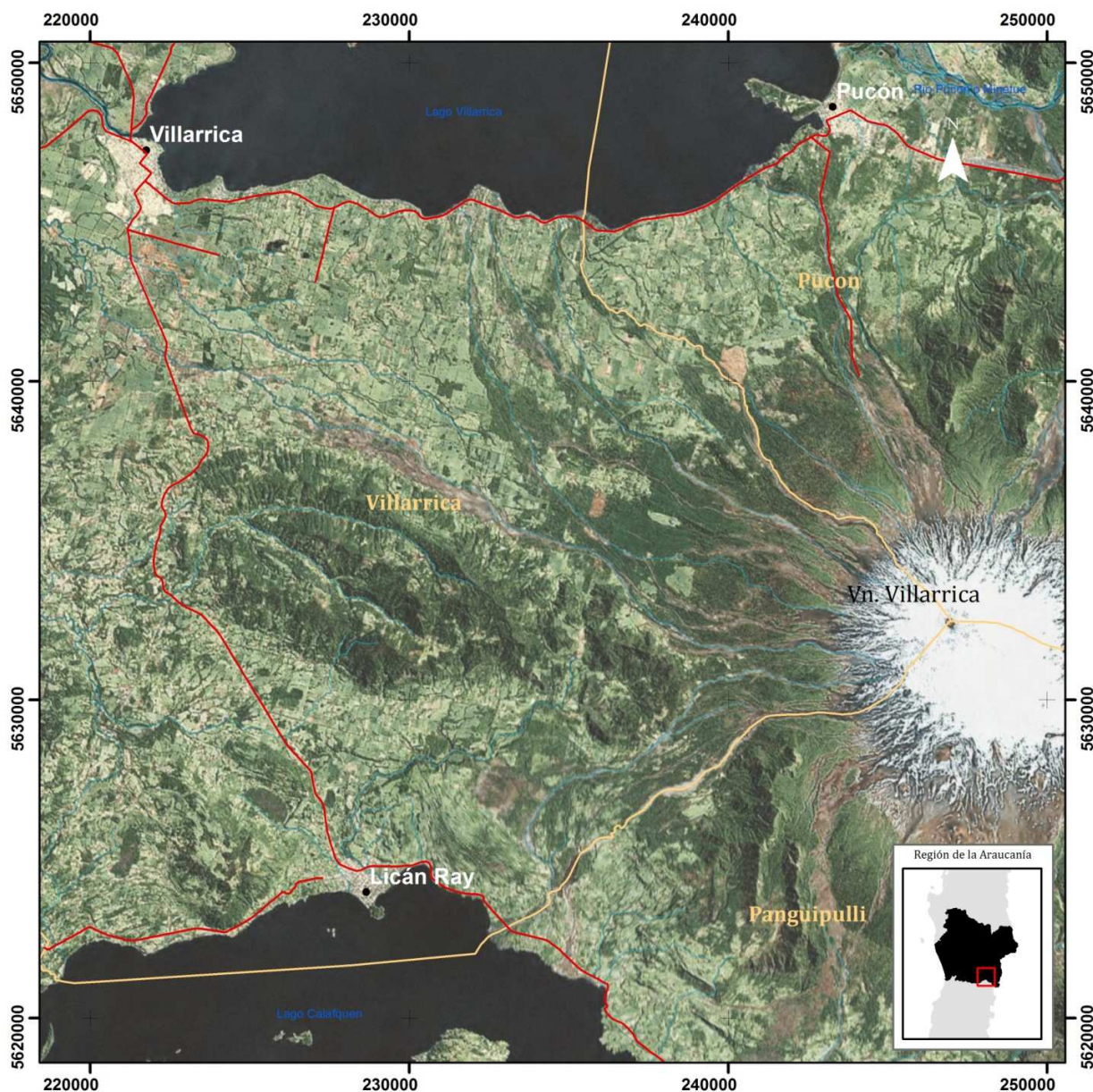
Las corrientes laháricas descenderían por los mismos cauces de las lavas, aunque precediéndolas en el tiempo, debido a su mayor velocidad de desplazamiento. Los principales cauces de descarga de lahares corresponden a los valles de los ríos Turbio-Pedregoso, Zanjón Seco-Carmelito, Correntoso, Molco-Huichatio, Voipir, Chaillupén y Seco-Llancahue (Coñaripe). El escenario para una eventual generación de lahares varía en función de la época del año y el espesor de la cubierta de nieve (Moreno, 2000).

El volcán ha emitido alrededor de 16 flujos piroclásticos. El tiempo de recurrencia documentado para erupciones explosivas, generadoras de flujos piroclásticos, varía entre 500 a 2000 años. La última de estas se produjo hace 1.620 AP (Moreno, 2000).



Carta n° 1

Área de Aplicación de Metodología de Gestión del Riesgo Volcánico



LEYENDA

- Poblados
- Red Vial
- División Comunal
- Cursos de agua

0 2,5 5 10 km

Datum: WGS 1984

Zona: 19S

Proyección: Transversal de Mercator

Autor: Daniel Pérez Contreras

5.2. Unidades de Gestión

Un primer paso en la elaboración de esta metodología, consistió en la definición de unidades territoriales, que en este trabajo se denominaron **Unidades de Gestión (UG)**. Para ello, se consideró tanto a las **Unidades Vecinales** directamente afectadas, como a los **Radios para la Gestión**, anillos de distancia respecto a un volcán que han sido utilizados hasta ahora en ONEMI para la gestión del riesgo volcánico.

Las **Unidades Vecinales** corresponden a los territorios en que se subdividen las comunas, para efecto de descentralizar asuntos comunales y promover la participación ciudadana y la gestión comunitaria, y en el cual se constituyen y desarrollan sus funciones las juntas de vecinos (Artículo 2, letra a), Ley sobre Juntas De Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias). Estas unidades son determinadas por el alcalde, de propia iniciativa o a petición de las juntas de vecinos o de los vecinos interesados, con el acuerdo del consejo y oyendo al consejo económico y social de la comunal, efecto para el cual tendrá en cuenta la continuidad física, la similitud de intereses y otros factores que constituyan el fundamento natural de agrupación de los vecinos (Artículo 38, Ley sobre Juntas De Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias).

Las Juntas de Vecinos son organizaciones comunitarias de carácter territorial representativas de las personas que residen en una misma Unidad Vecinal (Artículo 2, letra b), Ley sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias). Respecto a las funciones y atribuciones de ellas, se encuentra la colaboración con la municipalidad en la ejecución y coordinación de las acciones inmediatas que se requieran ante situaciones de catástrofe o de emergencia (Artículo 42, Ley sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias).

Se consideró a las Unidades Vecinales como la división territorial más adecuada para desarrollar esta metodología, pues la comunidad organizada (en este caso, las Juntas de Vecinos de cada Unidad Vecinal) corresponde a uno de los integrantes del sistema que ejerce la Protección Civil en Chile, junto con Organismos, Servicios e Instituciones tanto del sector público como del privado (D.S. 156 Plan Nacional de Protección Civil, 2002)

En el Plan Regional de Protección Civil de la Araucanía se establece que una de las misiones que debe cumplir la comunidad, para una eficaz organización en las fases de Prevención y Respuesta, es la conformación de Juntas de Vecinos y la designación de representantes ante el

Gobierno Comunal, para que se lleve un efectivo intercambio de información (Intendencia Región de la Araucanía, 2004).

En la carta n° 2 (ver ANEXO), se puede observar las actuales Unidades Vecinales de la comuna de Villarrica.

Los **Radios para la Gestión** son anillos que se han definido a 10, 20 y 30 kilómetros, entorno a volcanes y complejos volcánicos. Se establecen áreas de influencia, las que corresponden al espacio entre los radios. Hasta ahora se han utilizado estos radios de distancia en la Gestión del Riesgo, pues son de fácil entendimiento para los diferentes actores involucrados, sin necesidad de recurrir a topónimos y a nombres de localidades, lo cual puede llevar a confusiones.

Por lo tanto, las **Unidades de Gestión** (carta n° 3, ver ANEXO) se construyeron a partir de la intersección de las Unidades Vecinales de la comuna de Villarrica, y los Radios para la Gestión (de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 km de distancia), mediante un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS en este caso).

5.3. Variables de Vulnerabilidad

Para elaborar la metodología de vulnerabilidad, se establecieron los **factores y variables** que inciden en ella. Entre los factores que mencionados por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres IERD (2004), se encuentran:

- *Factores físicos:* Consideraciones y susceptibilidades con respecto a la ubicación y al entorno construido. Corresponde a la exposición. Se puede determinar mediante aspectos tales como la densidad de la población, lo apartado que se encuentra un asentamiento, el lugar, diseño y materiales que se utilizan en la construcción de infraestructura vital y las viviendas.
- *Factores sociales:* Tiene relación con el grado de bienestar de las personas, comunidades y la sociedad. En general, las personas menos privilegiadas, las minorías étnicas, y los muy jóvenes o muy ancianos, están expuestos a mayor riesgo. Los discapacitados son especialmente vulnerables, pues en situaciones de desastre cuesta mucho evacuarlos y preocuparse de ellos. CEPAL (2005) menciona otros aspectos a

considerar, tales como la distribución de la población en urbana y rural, por sexo, su crecimiento histórico y la distribución espacial de los asentamientos.

- *Factores económicos:* La población pobre es generalmente mucho más vulnerable que los segmentos más acomodados de la sociedad. Esto se relaciona con el hecho de que al producirse un desastre, lo más probable es que sus pérdidas seas proporcionalmente mayores y, al mismo tiempo, que su capacidad de recuperarse sea más limitada.
- *Factores ambientales:* Se refiere al grado de agotamiento de los recursos ambientales y su estado de degradación. Cuando disminuye el acceso a aire limpio, agua potable y saneamiento, y cuando las formas de gestión de los desechos son inadecuadas, puede aumentar la vulnerabilidad.

SUBDERE (2011) identifica tres factores para la construcción de una función de vulnerabilidad:

- *Factor Entorno:* corresponde a elementos como ubicación, topografía, suelo y condiciones geográficas del ambiente, con el fin de verificar si estos espacios donde se emplazan los componentes o sistemas (salud, educación, infraestructura, etc.) son frágiles por razones naturales.
- *Factor Función:* corresponde a la identidad propia que tiene el sistema en estudio. Implica un análisis del tipo de servicio que presta, su organización, distinción de componentes que lo conforman, relaciones entre componentes análisis jerárquico de toma de decisiones, cobertura.
- *Factor Físico:* también conocido como análisis de infraestructura y equipamiento, corresponde al análisis de los elementos estructurales (columnas, vigas, marcos, pisos, muros) y no estructurales (cielo, paredes livianas, ventanas, etc.).

Debido a que la presente metodología corresponde a una de Gestión del Riesgo, y no a una con fines de ordenamiento territorial, se decidió considerar los factores y variables mencionados por IERD (2004) Y SUBDERE (2011), pero realizando los cambios necesarios para este trabajo.

Además, se revisaron las variables consideradas por Cecilia Díaz Escobar en su documento de práctica realizada en ONEMI, llamada “Propuesta Metodológica para la Determinación de Áreas Vulnerables, Aplicación Piloto: Provincia de Cordillera”.

Respecto a los **rangos** de cada variable de vulnerabilidad, estos se establecieron tomando en consideración el tipo de fenómeno volcánico (lahar o caída de piroclastos), así los como valores mínimos y máximos presentes en las Unidades de Gestión.

El método utilizado para establecer los rangos fue el de **Quiebre Natural (o de Jenks)**, el cual es utilizado por defecto en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS. Las clases obtenidas a partir del Quiebre Natural están basadas en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los quiebres de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Los límites de las clases quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos (ArcGIS Resource Center, 2012).

A cada rango se le asoció un **nivel de vulnerabilidad** (Alta, Moderada y Baja), y un **puntaje** (3, 2 y 1, respectivamente).

Respecto a los datos de población necesarios para la aplicación de esta metodología (número de población, número de viviendas, edad, ocupación, discapacidad), se recurrió a los datos censales (2002) disponibles en el programa REDATAM. Las Unidades de Gestión **no** coinciden con las unidades geográficas establecidas en el Censo, como los distritos censales y localidades rurales. Se decidió entonces considerar los datos proporcionados por una unidad geográfica censal menor, las **entidades rurales**.

Las entidades rurales y sus datos asociados, que se encuentran en formato digital, son consideradas puntos en el espacio, cuando en realidad son áreas. Por lo tanto, para establecer las características de la población de cada Unidad de Gestión, se consideró a aquellas entidades que coinciden con los límites de cada Unidad, y que se encuentran expuestas a la amenaza (ya sea lahar o piroclastos). Por lo tanto, los datos respecto a población y a vivienda son una aproximación, y pueden o no corresponder con la realidad.

A continuación, se presentan las variables de vulnerabilidad consideradas en esta metodología:

- **Población**

Corresponde al número de habitantes de cada Unidad de Gestión. Se consideró esta variable pues a mayor población de una unidad territorial, más compleja es la Gestión del Riesgo (por ejemplo, en caso de realizar labores de evacuación, o de entrega de ayuda e información), y por lo tanto, mayor es el nivel de vulnerabilidad asociada de una unidad ante una amenaza natural.

- **Viviendas**

Corresponde al número de viviendas por Unidad de Gestión. No se incluyó a la materialidad de las viviendas como variable, pues debido a la magnitud que pueden alcanzar los procesos de origen volcánico (lahares, caída de piroclastos, coladas de lava y flujo piroclástico), todas las estructuras son igualmente vulnerables. Se consideró que a mayor número de viviendas, mayor es el nivel de vulnerabilidad de una Unidad de Gestión ante una amenaza natural.

- **Edad**

Se utilizó esta variable pues la población muy joven (menor a 15 años) o mayor de 65 años, es particularmente vulnerable ante una amenaza natural, pues en general no es autónoma, no es consciente de los riesgos, es físicamente frágil o muchas veces demanda cuidado particulares (D'Ercole & Metzger, 2004).

En esta metodología, se consideró que una unidad territorial posee un mayor nivel de vulnerabilidad cuando hay un mayor porcentaje de población perteneciente a estos grupos, respecto al total de población de cada Unidad de Gestión.

- **Discapacidad**

La población discapacitada corresponde a aquella que declara durante el Censo tener sordera, ceguera, mudez, ser lisiado o deficiente mental. Esta variable influye sobre la vulnerabilidad de la población ante amenazas naturales, pues al igual que la variable edad, las

personas con estas condiciones en general no son autónomas o pueden no ser conscientes de los riesgos.

Por lo tanto, se consideró que una unidad posee un mayor nivel de vulnerabilidad cuando hay un mayor porcentaje de población perteneciente a este grupo, respecto al total de población de la Unidad de Gestión.

- **Ocupación**

En ONEMI y otros servicios relacionados a la Gestión del Riesgo, se ha observado reticencia por parte de los trabajadores del rubro silvoagropecuario y de pequeños agricultores y ganaderos de abandonar sus propiedades en caso de evacuación, debido a posibles robos y a la necesidad de cuidado de plantaciones y animales. Por lo tanto, una unidad que posea un mayor porcentaje de población dedicada a labores silvoagropecuarias, posee un mayor nivel de vulnerabilidad ante una amenaza.

Para obtener información sobre la ocupación de la población, se utilizaron los datos proporcionados por el Censo, disponibles en el programa REDATAM. Se estableció el porcentaje de población empleada en ocupaciones silvoagropecuarias, en relación al total de población de cada Unidad de Gestión. Los grupos considerados fueron agricultores y trabajadores calificados de explotaciones agropecuarias, forestales y pesqueras con destino al mercado (código de ocupación: 61), trabajadores agropecuarios y pesqueros de subsistencia (código de ocupación: 62), y peones agropecuarios, forestales, pesqueros y afines (código de ocupación: 92).

- **Conectividad Terrestre**

Ante una situación de emergencia, la conectividad terrestre es suma importancia, pues permite una adecuada movilización de recursos y personas. Si la conectividad terrestre de una Unidad de Gestión es deficiente, mayor es la vulnerabilidad de dicha unidad.

Para establecer el nivel de conectividad terrestre de cada Unidad de Gestión, y así determinar su nivel de vulnerabilidad, se integraron dos aspectos claves que influyen sobre ella: la **calidad de la red vial**, medida a través del tipo de carpeta, y la **densidad de la red vial**.

- **Accesibilidad**

El acceso por vía marítima / lacustre, por vía terrestre, o por vía aérea es esencial en una situación de emergencia. Muchos puentes y caminos pueden quedar parcial o totalmente inutilizables, a partir de la ocurrencia de fenómenos tales como los lahares. Además, la ceniza volcánica puede obstruir caminos y dificultar traslados aéreos, debido a que puede dañar los motores de aviones y helicópteros.

El acceso por vía marítima fue muy importante durante la erupción del volcán Chaitén (2008). La evacuación se realizó principalmente por esta vía, trasladando a las personas en barcas a albergues y casas de familiares en Chiloé y Puerto Montt.

Por lo tanto, se establecieron intervalos de distancia (0 – 5 km, 5 – 10 km, > 10 km) respecto a los elementos críticos que determinan la accesibilidad: distancia a la costa, distancia a aeropuertos o aeródromos, y distancia a caminos principales. Cada uno de estos elementos críticos fue tratado individualmente, aplicándoles anillos de distancia.

5.4. Ponderación de Variables y Determinación de Vulnerabilidad

Debido a que la importancia, jerarquía o peso de cada variable no es la misma, se hizo necesario ponderar el valor de cada una de ellas para el cálculo de la vulnerabilidad de cada Unidad de Gestión.

Una de las formas de determinar estas ponderaciones es a través del **Método de Análisis Jerárquico** propuesto por Thomas Saaty (1980), utilizado usualmente en evaluación multicriterio. Se trata de un procedimiento de comparación por pares de variables, que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de variables a ponderar. Así se establece una matriz de comparación entre pares de variables, comparando la importancia de cada uno de ellas con los demás. Posteriormente, se establece el eigenvector principal, el cual establece los pesos (W), que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de variables (Saaty, 1980). Para llenar esta matriz, la escala de medida que se utiliza es la siguiente (cuadro n° 1):

Cuadro n° 1. Escala de comparación de Saaty.

Cuando la variable i, al compararla con j, es	Valor
Absolutamente menos importante	1/9
Demostablemente menos importante	1/7
Notablemente menos importante	1/5
Ligeramente menos importante	1/3
Igualmente importante	1
Ligeramente más importante	3
Notablemente más importante	5
Demostablemente más importante	7
Absolutamente más importante	9

Fuente: Saaty, 1980.

Una vez realizada la asignación de valores de cada uno de los elementos de la matriz de comparación por pares (cuadro n° 2), se sumó el resultado de la primera columna y se dividió cada elemento de esta columna por la referida suma. Se hizo lo mismo con el resto de las columnas (Márquez, 2009).

Luego, se sumaron por filas los elementos obtenidos de la división. Esta suma se dividió por el número de variables consideradas, que en este caso corresponde a 7. Así se obtuvo W, el peso asignado a cada variable (cuadro n° 3).

Cuadro n° 2. Matriz de comparación entre pares de variables y resultado de suma de columnas.

VARIABLES	Población	Viviendas	Edad	Ocupación	Discapacidad	Conectividad Terrestre	Accesibilidad
Población	1,00	3,00	9,00	9,00	7,00	5,00	5,00
Viviendas	0,33	1,00	7,00	7,00	5,00	3,00	3,00
Edad	0,11	0,14	1,00	0,33	0,33	0,14	0,14
Ocupación	0,11	0,14	3,00	1,00	0,33	0,14	0,14
Discapacidad	0,14	0,20	3,00	3,00	1,00	0,20	0,20
Conectividad	0,20	0,33	7,00	7,00	5,00	1,00	3,00
Accesibilidad	0,20	0,33	7,00	7,00	5,00	0,33	1,00
Σ	2,10	5,15	37,00	34,33	23,66	9,82	12,49

Fuente: elaboración propia.

Cuadro n° 3. Matriz de comparación dividida por suma de columnas, y peso de las variables (W).

VARIABLES	Población	Viviendas	Edad	Ocupación	Discapacidad	Conectividad Terrestre	Accesibilidad	Σ	W (Σ / 7)
Población	0,48	0,58	0,24	0,26	0,30	0,51	0,40	2,77	0,40
Viviendas	0,16	0,19	0,19	0,20	0,21	0,31	0,24	1,50	0,21
Edad	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,16	0,02
Ocupación	0,05	0,03	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01	0,23	0,03
Discapacidad	0,07	0,04	0,08	0,09	0,04	0,02	0,02	0,35	0,05
Conectividad	0,10	0,06	0,19	0,20	0,21	0,10	0,24	1,11	0,16
Accesibilidad	0,10	0,06	0,19	0,20	0,21	0,03	0,08	0,88	0,13

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, la importancia de este método radica en que luego de la asignación de pesos (W), otorga una medida global de **consistencia de la matriz** que permite valorar la relación de las variables entre sí determinando su coherencia y pertinencia (Ramírez, 2004).

La razón de consistencia (RC) es el cociente entre el índice de consistencia (CI) y un índice aleatorio (RI) tabulado por Saaty según el orden de la matriz. Dado que la matriz considerada es de 7 x 7, el índice aleatorio es de 1,32.

$$RC = \frac{CI}{RI} = \frac{CI}{1,32}$$

La ecuación del Índice de Consistencia (CI) es la siguiente:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde:

$\lambda_{\max}$: representa el eigenvalor principal de la matriz de comparación por pares

n : es el número de filas o columnas de la matriz (el número de variables considerados en la matriz)

Para estimar $\lambda_{\max}$, se multiplicó la matriz de comparación por pares (cuadro n° 2) por el eigenvector W (el peso asignado a cada variable). Esta matriz resultante se dividió por el eigenvector W. El valor de $\lambda_{\max}$ corresponde a la media de los componentes de este último vector, que en este caso es de 7,83 (cuadro n° 4).

Al calcular CI, se obtuvo:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{7,83 - 7}{6} = 0,13$$

Finalmente, con el valor del índice de consistencia (CI), se calculó la razón de consistencia (RC):

$$RC = \frac{CI}{RI} = \frac{CI}{1,32} = \frac{0,13}{1,32} = 0,1$$

Para que la consistencia de los juicios emitidos en la matriz de comparación por pares sea aceptable, no se debe sobrepasar el 0,1 de razón de consistencia, por lo que la matriz realizada tiene un valor aceptable (0,1).

Cuadro n° 4. Obtención de λ_{max} .

VARIABLES	Población	Viviendas	Edad	Ocupación	Discapacidad	Conectividad Terrestre	Accesibilidad		W	V	V/W
Población	1,00	3,00	9,00	9,00	7,00	5,00	5,00		0,40	3,31	8,37
Viviendas	0,33	1,00	7,00	7,00	5,00	3,00	3,00		0,21	1,84	8,56
Edad	0,11	0,14	1,00	0,33	0,33	0,14	0,14		0,02	0,17	7,36
Ocupación	0,11	0,14	3,00	1,00	0,33	0,14	0,14	x	0,03	=	0,23 7,05
Discapacidad	0,14	0,20	3,00	3,00	1,00	0,20	0,20		0,05	0,37	7,38
Conectividad	0,20	0,33	7,00	7,00	5,00	1,00	3,00		0,16	1,33	8,39
Accesibilidad	0,20	0,33	7,00	7,00	5,00	0,33	1,00		0,13	0,97	7,73

Fuente: elaboración propia.

$$\lambda_{max} = 7,83$$

De esta forma, una vez obtenidos los pesos de las variables y haber sido probada su consistencia, se obtuvo la siguiente ecuación para determinar el nivel de vulnerabilidad de cada Unidad de Gestión:

$$VUG = 0,4P + 0,21V + 0,02E + 0,03O + 0,05D + 0,16C + 0,13A$$

Donde,

VUG: Vulnerabilidad de la Unidad de Gestión

P: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Población en la Unidad de Gestión

V: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Viviendas en la Unidad de Gestión

E: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Edad en la Unidad de Gestión

O: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Ocupación en la Unidad de Gestión

D: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Discapacidad en la Unidad de Gestión

C: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Conectividad en la Unidad de Gestión

A: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Accesibilidad en la Unidad de Gestión

5.5. Aplicación n° 1: Determinación de Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la Amenaza de Lahar

Para determinar la vulnerabilidad de las unidades de gestión ante la amenaza de lahar, se utilizaron las Unidades de Gestión previamente establecidas (carta n° 3, ver ANEXO), además de considerar la exposición de ellas respecto a la amenaza de lahar.

Para el cálculo de la vulnerabilidad, sólo se consideraron a las Entidades de la Unidad de Gestión expuestas efectivamente a la amenaza de lahar. En la carta n° 4 (ver ANEXO), se puede observar la relación entre Unidades de Gestión, zonas expuestas a la amenaza de lahar, y las Entidades consideradas.

A continuación, se presentarán en un cuadro los rangos, nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado para cada variable, así como una figura que representa espacialmente dichos niveles de vulnerabilidad en cada Unidad de Gestión.

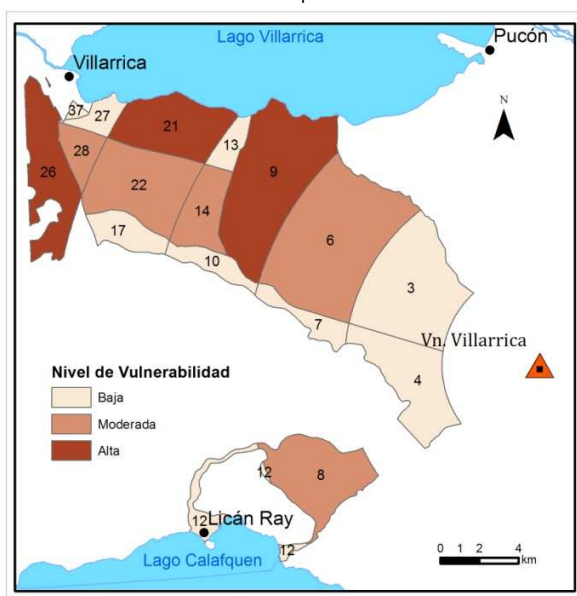
- **Población**

Cuadro n° 5. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado a población.

Población	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
7 - 212	Baja	1
287 - 497	Moderada	2
794 - 1061	Alta	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 1. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a población



Fuente: elaboración propia.

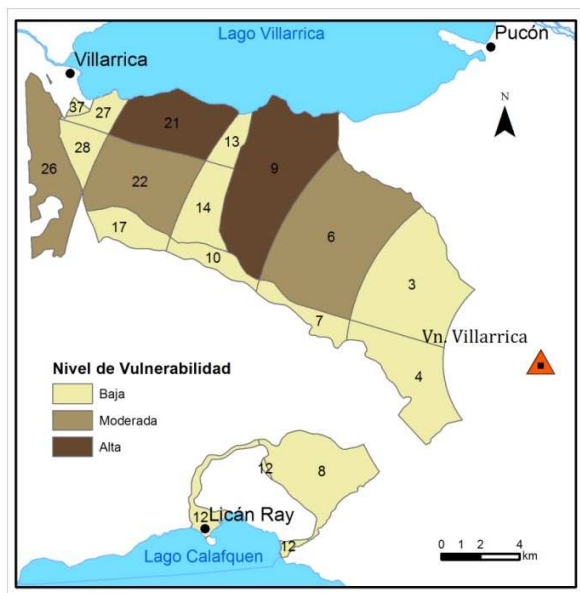
- **Viviendas**

Figura n° 2. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado al número de viviendas.

Cuadro n° 6. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al número de viviendas.

Número de viviendas	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
6 - 79	Bajo	1
153 - 277	Moderado	2
568 - 680	Alto	3

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

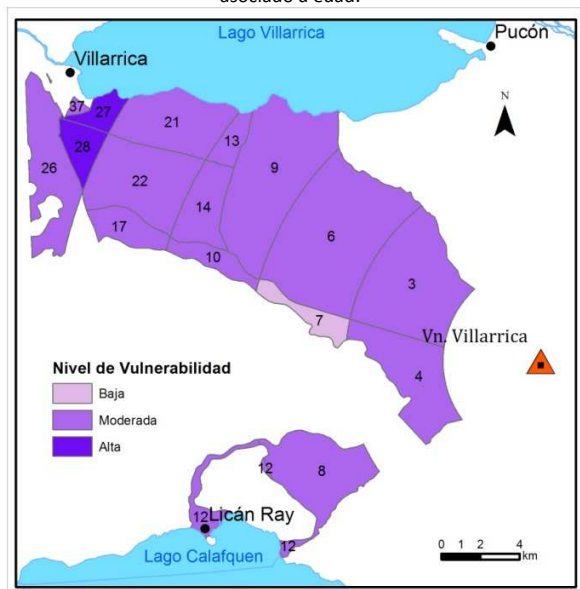
- **Edad**

Figura n° 3. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a edad.

Cuadro n° 7. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al porcentaje de personas menores de 15 años o mayores de 65 años.

% de personas menores de 15 años o mayores de 65 años	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
26,98% - 37,00%	Bajo	1
38,00% - 41,10%	Moderado	2
44,40% - 58,00%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

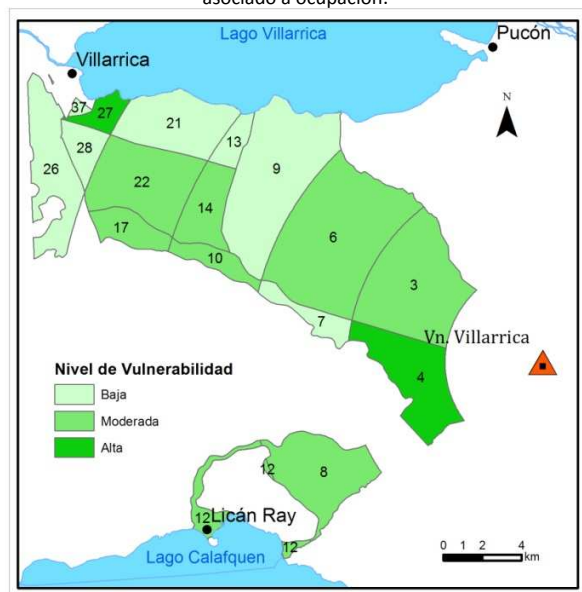
- **Ocupación**

Cuadro n° 8. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al porcentaje de personas empleadas en ocupaciones silvoagropecuarias.

% de empleados en ocupaciones silvoagropecuarias	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
0,0% - 6,9%	Bajo	1
8,4% - 13,1%	Moderado	2
19,0% - 31,5%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 4. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a ocupación.



Fuente: elaboración propia.

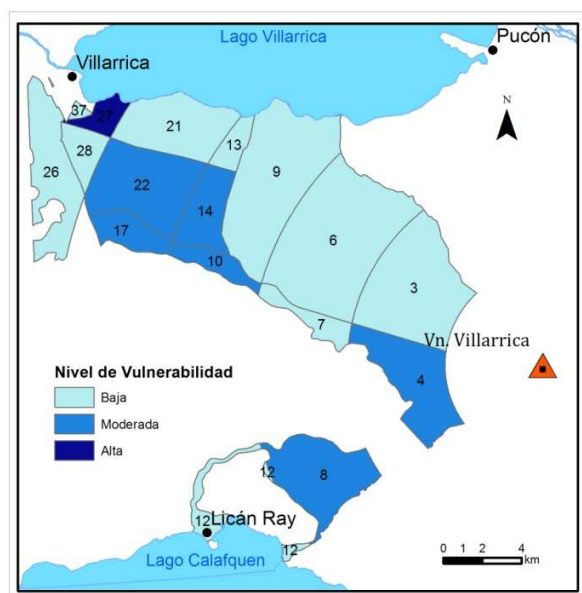
- **Discapacidad**

Figura n° 5. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a discapacidad.

Cuadro n° 9. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al porcentaje de personas discapacitadas.

% de personas discapacitadas	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
0,0% - 3,0%	Bajo	1
4,0% - 5,6%	Moderado	2
14,2%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

- **Conectividad Terrestre**

Como se mencionó anteriormente, para establecer el nivel de conectividad terrestre de cada Unidad de Gestión, y así determinar su nivel de vulnerabilidad, se integraron dos aspectos claves:

- Carpeta de la Red Vial

A partir del tipo de carpeta predominante, se determinó el nivel de vulnerabilidad de la red vial. En el cuadro n° 10, se puede observar la relación establecida entre tipo de carpeta predominante en la Unidad de Gestión, la calidad de ésta y el puntaje asociado. A mayor puntaje, menor es la calidad del tipo de carpeta.

Cuadro n° 10. Puntaje asociado al tipo de carpeta predominante.

Tipo de carpeta	Puntaje
Pavimento	1
Ripio	2
Tierra	3

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el tipo de carpeta predominante en cada Unidad de Gestión, se utilizó un **cálculo de promedio ponderado**, considerando la longitud de cada tipo de carpeta presente en las Unidades.

Las longitudes de cada tipo de carpeta presentes en cada Unidad de Gestión se multiplicaron por el puntaje señalado en el cuadro n° 10 (Tierra: 3, Ripio: 2, Pavimento: 1). Luego, este resultado se sumó y se dividió por la longitud total de la red vial de cada Unidad de Gestión considerada.

A continuación, se presenta la ecuación utilizada para el cálculo del promedio ponderado de calidad de la red vial de cada Unidad de Gestión, donde:

L1: Longitud de la red vial de baja vulnerabilidad de la Unidad de Gestión.

L2: Longitud de la red vial de moderada vulnerabilidad de la Unidad de Gestión.

L3: Longitud de la red vial de alta vulnerabilidad de la Unidad de Gestión.

LUG: Longitud total de la red vial de la Unidad de Gestión.

PPUG: Promedio ponderado de calidad de la red vial por Unidad de Gestión.

$$\frac{(L1 \times 1) + (L2 \times 2) + (L3 \times 3)}{LUG} = PPUG$$

Para obtener la calidad de la red vial de cada Unidad de Gestión, se determinaron intervalos, con los cuales se clasificaron los resultados obtenidos anteriormente. Considerando que el valor máximo es 3, y el valor mínimo es 1, el rango (R) corresponde a 2. A su vez, se desea establecer 3 intervalos (I). Por lo tanto, la amplitud de cada intervalo es R/I, lo que corresponde a 0,67 aproximadamente.

Los intervalos establecidos para clasificar el valor PPUG de cada unidad y así establecer la calidad de la red vial de cada Unidad de Gestión, son los siguientes:

$[1 - 1,67[= \text{Unidad de Gestión con red vial de alta calidad. Puntaje: 1}$

$[1,67 - 2,34[= \text{Unidad de Gestión con red vial de media calidad. Puntaje: 2}$

$[2,34 - 3] = \text{Unidad de Gestión con red vial de baja calidad. Puntaje: 3}$

- Densidad de la Red Vial

Se consideró la densidad de la red vial como uno de los aspectos de la vulnerabilidad, pues a medida que la red vial es más densa y compleja, hay más oportunidades para que se pueda prestar

ayuda o se pueda realizar una evacuación. Por lo tanto, a mayor densidad de la red vial, existe un menor nivel de vulnerabilidad en la Unidad de Gestión.

Se calculó la relación entre el número de kilómetros de vías y los kilómetros cuadrados de cada Unidad de Gestión considerada. Cada uno de los rangos establecidos tiene asociado un puntaje. A menor densidad de la red vial, mayor es el puntaje asociado (cuadro n° 11).

Cuadro n° 11. Densidad de la red vial y puntaje asociado.

Densidad de la red vial	Puntaje
1,10 – 1,87	1
0,42 – 0,79	2
0,00 – 0,34	3

Fuente: elaboración propia.

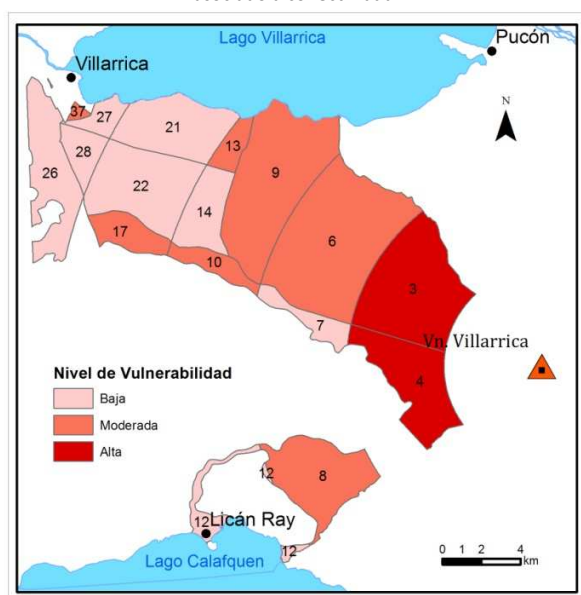
A partir de la suma lineal de los puntajes de calidad y densidad de la red vial de las Unidades de Gestión, se obtuvo el nivel de vulnerabilidad, asociado los rangos de conectividad terrestre. En el cuadro n° 12 y en la figura n° 6 se muestran los distintos rangos que se pueden obtener a partir de la suma lineal, así como el nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado.

Cuadro n° 12. Rangos de conectividad terrestre y puntaje de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Conectividad Terrestre	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
[2 – 3,34[	Bajo	1
[3,34 – 4,67[	Moderado	2
[4,67 – 6]	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 6. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a conectividad



Fuente: elaboración propia.

- **Accesibilidad**

A continuación, se presentan los rangos de distancia que se aplicaron a los elementos críticos mencionados (costa, caminos principales y aeródromo), así como el puntaje asociado (cuadro n° 13).

Cuadro n° 13. Distancia a elementos críticos de accesibilidad y puntaje asociado.

Distancia a elementos críticos de accesibilidad	Puntaje
0 – 5 km	1
5 – 10 km	2
> 10 km	3

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, en una Unidad de Gestión pueden existir distintos intervalos de distancia respecto al elemento crítico considerado, por lo que se optó por realizar un **cálculo de promedio ponderado** para obtener un valor que represente a la Unidad completa. Como se mencionó anteriormente, el cálculo se hizo individualmente por elemento crítico: distancia a la costa, a aeródromo y a camino principal.

Las áreas de los anillos de distancia presentes en cada Unidad de Gestión se multiplicaron por el puntaje señalado en el cuadro n° 13. Luego, este resultado se sumó y se dividió por el área total de la Unidad de Gestión considerada.

A continuación, se presenta la ecuación utilizada para el cálculo del promedio ponderado de distancia a elementos críticos de accesibilidad para cada Unidad de Gestión, donde:

A1: Área de la Unidad de Gestión que está a una distancia entre 0 y 5 km respecto al elemento crítico de accesibilidad considerado.

A2: Área de la Unidad de Gestión que está a una distancia entre 5 y 10 km respecto al elemento crítico de accesibilidad considerado.

A3: Área de la Unidad de Gestión que está a una distancia mayor a 10 km respecto al elemento crítico de accesibilidad considerado.

AUG: Área total de la Unidad de Gestión.

PPUG: Promedio ponderado de accesibilidad a elemento crítico por Unidad de Gestión.

$$\frac{(A1 \times 1) + (A2 \times 2) + (A3 \times 3)}{AUG} = PPUG$$

Para obtener la accesibilidad respecto a un elemento crítico para cada Unidad de Gestión, se determinaron intervalos, con los cuales se clasificaron los resultados obtenidos anteriormente. Considerando que el valor máximo es 3, y el valor mínimo es 1, el rango (R) corresponde a 2. A su vez, se desea establecer 3 intervalos (I). Por lo tanto, la amplitud de cada intervalo es R/I, lo que corresponde a 0,67 aproximadamente.

Los intervalos establecidos para clasificar el valor PPUG de cada unidad y así establecer la accesibilidad respecto a un elemento crítico para cada Unidad de Gestión, son los siguientes:

$[1 - 1,67[$ = Unidad de Gestión con buena accesibilidad a elemento crítico

$[1,67 - 2,34[$ = Unidad de Gestión con media accesibilidad a elemento crítico

$[2,34 - 3]$ = Unidad de Gestión con mala accesibilidad a elemento crítico

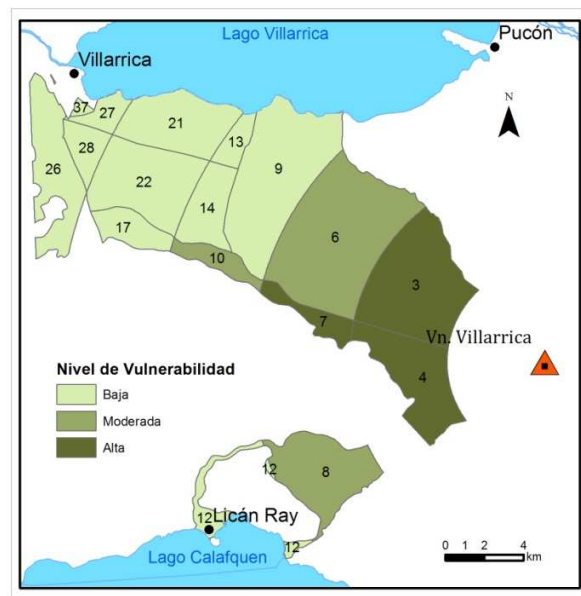
A partir de la suma lineal de los promedios ponderados de accesibilidad a la costa, a aeródromos y a caminos principales de cada Unidad de Gestión, se obtuvo el nivel de vulnerabilidad asociado a accesibilidad. En el cuadro n° 14 y en la figura n° 7 se muestran los distintos rangos que se pueden obtener a partir de la suma lineal, así como el nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado.

Cuadro n° 14. Rangos de accesibilidad y puntaje de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Accesibilidad	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
[3 – 5]	Bajo	1
]5 – 7]	Moderado	2
]7 – 9]	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 7. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a accesibilidad



Fuente: elaboración propia.

- **Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante Amenaza de Lahar**

Una vez obtenido los valores de las variables de vulnerabilidad, se aplicó la ecuación presentada anteriormente, para determinar el nivel de vulnerabilidad de cada Unidad de Gestión:

$$VUG = 0,4P + 0,21V + 0,02E + 0,03O + 0,05D + 0,16C + 0,13A$$

Donde,

VUG: Vulnerabilidad de la Unidad de Gestión

P: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Población en la Unidad de Gestión

V: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Viviendas en la Unidad de Gestión

E: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Edad en la Unidad de Gestión

O: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Ocupación en la Unidad de Gestión

D: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Discapacidad en la Unidad de Gestión

C: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Conectividad en la Unidad de Gestión

A: Puntaje de vulnerabilidad de la variable Accesibilidad en la Unidad de Gestión

En el cuadro n° 15 se puede observar la relación entre los rangos de puntaje obtenidos a partir de la aplicación de la ecuación en cada Unidad de Gestión, y el nivel de vulnerabilidad asociado.

Cuadro n° 15. Rangos de vulnerabilidad y nivel de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad de la Unidad de Gestión	Puntaje
[1 – 1,67[	Baja	1
[1,67 – 2,34[	Moderada	2
[2,34 – 3]	Alta	3

Fuente: elaboración propia.

En la carta n° 5 (ver ANEXO), se puede observar la Vulnerabilidad por Unidad de Gestión ante amenaza de lahar. Además, se indican los dos componentes utilizados para determinar las Unidades de Gestión: Radios de Gestión respecto al volcán Villarrica, y las Unidades Vecinales expuesta a la amenaza de la comuna de Villarrica.

En el primer cuadro de la zona inferior, se indican las variables utilizadas para determinar el nivel de vulnerabilidad de las Unidades de Gestión, así como la ponderación de cada una de ellas y el nivel de vulnerabilidad asociado. En las dos últimas columnas se encuentra información sobre la suma final de ponderaciones, y el valor final de vulnerabilidad de cada Unidad de Gestión.

En el segundo cuadro, se muestra la población y las viviendas aproximadas de cada Unidad de Gestión. Como se mencionó anteriormente, este es uno de los primeros datos que utilizan las autoridades y los organismos de emergencia para tomar decisiones, por eso se incluyó.

Como se puede observar en la carta, la Unidad de Gestión n° 9 es la que posee el mayor nivel de vulnerabilidad, lo que se debe principalmente a la población de ella (1061 habitantes aprox.) y al número de viviendas (680 vividas aprox.).

En cambio, Unidades de Gestión como la n° 3 poseen un nivel bajo de vulnerabilidad, lo cual se debe principalmente a su Población y Viviendas. Las variables Conectividad y Accesibilidad presentan valores de vulnerabilidad asociados altos, es decir, presenta una mala conectividad y accesibilidad. Sin embargo, estas variables no tienen tanto peso dentro del cálculo de la vulnerabilidad (16% y 13% respectivamente), lo que explica el valor obtenido para la unidad.

5.6. Aplicación n° 2: Determinación de Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la Amenaza de Caída de Piroclastos

Para determinar la vulnerabilidad ante la amenaza de caída de piroclastos, se utilizaron las Unidades de Gestión previamente establecidas (carta n° 3, ver ANEXO), pero se consideró la exposición de ellas respecto a esta amenaza.

En la carta n° 6 (ver ANEXO), se puede observar la relación entre Unidades de Gestión, zonas expuestas a la amenaza de caída de piroclastos, y las Entidades consideradas.

A continuación, se presentarán en un cuadro los rangos, nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado para cada variable, así como una figura que representa espacialmente dichos niveles de vulnerabilidad en cada Unidad de Gestión.

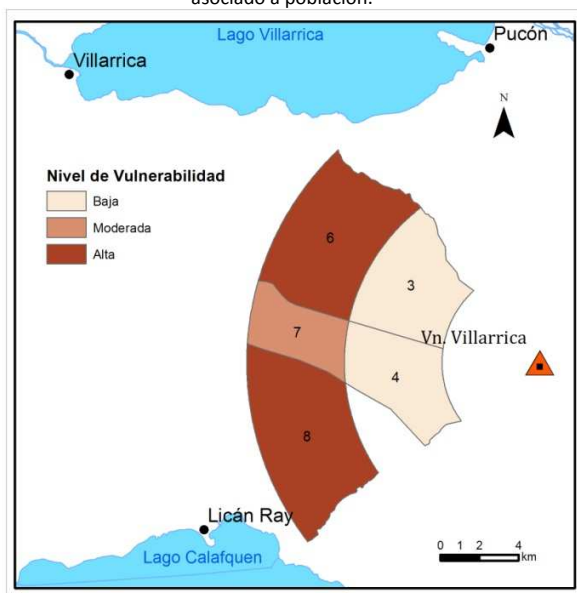
- **Población**

Cuadro n° 16. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado a población.

Población	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
38	Baja	1
63	Moderada	2
464 - 497	Alta	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 8. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a población.



Fuente: elaboración propia.

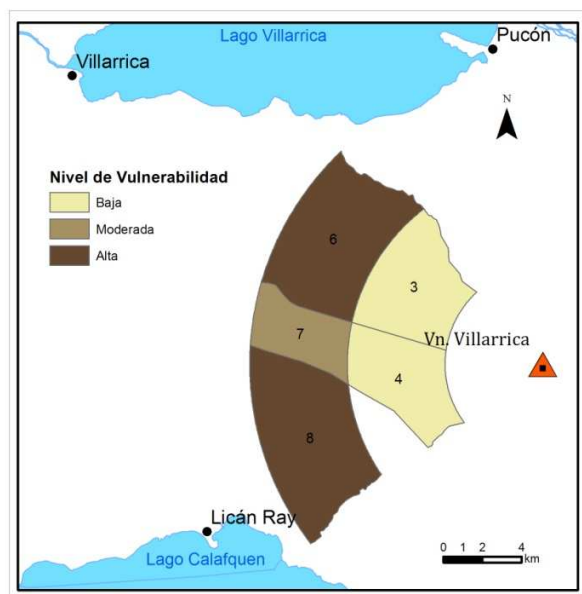
- **Vivienda**

Cuadro n° 17. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al número de viviendas.

Número de viviendas	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
16 - 21	Bajo	1
41	Moderado	2
203 - 497	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 9. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado al número de viviendas.



Fuente: elaboración propia.

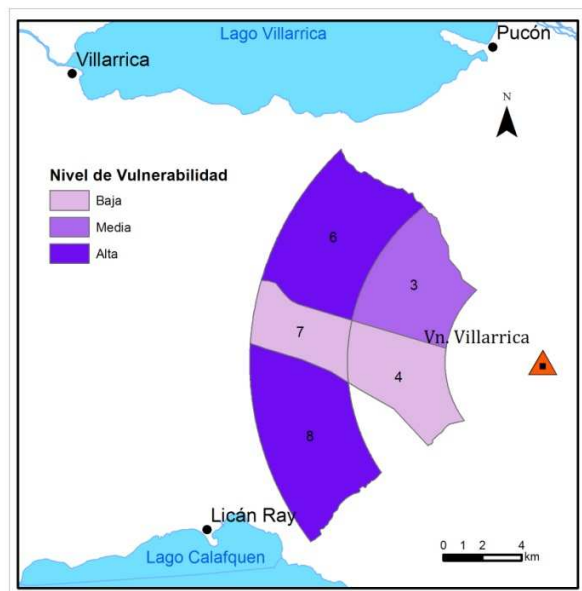
- **Edad**

Cuadro n° 18. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al porcentaje de personas menores de 15 años o mayores de 65 años.

% de personas menores de 15 años o mayores de 65 años	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
26,98% - 28,94%	Bajo	1
31,57%	Moderado	2
37,71% - 40,44%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 10. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a edad.



Fuente: elaboración propia.

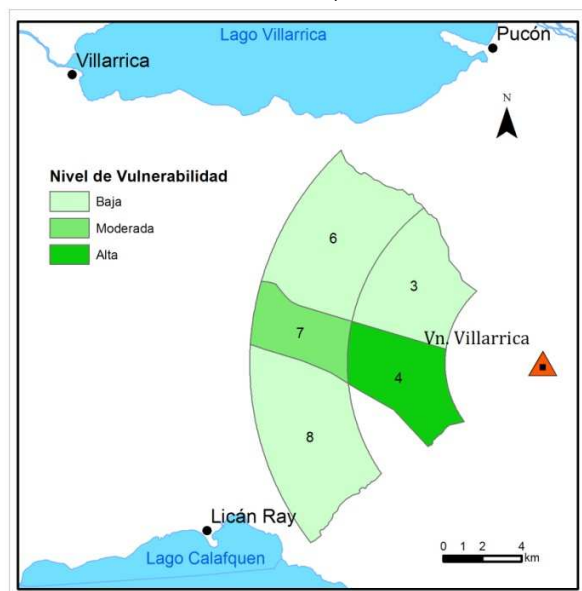
- **Ocupación**

Cuadro n° 19. Nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado al porcentaje de personas empleadas en ocupaciones silvoagropecuarias.

% de empleados en ocupaciones silvoagropecuarias	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
8,4% - 13,15%	Bajo	1
19,04%	Moderado	2
31,57%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 11. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a ocupación.



Fuente: elaboración propia.

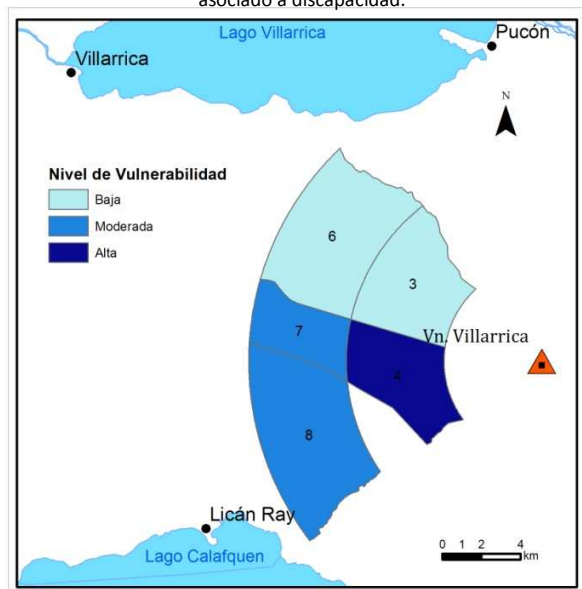
- **Discapacidad**

Cuadro n° 20. Nivel de vulnerabilidad asociado al porcentaje de personas discapacitadas.

% de personas discapacitadas	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
2,2% - 2,6%	Bajo	1
4,7% - 4,8%	Moderado	2
5,3%	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 12. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a discapacidad.



Fuente: elaboración propia.

- **Conectividad Terrestre**

Al igual que en la aplicación n° 1, se integró la calidad de la red vial (a través del tipo de carpeta), y la densidad de la red vial, para determinar la vulnerabilidad asociada a la conectividad terrestre de las Unidades de Gestión ante la amenaza de caída de piroclastos.

- Carpeta de la Red Vial

La determinación del nivel de vulnerabilidad asociado al tipo de carpeta de la red vial se hizo de la misma forma que el caso de la aplicación n° 1 de amenaza de lahar, es decir, la determinación del tipo de carpeta predominante a través de **cálculo de promedio ponderado**, considerando la longitud de cada tipo de carpeta presente en las Unidades:

$[1 - 1,67[= \text{Unidad de Gestión con red vial de alta calidad. Puntaje: 1}$

$[1,67 - 2,34[= \text{Unidad de Gestión con red vial de media calidad. Puntaje: 2}$

$[2,34 - 3] = \text{Unidad de Gestión con red vial de baja calidad. Puntaje: 3}$

- Densidad de la Red Vial

Debido a que el área expuesta de las Unidades de Gestión cambió respecto a la amenaza de lahar, se calculó nuevamente la relación entre el número de kilómetros de vías y los kilómetros cuadrados de cada Unidad de Gestión considerada. Cada uno de los rangos establecidos tiene asociado un puntaje. A menor densidad de la red vial, mayor es el puntaje asociado (cuadro n° 21).

Cuadro n° 21. Densidad de la red vial y puntaje asociado.

Densidad de la red vial	Puntaje
0	1
0,27 – 0,46	2
0,63	3

Fuente: elaboración propia.

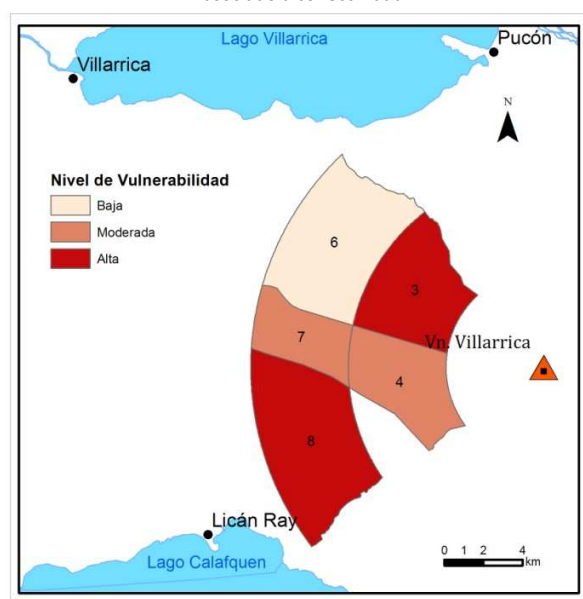
A partir de la suma lineal de los puntajes de calidad y densidad de la red vial de las Unidades de Gestión, se obtuvo el nivel de vulnerabilidad, asociado a los rangos de conectividad terrestre. En el cuadro n° 22 y en la figura n° 13 se muestran los distintos rangos que se pueden obtener a partir de la suma lineal, así como el nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado.

Cuadro n° 22. Rangos de conectividad terrestre y puntaje de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Conectividad Terrestre	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
[2 – 3,34[	Bajo	1
[3,34 – 4,67[	Moderado	2
[4,67 – 6]	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 13. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a conectividad.



Fuente: elaboración propia.

- **Accesibilidad**

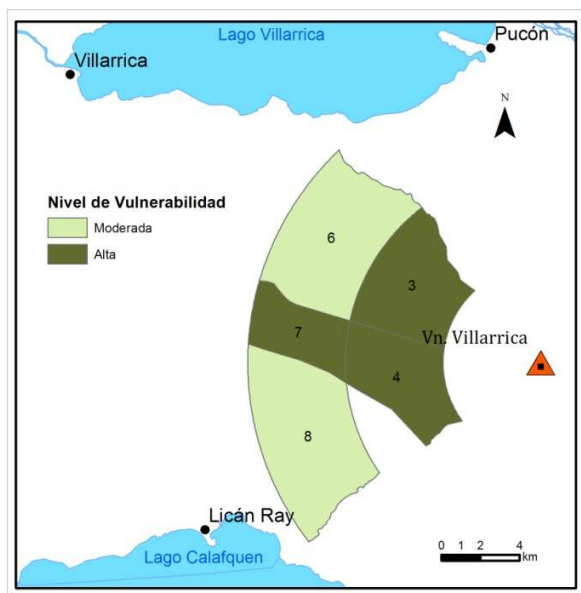
Se utilizó la misma metodología que en el caso de la aplicación n° 1, respecto a la amenaza de lahar. A partir de la suma lineal de los promedios ponderados de accesibilidad a la costa, a aeródromos y a caminos principales de cada Unidad de Gestión, se obtuvo el nivel de vulnerabilidad asociado a accesibilidad. En el cuadro n° 23 y en la figura n° 14 se muestran los distintos rangos que se pueden obtener a partir de la suma lineal, así como el nivel de vulnerabilidad y puntaje asociado.

Cuadro n° 23. Rangos de accesibilidad y puntaje de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Accesibilidad	Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje
[3 – 5]	Bajo	1
]5 – 7]	Moderado	2
]7 – 9]	Alto	3

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 14. Nivel de vulnerabilidad de las UG asociado a accesibilidad.



Fuente: elaboración propia.

- **Vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la Amenaza de caída de Piroclastos**

Para determinar el nivel de vulnerabilidad de las Unidades de Gestión ante la amenaza de piroclastos, se utilizó la misma metodología que en la aplicación n° 1. En el cuadro n° 24 se puede observar la relación entre los rangos de puntaje obtenidos a partir de la aplicación de la ecuación en cada Unidad de Gestión, y el nivel de vulnerabilidad asociado.

Cuadro n° 24. Rangos de vulnerabilidad y nivel de vulnerabilidad asociado.

Rangos de Vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad de la Unidad de Gestión	Puntaje
[1 – 1,67[	Baja	1
[1,67 – 2,34[	Moderada	2
[2,34 – 3]	Alta	3

Fuente: elaboración propia.

En la carta n° 7 (ver ANEXO), se puede observar la Vulnerabilidad por Unidad de Gestión ante la amenaza de caída de piroclastos.

Al igual que en la aplicación n° 1, esta carta posee dos cuadros en la zona inferior. El primero indica las variables utilizadas para determinar el nivel de vulnerabilidad de las Unidades de Gestión, así como la ponderación de cada una de ellas y el nivel de vulnerabilidad asociado. En el segundo, se muestra la población y el número de viviendas aproximadas de cada Unidad de Gestión.

Se puede observar que las Unidades de Gestión n° 6 y n° 8 son las que poseen la mayor vulnerabilidad ante caída de piroclastos. Esto se debe a la población y número de viviendas que poseen, y también a la alta vulnerabilidad asociada a Accesibilidad y Conectividad.

Nuevamente, las Unidades n° 3 y n° 4 obtuvieron las menores vulnerabilidades, lo que se explica gracias a su baja vulnerabilidad asociada a Población y Vivienda, dos de las variables que poseen mayor ponderación dentro del cálculo de vulnerabilidad. Se produce esta situación a pesar de que poseen altos niveles de vulnerabilidad asociados a Conectividad y Accesibilidad.

5.7. Aplicación n° 1: Amenaza de Lahar

En la determinación de amenaza, se utilizó como base el Mapa de Peligros del volcán Villarrica, desarrollada por SERNAGEOMIN (2000). Este mapa se basa en el estudio empírico de áreas afectadas por coladas de lavas, lahares y caída de piroclastos, en un determinado período de tiempo y considerando además las tendencias preferenciales y los riesgos topográficos (Ilustre Municipalidad de Pucón, 2010).

De esta forma, se definen las siguientes áreas que pueden ser afectadas por coladas de lava y/o lahares:

- ALI1: Zonas con muy alto peligro de ser afectadas por lavas y/o lahares, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal, tales como las ocurridas durante los siglos XIX y XX.
- AI1: Zonas con muy alto peligro de ser afectadas por lahares, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal, tales como las ocurridas durante los siglos XIX y XX.
- ALI2: Zonas con alto peligro de ser afectadas por lavas y/o lahares, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal o en cráteres adventicios, tales como las ocurridas en la prehistoria reciente (<3.700 años AP) y durante los siglos XVI, XVII y XVIII.
- AI2: : Zonas con alto peligro de ser afectadas por lahares, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal o en cráteres adventicios, tales como las ocurridas en la prehistoria reciente (<3.700 años AP) y durante los siglos XVI, XVII y XVIII.
- MLI: Zonas con moderado peligro de ser afectadas por lavas y/o lahares provenientes del cono y/o cráter principal o de cráteres adventicios. Ello podría ocurrir durante las erupciones de mayor duración o de mayor volumen que las documentadas en el registro histórico (últimos 450 años).
- MI: Zonas con moderado peligro de ser afectadas por lahares. Ello podría ocurrir durante erupciones que se originen en el cono principal, en la época de mayor acumulación de nieve, lo que comprende desde los meses de junio a octubre (en algunos años se ha verificado buena cantidad de nieve desde mayo y se ha extendido hasta noviembre).

- BLI: Zonas con bajo peligro de ser afectadas por lavas y/o lahares. Ello podría ocurrir durante las erupciones de gran magnitud, originadas en el cono principal y/o cráteres adventicios, producidas durante la época de mayor acumulación de nieve.

Se agruparon las áreas de movilización de lahares, definidas por el Mapa de Peligro del volcán Villarrica (SERNAGEOMIN, 2000), de acuerdo a su nivel de amenaza. A cada nivel se asoció un puntaje, como se puede observar en el cuadro n° 25.

Cuadro n° 25. Código de área de lahar, nivel de amenaza y puntaje asociado.

Código de área de lahar	Nivel de amenaza	Puntaje
ALI1	Alta	3
AL12	Alta	3
ALI2	Alta	3
AL1	Alta	3
MLI	Moderada	2
MI	Moderada	2
BLI	Baja	1

Fuente: elaboración propia.

Debido a que en el área de estudio existen zonas con un determinado nivel de amenaza (por ejemplo, nivel bajo de amenaza), rodeadas de zonas con otro nivel de amenaza (por ejemplo, nivel alto de amenaza), se decidió generalizar estas situaciones, estableciendo que el nivel de amenaza de este tipo de zonas equivale al nivel de amenaza de la zona que la rodea.

Para determinar el nivel de amenaza a lahares al que está expuesta cada Unidad de Gestión, se procedió a realizar un **cálculo de promedio ponderado**, considerando las áreas de cada nivel de amenaza presentes en las Unidades.

Las áreas de cada nivel de amenaza se multiplicaron por el puntaje señalado en el cuadro n° 25 (nivel alto de amenaza: 3, nivel moderado de amenaza: 2, nivel bajo de amenaza: 1). Luego, este resultado se sumó y se dividió por el área total de la Unidad de Gestión considerada.

A continuación, se presenta la ecuación utilizada para el cálculo del promedio ponderado de amenaza de lahar para cada Unidad de Gestión, donde:

A1: Área de la Unidad de Gestión con nivel bajo de amenaza de lahar.

A2: Área de la Unidad de Gestión con nivel moderado de amenaza de lahar.

A3: Área de la Unidad de Gestión con nivel alto de amenaza de lahar.

AUG: Área total de la Unidad de Gestión.

PPUG: Promedio ponderado de amenaza por Unidad de Gestión.

$$\frac{(A1 \times 1) + (A2 \times 2) + (A3 \times 3)}{AUG} = PPUG$$

Para obtener el nivel de amenaza a lahares al que está expuesta cada Unidad de Gestión, se determinaron intervalos, con los cuales se clasificaron los resultados obtenidos anteriormente. Considerando que el valor máximo es 3, y el valor mínimo es 1, el rango (R) corresponde a 2. A su vez, se desea establecer 3 intervalos (I). Por lo tanto, la amplitud de cada intervalo es R/I, lo que corresponde a 0,67 aproximadamente.

Los intervalos establecidos para clasificar el valor PPUG de cada unidad y así establecer el nivel de amenaza de lahares al que está expuesta cada Unidad de Gestión, son los siguientes:

$[1 - 1,67[$ = Unidad de Gestión expuesta a un nivel bajo de amenaza

$[1,67 - 2,34[$ = Unidad de Gestión expuesta a un nivel moderado de amenaza.

$[2,34 - 3]$ = Unidad de Gestión expuesta a un nivel alto de amenaza

De esta forma, se obtuvo una Carta de Amenaza de Lahar por Unidad de Gestión (carta n° 8, ver ANEXO). Unidades de Gestión como las n° 1, n° 2, n° 3 o n° 4 poseen una alta amenaza de lahar, debido a que en esas áreas la recurrencia de este fenómeno es mayor, y a que están situadas entre cauces provenientes del volcán Villarrica, lo que facilita la movilización de la mezcla de escombros y agua.

En cambio, Unidades como la n° 27 poseen una baja amenaza de lahar, relacionada a la baja ocurrencia de este fenómeno en estas áreas, a la lejanía con el volcán Villarrica y a la ausencia de cauces directos desde el volcán.

5.8. Aplicación n° 2: Amenaza de Caída de Piroclastos

En el Mapa de Peligros del volcán Villarrica (SERNAGEOMIN, 2000), se señalan las áreas que pueden ser afectadas por caída de piroclastos, definiéndose dos tipos.

- Límite externo de las zonas que pueden ser afectadas por la caída de piroclastos cuyo máximo espesor (círculos) y diámetro (cuadrados) se indica en cm. Los fragmentos mayores se distribuyen, principalmente, según proyección balística y los fragmentos de diámetro menor se dispersan, generalmente, por acción eólica.
- Zona con muy alto peligro de ser afectada por caída de piroclastos balísticos (comúnmente de diámetro mayor que 30 cm), flujos piroclásticos menores, originados por el colapso parcial de columnas eruptivas, y por avalanchas de fragmentos de lavas que pueden escurrir sobre el hielo y la nieve, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal.

Estas áreas definidas entorno al volcán presentan una desviación hacia el suroriente, debido al viento predominante en la zona. Sin embargo, las condiciones locales de dirección del viento son muchas veces variables en la zona, producto del paso de sistemas frontales.

Por lo tanto, para determinar la amenaza de caída de piroclastos en las Unidades de Gestión, se decidió no utilizar las áreas definidas por SERNAGEOMIN, sino que se definieron anillos alrededor del volcán, a los que se asoció un nivel de amenaza y un puntaje. Esto se determinó en base a que generalmente en la zona más cercana al cono hay una mayor amenaza de caída de piroclastos de mayor tamaño, debido a la masa que poseen.

ONEMI (2006) indica que entre los 2 y 5 km de distancia respecto al volcán es donde se presenta la mayor probabilidad de caída de bombas volcánicas (piroclastos iguales o superiores a los 64 mm de diámetro). La caída de tefra (ceniza volcánica) se presenta hasta más de 10 km respecto al centro de emisión.

Por lo tanto, se definieron los siguientes anillos de distancia respecto al volcán Villarrica (cuadro n° 26):

Cuadro n° 26. Distancia respecto al volcán, nivel de amenaza y puntaje asociado.

Distancia respecto al volcán	Amenaza de caída de piroclastos	Puntaje
0 – 5 km	Alta	3
5 – 10 km	Moderada	2
10 – 15 km	Baja	1

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo de esta forma una Carta de Amenaza de Caída de Piroclastos por Unidad de Gestión (carta n° 9, ver ANEXO). Debido a lo explicado anteriormente, las Unidades de Gestión más cercanas al volcán presentan una mayor amenaza de caída de piroclastos (n° 1 y n° 2), mientras que las más alejadas presentan una menor amenaza de caída de piroclastos (n° 6, n° 7 y n° 8).

5.9. Determinación del Riesgo por Lahar y por Caída de Piroclastos

Una vez obtenida el nivel vulnerabilidad y amenaza para cada Unidades de Gestión, ambos ajustados a valores de 1, 2 y 3 (Bajo, Moderado y Alto, respectivamente), se procedió a relacionarlos con el fin de determinar el riesgo por lahar de cada Unidad de Gestión. El riesgo se relaciona con la amenaza y vulnerabilidad de la siguiente forma (GTZ, 2004):

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$$

En el cuadro n° 27, se puede observar las posibles combinaciones que se pueden obtener del producto de amenaza y vulnerabilidad. Debido a que en esta metodología se definieron valores 1, 2 y 3 (Bajo, Moderado y Alto, respectivamente), el mayor valor que se puede obtener es 9 (Vulnerabilidad = 3 y Amenaza = 3), mientras que el menor valor es 3 (Vulnerabilidad = 3 y Amenaza = 1, o Vulnerabilidad = 1 y Amenaza = 1).

Cuadro n° 27. Valores obtenidos a partir del producto entre amenaza y vulnerabilidad.

RIESGO			Amenaza		
			Baja	Media	Alta
			1	2	3
Vulnerabilidad	Baja	1	1	2	3
	Media	2	2	4	6
	Alta	3	3	6	9

Fuente: elaboración propia.

Estos valores fueron clasificados para obtener 3 niveles de riesgo, como se puede observar en el cuadro n° 28:

Cuadro n° 28. Rangos del producto entre amenaza y vulnerabilidad, y nivel riesgo asociado.

Producto entre Amenaza y Vulnerabilidad	Nivel de Riesgo
1 – 3	Bajo
4 – 6	Moderado
7 – 9	Alto

Fuente: elaboración propia.

De esta manera se obtuvo la Carta de Riesgo de Lahar (carta n° 10, ver ANEXO) y la Carta de Riesgo de Caída de Piroclastos (carta n° 11, ver ANEXO). En ambas cartas se agregaron dos cuadros: uno indicando los puntajes y el valor asociado de la amenaza, vulnerabilidad y del riesgo, y otro indicando la población y el número de viviendas estimada para cada Unidad de Gestión.

En la Carta de Riesgo de Lahar se observa se que sólo existe una Unidad de Gestión con un nivel alto de riesgo (n° 9). Esto se debe a la alta vulnerabilidad y amenaza de la Unidad.

Por otra parte, en la Carta de Riesgo de Caída de Piroclastos se observa que todas las Unidades de Gestión obtuvieron un valor bajo de riesgo. A pesar del resultado obtenido, de todas formas se puede discriminar entre Unidades. Las Unidades n° 6 y n° 8 presentan una alta vulnerabilidad, pero debido a la baja amenaza a la que están expuestas, el riesgo es bajo. Por lo tanto, un cambio en las condiciones de amenaza podría hacer variar el riesgo de estas Unidades, lo que se debe considerar, pues la caída de piroclastos es un fenómeno que depende de factores tales como del tipo de erupción, su intensidad y de la dirección local del viento.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se puede observar a través de la metodología propuesta y de sus aplicaciones, este trabajo permite discriminar efectivamente entre unidades territoriales, con el fin de tomar decisiones sobre el territorio respecto al riesgo volcánico. Sin embargo, se debe considerar que el objetivo principal de este trabajo era conseguir un producto capaz de replicado, y también comprendido tanto por aquellos familiarizados con la Gestión del Riesgo, como por aquellos que no, por lo que se simplificaron y generalizaron varios aspectos.

Por esta razón es que los valores tanto de las variables de vulnerabilidad, como de amenaza y riesgo, fueron llevados a una escala de 1, 2 y 3 (que representan valores “bajos”, “moderados” y “altos”, respectivamente). En el caso de las variables de vulnerabilidad, sólo se consideraron siete (población, vivienda, edad, ocupación, discapacidad, conectividad y accesibilidad), porque sus datos son de fácil disponibilidad, pero existen variables tales como las culturales que no fueron incluidas y que igualmente pueden tener gran relevancia.

Otro aspecto no considerado que influye sobre el nivel de riesgo de una unidad territorial, es la capacidad de respuesta de la comunidad que la habita, uno de los componentes de la Gestión del Riesgo. Esto se debe a su dificultad para determinarla y cuantificarla: una comunidad puede estar organizada y haber recibido información sobre las condiciones de riesgo a las que se encuentra expuesta, pero eso no garantiza que actúe correctamente en caso de emergencia.

Para mejorar la Gestión del Riesgo, cada comuna debería contar con unidades vecinales actualizadas y delimitadas pertinentemente, de acuerdo tanto a condiciones sociales como a condiciones físico – naturales, que faciliten la organización de las juntas de vecinos respectivas.

Finalmente, se debe considerar que a pesar de que existen unidades territoriales con un menor o un mayor nivel de vulnerabilidad y riesgo, siempre la prioridad debe estar puesta en las personas que se encuentren más cercanas al centro de emisión (caída de piroclastos) o de los cursos de agua provenientes del volcán (en el caso de lahar). Este trabajo sólo indica el nivel de vulnerabilidad y de riesgo, pero las decisiones que se tomen sobre el territorio respecto a Gestión del Riesgo siempre deben considerar las características de los procesos volcánicos, su extensión, duración y magnitud.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS Resource Center. Página web disponible en: <http://resources.arcgis.com/es>.
- Ayala-Carcedo, F. *Estrategias para la reducción de desastres naturales*. En Investigación y Ciencia, 1993.
- Baas, S.; Ramasamy, S.; Dey Depryck, J.; Battista, F. *Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastre – Una Guía*. FAO, Roma (Italia). Div. De Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía. 2009.
- BID – CEPAL. *Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. Estudio de Caso Chile*. 2007.
- CEPAL. *El Impacto de los Desastres Naturales en el Desarrollo: Documento Metodológico Básico para Estudios Nacionales de Caso*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2005.
- D’Ercole, R.; Metzger, P. *La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Quito, Ecuador. 2004.
- D’Ercole, R.; Trujillo, M. *Amenazas, Vulnerabilidad, Capacidades y Riesgo en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo*. Cooperazione Internazionale. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Oxfam-GB. Quito, Ecuador. 2003.
- Díaz, C. *Propuesta Metodológica para la Determinación de Áreas Vulnerables, Aplicación Piloto: Provincia de Cordillera*. Informe Práctica Profesional, ONEMI. 2008.
- D.S. 156, Plan Nacional de Protección Civil. 2002.
- GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. *El análisis de riesgo – una base para la gestión de riesgo de desastres naturales*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, República Federal de Alemania. 2004.

- IERD. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. *Vivir con el riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Naciones Unidas. Geneva, CH; 2004.
- Ilustre Municipalidad de Melipeuco. *Plan de Emergencia Volcánica*. 2009.
- Ilustre Municipalidad de Pucón. *Plan de Emergencia Volcánica*. 2010.
- Intendencia Región de la Araucanía, Departamento de Protección Civil y Social. *Plan Regional de Protección Civil de la Araucanía*. 2004.
- Ley n° 19.418, sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias. 1993.
- Mejías, M. *Evaluación de Riesgo Volcánico asociado al Volcán Villarrica, en las comunas de Villarrica y Pucón, Región de La Araucanía*. Informe Práctica Profesional, ONEMI. 2009.
- Moreno, H. *Mapa de Peligros del Volcán Villarrica. Regiones de la Araucanía y de Los Lagos*. Subdirección Nacional de Geología, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). 2000.
- OEA. *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Organización de Estados Americanos, Washington D.C., Estados Unidos. 1993.
- ONEMI. *Metodología Básica para la Elaboración de un Plan de Prevención y Respuesta por Actividad Volcánica (ACCEVOL)*. 2006.
- SUBDERE. *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. 2011.
- UNISDR. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Naciones Unidas, 2009.

- Vargas, E. *Políticas Públicas para la Reducción de la Vulnerabilidad frente a los Desastres Naturales y Socio-Naturales*. CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. 2002.
- Agradecimientos a CEDEL-UC por proporcionar información en formato shapefile acerca de las Unidades Vecinales de Villarrica.

ANEXO