INV. 810

GOBIERNO D E CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA

Pontificia Universidad
Católica de Chile
Instituto de Geografía

EVALUACIÓN DE RIESGO VOLCÁNICO ASOCIADO AL VOLCÁN VILLARRICA, EN LAS COMUNAS DE VILLARRICA Y PUCÓN REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

Por:
María José Mejías Mac-lean

Informe de Práctica Profesional

Profesionales a cargo en ONEMI:
Marisol Murillo
José Abumohor

Comisión informante PUC:
Profesores: Cristián Henríquez Ruiz
Johannes Rehner
Alejandro Salazar Burrows

Santiago, Chile
Junio de 2009

ÍNDICE

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento del Problema 7
1.2. Definición del Problema 8
1.3. Objetivos 9
1.3.1. Objetivo General 9
1.3.2. Objetivos Específicos 9

CAPÍTULO II

2.1. Marco Conceptual 10
2.1.1. Entendiendo el Riesgo 10
2.1.2. Riesgo Volcánico 14
2.1.3. Uso de los Sistemas de Información Geográfica en el manejo del Riesgo 16
2.1.4. Evaluación Multicriterio 17
2.1.5. Historia Eruptiva del Volcán Villarrica 19
2.1.6. Futuros Escenarios Eruptivos 20

CAPÍTULO III

3.1. Área de Estudio 21
3.1.1. Localización 21
3.1.2. Clima 21
3.1.3. Vegetación 21
3.1.4. Turismo 22
3.1.5. Medidas de Mitigación 22

CAPÍTULO IV

4.1. Metodología 25
4.1.1. Objetivo 1: Determinación de los factores demográficos y de infraestructura que condicionan la vulnerabilidad física 25
4.1.2. Objetivo 2: Determinar la población e infraestructura expuesta a la amenaza volcánica 25
4.1.3. Objetivo 3: Elaborar una zonificación del riesgo volcánico 28
4.1.4. Objetivo 4: Proponer áreas seguras y una orientación para la evacuación de la población 30

CAPÍTULO V

5.1. Resultados y Análisis 31
5.1.1. Factores demográficos y de infraestructura que condicionan la vulnerabilidad física 31
5.1.2. Población e infraestructura expuesta a la amenaza volcánica 33
5.1.3. Zonificación de riesgo volcánico 133
5.1.4. Propuesta de áreas seguras y orientación para la evacuación de la población 156

CAPÍTULO VI

6.1. Conclusiones 158

7. Bibliografía 160

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Localización Área de Estudio 24
Mapa 2: Unidades Vecinales Área Urbana de Villarrica 35
Mapa 3: Distritos Censales Área Urbana de Lican Ray 36
Mapa 4: Distritos Censales Área Rural de Villarrica 37
Mapa 5: Unidades Vecinales Área Urbana de Pucón 38
Mapa 6: Distritos Censales Área Rural de Pucón 39
Mapa 7: Población Total Área Urbana de Villarrica 44
Mapa 8: Población Vulnerable Área Urbana de Villarrica 45
Mapa 9: Población Total Área Urbana de Lican Ray 46
Mapa 10: Población Vulnerable Área Urbana de Lican Ray 47
Mapa 11: Población Total Área Rural de Villarrica 48
Mapa 12: Población Vulnerable Área Rural de Villarrica 49
Mapa 13: Población Total Área Urbana de Pucón 50
Mapa 14: Población Vulnerable Área Urbana de Pucón 51
Mapa 15: Población Total Área Rural de Pucón 52
Mapa 16: Población Vulnerable Área Rural de Pucón 53
Mapa 17: Viviendas Área Urbana de Villarrica 54
Mapa 18: Viviendas Área Urbana de Lican Ray 55
Mapa 19: Viviendas Área Rural de Villarrica 56
Mapa 20: Viviendas Área Urbana de Pucón 57
Mapa 21: Viviendas Área Rural de Pucón 58
Mapa 22: Infraestructura Vial Área Urbana de Villarrica 62
Mapa 23: Infraestructura Vial Área Urbana de Lican Ray 63
Mapa 24: Infraestructura Vial Área Rural de Villarrica 64
Mapa 25: Infraestructura Vial Área Urbana de Pucón 65
Mapa 26: Infraestructura Vial Área Rural de Pucón 66
Mapa 27: Alojamientos Área Urbana de Villarrica 67
Mapa 28: Alojamientos Área Urbana de Lican Ray 68
Mapa 29: Alojamientos Área Rural de Villarrica 69
Mapa 30: Alojamientos Área Urbana de Pucón 70
Mapa 31: Alojamientos Área Rural de Pucón 71
Mapa 32: Colegios Área Urbana de Villarrica 72
Mapa 33: Colegios Área Urbana de Lican Ray 73
Mapa 34: Colegios Área Rural de Villarrica 74
Mapa 35: Colegios Área Urbana de Pucón 75
Mapa 36: Colegios Área Rural de Pucón 76
Mapa 37: Postas y Hospitales Área Urbana de Villarrica 77
Mapa 38: Postas y Hospitales Área Rural de Villarrica 78
Mapa 39: Postas y Hospitales Área Urbana de Pucón 79
Mapa 40: Postas y Hospitales Área Rural de Pucón 80
Mapa 41: Factor Población Área Urbana de Villarrica 84
Mapa 42: Factor Población Área Urbana de Lican Ray 86
Mapa 43: Factor Población Área Rural de Villarrica 88

Mapa 44: Factor Población Área Urbana de Pucón 90
Mapa 45: Factor Población Área Rural de Pucón 91
Mapa 46: Factor Infraestructura Área Urbana de Villarrica 93
Mapa 47: Factor Infraestructura Área Urbana de Lican Ray 96
Mapa 48: Factor Infraestructura Área Rural de Villarrica 98
Mapa 49: Factor Infraestructura Área Urbana de Pucón 102
Mapa 50: Factor Infraestructura Área Rural de Pucón 104
Mapa 51: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Área Urbana de Villarrica 108
Mapa 52: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Área Urbana de Villarrica 109
Mapa 53: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Área Urbana de Lican Ray 111
Mapa 54: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Área Urbana de Lican Ray ... 112
Mapa 55: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Área Rural de Villarrica 114
Mapa 56: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Área Rural de Villarrica 115
Mapa 57: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Área Urbana de Pucón 118
Mapa 58: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Área Urbana de Pucón 119
Mapa 59: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Área Rural de Pucón 121
Mapa 60: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Área Rural de Pucón 122
Mapa 61: Peligro Volcánico Área Urbana de Villarrica 128
Mapa 62: Peligro Volcánico Área Urbana de Lican Ray 129
Mapa 63: Peligro Volcánico Área Rural de Villarrica 130
Mapa 64: Peligro Volcánico Área Urbana de Pucón 131
Mapa 65: Peligro Volcánico Área Rural de Pucón 132
Mapa 66: Vulnerabilidad Física Invierno Área Urbana de Villarrica 135
Mapa 67: Vulnerabilidad Física Verano Área Urbana de Villarrica 136
Mapa 68: Vulnerabilidad Física Invierno Área Urbana de Lican Ray 137
Mapa 69: Vulnerabilidad Física Verano Área Urbana de Lican Ray 138
Mapa 70: Vulnerabilidad Física Invierno Área Rural de Villarrica 139
Mapa 71: Vulnerabilidad Física Verano Área Rural de Villarrica 140
Mapa 72: Vulnerabilidad Física Invierno Área Urbana de Pucón 141
Mapa 73: Vulnerabilidad Física Verano Área Urbana de Pucón 142
Mapa 74: Vulnerabilidad Física Invierno Área Rural de Pucón 143
Mapa 75: Vulnerabilidad Física Verano Área Rural de Pucón 144
Mapa 76: Riesgo Volcánico Invierno Área Urbana de Villarrica 146
Mapa 77: Riesgo Volcánico Verano Área Urbana de Villarrica 147
Mapa 78: Riesgo Volcánico Invierno Área Urbana de Lican Ray 148
Mapa 79: Riesgo Volcánico Verano Área Urbana de Lican Ray 149
Mapa 80: Riesgo Volcánico Invierno Área Rural de Villarrica 150
Mapa 81: Riesgo Volcánico Verano Área Rural de Villarrica 151
Mapa 82: Riesgo Volcánico Invierno Área Urbana de Pucón 152
Mapa 83: Riesgo Volcánico Verano Área Urbana de Pucón 153
Mapa 84: Riesgo Volcánico Invierno Área Rural de Pucón 154
Mapa 85: Riesgo Volcánico Verano Área Rural de Pucón 155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de Vulnerabilidad de Variables 27
Tabla 2: Niveles de Vulnerabilidad de Factores 27
Tabla 3: Niveles de Peligro 27
Tabla 4: Escala de Comparación Continua 28
Tabla 5: Matriz de Comparación por Pares 29
Tabla 6: Pesos de los Factores 29

Tabla 7: Niveles de Riesgo 30
Tabla 8: Factores de Vulnerabilidad Física 32
Tabla 9: Grado de Exposición a la Amenaza 34
Tabla 10: Grupos Etáreos 40
Tabla 11: Población Total 40
Tabla 12: Población Vulnerable 41
Tabla 13: Vivienda 42
Tabla 14: Infraestructura Vial 59
Tabla 15: Turismo 59
Tabla 16: Educación 60
Tabla 17: Salud 61
Tabla 18: Variables Área Urbana de Villarrica 81
Tabla 19: Variables Área Urbana de Lican Ray 81
Tabla 20: Variables Área Rural de Villarrica 82
Tabla 21: Variables Área Urbana de Pucón 82
Tabla 22: Variables Área Rural de Pucón 82
Tabla 23: Factor Población Área Urbana de Villarrica 83
Tabla 24: Factor Población Área Urbana de Lican Ray 85
Tabla 25: Factor Población Área Rural de Villarrica 87
Tabla 26: Factor Población Área Urbana de Pucón 89
Tabla 27: Factor Población Área Rural de Pucón 89
Tabla 28: Factor Infraestructura Área Urbana de Villarrica 92
Tabla 29: Factor Infraestructura Área Urbana de Lican Ray 95
Tabla 30: Factor Infraestructura Área Rural de Villarrica 99
Tabla 31: Factor Infraestructura Área Urbana de Pucón 101
Tabla 32: Factor Infraestructura Área Rural de Pucón 105
Tabla 33: Factores Estacionales Área Urbana de Villarrica 107
Tabla 34: Factores Estacionales Área Urbana de Lican Ray 113
Tabla 35: Factores Estacionales Rural de Villarrica 116
Tabla 36: Factores Estacionales Área Urbana de Pucón 117
Tabla 37: Factores Estacionales Rural de Pucón 123
Tabla 38: Factores Área Urbana de Villarrica 124
Tabla 39: Factores Área Urbana de Lican Ray 124
Tabla 40: Factores Área Rural de Villarrica 124
Tabla 41: Factores Área Urbana de Pucón 125
Tabla 42: Factores Área Rural de Pucón 125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Factor Población Área Urbana de Villarrica 85
Gráfico 2: Factor Población Área Urbana de Lican Ray 85
Gráfico 3: Factor Población Área Rural de Villarrica 87
Gráfico 4: Factor Población Área Urbana de Pucón 89
Gráfico 5: Factor Población Área Rural de Pucón 92
Gráfico 6: Factor Infraestructura Área Urbana de Villarrica 94
Gráfico 7: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Villarrica 94
Gráfico 8: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Villarrica . 95
Gráfico 9: Factor Infraestructura Área Urbana de Lican Ray 95
Gráfico 10: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Lican Ray 97
Gráfico 11: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Lican Ray 97
Gráfico 12: Factor Infraestructura Área Rural de Villarrica 99

Gráfico 13: Factor Infraestructura – Viviendas Área Rural de Villarrica 100
Gráfico 14: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Rural de Villarrica .. 100
Gráfico 15: Factor Infraestructura Área Urbana de Pucón 101
Gráfico 16: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Pucón 103
Gráfico 17: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Pucón .. 103
Gráfico 18: Factor Infraestructura Área Rural de Pucón 105
Gráfico 19: Factor Infraestructura – Viviendas Área Rural de Pucón 105
Gráfico 20: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Rural de Pucón 106
Gráfico 21: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Urbana de Villarrica 110
Gráfico 22: Factores Estacionales - Alumnos y Docentes Área Urbana de Villarrica 110
Gráfico 23: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Urbana de Lican Ray 113
Gráfico 24: Factores Estacionales - Alumnos y Docentes Área Urbana de Lican Ray 113
Gráfico 25: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Rural de Villarrica 116
Gráfico 26: Factores Estacionales - Alumnos y Docentes Área Rural de Villarrica 117
Gráfico 27: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Urbana de Pucón 120
Gráfico 28: Factores Estacionales - Alumnos y Docentes Área Urbana de Pucón 120
Gráfico 29: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Rural de Pucón ... 123
Gráfico 30: Factores Estacionales - Alumnos y Docentes Área Rural de Pucón .. 123

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO EL PROBLEMA

Chile se encuentra en el borde occidental del continente sudamericano, por lo que forma parte importante del llamado "círculo de Fuego del Pacífico" que es una de las regiones tectónicas más activas de la Tierra. Es una zona de contacto entre placas oceánicas y continentales: de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Es precisamente en esta región donde el volcanismo alcanza un desarrollo espectacular. Chile posee 2.085 volcanes en su territorio, tanto continental como oceánico, de los cuales más de 500 son considerados geológicamente activos y unos 60 permanecen activos con registro histórico de sus erupciones, dentro de los últimos 450 años. En la región Centro-Sur existe la mayor concentración de volcanes activos, con la mayor actividad volcánica del país. En esta región además se sitúan dos de los cuatro volcanes más activos de Sudamérica: Villarrica y Llaima[1].

Esta situación de volcanismo activo, plantea un problema en la planificación de áreas urbanas, ya que su cercanía a centros volcánicos activos supone un gran riesgo permanente para la población.

El primer paso para determinar el riesgo al que se expone la población es definir las diferentes amenazas de un volcán y la vulnerabilidad asociada a los asentamientos humanos anexos. Para esto es necesario conocer su evolución geológica, estratigráfica, cronológica y volcanológica física, para saber que tipo de volcán es, ya que sus erupciones históricas y prehistóricas, entregan datos acerca de tipos de productos, magnitudes, alcances y recurrencia. Por otra parte, para comprender la vulnerabilidad física, es fundamental conocer los asentamientos humanos, el uso de la tierra, la infraestructura básica, etc.[2]

El riesgo volcánico en Chile es una preocupación constante, que es olvidado al momento de realizar una correcta planificación territorial, por lo que los centros urbanos aledaños a volcanes siguen expandiéndose sin una correcta evaluación del riego al que se exponen.

El área de estudio, se sitúa adyacente a la base del volcán Villarrica, que es activo, por lo cual los riesgos de origen natural más importantes están relacionados con la actividad volcánica y sísmica. La amenaza volcánica se considera la de mayor importancia relativa por constituir un riesgo directo, ya que la zona se sitúa en su centro de origen[3].

Esta situación, sumada a la escasa planificación territorial son el contexto en que se encuentra ésta área, con un riesgo que es histórico y que aumenta con el tiempo, pero que se ha ido olvidando, por la ausencia de una erupción hace ya más de 20 años, por lo que sigue creciendo en población, turismo y economía, lo que se ha visto reflejado especialmente en la ribera sur del lago Villarrica y norte

---

[1] González-Ferrán, O. 1972, Distribución del Volcanismo Activo de Chile y la Reciente Erupción del Volcán Villarrica.
[2] Moreno, H. 1997. Riesgo Volcánico y Mitigación: Procesos y Peligros.
[3] Emparán, C. 1980, Áreas Sometidas a Riesgos Naturales en la Zona Villarrica-Pucón.

del lago Calafquén. La comuna de Villarrica tuvo un crecimiento de población intercensal 1992-2002 del 26.9% y la comuna de Pucón, de 47.0%[4].

La razón del estudio es el aumento de los niveles de riesgo en el área debido al crecimiento poblacional y de infraestructura, sin una adecuada planificación, en zonas de amenaza volcánica comprobada.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se intentará abordar, es que las comunas de Villarrica y Pucón se encuentran en un área de amenaza volcánica, por lo que su población se encuentra vulnerable a ser afectada por un fenómeno de este tipo. Es necesario evaluar el riesgo de la población con el fin de que se tomen las medidas de protección pertinentes.

En el trabajo, se evaluará el riesgo volcánico en las comunas de Villarrica y Pucón, a partir de la ecuación:

$$\boxed{\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}},$$

donde la amenaza estará representada por el Mapa de Peligros del Volcán Villarrica y la Vulnerabilidad, que se divide en Vulnerabilidad Social, Física, Económica y Ambiental, será considerada como Vulnerabilidad Física, y se calculará mediante una Evaluación Multicriterio de los factores considerados más relevantes. Esta Evaluación Multicriterio basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas basándose en una serie de criterios, y puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en la toma de decisiones. Para efectos de este trabajo, los términos amenaza y peligro serán considerados sinónimos.

El propósito final será lograr una zonificación de Riesgo Volcánico, que permita a la población conocer el riesgo al que se exponen, al mismo tiempo, pretende ser una herramienta, mediante la cual se espera realizar acciones concretas dirigidas a mejorar la planificación, los planes de emergencia y la evacuación de la población de aquellas áreas vulnerables.

[4] Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Censo 2002 [online].

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general:

Realizar una evaluación de riesgo volcánico, en términos de vulnerabilidad física, en las comunas de Villarrica y Pucón.

1.3.2. Objetivos específicos:

1. Determinar los factores demográficos y de infraestructura que condicionan la vulnerabilidad física.
2. Determinar la población e infraestructura expuesta a la amenaza volcánica, según los factores identificados.
3. Elaborar una zonificación del riesgo volcánico integrando los factores identificados, junto con el mapa de peligros.
4. De acuerdo a los resultados obtenidos en la zonificación, proponer áreas seguras y una orientación para la evacuación de la población.

CAPÍTULO II

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Entendiendo el Riesgo

Los asentamientos humanos constantemente han visto alterado su normal desarrollo por las diferentes manifestaciones de la naturaleza. El hombre se encuentra sometido en cierta medida al medio natural que lo rodea. Es precisamente la naturaleza, tanto viviente como inanimada, la que proporciona los elementos necesarios para la existencia de las sociedades humanas, al tiempo que lleva consigo toda una gama de dificultades e incluso amenazas, contrarias al bienestar del hombre y, a veces, a su propia supervivencia.

El riesgo es la probabilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario[5]. El riesgo es una densidad de probabilidad, definida a partir de la peligrosidad, es decir, de la probabilidad de que en un punto, en un intervalo de tiempo ocurra un evento peligroso y de la vulnerabilidad, entendida como densidad de probabilidad de que dado el evento peligroso se sufra un determinado daño[6].

En su uso común, el riesgo supone incertidumbre, asociada a un evento futuro o supuesto, en él, están involucrados los conceptos Probabilidad (factibilidad) y Seguridad (ausencia de riesgo, en medida variable). Para que exista una condición de riesgo, deben interrelacionarse en tiempo y espacio común, factores de amenaza y factores de vulnerabilidad, los cuales son interdependientes y directamente proporcionales[7].

El riesgo es la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado[8].

Los distintos tipos de riesgo no presentan el mismo grado de amenaza para el hombre. Hoy, los riesgos biológicos son prevenibles en sociedades suficientemente evolucionadas, incluso, algunos han sido prácticamente erradicados, mientras que los riesgos con origen geológico no pueden prevenirse en muchos casos. Esta consideración impulsa a intentar clasificar los riesgos de acuerdo con su escala, pero una tipología de este tipo no puede tener una validez universal, ya que son las condiciones del grupo humano afectado las que proporcionan mayor o menor peligrosidad a los distintos eventos[9].

Los Escenarios de Riesgo, en tanto, se configuran de acuerdo a las variables de riesgo independientes o interrelacionadas en un área determinada, todo lo cual requiere de rigurosos estudios para acceder a una adecuada

---

[5] Ayala, F. y Olcina, J. 2002, Riesgos Naturales.
[6] Araña, V. y Ortiz, R. 1993, Riesgo Volcánico. En: La Volcanología Actual.
[7] ONEMI. 2009. Marco Conceptual en Protección Civil.
[8] ONEMI. 2002. Plan Nacional de Protección Civil.
[9] Calvo, F. 1984, La geografía de los riesgos.

estimación de Riesgos a considerar en las respectivas planificaciones de desarrollo sostenible[10].

Hay que tener en cuenta que el riesgo no puede ser considerado sin la presencia de la población. Por lo tanto, la iniciativa y la acción del hombre son elementos esenciales del riesgo.

La constante interacción entre vida humana y medio natural, se realiza dentro de unos límites muy variables. Hasta determinados umbrales, diversos tipos de mecanismos de tipo técnico y social nos permiten acomodarnos en nuestro entorno natural, paliando la incidencia de aquellos aspectos que pueden ser perjudiciales en algún grado. Sin embargo, sobrepasados estos umbrales, las formas de adaptación pueden mostrarse insuficientes, derivándose de ello efectos seriamente perjudiciales para los grupos humanos.

Existe riesgo, por tanto, cuando el umbral de cambio tolerable se ve sobrepasado en un plazo más o menos breve y empieza a desencadenarse una situación que conduce a la catástrofe. Pueden clasificarse en ocasiones directamente como riesgos, procesos que forman parte de la dinámica natural, pero hablar de riesgos en un contexto natural no tiene sentido, la medida del riesgo es humana, hasta el punto de que puede ocurrir, y ocurre, que determinados procesos naturales son positivos para el hombre hasta un cierto nivel y terriblemente destructivos si lo sobrepasan.

El riesgo podría definirse, en términos abstractos como la expectación de que ciertos eventos produzcan un impacto adverso sobre algunos elementos expuestos. Esta expectación está basada en la racional proyección de experiencias ocurridas en el pasado, al futuro inmediato. De acuerdo con el nivel de conocimiento actual, sobre el problema de análisis del riesgo, una parte importante del mismo se enmarca en un ámbito probabilístico, en el que debe conjugarse el conocimiento determinista que exista del fenómeno objeto de estudio[11].

En el caso de la probabilidad que la amenaza afecte a una comunidad y se transforme en un hecho, estaríamos en presencia de una catástrofe natural. Y en el determinado caso de que esta catástrofe fuese mayor, que de alguna forma suponga la pérdida de vidas humanas, entraría en la calificación de desastre. Siguiendo esta dinámica, el territorio es un escenario, donde posiblemente ocurra un suceso o fenómeno determinado, y es responsabilidad del experto en riesgo (o bien del ejecutor del estudio), el determinar, zonificar y jerarquizar la posibilidad de que un espacio geográfico registre un evento natural de rango extraordinario, lo que debe conducir al establecimiento de ámbitos y grados de riesgo[12].

También se debe tener en cuenta, que no sólo las vidas humanas son elementos en riesgo, ya que nuestra sociedad posee y depende de estructuras básicas muy vulnerables, como son los sistemas de comunicación o las redes de distribución de agua y energía[13].

---

[10] ONEMI. 2002. Plan Nacional de Protección Civil

[11] Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.

[12] Ayala, F. y Olcina, J. 2002, Riesgos Naturales.

[13] Chester, 1993. En Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.

Cuando se produce una situación de peligro o amenaza, aspectos más importantes que la severidad del agente dañino son las condiciones que determinan la protección de la población y sus bienes, unidas a las capacidades de que disponen para controlarlo.

El riesgo puede traducirse en un evento adverso o destructivo. Se puede definir como "evento adverso o destructivo" las alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el ambiente, que exceden o no la capacidad de respuesta de la comunidad afectada. Cuando estas alteraciones exceden la capacidad de respuesta, estamos frente a un desastre. En caso contrario, se califica como emergencia. El desastre en sí no es un fenómeno de la naturaleza o de origen humano, sino los efectos nocivos que estos fenómenos producen sobre una comunidad determinada[14].

Generalmente se tiende a confundir los términos amenaza y riesgo, pero su principal diferencia es que el riesgo implica la presencia humana y la amenaza se refiere al fenómeno en sí. La amenaza natural sería el fenómeno natural, que en potencia podría afectar al hombre y a su entorno, pero que no necesita del ser humano para desencadenarse, ya que sin la presencia del hombre, es sólo un evento natural extremo.

La amenaza se concibe como un factor externo de riesgo, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana, que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas[15].

La vulnerabilidad se concibe como un factor interno de riesgo de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado[16]

La vulnerabilidad describe el grado en que un sistema socioeconómico es susceptible al impacto de los fenómenos naturales. Incluye aspectos como el grado de conciencia ante la amenaza, el estado de los asentamientos humanos y la infraestructura, las políticas y la gestión pública y la capacidad de organización en todos los campos del manejo de desastres[17].

La vulnerabilidad es la posibilidad de las personas y sus recursos a ser dañadas por una amenaza. La vida y salud de las personas están en riesgo directo de los potenciales efectos destructivos de una amenaza. Sus ingresos y bienes de subsistencia están en riesgo a causa de la destrucción de los edificios, cosechas, ganado o equipo de los cuales ellos dependen. Cada tipo de amenaza pone en riesgo una serie de elementos un tanto diferentes. Gran parte del trabajo de mitigación del desastre centra su atención en reducir la vulnerabilidad y, con el fin de actuar para reducir la vulnerabilidad, aquellos que planifican el desarrollo deben entender cuáles son los elementos con mayor riesgo de las principales amenazas que han identificado[18].

En general, la amenaza de origen volcánico, no es intervenible, no se puede disminuir, es inherente a la naturaleza, por eso hay que intervenir la

---

[14] ONEMI. 2009. Marco Conceptual en Protección Civil.
[15] ONEMI. 2009. Marco Conceptual en Protección Civil.
[16] ONEMI. 2002. Plan Nacional de Protección Civil.
[17] Ayala, F. y Olcina, J. 2002, Riesgos Naturales.
[18] Coburn, A. et al, 1991, Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo.

vulnerabilidad, porque ésta se basa en las condiciones de los asentamientos humanos y las sociedades.

Se debe tener en cuenta, que frente a las dinámicas propias de la naturaleza, la gestión del riesgo es mucho más factible desde el manejo de la vulnerabilidad, para evitar o mitigar la ocurrencia de emergencias o desastres. En todo contexto y actividad humana, confluyen determinados factores de amenaza y vulnerabilidad, tal vez en su mayoría controlables con una gestión profunda y sostenida, pero no eliminables en su totalidad[19].

El riesgo se arraiga en condiciones de vulnerabilidad física, social, económica y ambiental que es necesario evaluar y administrar de forma continua. El objetivo primordial es minimizar la exposición a las amenazas mediante el desarrollo de capacidades individuales, institucionales y de la sociedad, que permitan enfrentar las pérdidas o daños. La vulnerabilidad es un reflejo de las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales, tanto individuales como colectivas. Éstas se están configurando permanentemente por las actitudes, conductas e influencias culturales, socioeconómicas y políticas de que son objeto las personas, familias, comunidades y países. Puesto que se rige por la actividad humana, la vulnerabilidad no puede considerarse independientemente de las actividades que se llevan a cabo en pro del desarrollo. Por ese motivo, la vulnerabilidad desempeña un papel decisivo en todos los aspectos relacionados con el desarrollo sostenible[20].

La identificación y delimitación de zonas vulnerables pueden servir para generar mapas de vulnerabilidad, los cuales en conjunto con la información de amenaza son herramientas muy útiles para la generación de planes y estrategias de rehabilitación y prevención en las zonas más vulnerables, con el fin de implementar programas de reducción de vulnerabilidad y atención en caso de desastre[21].

A continuación se detallan los cuatro factores que determinan la vulnerabilidad, según el Informe Mundial sobre las iniciativas para la reducción de Desastres[22]:

- Factores físicos:

Este concepto tiene una connotación material y proviene de las corrientes de ordenamiento territorial, de la ingeniería y la arquitectura. Aunque el alcance de los aspectos físicos de la vulnerabilidad se amplía en forma permanente, éstos todavía se relacionan principalmente con consideraciones y susceptibilidades con respecto a la ubicación y al entorno construido. Puede describirse como "exposición", o "estar en el lugar equivocado en el momento equivocado". La vulnerabilidad física puede determinarse por aspectos tales como la densidad de población, lo apartado que se encuentra un asentamiento, el lugar, diseño y materiales que se utilizan para construir la infraestructura vial y las viviendas.

---

[19] ONEMI. 2009. Marco Conceptual en Protección Civil.

[20] Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2004. Vivir con el Riesgo: Informe Mundial sobre las iniciativas para la reducción de Desastres.

[21] CEPAL, 2005. El Impacto de los Desastres Naturales en el Desarrollo: Documento Metodológico Básico para Estudios de Caso.

[22] Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2004. Vivir con el Riesgo: Informe Mundial sobre las iniciativas para la reducción de Desastres.

- Factores sociales:

La vulnerabilidad social tiene relación con el grado de bienestar de las personas, las comunidades y la sociedad. Comprende aspectos vinculados con el grado de alfabetización y educación; las condiciones de paz y seguridad; el acceso a los derechos humanos fundamentales; los sistemas de buena gobernabilidad y equidad social, los valores de carácter positivo, las costumbres y convicciones ideológicas y los sistemas de organización colectiva en general.

- Factores económicos:

El grado de vulnerabilidad depende mucho de la situación económica de las personas, comunidades y países. La vulnerabilidad económica también incluye la magnitud de las reservas económicas individuales, comunitarias y nacionales, el grado de endeudamiento y el acceso a créditos, préstamos y seguros.

- Factores ambientales:

Entre los aspectos fundamentales de la vulnerabilidad ambiental cabe mencionar el grado de agotamiento de los recursos naturales y su estado de degradación. Del mismo modo, la falta de resiliencia de los sistemas ecológicos y la exposición a contaminantes tóxicos y peligrosos son factores importantes que contribuyen a la vulnerabilidad ambiental.

Hoy en el mundo se plantea de manera racional la reducción del riesgo como área formal de la gestión, particularmente en función de la reducción de la vulnerabilidad humana. Es aquí donde se requiere un enfoque más moderno de la gestión en Protección Civil, centrando su preocupación fundamental en que el proceso de desarrollo al que está abocada la sociedad, se vaya cumpliendo bajo nítidas y efectivas condiciones de protección y seguridad integral para las personas, sus bienes y ambiente. Este enfoque otorga efectivas condiciones de sustentabilidad a ese proceso de desarrollo, donde el manejo de las vulnerabilidades pasa a ser el cimiento concreto de la gestión de riesgos[23].

2.1.2. Riesgo Volcánico

Una de las manifestaciones de las fuerzas de la tierra, es la actividad volcánica, la cual causa gran expectación y temor en el hombre, ya que constituye un fenómeno de gran magnitud, que es imposible dominar.

Los volcanes han jugado un papel clave en la formación y modificación de la Tierra, más allá de los recuerdos humanos o de los registros. Más del 80% de la superficie de la Tierra -sobre y bajo el nivel del mar- es de origen volcánico. Durante las eras geológicas, incontables erupciones volcánicas han producido

[23] ONEMI. 2009. Marco Conceptual en Protección Civil.

montañas, mesetas, y llanos, que la erosión ha esculpido en paisajes y ha formado suelos fértiles. Pero los volcanes son creadores y destructores a la vez. Estos suelos volcánicos han atraído y siguen atrayendo gente para vivir sobre los flancos de volcanes[24].

Así, junto con los aumentos de densidad demográfica en las regiones de volcanes potencialmente activos, la humanidad debe hacerse cada vez más consciente de las amenazas y aprender a no sobrepoblar estas áreas. La gente que vive a la sombra de volcanes debe vivir en armonía con ellos, esperando y planificando los periodos violentos en que libera su energía encerrada[25].

La existencia y dimensión del riesgo volcánico es un concepto que gradualmente se está imponiendo en todo el mundo, debido a las últimas erupciones catastróficas y su impacto, magnificado por los medios de comunicación de masas[26].

Para el ámbito volcánico entonces, se definiría riesgo volcánico como la probabilidad de que un evento volcánico afecte en algún grado la existencia de la gente que vive en las cercanías del volcán y de la infraestructura urbana y rural que utilizan.

Las evaluaciones de riesgo volcánico se inician con la delineación de áreas localizadas potencialmente dentro del camino del fenómeno de nuestro interés. Estas áreas son comúnmente extraídas del análisis de mapas de amenazas volcánicas, que son generalmente obtenidos de la reconstrucción de la historia eruptiva del volcán, y de la distribución y características de los depósitos. Se asume que el futuro comportamiento del volcán seguirá las mismas reglas que en el pasado[27].

El riesgo puede tener un valor numérico (monetario o en número de víctimas), que podría calcularse con algún tipo de ecuación. En el caso del riesgo volcánico, incluyen el producto de la peligrosidad volcánica por la vulnerabilidad y por la exposición[28].

La peligrosidad y la vulnerabilidad pueden evaluarse siguiendo dos metodologías distintas: en base al estudio de los efectos de erupciones pasadas (métodos observacionales) o partiendo de modelos teóricos de los fenómenos y sus efectos (métodos predictivos). En el estado actual del conocimiento del fenómeno volcánico se utiliza un método mixto, que conjuga la observación detallada de los efectos de las pasadas erupciones ocurridas en la zona, y mediante técnicas numéricas basadas en la física de los fenómenos volcánicos, con lo cual se modela los efectos de la erupción esperada[29].

Según Ortiz (2000), el riesgo volcánico depende en primer lugar del tipo y magnitud de la erupción, de la distancia entre el elemento en riesgo y la fuente, de

---

[24] Tilling, R. 1999, Volcanoes, United Status Geological Survey, General Interest Publications, Estados Unidos.

[25] Tilling, R. 1999, Volcanoes, United Status Geological Survey, General Interest Publications, Estados Unidos.

[26] Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.

[27] Gómez-Fernández, F. 2000, Contribution of Geographical Information Systems to the Management of Volcanic Crises.

[28] Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica

[29] Barberi et al., 1989; Dobran et al., 1990, en Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.

la topografía, del viento y otras variables meteorológicas, de la vulnerabilidad y, finalmente, del sistema de alerta y alarma. Una vez evaluados los distintos factores de amenaza volcánica, con clara referencia a su magnitud, extensión, duración y periodo de retorno, se debe proceder a estudiar los elementos de riesgo, definiendo para cada uno de ellos y para cada una de las amenazas, su vulnerabilidad, la cual será función de sus propiedades estructurales y de su distancia al centro de emisión. El factor de exposición, que siempre reduce el factor de riesgo, introduce el hecho de que el elemento en riesgo no estará permanentemente en la zona de amenaza y se expresa en porcentaje del tiempo total. Por ejemplo, una construcción se supone que sólo durará 50 años, que una cosecha sólo estará amenazada durante seis meses al año, los turistas sólo están en verano, etc.

A partir de la aclaración anterior es que podemos pasar a definir el alcance del siguiente análisis, el que se centrará principalmente en factores que permitan evaluar la vulnerabilidad física en las comunas de Villarrica y Pucón, debido a que la amenaza volcánica ya ha sido estudiada y se encuentra zonificada.

Se consideró importante la evaluación del riesgo en términos de la vulnerabilidad física, debido a que es prioritario conocer los lugares en donde se encuentra concentrada la población, con el fin de gestionar correctamente los planes de evacuación, planes de emergencia, los sistemas de alerta y alarma y la ubicación de señaléticas. Asimismo, es necesario saber las falencias estructurales del área de estudio, con el fin de gestionar un adecuado reforzamiento de las vías de evacuación e infraestructura antes de que ocurra un desastre.

2.1.3. Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el manejo del riesgo

Los SIG son sistemas asistidos por un ordenador, usados para almacenar y manipular la información geográfica. La manipulación de datos se extiende desde la superposición simple de mapas temáticos diferentes para la identificación de áreas con condiciones requeridas específicas, hasta el uso más sofisticado de operadores matemáticos o modelos numéricos integrados para la predicción de la dinámica de fenómenos naturales[30].

Los SIG han contribuido para solucionar la integración de problemas por sus amplias capacidades de introducir y analizar datos de múltiples fuentes implicados en el proceso de evaluación de riesgo[31].

Los SIG constituyen una herramienta eficaz para la prevención de riesgos de muy distintos tipos y para la toma de decisiones ante las catástrofes. Con la ayuda de un SIG se pueden abordar cuestiones como la determinación de la distribución exacta de los focos y zonas de riesgo, también la identificación de la población potencialmente afectada y la selección de las redes de transporte utilizables para facilitar una eventual evacuación[32].

---

[30] Pareschi, M.T., Cavarra, L., Favalli, M., Giannini, F., Meriggi, A. 2000, GIS and Volcanic Risk Management.
[31] Gómez-Fernández, F. 2000, Contribution of Geographical Information Systems to the Management of Volcanic Crises.
[32] Gould, M., Gutiérrez, J. 1994. SIG: Sistemas de Información Geográfica.

Las bases de datos socioeconómicas y los datos de vulnerabilidad proporcionan la información requerida para caracterizar el valor de los elementos amenazados y su grado de vulnerabilidad[33].

2.1.4. Evaluación Multicriterio

La evaluación multicriterio (EMC) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones[34].

Según Chen, et al, (2001) la toma de decisiones usando evaluación multicriterio generalmente sigue los siguientes pasos:

1. Identificar el problema de la toma de decisiones
2. Identificar los criterios que son relevantes al problema de decisión
3. Asignación de valores a los criterios y conducir la estandarización
4. Determinar pesos entre los criterios
5. Unir criterios y pesos con los métodos EMC
6. Tomar una decisión provisional
7. Realizar un análisis de sensibilidad
8. Interpretación

Estos pasos, son definidos más extensamente por Barredo (1996).

La evaluación multicriterio basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas basándose en una serie de criterios. Un método de EMC puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente[35] una serie de alternativas a partir de los criterios que se hayan considerado pertinentes en una evaluación[36].

La mejor organización para representar la relación de criterios y alternativas que define la EMC es una matriz de evaluación. En ella, los criterios ocupan la columna principal y las alternativas, la fila principal. Los valores internos de la matriz son llamados puntuaciones de criterios y representan el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa en cada criterio. Siendo a partir de ahí donde los distintos métodos de EMC basan todo su funcionamiento intrínseco para lograr la evaluación de las alternativas[37].

La asignación de puntuaciones a las alternativas la realiza el centro decisor o el equipo planificador, según preferencias previas.

Una vez construida la matriz de evaluación, otro aspecto a tomar en cuenta es la importancia relativa de cada criterio frente al tipo de evaluación que se pretenda realizar. En el caso que tengan distintas jerarquías para la posterior evaluación, se requiere asignar un valor específico a cada criterio, de acuerdo a su nivel de importancia relativa. Este valor recibe el nombre de peso o ponderación,

---

[33] Gómez-Fernández, F. 2000, Contribution of Geographical Information Systems to the Management of Volcanic Crises.

[34] Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[35] Eastman et al., 1993, en Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[36] Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[37] Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

cuando se expresa cuantitativamente, y jerarquía cuando se realiza de modo cualitativo[38].

Una vez asignados los pesos a los criterios, éstos se pueden incluir en una nueva matriz, de prioridades.

Una vez establecidas las matrices, es posible acceder a alguno de los procedimientos de EMC, para la asignación de valores a cada alternativa a la luz de los criterios de cada punto de vista, obteniendo la matriz de valoración, en la cual cada alternativa ha obtenido un valor según cada uno de los puntos de vista planteados[39].

El siguiente paso es elegir un método de EMC, los cuales se diferencian básicamente en los procedimientos aritmético-estadísticos que realizan sobre las matrices de evaluación y de prioridades, con lo cual se obtiene una evaluación final de las alternativas[40].

Este método ha sido recientemente utilizado por Aceves-Quesada et al (2006) en "Determinación de Peligros Volcánicos Aplicando Técnicas de Evaluación MultiCriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México"; por Mena et al (2006), en "Modelación Espacial mediante Geomática y Evaluación MultiCriterio para la Ordenación Territorial" y por Aceves-Quesada et al (2007) en "Vulnerability assessment in a volcanic risk evaluation in Central México through a multi-cruteria-GIS approach".

El método de las Jerarquías analíticas tiene la finalidad de comparar la importancia de los factores sobre cada uno de los demás[41].

Este método es conocido en IDRISI como el de Combinación Lineal Ponderada[42] y se basa en el establecimiento de un matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas estará definido por el número de criterios a ponderar, por lo que es conocida como matriz de comparación simultánea por pares o matriz de comparación pareada. La comparación permite establecer jerarquías o pesos para los criterios, asignando así a cada uno de ellos un valor relativo de ponderación frente a los demás[43].

---

[38] Voogd, 1983, en Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[39] Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[40] Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio.

[41] Mena, C. et al, 2006, Modelación Espacial mediante Geomática y Evaluación MultiCriterio para la Ordenación Territorial.

[42] Eastman, 1997, Aceves-Quesada, F. et al, 2006, Determinación de Peligros Volcánicos Aplicando Técnicas de Evaluación MultiCriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México.

[43] Aceves-Quesada, F. et al, 2006, Determinación de Peligros Volcánicos Aplicando Técnicas de Evaluación MultiCriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México.

2.1.5. Historia Eruptiva del Volcán Villarrica.

El estudio de la historia eruptiva de un volcán no tiene otro objeto que modelar las pasadas erupciones para prevenir el desarrollo de las futuras[44].

La única vía para aproximarnos a una previsión lógica sobre el "tipo de erupción", es el estudio detallado de la historia eruptiva de cada volcán. De este estudio pueden deducirse ciclos magmáticos y una posible sucesión ordenada de eventos dentro de cada ciclo[45].

El volcán Villarrica es de edad pleistocena superior y holocena. El cono principal alcanza una altura de 2.847 m s.n.m., cubre una superficie de 700 km^2, y su volumen es de ~250 km^3. Alcanza una altura de 2.000 m sobre la base y está rodeado por 30 centros eruptivos adventicios. Su cráter abierto de 200 m de diámetro exhibe un activo lago de lava y una permanente fumarola[46].

El Volcán Villarrica es el más activo y violento de los volcanes andinos chilenos, ha estado casi permanentemente en actividad, con emisión de gases, cenizas, lapilli y derrames lávicos en forma intermitente, constituyendo un foco de riesgo permanente para los dispersos habitantes rurales que viven en sus faldeos bajos o, incluso, para los del pueblo de Pucón[47].

Al observar la historia eruptiva del volcán, es posible apreciar un incremento en la cantidad de eventos eruptivos en el transcurso de los años, lo cual se atribuye a una mayor información escrita existente. Si se considera que los siglos anteriores al XX, eventualmente presentaron un comportamiento similar a éste, significaría que el volcán Villarrica habría tenido, al menos, unas 18 erupciones por siglo, lo que sumaría un total de alrededor de 90 erupciones históricas, demostrando que en realidad es el segundo volcán más activo de Sudamérica[48].

Las erupciones han sido desde Hawaianas hasta Plinianas, con Índices de Explosividad Volcánica (IEV) desde 0 hasta eventualmente 6. Los procesos que han gatillado erupciones son: un eventual nuevo aporte de magma a la cámara; la carga de la nieve temporal y la infiltración de agua en la cámara[49].

Los productos emitidos en sus erupciones son principalmente piroclastos y lava. Dentro de los procesos de actividad volcánica, la formación de lahares ha sido el más recurrente y el que ha causado la gran mayoría de los desastres alrededor del volcán, tanto en pérdidas humanas como económicas.

La cronología eruptiva del volcán Villarrica abarca hasta hoy un período de 428 años, siendo el primer registro en 1558 y el último importante en 1984-85, con 64 erupciones registradas, según diferentes autores. El número de erupciones registradas va de 4 en el siglo XVI, aumentando progresivamente hasta llegar a 23 en el siglo XX, lo que se debe probablemente al incremento de registros, más que a un cambio en la actividad. Su periodo de recurrencia es en promedio de 6,66 años, donde el mayor periodo es de 46 años y el menor es de 1 año. El mayor valor se encuentra entre los años 1594 y 1640, por lo que puede deberse no a una falta de erupción, sino a una falta de registros al respecto.

---

[44] Araña, V. y Ortiz, R. 1993, Riesgo Volcánico. En: La Volcanología Actual.
[45] Araña, V. y Ortiz, R. 1993, Riesgo Volcánico. En: La Volcanología Actual.
[46] Moreno, H. 1993, Geología y Evaluación del Riesgo Volcánico, Regiones IX y X.
[47] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[48] Moreno, H. 1993, Geología y Evaluación del Riesgo Volcánico, Regiones IX y X.
[49] Moreno, H. 1993, Geología y Evaluación del Riesgo Volcánico, Regiones IX y X.

El volcán Villarrica lleva 24 años sin una erupción, por ello es que debido a su periodo de retorno, la probabilidad de ocurrencia de una erupción es muy alta en estos años. Sin embargo, el volcán Villarrica se encuentra en constante actividad, debido a que es un volcán de conducto abierto.

Los productos más recurrentes de las erupciones son explosiones, columnas de gases y cenizas y eyección de piroclastos. A pesar de esto, lo más dañino, aunque menos recurrente son los lahares, los cuales siguen las redes de drenaje para escurrir. Entre los drenes más recurrentes desagüe de lahares se encuentran el Estero Molco, Estero Huichatio y Estero Seco-Chaillupén. Las localidades más afectadas son las que se encuentran cercanas a estas vías de desagüe.

Una de las amenazas asociadas al volcán, aunque indirectamente, es el de un gran aporte de lluvias sumado a un derretimiento súbito de las nieves del volcán, que podría provocar inundaciones por colmatación del lago e insuficiencia del Toltén, su desaguadero. Esto ocurrió, en cierto modo, con la erupción de 1971 que produjo avalanchas que bajaron por los ríos Pedregoso y Chilcos hacia el lago Villarrica y por el Chaillupén y Coñaripe hacia el lago Calafquén[50].

En la actualidad, este volcán presenta una actividad estromboliana moderada, permanente liberación de gases magmáticos y periódicas explosiones mayores[51].

2.1.6. Futuros Escenarios Eruptivos

Durante las erupciones pasadas del volcán Villarrica, se produjo la emisión de coladas de lava, la formación de lahares y la proyección de piroclastos. Las principales amenazas que pudieran estar vinculadas a sus futuras erupciones son, por lo tanto, aquellas originadas por el desplazamiento de corrientes de lava, la caída de piroclastos y el paso de corrientes laháricas acompañadas por la crecida de ríos y esteros[52].

Las erupciones estarán, probablemente, acompañadas por la emisión de gases tóxicos, actividad sísmica local, avalanchas de nieve, deslizamientos, incendios forestales, tormentas eléctricas, obstrucción de cursos fluviales y alteraciones fisicoquímicas de las aguas, suelos y vegetación[53].

---

[50] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[51] Calder, E. et al, 2004, Combined Termal and Seismic Análisis of the Villarrica Volcano Lava Lake, Chile.
[52] Moreno, H. 2000. Mapa de Peligros del Volcán Villarrica Escala 1 : 75000.
[53] Moreno, H. 2000. Mapa de Peligros del Volcán Villarrica Escala 1 : 75000.

CAPÍTULO III

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización

El volcán Villarrica está ubicado en el límite de las regiones de la Araucanía y de Los Ríos, entre los lagos Villarrica y Calafquén, abarcando parte de las comunas de Villarrica, Pucón y Panguipulli. A sus pies se encuentran localidades turísticas como Villarrica, Pucón, Licán Ray y Coñaripe, además de centros poblados menores[54].

Para efectos de este trabajo, se considerará sólo parte del área de influencia del volcán. Por lo que el área de estudio se sitúa en la provincia de Cautín, Región de la Araucanía, y comprende las comunas de Villarrica y Pucón (Mapa 1).

La comuna de Villarrica cuenta con 45.531 habitantes y la comuna de Pucón con 21.107 habitantes[55].

3.1.2. Clima

El área presenta un clima templado típico con influencia oceánica donde la estación seca ya no existe y se reduce a uno o dos meses en el año[56].

Las temperaturas máximas promedian entre 23° y 25°C y las mínimas, entre 3° y 5°C[57].

La estación Flor del Lago, a unos 5 km al N del lago Villarrica, tiene como promedio anual 2.595 mm, de los cuales 1.160 (45%) caen en invierno y 238 (9%) en verano; los meses francamente lluviosos son los de abril a noviembre. En los restantes sólo disminuye la lluvia. El periodo libre de heladas oscila entre 120 y 150 días al año[58].

3.1.3. Vegetación

En esta parte de la región, aún restan amplios manchones de bosque hidrófilo, pero el roble tiende a desaparecer para ser reemplazado por luma, tepa, arrayán, y mañío. En terrenos poco pantanosos se agregan avellanos y ulmos; entre los arbustos, calafate, murta, michai, además de helechos diversos, enredaderas como el pilpilvoqui y copihue, en sus tres variedades de color. Al sur

---

[54] Moreno, H. 2000. Mapa de Peligros del Volcán Villarrica
[55] Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Censo 2002 [online].
[56] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[57] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[58] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.

de la región pasan a dominar el lingue o el coigüe y se agregan la patagua y la pitra o patagua de Valdivia[59].

3.1.4. Turismo

El clima, el volcán, el lago y las fuentes termales son los grandes recursos aparentemente inagotables de la zona; se explotan bien y cuentan con una adecuada infraestructura hotelera y de otros servicios. Aunque estacionalmente, el recurso turístico es importante porque atrae corrientes de visitantes nacionales y extranjeros[60].

Presentan una condición de comunas turísticas, basada especialmente en sus atractivos naturales como son sus lagos, volcán, ríos y montañas. Como ejemplo de lo anterior podemos mencionar el lago Villarrica y el Calafquén, el volcán Villarrica, etc.[61]

Destaca el Parque Nacional Villarrica, el cual ocupa parte de las Provincias de Cautín y Valdivia (Comunas de Pucón, Villarrica, Curarrehue y Panguipulli). Su año de creación data de 1940, con una superficie de 63.000 hectáreas[62]. En él se desarrollan diversas actividades deportivas y de ecoturismo.

3.1.5. Medidas de Mitigación y Preparación

Desde el año 1996 se encuentra en funciones el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) dependiente de SERNAGEOMIN y desde 1997 una Comisión Científico Técnica de Riesgo Geológico, conformada por OVDAS, el Director Regional de ONEMI y la Seremi de Economía y Minería, la cual está abocada a la elaboración y actualización de planes de emergencia, preparación de la comunidad frente a posibles contingencias y formulación de proyectos que tengan por objeto la prevención de riesgos y mitigación de sus efectos en las áreas vulnerables[63].

Con el apoyo de la Municipalidad de Villarrica se ha establecido en las proximidades del volcán Villarrica, Estaciones de Monitoreo, las cuales están interconectadas con OVDAS en Temuco, registrando la actividad sísmica en forma diaria o semanal[64].

El volcán Villarrica es monitoreado por dos estaciones sismológicas uniaxiales, una telemétrica (VNVI) y otra local (CVVI) ubicadas a 3,7 y 23,5 km (Centro Volcanológico Villarrica, CVV) al NW del cráter principal. Los registros son

---

[59] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[60] Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía.
[61] Ilustre Municipalidad de Villarrica, 2006, [online].
[62] Ilustre Municipalidad de Villarrica, 2006, [online].
[63] Departamento de Protección Civil y Social, Gobierno Interior Intendencia Región de la Araucanía, Republica de Chile. 2004, Plan Regional de Protección Civil.
[64] Departamento de Protección Civil y Social, Gobierno Interior Intendencia Región de la Araucanía, Republica de Chile. 2004, Plan Regional de Protección Civil.

almacenados en un computador en el CVV desde donde son transmitidos, a través de internet, a las oficinas del OVDAS[65].

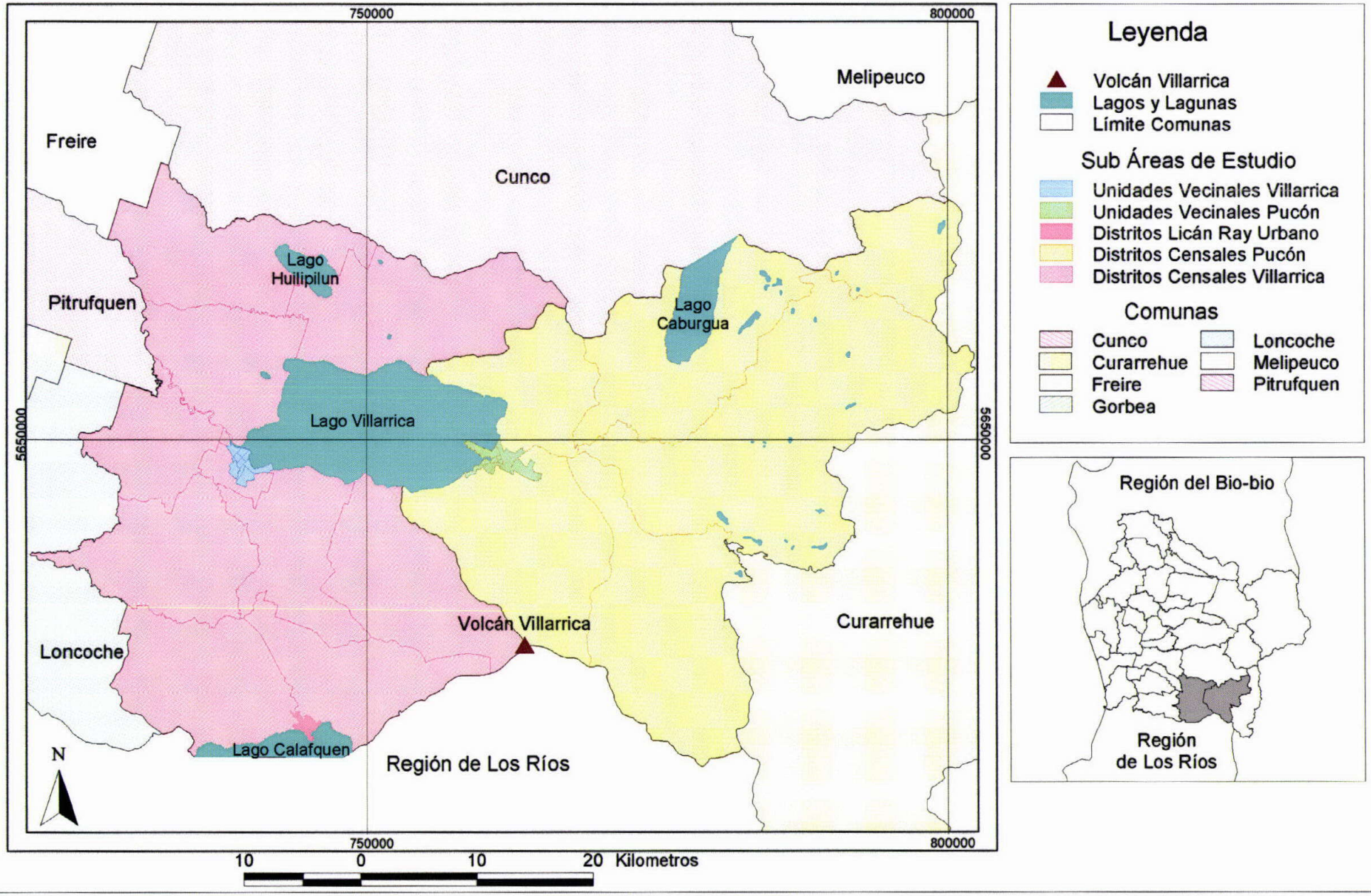
Además de esto, ONEMI ha desarrollado a nivel nacional una Metodología Básica para la Elaboración de un Plan de Respuesta por Actividad Volcánica "ACCEVOL", y junto a las Municipalidades se han elaborado Planes de Prevención y Respuesta en ambas comunas.

Actualmente está en operación un Semáforo de Alerta Volcánica, ubicado en el frontis de ambas Municipalidades.

Todas estas medidas de mitigación y preparación operan de acuerdo al Plan Nacional de Protección Civil.

[65] Departamento de Protección Civil y Social, Gobierno Interior Intendencia Región de la Araucanía, Republica de Chile. 2004, Plan Regional de Protección Civil.

Localización Área de Estudio
Comunas de Villarrica y Pucón



Mapa 1: Localización Área de Estudio

CAPÍTULO IV

4.1. METODOLOGÍA

4.1.1. Objetivo 1: Determinación de los factores demográficos y de infraestructura que condicionan la vulnerabilidad física.

- Actividad 1

Se discriminaron los factores y variables que tienen una mayor influencia en la vulnerabilidad física, lo cual se realizó a través de una revisión bibliográfica. La encuesta a profesionales se descartó, debido a que la discriminación a través de la revisión bibliográfica fue satisfactoria, sin embargo, algunos de los factores y variables fueron incluidos según lo discutido con profesionales de ONEMI.

Los principales autores considerados fueron Aceves-Quezada, J. (2007), Blong, R. (1996), Gómez-Fernández, F. (2000), Lirer, L. y Vitelli, L. (1998), Ortiz, R. (2000), y Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (2004).

4.1.2. Objetivo 2: Determinar la población e infraestructura expuesta a la amenaza volcánica.

- Actividad 1

Se identificaron las áreas de amenaza volcánica, utilizando la cartografía digital del mapa de peligros del Volcán Villarrica, escala 1:75.000, del Servicio Nacional de Geología y Minería, año 2000, y la cartografía digital de las comunas, con el fin de delimitar las áreas bajo amenaza volcánica en el programa Idrisi Kilimanjaro.

- Actividad 2

De acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 1, se realizó la recolección de datos de población, vivienda, infraestructura vial, infraestructura de salud y educación, ya que éstos son los factores a utilizar. Estos datos fueron obtenidos de la Base de Datos Redatam, del Censo 2002, y de las Municipalidades de Villarrica y Pucón, motivo por el cual se realizó un terreno a la zona para visitar ambas municipalidades y así conseguir la información necesaria.

Estos datos fueron trabajados a nivel de unidades vecinales en las áreas urbanas y distritos censales en las áreas rurales, a excepción del área urbana de Lican Ray, en donde se utilizaron los distritos censales urbanos, debido a que la configuración de las unidades vecinales no permitió una diferenciación de áreas similares a fin de realizar una comparación. La mayor parte del área urbana de Lican Ray se encuentra bajo la misma unidad vecinal.

Las comunas se dividieron en áreas urbanas y rurales, obteniendo así cinco sub-áreas de estudio, que son las siguientes:

- Área urbana de Villarrica
- Área urbana de Lican Ray
- Área rural de Villarrica
- Área urbana de Pucón
- Área rural de Pucón

Las unidades vecinales se encuentran delimitadas por las municipalidades respectivas, y los distritos censales según la cartografía asociada al censo 2002.

Las áreas urbanas de Villarrica, Lican Ray y Pucón cuentan con cartografía a escala 1 : 5.000 y los distritos censales de Villarrica y Pucón a escala 1 : 50.000.

Esta cartografía digital provenía de diferentes fuentes, por lo que no todas contaban con el mismo sistema de referencia. Es por esto que fueron georreferenciadas respecto del Mapa de Peligros del volcán Villarrica, con Datum WGS 84, huso 18 sur.

A partir de la recopilación de información y cartografía se crearon bases de datos para generar nuevos mapas, con el fin de caracterizar la vulnerabilidad física del área.

Los datos obtenidos de la base de datos REDATAM se vincularon a las cartografías de los distritos, generando así nuevas coberturas de cada uno de los factores. De cada una de estas áreas se obtuvo las siguientes cartografías:

- Total de población
- Población menor de 15 años y mayor de 60 años
- Total de viviendas
- Materiales de los techos de las viviendas
- Materiales de las paredes de las viviendas

De la cartografía obtenida de las municipalidades, se extrajeron y utilizaron las siguientes:

- Infraestructura de salud (Postas y Hospitales)
- Infraestructura de educación (Colegios, Escuelas, Liceos)
- Número de alumnos y docentes por institución
- Infraestructura vial (km de vías por unidad de análisis)
- Infraestructura de turismo (Hoteles, Hostales, Hospedajes, Cabañas, Camping, etc.)
- Capacidad de huéspedes de cada establecimiento.

Luego, las coberturas fueron transformadas a formato raster, donde se generaron imágenes con celdas de 6m en las áreas urbanas y de 15m en las áreas rurales. Este valor se consideró el necesario para mantener la fidelidad de los datos, ya que en celdas mayores podía entrar más de un valor en alguna de ellas. Posteriormente, se reclasificaron los valores de cada cobertura, convirtiéndolos en cuatro rangos equivalentes. Estos cuatro rangos corresponden a niveles de vulnerabilidad según la siguiente clasificación:

Valor	Niveles de vulnerabilidad
0	Sin vulnerabilidad
1	Vulnerabilidad Baja
2	Vulnerabilidad Media
3	Vulnerabilidad Alta

Tabla 1: Niveles de Vulnerabilidad de Variables

De acuerdo a estas coberturas, se generó, a través del álgebra de imágenes, dos factores que condicionan la vulnerabilidad física, el **Factor Población**, generado a partir de las coberturas de Población total y Población vulnerable, y el **Factor infraestructura**, generado a partir de las coberturas Total de viviendas, Infraestructura de salud, Infraestructura de educación, Infraestructura vial e Infraestructura de turismo.

Debido a que la población en el área de estudio se encuentra condicionada de manera importante por las estaciones del año, considerando la población flotante que se encuentra en los meses de verano, es que se decidió plantear dos escenarios de vulnerabilidad. Según esto se creó un tercer factor, denominado **Factor Estacional**, el cual en verano corresponde a la cobertura de Capacidad de huéspedes de cada establecimiento, y en invierno corresponde a la cobertura de Número de alumnos y docentes por institución.

Los valores de estos tres factores fueron reclasificados en cinco rangos equivalentes, que corresponden a niveles de vulnerabilidad, según la siguiente clasificación:

Valor	Niveles de vulnerabilidad
0	Sin vulnerabilidad
1	Vulnerabilidad Baja
2	Vulnerabilidad Media
3	Vulnerabilidad Alta
4	Vulnerabilidad Muy Alta

Tabla 2: Niveles de Vulnerabilidad de Factores

El uso de las coberturas de Materiales de los techos de las viviendas y Materiales de las paredes de las viviendas fue descartado, debido a que los datos eran significativamente homogéneos en todas las áreas de estudio, por lo que no permitían una diferenciación.

En cuanto a la cobertura de peligros volcánicos, para efectos de este trabajo, se utilizó una cobertura previamente tratada por SERNAGEOMIN, en la cual se presenta el peligro en cuatro rangos:

Valor	Niveles de peligro
0	Sin peligro
1	Peligro Bajo
2	Peligro Medio
3	Peligro Alto

Tabla 3: Niveles de Peligro

Esta cobertura se refiere sólo a las amenazas generadas por lahares y coladas de lava. Por lo tanto, para agregar la amenaza por caída de cenizas, se digitalizaron las curvas de caída a partir de una imagen del Mapa de Peligros. Esta cobertura define curvas de espesor de los depósitos de caída y diámetro de las partículas, en función de la distancia. En este caso se estableció sólo un rango, de Peligro Alto, ya que se considera que la caída de material es altamente nocivo para la población y la infraestructura, independiente de su espesor y diámetro.

Para seleccionar la zona amenazada del área de estudio, se seccionó ambas imágenes. Esto se realizó para las cinco áreas de trabajo, por lo que el resultado fue cinco nuevas imágenes de amenaza y tres nuevas imágenes de las curvas, (debido a que las áreas urbanas de Villarrica y Lican Ray se encuentran fuera de este tipo de amenaza de acuerdo al Mapa de Peligros) con las mismas características que las anteriores.

4.1.3. Objetivo 3: Realizar una zonificación del riesgo volcánico.

- Actividad 1

Una vez obtenidos los tres factores mencionados anteriormente, estos fueron ingresados a un módulo de *Decision Wizard* en el programa Idrisi Kilimanjaro, el cual guía los pasos a seguir en la Evaluación Multicriterio. De esta forma se evaluaron los escenarios de invierno y verano para cada sub-área de estudio.

Dentro del módulo se seleccionó la opción del método de las Jerarquías Analíticas para calcular los pesos relativos de cada factor. Este método utiliza una matriz de comparación por pares, en el cual se evalúa la importancia de cada factor con respecto a los otros, según la siguiente escala:

Comparación por Pares: Escala de Comparación Continua 9 puntos								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igual	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Extremadamente
Menos Importante					Más Importante			

Tabla 4: Escala de Comparación Continua

Al aplicar la escala a los factores de este trabajo se obtuvo la siguiente matriz, en donde se consideró al Factor Infraestructura como *moderadamente menos importante* que el Factor Población, y al Factor Estacional como *fuertemente menos importante* que el Factor Población y *moderadamente menos importante* que el Factor Infraestructura.

	Factor Población	Factor Infraestructura	Factor Estacional
Factor Población	1		
Factor Infraestructura	1/3	1	
Factor Estacional	1/5	1/3	1

Tabla 5: Matriz de Comparación por Pares

De esta forma, los pesos asignados para cada factor son los siguientes:

Escenario	Factor	Peso
Invierno	Población	0,6370
	Infraestructura	0,2583
	Estacional (alumnos y docentes)	0,1047
Verano	Población	0,6370
	Infraestructura	0,2583
	Estacional (capacidad hotelera)	0,1047

Tabla 6: Pesos de los Factores

Como resultado de la Evaluación Multicriterio se obtuvo la vulnerabilidad física de cada sub-área, en los escenarios de invierno y verano. Las imágenes resultantes presentan valores de 0 a 4, con las mismas características que los rangos de los factores.

- Actividad 2

Así, obtenida la vulnerabilidad física, el siguiente paso fue calcular el riesgo, para lo que se ocupó la ecuación

*Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad*

Donde la Amenaza corresponde al mapa de peligro, y a las curvas de los depósitos de caída de cenizas; y la Vulnerabilidad, al resultado de la Evaluación Multicriterio de vulnerabilidad física. Este proceso se realizó en el programa Idrisi Kilimanjaro.

Los resultados obtenidos fueron reclasificados en cuatro rangos equivalentes, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Valor	Niveles de riesgo
0	Sin riesgo
1	Riesgo Bajo
2	Riesgo Medio
3	Riesgo Alto
4	Riesgo Muy Alto

Tabla 7: Niveles de Riesgo

4.1.4. Objetivo 4: De acuerdo a los resultados obtenidos en la zonificación, proponer áreas seguras y lineamientos para la evacuación de la población.

- Actividad 1:

Se determinaron las zonas o sectores de seguridad, hacia donde la población pueda ser evacuada, de acuerdo a los resultados de la zonificación de riesgo volcánico y el mapa de peligros. Además, se identificaron las rutas expeditas de evacuación hacia estas zonas de seguridad.

CAPÍTULO V

5.1. Resultados y Análisis

5.1.1. Factores demográficos y de infraestructura que condicionan la vulnerabilidad física.

Los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica se presentan a continuación:

Aceves-Quezada, J. (2007) "Cuatro factores fueron identificados y evaluados en el estudio: Población total, uso del suelo, infraestructura y unidades económicas".

Blong, R. (1996) "La vulnerabilidad incluye la consideración de las consecuencias para la población, construcciones, infraestructura y actividad económica".

Gómez-Fernández, F. (2000) "Los factores utilizados en el estudio fueron: división administrativa; distribución de centros urbanos; estadísticas de población; redes de comunicación; red de distribución de agua; mapa de uso del suelo; y localización de elementos estratégicos, tales como puertos, aeropuertos, estaciones de petróleo, hospitales, etc.".

Lirer, L. y Vitelli, L. (1998) "Población, propiedad, actividad económica, servicios públicos".

Ortiz, R. (2000) "La vulnerabilidad de los elementos en riesgo será función de sus propiedades estructurales y de su distancia al centro de emisión".

"No sólo las vidas humanas son los elementos de riesgo, ya que nuestra sociedad posee y depende de estructuras básicas muy vulnerables, como son los sistemas de comunicación o las redes de distribución de agua y energía".

SIEIRD (2004) "La vulnerabilidad física puede determinarse por aspectos tales como la densidad de la población, lo apartado que se encuentra un asentamiento, el lugar, diseño y materiales que se utilizan para construir la infraestructura vital y las viviendas. Elementos de infraestructura, como aeropuertos, carreteras principales, instalaciones de salud y el tendido eléctrico".

De acuerdo a estos resultados, y a lo evaluado con profesionales de ONEMI, los factores que se consideraron relevantes y que se consideraron dentro de la definición de vulnerabilidad física, son los siguientes:

Factor	Variable
Población	Total
	Densidad
	Demografía (Sexo, Estructura etárea)
	Discapacitados
Vivienda	Total
	Materiales (Techo, Paredes)
Uso del Suelo	Plan regulador
	Áreas de expansión
	División administrativa
	Localización de elementos estratégicos
	Accesibilidad
Infraestructura	Caminos (Largo, Ancho, Tipo de carpeta)
	Servicios públicos
	Colegios (Nº establecimientos, Nº alumnos)
	Salud (Hospitales, Postas, Consultorios)
	Estudios superiores (Universidades, Centros de formación técnica, Institutos profesionales)
	Turismo (Nº establecimientos, Capacidad hotelera)
	Redes de comunicaciones
	Redes de distribución de agua y energía
Exposición	Cercanía al volcán
	Escurrimientos superficiales
	Dirección del viento
Economía	Unidades económicas

Tabla 8: Factores de Vulnerabilidad Física

De estos factores, los que se utilizaron, por considerarse más pertinentes para el estudio, además de encontrarse disponibles, o poder generarlos, y por su factibilidad de representarlos cartográficamente, son los siguientes:

- Población total
- Porcentaje de población vulnerable o dependiente
- Viviendas totales
- Materiales de construcción de las paredes de las viviendas
- Longitud de las calles
- Número de postas y hospitales
- Total de colegios, escuelas y liceos
- Número de alumnos por unidad académica
- Total de establecimientos turísticos (hoteles, cabañas, camping, etc.).
- Capacidad hotelera (Nº de camas por establecimiento).

5.1.2. Población e infraestructura expuesta a la amenaza volcánica

Para determinar las áreas expuestas a la amenaza volcánica, en primer lugar es necesario indicar cuáles son las unidades vecinales y los distritos censales en los que se divide cada sub-área de estudio. Las divisiones son las siguientes:

Unidades Vecinales Área Urbana de Villarrica (Mapa 2)*:*

- García Hurtado de Mendoza
- José M. Balmaceda
- Pedro de Valdivia
- Guido Beck de Ramberga
- 21 de Mayo
- Diego de Almagro
- Vista Hermosa
- San Francisco de Asís
- Bernardo O'Higgins

Distritos Censales Área Urbana de Lican Ray (Mapa 3)*:*

- Lican Ray
- Chesque

Distritos Censales Área Rural de Villarrica (Mapa 4)*:*

- Plaza
- Estación
- Loncotraro
- Conquil
- Lican Ray
- Chesque
- Voipir
- Relun
- Pedregoso
- Huilipilún Poniente
- Huilipilún Oriente

Unidades Vecinales Área Urbana de Pucón (Mapa 5)*:*

- Aduana
- Central
- El Claro
- Estadio
- Obispo
- Playa Grande

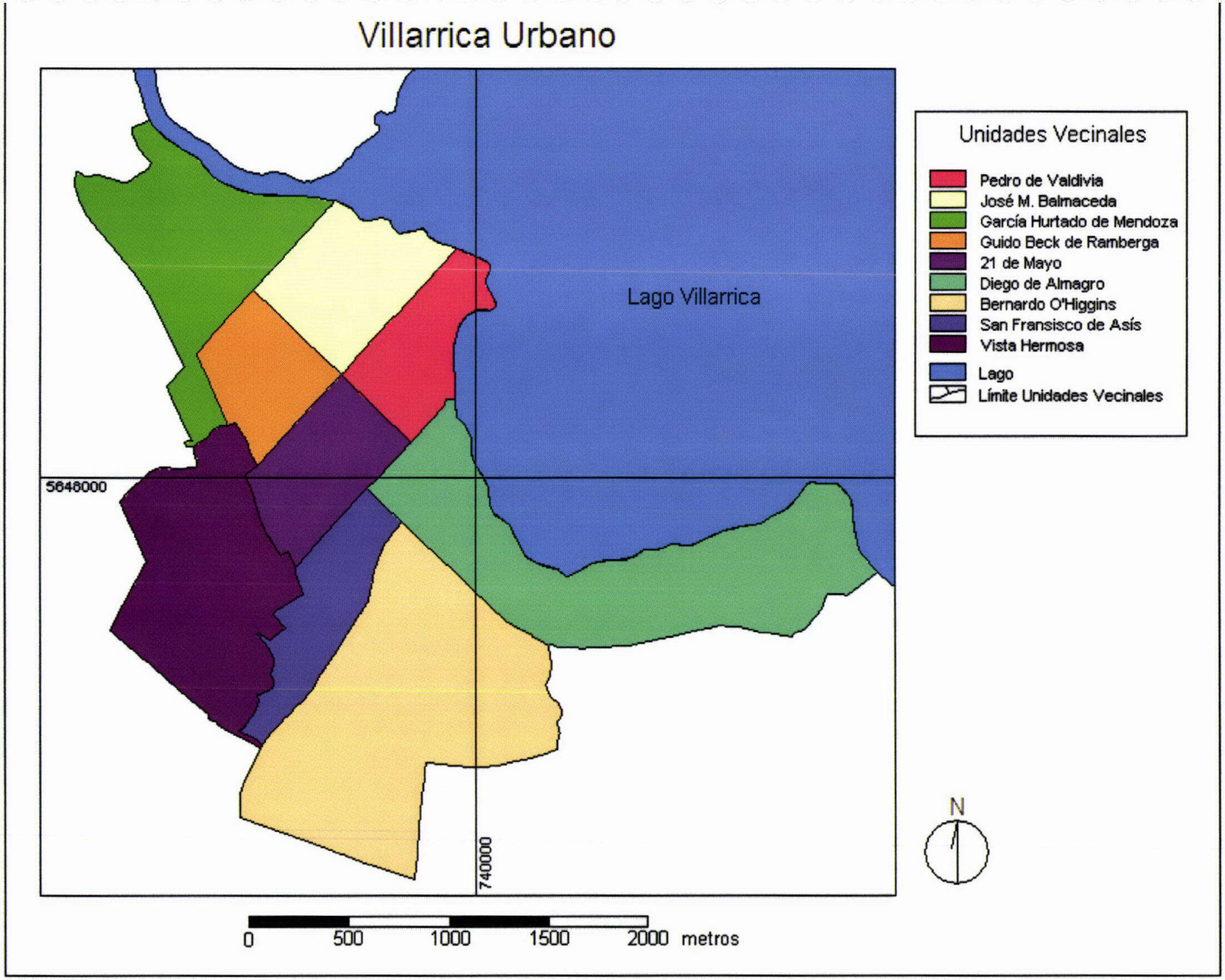
Distritos Censales Área Rural de Pucón (Mapa 6):

- La Península
- Cementerio
- Caburgua
- Coilaco
- Palguín
- Termas de Río Blanco

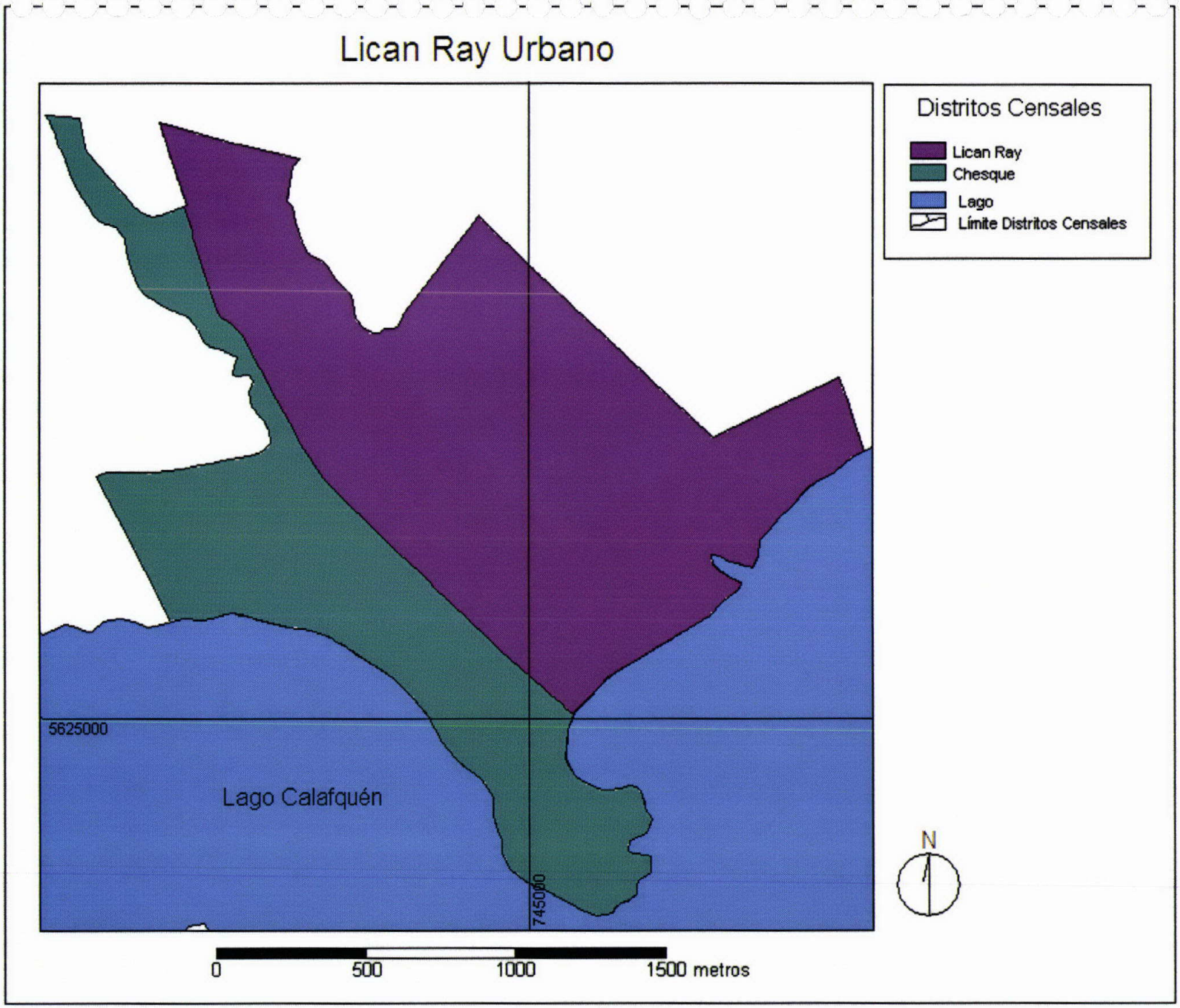
Al sobreponer esta división de las sub-áreas de estudio con el mapa de peligros del Volcán Villarrica, se crearon cuatro rangos de exposición frente a la amenaza volcánica, según lo que se presenta a continuación:

Sub-Áreas				
Área	Sin exposición	Expuestas menos del 50%	Expuestas más del 50%	100% expuestas
Unidades Vecinales Área Urbana de Villarrica			García Hurtado de Mendoza	José M. Balmaceda Pedro de Valdivia Guido Beck de Ramberga 21 de Mayo Diego de Almagro Vista Hermosa San Francisco de Asís Bernardo O'Higgins
Unidades Vecinales Área Urbana de Lican Ray			Lican Ray Chesque	
Distritos CensalesÁrea Rural de Villarrica	Plaza Chesque Voipir Huilipilún Poniente Huilipilún Oriente	Relun	Estación Lican Ray Conquil	Loncotraro
Unidades Vecinales Área Urbana de Pucón				Aduana Central El Claro Estadio Obispo Playa Grande
Distritos Censales Área Rural de Pucón	Caburgua Termas de Río Blanco	La Península Coilaco	Palguín	Cementerio

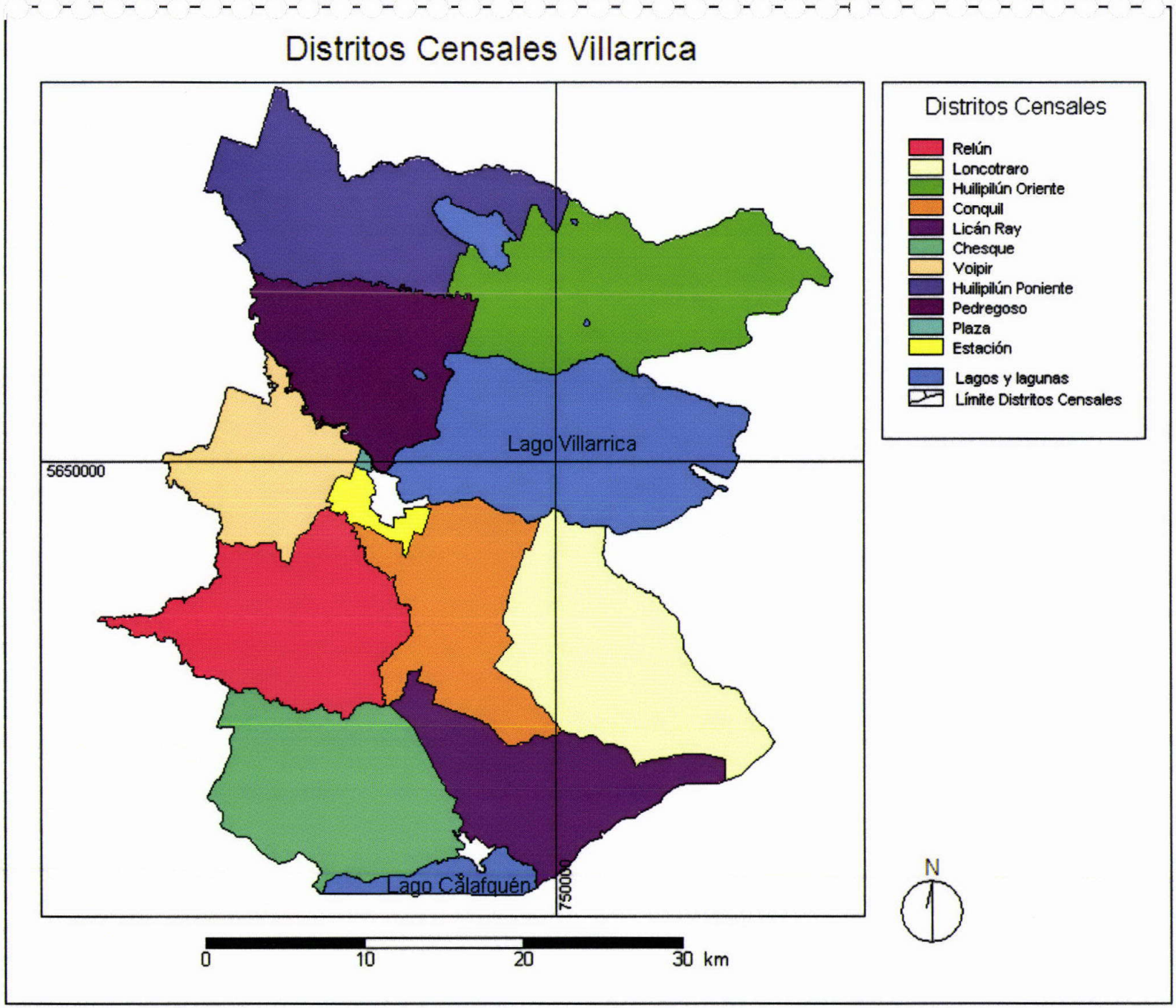
Tabla 9: Grado de Exposición a la Amenaza



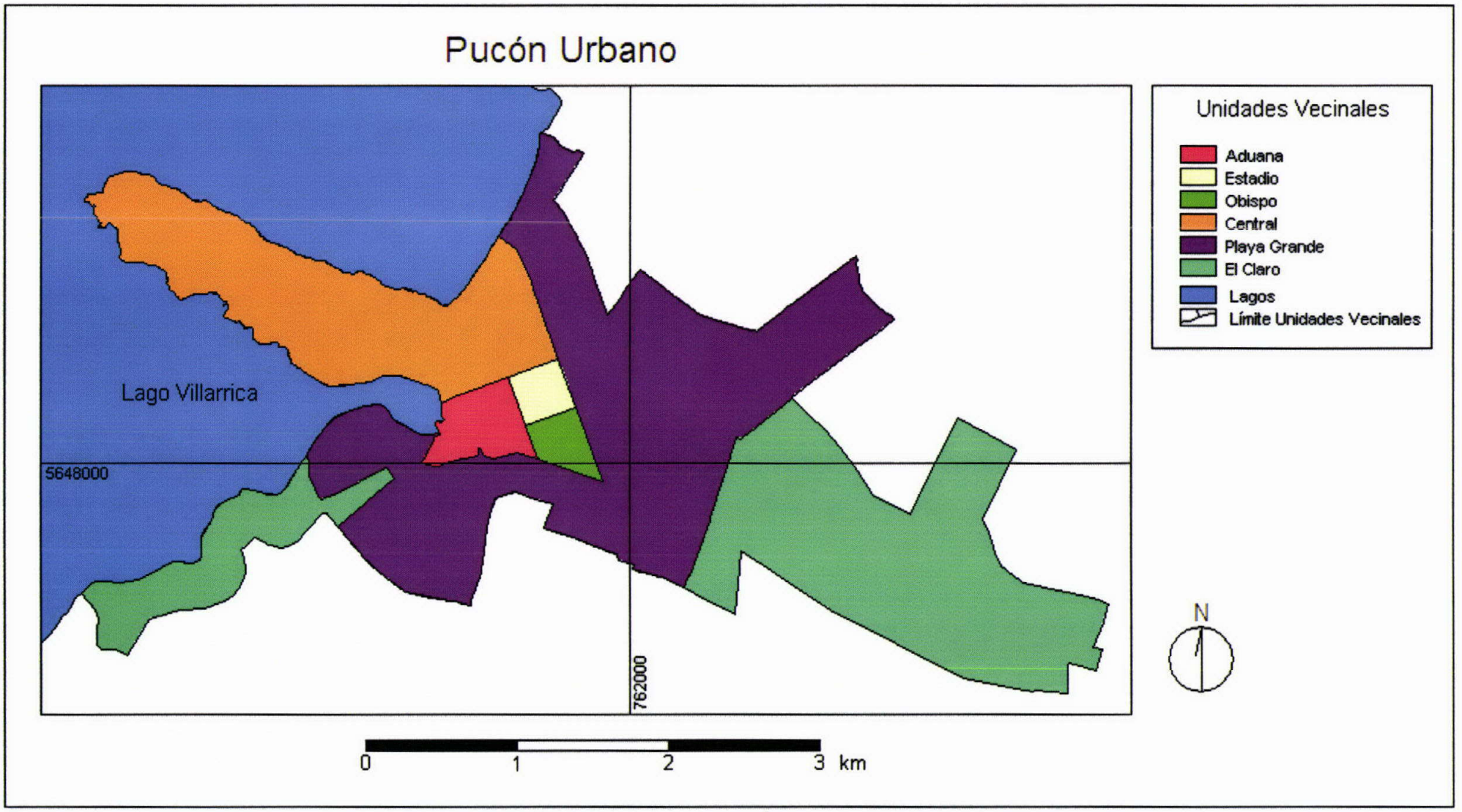
Mapa 2: Unidades Vecinales Área Urbana de Villarrica



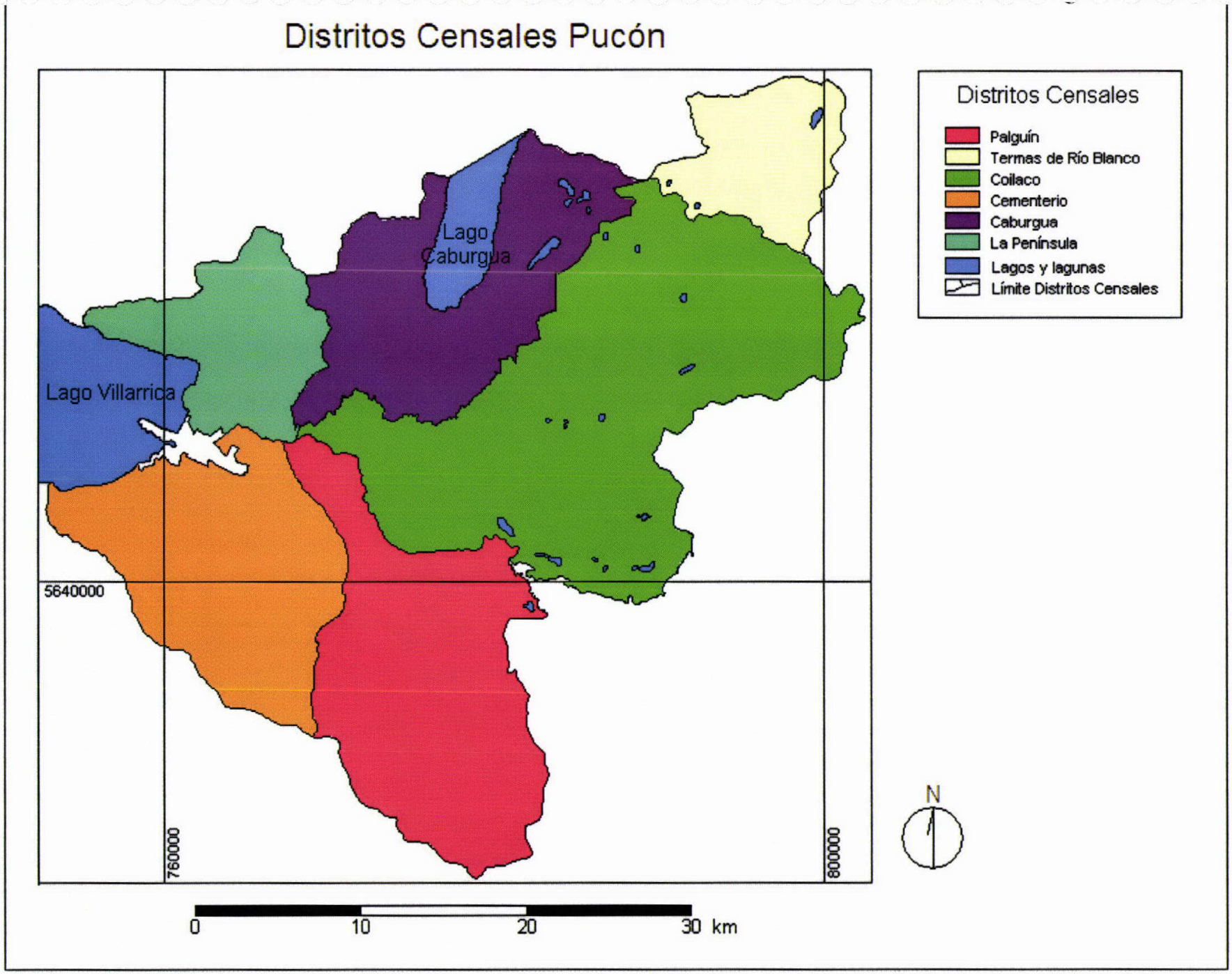
Mapa 3: Distritos Censales Área Urbana de Lican Ray



Mapa 4: Distritos Censales Área Rural de Villarrica



Mapa 5: Unidades Vecinales Área Urbana de Pucón



Mapa 6: Distritos Censales Área Rural de Pucón

Según esto podemos observar que las áreas más afectadas se encuentran en el sector sur-este de la comuna de Villarrica y sur- oeste de la comuna de Pucón, principalmente las zonas más cercanas al volcán y a la ribera sur del lago Villarrica. También es importante destacar que las zonas aledañas a los cursos de agua se encuentran más expuestas, ya que lahares y lavas suelen seguir estos causes.

De la selección de variables y la recolección de datos se obtuvo los siguientes resultados, a partir de los cuales se generaron mapas para cada unidad de estudio. Éstos se representan de acuerdo a cuatro rangos de vulnerabilidad, divididos en unidades vecinales y distritos censales, según corresponda. A continuación se presentan los mapas, con su respectivo análisis.

Población

En términos de población, las variables a considerar son Total de Población y Población Vulnerable, de cada unidad.

La división de grupos etéreos establecida por INE es la siguiente:

Grupo	**Edad**
Niño	0 – 14 años
Joven	15 – 29 años
Adulto joven	30 – 45 años
Adulto	46 – 60 años
Adulto mayor	61 y más años

Tabla 10: Grupos Etáreos

Según esta división, la población considerada vulnerable y/o dependiente son los grupos "Niño" y "Adulto mayor", debido a que frente a una emergencia, podrían necesitar de otra persona para ser evacuados.

La población total de la comuna de Pucón es de 21.107 habitantes y la de la comuna de Villarrica es de 45.531 habitantes, por lo que comparativamente la comuna de Villarrica alberga más del doble de la población de la comuna de Pucón.

Esta población se distribuye de la siguiente forma:

Área	Habitantes
Villarrica Urbano	27.117
Lican Ray Urbano	3.557
Villarrica Rural	14.492
Pucón Urbano	13.366
Pucón Rural	7.192

Tabla 11: Población Total

En el caso de la población vulnerable, la distribución es la siguiente:

Área	Habitantes	Porcentaje
Villarrica Urbano	10.378	38,27
Lican Ray Urbano	1.575	44,28
Villarrica Rural	6.051	41,75
Pucón Urbano	5.095	38,12
Pucón Rural	3.021	42,01

Tabla 12: Población Vulnerable

En ambos casos es necesario destacar que existe población "rezagada", es decir, que no está incluida en ninguna unidad específica, por lo que se excluyó del estudio.

La población total en las unidades vecinales de Villarrica urbano presenta valores más altos en las unidades Vista Hermosa y Bernardo O'Higgins. Estas unidades son las que abarcan una mayor área dentro del área urbana de Villarrica, además de ser sectores predominantemente residenciales. Villarrica se caracteriza por ser una ciudad consolidada, por lo que presenta una población permanente bastante alta, en relación a las otras sub-áreas de estudio (Mapa 7). En cuanto a la población vulnerable de esta sub-área, ésta presenta el mismo comportamiento que la población total, siendo más alta en las unidades Vista Hermosa y Bernardo O'Higgins, con un amplio margen en relación a las otras unidades (Mapa 8).

En el caso de los distritos censales de Lican Ray Urbano, la población total es considerablemente baja, debido a que es un área urbana pequeña y muy turística, por lo que la población tiende a aumentar en verano (Mapa 9). El distrito censal urbano de Lican Ray concentra la mayor parte de la población, y es más grande, en su parte urbana, que el distrito Chesque. Al igual que en el caso anterior, la población vulnerable sigue el mismo comportamiento que la población total, siendo mayor en el distrito Lican Ray (Mapa 10).

En los distritos censales del área rural de Villarrica, la población total es mayor en lo distritos Voipir y Conquil. En el caso de Voipir, esto se debe a que en este distrito se encuentra el área urbana de Ñancul, la cual no fue considerada como tal en el estudio debido a que se encuentra fuera del área de amenaza, además de estar completamente dentro de la misma unidad vecinal y el mismo distrito censal. Sin embargo, la existencia de esta área que concentra población condiciona los altos valores del distrito. En el caso de Conquil, sus altos valores de población pueden deberse a que en los últimos años ha ocurrido una fuerte urbanización de la ribera sur del lago Villarrica, con grandes instalaciones inmobiliarias y turísticas, sumado a una migración de la población desde el área urbana de Villarrica, hacia sectores rurales aledaños (Mapa 11). La población vulnerable en este caso además de los distritos Voipir y Conquil, también es alta en el distrito Relun (Mapa 12).

La población total en las unidades vecinales de Pucón urbano es mayor en las unidades El Claro y Playa Grande, debido en parte a que son las unidades más grandes y corresponden a zonas residenciales. Si bien las otras unidades también presentan sectores residenciales, son de menor tamaño y corresponden al centro de Pucón, albergando gran parte del comercio y los servicios (Mapa 13). La población vulnerable sigue los mismos patrones que la población total, siendo alta en las unidades El Claro y Playa Grande (Mapa 14).

En cuanto a los distritos censales del área rural de Pucón, estos presentan los valores más altos de población total en los distritos Caburgua, Coilaco y Cementerio. En el caso de Caburgua, esto se debe a que presenta una pequeña área urbana en la ribera suroeste del lago Caburgua. Esta área no fue considerada como tal, por los mismos motivos por los cuales no fue considerada el área urbana de Ñancul. En el caso del distrito Cementerio, éste presenta una dinámica similar al distrito Conquil, de Villarrica, debido a que abarca parte de la ribera sur del lago Villarrica, y el camino hacia el Refugio del Centro de Esquí del volcán Villarrica. Este camino también ha presentado un aumento de grandes instalaciones inmobiliarias y turísticas (Mapa 15). La población vulnerable en ésta sub-área presenta la misma distribución que la población total (Mapa 16).

Vivienda

En la comuna de Pucón hay un total de 9.494 viviendas y en la comuna de Villarrica, 17.352 viviendas, las que se distribuyen de la siguiente manera:

Área	Viviendas
Villarrica Urbano	8.272
Lican Ray Urbano	2.093
Villarrica Rural	6.757
Pucón Urbano	5.337
Pucón Rural	4.056

Tabla 13: Vivienda

En este caso, también existen viviendas "rezagadas" que no pertenecen a ninguna unidad específica, por lo que fueron excluidas del estudio.

La vivienda en las unidades vecinales de Villarrica urbano muestra los mayores valores en las unidades Vista Hermosa y Bernardo O'Higgins, coincidiendo con la mayor concentración de población, lo que reafirma el hecho de que Villarrica cuenta mayoritariamente con población permanente (Mapa 17).

En los distritos censales de Lican Ray urbano la tendencia de las viviendas también es igual a la de la población, siendo el distrito Lican Ray el que presenta el mayor valor, correspondiendo a más del doble del número de viviendas del distrito Chesque (Mapa 18).

En el caso de los distritos censales del área rural de Villarrica, la tendencia no es la misma, ya que los distritos con mayor número de viviendas son Loncotraro y Conquil, ambos distritos ubicados entre los faldeos del volcán y la ribera sur del lago Villarrica. Esto se explica por el gran número de proyectos inmobiliarios realizados en los últimos años en el sector, en especial grandes condominios y parcelas de veraneo. El hecho de que el distrito Loncotraro posea altos valores en vivienda, pero no en población puede deberse a que muchas de estas viviendas corresponden a segundas residencias, estando desocupadas gran parte del año (Mapa 19).

En las unidades vecinales de Pucón urbano, los valores más altos se encuentran en las mismas unidades que la población, es decir, El Claro y Playa

Grande. Sin embargo, es necesario destacar que la unidad Central, que corresponde al sector de la Península, a pesar de tener un nivel bajo de población, en viviendas presenta un nivel medio, lo que muestra un sector más bien turístico y de segunda residencia (Mapa 20).

Los distritos censales del área rural de Pucón presentan los mayores valores de vivienda en los distritos Cementerio y Caburgua, que son los que albergan la mayor parte del turismo de la zona, por lo que la mayor concentración de viviendas corresponde a segundas residencias (Mapa 21).

Tipo de Pared y Techo Predominante

En ambas comunas existen siete materiales utilizados en la construcción de las paredes de las viviendas. Estos son:

- Hormigón armado, piedra
- Ladrillo
- Paneles estructurados, bloque (prefabricado)
- Madera o tabique forrado
- Internit
- Adobe, barro empajado
- Desechos (lata, cartones, plástico, etc.)

En la comuna de Pucón existen nueve materiales constituyentes de los techos que predominan en las viviendas. Estos materiales son:

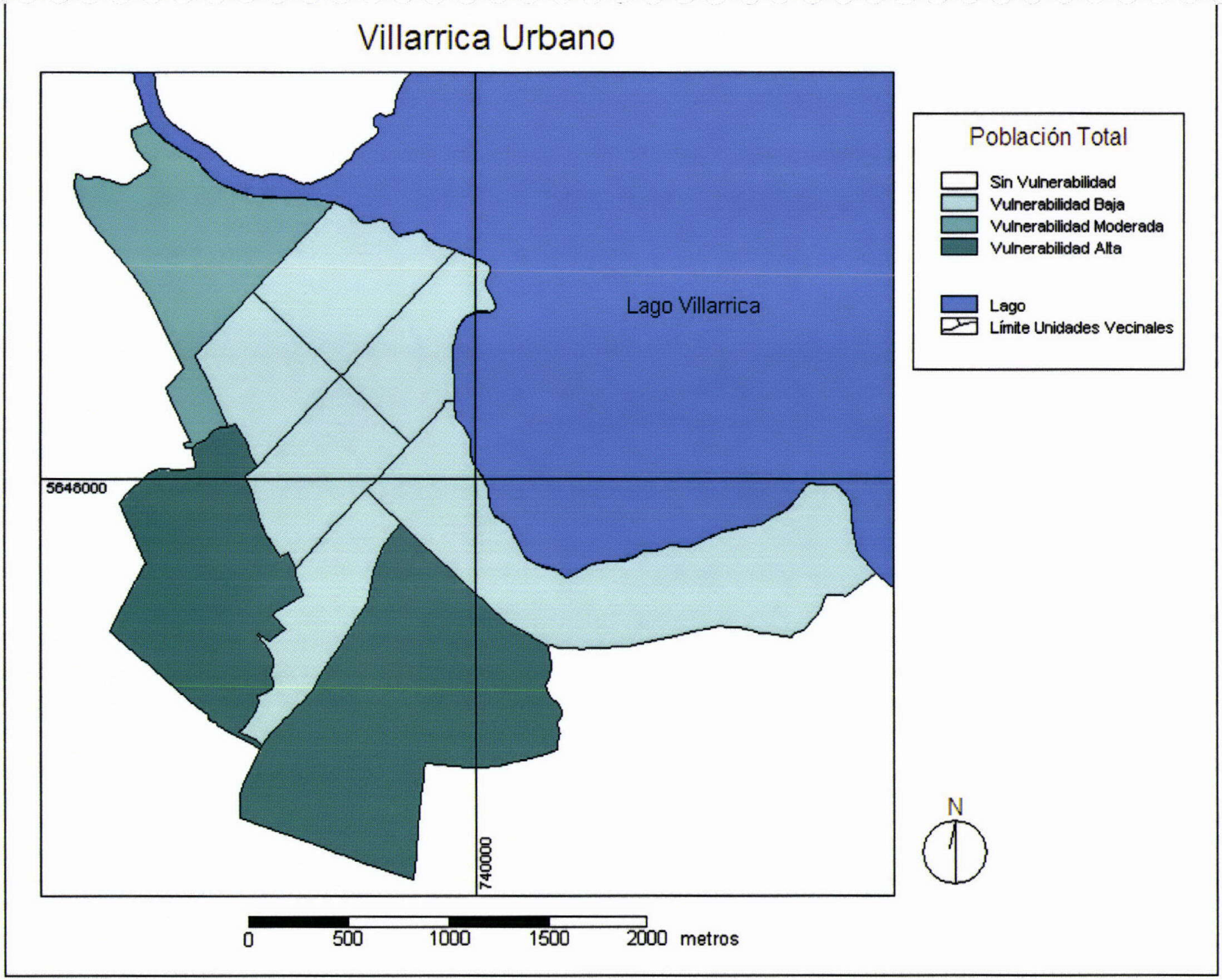
- Tejas (arcilla, metálica, cemento)
- Tejuela (madera, asfáltica)
- Losa de hormigón
- Zinc
- Pizarreño
- Fibra de vidrio / Femocolor
- Fonolita
- Paja embarrada
- Desechos (lata, cartones, plástico, etc.)

En la comuna de Villarrica, existen ocho materiales predominantes, ya que no se presenta techos de paja embarrada.

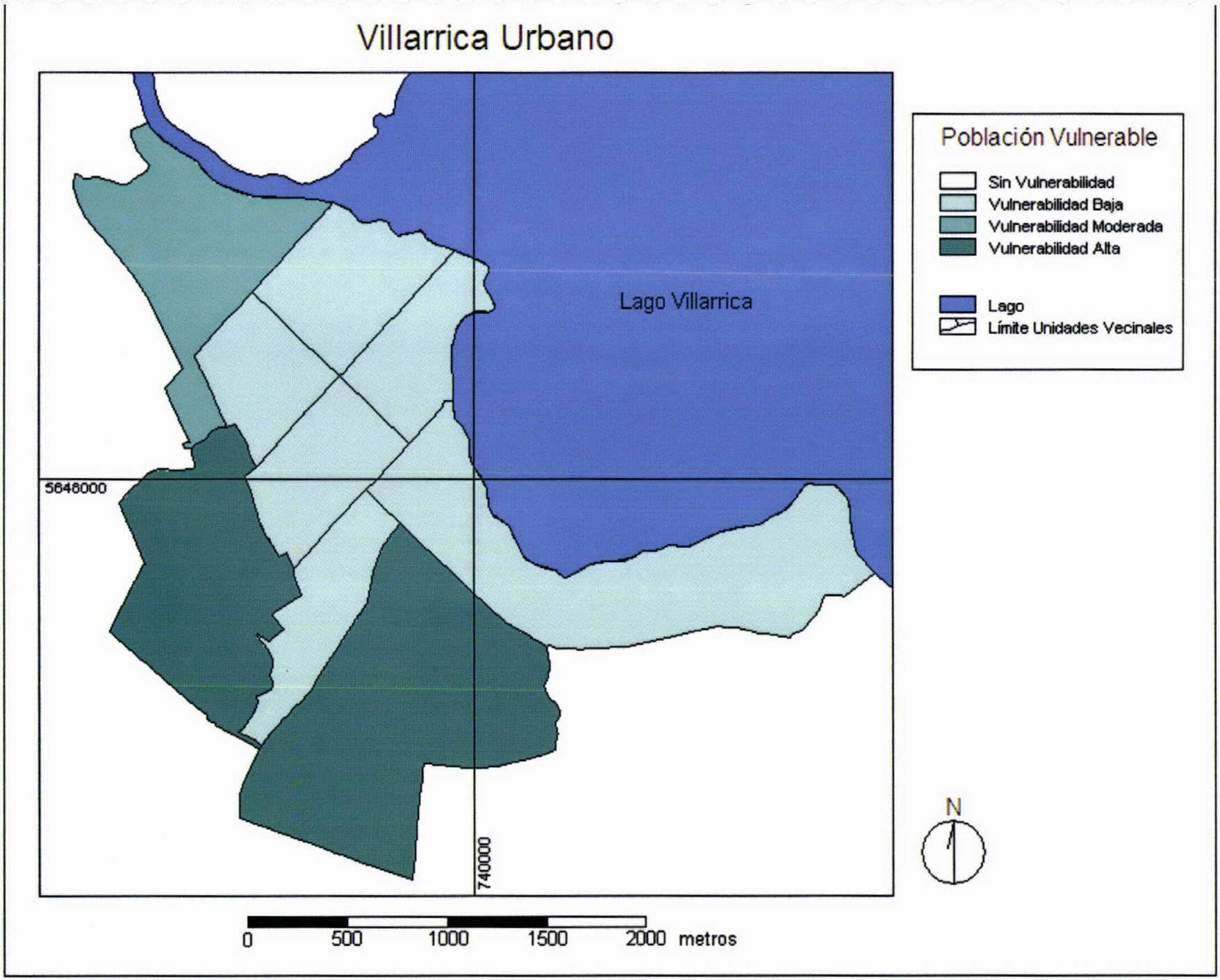
En ambas comunas, el tipo de material que predomina en las paredes es la madera o tabique forrado, en un proporción muy superior al resto de los materiales, por lo que al generalizar los datos para hacerlos representativos a cada unidad de estudio, se pudo observar que el resultado era homogéneo, es decir, en todas las unidades predominaba este tipo de pared.

Lo mismo ocurre con el tipo de material que predomina en los techos, que en este caso para ambas comunas es el zinc.

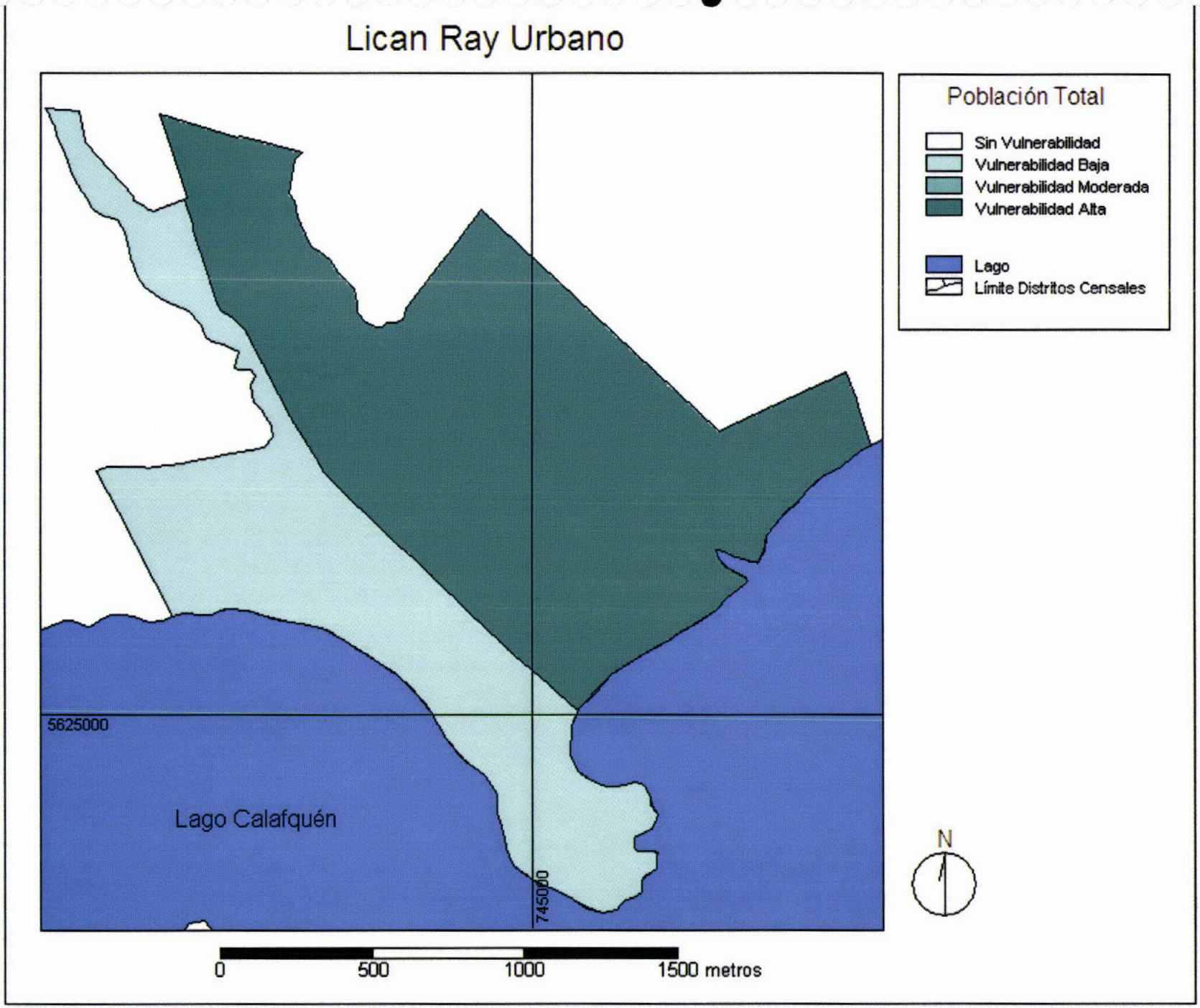
Es por esto, que se decidió eliminar ambas variables del estudio, ya que no constituyen un elemento diferenciador entre las áreas.



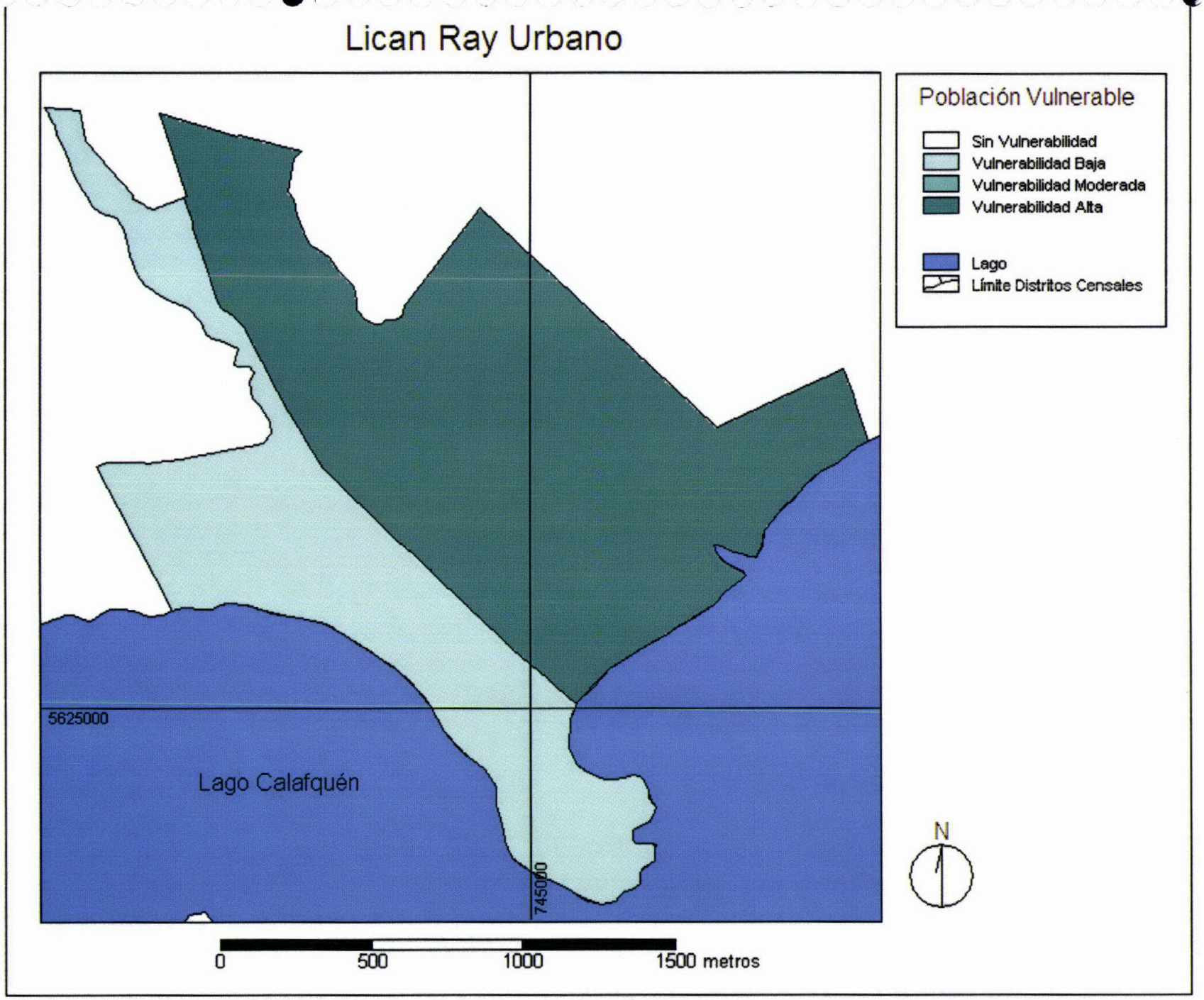
Mapa 7: Población Total Área Urbana de Villarrica



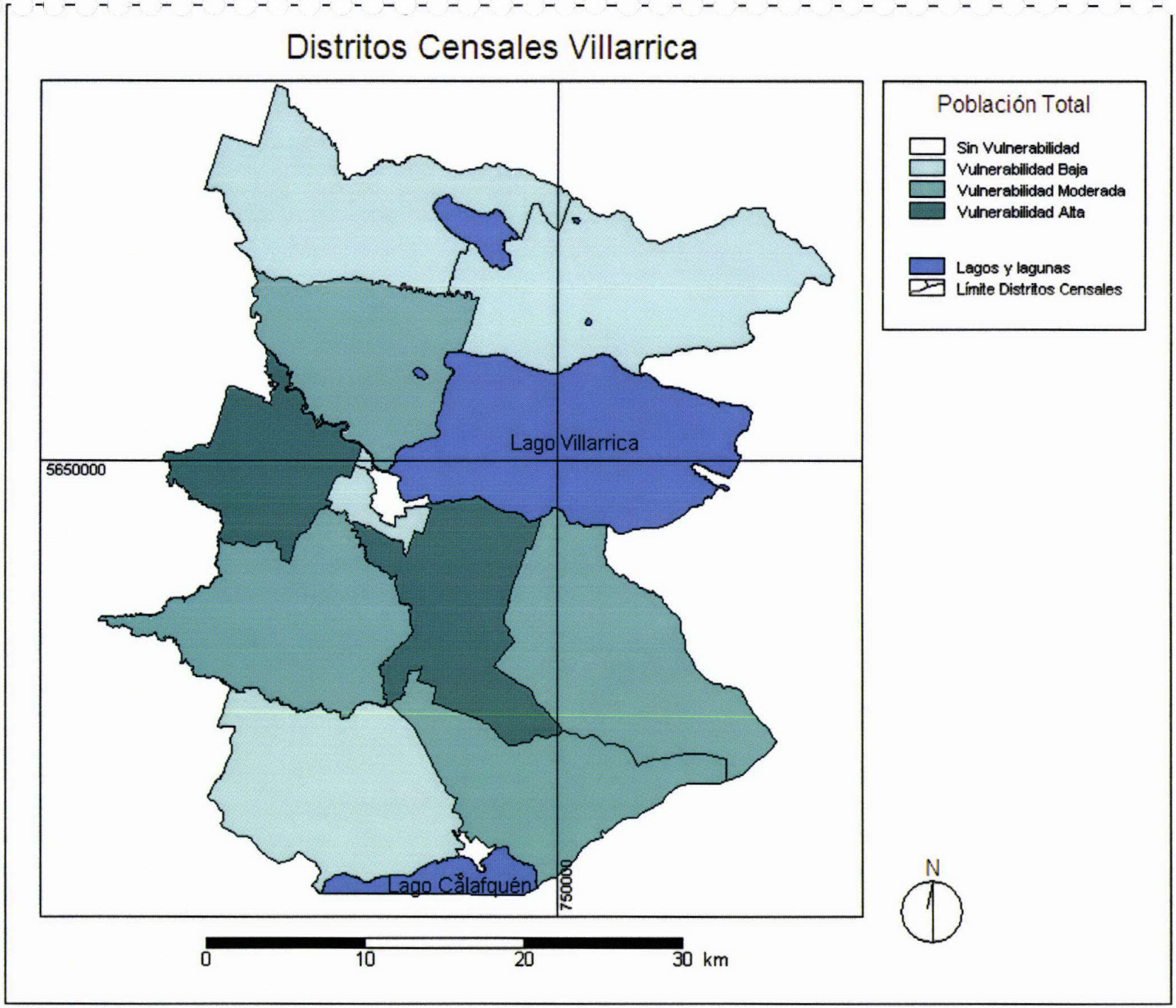
Mapa 8: Población Vulnerable Área Urbana de Villarrica



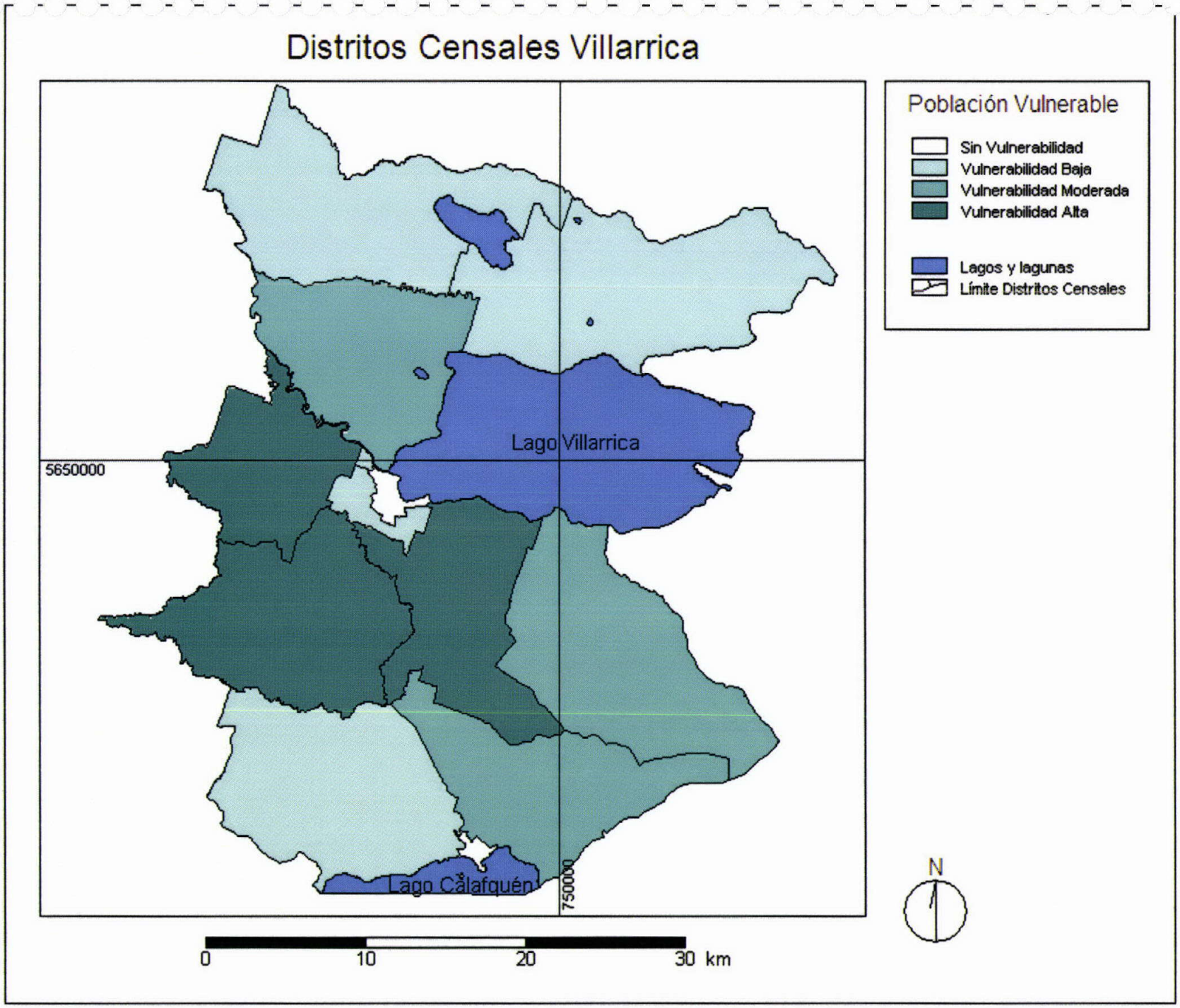
Mapa 9: Población Total Área Urbana de Lican Ray



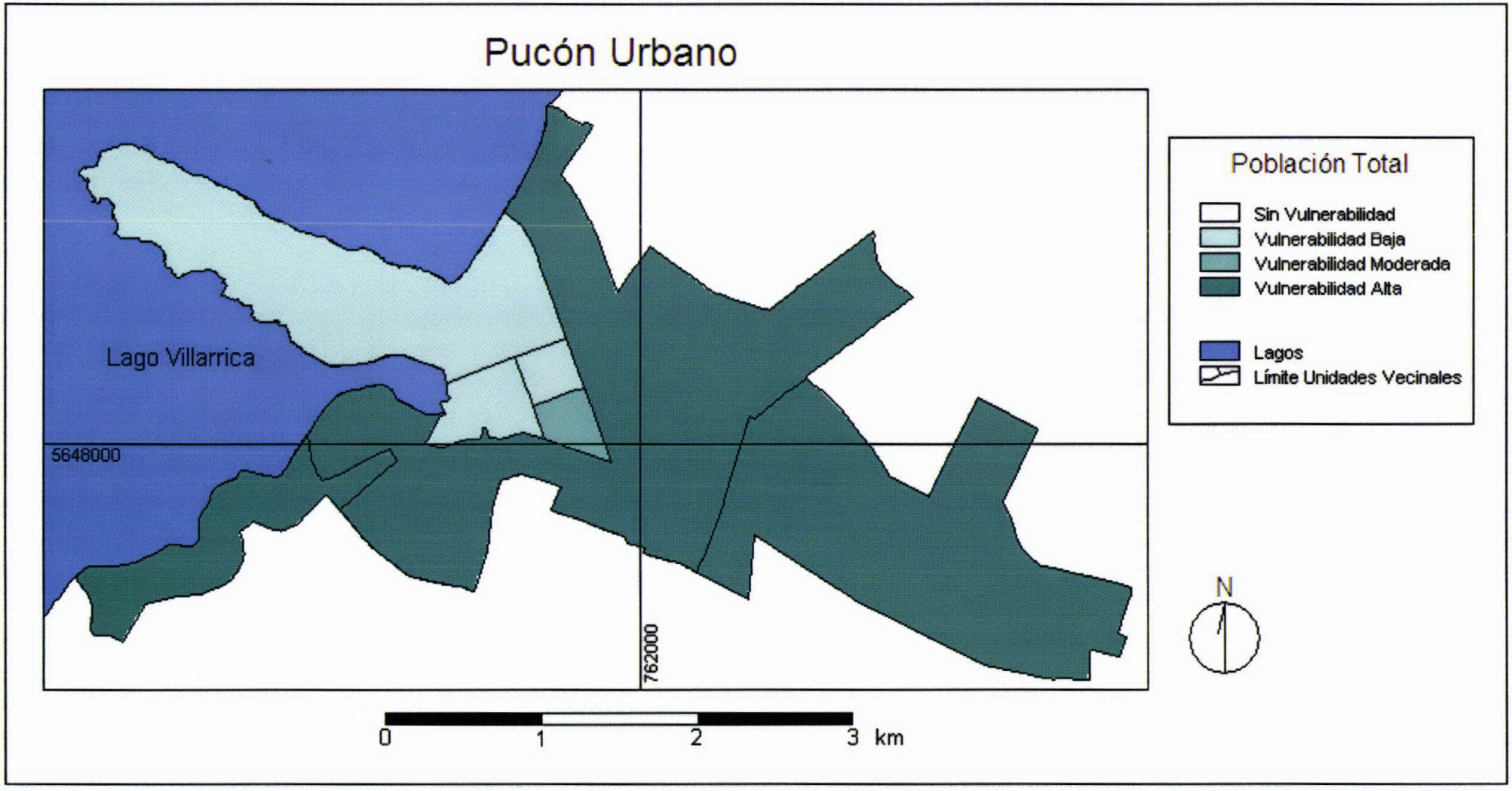
Mapa 10: Población Vulnerable Área Urbana de Lican Ray



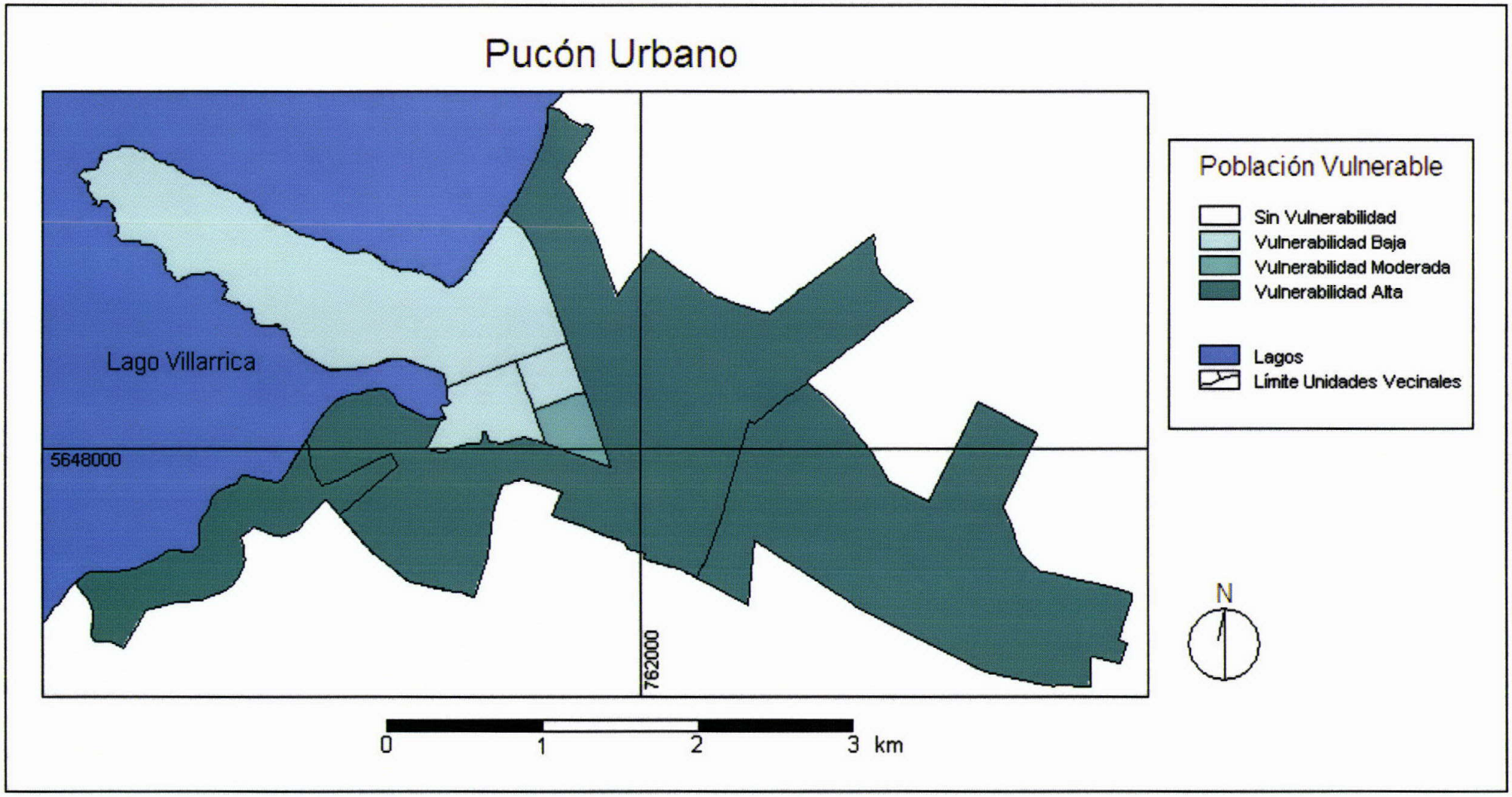
Mapa 11: Población Total Área Rural de Villarrica



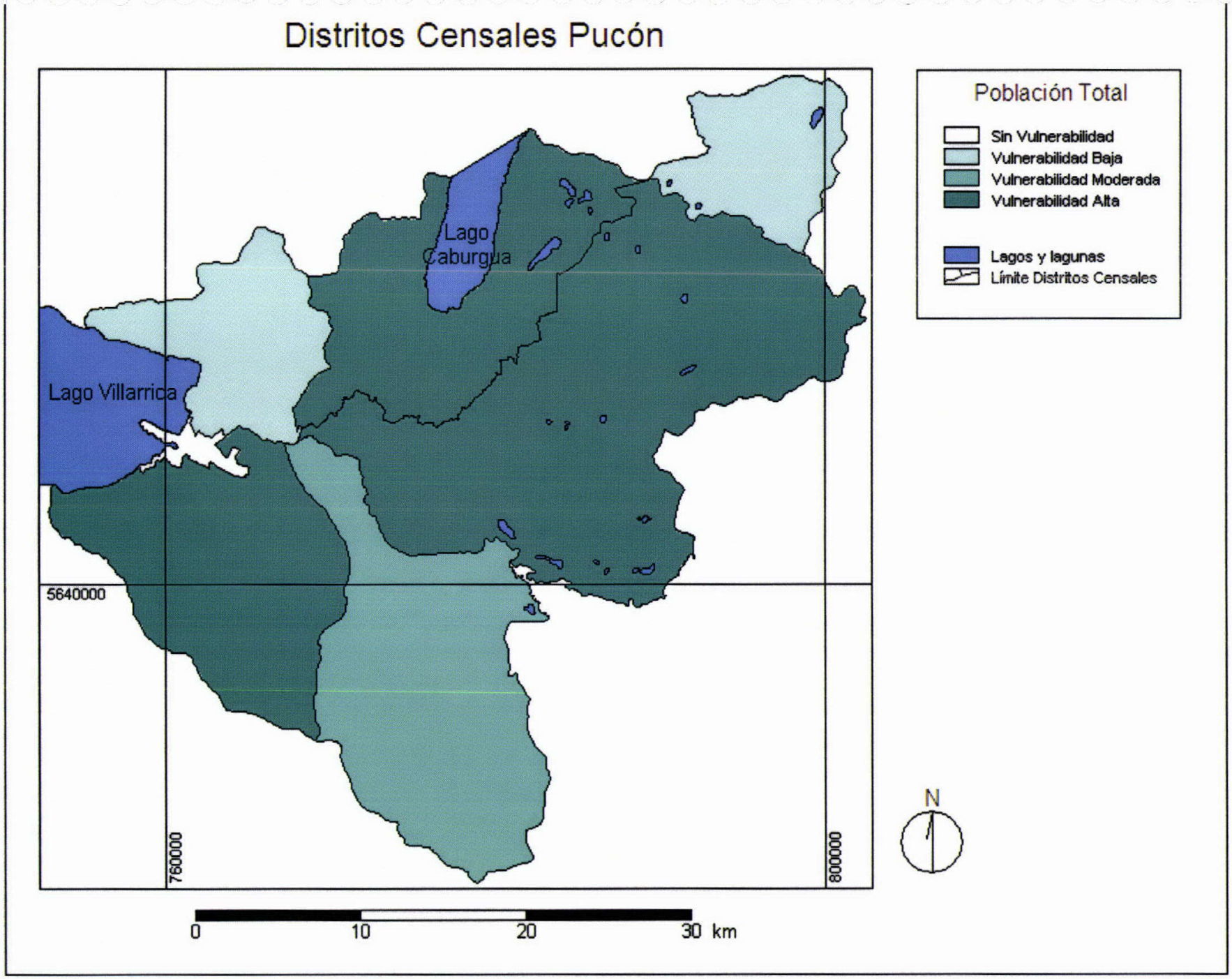
Mapa 12: Población Vulnerable Área Rural de Villarrica



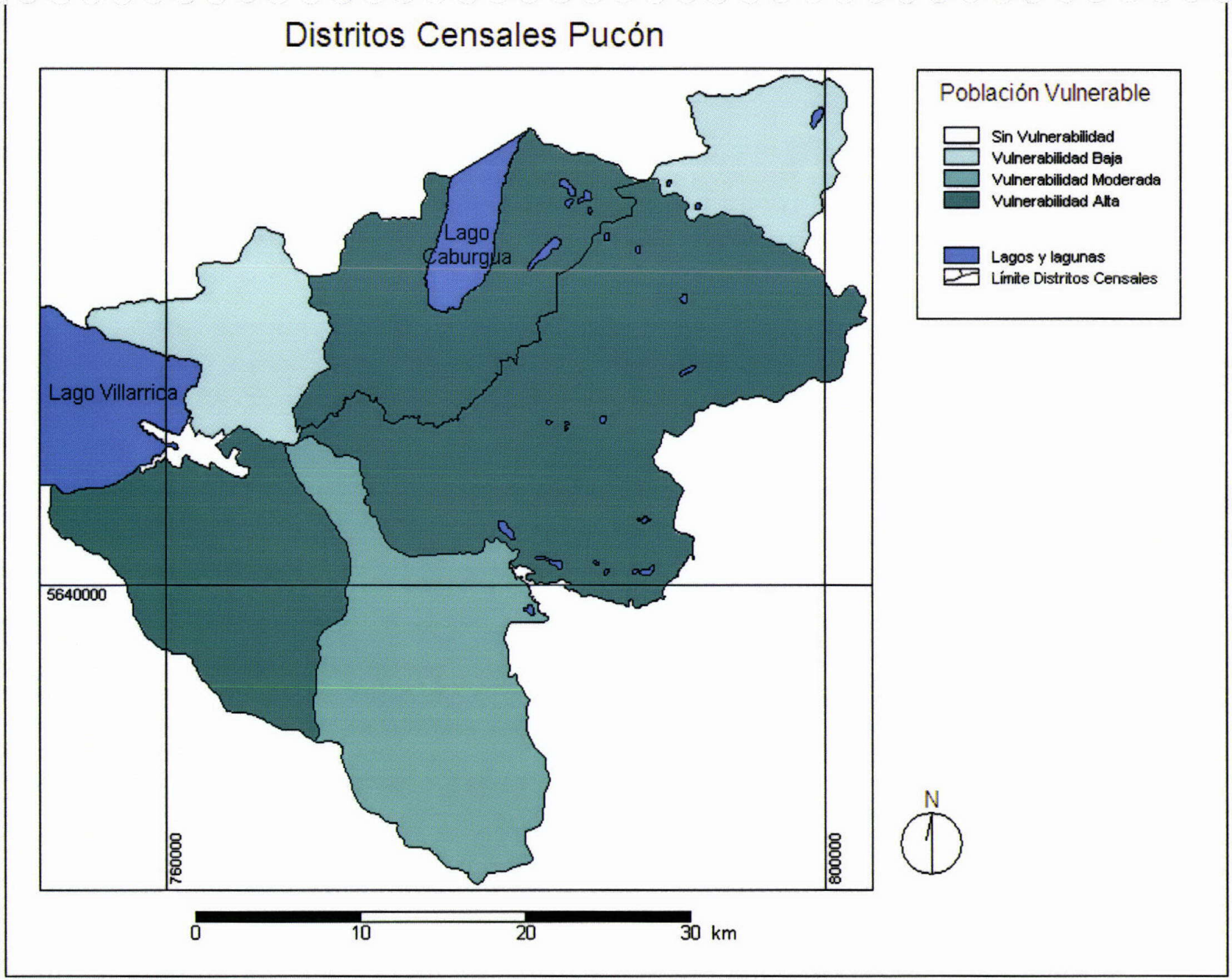
Mapa 13: Población Total Área Urbana de Pucón



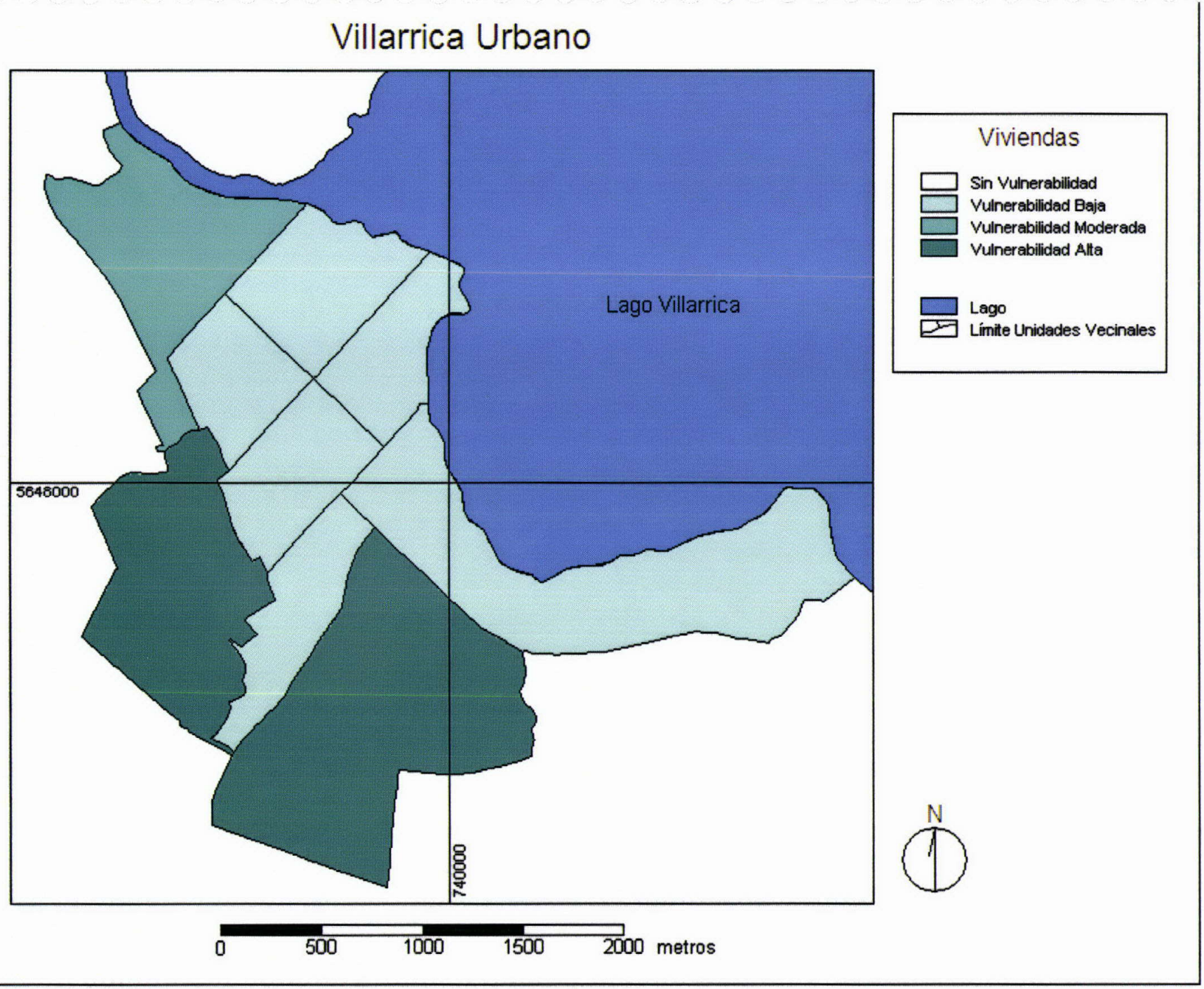
Mapa 14: Población Vulnerable Área Urbana de Pucón



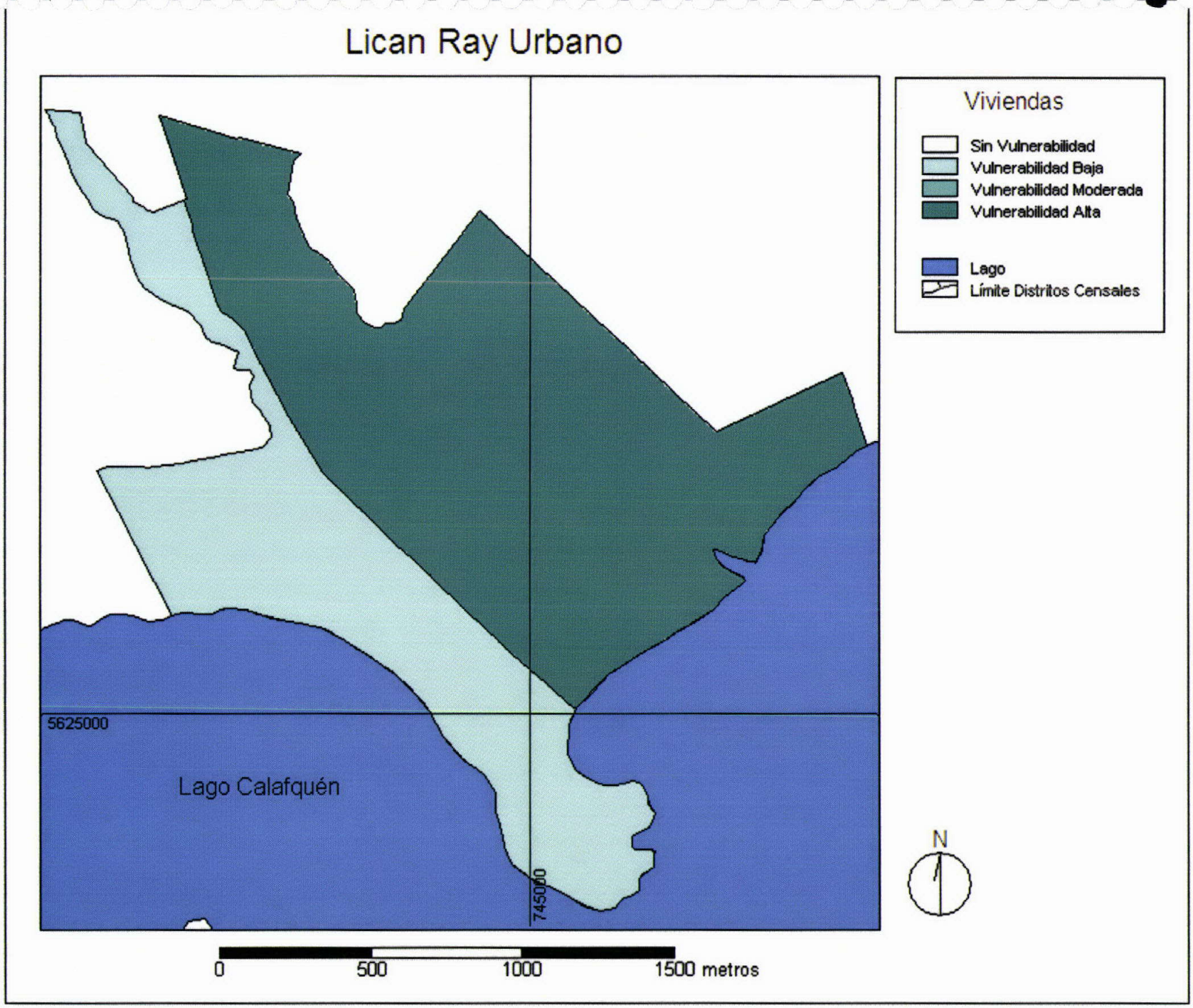
Mapa 15: Población Total Área Rural de Pucón



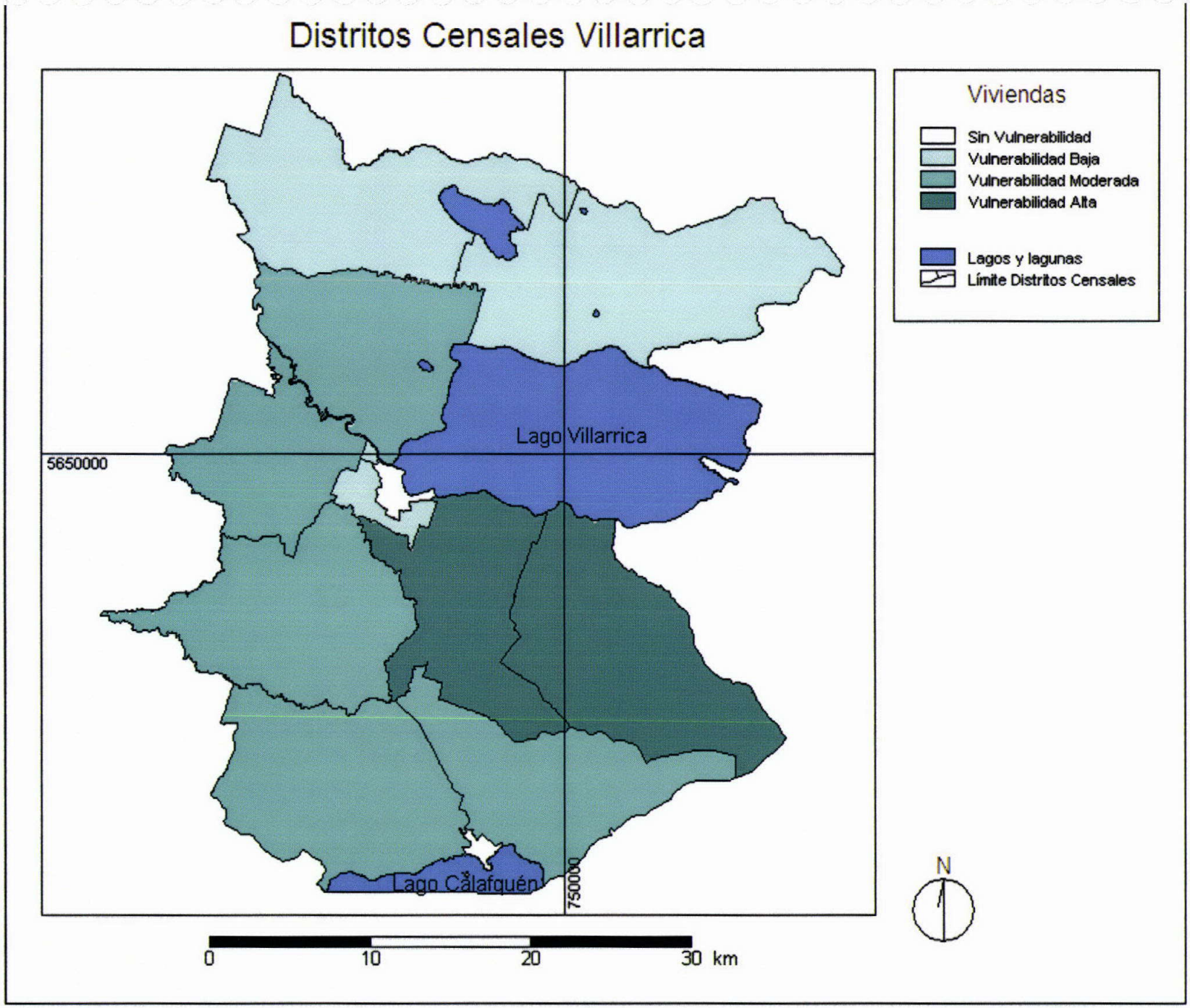
Mapa 16: Población Vulnerable Área Rural de Pucón



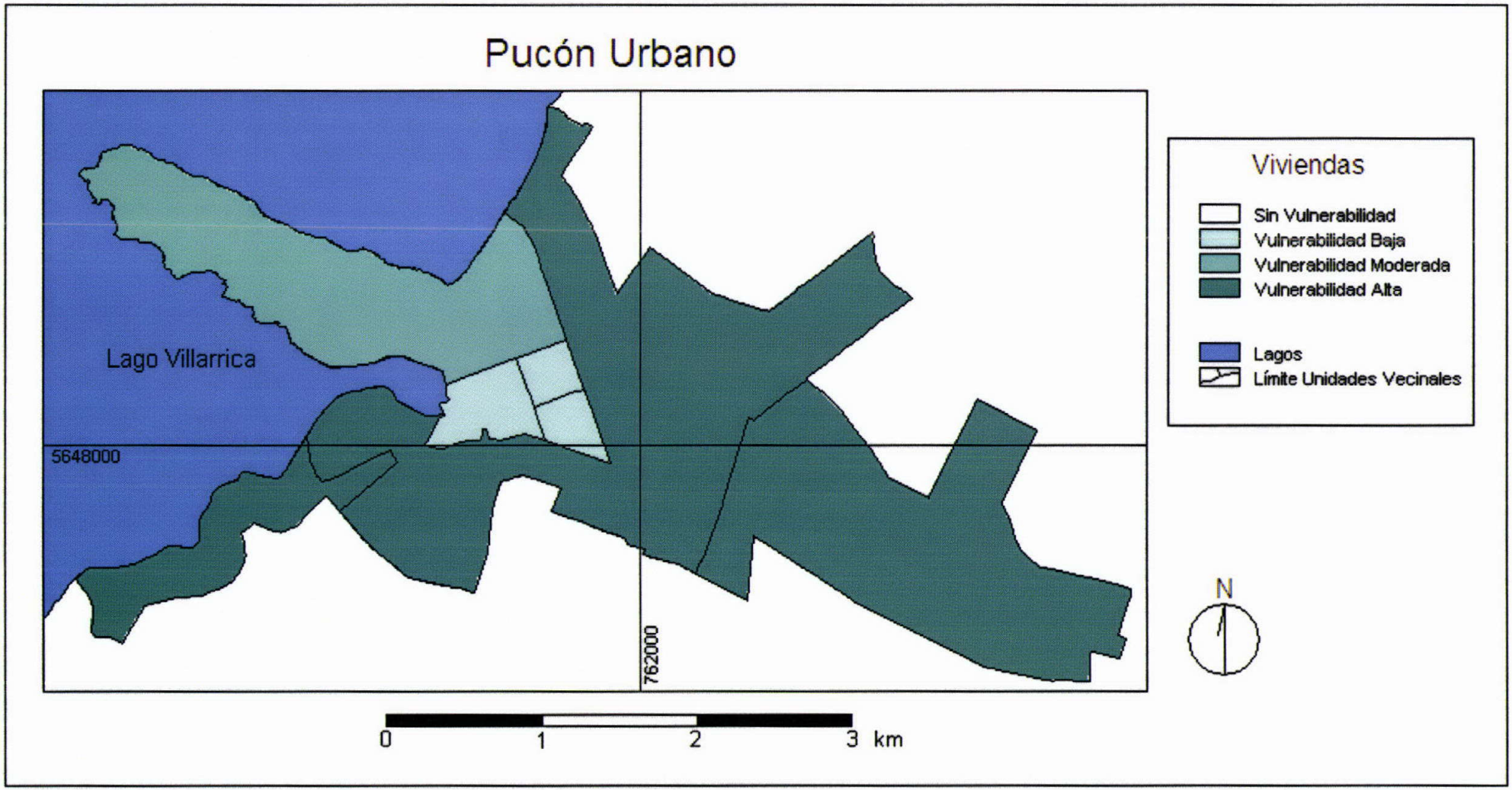
Mapa 17: Viviendas Área Urbana de Villarrica



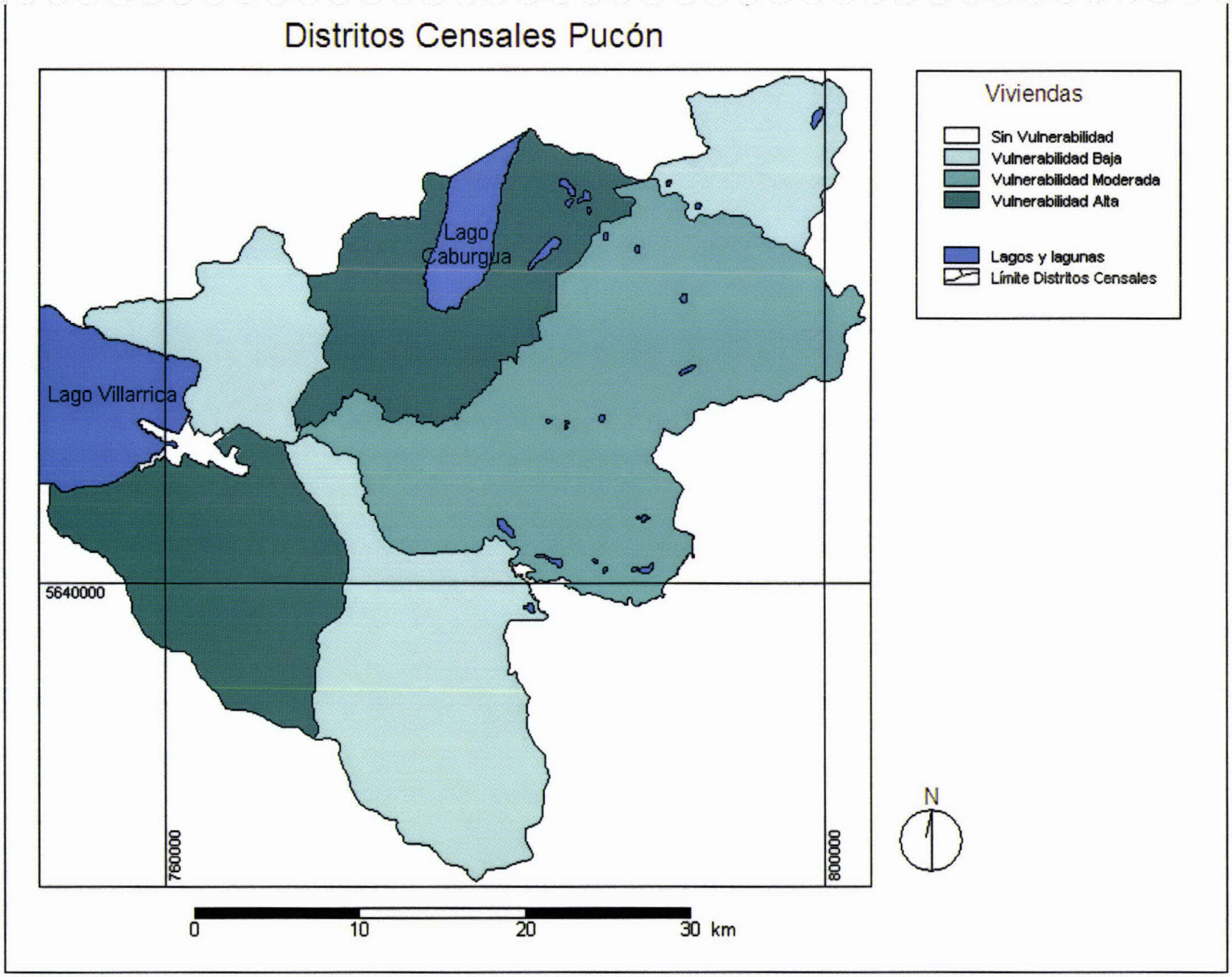
Mapa 18: Viviendas Área Urbana de Lican Ray



Mapa 19: Viviendas Área Rural de Villarrica



Mapa 20: Viviendas Área Urbana de Pucón



Mapa 21: Viviendas Área Rural de Pucón

Calles y Carreteras

Para cada unidad de estudio se calculó la longitud, en kilómetros, de calles y caminos, lo que dio el siguiente resultado:

Área	Infraestructura Vial (km)
Villarrica Urbano	73,33
Lican Ray Urbano	26,29
Villarrica Rural	506,13
Pucón Urbano	84,86
Pucón Rural	315,98

Tabla 14: Infraestructura Vial

En las unidades vecinales de Villarrica urbano, la única unidad que sobresale por su alto valor en infraestructura vial es Bernardo O'Higgins, que presenta una trama vial bastante densa. Sin embargo, de las restantes unidades sólo dos presentan un valor bajo, Pedro de Valdivia y San Francisco de Asís, mientras las otras seis presentan valores medios (Mapa 22).

Los distritos censales de Lican Ray urbano presentan la misma dinámica que las variables anteriores, es decir, el distrito Lican Ray presenta el valor más alto de infraestructura vial, muy por sobre el valor de Chesque (Mapa 23).

En cuanto a los distritos censales del área rural de Villarrica, los distritos con valores más altos corresponden a Chesque, Relun y Voipir, sin embargo, hay que recalcar que los distritos Plaza y Estación tienen un área bastante menor, lo que puede influir en que sean los dos distritos con valores más bajos (Mapa 24).

En las unidades vecinales de Pucón urbano, las unidades con más kilómetros de calles son El Claro y Playa Grande, principalmente porque son las unidades más grandes, por lo tanto, cubren una mayor área (Mapa 25).

El distrito censal del área rural de Pucón que presenta el más alto valor de infraestructura vial es Coilaco, que es el distrito más grande. Le siguen los distritos Caburgua, Cementerio y Palguín, que también lo secundan en tamaño. Los distritos más pequeños, La Península y Termas de Río Blanco presentan los menores valores (Mapa 26).

Turismo

En relación al turismo, se consideró el número de alojamientos y la capacidad de cada uno de ellos:

Área	Nº Alojamientos	Capacidad
Villarrica Urbano	41	1.074
Lican Ray Urbano	19	913
Villarrica Rural	46	3.964
Pucón Urbano	63	3.214
Pucón Rural	82	4.752

Tabla 15: Turismo

En este caso, sólo se consideró como variable el número de alojamientos, ya que la capacidad será trabajada más adelante como Factor Estacional.

En el área urbana de Villarrica, las unidades que concentran la mayor parte de los alojamientos son Pedro de Valdivia y José M. Balmaceda. Estas unidades son parte del centro de Villarrica y abarcan parte de la orilla del lago, lo que las hace más atractivas turísticamente (Mapa 27).

En el caso de Lican Ray urbano, el distrito con mayor cantidad de alojamientos es Chesque. Este distrito corresponde al sector "Playa Grande", concentrando gran parte de los servicios (Mapa 28).

Los distritos del área rural de Villarrica que concentran el mayor número de alojamientos son Chesque, Lican Ray y Loncotraro, los cuales abarcan la ribera norte del lago Calafquén y parte de la ribera sur del lago Villarrica, además los distritos Lican Ray y Loncontraro se encuentran en los faldeos del volcán, por lo que son atractivos turísticamente en verano e invierno (Mapa 29).

En el área urbana de Pucón las unidades vecinales con más alojamientos son Central y Playa Grande, las cuales son unidades grandes, y que se encuentran cerca de la ribera del lago, en especial la unidad Central, que corresponde al sector de La Península (Mapa 30).

El distrito censal del área rural de Pucón que presenta mayor concentración de alojamientos es Caburgua. Este distrito abarca gran parte del lago Caburgua, el cual representa un polo de atracción turístico importante (Mapa 31).

Educación

En cuanto a la educación se consideró como variables el número de establecimientos educacionales y la cantidad de alumnos y docentes de cada uno de ellos, según la siguiente distribución:

Área	N° de Colegios	Alumnos y Docentes
Villarrica Urbano	19	9.632
Lican Ray Urbano	4	1.181
Villarrica Rural	36	1.970
Pucón Urbano	6	3.229
Pucón Rural	24	1.096

Tabla 16: Educación

Como educación sólo se consideró el número de colegios, ya que la cantidad de alumnos y docentes será analizada como Factor Estacional.

Las unidades vecinales de Villarrica urbano con mayor número de colegios son García Hurtado de Mendoza, Guido Beck de Ramberga, José M. Balmaceda y Bernardo O'Higgins (Mapa 32).

En el área urbana de Lican Ray ambos distritos censales presentan la misma vulnerabilidad, ya que tienen la misma cantidad de colegios, en este caso, dos (Mapa 33).

En el caso del área rural de Villarrica, los distritos censales con mayor número de colegios son Relún y Chesque. Los distritos Plaza y Estación no cuentan con colegios, debido probablemente a su cercanía con el área urbana (Mapa 34).

La unidad vecinal de Pucón urbano con mayor número de colegios es Playa Grande, la cual concentra casi la totalidad de los colegios, en este caso cinco, ya que la unidad Central cuenta sólo con un colegio, y el resto de las unidades no tiene (Mapa 35).

En los distritos rurales del área rural de Pucón el distrito censal con mayor número de colegios es Coilaco. En el distrito Termas de Río Blanco no hay colegios (Mapa 36).

Salud

En la variable salud, se consideraron los hospitales y postas rurales de casa unidad de estudio:

Área	Postas y Hospitales
Villarrica Urbano	1
Lican Ray Urbano	0
Villarrica Rural	8
Pucón Urbano	1
Pucón Rural	2

Tabla 17: Salud

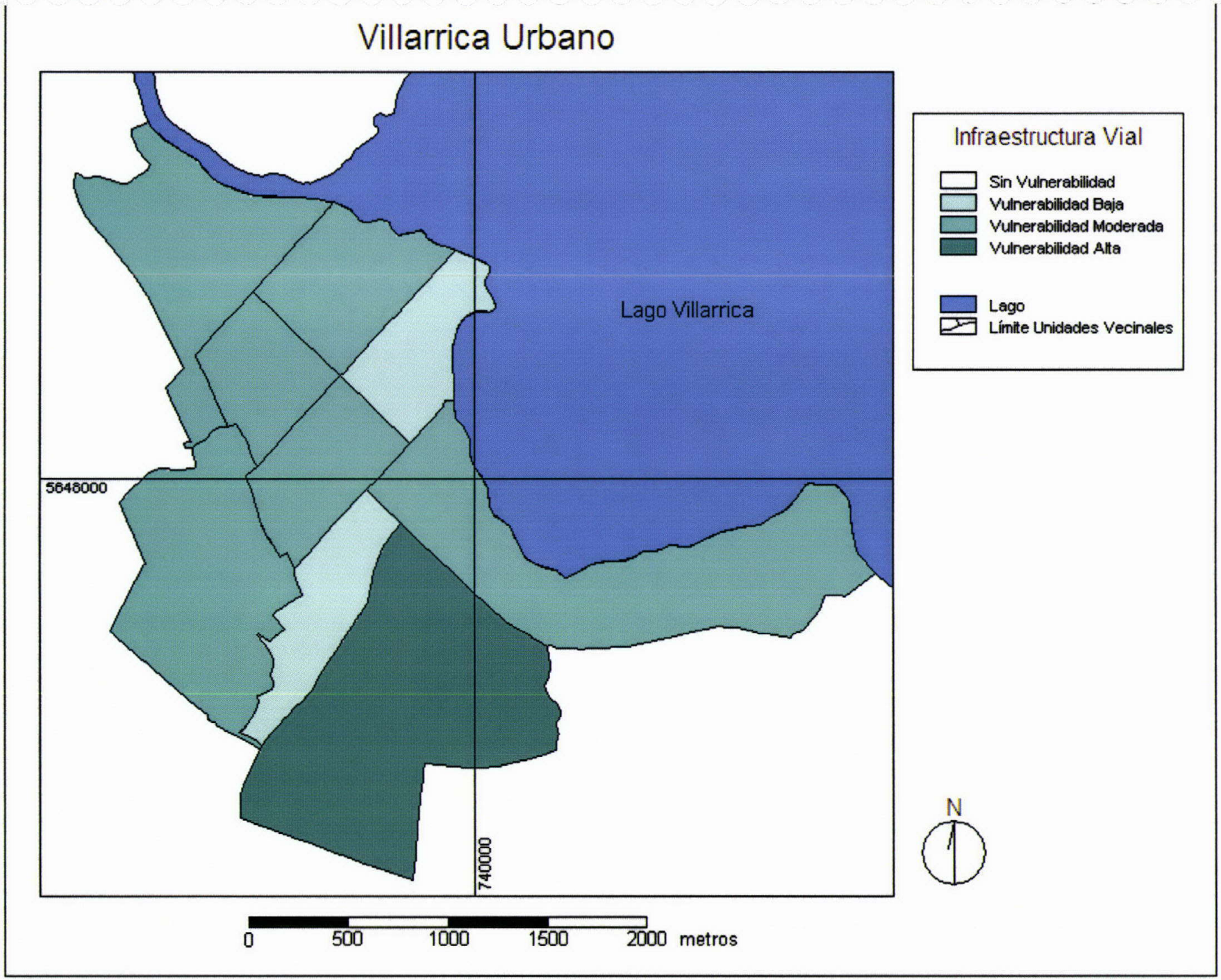
En cuanto a la variable salud, la sub-área Villarrica Rural es la que cuenta con mayor número de infraestructura de salud. En cambio, el área urbana de Lican Ray no presenta este tipo de infraestructura, es decir, no cuenta con postas ni hospitales.

El área urbana de Villarrica cuenta con un hospital, el cual se encuentra en la unidad vecinal José M. Balmaceda (Mapa 37).

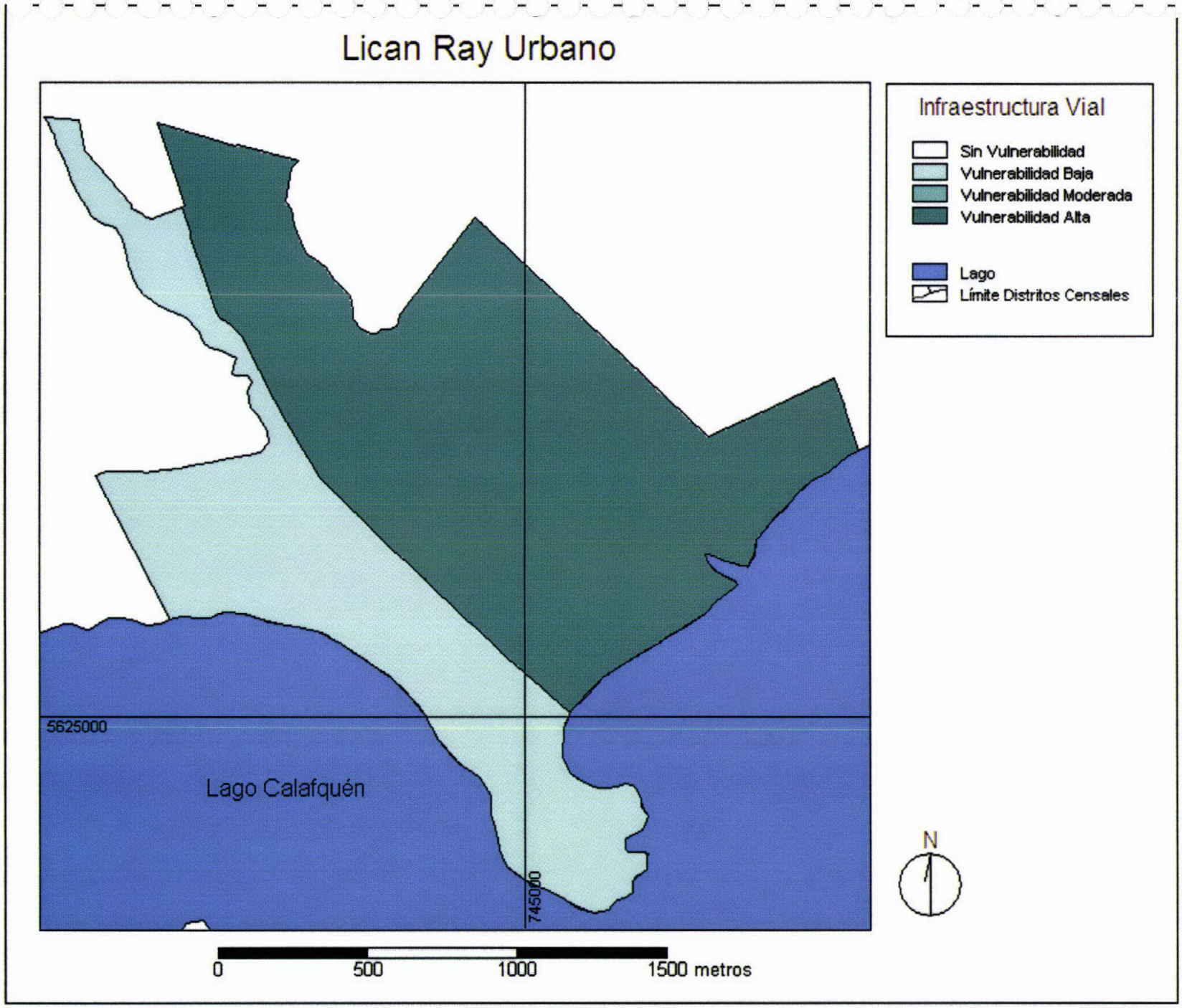
Los distritos censales del área rural de Villarrica con más postas y hospitales son Chesque y Huilipilún Poniente. Los distritos Huilpilún Poniente, Pedregoso, Loncotraro, Plaza y Estación no cuentan con infraestructura de salud (Mapa 38).

En el área urbana de Pucón existe sólo un hospital, ubicado en la unidad vecinal Playa Grande (Mapa 39).

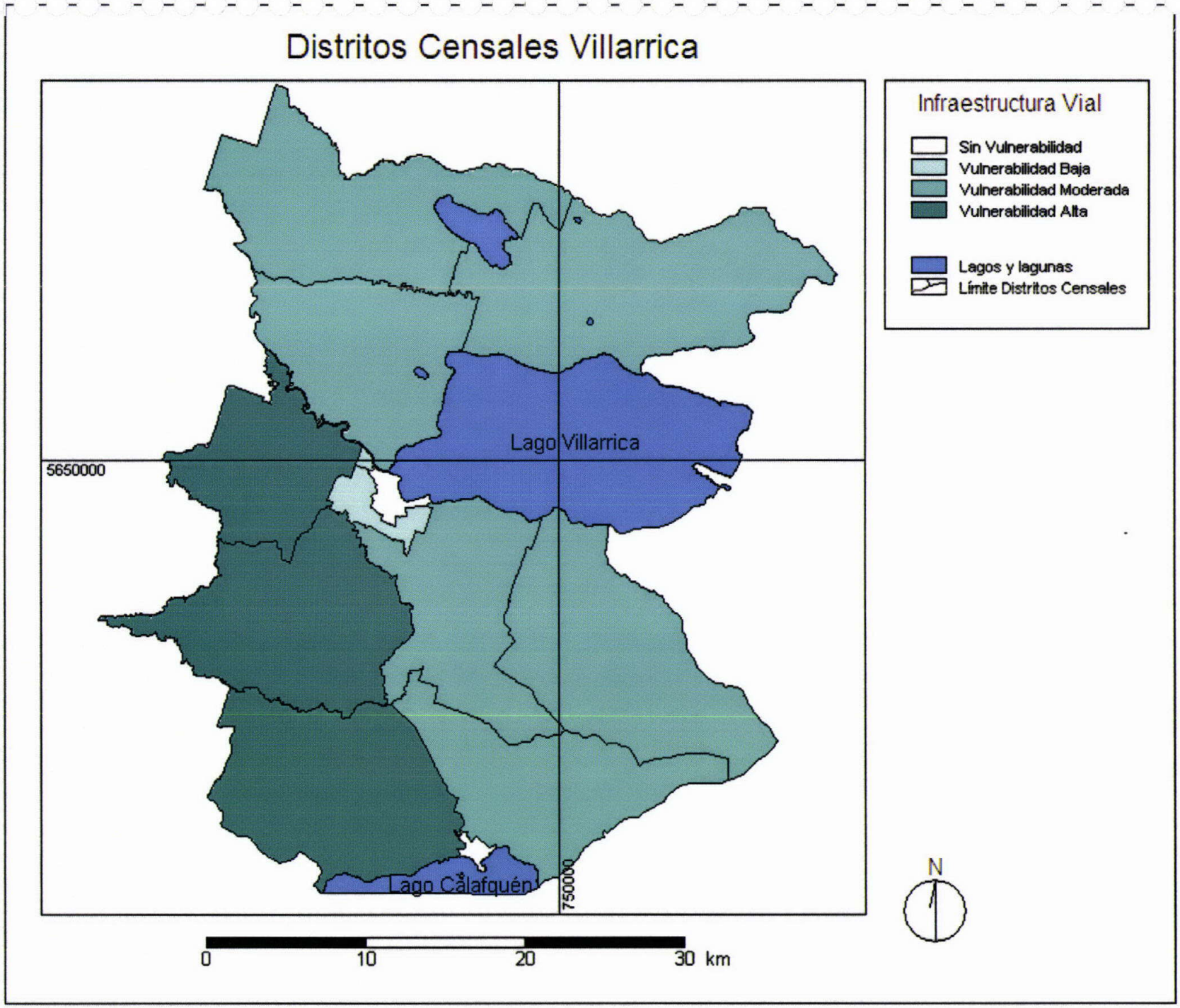
El área rural de Pucón cuenta con dos postas rurales, ambas ubicadas en el distrito censal Caburgua, por lo que los distritos restantes no presentan este tipo de infraestructura (Mapa 40).



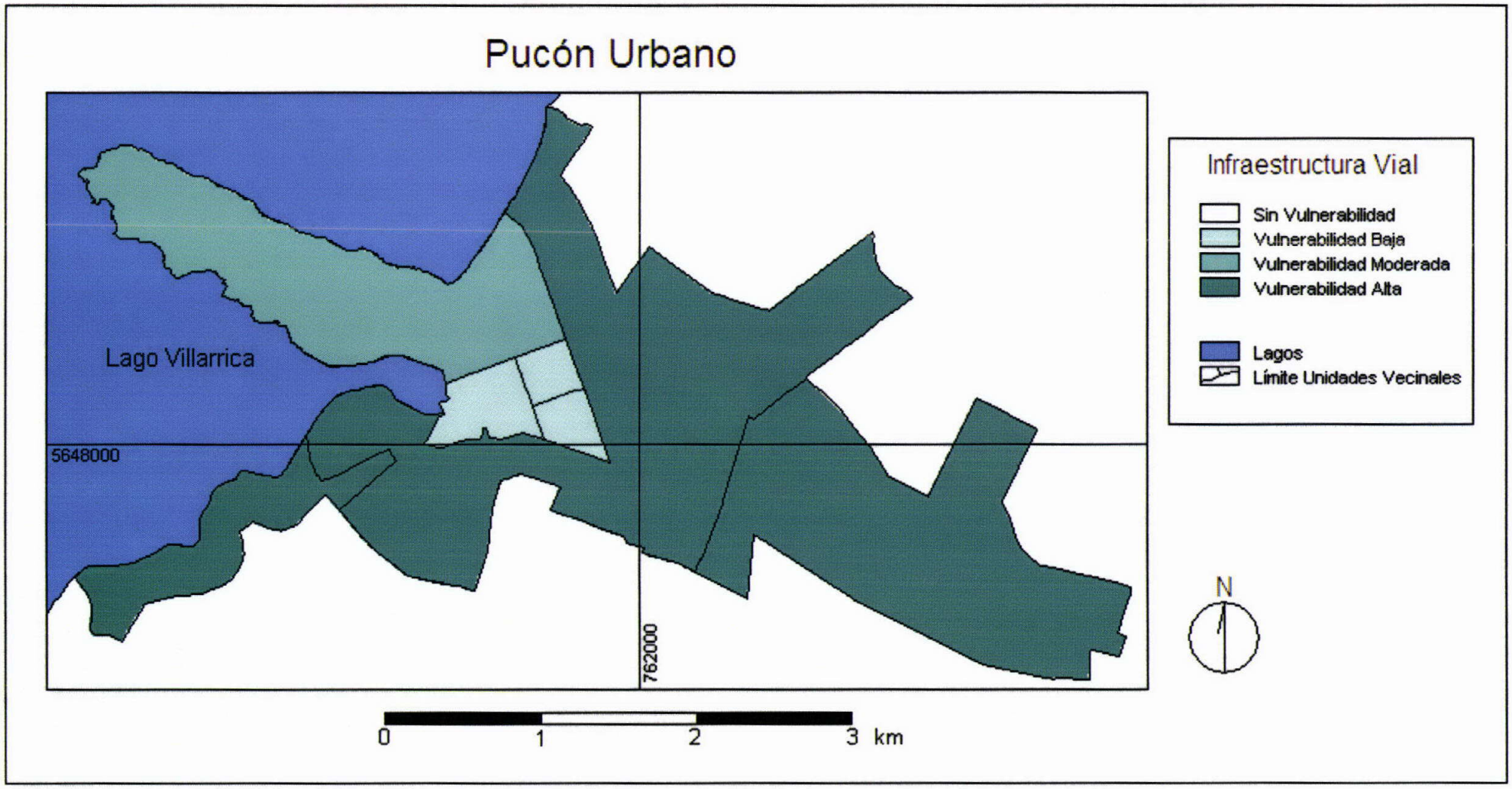
Mapa 22: Infraestructura Vial Área Urbana de Villarrica



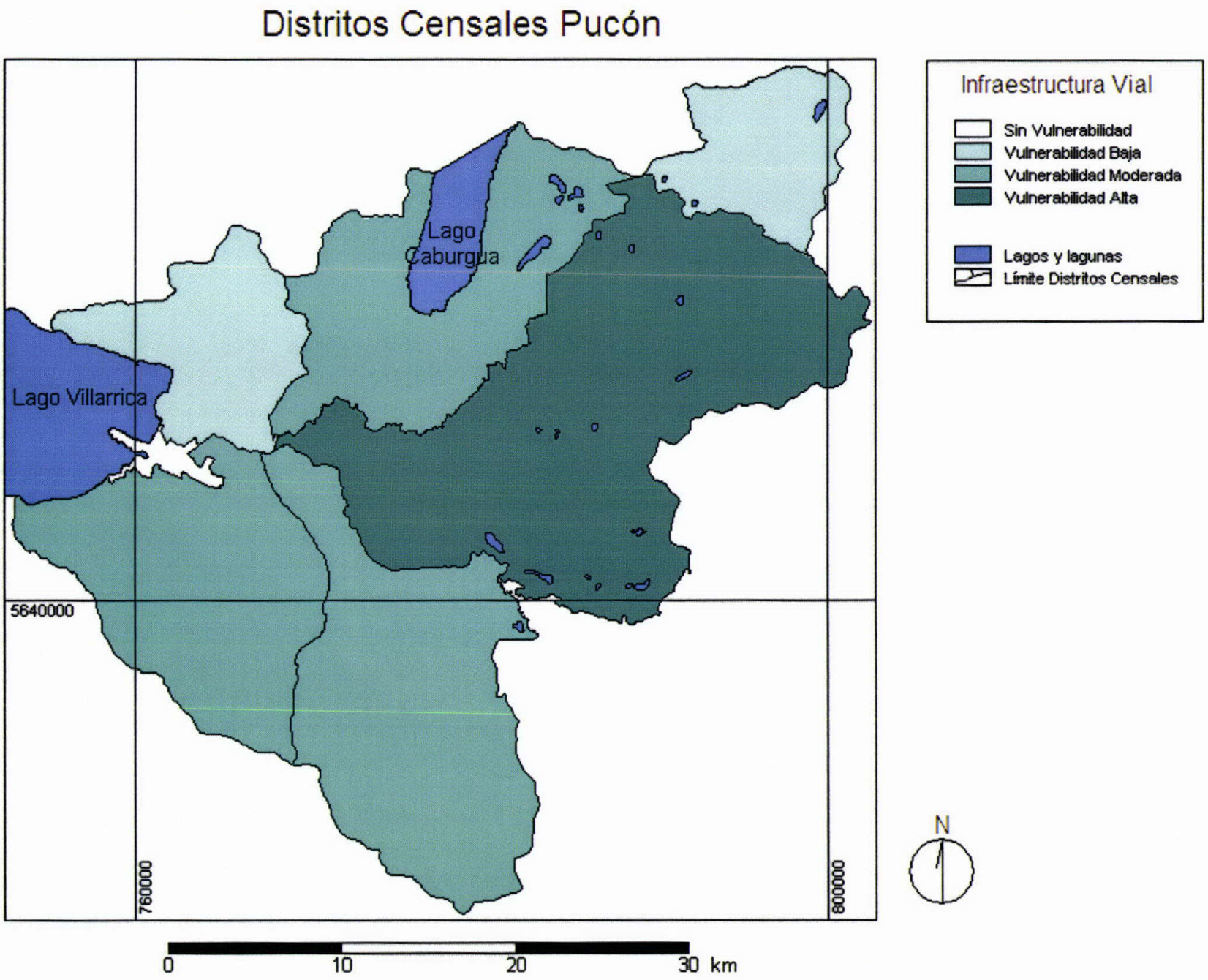
Mapa 23: Infraestructura Vial Área Urbana de Lican Ray



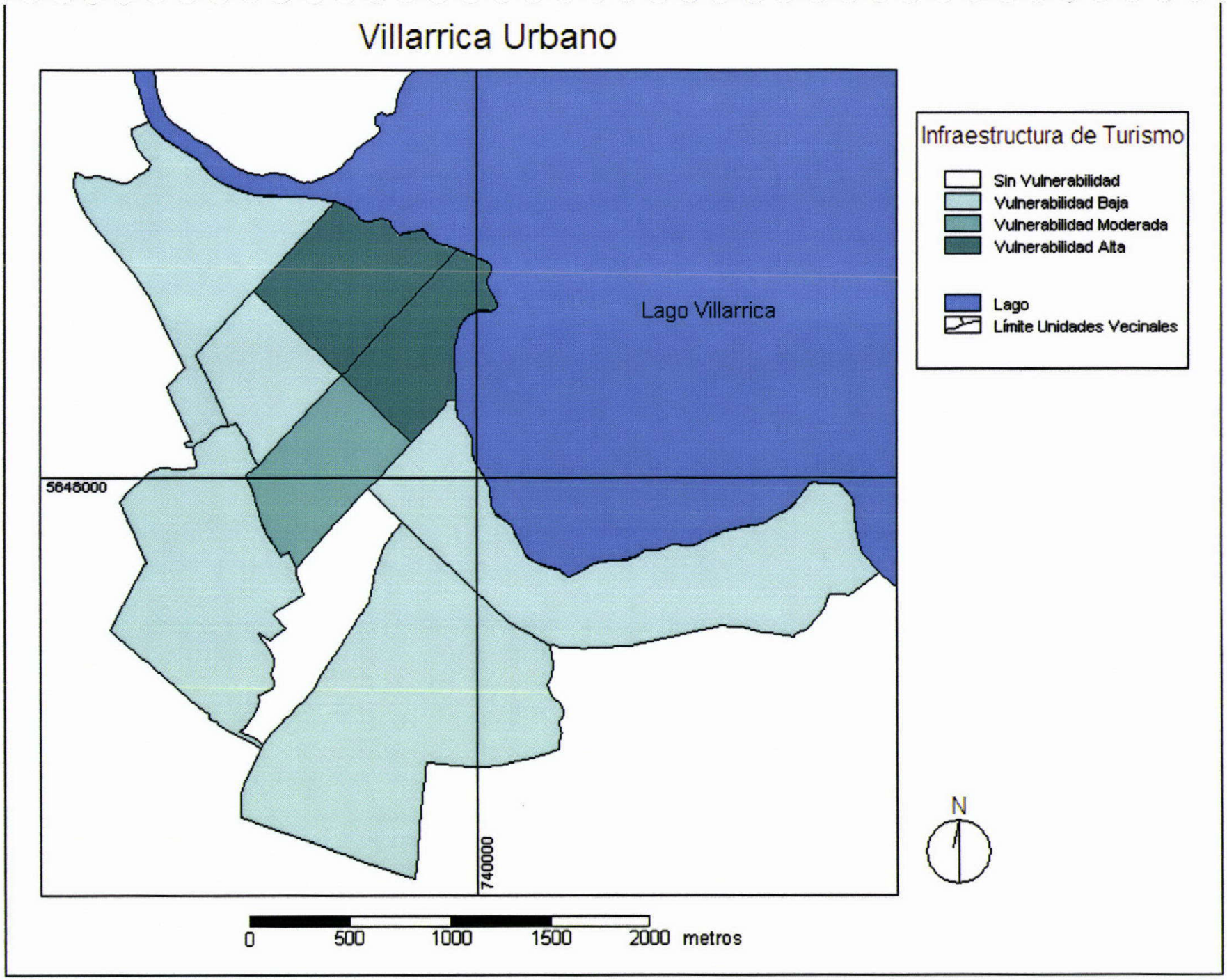
Mapa 24: Infraestructura Vial Área Rural de Villarrica



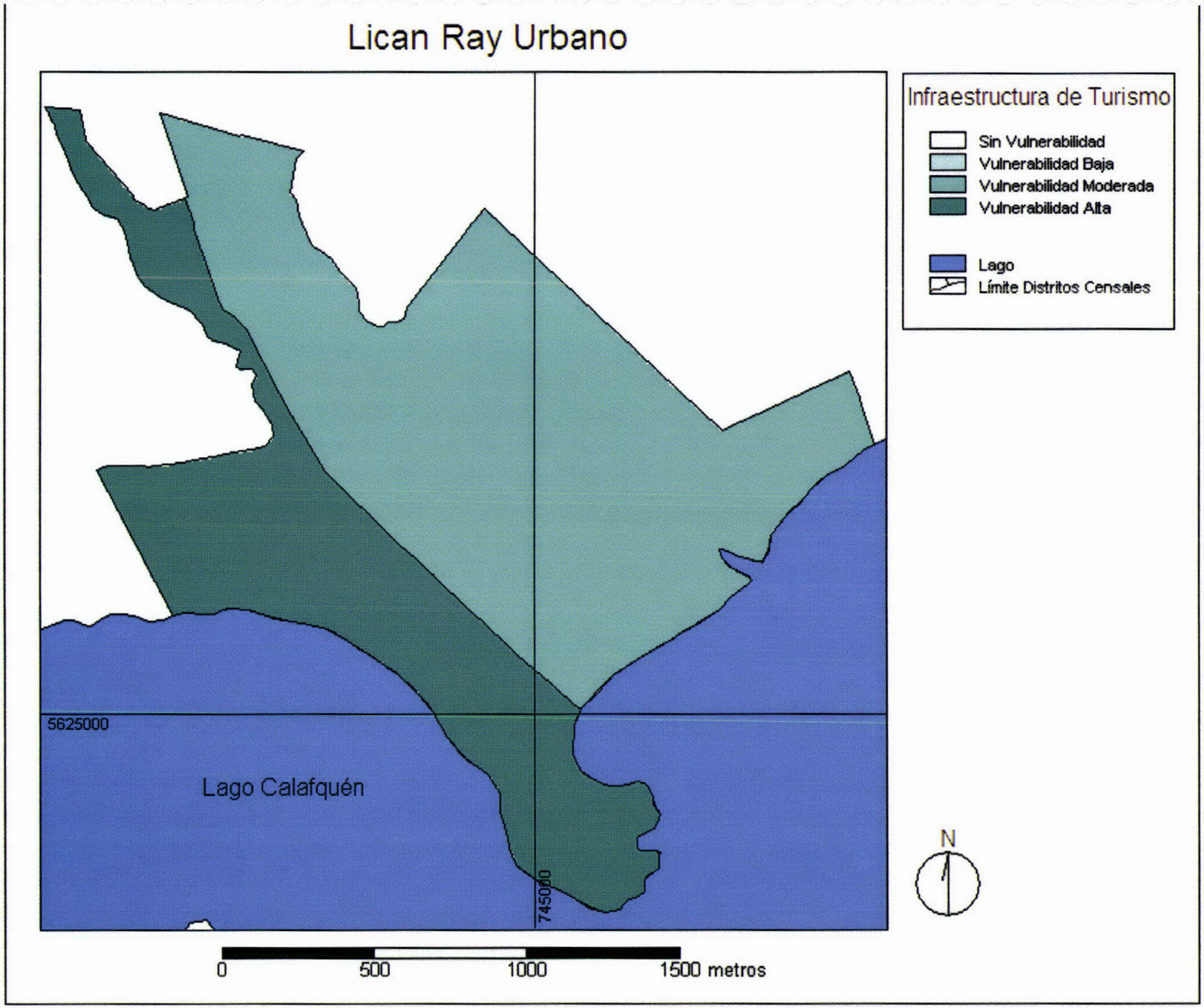
Mapa 25: Infraestructura Vial Área Urbana de Pucón



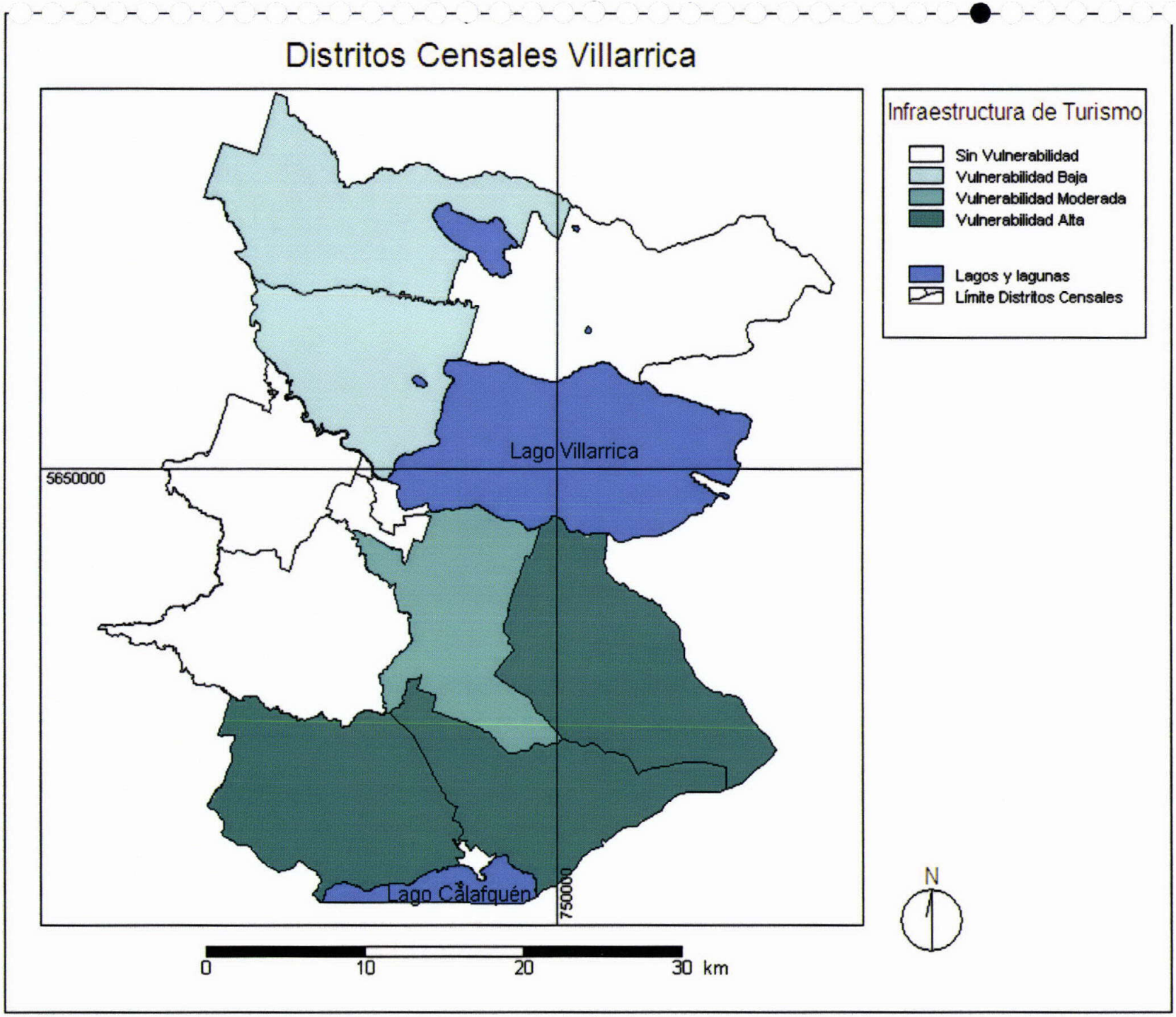
Mapa 26: Infraestructura Vial Área Rural de Pucón



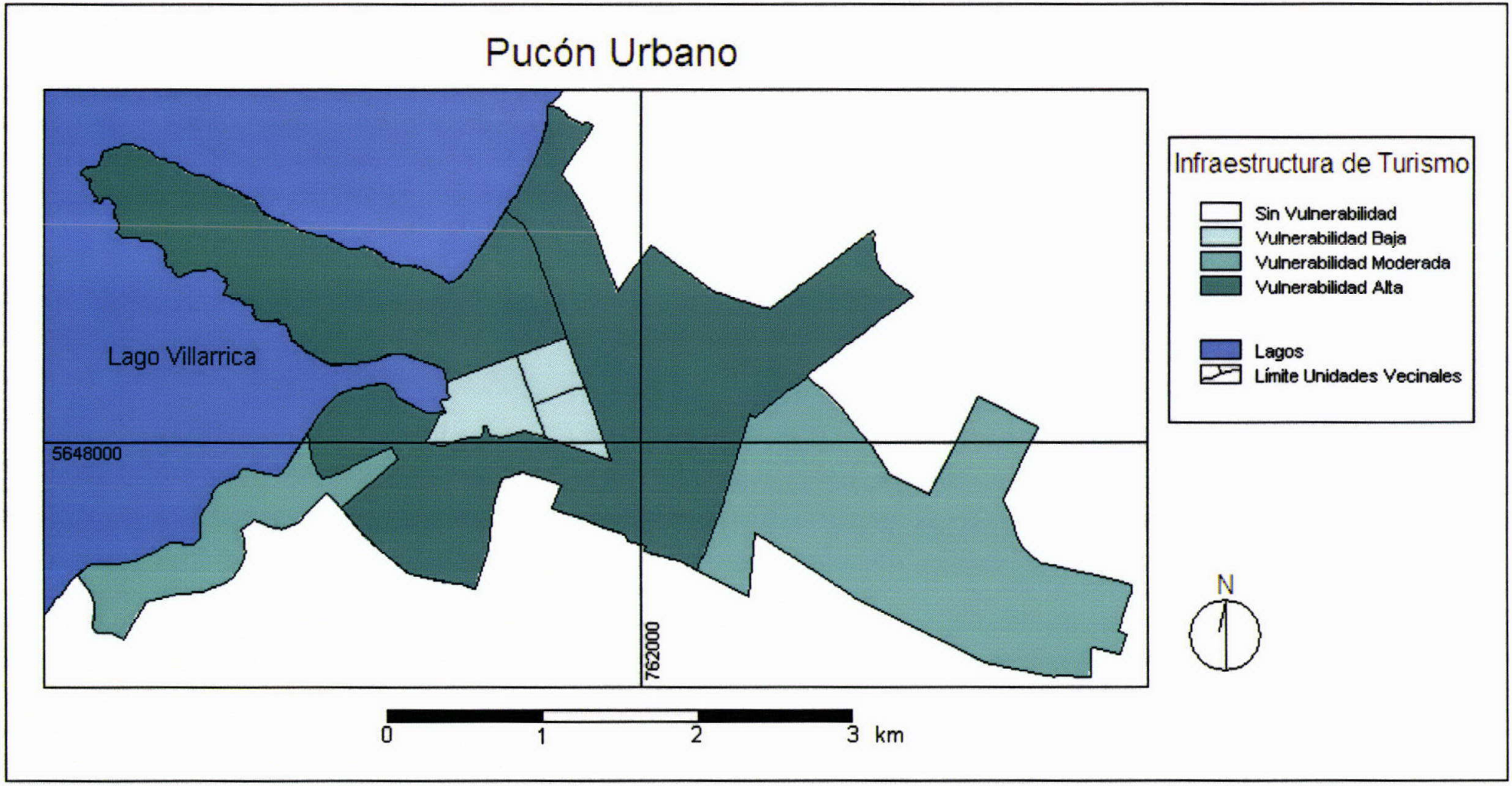
Mapa 27: Alojamientos Área Urbana de Villarrica



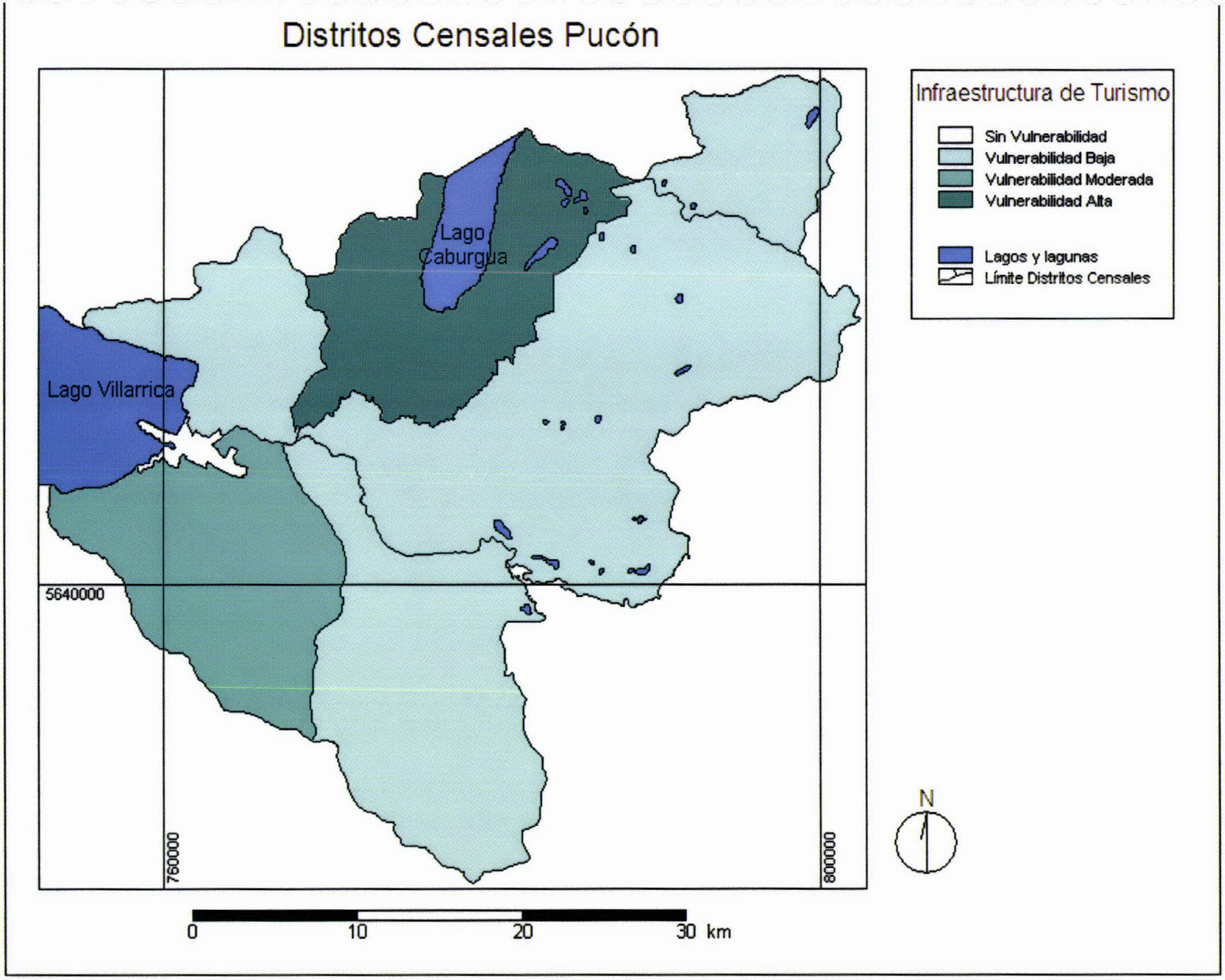
Mapa 28: Alojamientos Área Urbana de Lican Ray



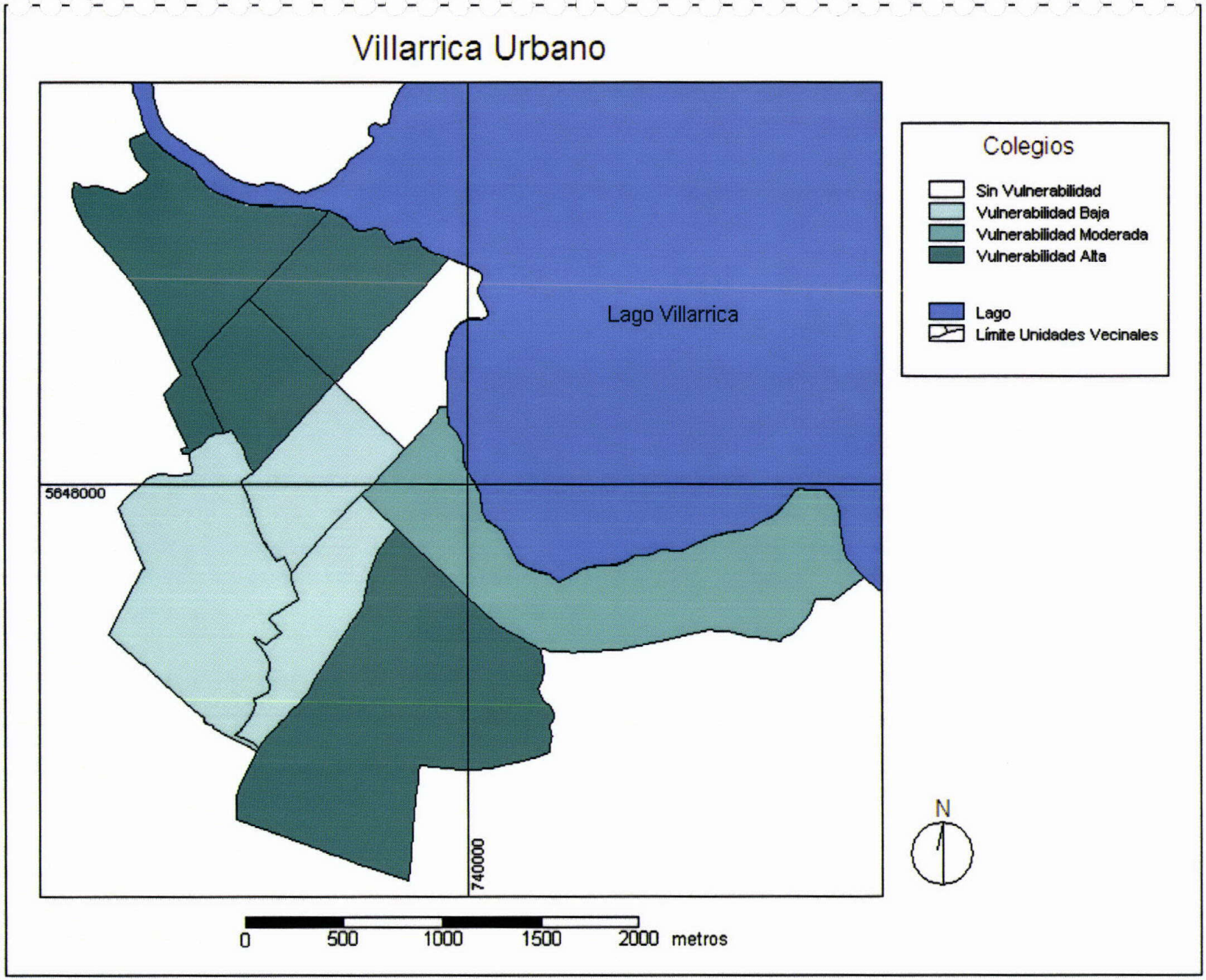
Mapa 29: Alojamientos Área Rural de Villarrica



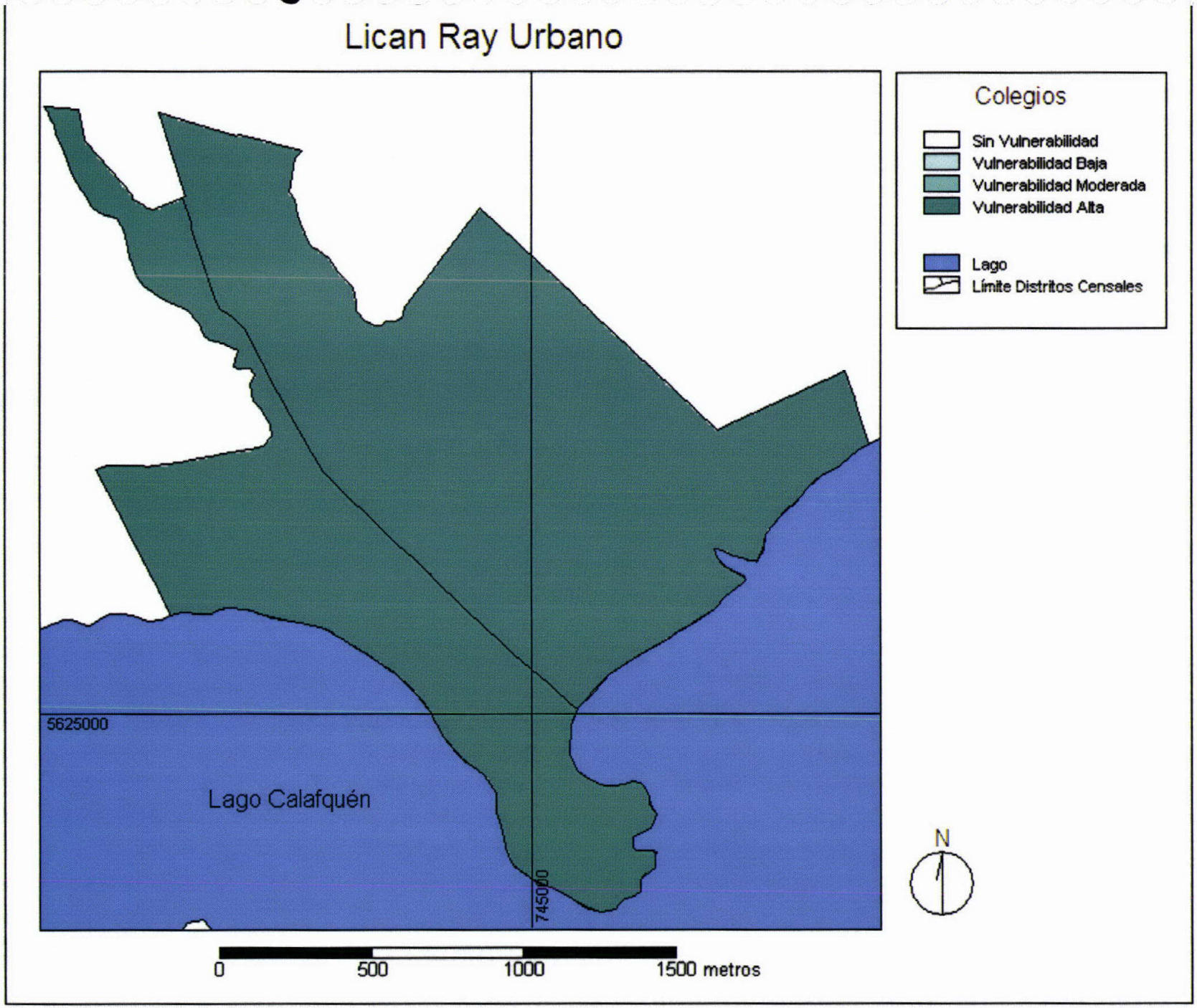
Mapa 30: Alojamientos Área Urbana de Pucón



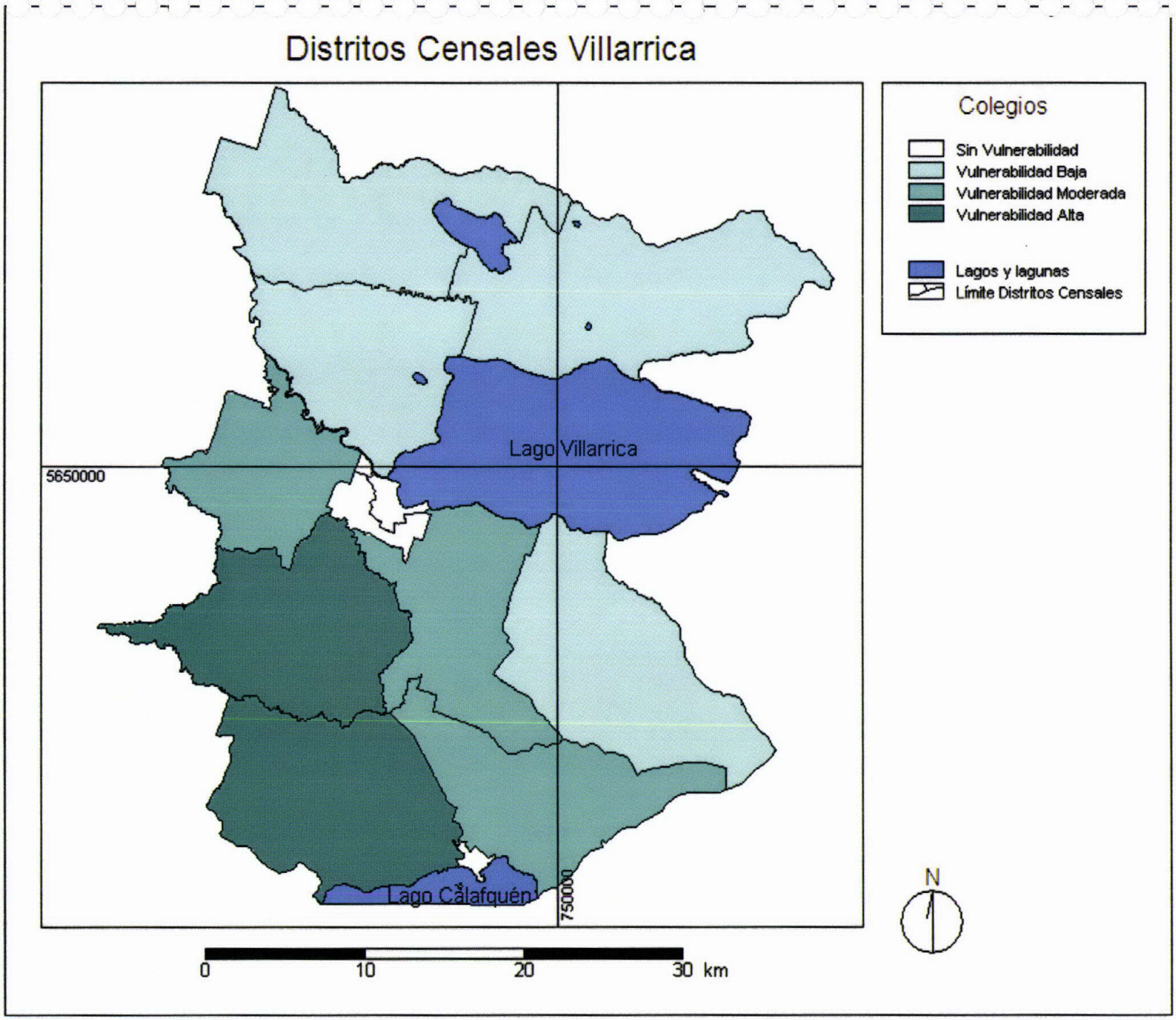
Mapa 31: Alojamientos Área Rural de Pucón



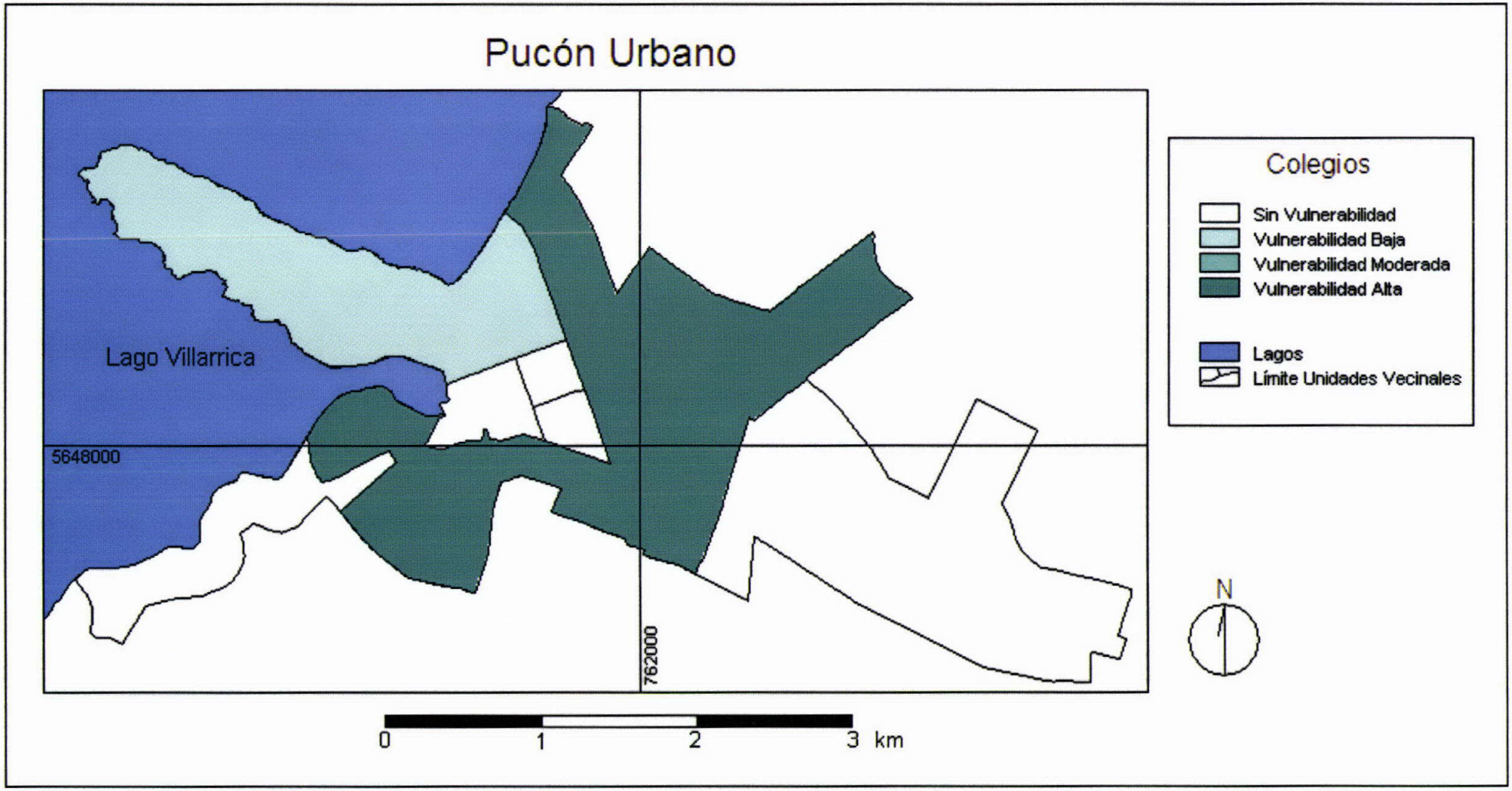
Mapa 32: Colegios Área Urbana de Villarrica



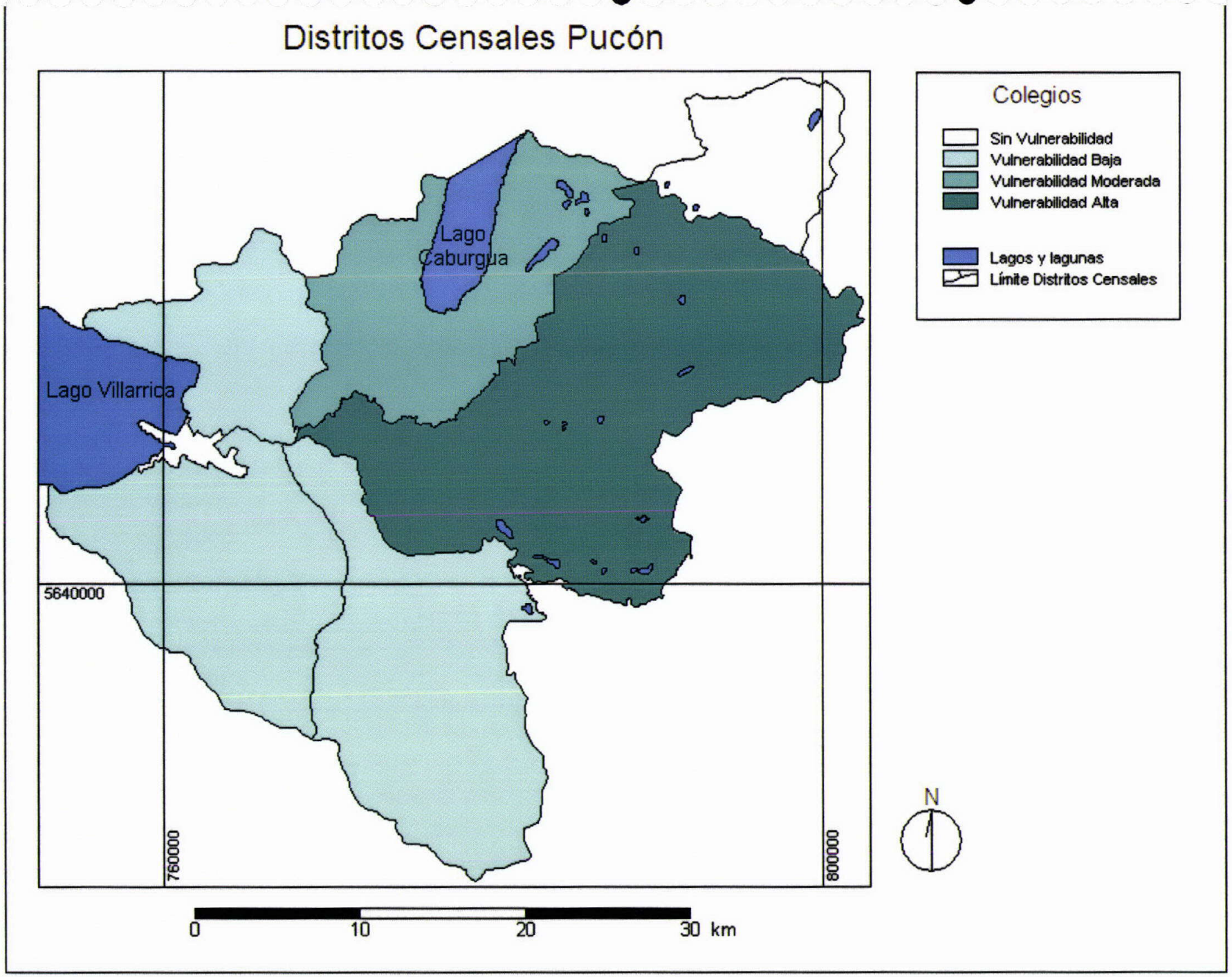
Mapa 33: Colegios Área Urbana de Lican Ray



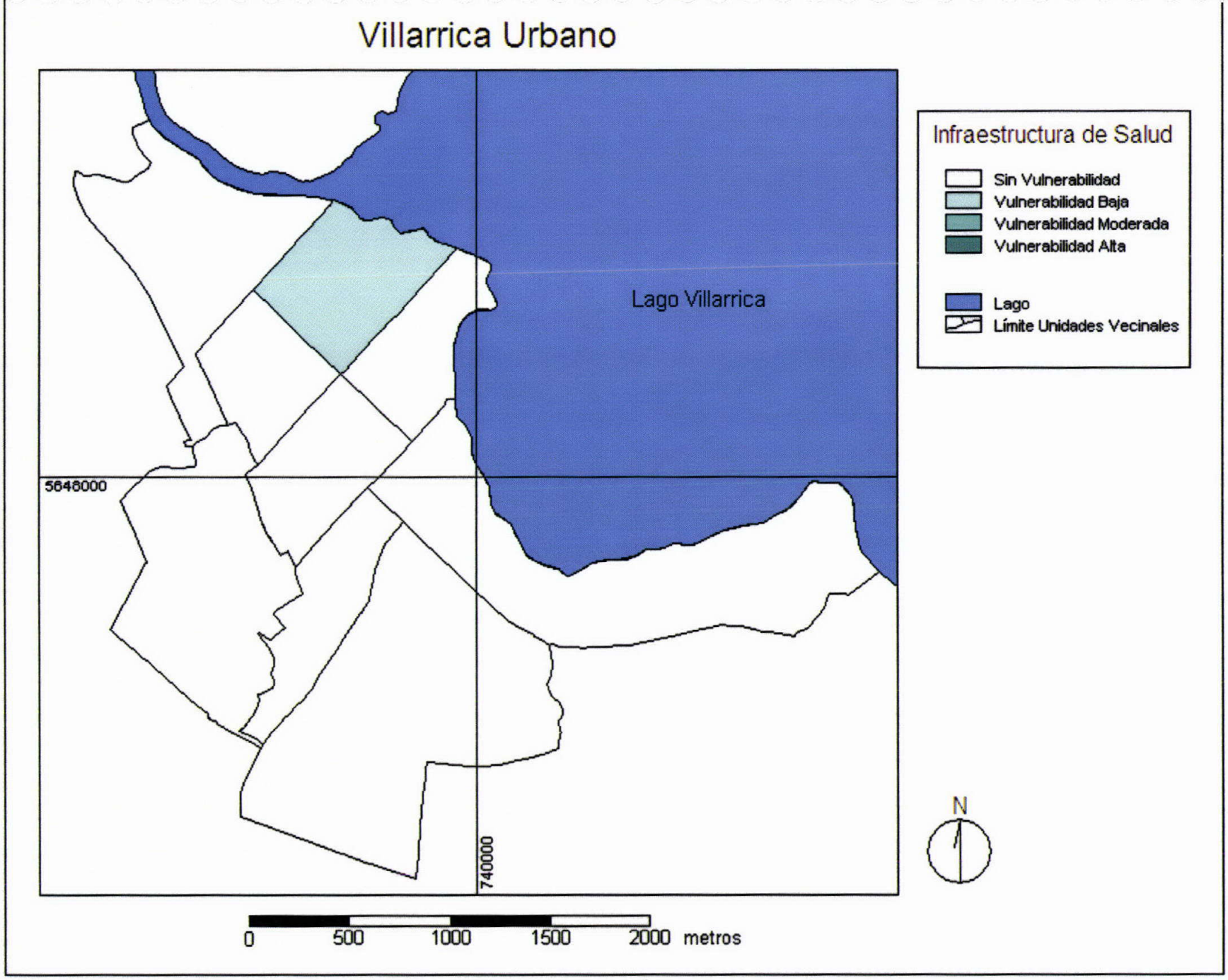
Mapa 34: Colegios Área Rural de Villarrica



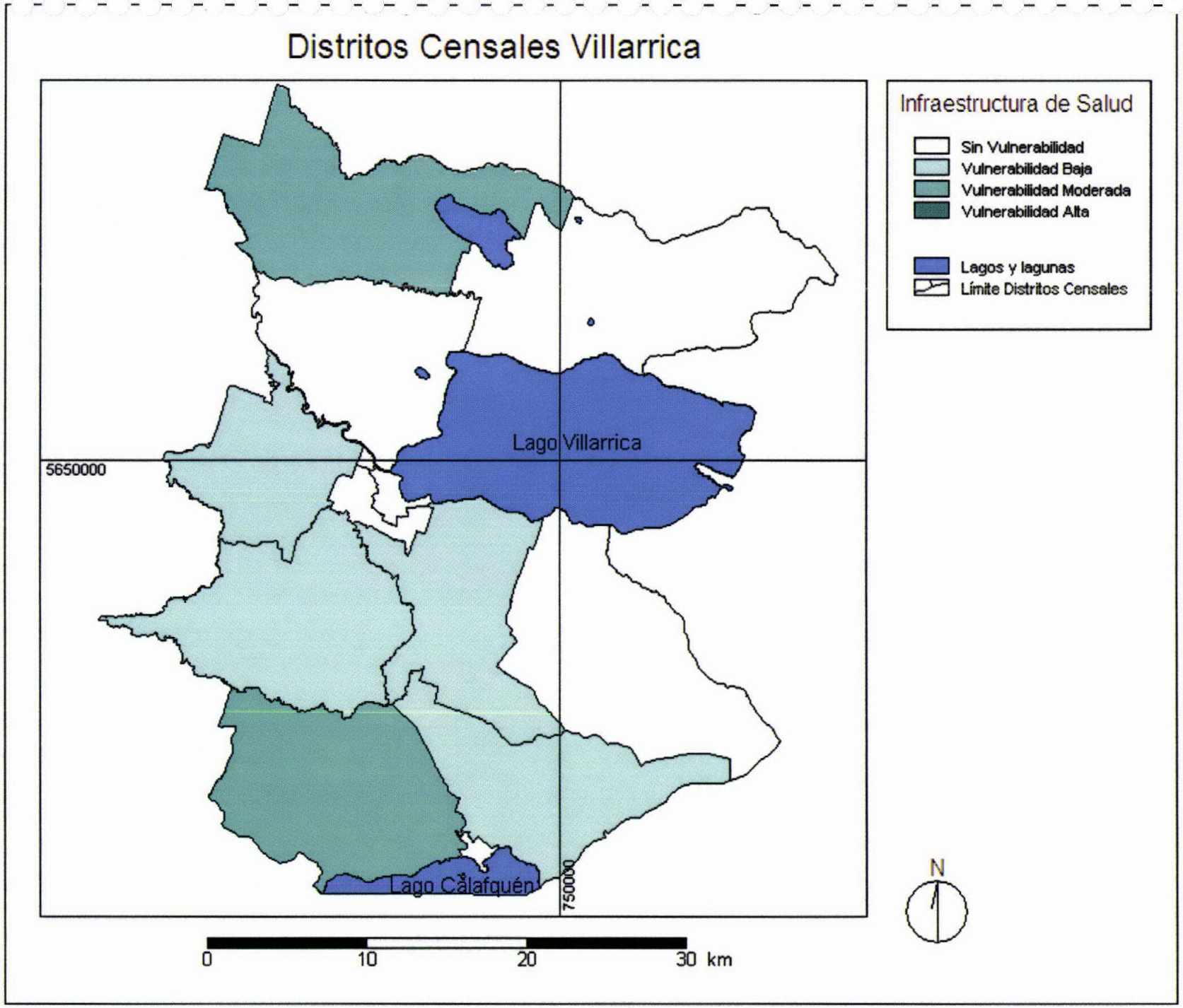
Mapa 35: Colegios Área Urbana de Pucón



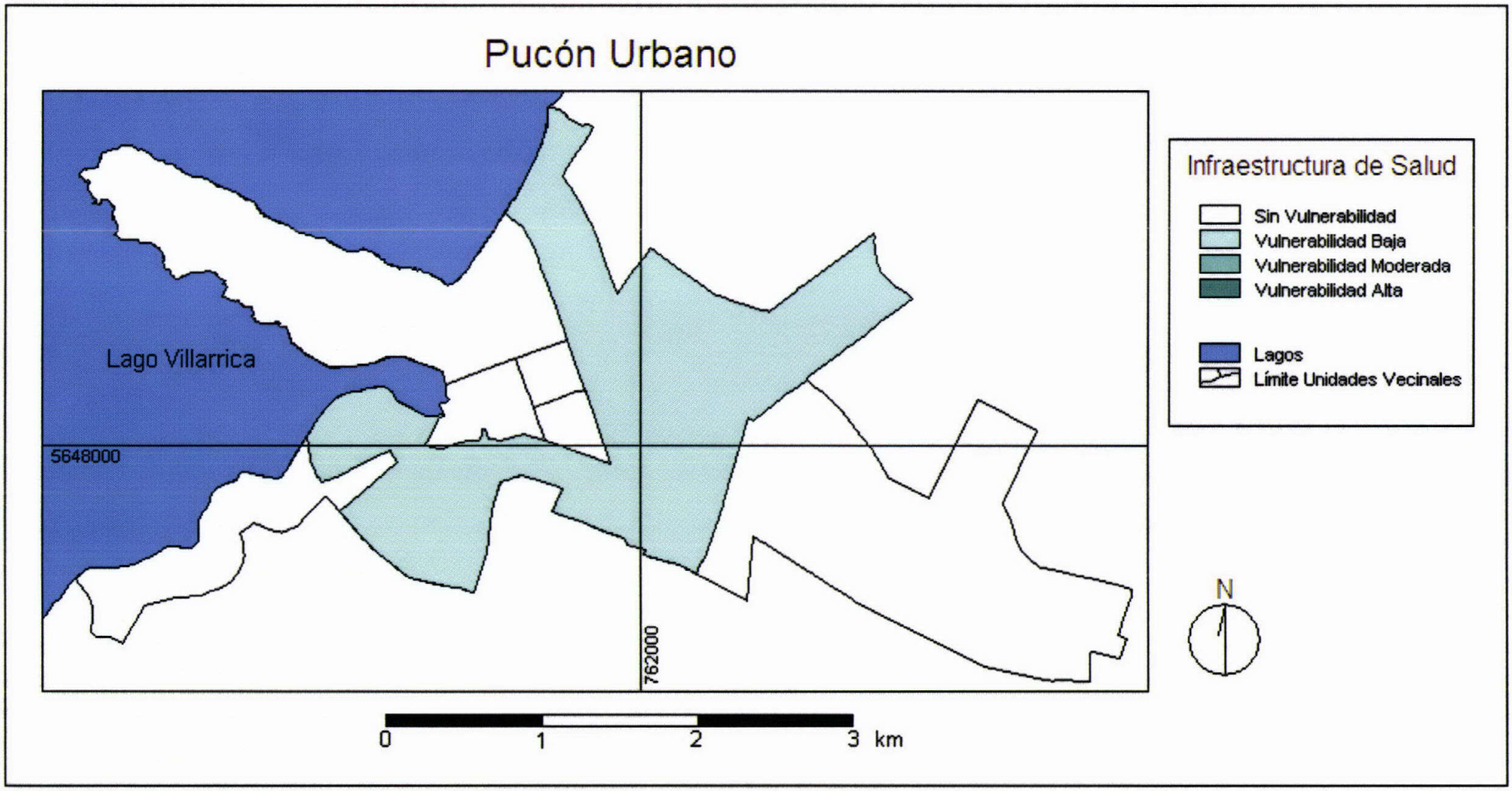
Mapa 36: Colegios Área Rural de Pucón



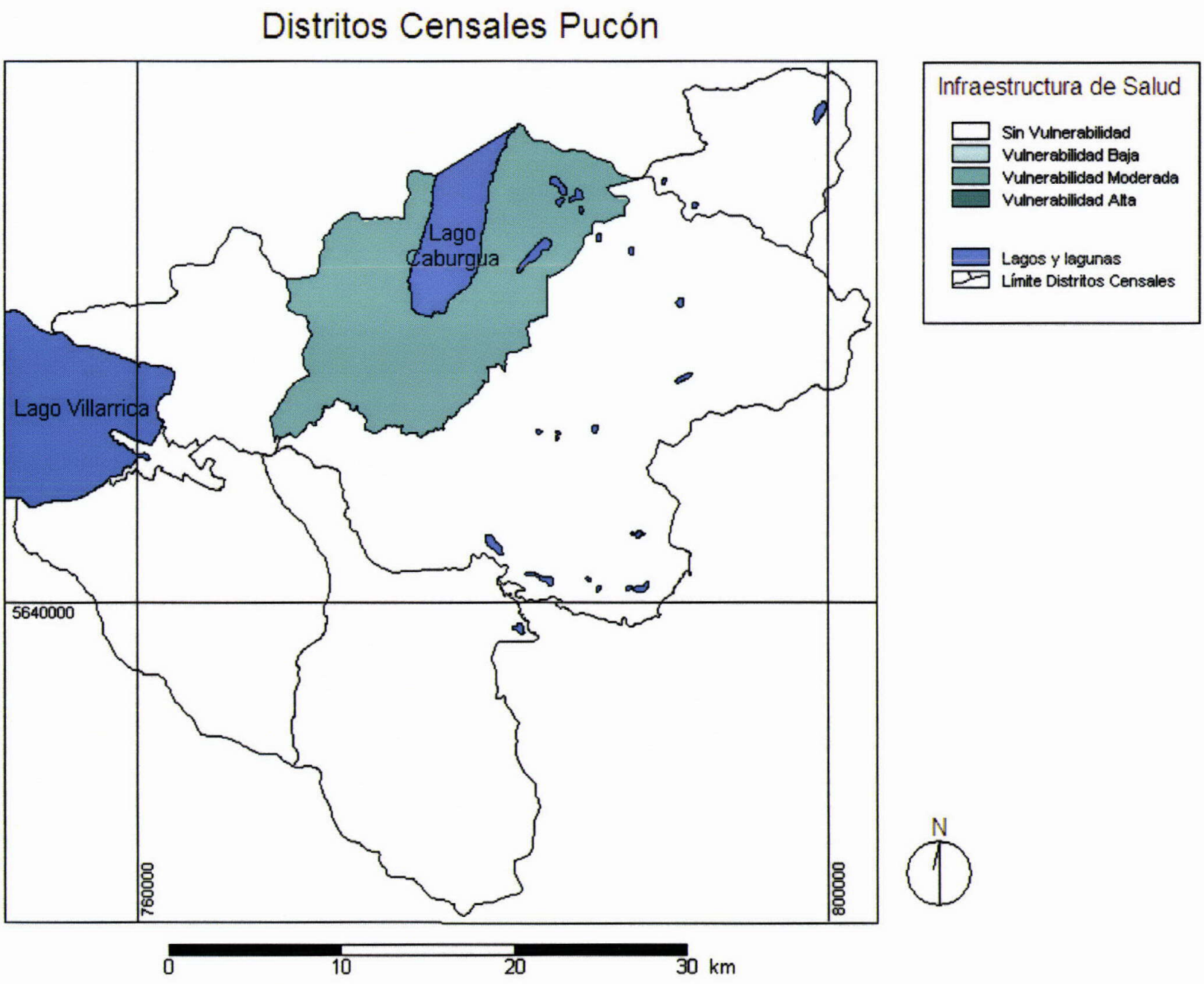
Mapa 37: Postas y Hospitales Área Urbana de Villarrica



Mapa 38: Postas y Hospitales Área Rural de Villarrica



Mapa 39: Postas y Hospitales Área Urbana de Pucón



Mapa 40: Postas y Hospitales Área Rural de Pucón

Exposición

Las variables consideradas como exposición a la amenaza son Cercanía al centro de emisión, Distancia a escurrimientos superficiales y Dirección del viento, las cuales no fueron consideradas por estar implícitas en el mapa de peligros del Volcán Villarrica.

A continuación se presentan tablas resumen de los valores obtenidos en cada unidad vecinal y distrito censal, para cada una de las variables, ponderadas de 0 a 3, de menor a mayor vulnerabilidad.

Área Urbana de Villarrica

	Unidades Vecinales								
Variable	P. de Valdivia	J.M. Balmaceda	G.H. de Mendoza	G.B. Ramberga	21 de Mayo	D. de Almagro	B. O'Higgins	San Francisco	Vista Hermosa
Población Total	1	1	2	1	1	1	3	1	3
Población Vulnerable	1	1	2	1	1	1	3	1	3
Vivienda	1	1	2	1	1	1	3	1	3
Infraestructura Vial	1	2	2	2	2	2	3	1	2
Alojamientos	3	3	1	1	2	1	1	0	1
Colegios	0	3	3	3	1	2	3	1	1
Postas y hospitales	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 18: Variables Área Urbana de Villarrica

Área Urbana de Lican Ray

	Distritos Censales	
Variable	Lican Ray	Chesque
Población Total	3	1
Población Vulnerable	3	1
Vivienda	3	1
Infraestructura Vial	3	1
Alojamientos	2	3
Colegios	3	3
Postas y hospitales	0	0

Tabla 19: Variables Área Urbana de Lican Ray

Área Rural de Villarrica

Variable	Distritos Censales										
	Relún	Loncotraro	Huilipilún Oriente	Conquil	Lican Ray	Chesque	Voipir	Huilipilún Poniente	Pedregoso	Plaza	Estación
oblación otal	2	2	1	3	2	1	3	1	2	1	1
oblación ulnerable	3	2	1	3	2	1	3	1	2	1	1
ivienda	2	3	1	3	2	2	2	1	2	1	1
nfraestructura ial	3	2	2	2	2	3	3	2	2	1	1
lojamientos	0	3	0	2	3	3	0	1	1	0	0
olegios	3	1	1	2	2	3	2	1	1	0	0
ostas y ospitales	1	0	0	1	1	2	1	2	0	0	0

Tabla 20: Variables Área Rural de Villarrica

Área Urbana de Pucón

Variable	Unidades Vecinales					
	Aduana	Estadio	Obispo	Central	Playa Grande	El Claro
Infraestructura Vial	1	1	1	2	3	3
Colegios	0	0	0	1	3	0
Población Total	1	1	2	1	3	3
Población Vulnerable	1	1	2	1	3	3
Postas y hospitales	0	0	0	0	1	0
Alojamientos	1	1	1	3	3	2
Vivienda	1	1	1	2	3	3

Tabla 21: Variables Área Urbana de Pucón

Área Rural de Pucón

Variable	Distritos Censales					
	Palguín	Termas de Río Blanco	Coilaco	Cementerio	Caburgua	Península
Infraestructura Vial	2	1	3	2	2	1
Colegios	1	0	3	1	2	1
Población Total	2	1	3	3	3	1
Población Vulnerable	2	1	3	3	3	1
Postas y hospitales	0	0	0	0	2	0
Alojamientos	1	1	1	2	3	1
Vivienda	1	1	2	3	3	1

Tabla 22: Variables Área Rural de Pucón

A partir de las siete variables analizadas anteriormente, se generaron los dos primeros factores que condicionan la vulnerabilidad física. Estos son el Factor Población y el Factor Infraestructura, los cuales fueron ponderados en cinco rangos, de 0 a 4, de menor a mayor vulnerabilidad. Los resultados se presentan a continuación.

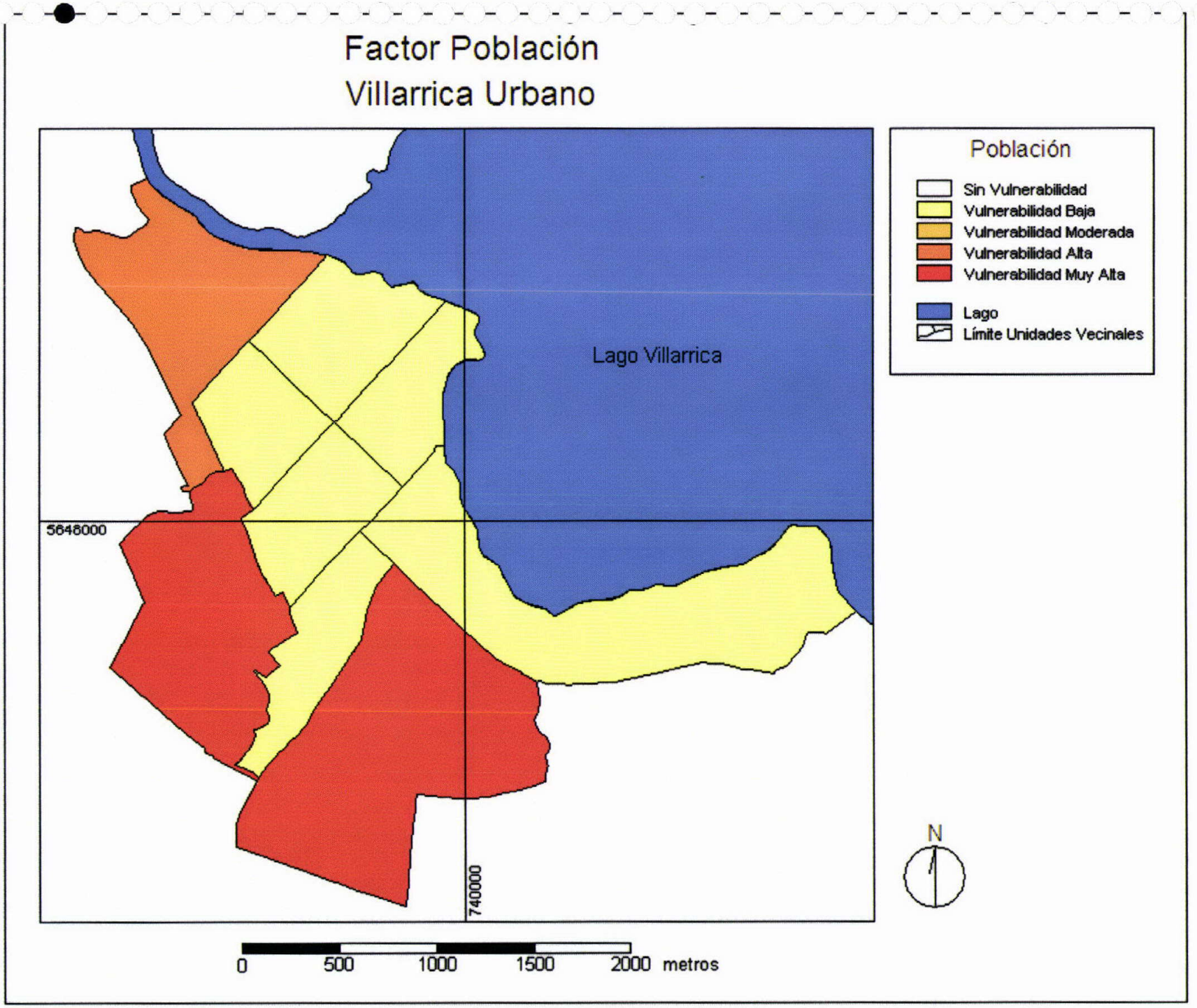
Factor Población

El factor población fue generado a partir de las variables población total y población vulnerable.

En el área urbana de Villarrica, las unidades vecinales con vulnerabilidad muy alta en el factor población son Vista Hermosa y Bernardo O'Higgins, debido a que presentan los mayores valores de población total y población vulnerable. La unidad vecinal García Hurtado de Mendoza sigue con una vulnerabilidad alta. El resto de las unidades presenta valores de vulnerabilidad bajos (Mapa 41).

Factor Población		
Unidad Vecinal	Población Total	Población Vulnerable
García Hurtado de Mendoza	3777	1407
José M. Balmaceda	1785	667
Pedro de Valdivia	861	337
Guido Beck de Ramberga	2345	878
21 de Mayo	2072	778
Diego de Almagro	1425	577
Vista Hermosa	5580	2228
San Francisco de Asís	1395	548
Bernardo O'Higgins	7877	2958

Tabla 23: Factor Población Área Urbana de Villarrica



Mapa 41: Factor Población Villarrica Urbano

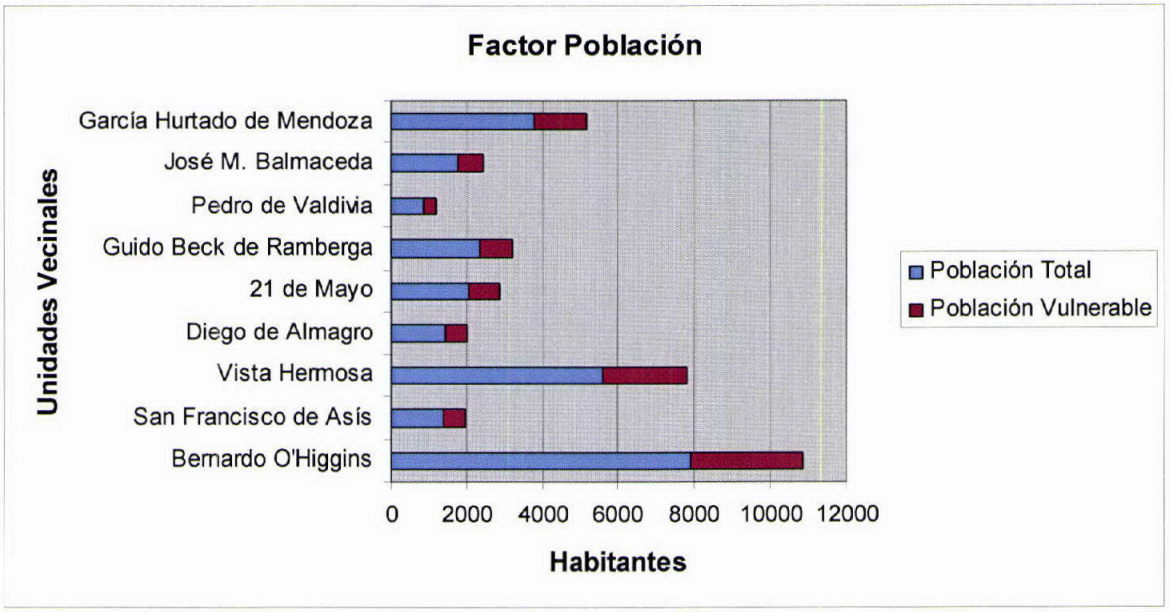


Gráfico 1: Factor Población Área Urbana de Villarrica

En los distritos censales del área urbana de Lican Ray, el distrito Lican Ray presenta una vulnerabilidad muy alta, ya que tiene los mayores más altos de población total y población vulnerable. En cambio, el distrito Chesque presenta una vulnerabilidad baja (Mapa 42).

Factor Población		
Distrito Censal	Población Total	Población Vulnerable
Lican Ray	1645	679
Chesque	450	188

Tabla 24: Factor Población Área Urbana de Lican Ray

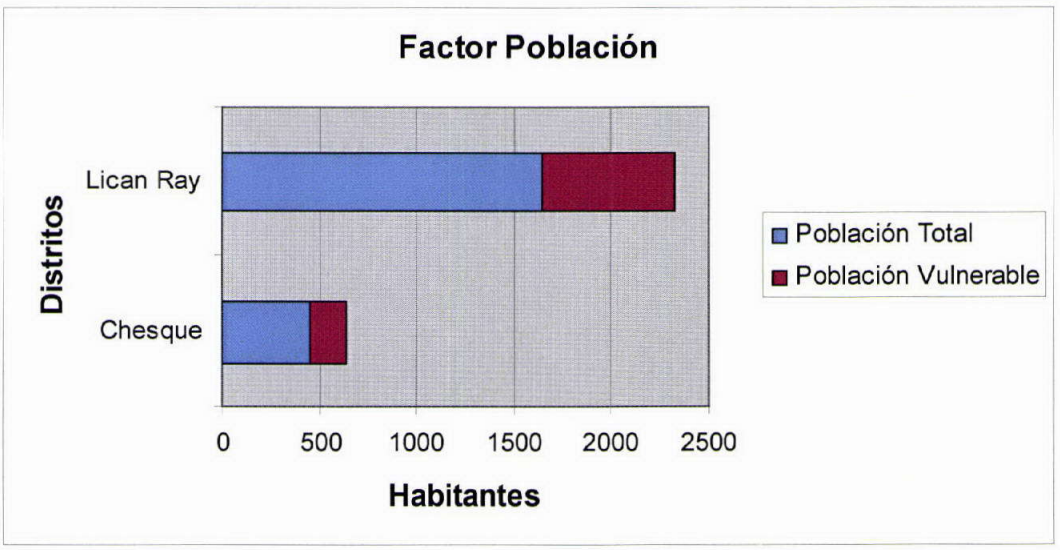
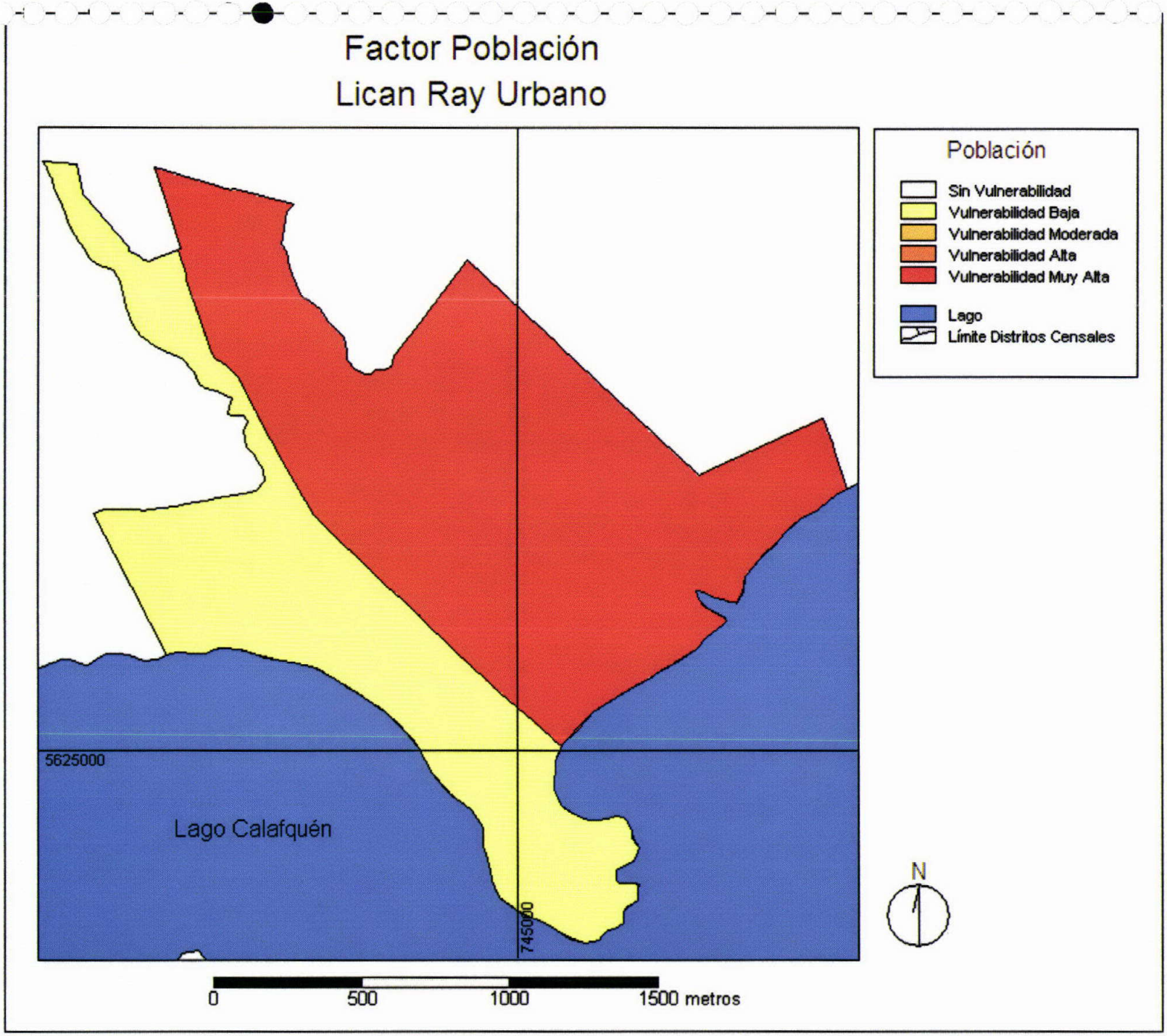


Gráfico 2: Factor Población Área Urbana de Lican Ray



Mapa 42: Factor Población Lican Ray Urbano

El área rural de Villarrica presenta vulnerabilidad muy alta en el factor población en los distritos Voipir, Relún y Conquil. Los distritos Voipir y Conquil tienen los mayores valores de población total y población vulnerable, en cambio, el distrito Relún tiene vulnerabilidad moderada en población total y alta en población vulnerable (Mapa 43).

Factor Población		
Distrito Censal	Población Total	Población Vulnerable
Plaza	3	1
Estación	153	61
Loncotraro	1738	662
Conquil	3212	1379
Lican Ray	1349	551
Chesque	468	198
Relun	2081	938
Voipir	2528	1066
Pedregoso	1506	614
Huilipilún Poniente	906	368
Huilipilún Oriente	566	223

Tabla 25: Factor Población Área Rural de Villarrica

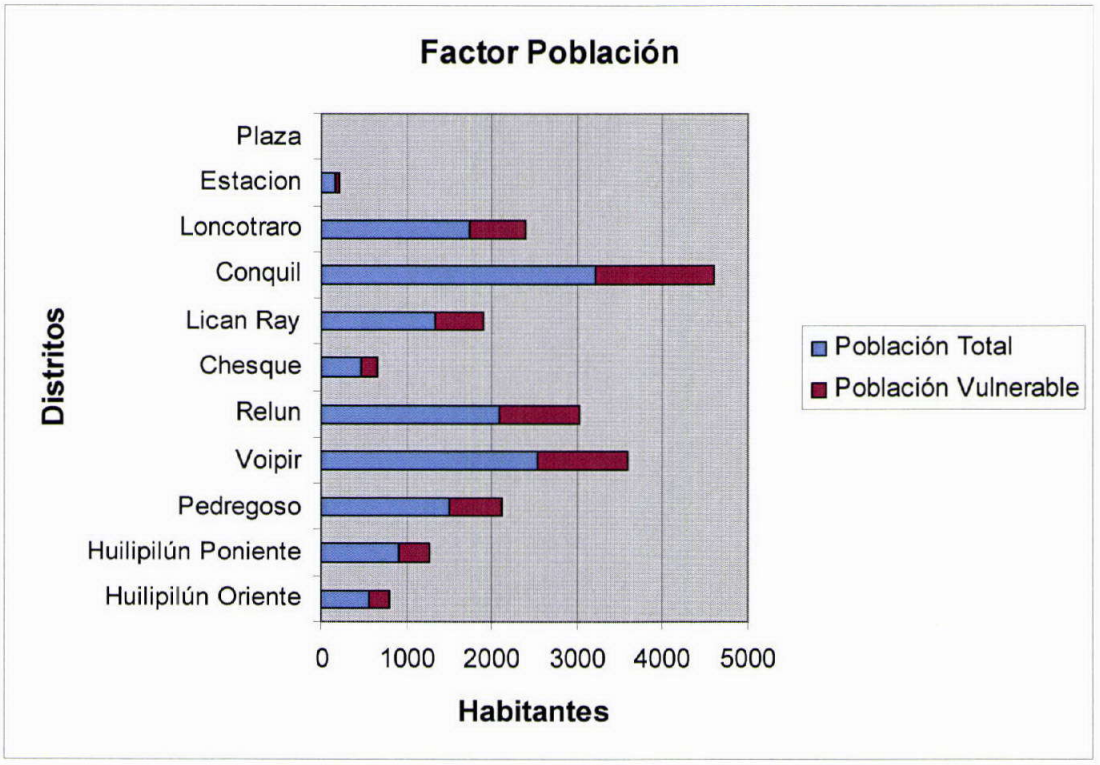
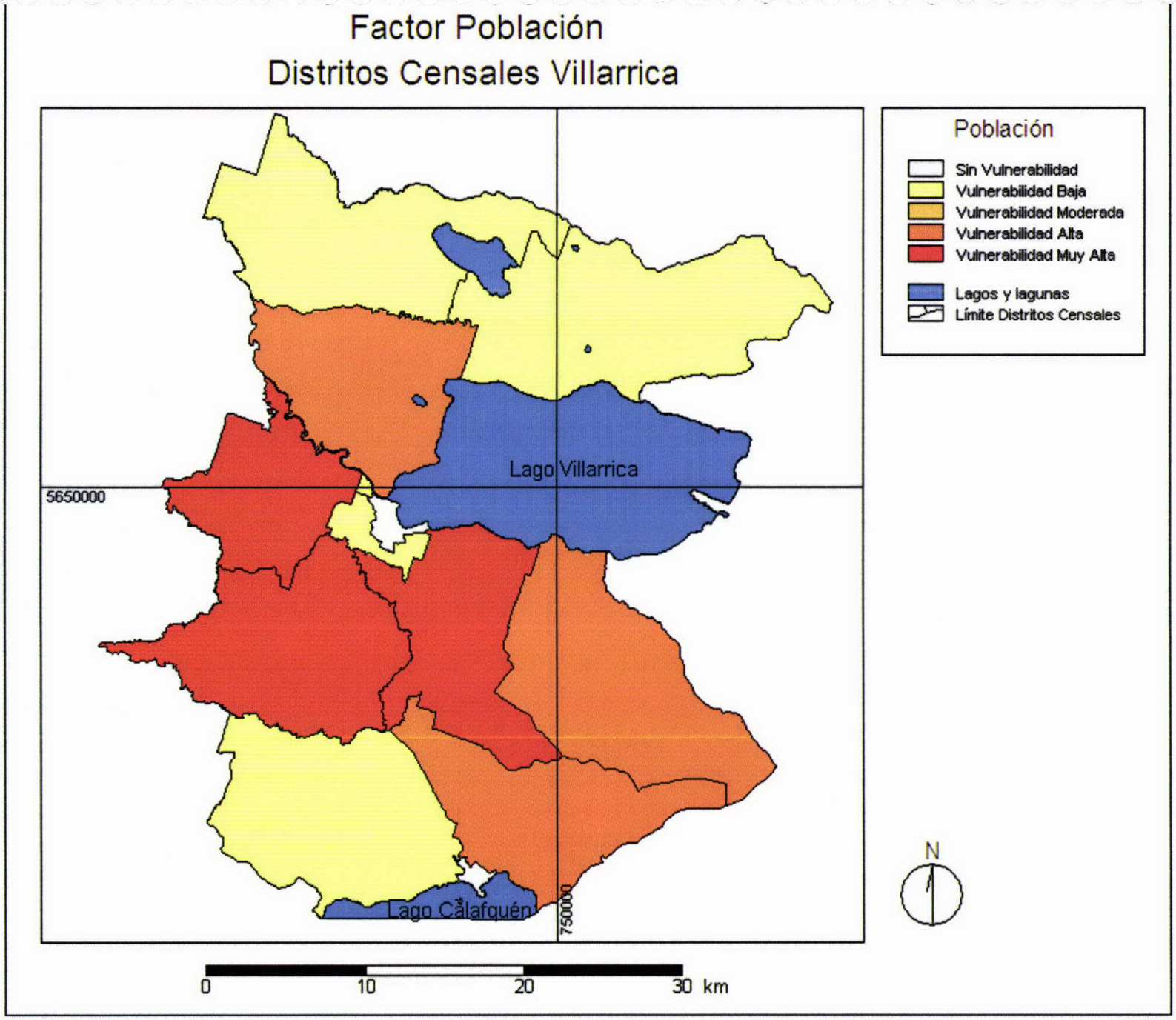


Gráfico 3: Factor Población Área Rural de Villarrica



Mapa 43: Factor Población Villarrica Rural

El área urbana de Pucón presenta una vulnerabilidad muy alta en el factor población en las unidades vecinales Playa Grande y El Claro, debido a que cuentan con los mayores valores de vulnerabilidad en población total y población vulnerable (Mapa 44).

Factor Población		
Unidades Vecinales	Población Total	Población Vulnerable
Aduana	1076	432
Central	1093	355
El Claro	4112	1663
Estadio	633	243
Obispo	1756	643
Playa Grande	4696	1759

Tabla 26: Factor Población Área Urbana de Pucón

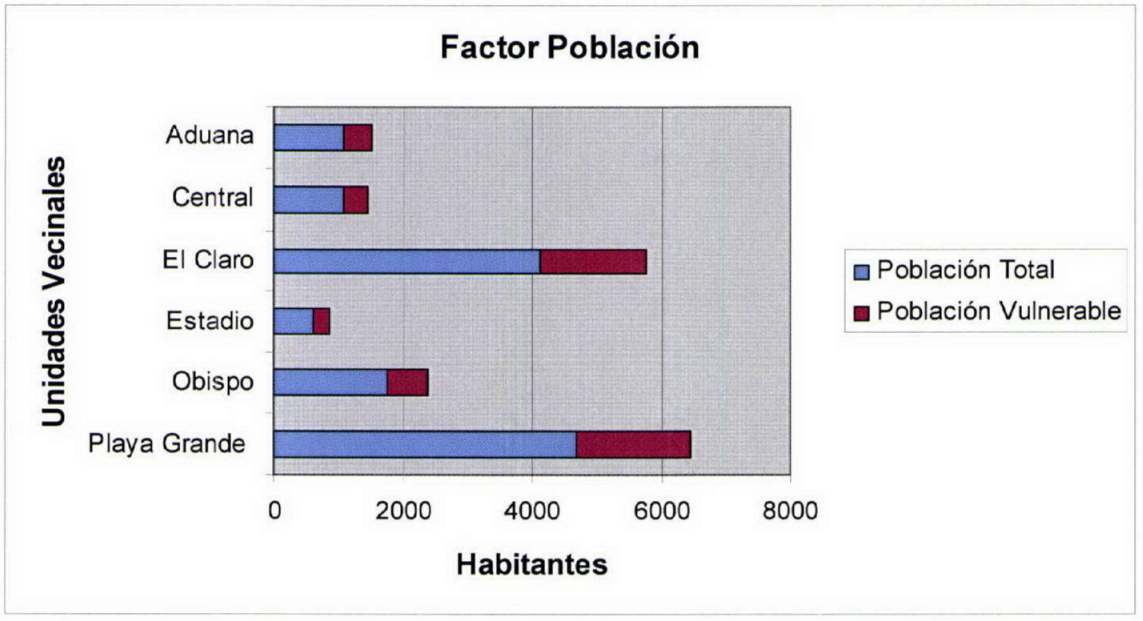
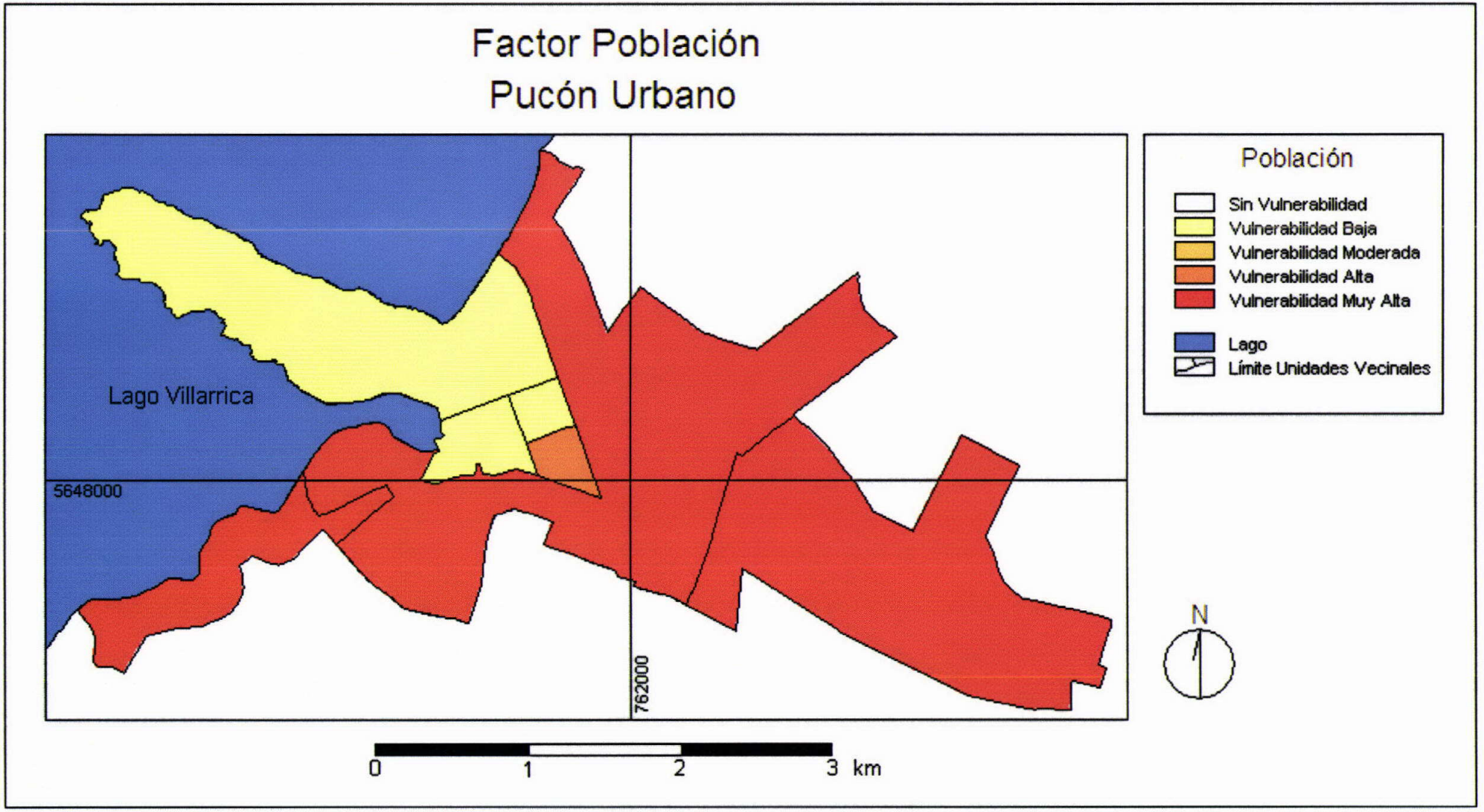


Gráfico 4: Factor Población Área Urbana de Pucón

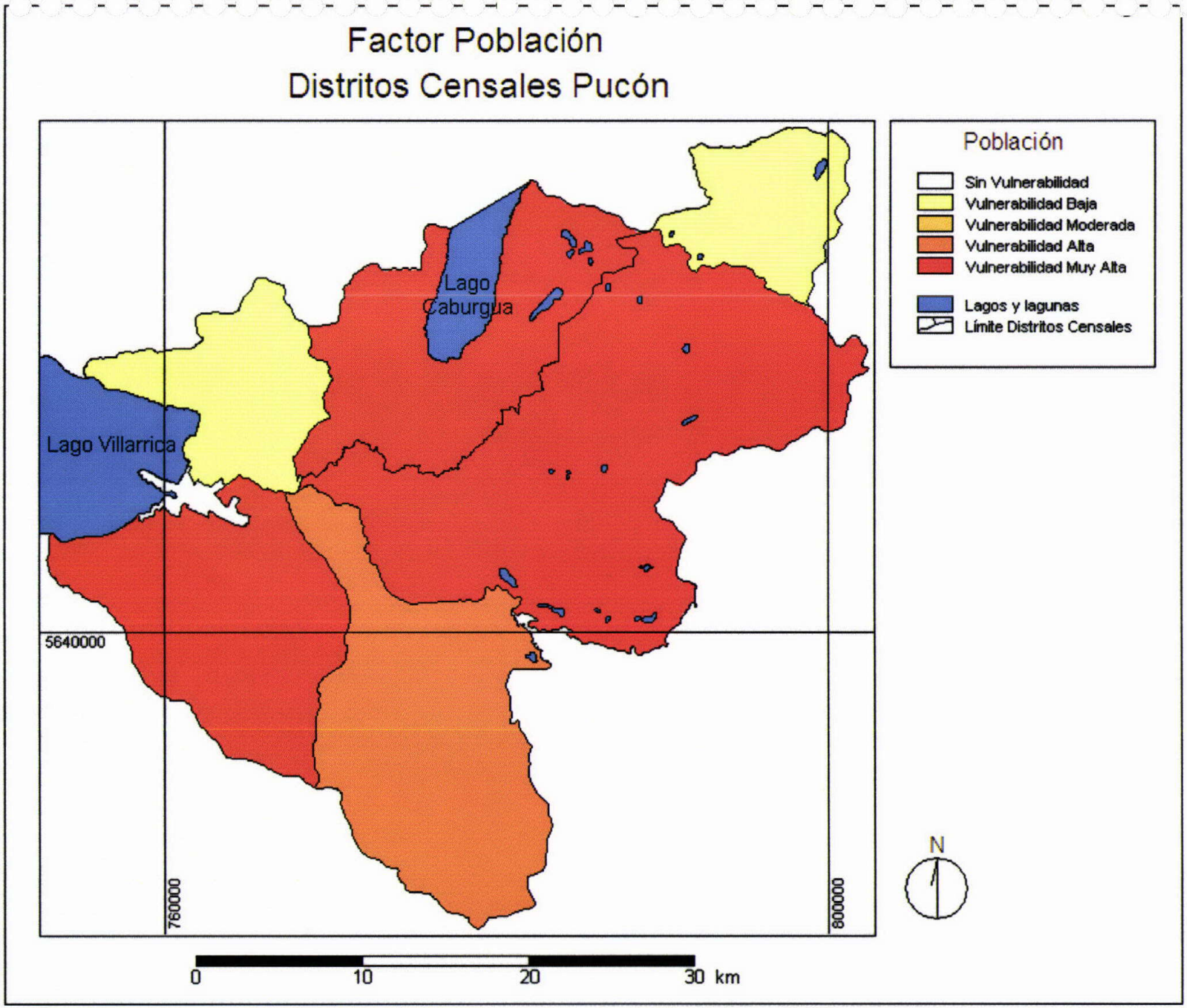
En el área rural de Pucón, los distritos censales con vulnerabilidad muy alta en el factor población son Caburgua, Cementerio y Palguín, los cuales presentan una vulnerabilidad alta en población total y población vulnerable (Mapa 45).

Factor Población		
Distrito Censal	Población Total	Población Vulnerable
La Península	448	180
Cementerio	1662	667
Caburgua	1659	735
Coilaco	2259	967
Palguín	1113	456
Termas de Río Blanco	51	16

Tabla 27: Factor Población Área Rural de Pucón



Mapa 44: Factor Población Pucón Urbano



Mapa 45: Factor Población Pucón Rural

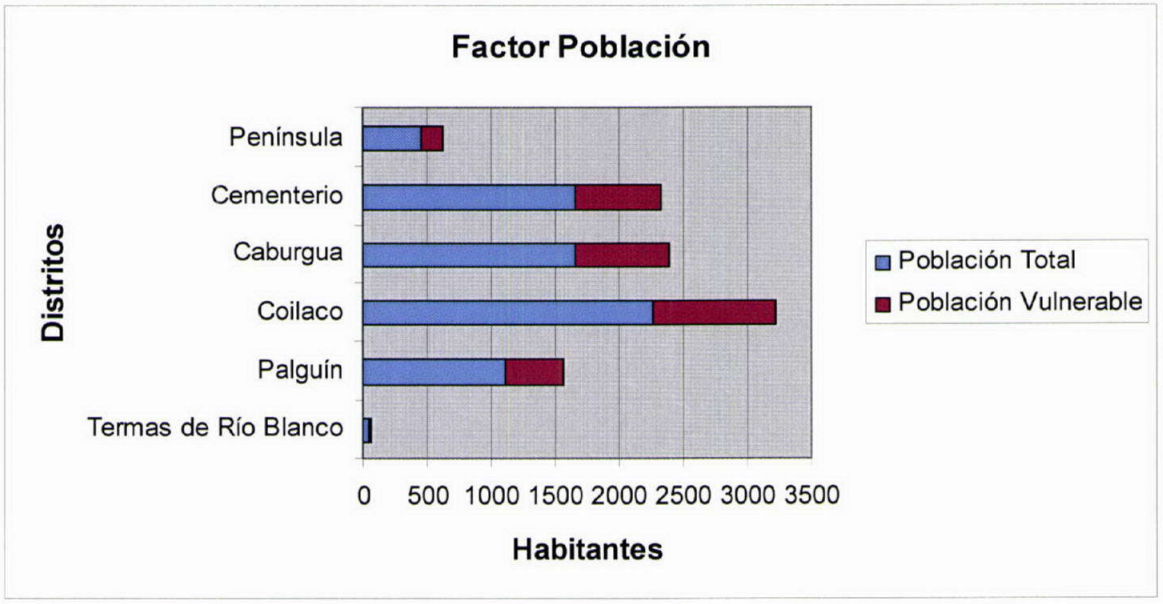


Gráfico 5: Factor Población Área Rural de Pucón

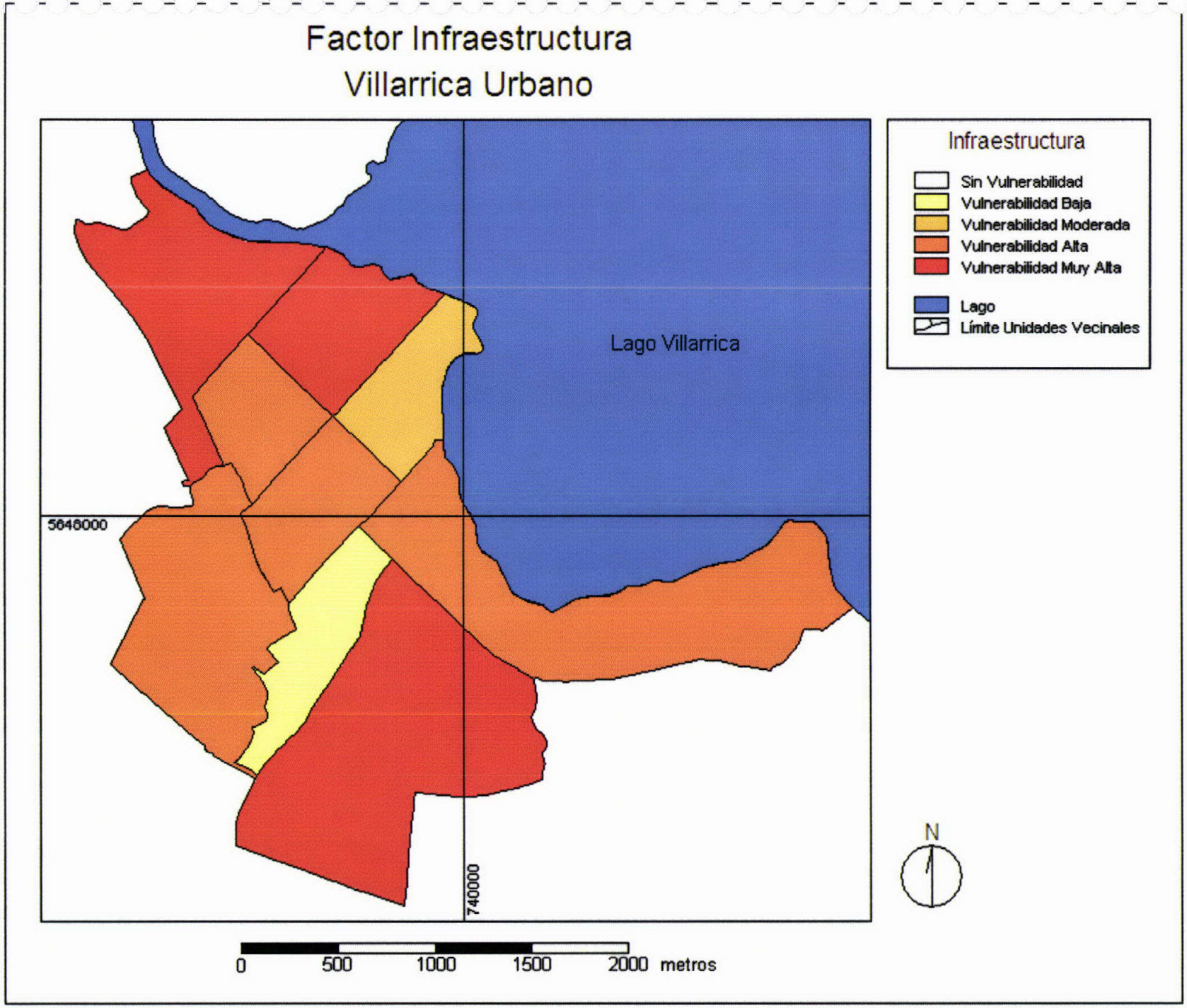
Factor Infraestructura

El factor infraestructura fue generado a partir de las variables vivienda, infraestructura vial, alojamientos, colegios e infraestructura de salud.

En el área urbana de Villarrica, las unidades vecinales que presentan una mayor vulnerabilidad en el factor infraestructura son García Hurtado de Mendoza, José M. Balmaceda y Bernardo O'Higgins. De estas tres unidades, Bernardo O'Higgins es la que cuenta con los mayores valores, principalmente en viviendas,infraestructura vial y colegios (Mapa 46).

Factor Infraestructura					
Unidad Vecinal	Viviendas	Infraestructura Vial (km)	Alojamientos	Colegios	Postas y Hospitales
García Hurtado de Mendoza	1090	8,16	2	4	0
José M. Balmaceda	462	6,44	10	3	1
Pedro de Valdivia	334	4,57	14	0	0
Guido Beck de Ramberga	713	6,57	3	3	0
21 de Mayo	610	6,60	7	1	0
Diego de Almagro	621	6,60	3	2	0
Vista Hermosa	1768	11,80	1	1	0
San Francisco de Asís	459	4,11	0	1	0
Bernardo O'Higgins	2215	18,48	1	4	0

Tabla 28: Factor Infraestructura Área Urbana de Villarrica



Mapa 46: Factor Infraestructura Villarrica Urbano

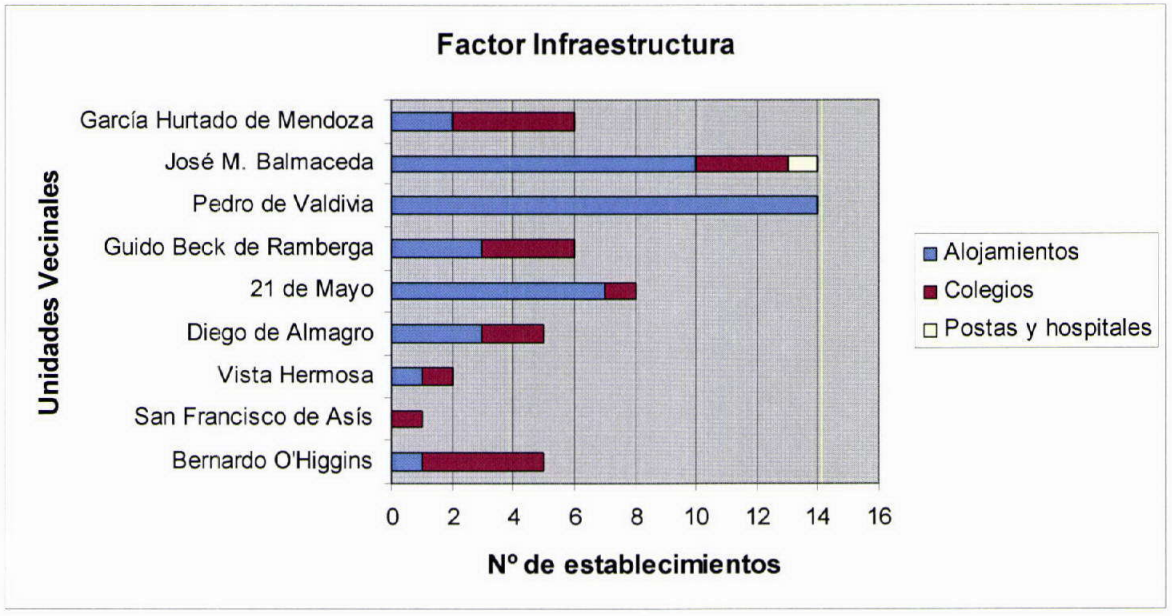


Gráfico 6: Factor Infraestructura Área Urbana de Villarrica

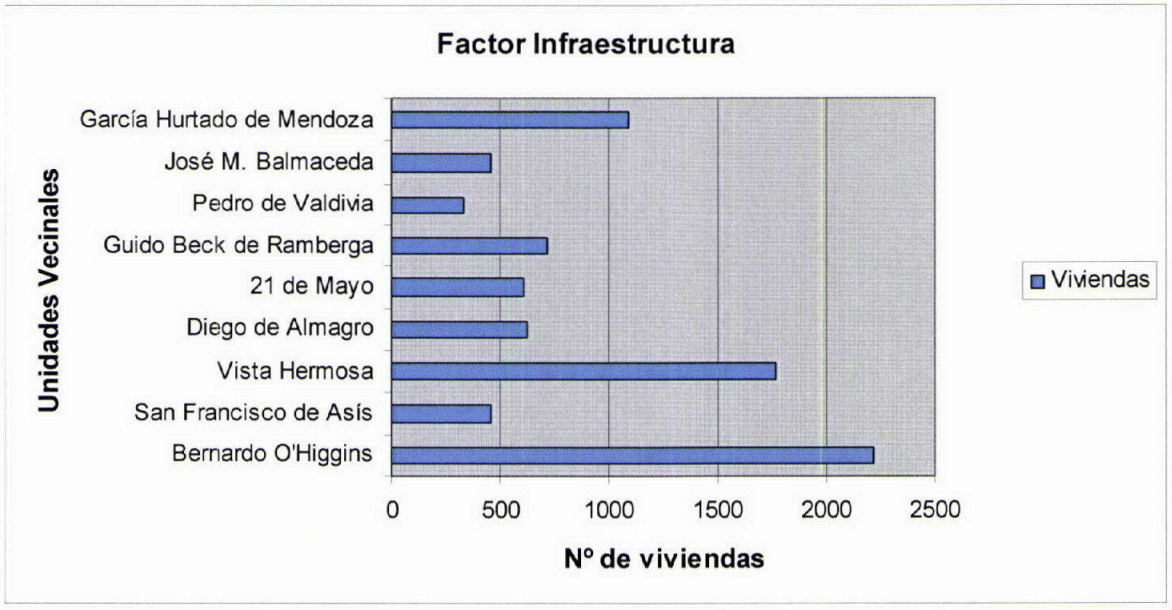


Gráfico 7: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Villarrica

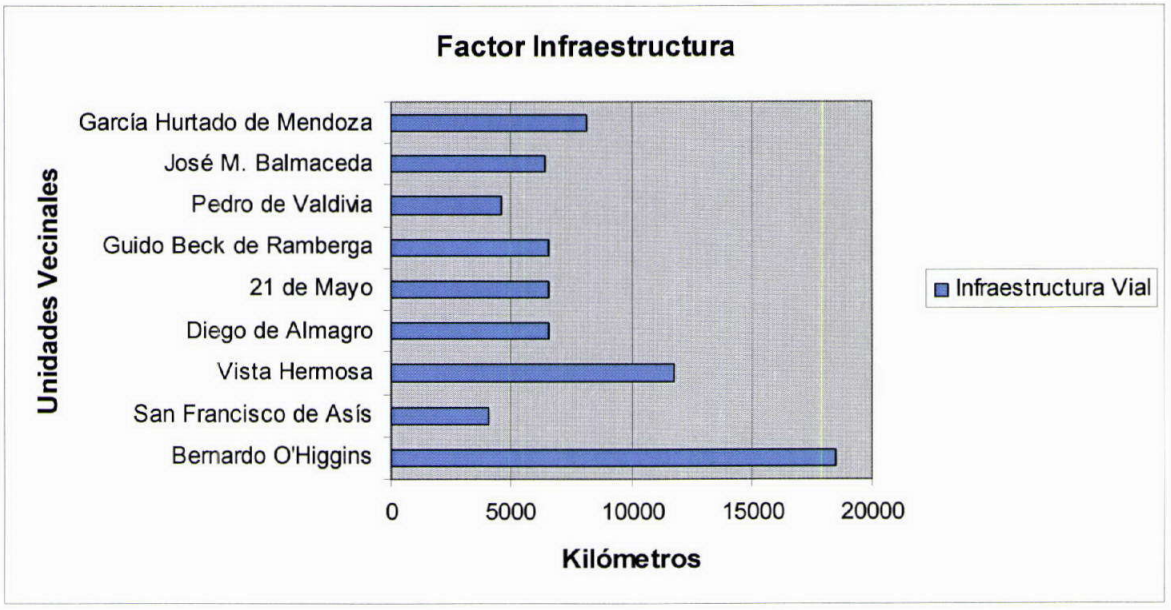


Gráfico 8: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Villarrica

En el área urbana de Lican Ray, el distrito censal que cuenta con mayor infraestructura, y por lo tanto, es más vulnerable, es Lican Ray, que presenta los valores más altos de viviendas e infraestructura vial (Mapa 47).

Factor Infraestructura					
Distrito Censal	Viviendas	Infraestructura Vial (km)	Alojamientos	Colegios	Postas y hospitales
Lican Ray	1404	18,76	8	2	0
Chesque	689	7,53	11	2	0

Tabla 29: Factor Infraestructura Área Urbana de Lican Ray

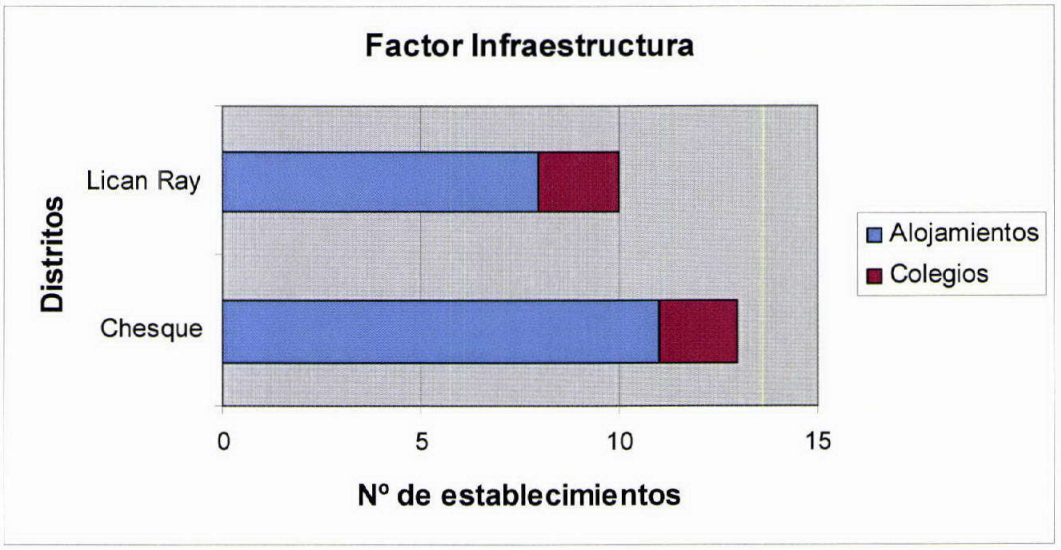
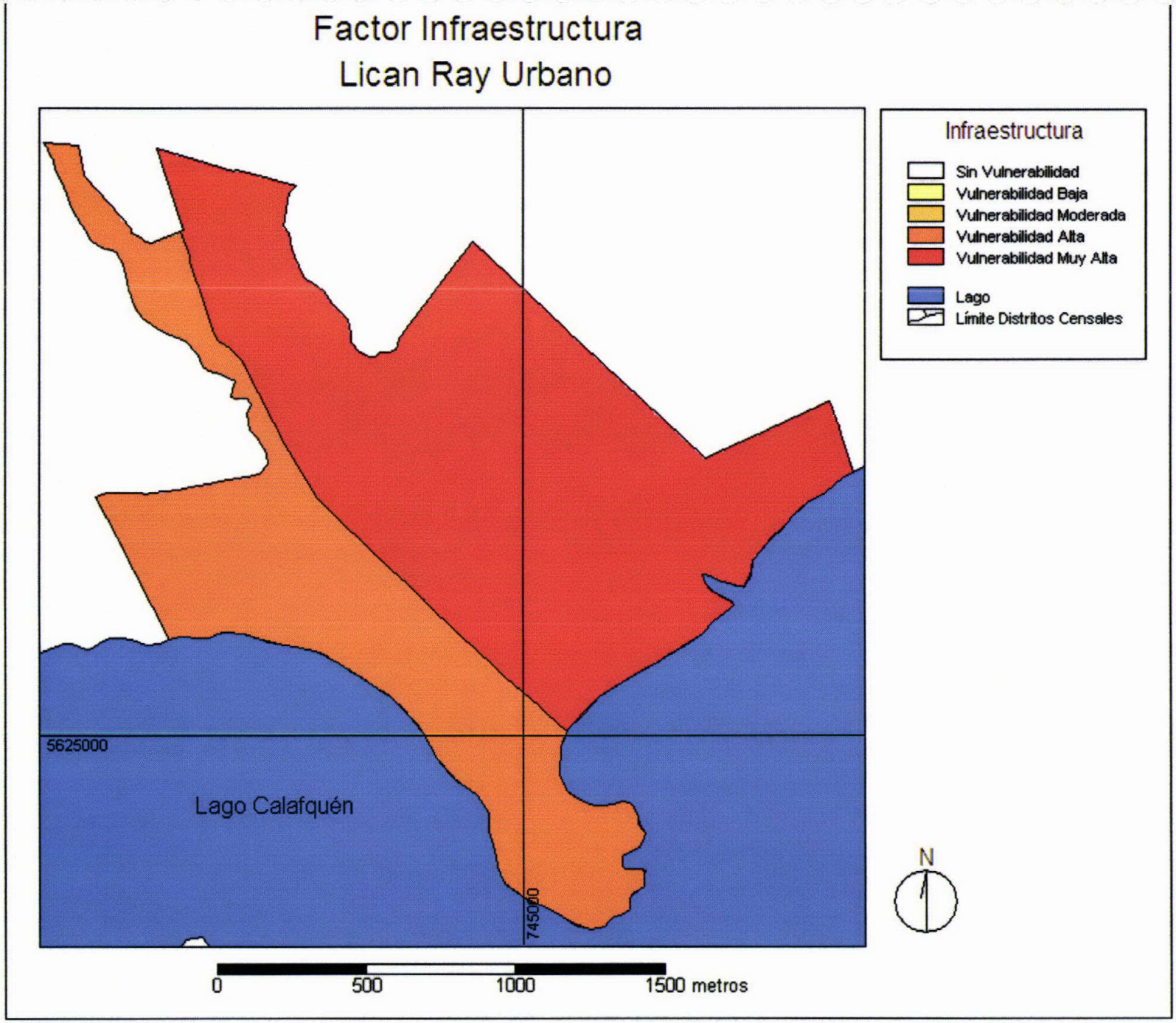


Gráfico 9: Factor Infraestructura Área Urbana de Lican Ray



Mapa 47: Factor Infraestructura Lican Ray Urbano

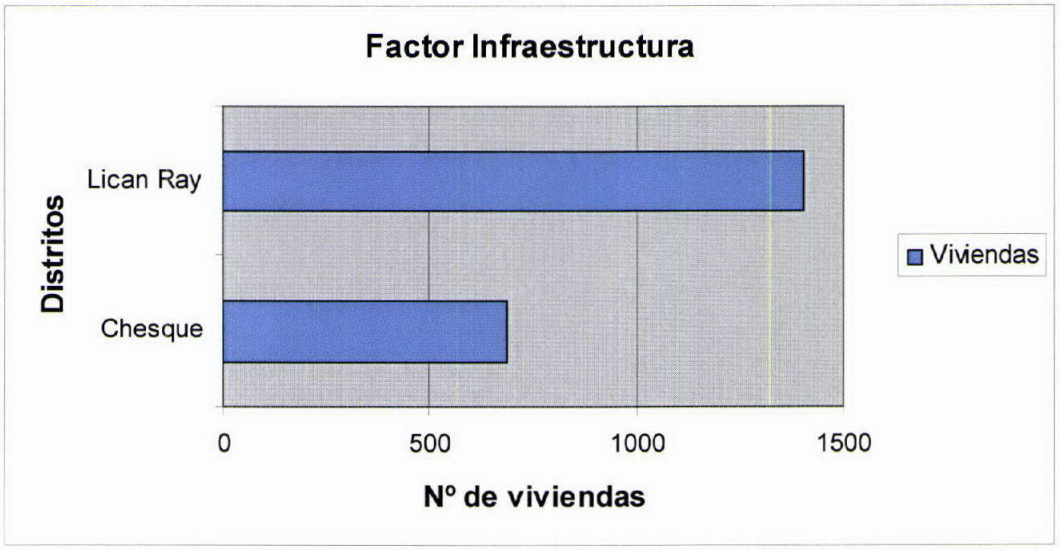


Gráfico 10: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Lican Ray

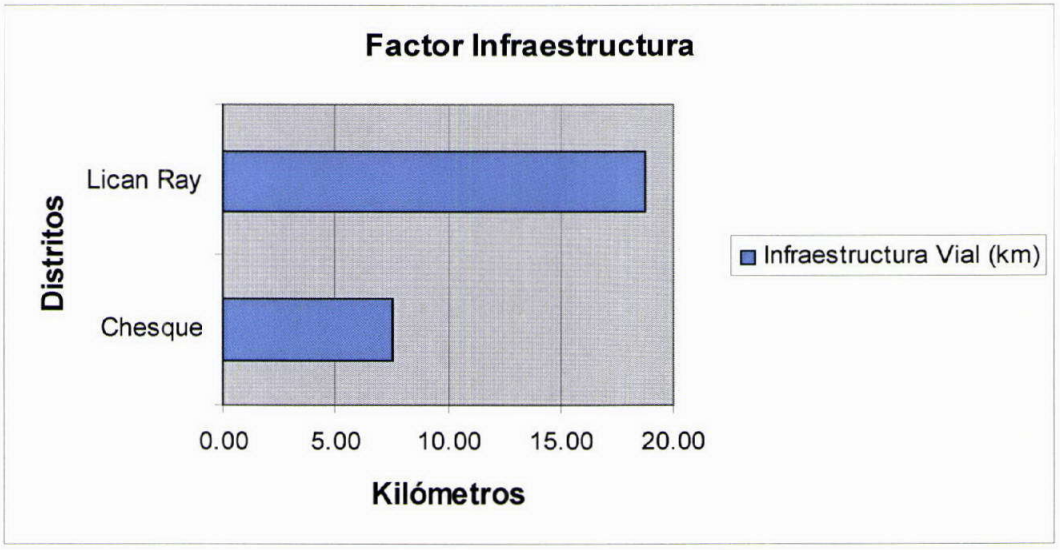
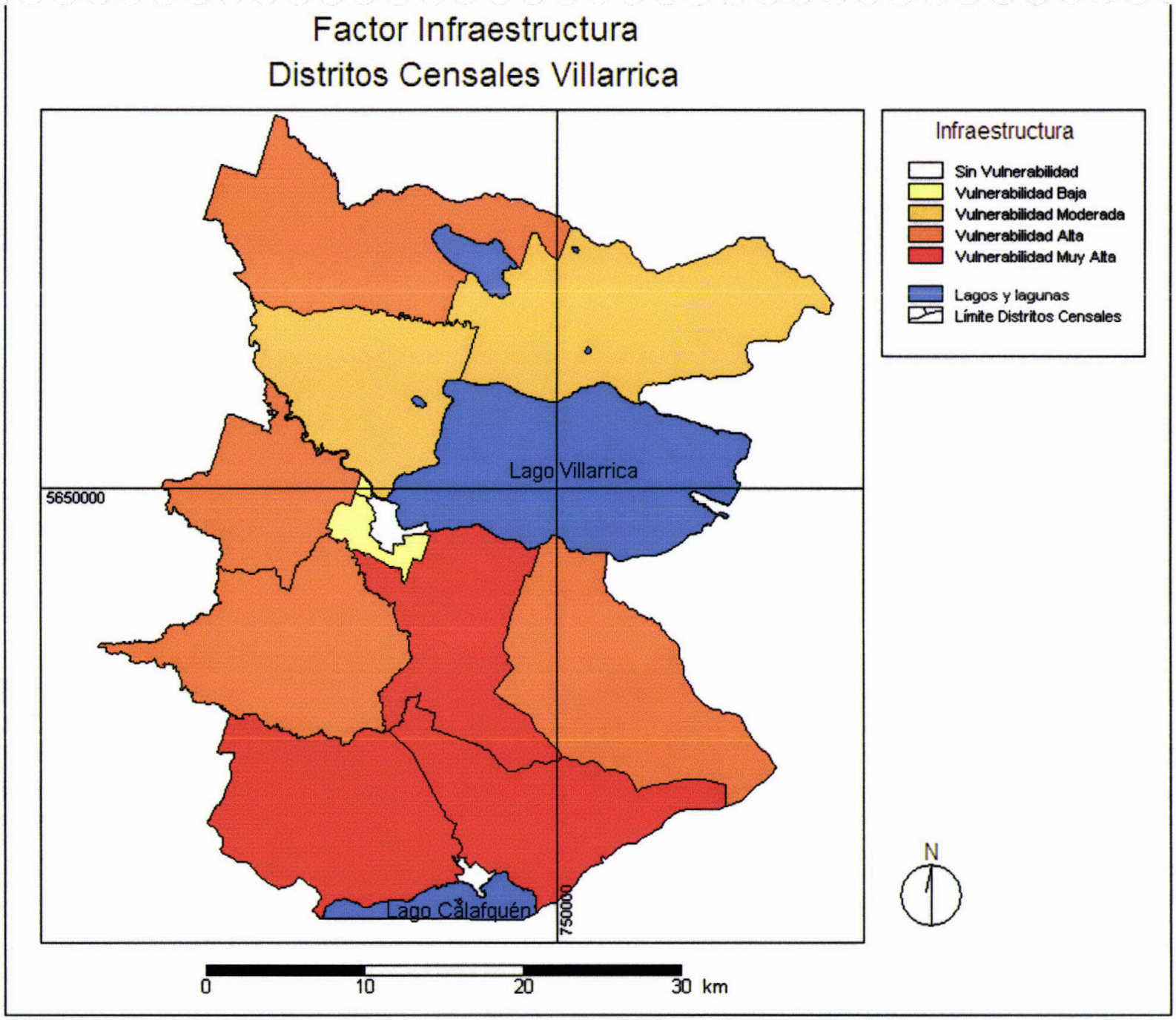


Gráfico 11: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Lican Ray

En los distritos censales del área rural de Villarrica, los distritos que presentan una mayor vulnerabilidad en el factor infraestructura son Chesque, Conquil y Lican Ray. Conquil tiene el valor más alto de viviendas, mientras que Lican Ray cuenta con el mayor número de alojamientos y Chesque tiene valores altos en infraestructura vial, y alojamientos (Mapa 48).



Mapa 48: Factor Infraestructura Villarrica Rural

Factor Infraestructura					
Distrito Censal	Viviendas	Infraestructura Vial (km)	Alojamientos	Colegios	Postas y hospitales
Plaza	1	0,95	0	0	0
Estación	54	3,97	0	0	0
Loncotraro	1049	51,85	11	3	0
Conquil	1305	49,99	7	6	1
Lican Ray	593	43,20	12	6	1
Chesque	804	71,56	12	0	2
Relun	710	82,10	0	10	1
Voipir	509	60,82	0	4	1
Pedregoso	596	50,96	2	2	0
Huilipilún Poniente	352	52,91	2	3	2
Huilipilún Oriente	237	37,83	0	2	0

Tabla 30: Factor Infraestructura Área Rural de Villarrica

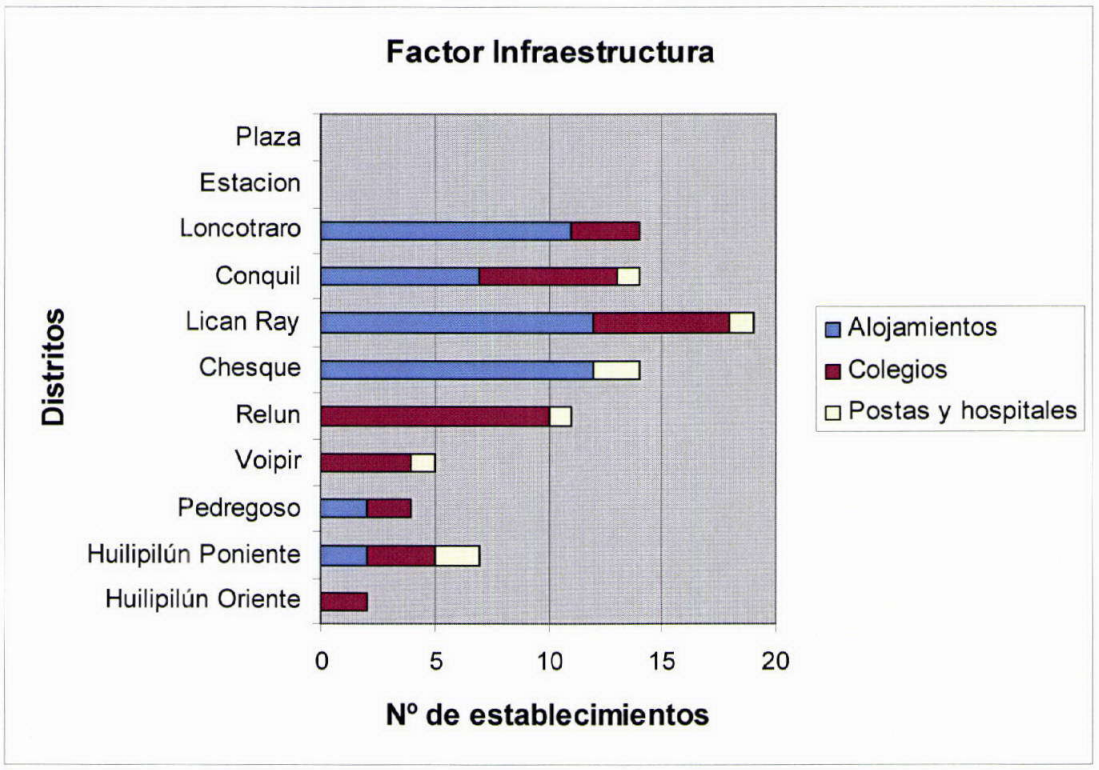


Gráfico 12: Factor Infraestructura Área Rural de Villarrica

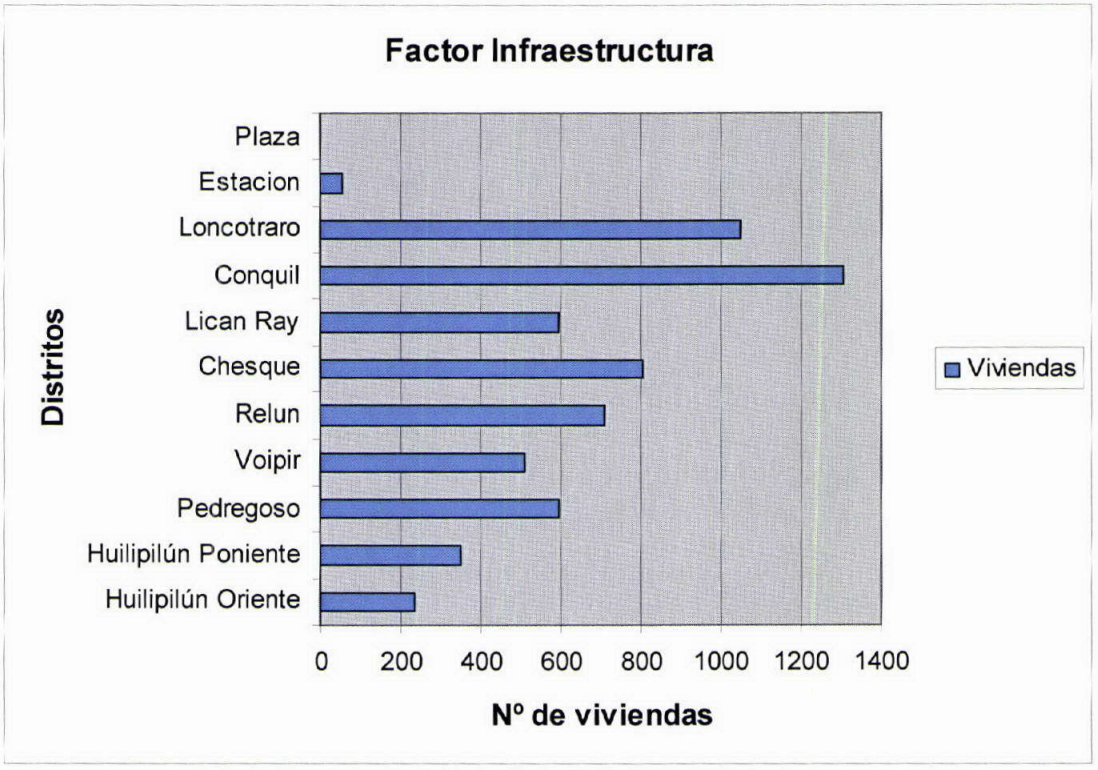


Gráfico 13: Factor Infraestructura – Viviendas Área Rural de Villarrica

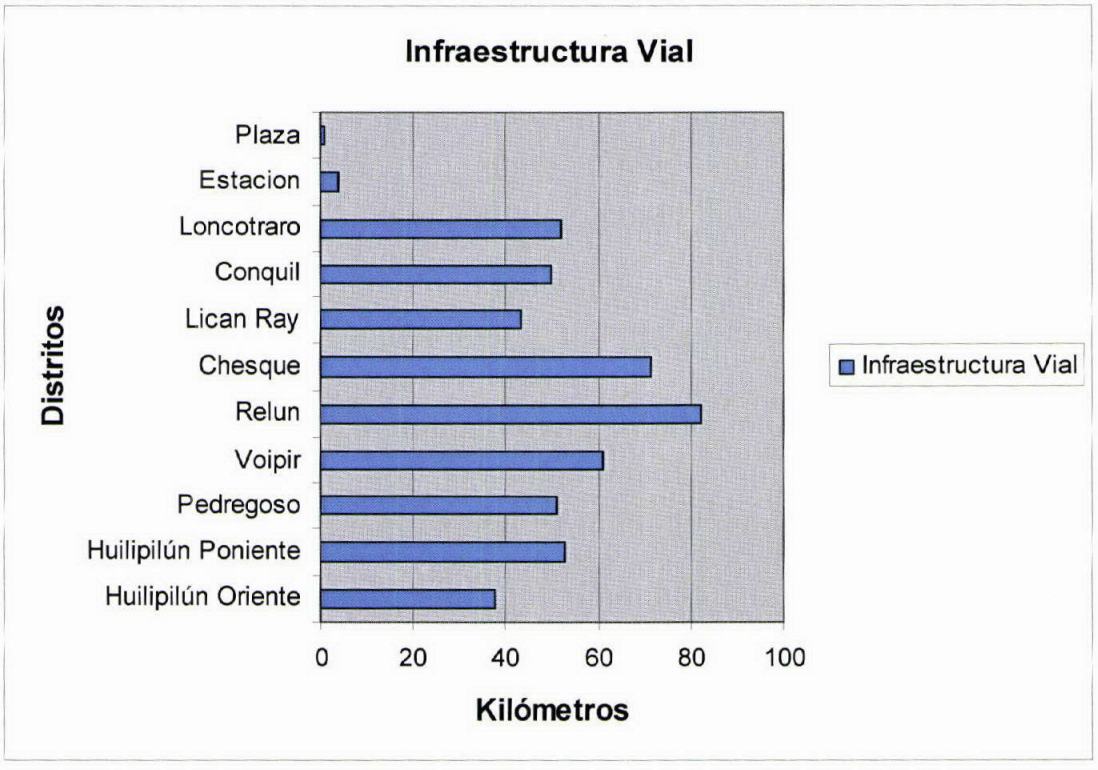


Gráfico 14: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Rural de Villarrica

En el área urbana de Pucón, la unidad vecinal con mayor vulnerabilidad en el factor infraestructura es Playa Grande, con los mayores valores en colegios y postas y hospitales, además de tener valores considerablemente altos (aunque no los mayores) en las otras tres variables (Mapa 49).

Factor Infraestructura					
Unidades Vecinales	Viviendas	Infraestructura Vial (km)	Alojamientos	Colegios	Postas y hospitales
Aduana	291	4.32	1	0	0
Central	873	13,08	27	1	0
El Claro	1760	29,43	11	0	0
Estadio	233	1,76	3	0	0
Obispo	474	3,77	3	0	0
Playa Grande	1706	32,50	18	5	1

Tabla 31: Factor Infraestructura Área Urbana de Pucón

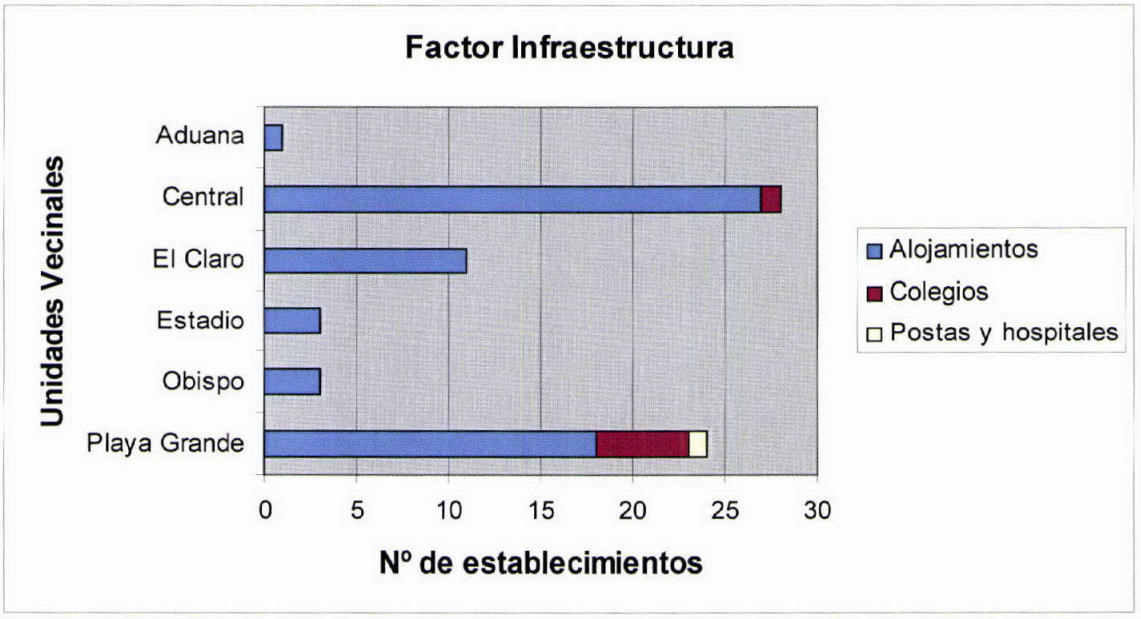
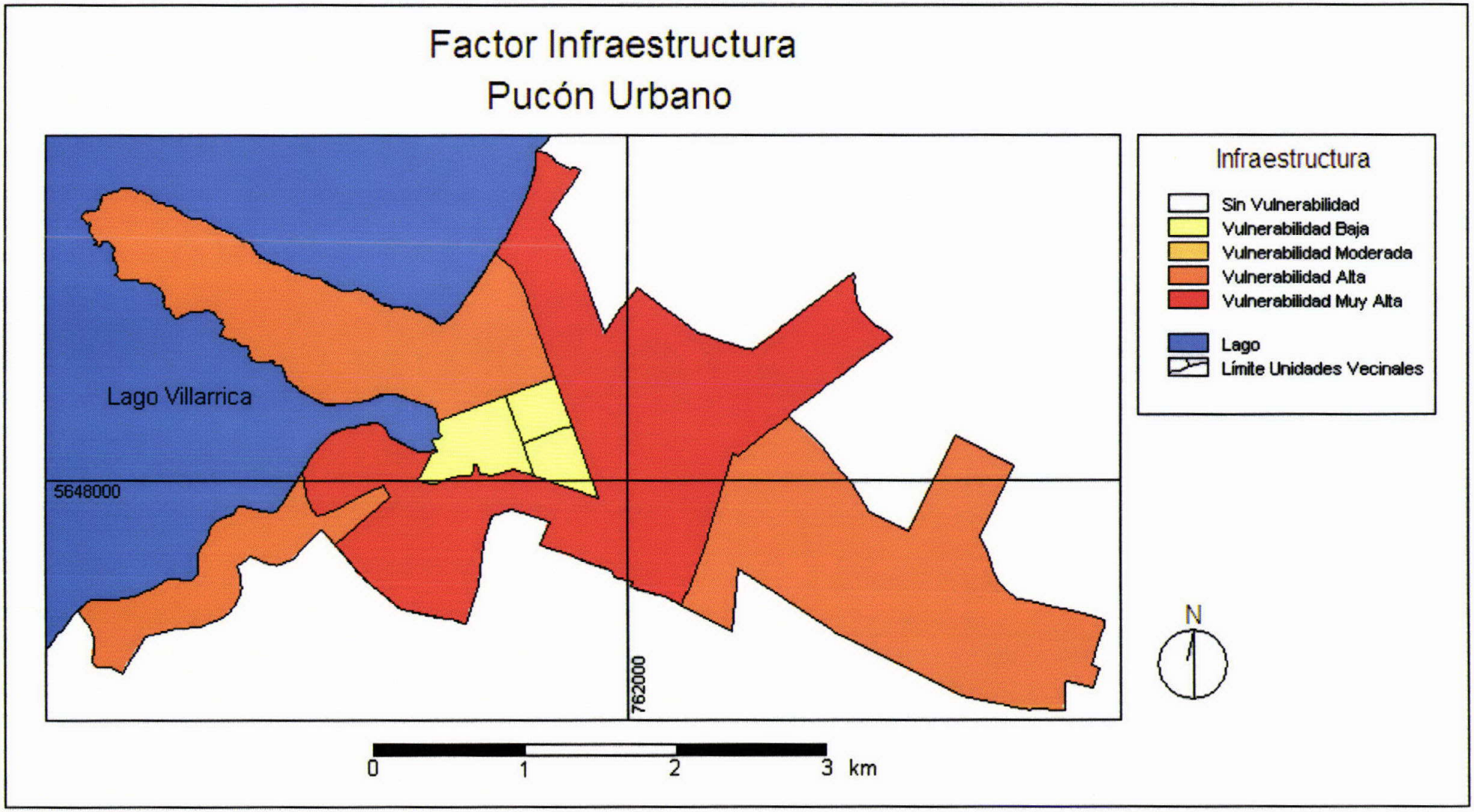


Gráfico 15: Factor Infraestructura Área Urbana de Pucón



Mapa 49: Factor Infraestructura Pucón Urbano

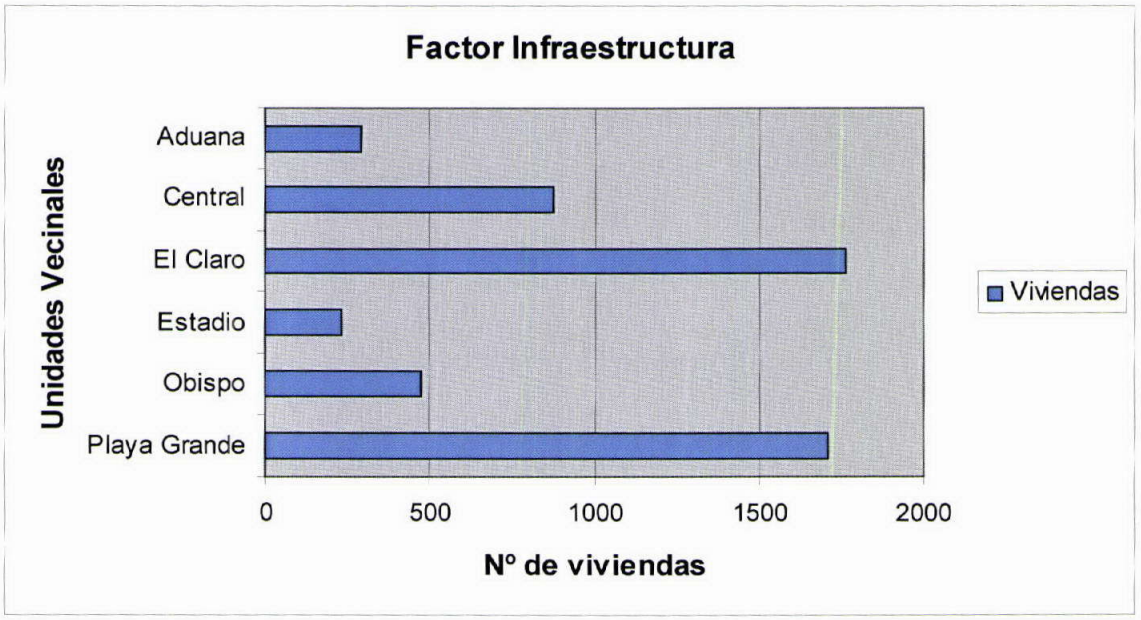


Gráfico 16: Factor Infraestructura – Viviendas Área Urbana de Pucón

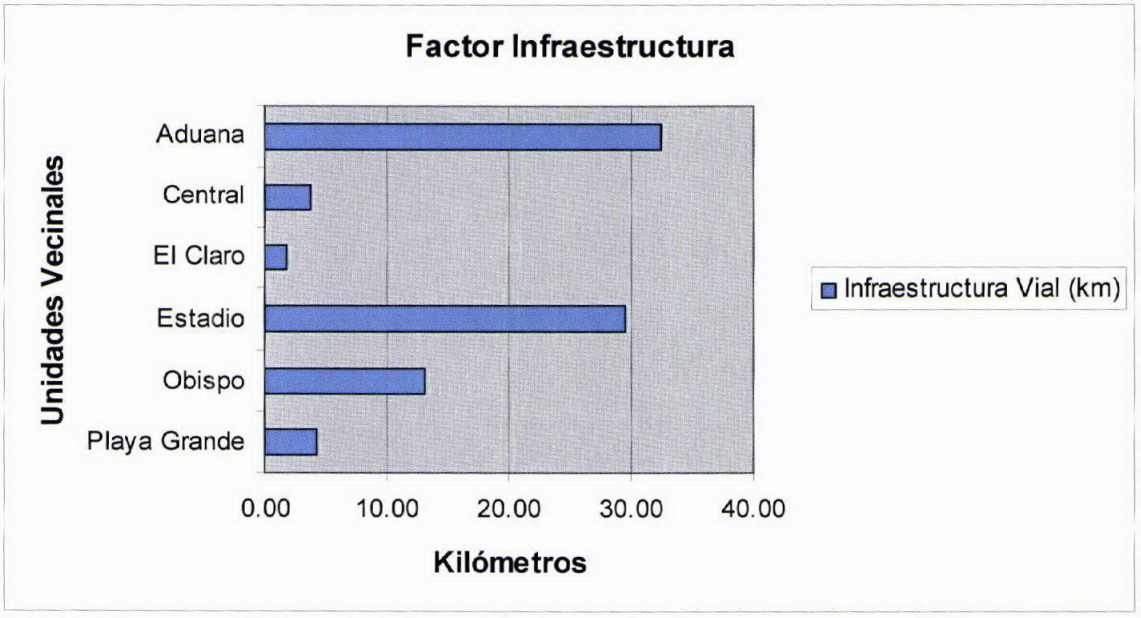
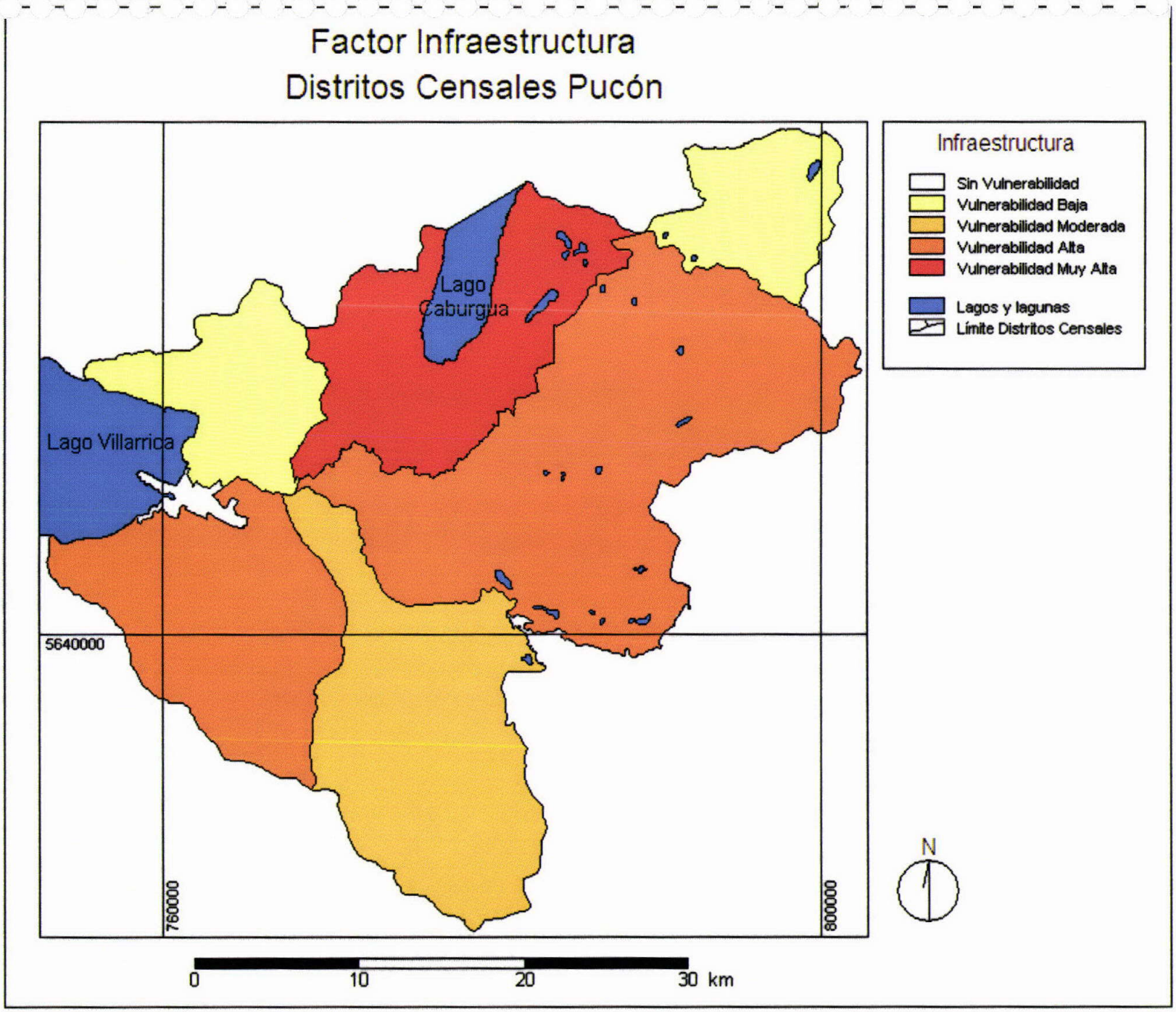


Gráfico 17: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Urbana de Pucón

En el área rural de Pucón el distrito censal con mayor vulnerabilidad en infraestructura es Caburgua, que presenta el valor más alto en infraestructura vial, y concentra la totalidad de postas y hospitales del área rural de la comuna de Pucón (Mapa 50).



Mapa 50: Factor Infraestructura Pucón Rural

Factor Infraestructura					
Distrito Censal	Viviendas	Infraestructura Vial	Alojamientos	Colegios	Postas y hospitales
La Península	170	0,22	4	1	0
Cementerio	1063	63,40	22	3	0
Caburgua	1512	75,87	38	5	2
Coilaco	938	114,23	10	12	0
Palguín	350	61,98	6	3	0
Termas de Río Blanco	23	0,27	2	0	0

Tabla 32: Factor Infraestructura Área Rural de Pucón

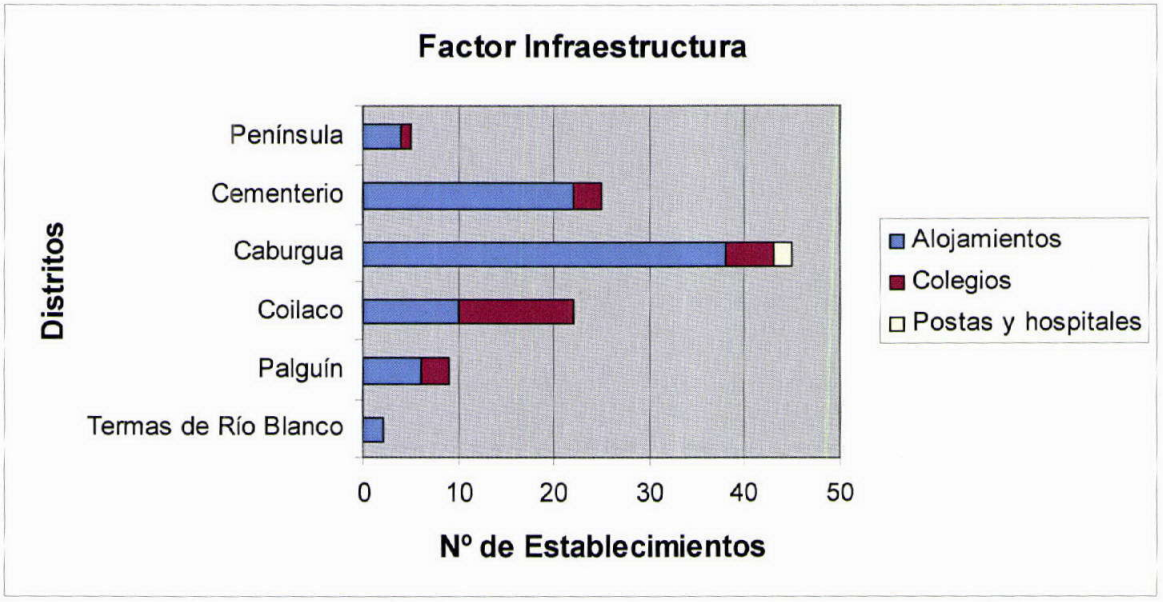


Gráfico 18: Factor Infraestructura Área Rural de Pucón

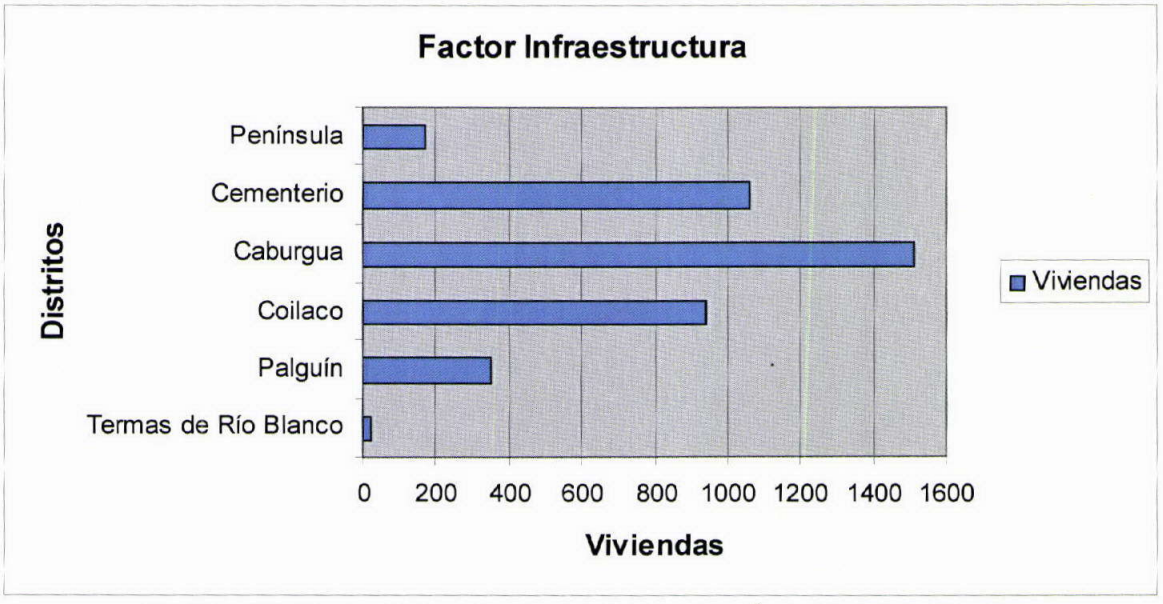


Gráfico 19: Factor Infraestructura – Viviendas Área Rural de Pucón

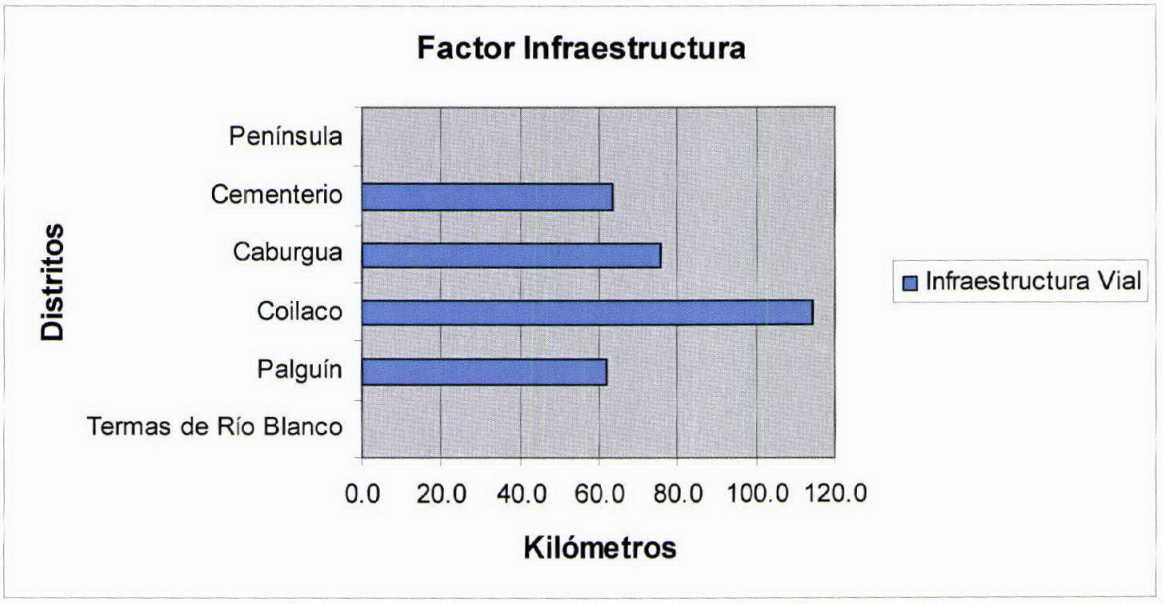


Gráfico 20: Factor Infraestructura – Infraestructura Vial Área Rural de Pucón

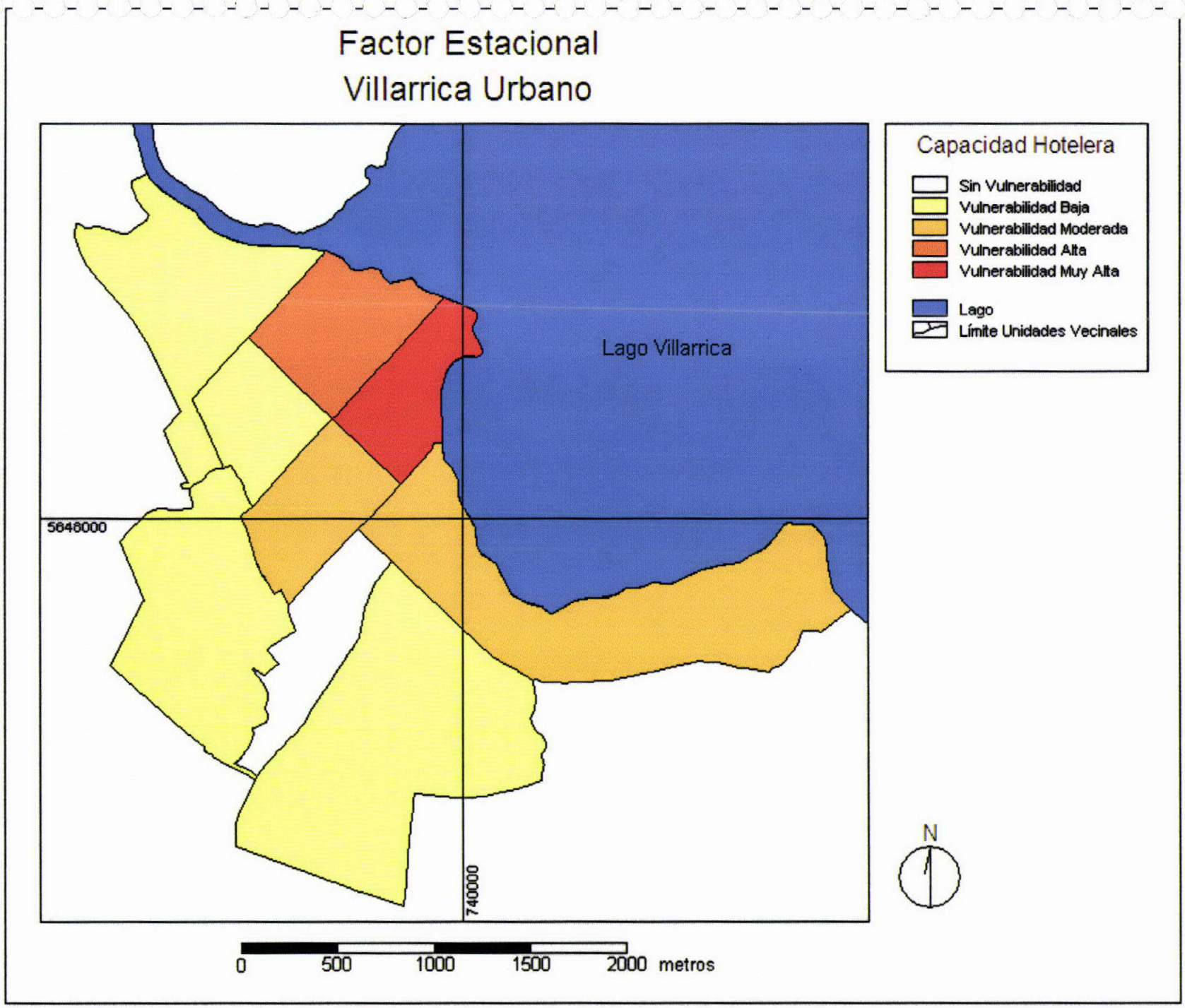
Factores Estacionales

Se consideraron además dos variables denominadas Factores Estacionales, debido a que condicionan las características de la población de acuerdo a las diferentes estaciones del año. El Factor Capacidad Hotelera corresponde al escenario que podría producirse en verano, de acuerdo a la disponibilidad de cabañas, hoteles, hostales, campings, etc., presentes en cada unidad de estudio y que atraen a un gran número de turistas El Factor Alumnos y Docentes hace referencia a la concentración de población que constituyen los colegios durante el año escolar, es decir, de marzo a diciembre.

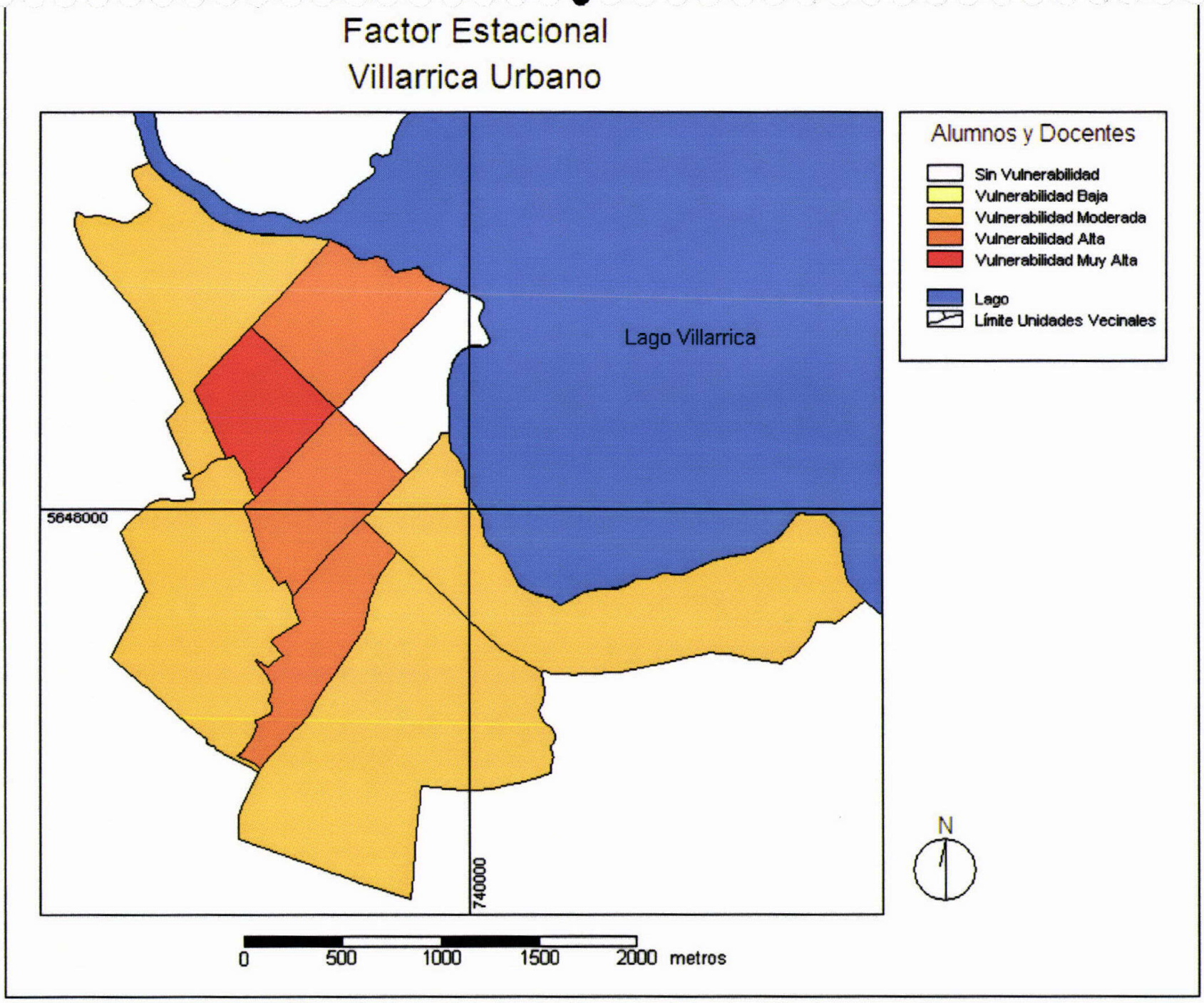
En el área urbana de Villarrica la unidad vecinal que presenta la mayor capacidad hotelera es Pedro de Valdivia, por lo que presenta la mayor vulnerabilidad en este factor (Mapa 51). En cambio, en cuanto al número de alumnos y docentes, la unidad con mayor vulnerabilidad es Guido Beck de Ramberga (Mapa 52). Es necesario destacar, que el mayor valor de alumnos y docentes es bastante más alto que el de capacidad hotelera, por lo que al comparar ambos escenarios, el de invierno tendría mayor vulnerabilidad.

Factores Estacionales		
Unidad Vecinal	Capacidad Hotelera	Alumnos y Docentes
García Hurtado de Mendoza	82	943
José M. Balmaceda	227	1314
Pedro de Valdivia	329	0
Guido Beck de Ramberga	72	2209
21 de Mayo	160	1307
Diego de Almagro	126	676
Vista Hermosa	24	894
San Francisco de Asís	0	1223
Bernardo O'Higgins	54	1066

Tabla 33: Factores Estacionales Área Urbana de Villarrica



Mapa 51: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Villarrica Urbano



Mapa 52: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Villarrica Urbano

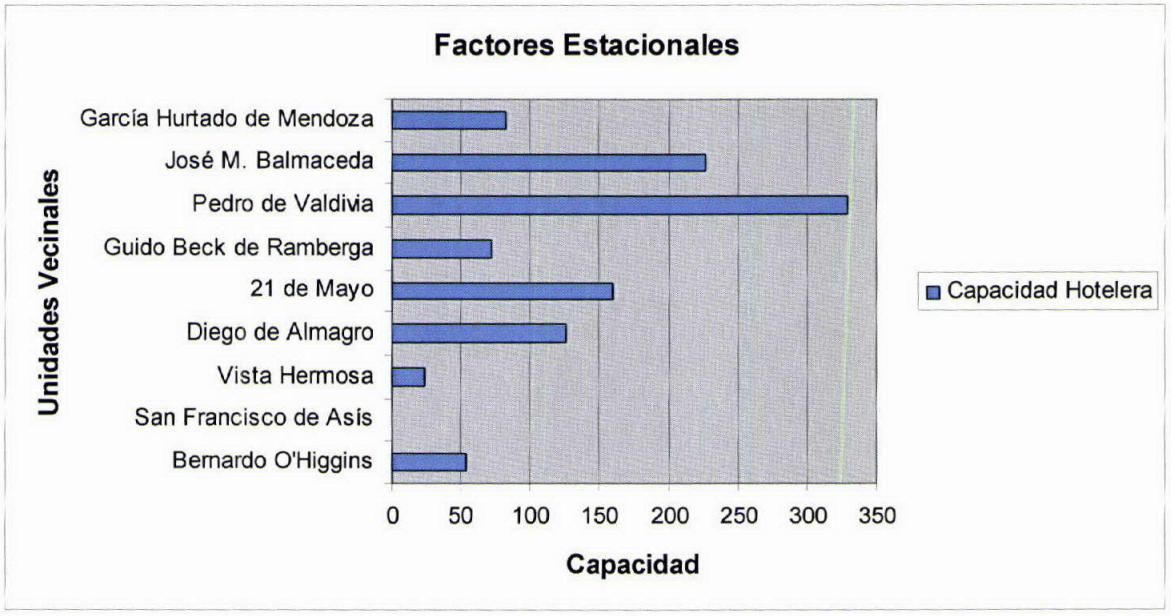


Gráfico 21: Factores Estacionales - Capacidad Hotelera Área Urbana de Villarrica

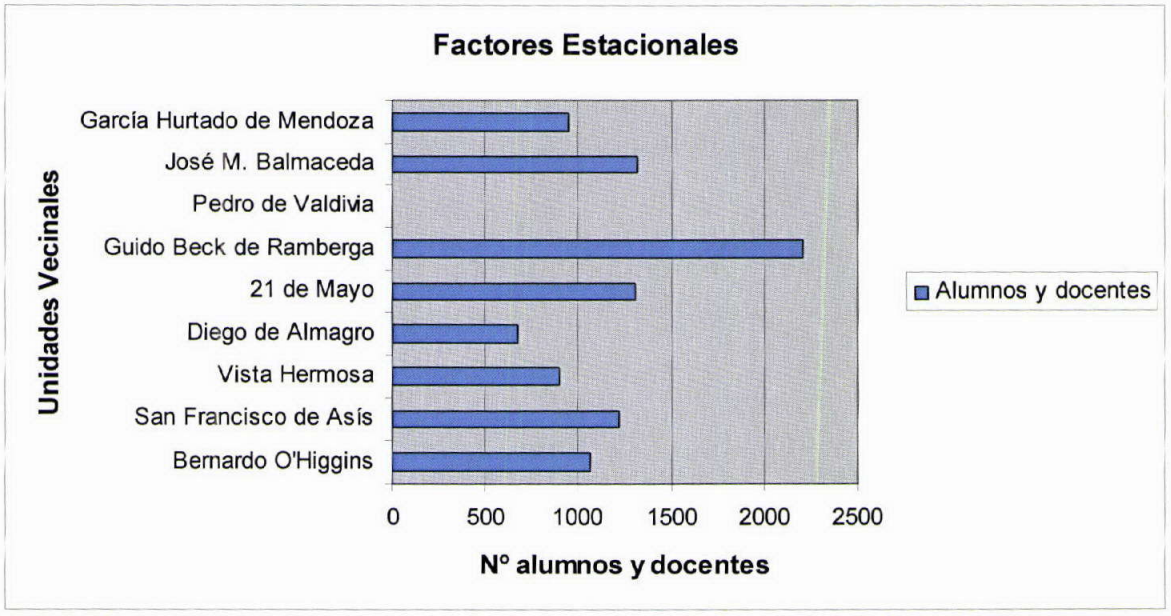
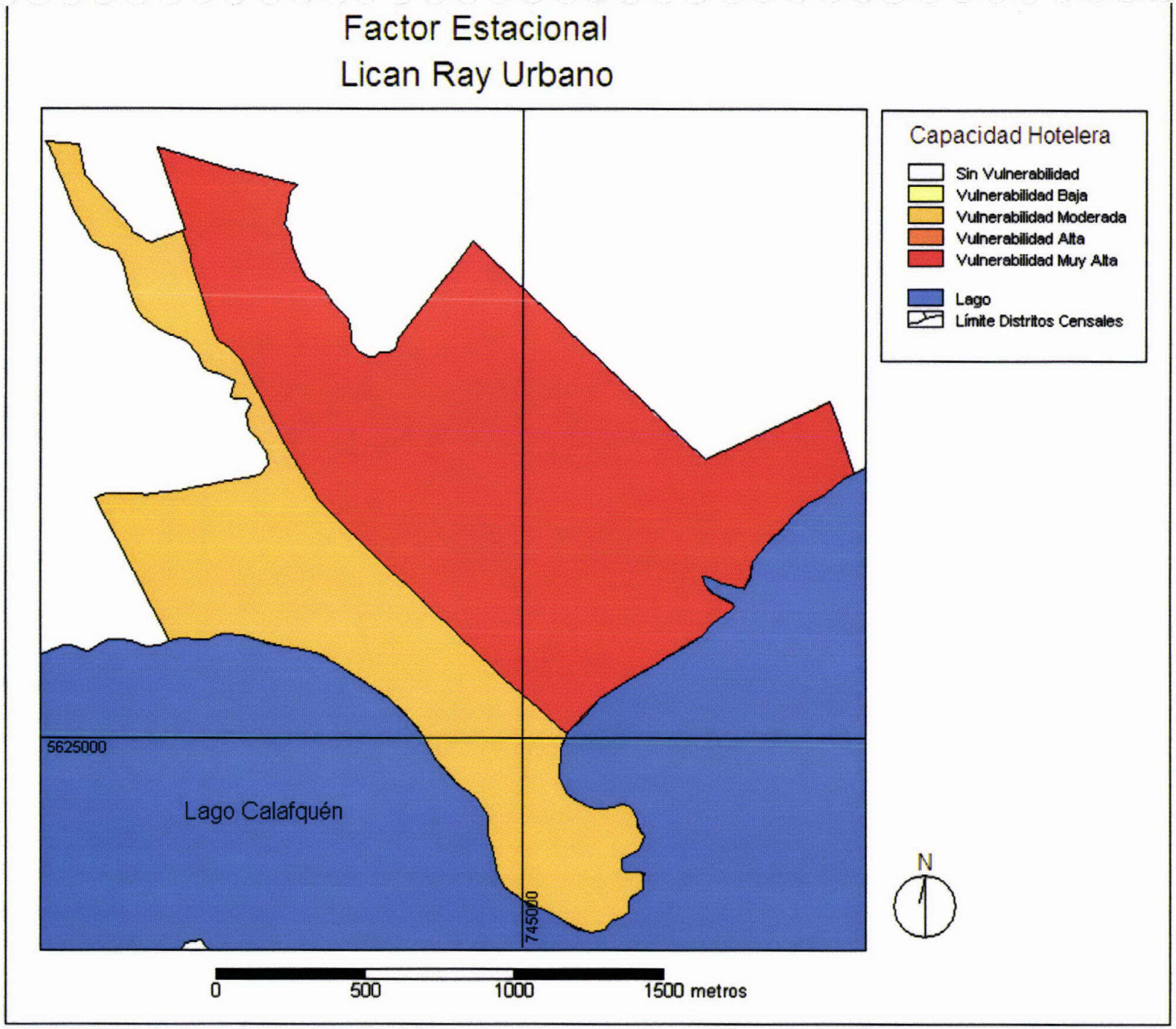
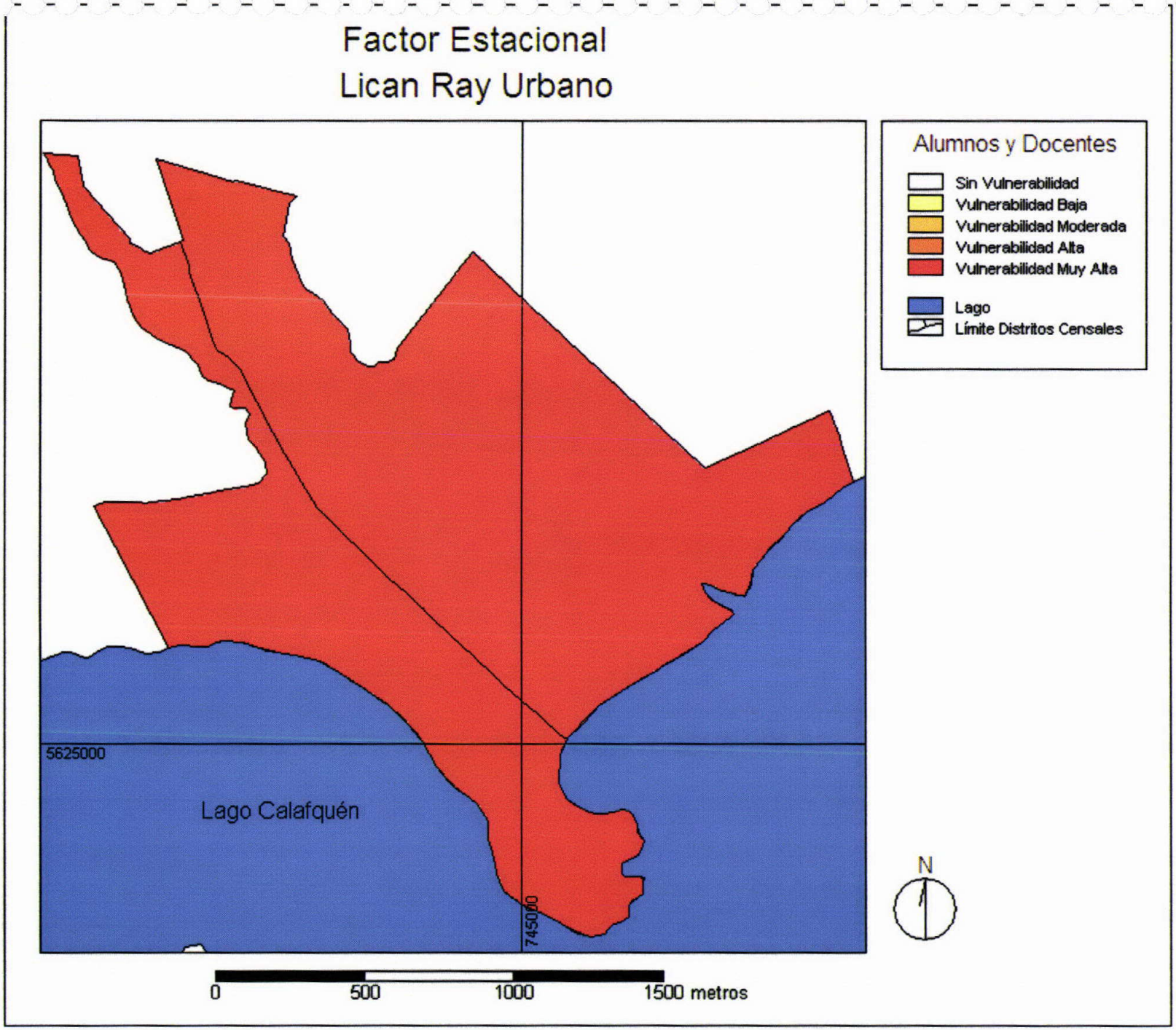


Gráfico 22: Factores Estacionales – Alumnos y Docentes Área Urbana de Villarrica

En el caso de los distritos censales de Lican Ray urbano, la mayor capacidad hotelera la presenta Lican Ray (Mapa 53). En cuanto al número de alumnos y docentes, ambos distritos presentan valores muy similares, por lo que ambas tienen una vulnerabilidad muy alta, sin embargo, en Chesque es ligeramente mayor (Mapa 54).



Mapa 53: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Lican Ray Urbano



Mapa 54: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Lican Ray Urbano

Factores Estacionales		
Distrito Censal	Capacidad Hotelera	Alumnos y docentes
Lican Ray	616	570
Chesque	297	611

Tabla 34: Factores Estacionales Área Urbana de Lican Ray

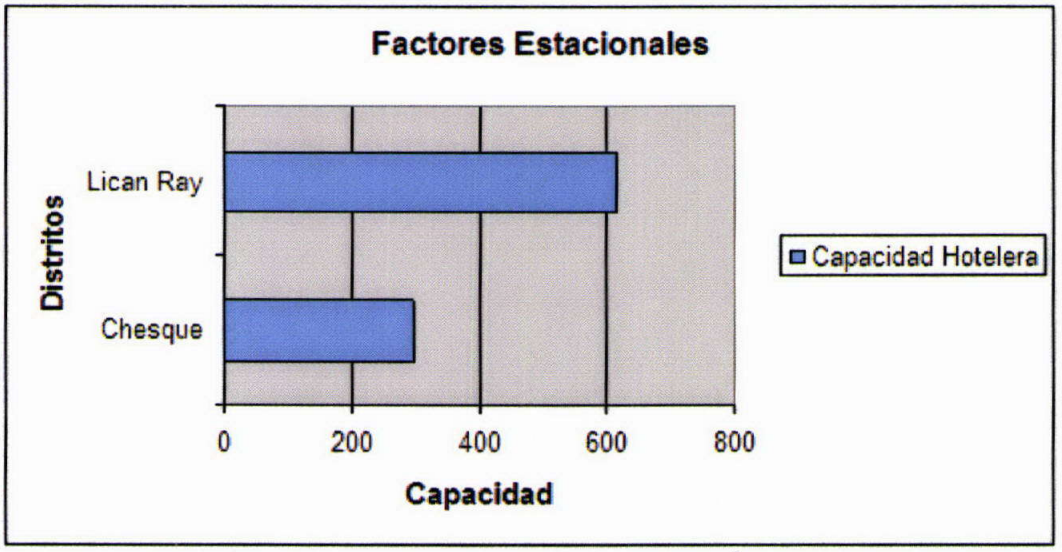


Gráfico 23: Factores Estacionales – Capacidad Hotelera Área Urbana de Lican Ray

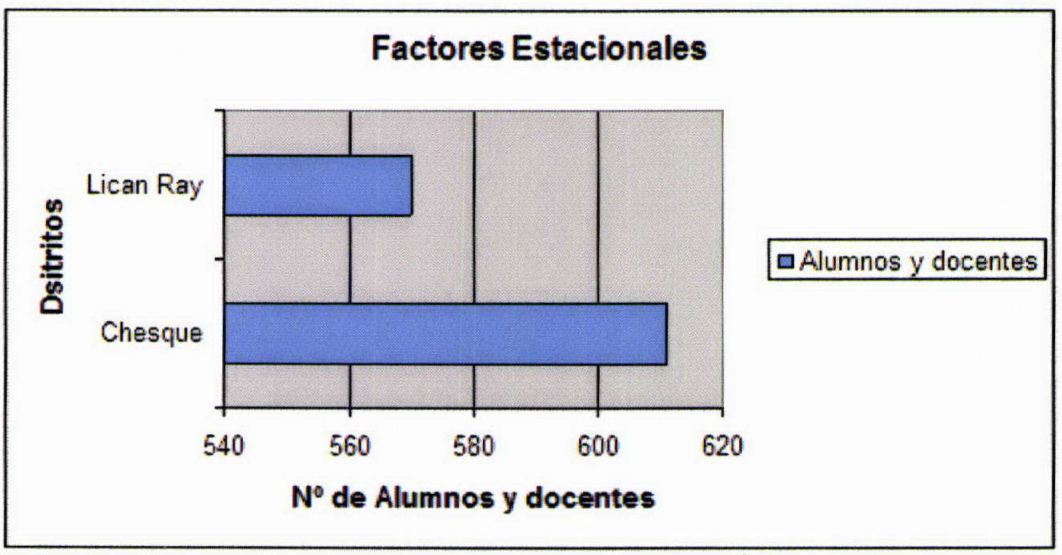
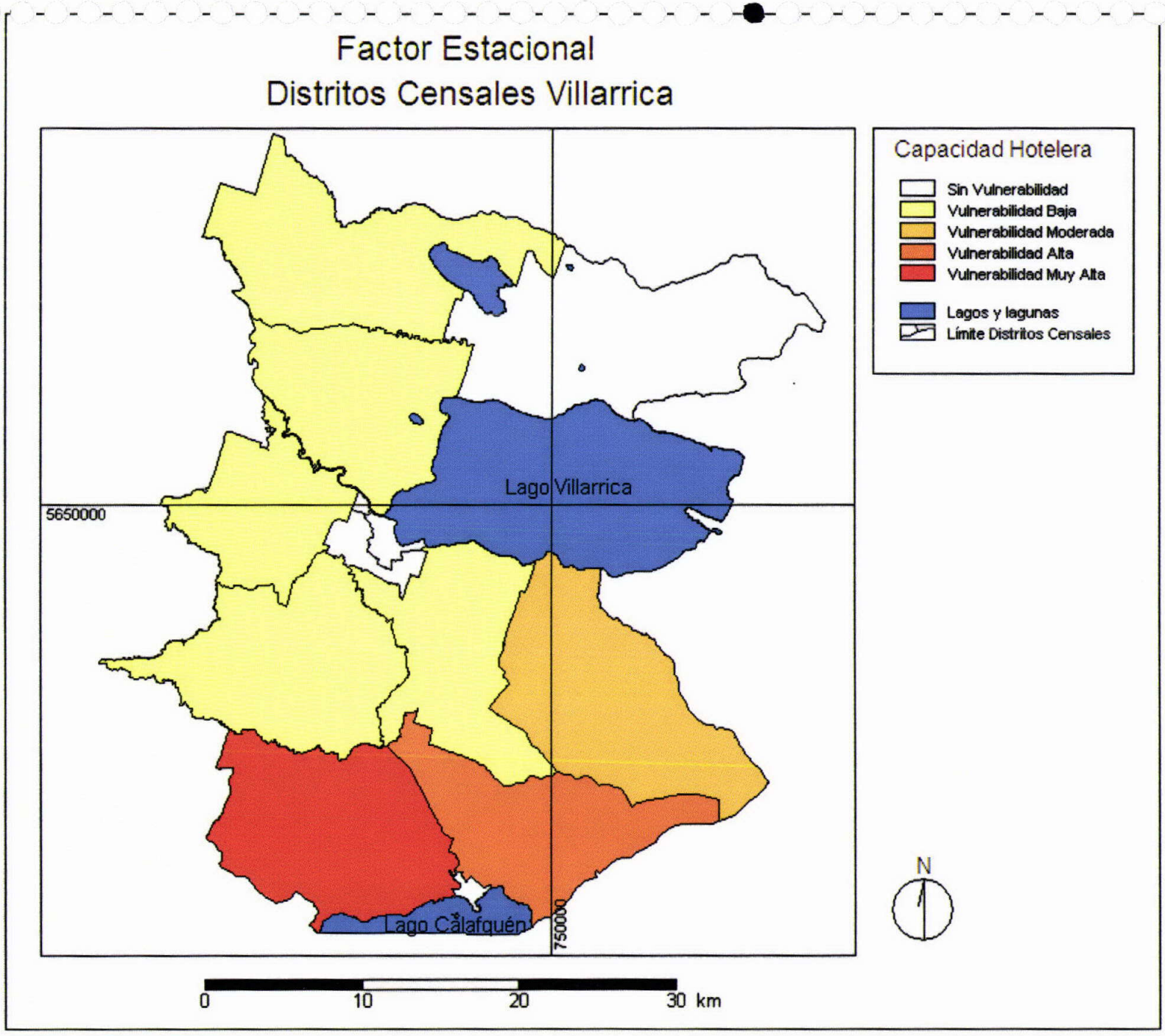
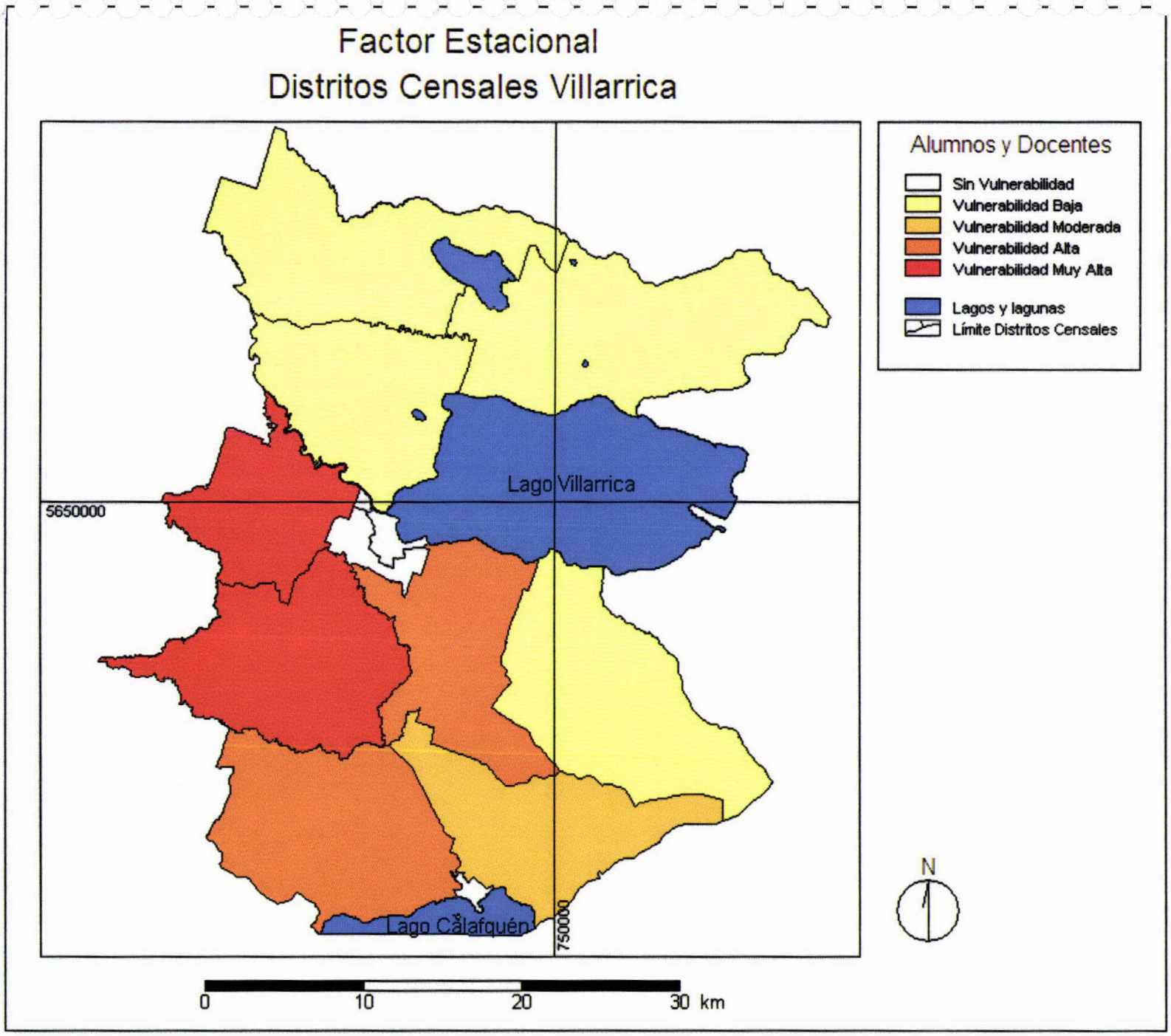


Gráfico 24: Factores Estacionales – Alumnos y Docentes Área Urbana de Lican Ray

En el área rural de Villarrica, el distrito censal Chesque es el que presenta la mayor vulnerabilidad en cuanto a la capacidad hotelera, seguido por el distrito Lican Ray (Mapa 55). Los distritos censales de Voipir y Relún son los que presentan la mayor vulnerabilidad en cuanto al número de alumnos y docentes (Mapa 56). Sin embargo, es necesario destacar que en este caso la capacidad hotelera presenta valores más altos que el número de alumnos y docentes, por lo que el escenario de verano sería el más vulnerable.



Mapa 55: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Villarrica Rural



Mapa 56: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Villarrica Rural

Factores Estacionales		
Distrito Censal	Capacidad Hotelera	Alumnos y docentes
Plaza	0	0
Estación	0	0
Loncotraro	701	84
Conquil	361	270
Lican Ray	1004	207
Chesque	1716	316
Relun	0	438
Voipir	0	420
Pedregoso	74	54
Huilipilún Poniente	108	90
Huilipilún Oriente	0	91

Tabla 35: Factores Estacionales Área Rural de Villarrica

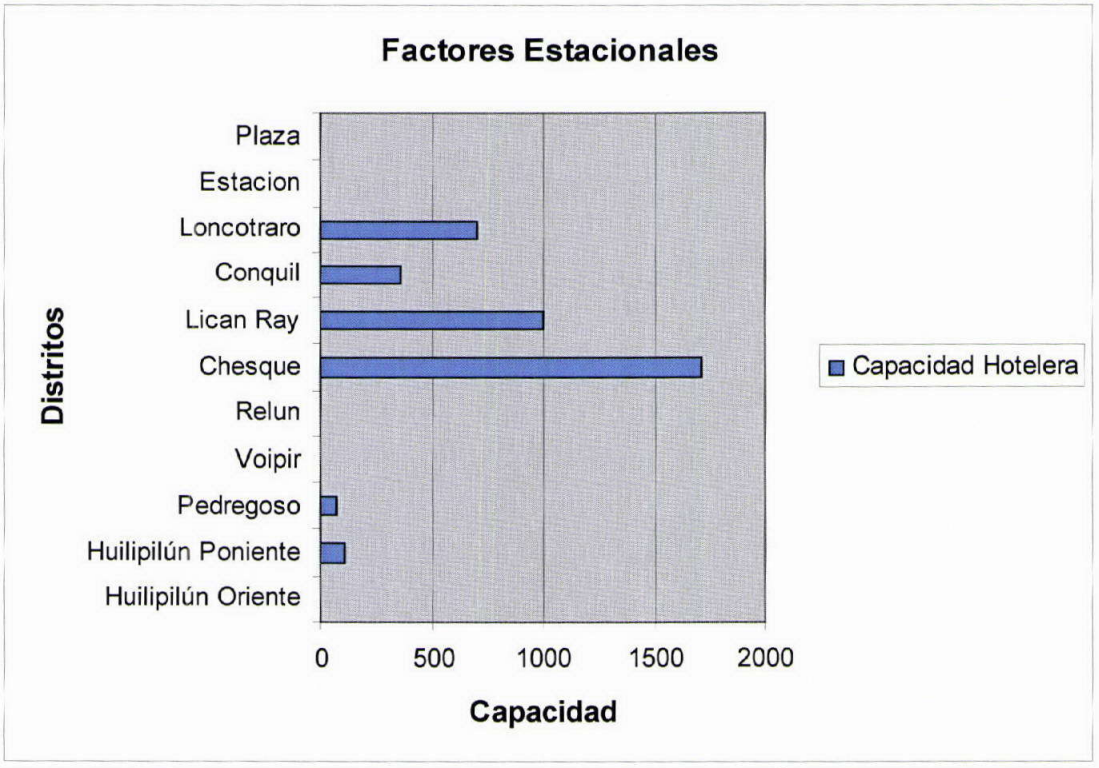


Gráfico 25: Factores Estacionales – Capacidad Hotelera Área Rural de Villarrica

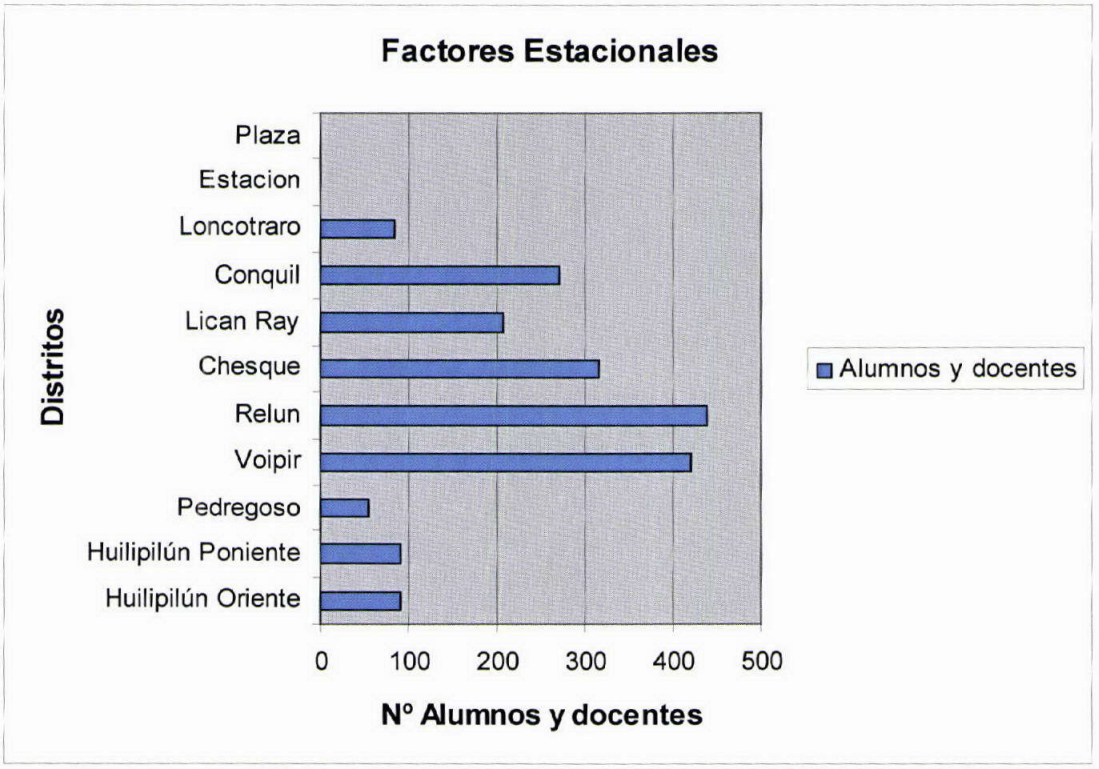
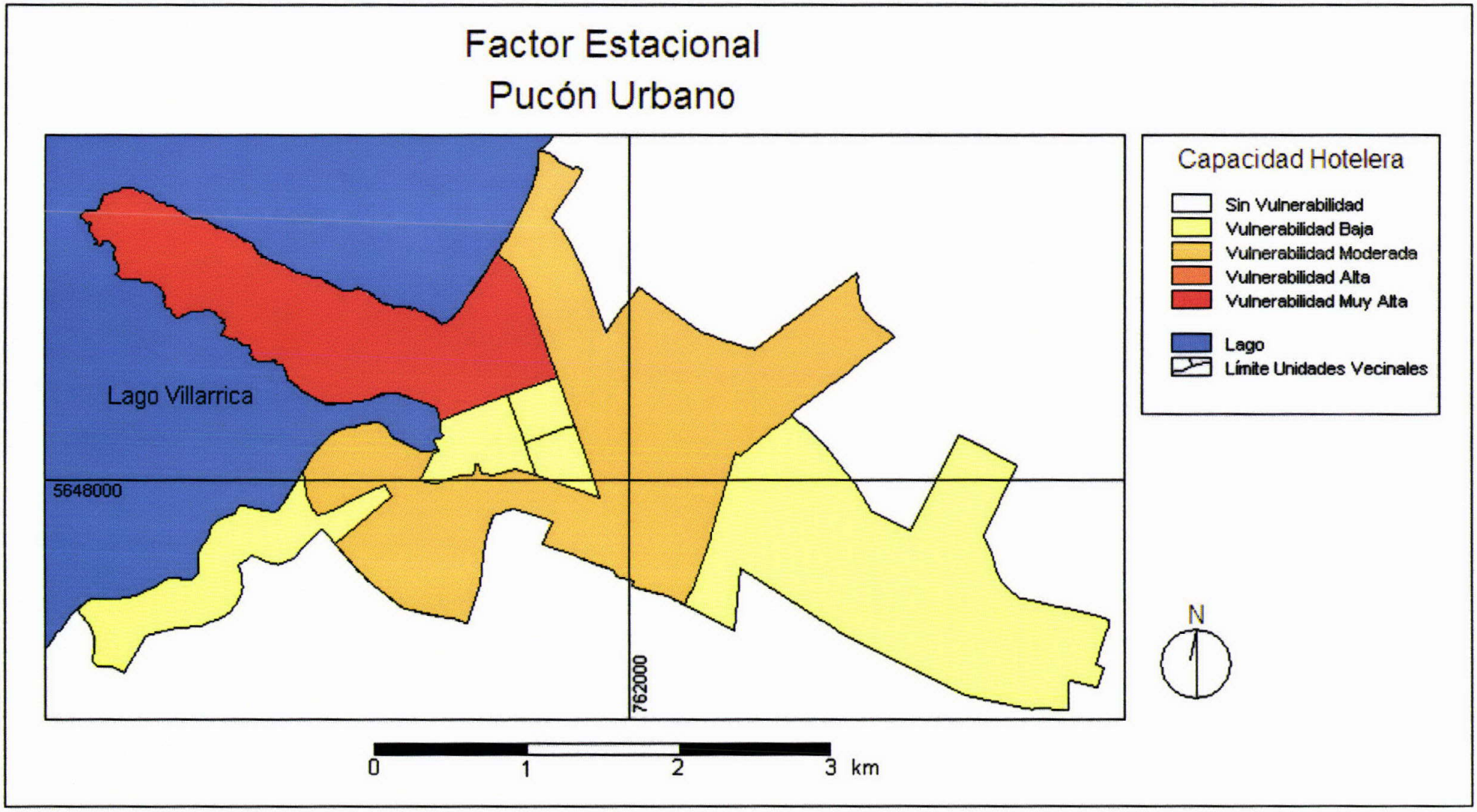


Gráfico 26: Factores Estacionales – Alumnos y Docentes Área Rural de Villarrica

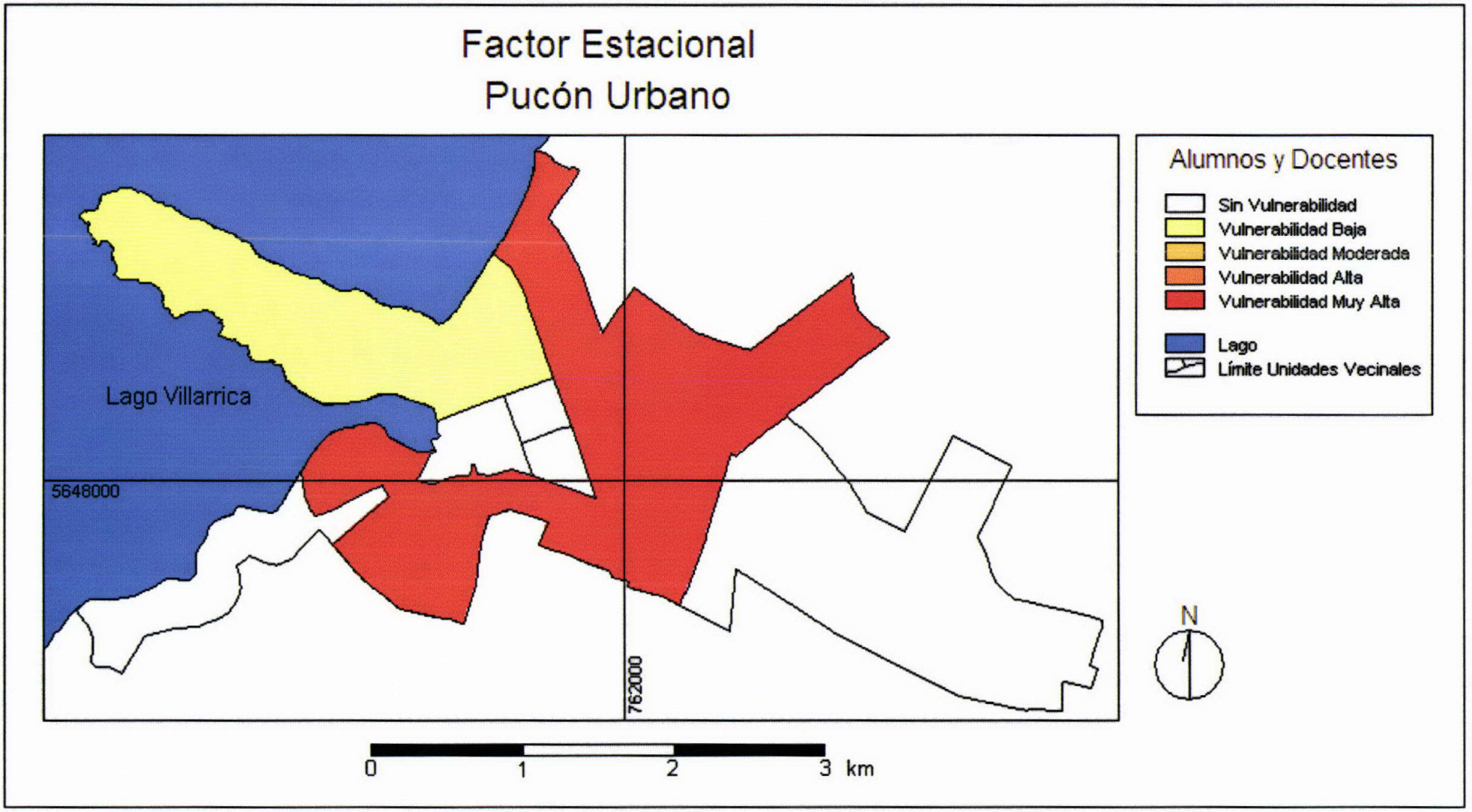
En el área urbana de Pucón, la mayor vulnerabilidad en cuanto a capacidad hotelera, la presenta la unidad vecinal Central, correspondiente al sector de la Península (Mapa 57). En cambio, la unidad vecinal que presenta la mayor vulnerabilidad según el número de alumnos y docentes es Playa Grande, seguida por la unidad Central, sin embargo, es necesario aclarar que el resto de las unidades no presenta establecimientos educacionales, por lo que no tienen alumnos y docentes (Mapa 58).

Factores Agravantes		
Unidades Vecinales	Capacidad Hotelera	Alumnos y docentes
Aduana	41	0
Central	1868	558
El Claro	364	0
Estadio	27	0
Obispo	76	0
Playa Grande	838	2671

Tabla 36: Factores Estacionales Área Urbana de Pucón



Mapa 57: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Pucón Urbano



Mapa 58: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Pucón Urbano

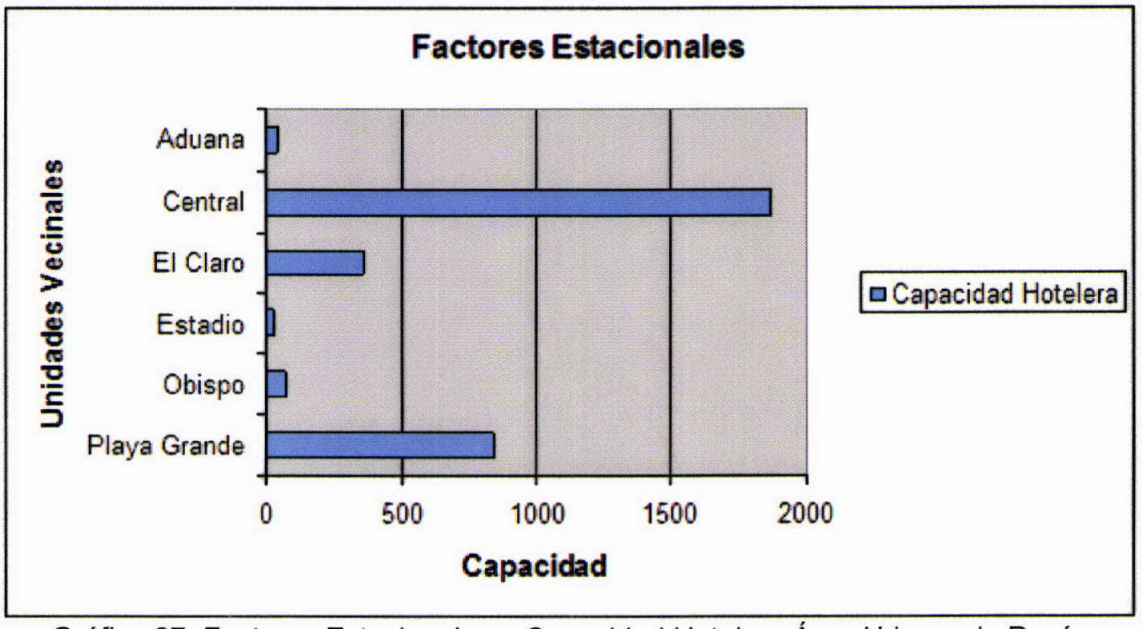


Gráfico 27: Factores Estacionales – Capacidad Hotelera Área Urbana de Pucón

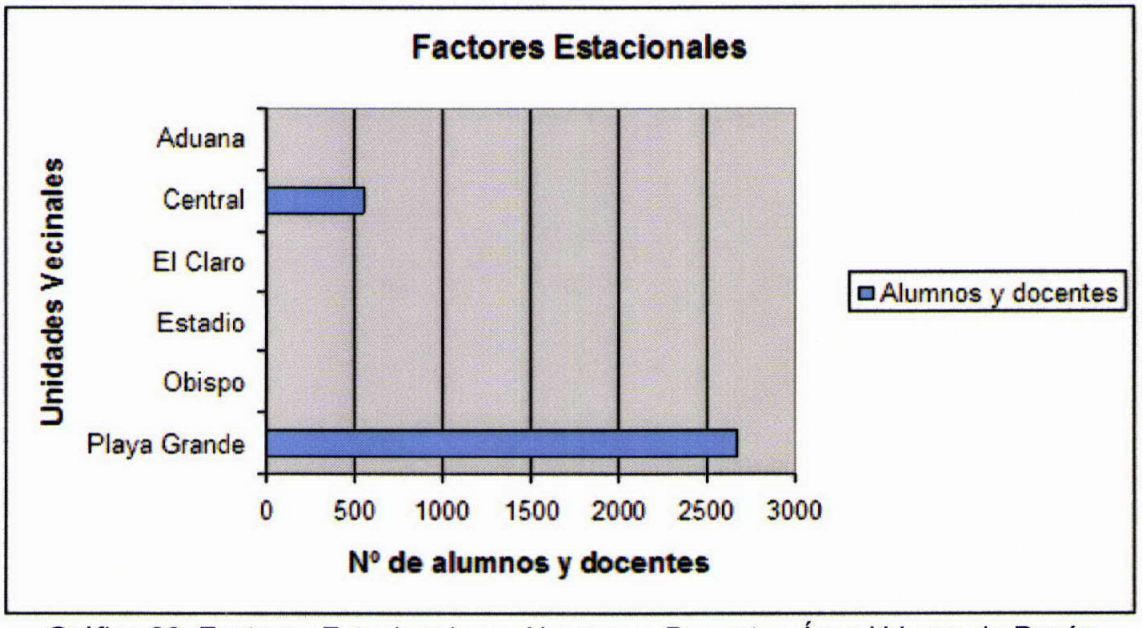
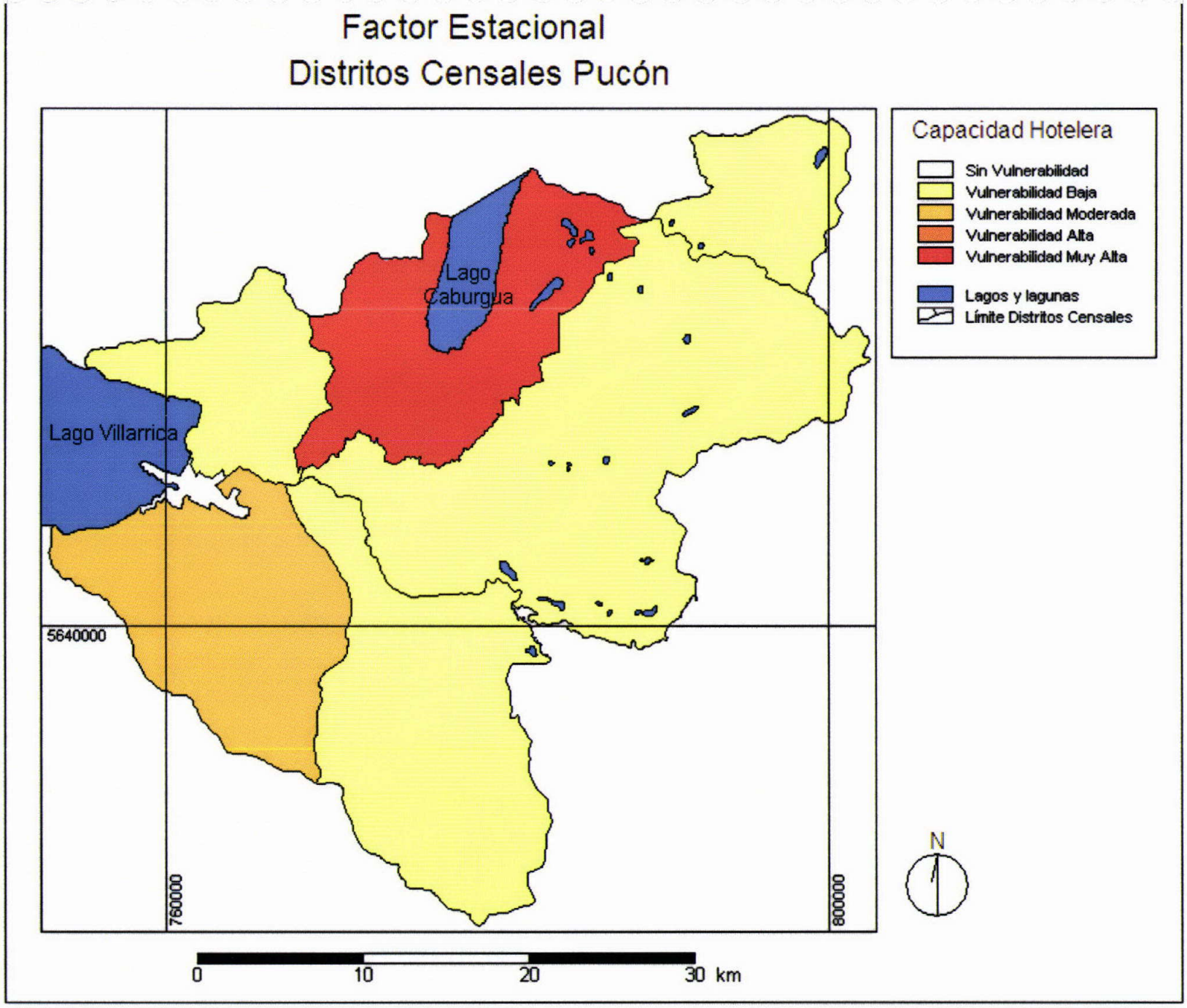
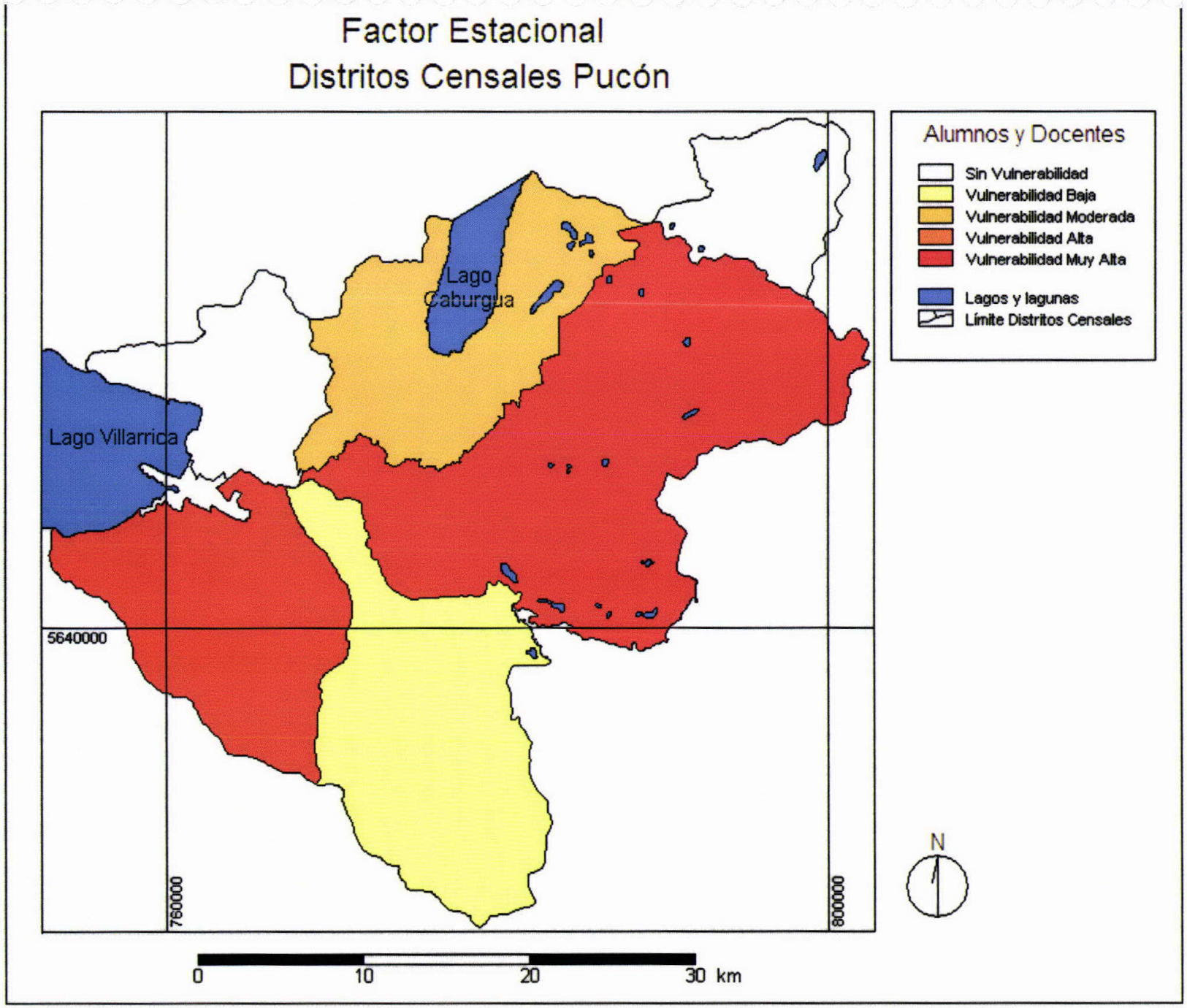


Gráfico 28: Factores Estacionales – Alumnos y Docentes Área Urbana de Pucón

En el área rural de Pucón, el distrito censal que presenta la mayor vulnerabilidad en cuanto a capacidad hotelera, es Caburgua (Mapa 59). En cambio, los distritos con mayor vulnerabilidad en número de alumnos y docentes son Cementerio y Coilaco (Mapa 60), sin embargo estos valores son muy inferiores con respecto a la capacidad hotelera, por lo que el escenario de verano es más vulnerable.



Mapa 59: Factor Estacional – Capacidad Hotelera Pucón Rural



Mapa 60: Factor Estacional – Alumnos y Docentes Pucón Rural

Factores Estacionales		
Distrito Censal	Capacidad Hotelera	Alumnos y docentes
La Península	544	44
Cementerio	1058	367
Caburgua	2530	204
Coilaco	198	393
Palguín	376	88
Termas de Río Blanco	46	0

Tabla 37: Factores Estacionales Área Rural de Pucón

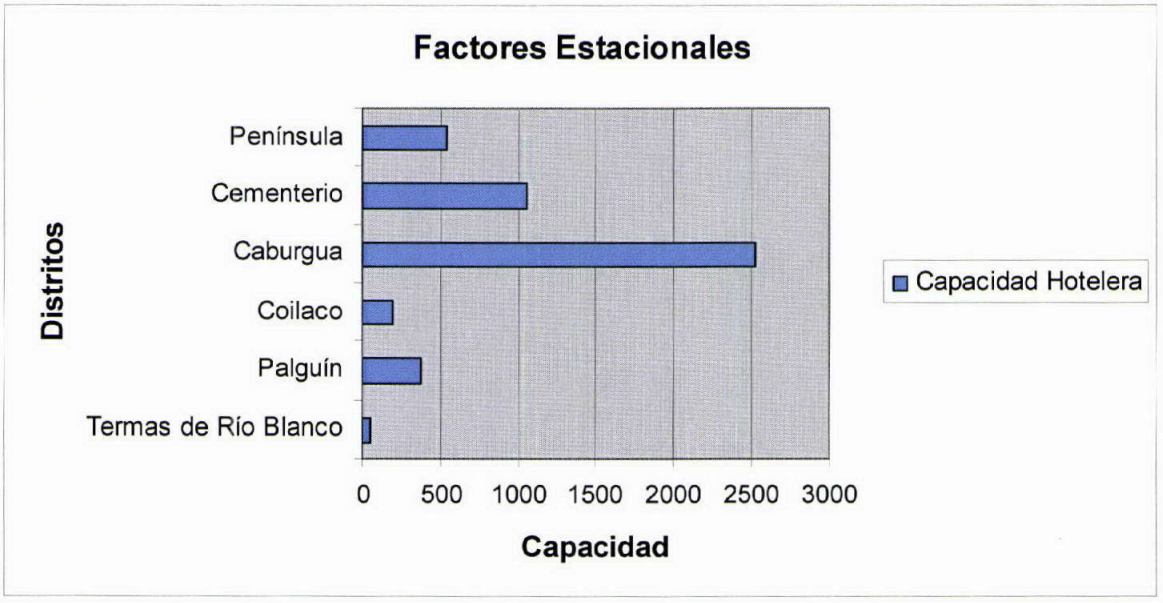


Gráfico 29: Factores Estacionales – Capacidad Hotelera Área Rural de Pucón

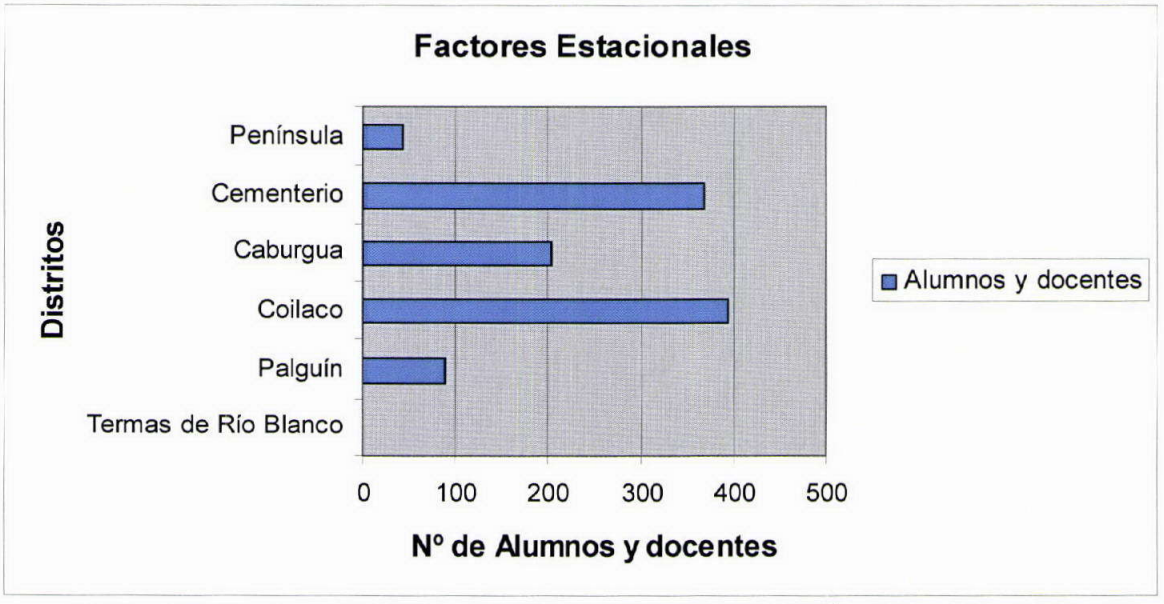


Gráfico 30: Factores Estacionales – Alumnos y Docentes Área Rural de Pucón

A continuación se presentan tablas resúmenes los factores, para cada área, con los valores de vulnerabilidad obtenidos en cada unidad vecinal o distrito censal. Estos valores se presentan de 0 a 4, de mayor a menor vulnerabilidad.

Área Urbana de Villarrica

	Unidades Vecinales								
Factor	P. de Valdivia	J.M. Balmaceda	G.H. de Mendoza	G.B. de Ramberga	21 de Mayo	D. de Almagro	B. O'Higgins	San Francisco	Vista Hermosa
Factor Población	1	1	3	1	1	1	4	1	4
Factor Infraestructura	2	4	4	3	3	3	4	1	3
Capacidad Hotelera	4	3	1	1	2	2	1	0	1
Alumnos y docentes	0	3	2	4	3	2	2	3	2

Tabla 38: Factores Área Urbana de Villarrica

Área Urbana de Lican Ray

	Distritos Censales	
Factor	Lican Ray	Chesque
Alumnos y docentes	4	4
Capacidad Hotelera	4	2
Factor Infraestructura	4	3
Factor Población	4	1

Tabla 39: Factores Área Urbana de Lican Ray

Área Rural de Villarrica

	Distritos Censales										
Factor	Relún	Loncotraro	Huilipilún Oriente	Conquil	Lican Ray	Chesque	Voipir	Huilipilún Poniente	Pedregoso	Plaza	Estación
Factor Población	4	3	1	4	3	1	4	1	3	1	1
Factor Infraestructura	3	3	2	4	4	4	3	3	2	1	1
Capacidad Hotelera	1	2	0	1	3	4	1	1	1	0	0
Alumnos y Docentes	4	1	1	3	2	3	4	1	1	0	0

Tabla 40: Factores Área Rural de Villarrica

Área Urbana de Pucón

	Unidades Vecinales					
Factor	Aduana	Estadio	Obispo	Central	Playa Grande	El Claro
Alumnos y docentes	0	0	0	1	4	0
Capacidad Hotelera	1	1	1	4	2	1
Factor Infraestructura	1	1	1	3	4	3
Factor Población	1	1	3	1	4	4

Tabla 41: Factores Área Urbana de Pucón

Área Rural de Pucón

	Distritos Censales					
Factor	Palguín	Termas de Río Blanco	Coilaco	Cementerio	Caburgua	Península
Alumnos y docentes	1	0	4	4	2	0
Capacidad Hotelera	1	1	1	2	4	1
Factor Infraestructura	2	1	3	3	4	1
Factor Población	3	1	4	4	4	1

Tabla 42: Factores Área Rural de Pucón

Peligro Volcánico

Una vez conocidos los factores y variables que condicionan la vulnerabilidad física, la segunda parte a considerar es la amenaza volcánica. Es por esto que se generó para cada sub-área de estudio, una sección del Mapa de Peligros del volcán Villarrica. Este mapa, generado por SERNAGEOMIN, presenta la amenaza en cuatro rangos (Sin Peligro, Peligro Bajo, Peligro Moderado y Peligro Alto), de acuerdo a los diferentes tipos de amenazas producidas por el volcán y su probabilidad de ocurrencia. Las amenazas están clasificadas de mayor a menor peligro, según se expone a continuación, de acuerdo a lo definido en el Mapa de Peligros del Volcán Villarrica (SERNAGEOMIN, 2000).

Si bien hasta ahora se ha usado el término amenaza, según la terminología utilizada por ONEMI, existen otros autores e instituciones que se refieren al mismo concepto utilizando el término peligro, sin haber diferencias importantes en su significado. Es por esto, que en esta sección se tratará la amenaza haciendo referencia al peligro, según lo descrito por SERNAGEOMIN en el Mapa de Peligros del volcán Villarrica.

- Peligro alto
    - ALI1, AI1: 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. ALI1 corresponde a zonas que pueden ser afectadas por lavas y/o lahares y AI1 a zonas que pueden ser afectadas sólo por lahares.
    - ALI2, AI2: 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. ALI2 corresponde a zonas que pueden ser afectadas por lavas y/o lahares y AI2 a zonas que pueden ser afectadas sólo por lahares.
    - AL3: Zonas con alto peligro de ser afectadas por lavas originadas durante eventuales erupciones de los volcanes Huelemolle, aunque para eso se estima baja probabilidad de ocurrencia.

- Peligro Moderado
    - 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 erupciones de mayor duración o de mayor volumen que las documentadas en el registro histórico (últimos 450 años).
    - MI: Zonas con moderado riesgo de ser afectadas por lahares. Ello podría ocurrir durante erupciones que se originan en el cono principal, en la época de mayor acumulación de nieve (comúnmente entre junio y septiembre).

- Peligro Bajo
    - BLI: Zonas con bajo peligro de ser afectadas por lavas y/o lahares. Ello podría ocurrir durante erupciones de gran magnitud, originadas

en el cono principal y/o cráteres adventicios, producidas durante la época de mayor acumulación de nieve.

Además de esto, se consideraron las curvas que marcan el límite de caída de piroclástos, en donde los fragmentos mayores se distribuyen según proyección balística y los fragmentos de diámetro menor se dispersan, generalmente, por acción eólica. En este caso, se consideró a toda el área comprendida por estas curvas como peligro alto.

De igual forma, toda el área comprendida por el mapa es considerada como una zona que puede ser afectada por flujos piroclásticos de volumen mayor que $1km^3$, lo que es considerado como peligro bajo, pero sin embargo, no se contempló en este trabajo, debido a que no permite una diferenciación de áreas al ser homogéneo.

Al aplicar esta clasificación a las unidades de estudio se obtienen los siguientes resultados:

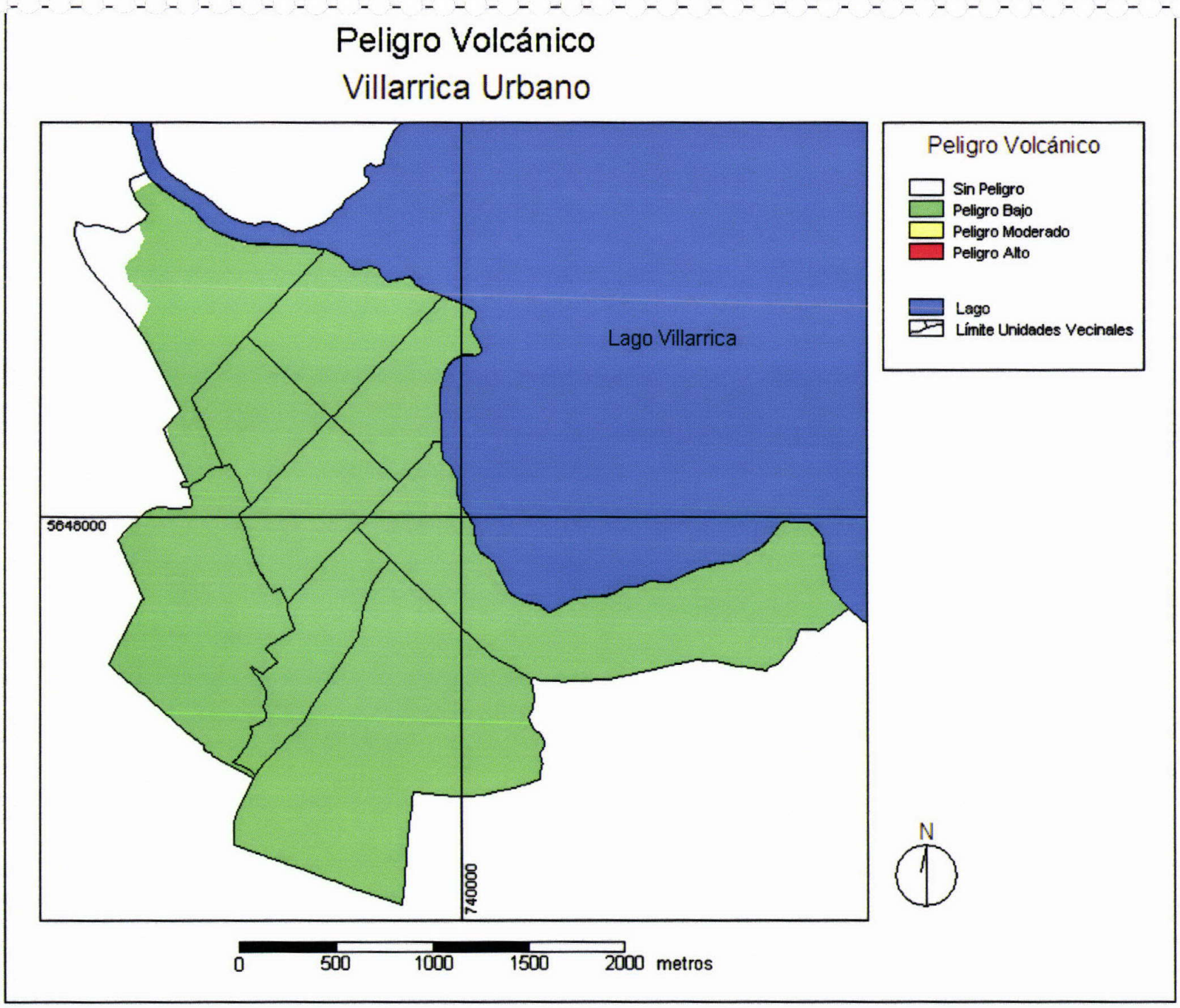
En el área urbana de Villarrica la amenaza volcánica es baja y homogénea, en tanto no presenta diferencias entre las unidades vecinales, a excepción de la unidad García Hurtado de Mendoza, la cual no se encuentra completamente bajo la amenaza volcánica. Esta área sólo está bajo la amenaza de lavas y lahares, quedando fuera del límite de caída de piroclástos (Mapa 61).

En el área urbana de Lican Ray la amenaza volcánica también es homogénea, pero en este caso es alta. Sin embargo, cubre sólo parte de ambos distritos censales. Al igual que el área urbana de Villarrica, esta área sólo se encuentra bajo la amenaza de lavas y lahares (Mapa 62).

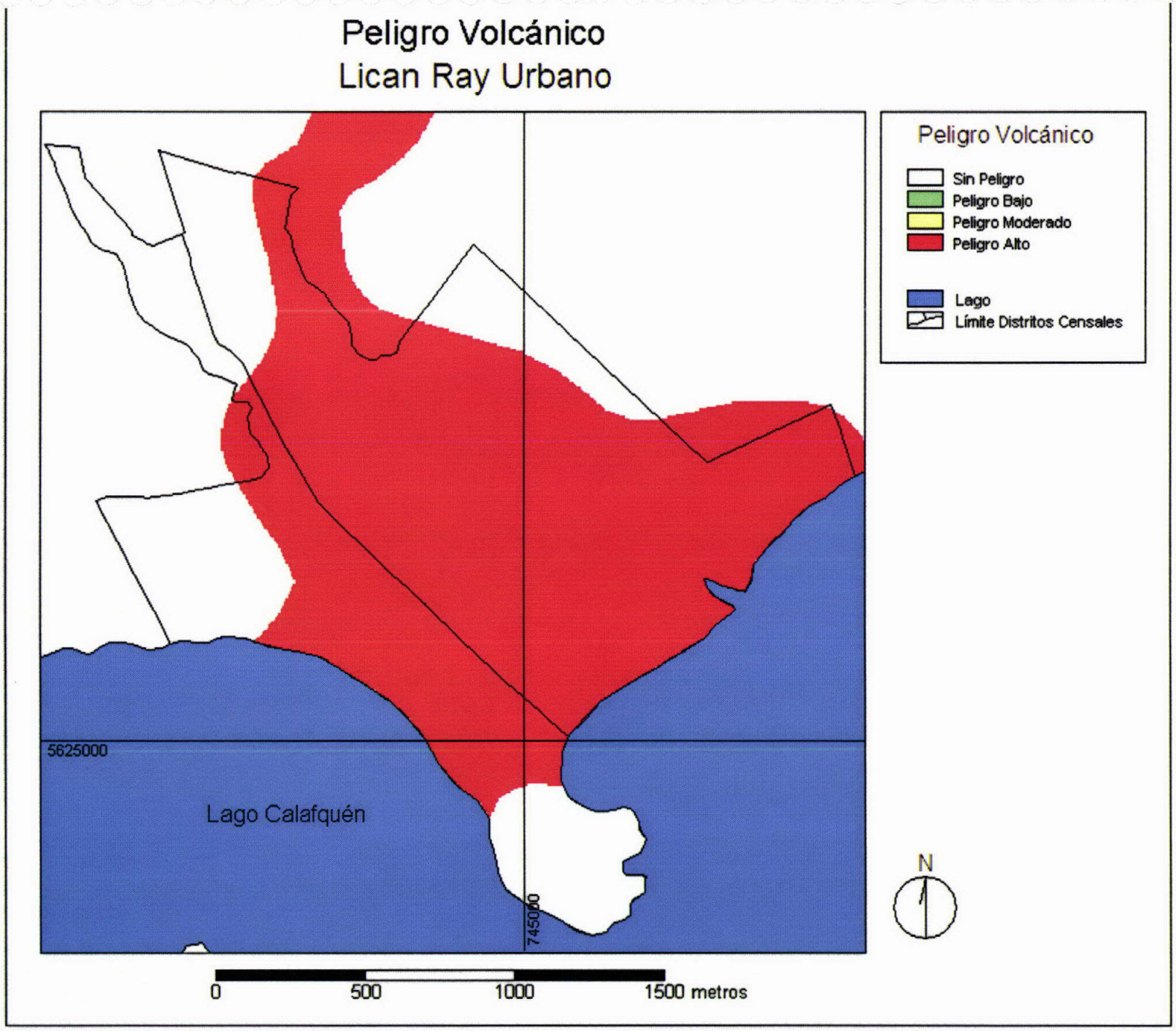
En el área rural de Villarrica, la amenaza volcánica se presenta en los tres niveles, pero es el peligro alto el que abarca un área mayor. Esta área está bajo la amenaza de lavas y lahares y dentro del límite de caída de piroclástos. Los distritos censales que se encuentran bajo la amenaza volcánica son Conquil, Estación, Lican Ray, Loncotraro y Relún, siendo el más afectado el distrito Loncotraro (Mapa 63).

El área urbana de Pucón se encuentra completamente bajo los dos tipos de amenaza identificados (lavas y lahares, caída de cenizas), presentando los tres niveles de peligro. Sin embargo, el peligro alto y la caída de piroclástos abarcan la mayor parte del área (Mapa 64).

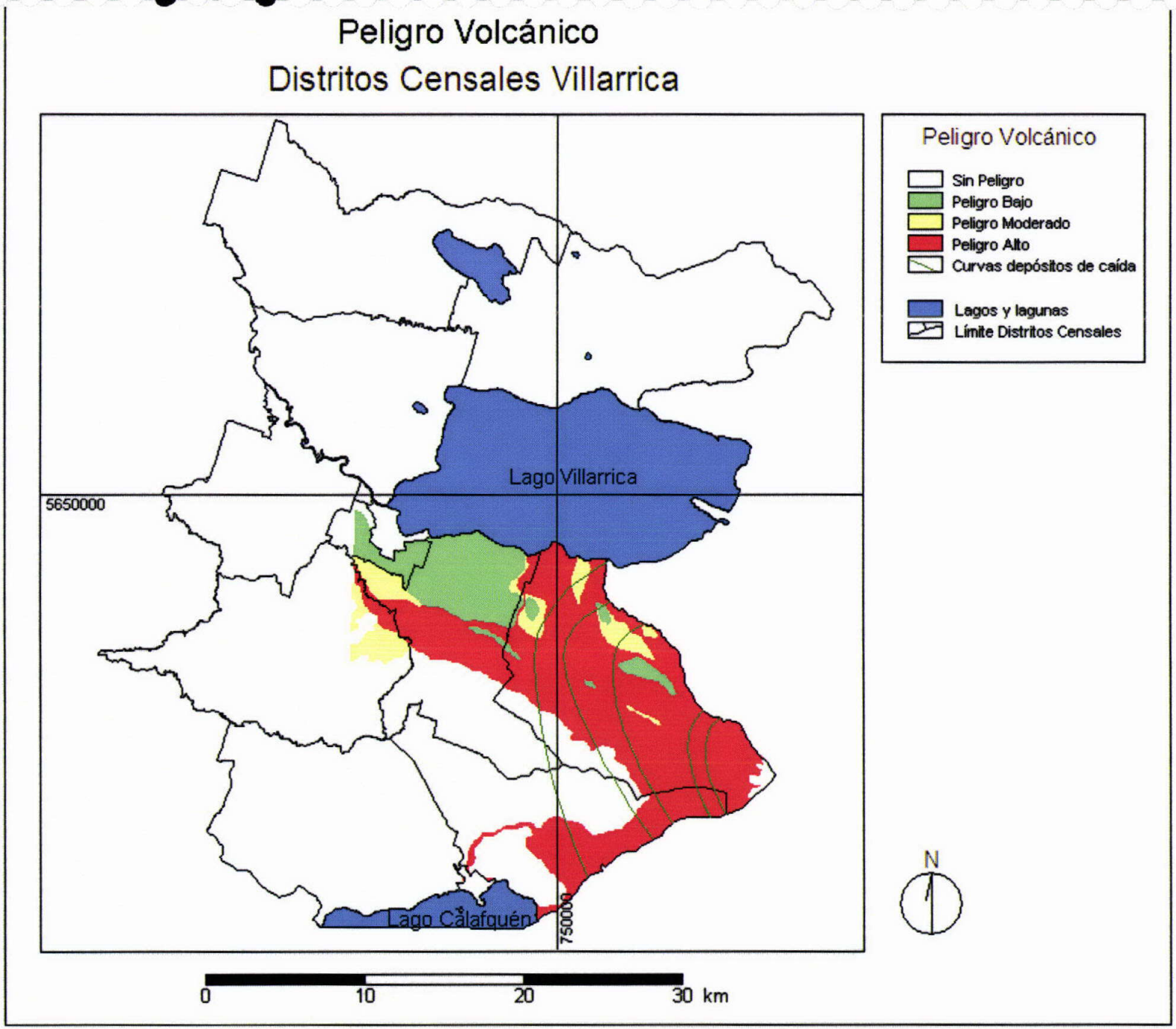
En el área rural de Pucón también se pueden encontrar los dos tipos de amenaza, en sus tres niveles de peligro, siendo el peligro alto el que comprende un área mayor, junto con la caída de piroclástos. Los distritos censales Cementerio, Coilaco, La Península y Palguín son los que se encuentran bajo la amenaza volcánica, siento el más afectado el distrito Cementerio (Mapa 65).



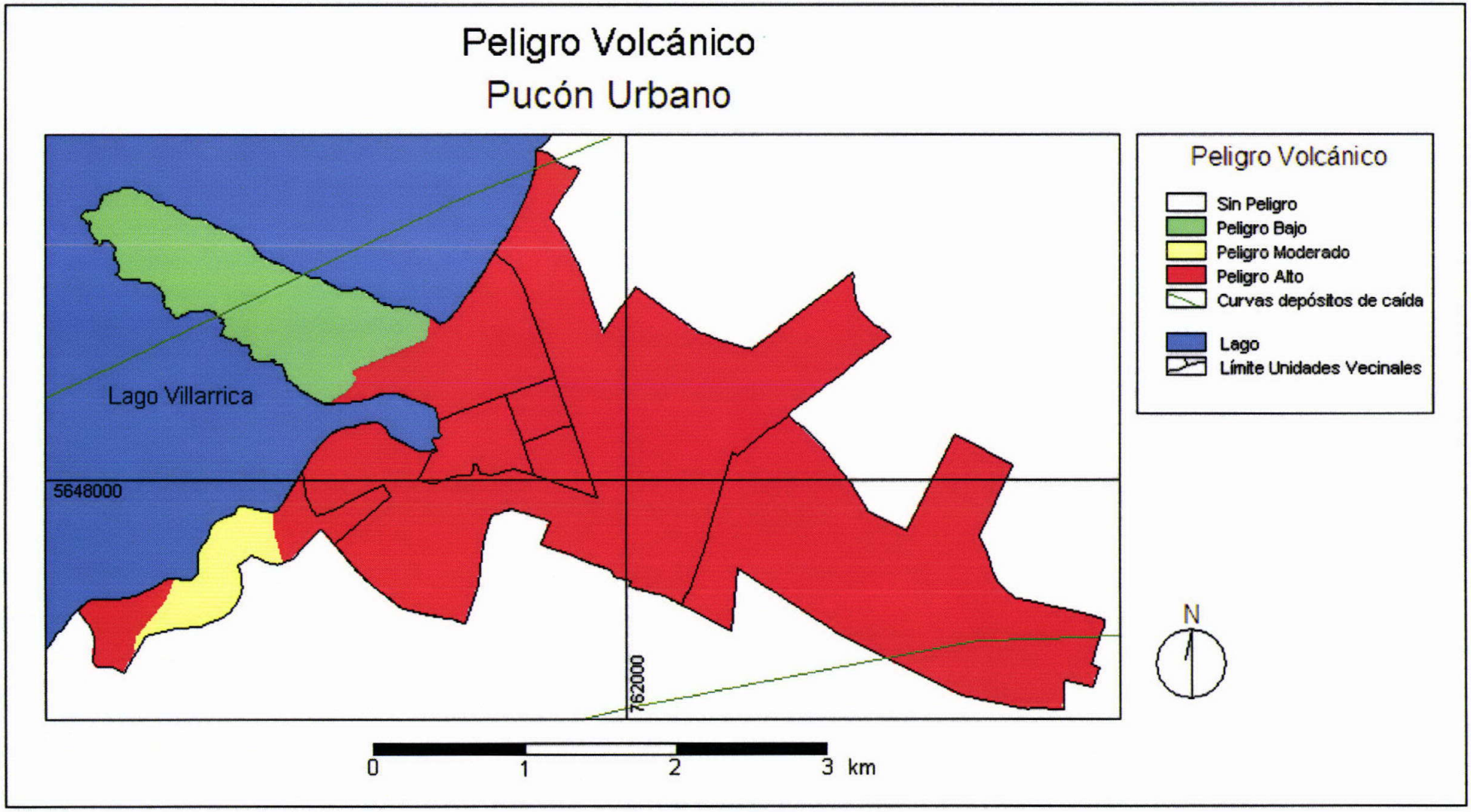
Mapa 61: Peligro Volcánico Villarrica Urbano



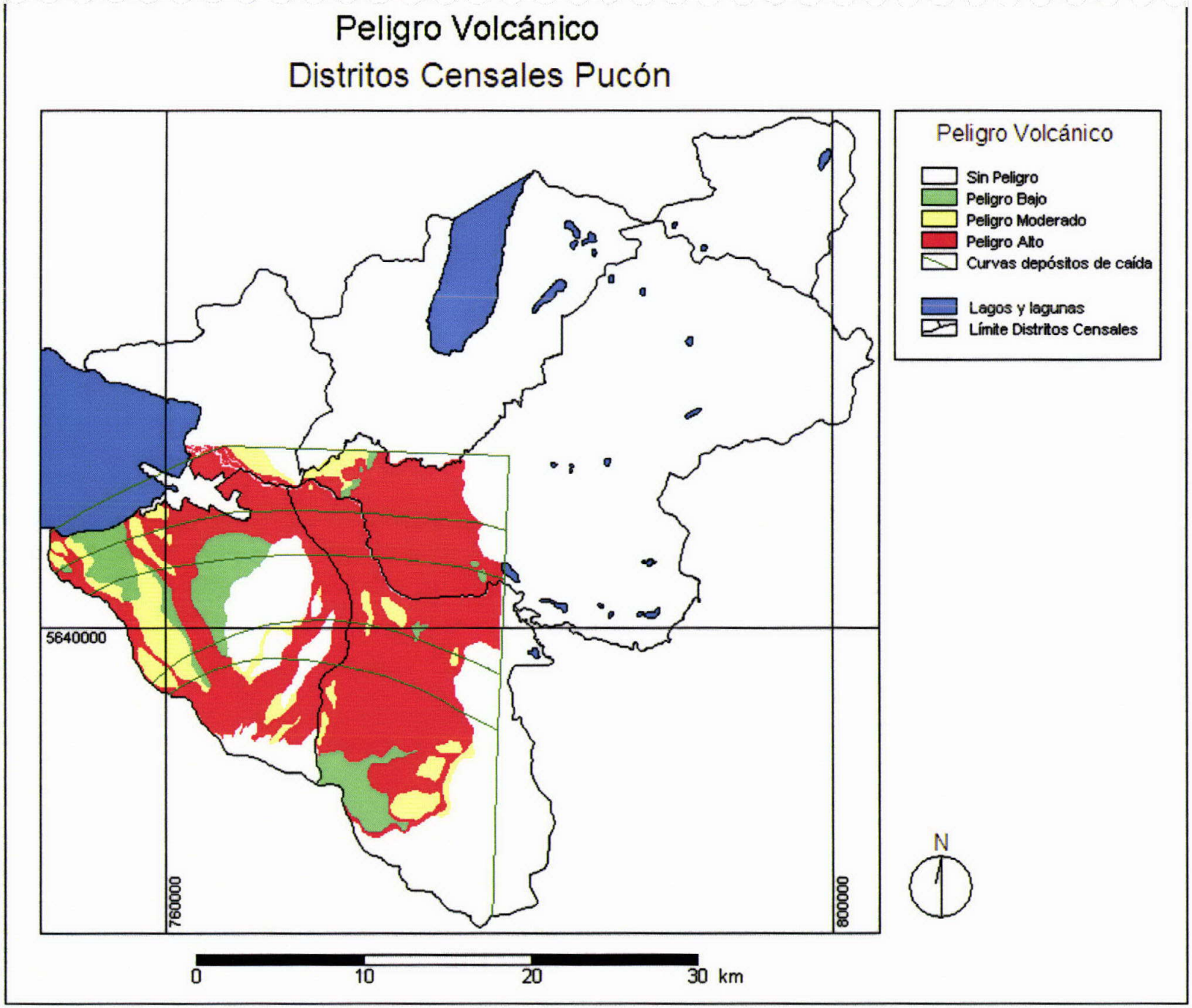
Mapa 62: Peligro Volcánico Lican Ray Urbano



Mapa 63: Peligro Volcánico Villarrica Rural



Mapa 64: Peligro Volcánico Pucón Urbano



Mapa 65: Peligro Volcánico Pucón Rural

5.1.3. Zonificación de Riesgo Volcánico

De los tres factores mencionados anteriormente, se realizó una Evaluación Multicriterio, con el fin de calcular la vulnerabilidad física de cada sub-área de estudio, considerando un escenario de verano y otro de invierno. Como ya se ha mencionado anteriormente, cada factor fue ponderado según su importancia relativa, asignándole así un peso. Los resultados de Vulnerabilidad Física se presentan en cinco rangos (de 0 a 4), de menor a mayor vulnerabilidad.

Vulnerabilidad Física

En el área urbana de Villarrica, para el escenario de invierno, que considera el factor estacional del número de alumnos y docentes, las unidades vecinales que presentan una mayor vulnerabilidad física son Bernardo O'Higgins y Vista Hermosa, las cuales presentan los valores más altos en el factor población y el factor infraestructura (Mapa 66). Para el escenario de verano, que considera el factor estacional capacidad hotelera, la unidad vecinal que presenta la mayor vulnerabilidad es Bernardo O'Higgins, por los mismos motivos que en el escenario descrito anteriormente (Mapa 67). Sin embargo, es necesario destacar que el escenario de invierno sería el peor escenario para el área urbana de Villarrica, debido a que el valor de alumnos y docentes es bastante mayor que el de capacidad hotelera.

En el área urbana de Lican Ray para ambos escenarios el distrito censal de Lican Ray presenta los valores más altos de vulnerabilidad física (Mapas 68 y 69), debido a que en todos los factores tiene el máximo valor de vulnerabilidad. En este caso, no hay mayor diferencia entre los valores de los factores de capacidad hotelera y número de alumnos y docentes, por lo tanto no es posible determinar un peor escenario.

En el área rural de Villarrica, para el escenario de invierno los distritos censales que presentan una mayor vulnerabilidad física son Conquil, Relún y Voipir, los cuales presentan los mayores valores en el factor población y el factor infraestructura. De ellos, el más vulnerable es Conquil, debido a que presenta una vulnerabilidad muy alta en ambos factores (Mapa 70). Para el escenario de verano, el distrito que presenta la mayor vulnerabilidad física es Conquil, debido a que también presenta un alto valor en el factor estacional de número de alumnos y docentes, a pesar de no ser el mayor valor de este factor en esta área (debido a que la mayor vulnerabilidad en este factor lo presentan los distritos Relún y Voipir). Esto se debe principalmente a que el factor estacional tiene una ponderación menor respecto de los otros factores, por lo que en este caso fue predominante el valor del factor infraestructura y del factor población (Mapa 71). En esta área el escenario de verano podría considerarse como el peor escenario, debido a que los valores de capacidad hotelera son considerablemente mayores a los valores del número de alumnos y docentes.

En el área urbana de Pucón, para ambos escenarios la unidad vecinal con la mayor vulnerabilidad física es Playa Grande, debido a que presenta los más altos valores en el factor población, el factor infraestructura y el factor estacional de capacidad hotelera (Mapas 72 y 73). Un peor escenario es difícil de definir

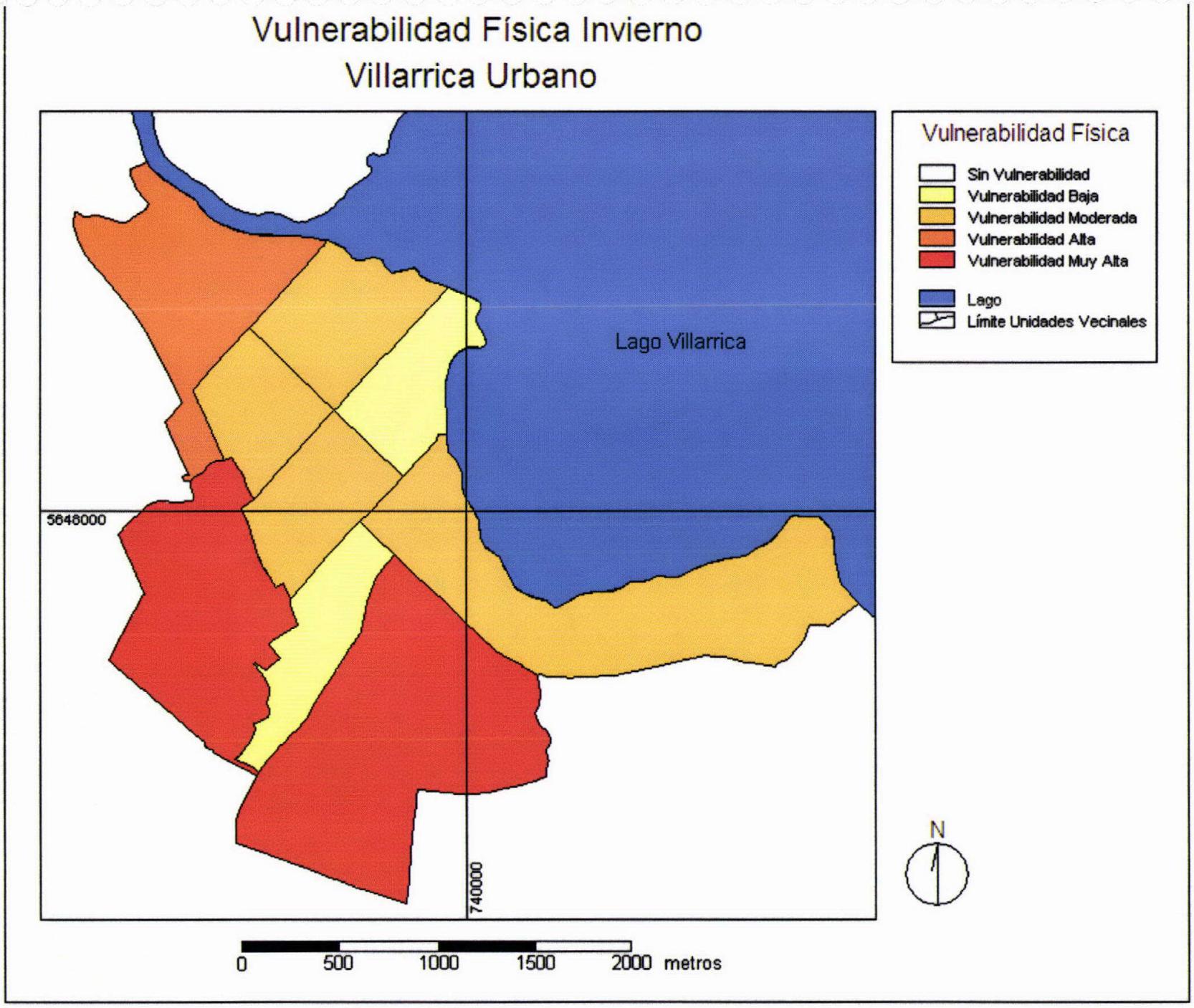
debido a que el total de la capacidad hotelera es muy similar al total de alumnos y docentes. Sin embargo, los alumnos y docentes se concentran sólo en dos de las unidades vecinales, a diferencia de la capacidad hotelera que se distribuye en todas ellas.

En el área rural de Pucón, los distritos censales que presentan una mayor vulnerabilidad física para el escenario de invierno son Caburgua, Cementerio y Coilaco (Mapa 74). De ellas Caburgua es la más vulnerable, ya que presenta el máximo valor en los tres factores. Para el escenario de verano, los distritos Caburgua y Cementerio presentan la mayor vulnerabilidad física (Mapa 75). En este caso, Caburgua tiene los mayores valores en el factor población y el factor infraestructura, mientras que Cementerio tiene los mayores valores en el factor población y el factor estacional de número de alumnos y docentes. En el área rural de Pucón el peor escenario sería el de verano, debido a que los valores de capacidad hotelera son considerablemente mayores que los de alumnos y docentes.

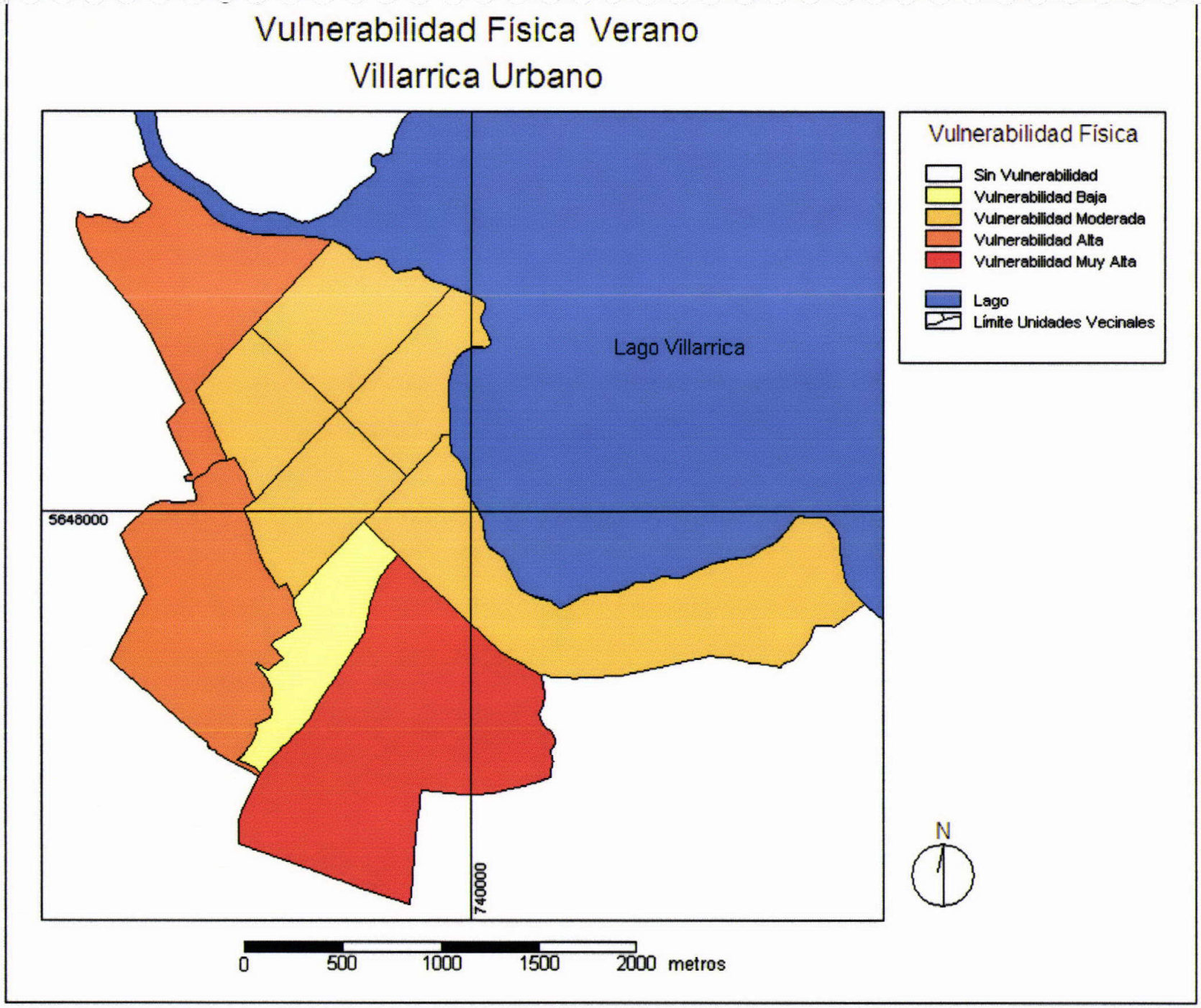
Una vez obtenida la vulnerabilidad física se procedió a hacer el cruce de estos resultados con las imágenes de peligro volcánico, a través de la ecuación

*Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad,*

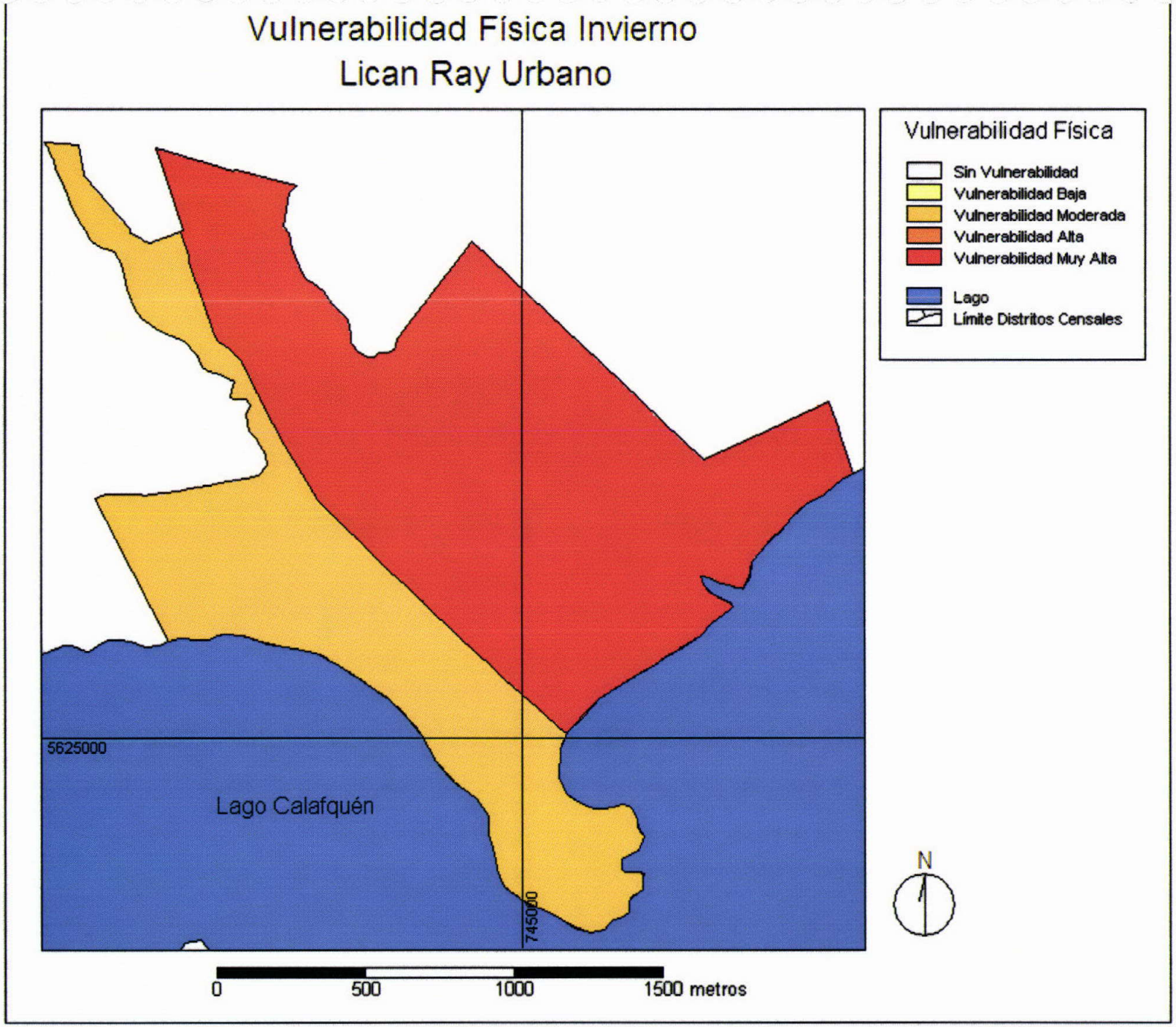
obteniendo así el riesgo volcánico para cada unidad en cada escenario, el cual se presenta en cinco rangos (0 a 4) de menor a mayor vulnerabilidad.



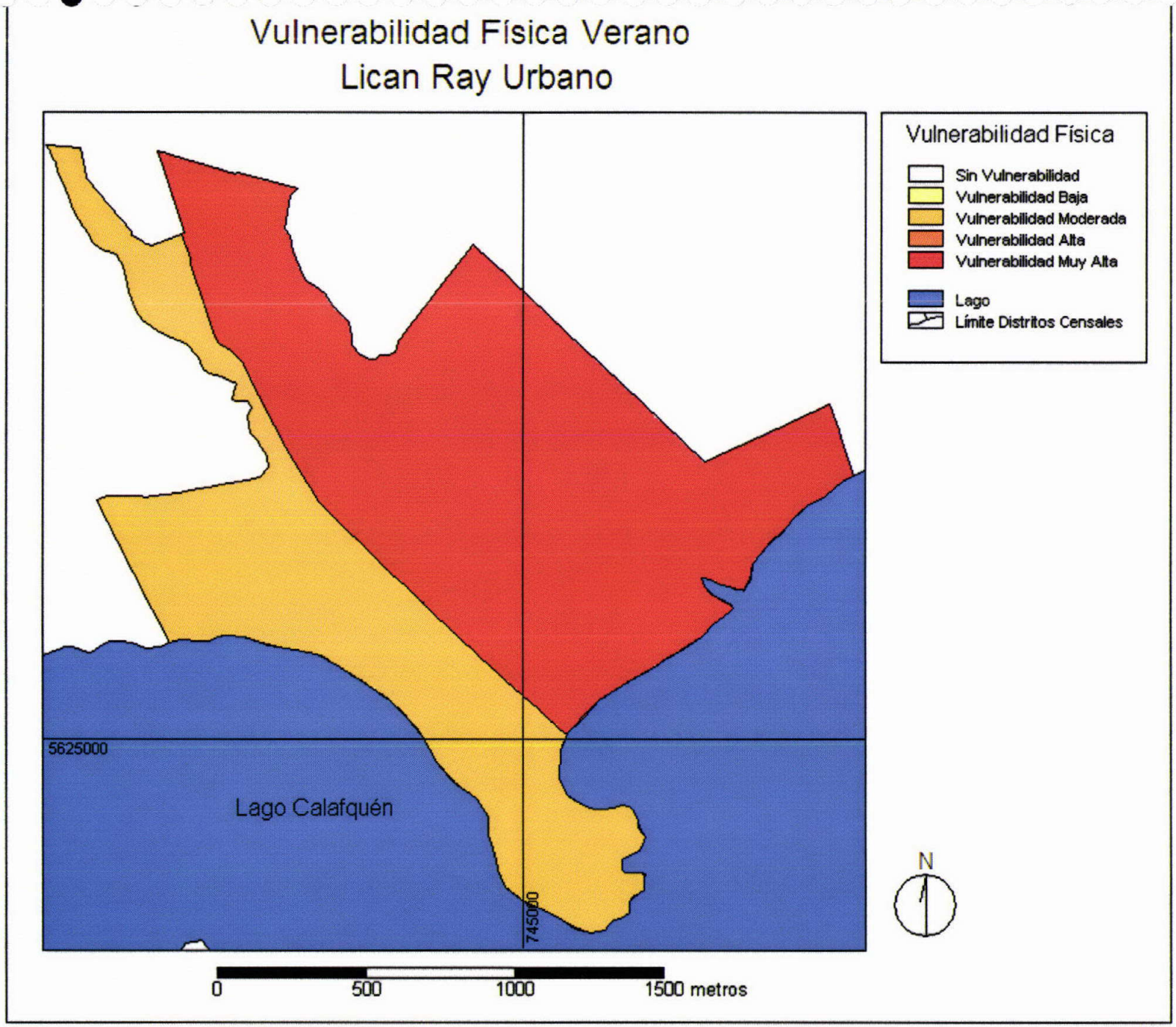
Mapa 66: Vulnerabilidad Física Invierno Villarrica Urbano



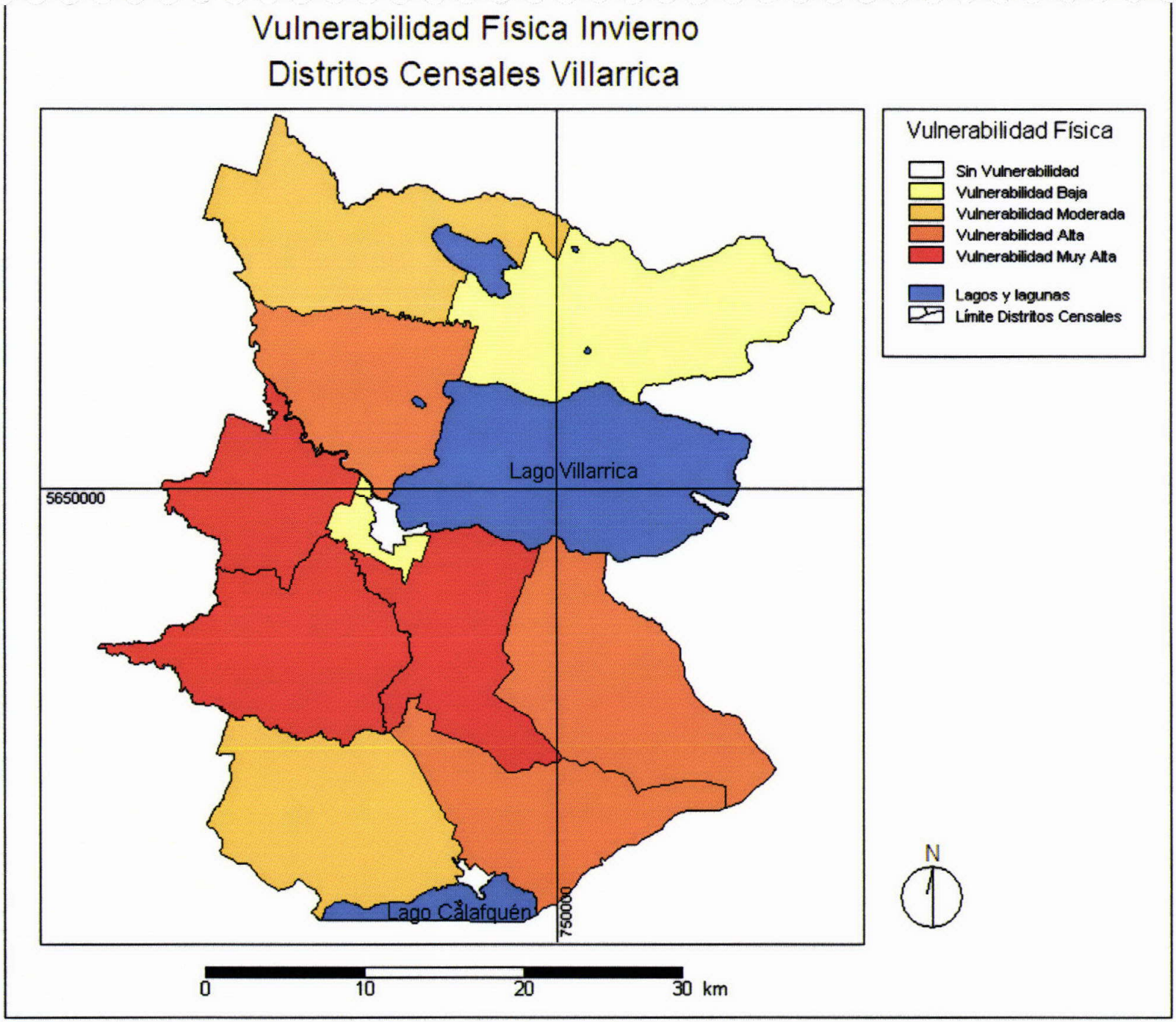
Mapa 67: Vulnerabilidad Física Verano Villarrica Urbano



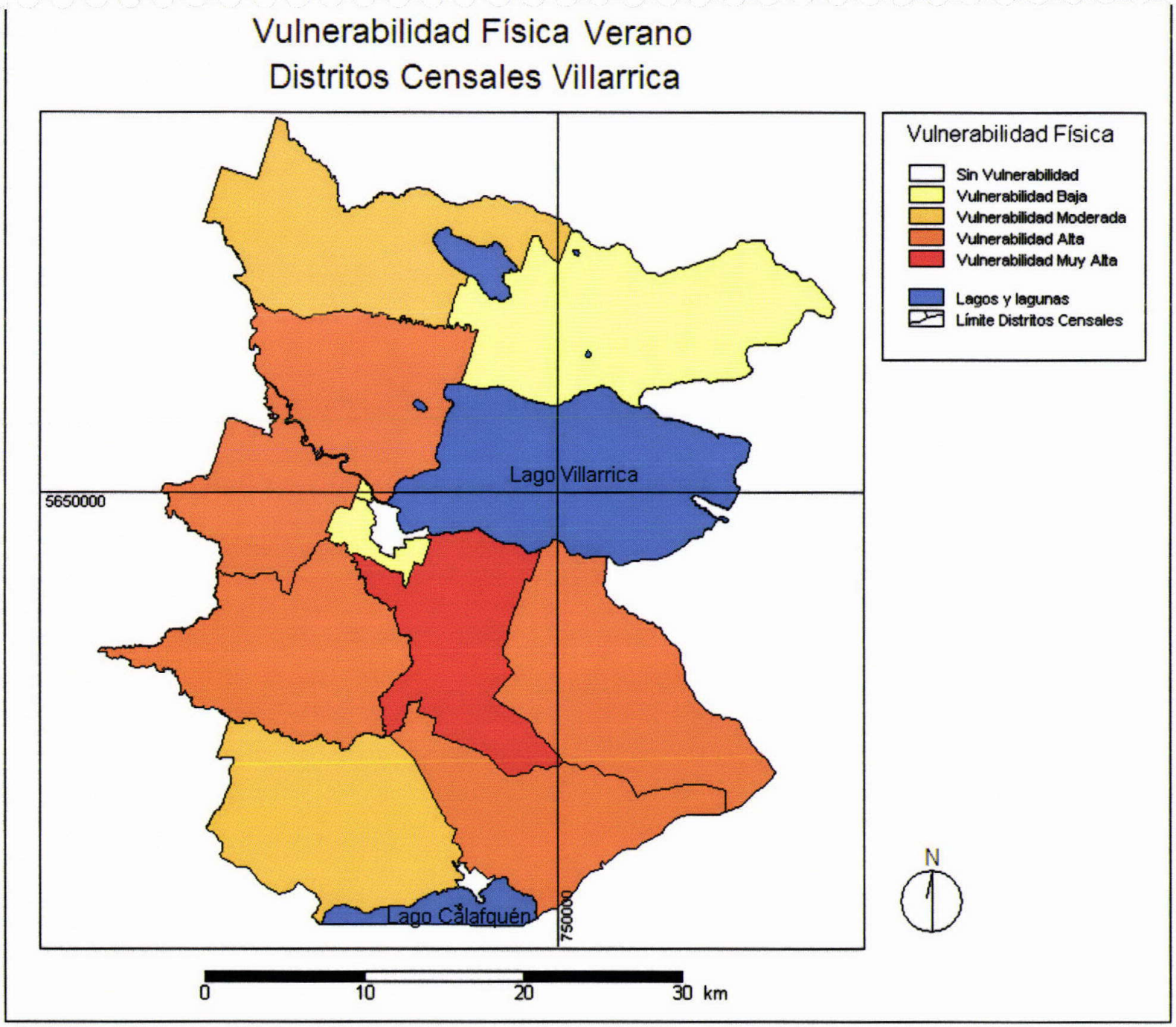
Mapa 68: Vulnerabilidad Física Invierno Lican Ray Urbano



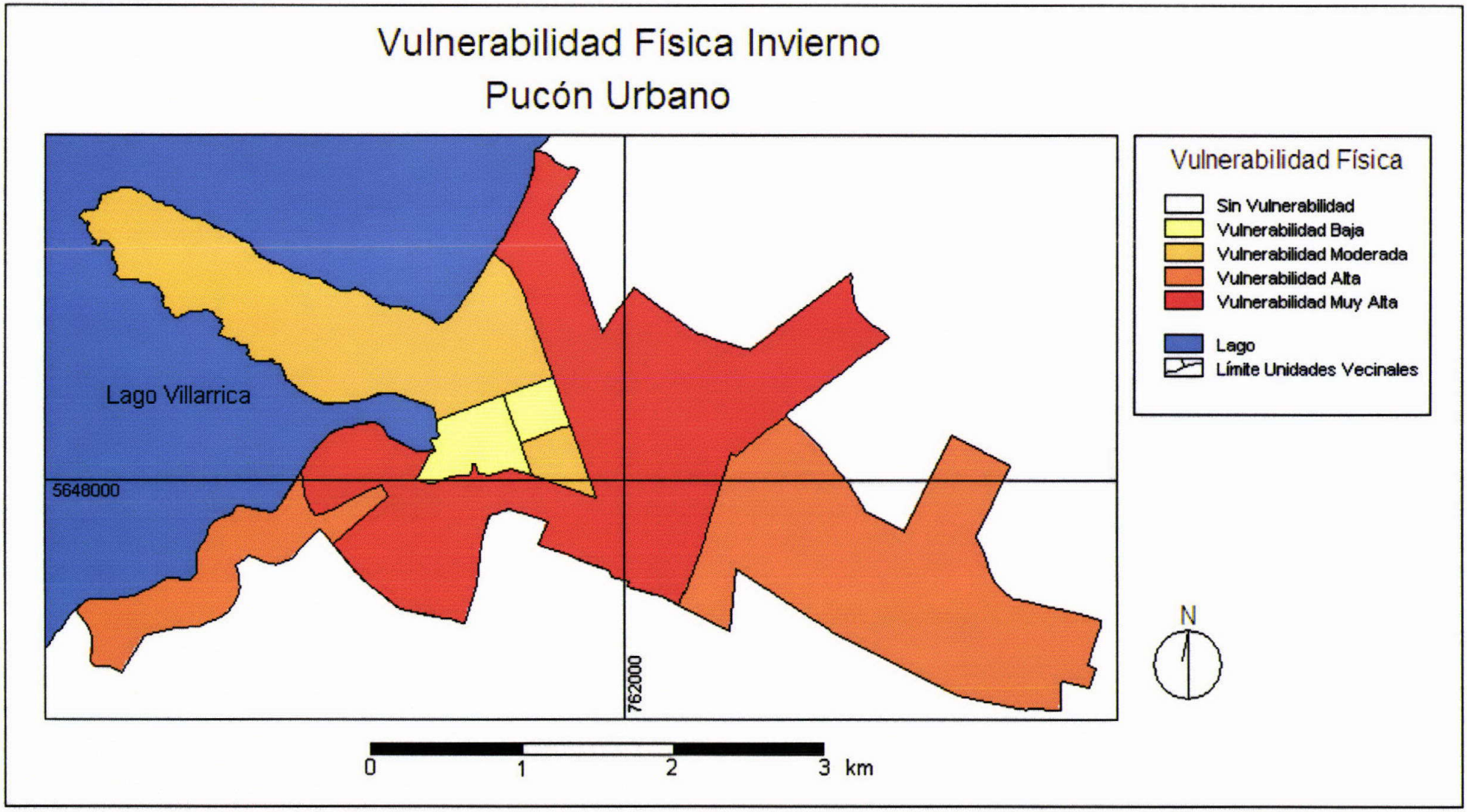
Mapa 69: Vulnerabilidad Física Verano Lican Ray Urbano



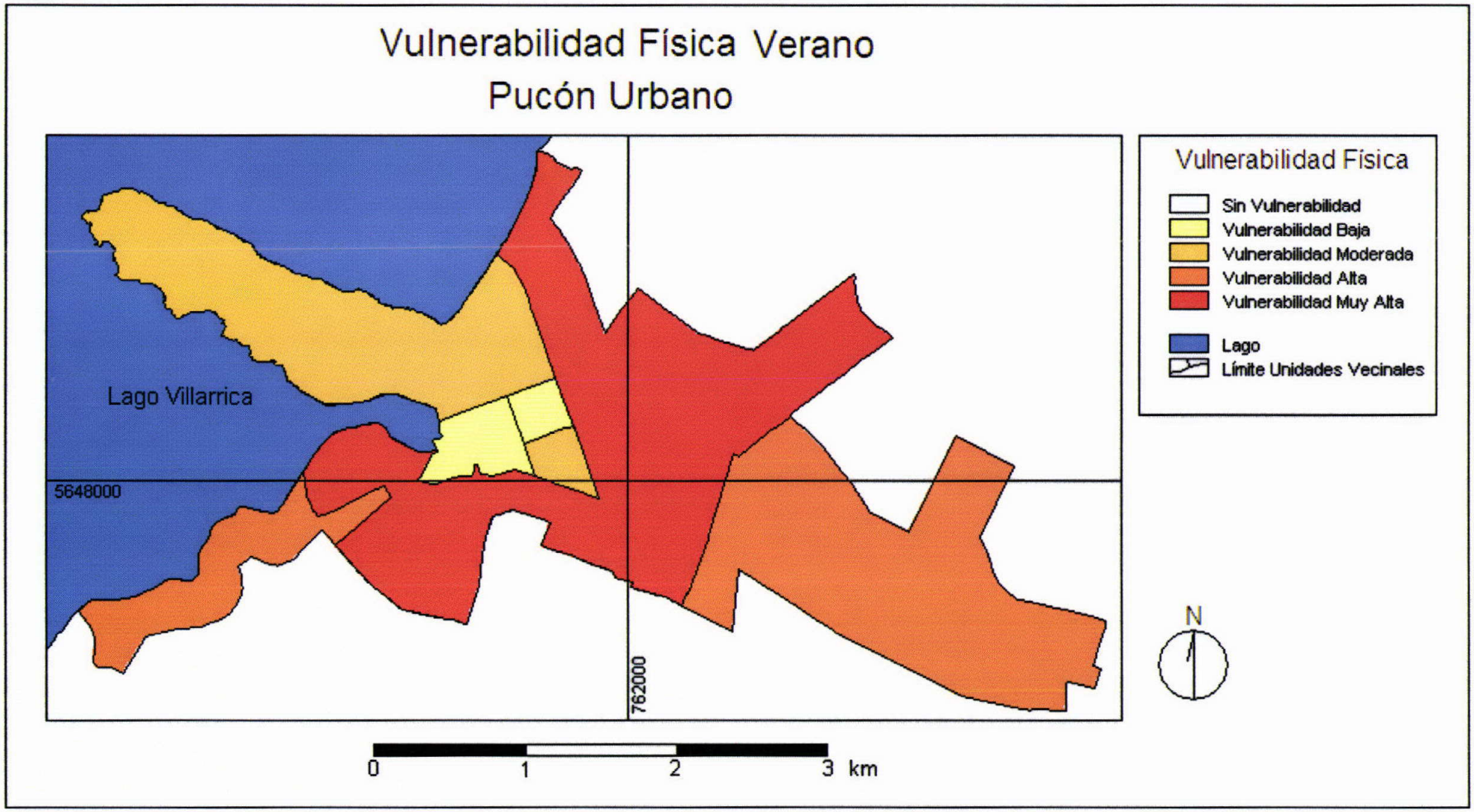
Mapa 70: Vulnerabilidad Física Invierno Villarrica Rural



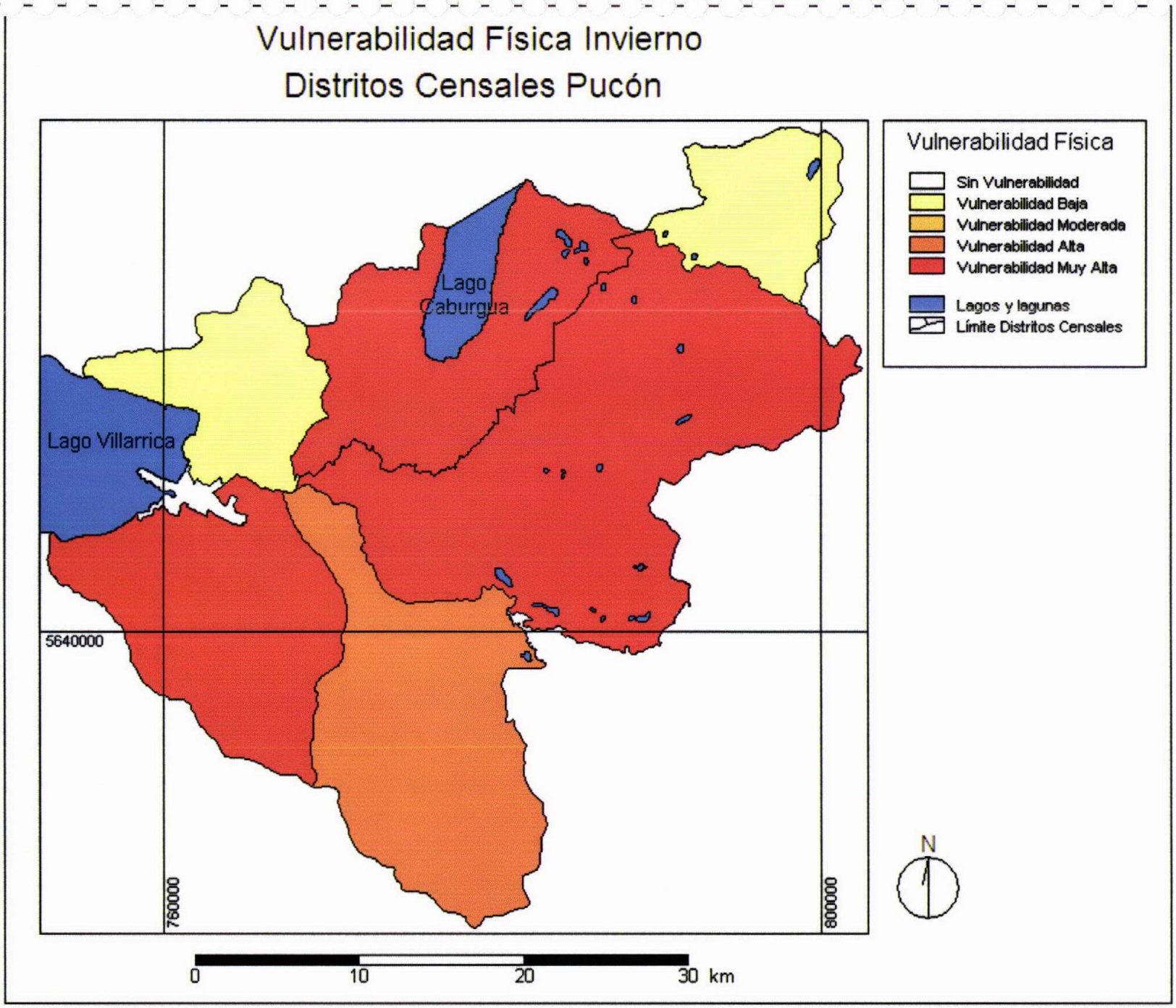
Mapa 71: Vulnerabilidad Física Verano Villarrica Rural



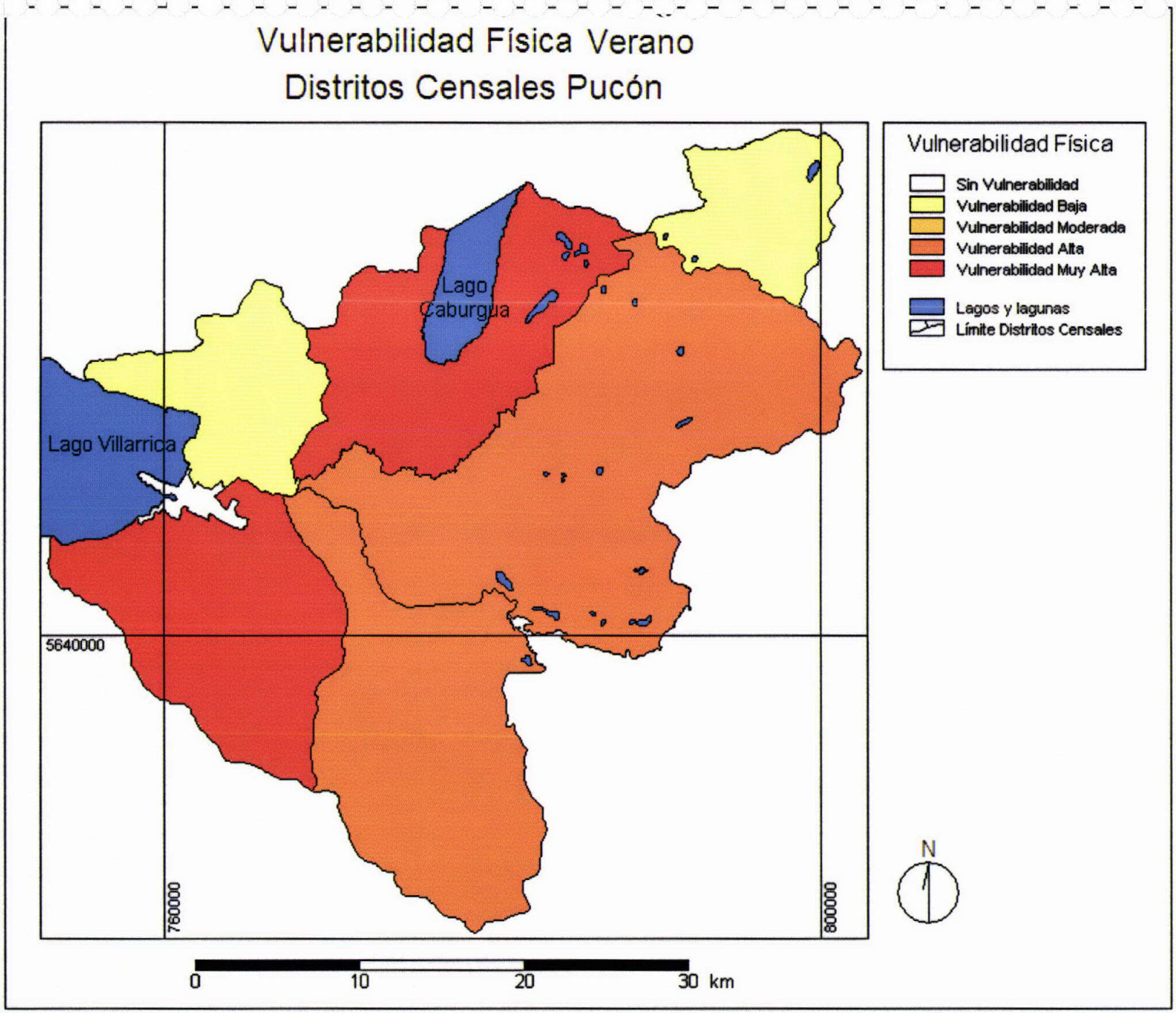
Mapa 72: Vulnerabilidad Física Invierno Pucón Urbano



Mapa 73: Vulnerabilidad Física Verano Pucón Urbano



Mapa 74: Vulnerabilidad Física Invierno Pucón Rural



Mapa 75: Vulnerabilidad Física Verano Pucón Rural

Riesgo Volcánico

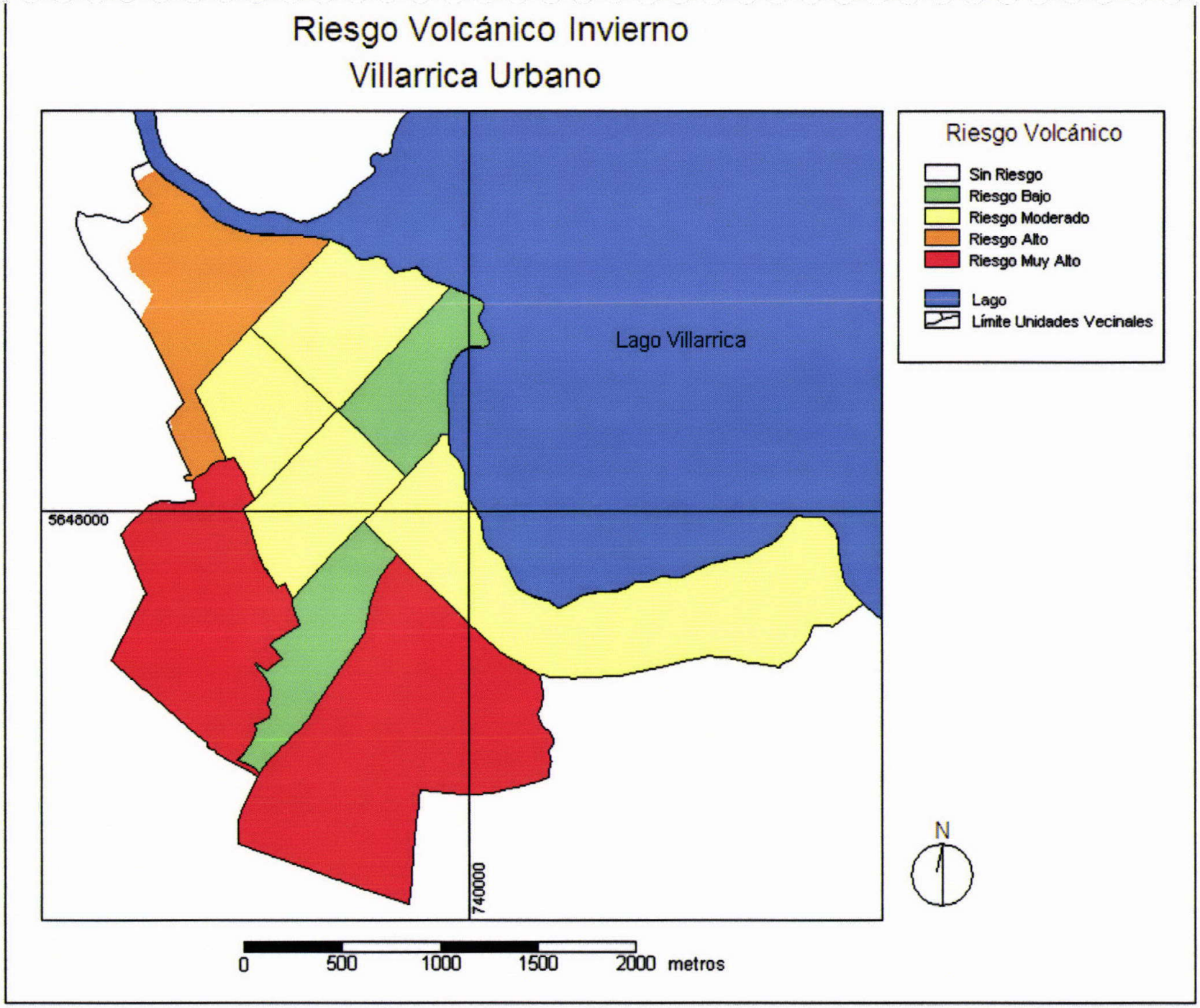
En el área urbana de Villarrica, para el escenario de invierno, las unidades vecinales Bernardo O'Higgins y Vista Hermosa presentan los mayores valores de riesgo frente a la amenaza volcánica (Mapa 76). Esto se debe principalmente a que ambas unidades tienen la mayor vulnerabilidad física, ya que la amenaza en esta área es homogénea, y por lo tanto, no incide en una diferenciación de las áreas. Para el escenario de verano, la unidad que presenta el mayor riesgo volcánico es Bernardo O'Higgins, por los mismos motivos expuestos en el escenario anterior (Mapa 77).

En el área urbana de Lican Ray, ambos escenarios se presentan iguales, debido a que éstos presentan la misma vulnerabilidad física. En ellos, el distrito censal con mayor riesgo es Lican Ray, debido a que en este caso la amenaza también es homogénea (Mapas 78 y 79).

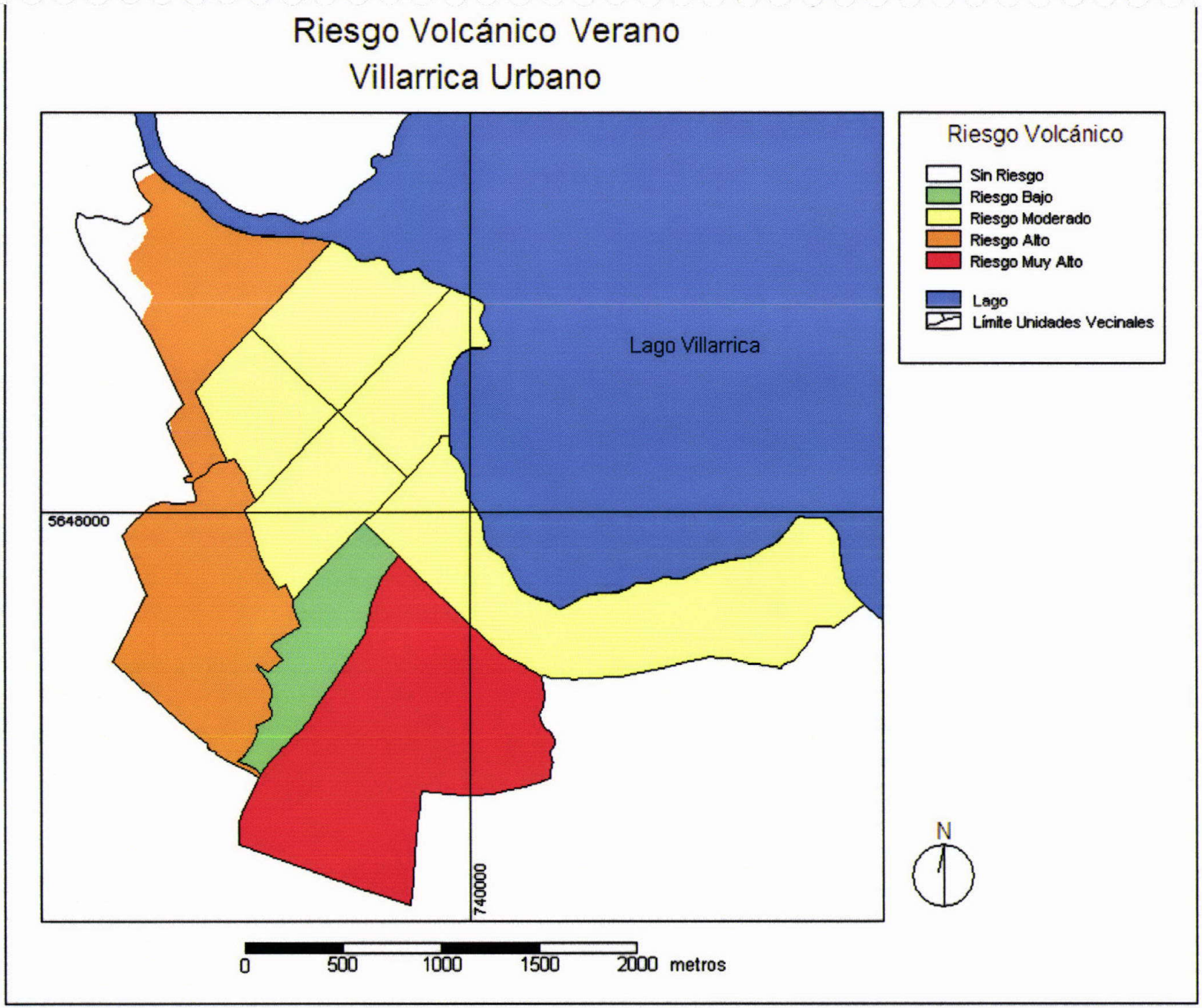
En el área rural de Villarrica, para ambos escenarios los distritos censales con mayor riesgo volcánico son Loncotraro y Lican Ray (Mapas 80 y 81). Sin embargo, estos distritos no presentan la mayor vulnerabilidad física del área (vulnerabilidad muy alta), sino que presentan una vulnerabilidad alta, pero se encuentran bajo el peligro clasificado como alto, especialmente el distrito Loncotraro. De los distritos censales que presentan una vulnerabilidad muy alta, Conquil sólo tiene una pequeña área con peligro alto, Relún está casi completamente fuera del área de amenaza y Voipir está 100% fuera del área de amenaza.

En el área urbana de Pucón, los escenarios de invierno y verano también coinciden, presentando para ambos casos el riesgo volcánico más alto en las unidades vecinales Playa Grande y El Claro (Mapas 82 y 83). El peligro volcánico es alto prácticamente en toda el área, y la vulnerabilidad física es muy alta en la unidad Playa Grande y alta en El Claro.

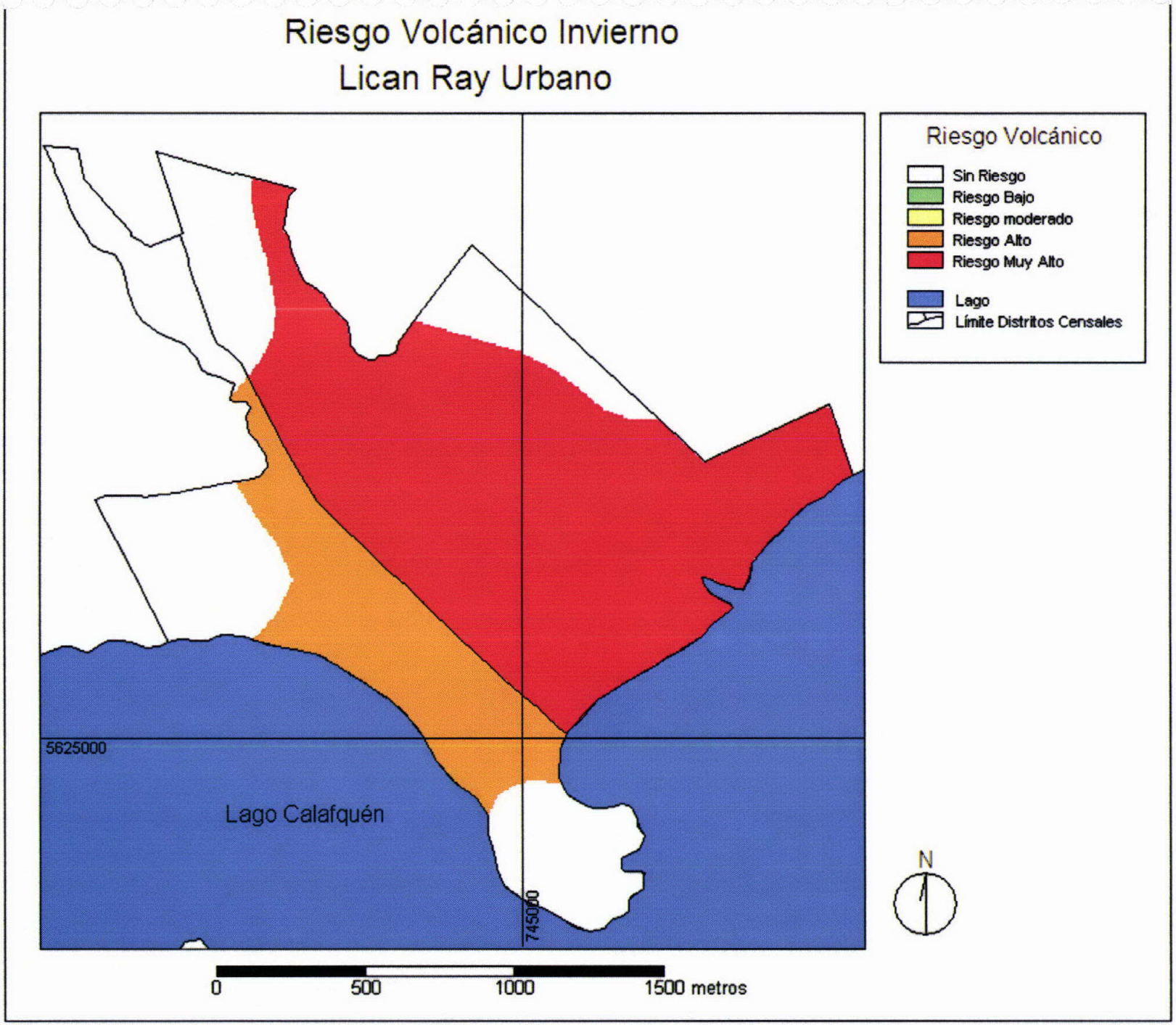
En el área rural de Pucón, los escenarios son muy similares y para ambos el mayor riesgo volcánico lo presentan los distritos censales Cementerio, Coilaco y Palguín (Mapas 84 y 85). Los tres distritos presentan valores altos de peligro volcánico, aunque el más afectado es Cementerio, y en cuanto a la vulnerabilidad, para el escenario de invierno los distritos Cementerio y Coilaco presentan vulnerabilidad física muy alta y Palguín presenta vulnerabilidad física alta. Para el escenario de verano, el distrito Cementerio presenta vulnerabilidad física muy alta y los distritos Palguín y Coilaco presentan vulnerabilidad física alta. Si bien el distrito Caburgua presenta una vulnerabilidad física muy alta en ambos escenarios, se encuentra casi completamente fuera del área de amenaza, por lo tanto su riesgo es menor.



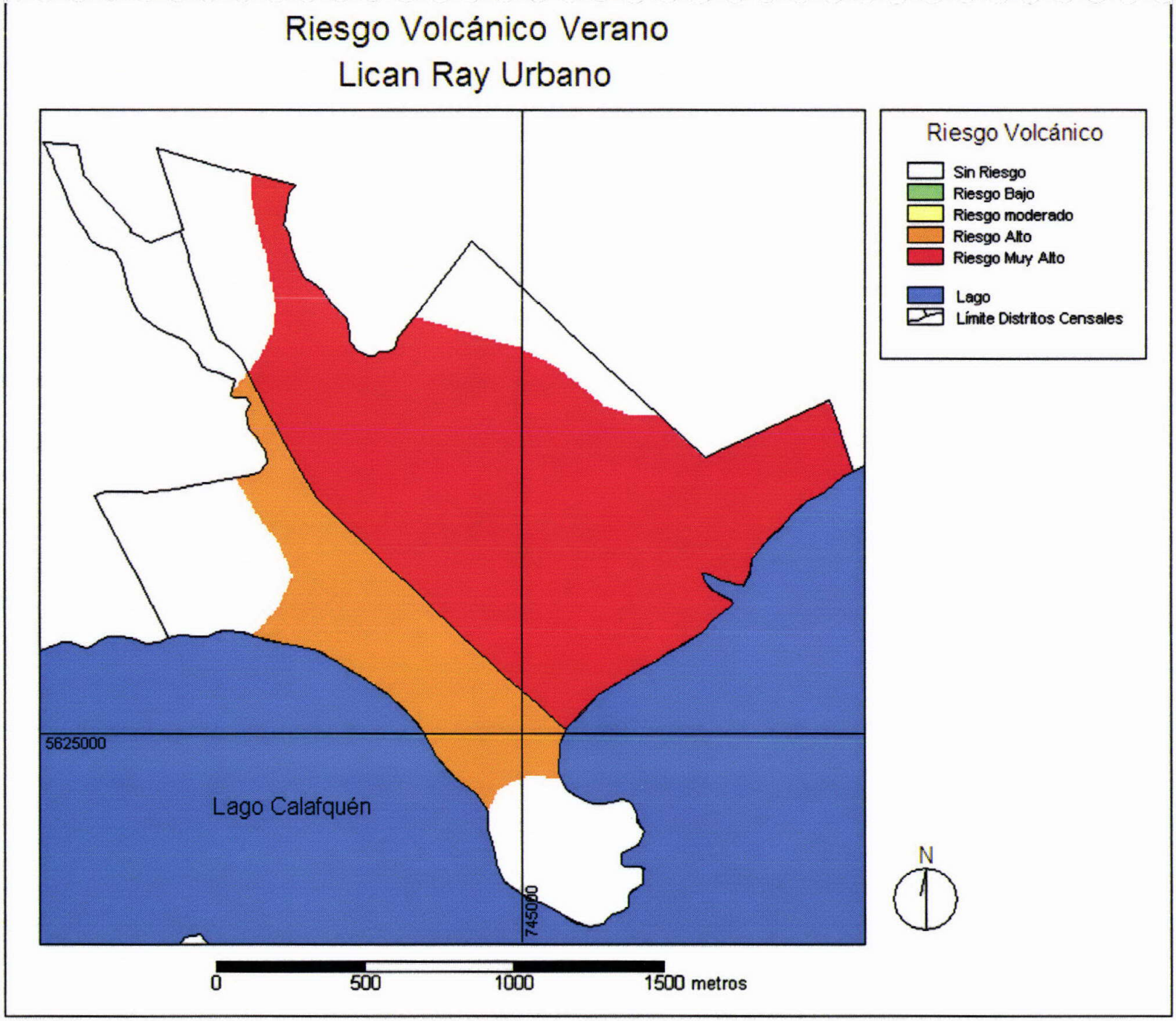
Mapa 76: Riesgo Volcánico Invierno Villarrica Urbano



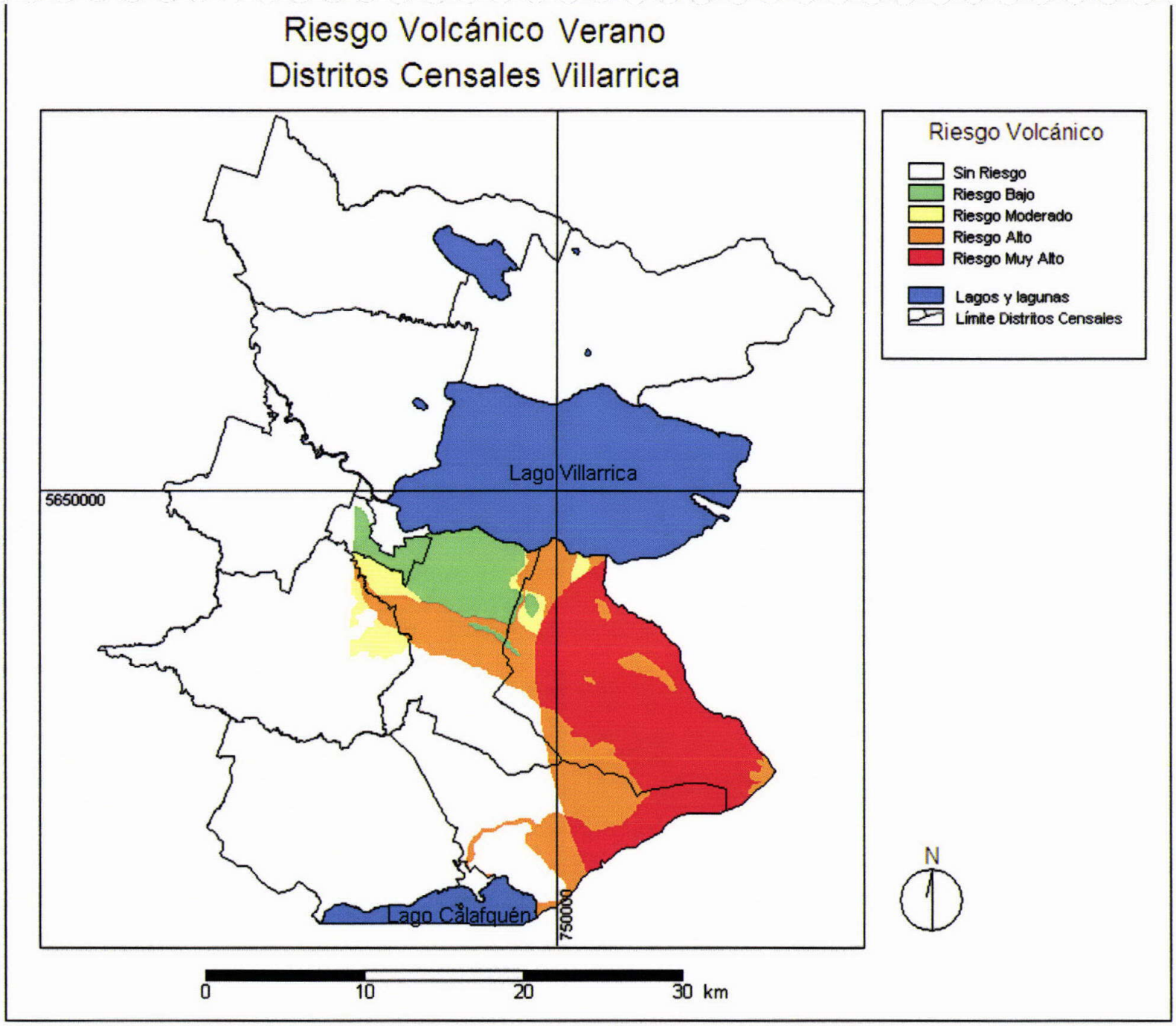
Mapa 77: Riesgo Volcánico Verano Villarrica Urbano



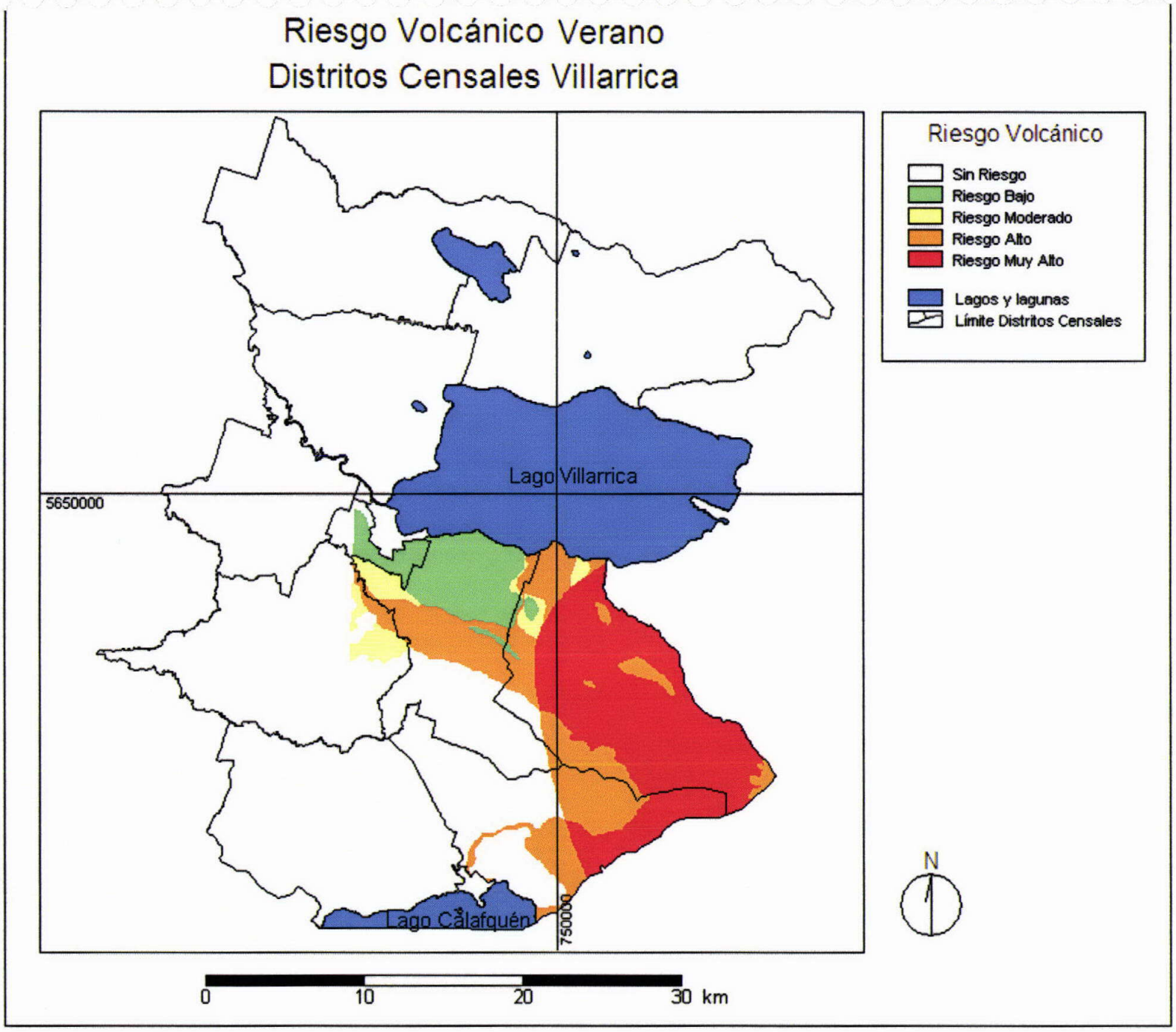
Mapa 78: Riesgo Volcánico Invierno Lican Ray Urbano



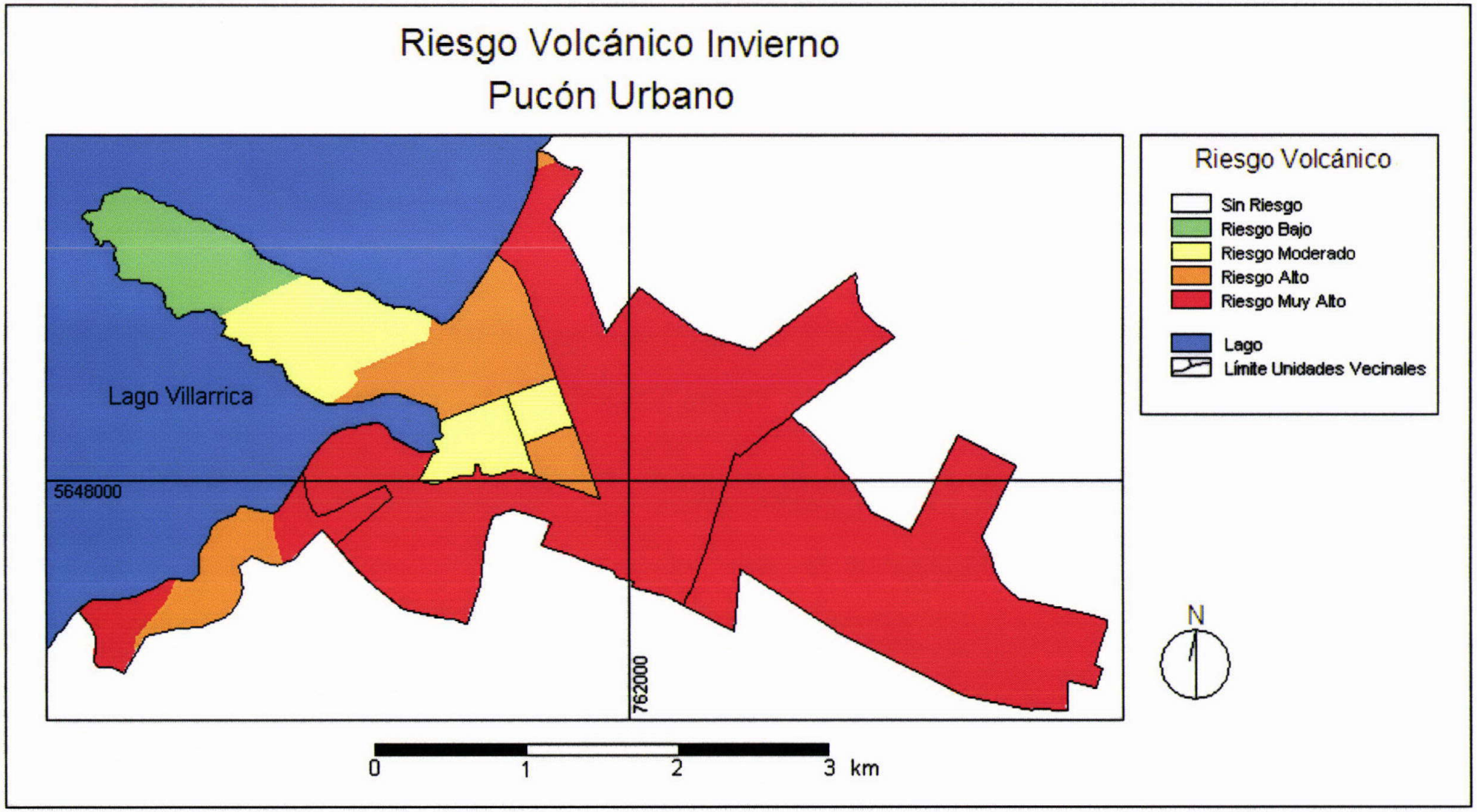
Mapa 79: Riesgo Volcánico Verano Lican Ray Urbano



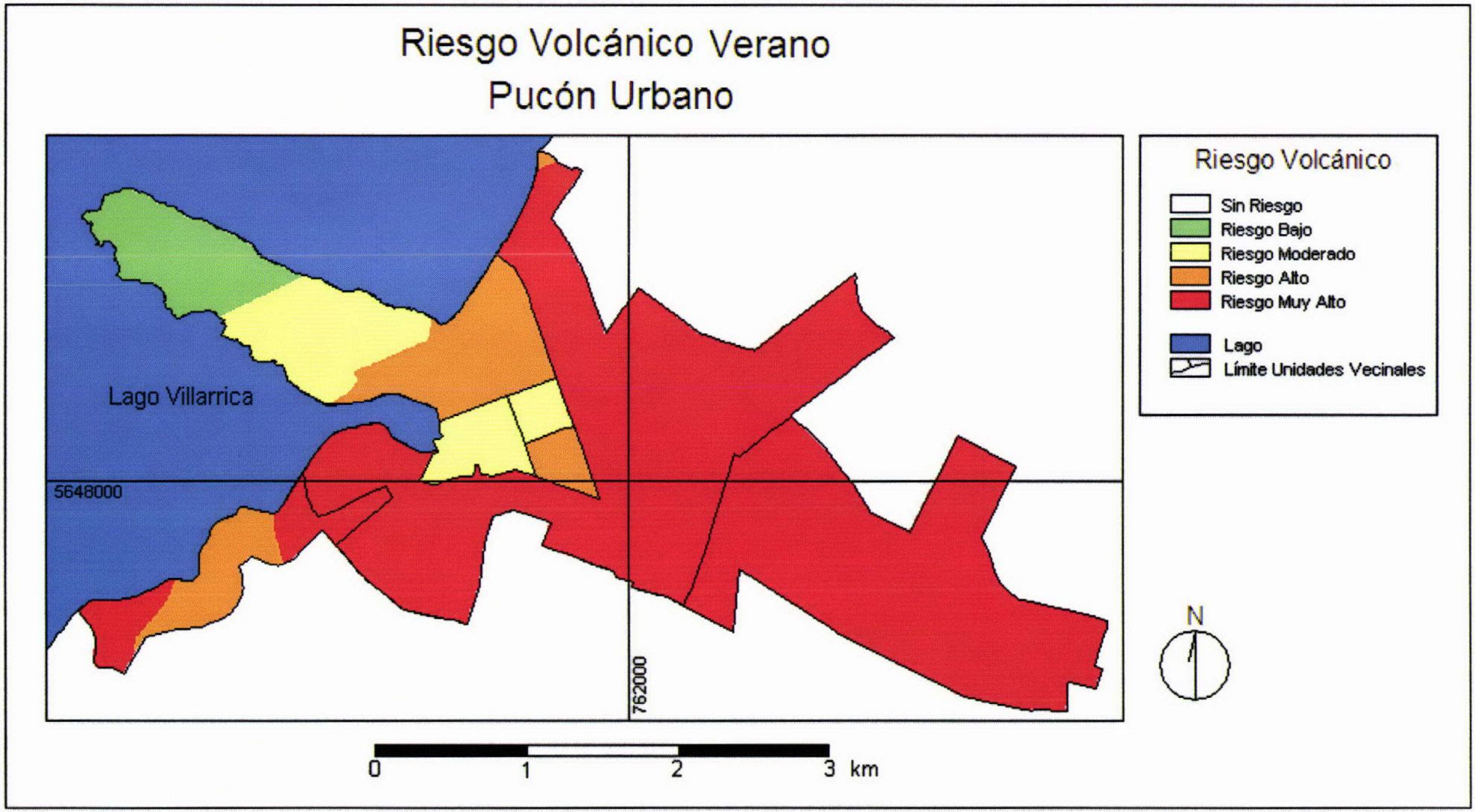
Mapa 80: Riesgo Volcánico Invierno Villarrica Rural



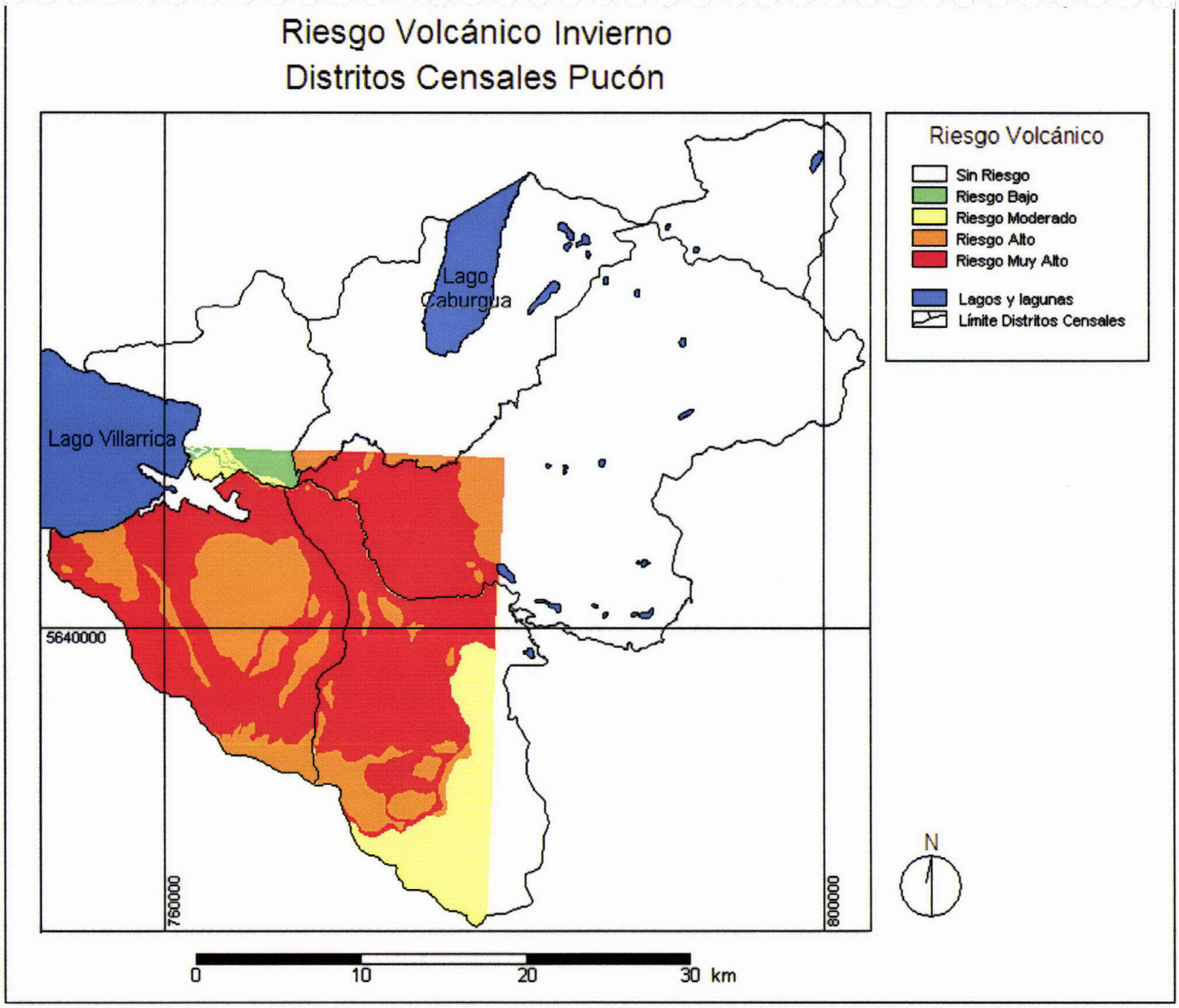
Mapa 81: Riesgo Volcánico Verano Villarrica Rural



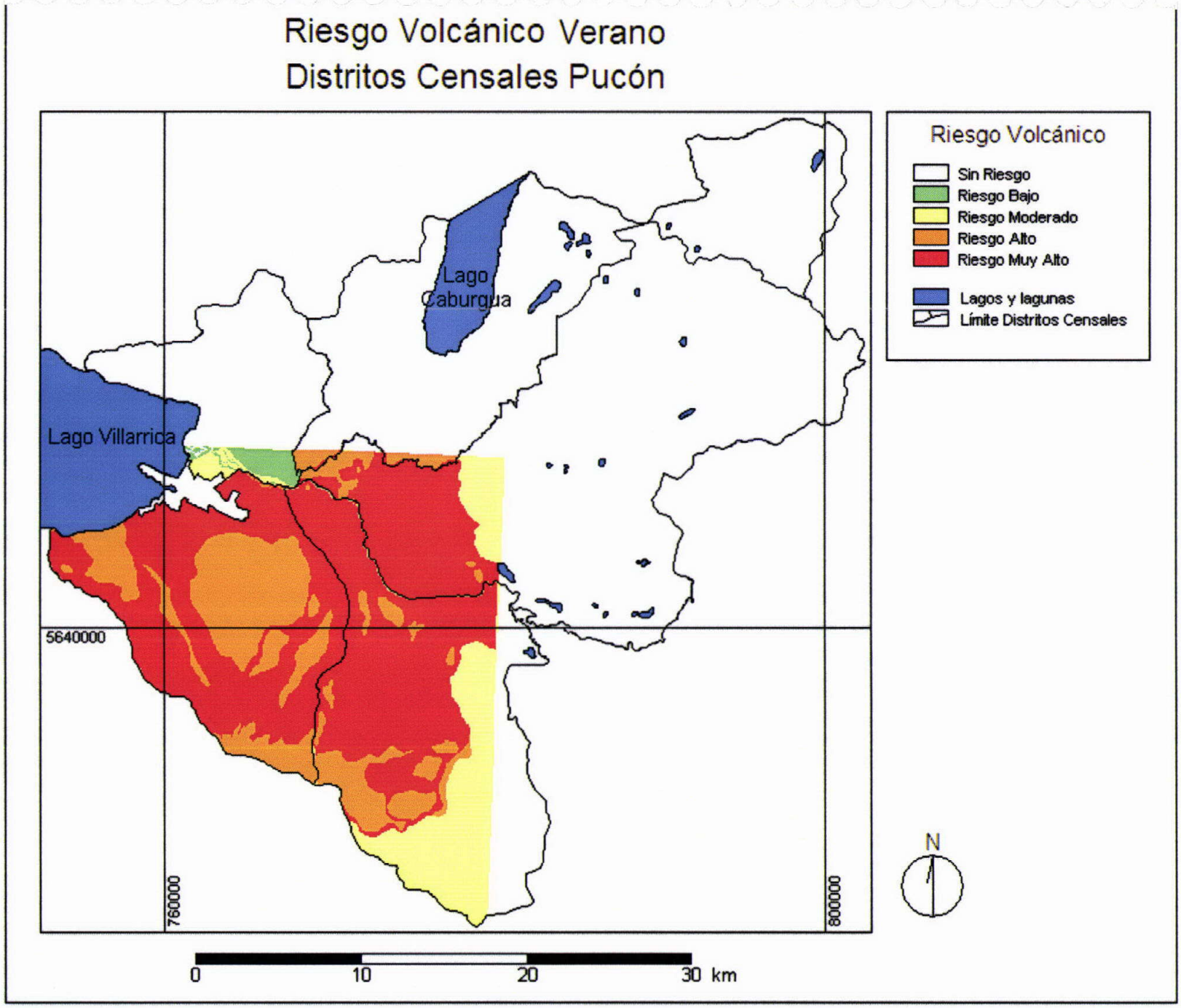
Mapa 82: Riesgo Volcánico Invierno Pucón Urbano



Mapa 83: Riesgo Volcánico Verano Pucón Urbano



Mapa 84: Riesgo Volcánico Invierno Pucón Rural



Mapa 85: Riesgo Volcánico Verano Pucón Rural

5.1.4. Propuesta de áreas seguras y orientación para la evacuación de la población

Una de las lecciones aprendidas luego de la erupción de este año del volcán Chaitén, es que es necesario contar con vías de evacuación expeditas para la población, y algún lugar que pueda recibir a esta población evacuada. Muchas veces los procesos volcánicos imposibilitan la vida en los sectores que afectan, debido a que cortan caminos, las redes de distribución de energía, las redes de comunicación, contaminan el agua potable, etc.

Es por esto, que de acuerdo a los resultados de la zonificación de riesgo volcánico, se realizó un diagnóstico para cada sub-área de estudio, de acuerdo a su situación de riesgo, identificando las vías de evacuación disponibles y las áreas potencialmente seguras.

En primer lugar, es necesario aclarar que el Mapa de Peligros del volcán Villarrica representa las áreas más probables de ser afectadas por una erupción, pero no representa necesariamente el peor escenario. Es por esto, que a pesar de que el área bajo la amenaza del volcán Villarrica no cubre completamente las comunas de Villarrica y Pucón, estas se consideraron completas en el cálculo de la vulnerabilidad física, de forma de contar con esos datos ante una posible emergencia.

El área urbana de Villarrica, presenta un riesgo alto debido a que concentra a la mayor parte de la población y los servicios de ambas comunas, pero es la que se encuentra mejor posicionada ante la amenaza volcánica. Esta área se encuentra en una zona de peligro bajo, y cercana al límite oeste del área de amenaza, por lo que la evacuación sería más expedita, al contar con el camino a Freire, que se encuentra fuera del área de amenaza. En Freire se conecta a la Ruta 5 Sur, desde donde es posible acceder a Temuco, capital regional, y a otras ciudades mayores, como Valdivia. También existe un camino a Loncoche, que conecta a la Ruta 5 Sur, desde donde es posible llegar a Valdivia. En este caso, las zonas seguras son las que se encuentran al norte y nor-oeste del área urbana, en los distritos Pedregoso y Voipir principalmente, donde también se encuentra el área urbana de Ñancul.

El caso del área urbana de Lican Ray es diferente, ya que el camino Lican Ray – Villarrica posee un tramo que cruza una zona de peligro alto, por lo que se podría ver afectado por una posible erupción. El camino que sale desde Lican Ray hacia Coñaripe está descartado ante una posible erupción, ya que se encuentra casi completamente bajo zonas de peligro alto y moderado e históricamente ha sido cortado por lavas y lahares. Un tercer camino es el que lleva a Panguipulli, el cual sí se encuentra fuera de la zona de amenaza, y desde donde es posible conectar a la Ruta 5 Sur. A través del camino Lican Ray – Villarrica también es posible conectar hacia Loncoche, pero esa vía no se encuentra pavimentada. Las áreas seguras en este caso, serían hacia el oeste, principalmente en el distrito Chesque y hacia el sur-oeste, en la región de Los Ríos.

El área rural de Villarrica presenta una condición más compleja, debido a que la principal vía en este sector, el camino Villarrica – Pucón se encuentra completamente bajo el área de amenaza, con numerosos esteros por los que descienden lavas y lahares, que potencialmente pueden cortar el camino. En el resto del área rural de Villarrica que se encuentra bajo la amenaza volcánica sólo

existen caminos secundarios, generalmente no pavimentados. En este caso es difícil determinar una vía expedita de evacuación, en especial para el distrito Loncotraro, que está completamente bajo el área de amenaza. Es por esto, que debieran existir obras de mitigación y refuerzo de las vías existentes, por ser las únicas posibilidades de evacuación. Las zonas seguras en esta área están principalmente hacia el oeste, en los distritos Chesque y Relún.

En el área urbana de Pucón la situación es aún más crítica, ya que todas las vías existentes cruzan por zonas de amenaza. La principal vía es la que conduce a Villarrica, por el borde sur del lago, la cual se encuentra en la desembocadura de diversos esteros, por donde suelen bajar lahares y lavas, siendo susceptible a cortes de puentes. Los caminos que llevan a Caburgua y Coñaripe (zonas fuera de la amenaza volcánica) cruzan por áreas de peligro alto, por lo que no son seguros ante una eventual evacuación. En este caso, las áreas seguras están hacia el norte, en el distrito La Península, y hacia el distrito Huilipilún Oriente, en la comuna de Villarrica, por lo que sería necesario evaluar una vía por el norte del lago Villarrica, que una las áreas urbanas de Villarrica y Pucón, por zonas que se encuentran fuera del área bajo la amenaza volcánica.

En cuanto al área rural de la comuna de Pucón, la situación es similar a la del área urbana, debido a que las vías disponibles son las mismas que fueron mencionadas para esa área, por lo tanto es necesario reforzar las pocas vías rurales existentes a través de obras de mitigación, ya que en esta área no existen vías que estén libres de la amenaza. En este caso, las zonas seguras también se encuentran al norte de la comuna, hacia los distritos La Península, Caburgua y Termas de Río Blanco, sin embargo, no existen vías expeditas que conduzcan hacia estas zonas, ni tampoco vías que conecten hacia el sur, a la región de Los Ríos.

También es necesario mencionar que la situación geográfica de ambas comunas impone barreras naturales ante la evacuación. En primer lugar, el mismo volcán es un obstáculo que dificulta la evacuación de las personas de la comuna de Pucón por el oeste y el sur-oeste. Esto se suma al hecho de que hacia el este se encuentra la cordillera de Los Andes, donde la única conexión importante es hacia Argentina, por el paso fronterizo Mamuil Malal. En algunos de los distritos rurales de ambas comunas el lago Villarrica también se impone como una barrera, al impedir la evacuación hacia el norte y hacia el oeste en Pucón, y en el caso del área urbana de Lican Ray y algunos de los distritos rurales de Villarrica, el lago Calafquén también constituye una barrera hacia el sur. Es por esto, que es necesario implementar, o reforzar vías alternativas que permitan una eventual evacuación, principalmente desde Pucón hacia el norte, ya que en ese sector no existe conectividad con el resto de la región.

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo realizado, se puede concluir que sí es posible generar una zonificación de riesgo volcánico a través de la identificación de factores que condicionan la vulnerabilidad física, y su diferenciación espacial. Sin embargo, es necesario considerar que esta zonificación no es la última palabra en términos de planificación, sino que representa sólo una simplificación de la realidad, y una primera aproximación en términos de la planificación de las áreas bajo la amenaza volcánica. Esto se debe a que sólo fueron considerados algunos de los factores que condicionan la vulnerabilidad. Es necesario también considerar los otros aspectos de la vulnerabilidad (sociales, económicos y ambientales) para lograr una visión más completa de los escenarios de riesgo volcánico.

En cuanto a los resultados, es posible afirmar que existe una diferenciación espacial del riesgo, encontrándolo en sus diferentes niveles en las distintas sub-áreas consideradas en el estudio, debido a que cada una de ellas presenta diferentes condiciones de vulnerabilidad y diferente exposición frente a la amenaza volcánica. También en algunas de las sub-áreas es posible considerar una diferenciación temporal del riesgo, al determinar un peor escenario dependiendo de la época del año en que ocurra la erupción.

En el área urbana de Villarrica, el peligro es bajo, por lo que el riesgo se ve condicionado principalmente por la población y la infraestructura del lugar, por ser una ciudad consolidada e importante a nivel regional. Esto también se confirma al considerar que su vulnerabilidad es mayor en invierno, cuando la ciudad recibe a una cantidad importante de alumnos desde los sectores rurales, e incluso, de Pucón.

En el área urbana de Lican Ray, el peligro es alto, debido a que se encuentra en la desembocadura del estero Melilahuén, vía de desagüe de lahares. Sin embargo, sus niveles de vulnerabilidad podrían considerarse menores que los del área urbana de Villarrica, al ser un área urbana menor, que no concentra grandes cantidades de población en ninguna época del año.

El área rural de Villarrica cuenta con sectores de alto peligro volcánico, por encontrarse en los faldeos del volcán. Además en verano presenta su peor escenario, al concentrar gran parte del turismo de la comuna. Sin embargo, la población estable de esta área es menor, por ser un área rural.

El área urbana de Pucón se encuentra principalmente en zonas de alto peligro, y presenta además una alta vulnerabilidad todo el año. Es un área urbana consolidada, con actividad importante durante el año, pero también aumenta su población flotante considerablemente en la época estival, constituyendo un polo de atracción turístico importante. A esto se debe sumar que ante una eventual evacuación, el área urbana de Pucón se encuentra en una situación bastante desfavorable, por lo que se podría afirmar que de las cinco sub-áreas analizadas es la que presenta el mayor riesgo.

El área rural de Pucón también cuenta con un área importante bajo zonas de peligro alto, pero al ser un área rural no concentra altos niveles de población ni

infraestructura. Sin embargo, presenta un peor escenario en verano, debido a los atractivos turísticos que posee. Esta área también presenta serios problemas en la evacuación de la población.

De todas formas es necesario mencionar que la estación del año en que se produzca una eventual erupción también tiene otras implicancias, ya que a fines de invierno y principios de primavera, la amenaza es mayor, debido a que la acumulación de nieves en el cono volcánico aumenta en esa época y es susceptible a derretirse con el calor y formar lahares de mayor envergadura.

Aun queda mucho por hacer en términos de mitigación y prevención frente a la amenaza volcánica, ya que en este trabajo se pudo comprobar que no existen las vías necesarias para una evacuación eficaz de la población. Si bien existen planes de emergencia, estos no siempre son adecuados, como en el caso de la comuna de Pucón, el cual se enfoca principalmente al área urbana de la comuna y sólo se considera la evacuación hacia áreas seguras dentro de ésta área urbana, que se encuentra bajo la amenaza, y no considera la evacuación fuera de la zona de amenaza ni identifica las vías para este fin.

Como una forma importante de disminuir el riesgo, además de las obras de mitigación, se debe instruir a la población, educando sobre la amenaza volcánica e informando sobre los planes de acción frente a una eventual emergencia.

Es necesario hacer un llamado a las autoridades a incluir en los Planes Reguladores Comunales y Planes de Desarrollo Local, las áreas bajo amenaza y las vías de evacuación, para así no mermar el desarrollo de las comunas. Es importante trabajar en pos de un desarrollo sustentable, de manera de no hipotecar el futuro de la población, frente a los fenómenos naturales, ya que disminuir la vulnerabilidad es una tarea completamente realizable, a través de un correcto desarrollo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Quesada, J., López-Blanco, J., Martín del Pozzo, A., 2006, Determinación de Peligros Volcánicos Aplicando Técnicas de Evaluación MultiCriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 23, Nº 2, p. 113-124. México.
- Aceves-Quesada, J., Díaz-Salgado, J., López-Blanco, J., 2007, Vulnerability Assessment in a Volcanic Risk Evaluation in Central Mexico through a Multi-Criteria-GIS Approach. Natural Hazards, Nº40, p. 339-356.
- Araña, V. y Ortiz, R. 1993, Riesgo Volcánico. En: La Volcanología Actual. (Araña, V., Marti, J: Editores), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 277 – 385. España.
- Ayala, F. y Olcina, J. 2002, Riesgos Naturales, Editorial Ariel, España.
- Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio. RA-MA Editorial. España.
- Blong, R. 1996. Volcanic Hazards Risk Assessment. En: Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. (Scarpa, R., Tilling, R.: Editores). Editorial Spinger – Verlag Berlin Heidelberg. Estados Unidos.
- Calder, E., Harris, A., Peña, P., Pilger., Flynn, L., Fuentealba, G., Moreno, H. 2004, Combined Termal and Seismic Análisis of the Villarrica Volcano Lava Lake, Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 31, Nº2, p. 259-272.
- Calvo, F. 1984, La geografía de los riesgos, Geo-crítica, 54: 16p. España.
- Chen, K., Blong, R., Jacobson, C. 2001. MCE-RISK: Integrating Multicriteria Evaluation and GIS for Risk Desicion-Making in Natural Hazards. Environmental Modelling & Software Nº16. p. 387 – 387.
- Comisión Económica para Latinoamérica y El Caribe (CEPAL). 2005. El Impacto de los Desastres Naturales en el Desarrollo: Documento Metodológico Básico para Estudios de Caso.
- Departamento de Protección Civil y Social, Gobierno Interior Intendencia Región de la Araucanía, Republica de Chile. 2004, Plan Regional de Protección Civil. Chile.
- Emparán, C. 1980, Áreas Sometidas a Riesgos Naturales en la Zona Villarrica-Pucón. Revista Geológica de Chile Nº9, p. 27-35. Chile.
- Gómez-Fernández, F. 2000, Contribution of Geographical Information Systems to the Management of Volcanic Crises. Natural Hazads, Nº21, p. 347-360.
- González-Ferrán, O. 1972, Distribución del Volcanismo Activo de Chile y la Reciente Erupción del Volcán Villarrica. Documento presentado en Primer Symposium Cartográfico Nacional, p. 191-207. Chile.
- Gould, M., Gutiérrez, J. 1994. SIG: Sistemas de Información Geográfica. Editorial Síntesis. España.
- Ilustre Municipalidad de Villarrica, 2006, [online]. Recuperado el 20 de septiembre de 2006, de www.villarrica.org.
- Instituto Geográfico Militar (IGM), 1985, Geografía de Chile, Tomo IX Región de La Araucanía, vol. 31, IGM, Chile.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Censo 2002 [online]. Recuperado el 28 de marzo de 2006, de www.censo2002.cl.
- Lirer, L., Vitelli, L. 1998, Volcanic Risk Assessment and Mapping in the Vesuvian Area Usign GIS. Natural Hazards, Nº17, p. 1-15.
- Mena, C., Fajardo, J., Ormazábal, Y., 2006, Modelación Espacial mediante Geomática y Evaluación MultiCriterio para la Ordenación Territorial. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapacá, vol. 14, Nº 1, p. 81-89. Chile.

- Moreno, H. 1993, Geología y Evaluación del Riesgo Volcánico, Regiones IX y X. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.
- Moreno, H. 1997. Riesgo Volcánico y Mitigación: Procesos y Peligros. En: Seminario Riesgo Volcánico para Medios de Comunicación Social, p. 1-9.
- Moreno, H. 2000. Mapa de Peligros del Volcán Villarrica Escala 1 : 75000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.
- Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (ONEMI). 2002. Plan Nacional de Protección Civil. Decreto Supremo 156, del 12 de marzo de 2002. Chile.
- Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (ONEMI). 2009. Marco Conceptual en Protección Civil. Programa de Formación Profesional en Protección Civil. Chile.
- Ortiz, R. 2000, Riesgo Volcánico. En: Astiz, M. y García, A. (Editores), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica, Servicio de Publicaciones Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote, p. 371-386. España.
- Pareschi, M.T., Cavarra, L., Favalli, M., Giannini, F., Meriggi, A. 2000, GIS and Volcanic Risk Management. Natural Hazards, Nº21, p. 361-379.
- Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2004. Vivir con el Riesgo: Informe Mundial sobre las iniciativas para la reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU)
- Tilling, R. 1999, Volcanoes, United Status Geological Survey, General Interest Publications, Estados Unidos.