

Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana

LICITACIÓN PÚBLICA ID: 611134-6-LE19

Informe final

13 de enero, 2020





GeoAdaptive es una consultora internacional enfocada en proveer servicios en distintas áreas ligadas al desarrollo inclusivo y sustentable de territorios, comunidades y organizaciones. Se especializa en analizar y resolver problemas ambientales, sociales y económicos complejos. En este proceso, y para proveer soluciones, integra análisis avanzados e inteligencia territorial junto con creatividad y diseño.

Nos enfocamos en el desarrollo de análisis, planes y estrategias territoriales sostenibles y anticipatorias. Nuestra aproximación permite optimizar la utilización de recursos en gobernanzas territoriales, diseñar soluciones y estrategias de desarrollo e inversión en sintonía con dinámicas espaciales y sus tendencias, implementar los sistemas de gestión necesarios para generar cambios y proveer soporte para procesos de participación y toma de decisión que sean adaptables a incertidumbres y contingencias futuras.

Integramos en un solo flujo de trabajo, la investigación con el uso de tecnologías geoespaciales y de información geográfica, métodos avanzados de modelación y análisis de datos y desarrollo de soluciones en forma de planes, proyectos y políticas. Esto facilita la incorporación de inteligencia en la gestión de territorios desde el entendimiento del problema hasta la implementación de soluciones en las gobernanzas locales. El resultado permite empoderar la toma de decisiones en nuestros clientes, reduciendo el riesgo y maximizando oportunidades de crecimiento inteligente e inclusivo.

Contacto

Santa Beatriz 170, Of. 1102
Providencia, Santiago

tel: +569 92334237
web: www.geoadaptive.com
email: fsciaraffia@geoadaptive.com

Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana

LICITACIÓN PÚBLICA ID: 611134-6-LE19

Informe final



Elaborado por GeoAdaptive Consultores Ltda.
13 de enero, 2020

Subsecretaría del Medio Ambiente
SEREMI del Medio Ambiente Región Metropolitana

Índice

01 Antecedentes previos	12
1.1 Marco metodológico general del estudio	14
1.2 Amenazas climáticas para la Región Metropolitana en el contexto institucional y académico	14
Marco nacional	14
Marco regional	15
1.3 Síntesis de la información revisada para la identificación de amenazas en la región metropolitana	16
1.4 Información espacial disponible según amenazas	18
Inundación	18
Remoción en masa	19
Incendio forestal	22
Sequía	25
Ola de Calor	25
1.5 Aspectos metodológicos para la caracterización de las amenazas	26
Generalidades	26
Inundación	26
Remoción en masa	26
Incendio forestal	26
Sequía	27
Ola de Calor	28
02 Caracterización de amenazas climáticas para la Región Metropolitana de Santiago	30
2.1 Inundación	32
Eventos de inundación en la Región Metropolitana 1990-2014	32
Distribución espacial de la amenaza	34
Porcentaje de superficie comunal amenazada por peligro de inundación	35
2.2 Remoción en masa	38
Eventos de remoción en masa en la Región Metropolitana 1990-2014	38
Distribución Espacial de la amenaza	40
Porcentaje de superficie comunal amenazada por remoción en masa	41
2.3 Incendios forestales	44
Eventos de incendio en la Región Metropolitana 1990-2018	45
Distribución espacial de los eventos de incendio forestal	46
Amenaza de incendio forestal: Susceptibilidad de propagación	48
Porcentaje de superficie comunal susceptible de propagación de incendio forestal	50
2.4 Sequía	54
Decretos de Zonas de Escasez	54
Sequía meteorológica	56

Sequía hidrológica	64
2.5 Ola de calor	66
Eventos de ola de calor en la Región Metropolitana 1990-2018	66
Distribución espacial de la amenaza	67
Temperatura superficial en la RM	68
Temperatura superficial comunal	70
Temperatura atmosférica	72
03 Síntesis de amenazas y análisis de exposición	78
3.1 Antecedentes	80
3.2 Forma general del riesgo	80
3.3 Índice de amenaza climática general	80
Resultados del índice de amenaza climática general	82
3.4 Índice de exposición	84
Exposición de la población	84
Exposición de la infraestructura: instalaciones esenciales	85
04 Análisis de vulnerabilidad	88
4.1 Antecedentes	90
4.2 Índice de vulnerabilidad climática general	90
Índices preliminares de vulnerabilidad	90
Construcción del Índice de vulnerabilidad general	92
05 Análisis de riesgo	94
5.1 Antecedentes	96
Construcción del Índice de riesgo climático	96
5.2 Índice de riesgo climático por amenaza	96
Inundación	96
Remoción en Masa	96
Incendio Forestal	98
Sequía	98
Ola de calor	98
5.3 Índice de riesgo climático general	100
Distribución subcomunal del riesgo	100
Distribución regional del riesgo	101

5.4 Tendencia de cambio climático	104
Modelos de cambio climático futuro	104
Implicancias del cambio climático para el riesgo	105
5.5 Sistema de información: una herramienta para el riesgo climático	107
06 Interdependencias entre sectores	114
6.1 Antecedentes	116
6.2 Identificación de sectores y sistemas	116
6.3 Impactos potenciales por amenazas climáticas en sectores y sistemas	117
Impactos por amenaza de inundación	118
Impactos por amenaza de remoción en masa	119
Impactos por amenaza de incendio forestal	120
Impactos por amenaza de sequía	121
Impactos por amenaza de ola de calor	124
Resumen de las relaciones de impacto	125
6.5 Identificación de interdependencias	125
Matriz de evaluación participativa –en línea– de interdependencias	126
Diagramas de interdependencias principales	132
Porcentaje de superficie comunal amenazada por remoción en masa	41
07 Indicadores de capacidad adaptativa	136
6.1 Antecedentes	138
6.2 Construcción de indicadores	138
Referencias	154
Anexo I: Listado de datos geoespaciales	160
Anexo II: Campos de atributos para indicadores de capacidad adaptativa	161

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco

Índice de figuras

Figura 1. Estructura general del marco metodológico propuesto. En color se indica lo que corresponde a la primera etapa (Obj. 1 y 2). Fuente: GeoAdaptive.	20
Figura 2. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.	32
Figura 3. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.	33
Figura 4. Ejemplo de error en datos IPE. La Fila 2, columna D muestra un valor fuera de los límites del indicador. El método de corrección consistió en generar patrones de error según posición decimal, a partir del análisis de la situación de sequía meteorológica e hidrológica publicada en línea según periodo, con lo que el ejemplo anterior podría corregirse a -0,112588. Fuente: GeoAdaptive.	34
Figura 5. Referencia espacial para indicador IPE en el Observatorio Agronómico. Con esta información se realizó la revisión cruzada según período, permitiendo corregir los valores erróneos en las tablas de datos para IPE e ICE. Fuente: Observatorio Agronómico.	34
Figura 6. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.	34
Figura 7. Modelo analítico para calcular la “Temperatura superficial Región Metropolitana” (T_S_RM). Fuente: GeoAdaptive en base a (Avdan & Jovanovska, 2016).	34
Figura 8. Registro de eventos asociados a inundaciones 1990-2014. Fuente: GeoAdaptive en base a DesInventar.	38
Figura 9. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).	40
Figura 10. Mapa de superficie comunal con peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).	41
Figura 11. Ranking comunal según % de superficie amenazada por peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive.	42
Figura 12. Registro de eventos asociados a remoción en masa 1991-2017. Fuente: GeoAdaptive en base a ONEMI con datos de SERNAGEOMIN.	44
Figura 13. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).	46
Figura 14. Mapa de superficie comunal con peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).	47
Figura 15. Ranking comunal según % de superficie amenazada por peligro de inundación de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive.	49
Figura 16. Incendios forestales según causa general. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.	50
Figura 17. Incendios forestales de gran magnitud según causa general. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.	50
Figura 18. Incendios forestales 2014-2016 según superficie afectada. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.	51
Figura 19. Eventos según magnitud para los años 2014-15-16. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF disponibles en la IDE.(GORE,2003).	53
Figura 20. Mapa de eventos de incendio forestales según magnitud de superficie afectada para los años 2015-16-17. Fuente: GeoAdaptive en base a datos geoespaciales de CONAF disponibles en la IDE.	53
Figura 21. Mapa original de susceptibilidad de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.	54

Figura 22. Mapa simplificado de susceptibilidad de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.	55
Figura 23. Mapa de superficie comunal con alta susceptibilidad de propagación de incendio forestal Fuente: GeoAdaptive.	56
Figura 24. Mapa de superficie comunal con susceptibilidad media de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive	57
Figura 25. Ranking porcentaje de superficie comunal con susceptibilidad de propagación alta. Fuente: GeoAdaptive.	58
Figura 26. Decretos de escasez por año período 2008-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DGA.	61
Figura 27. Mapa de frecuencia de años con algún grado de sequedad (IPE 48 meses -0,5 a -2) por comuna, período 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a Observatorio Agroclimático.	62
Figura 28. Mapa de frecuencia de años moderadamente secos y secos (IPE 48 meses -1 a -2) por comuna, período 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a Observatorio Agroclimático.	63
Figura 29. Evolución del valor mensual (meses entre abril y agosto) del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE 48) por comuna entre 1990-2019. Los valores en el eje "y" son los rangos utilizados para establecer condiciones de sequía. El gráfico permite visualizar los patrones temporales de sequía extendida (rango -0,5 a -2). Fuente: GeoAdaptive en base revisados a datos del Observatorio Agroclimático.	66
Figura 30. Registro del déficit y superávit al mes de diciembre para tres estaciones pluviométricas de la Región Metropolitana. Para el 2019, los datos corresponden al mes más reciente (septiembre). Fuente: GeoAdaptive en base a boletines de la DGA.	70
Figura 31. Registro del Índice de Caudales Estandarizado 2007-2017 en tres puntos según proximidad a estaciones representativas. Fuente: GeoAdaptive en base a datos del Observatorio Agroclimático.	71
Figura 32. Eventos de Olas de calor para la estación Quinta normal entre 1990 y 2018. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DMC.	73
Figura 33. Mapa Temperatura Superficial. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).	74
Figura 34. Mapa Temperatura Superficial promedio según uso de suelo. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017) y Catastro de uso de suelo y vegetación región Metropolitana (CONAF 2013).	75
Figura 35. Mapa Temperatura Superficial promedio según comuna. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).	76
Figura 36. Ranking Temperatura Superficial promedio según comuna. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).	77
Figura 37. Isotermas. Temperatura máxima atmosférica. Fuente: GeoAdaptive a partir de datos CR2.	78
Figura 38. Temperatura máxima atmosférica por estación meteorológica. Fuente GeoAdaptive a partir de datos CR2.	79
Figura 39. Estructura general del marco metodológico propuesto. En color se indican los objetivos de la segunda etapa. Fuente: GeoAdaptive.	82
Figura 40. Índice normalizado de amenaza de inundación. Fuente: GeoAdaptive.	84
Figura 42. Índice normalizado de de remoción en masa Fuente: GeoAdaptive.	84
Figura 44. Índice normalizado de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.	84
Figura 41. Índice normalizado de amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.	84
Figura 43. Índice normalizado de amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.	84
Figura 45. Mapa del índice de amenaza climática general para la Región Metropolitana Fuente: GeoAdaptive.	85
Figura 46. Porcentaje de población comunal expuesta a índice de amenaza alto y muy alto. Fuente: GeoAdaptive.	87

Figura 47. Cantidad de instalaciones expuestas según categoría de amenaza a nivel regional. Fuente: GeoAdaptive.	88
Figura 48. Porcentaje de instalaciones esenciales comunales expuestas a índice de amenaza alto y muy alto. Fuente: GeoAdaptive.	88
Figura 49. Índice de exposición de población. Fuente: GeoAdaptive.	89
Figura 50. Instalaciones esenciales expuestas. Fuente: GeoAdaptive.	89
Figura 51. Variables físicas y humanas para el cálculo del índice preliminar de vulnerabilidad para amenazas de inundación, remoción en masa, incendio y ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.	93
Figura 52. Construcción del índice de vulnerabilidad general. Fuente: GeoAdaptive.	94
Figura 53. Mapa del índice de vulnerabilidad general frente a amenazas climáticas. Fuente: GeoAdaptive.	95
Figura 54. Índice de riesgo para amenaza de Inundación. Fuente: GeoAdaptive.	99
Figura 55. Índice de riesgo para amenaza de Remoción en Masa. Fuente: GeoAdaptive.	99
Figura 56. Índice de riesgo para amenaza de Incendio Forestal. Fuente: GeoAdaptive.	100
Figura 57. Índice de riesgo para amenaza de Sequía. Fuente: GeoAdaptive.	101
Figura 58. Índice de riesgo para amenaza de Ola de Calor. Fuente: GeoAdaptive.	101
Figura 59. Porcentaje de superficie comunal en riesgo alto y muy alto Fuente: GeoAdaptive.	102
Figura 60. Mapa de riesgo climático general para la Región Metropolitana. Fuente: GeoAdaptive.	103
Figura 61. Mapa con promedio comunal del índice de riesgo climático. Fuente: GeoAdaptive.	105
Figura 62. Diferencia temp. Futuro cercano. Fuente: GA con datos de CR2.	106
Figura 63. Diferencia temp. Futuro intermedio. Fuente: GA con datos de CR2.	106
Figura 64. Diferencia temp. Futuro lejano. Fuente: GA con datos de CR2.	106
Figura 65. Dif. precipitación. Futuro cercano. Fuente: GA con datos de CR2.	107
Figura 66. Dif. precipitación. Futuro intermedio. Fuente: GA con datos de CR2.	107
Figura 67. Diferencia precipitación. Futuro lejano. Fuente: GA con datos de CR2.	107
Figura 68. Variación de precipitación anual y temperatura media estival al 2050. Geoadaptive en base a INFODEP-MMA (2016).	108
Figura 69. Estructura del sistema de información para el riesgo climático. Fuente: GeoAdaptive.	109
Figura 70. Ejemplo local para índice de amenaza climática general. Fuente: GeoAdaptive.	111
Figura 71. Ejemplo local para índice de exposición Fuente: GeoAdaptive.	111
Figura 72. Ejemplo local para exposición de infraestructura esencial. Fuente: GeoAdaptive.	112
Figura 73. Ejemplo local para índice de vulnerabilidad general. Fuente: GeoAdaptive.	112
Figura 74. Ejemplo local para índice de riesgo climático general. Fuente: GeoAdaptive.	113
Figura 75. Ejemplo local para índice de riesgo según amenaza (5 amenazas). Fuente: GeoAdaptive.	114
Figura 76. Impactos potenciales por amenaza de inundación pluvial/fluviol. Fuente: GeoAdaptive.	120
Figura 77. Impactos potenciales por amenaza de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive.	121

Figura 78. Impactos potenciales por amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.	122
Figura 79. Impactos potenciales por amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.	123
Figura 80. Idoneidad para la actividad vitivinícola. El recuadro "B" corresponde a Chile central. En rojo se observan las áreas actuales idóneas y que perderán su condición hacia el 2050. Se observa que habrá una transición en dirección sur de las zonas idóneas para viñedos. Fuente: Hannah et al. 2013.	124
Figura 81. Variación de acumulación máxima de nieve por cambios de temperatura. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.	124
Figura 82. Variación de acumulación máxima de nieve por cambios en precipitaciones. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.	125
Figura 83. Variación de duración de la capa nival por cambios en temperaturas. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.	125
Figura 84. Variación de duración de la capa nival por cambios en precipitaciones. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.	125
Figura 85. Impactos potenciales por amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.	126
Figura 86. Diagrama de resumen de las relaciones entre sistemas y las amenazas que podrían generar impactos en estos. Fuente: GeoAdaptive.	127
Figura 87. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de inundación. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.	129
Figura 88. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.	130
Figura 89. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.	131
Figura 90. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.	132
Figura 91. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.	133
Figura 92. Diagrama de interdependencias sector abastecimiento de agua y servicios sanitarios. Fuente: GeoAdaptive.	134
Figura 93. Diagrama de interdependencias sector generación y distribución de energía. Fuente: GeoAdaptive.	135
Figura 94. Diagrama de interdependencias sector transporte. Fuente: GeoAdaptive.	135
Figura 95. Capacidad adaptativa. Dimensión: Ambiental. Áreas verdes con mantenimiento m2/habitante. Fuente: GeoAdaptive.	140
Figura 96. Capacidad adaptativa. Dimensión: Ambiental. Superficie comunal protegida (áreas naturales). Fuente: GeoAdaptive.	141
Figura 97. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Fase de certificación SCAM. Fuente: GeoAdaptive.	142
Figura 98. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Año formulación último PLADEC. Fuente: GeoAdaptive.	143
Figura 99. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Año de aprobación del PRC vigente. Fuente: GeoAdaptive.	144
Figura 100. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Existencia de ordenanza de participación ciudadana. Fuente: GeoAdaptive.	145
Figura 101. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Monto aprobado total Programa Mejoramiento Urbano. Fuente: GeoAdaptive.	146
Figura 102. Capacidad adaptativa. Dimensión: Infraestructura y Equipamiento. Población comunal con acceso a servicios básicos. Fuente: GeoAdaptive.	147
Figura 103. Capacidad adaptativa. Dimensión: Infraestructura y Equipamiento. Viviendas con calidad aceptable. Fuente: GeoAdaptive.	148

Figura 104. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Población >12 años que participa en orgaizaciones sociales. Fuente: GeoAdaptive.	149
Figura 105. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Población que usa internet 1 vez por semana o más. Fuente: GeoAdaptive.	150
Figura 106. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Promedio del ingreso monetario mensual del hogar. Fuente: GeoAdaptive.	151
Figura 107. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Años de escolaridad promedio personas >25 años. Fuente: GeoAdaptive.	152

Índice de tablas

Tabla 1. Objetivos específicos del estudio. En color se indican los objetivos abordados en la primera etapa del estudio. Fuente: GeoAdaptive.	20
Tabla 2. Síntesis de información recopilada y solicitada. Fuente: GeoAdaptive.	23
Tabla 3. Combustible según tipo de vegetación. Fuente: GeoAdaptive en base a (Koller, 1982).	33
Tabla 4. Categorías de pendiente. Fuente: GeoAdaptive en base a (CONAF, 2013)	33
Tabla 5. Número de eventos registrados por comuna y año. Fuente: GeoAdaptive en base a DesInventar.	39
Tabla 6. Superficie comunal amenazada por peligro de inundación alto, medio y bajo. La superficie se expresa en porcentaje del área total de cada comuna. Fuente: GeoAdaptive.	42
Tabla 7. Número de eventos de remoción en masa registrados por comuna y año desde 1991-2017. Fuente: GeoAdaptive en base a ONEMI con datos de SERNAGEOMIN.	45
Tabla 8. Superficie comunal amenazada por peligro de remoción en masa. La superficie se expresa en porcentaje del área total de cada comuna. Fuente: GeoAdaptive.	48
Tabla 9. Eventos de incendio forestal registrados entre 2014 y 2017 según comuna. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.	52
Tabla 10. Decretos de escasez hídrica entre 2008 y 2019. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DGA.	61
Tabla 11. Promedio período abril-agosto del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE 48) por comuna entre 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a datos revisados del Observatorio Agroclimático.	64
Tabla 12. Estaciones meteorológicas utilizadas. Fuente: GeoAdaptive.	73
Tabla 13. Objetivos abordados en la segunda etapa. Fuente: GeoAdaptive.	82
Tabla 14. Tabla de clases y rangos para amenazas. Fuente: GeoAdaptive.	83
Tabla 15. Porcentaje de área comunal bajo multiamenaza. Fuente: GeoAdaptive.	86
Tabla 16. Tipos de IE y sus fuentes de información. Fuente: GeoAdaptive.	87
Tabla 17. Variables utilizadas para el cálculo de la vulnerabilidad. Fuente: GeoAdaptive.	92
Tabla 18. Variables utilizadas para el cálculo de la vulnerabilidad. Fuente: GeoAdaptive.	98
Tabla 19. Porcentaje de superficie comunal en cuatro rangos de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Fuente: GeoAdaptive.	104
Tabla 20. Valores de riesgo máximo, mínimo y promedio por comuna. Fuente: GeoAdaptive.	105
Tabla 21. Capas geoespaciales con resultados principales. Fuente: GeoAdaptive.	110
Tabla 22. Tipos de interdependencias. Fuente: AECOM y C40 Cities (2017).	118
Tabla 23. Identificación de sectores y sistemas territoriales para el análisis de interdependencia. Fuente: GeoAdaptive.	119
Tabla 24. Instrumentos de planificación y estrategias para la resiliencia revisados para la sistematización de impactos. Fuente: GeoAdaptive.	119
Tabla 25. Resumen de indicadores de capacidad adaptativa. Fuente: GeoAdaptive.	139
Tabla 26. Descripción indicador: Áreas verdes con mantenimiento m2/habitante. Fuente: GeoAdaptive..	140
Tabla 27. Descripción indicador: Superficie comunal protegida (áreas naturales). Fuente: GeoAdaptive.	141
Tabla 28. Descripción indicador: Fase de certificación SCAM. Fuente: GeoAdaptive.	142
Tabla 29. Descripción indicador: Año formulación último PLADECO. Fuente: GeoAdaptive.	143

Tabla 30. Descripción indicador: Año de aprobación del PRC vigente. Fuente: GeoAdaptive.	144
Tabla 31. Descripción indicador: Existencia de ordenanza de participación ciudadana. Fuente: GeoAdaptive.	145
Tabla 32. Descripción indicador: Monto aprobado total Programa Mejoramiento Urbano. Fuente: GeoAdaptive.	146
Tabla 33. Descripción indicador: Población comunal con acceso a servicios básicos. Fuente: GeoAdaptive.	147
Tabla 34. Descripción indicador: Viviendas con calidad aceptable. Fuente: GeoAdaptive.	148
Tabla 35. Descripción indicador: Población >12 años que participa en orgaizaciones sociales. Fuente: GeoAdaptive.	149
Tabla 36. Descripción indicador: Población que usa internet 1 vez por semana o más. Fuente: GeoAdaptive.	150
Tabla 37. Descripción indicador: Promedio del ingreso monetario mensual del hogar. Fuente: GeoAdaptive.	151
Tabla 38. Descripción indicador: Años de escolaridad promedio personas >25 años. Fuente: GeoAdaptive.	152

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco

01.

Antecedentes previos

Síntesis de la información, datos y metodologías utilizadas para la identificación y caracterización de las amenazas de origen climático en la Región Metropolitana de Santiago.

- 1.1 Contextualización de la etapa: objetivos 1 y 2**
- 1.2 Amenazas climáticas para la Región Metropolitana en el contexto institucional y académico**
- 1.3 Síntesis de la información revisada para la identificación de amenazas en la Región Metropolitana**
- 1.4 Información espacial disponible según amenazas**
- 1.5 Aspectos metodológicos para la caracterización de amenazas**

1.1 Marco metodológico general del estudio

La propuesta metodológica se basa en una concatenación lógica de actividades, de acuerdo al estándar técnico en torno a evaluaciones de riesgo climático (**Figura 1**). De acuerdo a la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de desastre, el riesgo se define como una función de la amenaza, la exposición de bienes y personas a la amenaza y las condiciones de vulnerabilidad de la población y bienes expuestos (UNDRR, 2017).

Considerando lo anterior, la metodología se divide en tres etapas o módulos. La primera etapa consiste en la identificación y mapeo de amenazas (Obj 1 y 2). La segunda etapa (Obj. 3, 4 y 5) aborda la caracterización de la exposición, vulnerabilidad y el riesgo climático. Finalmente, la tercera etapa (Obj. 6 y 7) consiste en la caracterización de interdependencias sectoriales y generación de indicadores de capacidad adaptativa; esto últimos se basan en gran medida en los insumos de información de las dos primeras etapas.

A continuación, se desarrolla la primera etapa que consiste en la identificación y evaluación geográfica de amenazas. Esta constituye el primer paso hacia una evaluación del riesgo climático para la Región Metropolitana.



Figura 1. Estructura general del marco metodológico propuesto. En color se indica lo que corresponde a la primera etapa (Obj. 1 y 2). Fuente: GeoAdaptive.

Objetivos del estudio
• Objetivo 1. Identificación de amenazas
• Objetivo 2. Mapa de amenazas
• Objetivo 3. Exposición comunal
• Objetivo 4. Vulnerabilidad climática
• Objetivo 5. Riesgo climático comunal
• Objetivo 6. Identificación de interdependencias
• Objetivo 7. Indicadores de capacidad adaptativa

Tabla 1. Objetivos específicos del estudio. En color se indican los objetivos abordados en la primera etapa del estudio. Fuente: GeoAdaptive.

1.2 Amenazas climáticas para la Región Metropolitana en el contexto institucional y académico

En Chile ha habido avances significativos en torno al entendimiento de los efectos del cambio climático y las necesidades de adaptación que ello conlleva para los diversos sistemas humanos y naturales. Al estudiar el marco nacional y regional en torno al cambio climático es posible comenzar a priorizar aquellas amenazas de origen climático más apremiantes para la Región Metropolitana.

Marco nacional

- **Estrategia Nacional de Cambio Climático 2006:** Documento base para la formulación del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012 (PANCC I) y PANCC II 2017-2022, descrito a continuación.
- **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012 (PNACC I):** Documento que articula lineamientos de política pública entre ejes: 1) Adaptación a los impactos del cambio climático, 2) Mitigación de gases efecto invernadero y 3) Creación de capacidades profesionales. Del PNACC 2008-2012 se desprenden dos planes de adaptación sectoriales: Sector Silvoagropecuario y Biodiversidad.
- **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2014:** Su objetivo es crear un marco conceptual para la adaptación por medio de principios orientadores. Se establecen lineamientos para planes de adaptación sectoriales (ciudades, infraestructura, etc.) El documento genera una síntesis de amenazas y efectos del cambio climático, mencionando aumento de temperaturas, disminución de la precipitación y eventos climáticos extremos (como aumento de la isoterma 0 y el consecuente aumento de peligro de inundación y remoción en masa; olas de calor).
- **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PNACC II):** Este es un documento marco que plantea el objetivo de fortalecer las capacidades del país para adaptarse al cambio climático y sus impactos, generando acciones. Plantea desarrollar las bases institucionales y operativas para avanzar en la gestión del cambio climático. El mismo objetivo es planteado para la mitigación del cambio climático, que consiste tomar medidas para reducir emisiones de gases efecto invernadero (GEI). La identificación de las amenazas producto del cambio climático son consecuentes con aquellas mencionadas en el

Plan Nacional de Adaptación de 2014. Finalmente, se define la necesidad de contar con planes de adaptación sectoriales en torno al turismo, ciudades, salud, pesca y acuicultura, sector energía e infraestructura. Más adelante se resume el plan para ciudades, dado la pertinencia con el presente estudio.

- **Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025:** Su objetivo es disminuir la vulnerabilidad social, ambiental y económica del cambio climático, la desertificación, degradación de tierras y sequías sobre los recursos vegetacionales y comunidades humanas. Su enfoque es la sistematización y financiamiento de medidas de acción para abordar las causas de la deforestación, devegetación y degradación de recursos vegetales. Entre las causas, se esgrimen amenazas como la sequía, incendios forestales, uso insustentable de la tierra, sobreexplotación del agua, cambio climático, expansión de la frontera agrícola, ganadera y forestal. La ENCCRV se basa en el entendido que los ecosistemas son clave para moderar los efectos del cambio climático a nivel nacional y regional.
- **Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades 2018-2022:** Su objetivo proponer lineamientos para la adaptación de ciudades al cambio climático, generar acciones concretas y desarrollar capacidades. En general, se presenta como un documento de referencia y orientación para ciudades que muestra las acciones públicas impulsadas para responder al cambio climático en términos de adaptación y mitigación. Establece ejes estratégicos temáticos asociando acciones para cada uno, además de lineamientos para el monitoreo de ciudades. De forma similar a los documentos anteriores, establece amenazas climáticas tipo para ciudades, como inundaciones, remociones en masa, incendios, sequías y heladas. Con el objetivo de incorporar una mirada integrada al desarrollo territorial, identifica también amenazas no climáticas.

Marco regional

- **Propuesta de Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile 2012:** Documento que reúne el resultado de un proceso participativo cuyo objetivo fue definir un conjunto de catorce medidas de adaptación. Entre las implicancias del cambio climático para la RM, destacan el aumento de las temperaturas, inundación, calor extremo, disminución de precipitaciones y caudales y sus impactos en los sectores agua y energía.

- **Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago 2017:** La estrategia fue desarrollada en el contexto de la iniciativa 100 Ciudades Resilientes como un marco de planificación integral para abordar amenazas tanto climáticas como no climáticas. Impulsada desde el GORE, esta integra diversos pilares como movilidad, medio ambiente, seguridad, gestión del riesgo, desarrollo económico y equidad social. Se proponen planes proyectos y programas prioritarios. En el contexto del cambio climático se mencionan las olas de calor, aumento de los ciclos de sequía, reducción de la disponibilidad de agua por disminución de lluvias, caudales y nieve, eventos extremos, inundaciones y remociones en masa por variaciones en la isoterma 0.°
- **Cambio Climático en la Región Metropolitana 2017:** Este estudio fue realizado por el Centro de Cambio Global UC, Greenlab UC y CEDEUS UC, como insumo de información para la Estrategia de Resiliencia. El capítulo de escenarios futuros e impactos destaca la disminución de caudales y precipitaciones como principales amenazas para la región. Además, se mencionan las olas de calor, inundaciones e incendios forestales; en relación a los incendios, se estima que el aumento sostenido de temperaturas y la sequía prolongada podrían extender la temporada de incendios y aumentar la frecuencia y magnitud de estos, al afectar la disponibilidad de combustible y las temperaturas máximas.

Considerando el enfoque de los diferentes marcos nacionales y a nivel regional se detectan 5 amenazas prioritarias de origen climático y que pueden verse afectadas por los patrones hidrometeorológicos futuros en la Región Metropolitana –los que serán estudiados en el objetivo 5. Las amenazas priorizadas son:

- Inundaciones
- Remoción en masa
- Incendios forestales
- Sequía
- Ola de calor

1.3 Síntesis de la información revisada para la identificación de amenazas en la Región Metropolitana

Para caracterizar las amenazas climáticas, es necesario recopilar y sistematizar la información existente en función del tipo de información y el rol que cumple. A partir de la revisión realizada y considerando la definición de amenazas¹ UNDDR (2009), como un fenómeno y evento físico y/o actividad humana potencialmente perjudicial, que puede causar la pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, interrupción social y económica o degradación ambiental, sumado a lo indicado por Van Westen et al (2012), respecto a que estos eventos tienen una intensidad y una probabilidad de ocurrencia de un determinado tiempo dentro de un área determinada, se han identificado dos tipos de información existente:

- **Probabilidad:** Información que da cuenta del grado de peligro o susceptibilidad de un lugar en un momento determinado, es decir, datos espaciales de amenazas cuyos elementos principales ya han sido estudiados. Ej: “Riesgo de incendio de la vegetación”.
- **Evento:** Información sobre elementos o variables que pueden ser utilizadas para el análisis de cada amenaza, esta información puede contener datos de eventos ocurridos en el pasado (Ej: “Incendios forestales 2017”) o bien contener información respecto de parámetros que inciden en la ocurrencia de evento (Ej: Índice de Precipitación Estandarizado).

Por otro lado, es importante aclarar que la amenaza es sólo uno de los componentes para medir el riesgo. De acuerdo a la UNDDR (2009), el riesgo² se determina por medio del “(...) análisis de amenazas potenciales y la evaluación de condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar a la población, propiedad público-privada, servicios y medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen”.

Dado que el estado de la información espacial en Chile se encuentra dispersa en diversos sitios y fuentes, se revisaron estudios y portales de información oficial, tanto de instituciones gubernamentales como

académicas, centros de investigación, así como información facilitada por la SEREMI MMA RM. La **Tabla 2** muestra una síntesis de la información recopilada en términos de formato, escalas temporales y espaciales, fuentes y disponibilidad a la fecha. Se incluyó una columna con la información no disponible públicamente y la acción requerida.

Respecto del registro de los eventos, existe información de libre acceso, ya sea en fuentes públicas o repositorios de información de desastres (p. ej: Desinventar). El rango temporal es variable y se ha procurado incorporar el registro histórico de eventos entre 1990-2019 cuando la información disponible así lo permite.

En términos espaciales la información que permite analizar las amenazas para la región se encuentra digitalizada y georreferenciada, pudiendo abarcar escalas nacionales, regionales y de cuenca según tipo de información. El rango temporal de la información recopilada comprende los años 1997 a 2019, y los formatos son mayormente vectoriales, con excepción de aquellos tabulares y raster³. Dependiendo del tipo de amenaza (ver Metodologías específicas), se utilizarán caracterizaciones espaciales de amenazas ya realizadas, y ampliamente utilizadas en estudios de riesgo, o se modelarán utilizando datos geoespaciales.

Con respecto a las fuentes, los organismos públicos han sido los principales responsables de la generación de estudios y zonificaciones de amenazas climáticas. La información disponible se recopiló desde los portales para descarga de capas o datos de cada institución. La información esencial para caracterizar las amenazas que no se encuentra disponible para su descarga fue solicitada según muestra la última columna de la **Tabla 2**. En este sentido, las amenazas que presentan mayores carencias en cuanto a la disponibilidad de información espacial son Incendios, Sequías y Olas de Calor, para las cuales se solicitará y/o generará información que permita contar con un análisis acabado de su probabilidad de ocurrencia y distribución espaciotemporal en la Región Metropolitana.

Es importante señalar que las amenazas se contrastarán, en las siguientes etapas del proyecto, con los escenarios climáticos realizados por el Centro De Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.⁴

¹ La UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) define una serie tipologías de amenazas aplicables a este estudio (de origen climático), tales como amenaza hidrometeorológica, natural y socio-natural.

² Para medir el riesgo es necesario comprender técnicamente las amenazas, caracterizándolas desde el punto de vista de su ubicación, intensidad, frecuencia y probabilidad, cuando existan los datos.

³ Dato geoespacial en formato grilla o pixel continuo que representa un determinado tipo de información.

⁴ Por ejemplo, el modelo RegCM4, desarrollado por el International Center for Theoretical Physics (ICTP) de Trieste, Italia.

Tabla 2. Síntesis de información recopilada y solicitada. Fuente: GeoAdaptive.

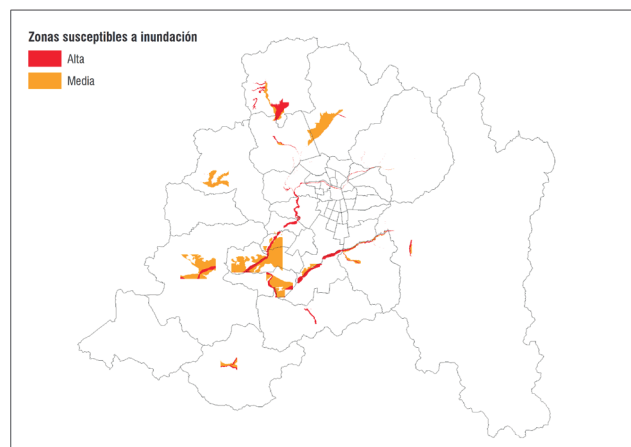
Amenaza climática	Tipos de información disponible	Escala temporal	Escala espacial	Fuentes de información	Información no disponible	Acción
Incendio forestal	Eventos Probabilidad	1997 2015-2017 2002-2014	Regional (1:250.000) Nacional (1:50.000)	MINAGRI CONAF GORE RM	Cobertura de incendios forestales 1997 (GORE RM) La capa incendios Gran Magnitud 2017 está dañada.	No se solicitará capa, considerando su antigüedad. Dada la resolución de la capa, esta no será solicitada
Inundación	Probabilidad	1997 2003 2013	Regional (1:250.000)	Universidad de Chile GORE RM PRMS	Cobertura de Riesgo de inundación 1997 (GORE RM)	No se solicitará capa, considerando su antigüedad.
Remoción en masa	Probabilidad	1997 2003 2015 2013	Regional (1:250.000) Cuenca (1:250.000) AMS	GORE UCHILE PRMS (SERNAGEOMIN) Universidad de Chile	Cobertura de Remoción en masa 1997 (GORE RM)	No se solicitará capa, considerando su antigüedad.
Sequía	Eventos Probabilidad	2017-2019	Nacional (1:50.000) Regional (1:250.000)	DGA Observatorio Agroclimático	Datos Observatorio Agroclimático: Índice de Precipitación Estandarizado e Índice de Caudales Estandarizado	Se solicitaron archivos a MINAGRI (sólo es posible descargar datos tabulares)
Ola de calor	Eventos	2010	Regional Nacional	Dirección Meteorológica de Chile Centro De Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2	La información de estaciones meteorológicas es de libre acceso	Se descargaron datos base meteorológicos y estudios complementarios.

1.4 Información espacial disponible según amenazas

Inundación

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE)

Las capas de información de riesgos de inundación generadas por el Gobierno Regional son parte del estudio “Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago” (GORE, 2013).



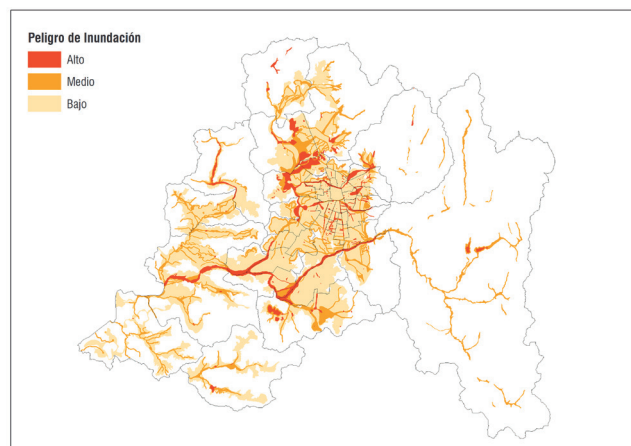
Zonas susceptibles a inundación

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, muestra las zonas susceptibles a inundación. En esta zonificación se consideraron características geomorfológicas y fluviales del territorio, definiendo 3 niveles posibles:

- Alta susceptibilidad: áreas del cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2%, situadas hasta 3 m de altura por encima del cauce de los ríos.
- Moderada susceptibilidad: áreas del cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2%, situadas entre 3 y 10 m de altura por encima del cauce de los ríos.
- Zonas no inundables: no cumplen con los criterios anteriores

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE)- Universidad de Chile

Esta capa se basa en la “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (2003). Desarrollado por la Universidad de Chile y el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.



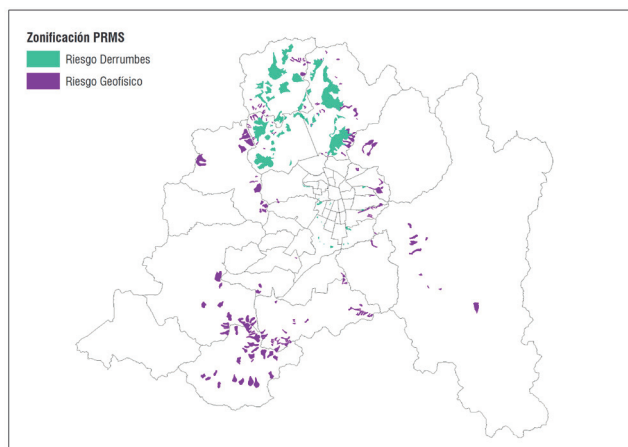
Peligro de inundación

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, muestra las áreas con alto, medio y bajo riesgo de inundación.

Remoción en masa

Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS)

El PRMS es un instrumento de planificación territorial que define, entre otras, las áreas con riesgo geofísico y derrumbes basado en el estudio “Peligro de Remociones en Masa e inundaciones de la cuenca de Santiago” (SERNAGEOMIN, 2003). La zonificación PRMS, representa el territorio de acuerdo con la mayor o menor posibilidad de verse afectado por los diferentes tipos de remociones en masa (SERNAGEOMIN, 2019).



Riesgo de remoción en masa

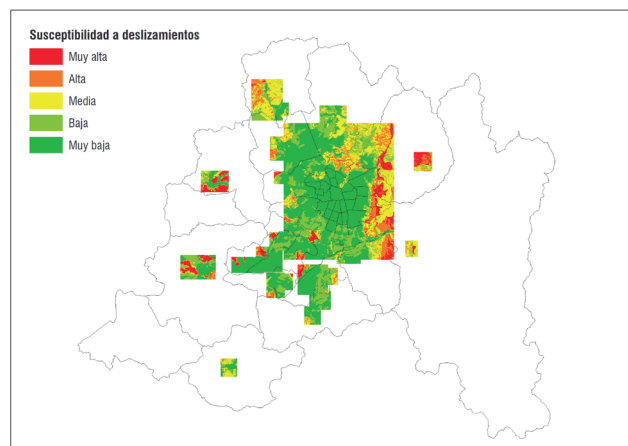
Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, muestra las áreas zonificadas por el PRMS 2015, con riesgo de derrumbes y riesgo geofísico.

La capa integra atributos del plan, tales como especificación del riesgo y norma asociada:

- Riesgo de derrumbe: Por localización en cono de deyección
- Riesgo geofísico: Riesgo asociado a remoción en masa.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago

Las capas de información de riesgos de inundación generadas por el Gobierno Regional son parte del estudio “Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago” (GORE, 2013).



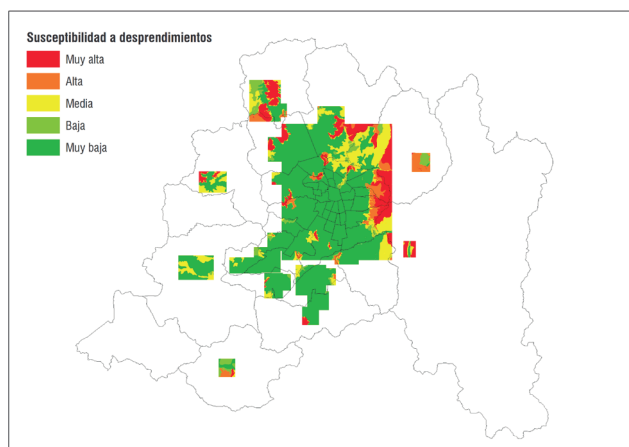
Susceptibilidad a deslizamientos

Cobertura espacial en formato Raster (grilla), muestra la susceptibilidad de las áreas a deslizamientos, para lo cual fueron consideradas las siguientes variables:

- Alteración del material basal
- Pendientes
- Cercanía a fallas
- Tipo de vegetación
- Erodabilidad del suelo
- Estructura del material basal

La capa de información incluye sólo porciones de la RM.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago



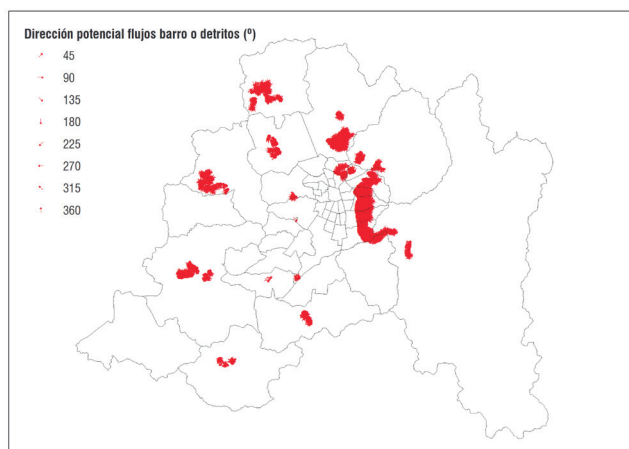
Suceptibilidad a desprendimientos

Cobertura espacial en formato Raster (grilla), muestra la susceptibilidad de las áreas a desprendimientos, para lo cual fueron consideradas las siguientes variables:

- Grado de alteración del material basal
- Estructura y disposición de material basal
- Pendientes
- Cercanía a fallas

La capa de información incluye sólo porciones de la RM.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago



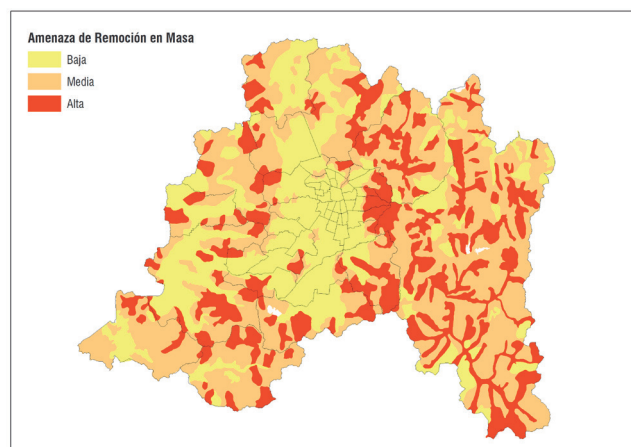
Dirección de potencial flujo de detritos/barro

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo puntual, que representa la dirección en grados, del potencial flujo de barro o detritos, identificados a través de un modelo de flujos, con modelos digitales de elevación.

La capa de información incluye sólo porciones de la RM

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE)- Universidad de Chile

Esta capa se basa en la “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (2003). Desarrollado por la Universidad de Chile y el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

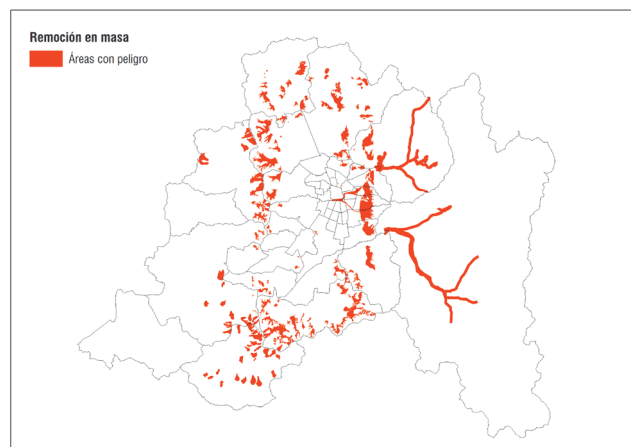


Riesgo de remoción en masa

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, contiene las áreas que presentan peligro de ocurrir procesos de remoción en masa según probabilidad.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago- Universidad de Chile- Servicio Nacional de Geología y Minería

Esta capa combina información de la Carta Síntesis de Riesgos Naturales” (GORE, 2003) y las áreas con peligro de remoción en masa basadas en el estudio “Peligro de Remociones en Masa e inundaciones de la cuenca de Santiago” (SERNAGEOMIN, 2003).



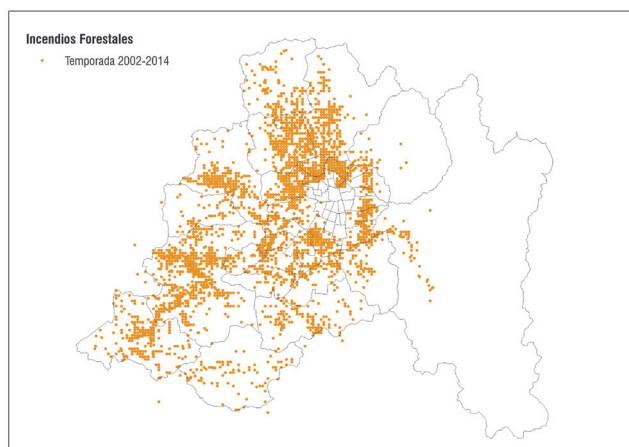
Peligro de remoción en masa

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, contiene las áreas que presentan peligro de ocurrir procesos de remoción en masa.

Incendio forestal

Corporación Nacional Forestal (CONAF)

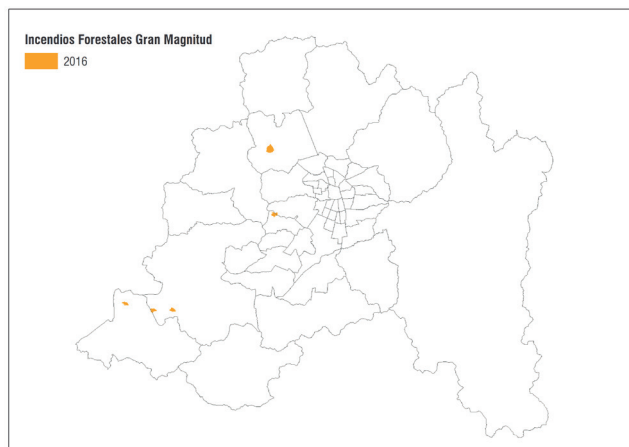
Las capas generadas por CONAF integran información de escala nacional, de tipo documental con respecto a los eventos históricos registrados por los equipos técnicos. A continuación, se detallan las capas disponibles.



Incendios forestales 2002-2014

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo puntual, muestra los eventos de incendios forestales ocurridos a nivel nacional en un año determinado. La información asociada en la tabla de atributos reúne elementos específicos del incendio tales como ámbito, causas generales y específicas, elementos de combustión inicial, superficie y tipos de vegetación y cantidad afectada. Los eventos están indicados en un centroide en base a una grilla, por lo que no es posible determinar su ubicación exacta. La descarga de la capa está disponible para los años 2014, 2015 y 2016 a escala nacional.

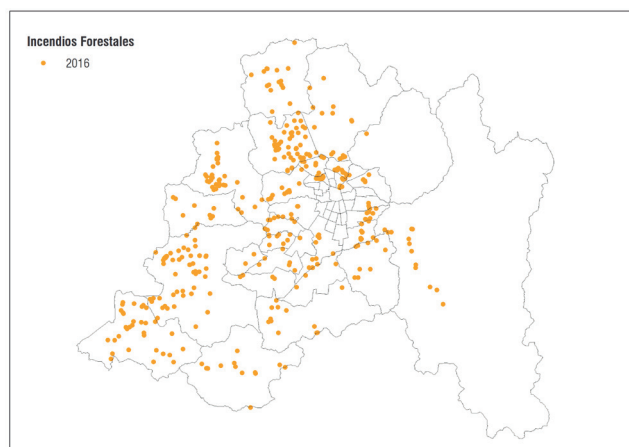
Corporación Nacional Forestal (CONAF)



Incendios de Gran Magnitud 2016

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal. Fue generada en base a datos tomados con GPS en terreno, cada polígono muestra el perímetro alcanzado por incendios de más de 200 hectáreas, denominados como "Incendios de magnitud o conflictivos". La información adicional en la tabla de atributos incluye causa del evento y superficie afectada. La descarga de la capa está disponible para los años 2014, 2015 y 2016 a escala nacional. Algunas capas están sin coordenadas geográficas, por lo que requieren procesamiento.

Corporación Nacional Forestal (CONAF)

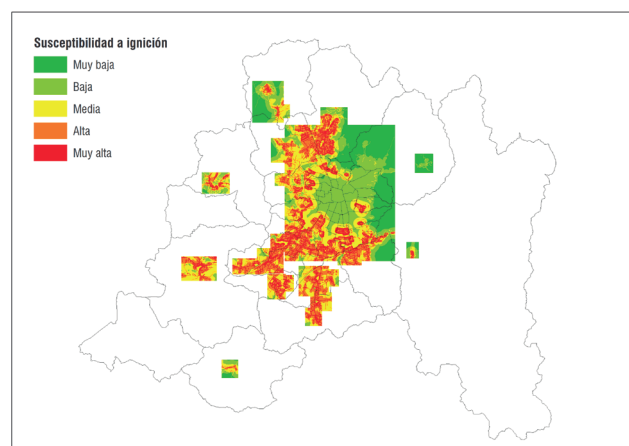


Incendios forestales 2017

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo puntual, muestra los eventos de incendios forestales ocurridos a nivel nacional en un año determinado. La información asociada en la tabla de atributos reúne elementos específicos del incendio tales como ámbito, causas generales y específicas, elementos de combustión inicial, superficie y tipos de vegetación y cantidad afectada. La descarga de la capa está disponible para los años 2014, 2015 y 2016 a escala nacional.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE)

Las capas de información de riesgos de incendio forestal generadas por el Gobierno Regional son parte del Estudio desarrollado el año 2013, titulado “Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago”. Estas capas han sido facilitadas por el mandante al equipo consultor. El estudio se realizó como una manera de orientar estratégicamente la elaboración del Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT), para lo cual generó indicadores de susceptibilidad de la región a sufrir u originar procesos de riesgo natural que puedan afectar a la población o infraestructura (GORE, 2013).



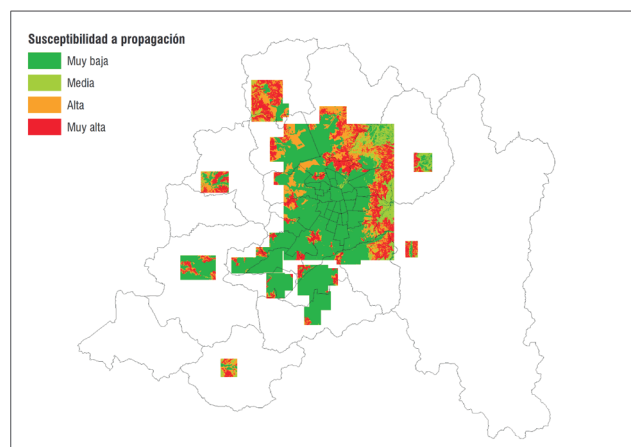
Susceptibilidad a ignición de incendios forestales

Cobertura espacial en formato Raster (grilla), muestra la susceptibilidad a ignición de incendios forestales, para lo cual fueron consideradas las siguientes variables:

- Exposición solar
- Cercanía a autopistas
- Cercanía a caminos pavimentados y no pavimentados
- Cercanía a huellas y senderos
- Cercanía a centros poblados
- Cercanía a actividades agrícolas

La capa de información incluye sólo porciones de la RM.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE)



Susceptibilidad a propagación de incendios forestales

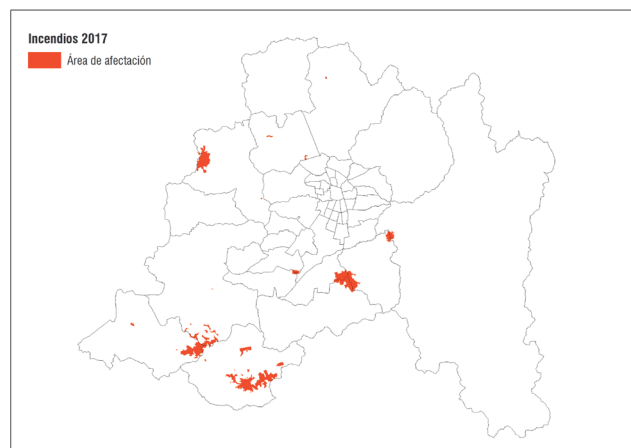
Cobertura espacial en formato Raster (grilla) de tipo poligonal, muestra la susceptibilidad a propagación de incendios forestales, para lo cual fueron consideradas las siguientes variables:

- Pendientes
- Tipo de cobertura vegetal

La capa de información incluye sólo porciones de la RM.

Ministerio de Agricultura y Secretaría Ejecutiva SNIT del Ministerio de Bienes Nacionales

Esta capa fue generada durante los eventos de incendio 2017. En la web de la Infraestructura de Datos Espaciales se señala que, “este producto cartográfico, fue entregado diariamente a las instituciones públicas del país, resultando ser un recurso de referencia para atender la emergencia, además de llevar un registro diario del avance de la catástrofe”. Cabe mencionar que los datos del sensor VIIRS poseen un error de 375 metros, por lo tanto, la información es sólo de carácter referencial.



Área de afectación incendios febrero 2017

Cobertura espacial en formato vectorial (Shapefile) de tipo poligonal, contiene las áreas de afectación de los incendios ocurridos el año 2017 (Mega incendio). Fue generada a partir de datos del sensor VIIRS (NASA) que tiene un error de 375 metros.

Sequia

Observatorio Agroclimático

Existen indicadores de sequía generados por el Observatorio Agroclimático, que coinciden con aquellos utilizados en las declaraciones de déficit por organismos públicos. A pesar de no estar disponible en formato Raster para su descarga, se solicitó a la fuente los datos tabulares para el Índice de Precipitaciones Estandarizado (IPE) y el Índice de Caudales Estandarizados (ICE).

Dirección General de Aguas

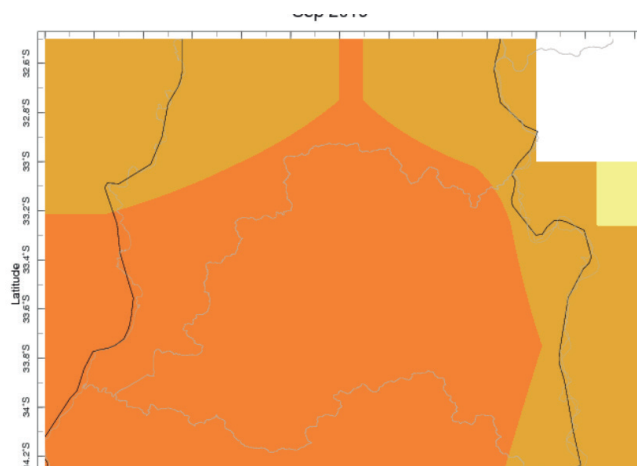
Para caracterizar esta amenaza se cuenta también con la siguiente información complementaria proveniente de la Dirección General de Aguas:

- Decretos de escasez hídrica 2008-2019.
- Boletines con déficit y superávit de precipitaciones.
- Boletines con variación de caudales.

Ola de calor

Para caracterizar las olas de calor, se dispone de la siguiente información:

- Datos meteorológicos de tipo estadístico y documental recopilados por la Dirección General de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile, disponibles a escala Nacional, Regional, Comunal y Local.
- Datos meteorológicos modelados para escenarios futuros en formato Raster, generados por el Centro De Ciencia del Clima y la Resiliencia (Cr)2.
- Imágenes satelitales multiespectrales de 30m de resolución de acceso libre (Satélite Landsat 8, NASA).



Índice de sequía combinado

En su sitio web, el observatorio pone a disposición imágenes para visualizar los siguientes índices:

- Sequía meteorológica (déficit pluviométrico): Índice de precipitación Estandarizado RM 2019 (1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 o 48-meses)
- Sequía hidrológica (déficit hídrico): Índice de Caudales Estandarizado.

Además existe la opción de descarga en formato tabular.

1.5 Aspectos metodológicos para la caracterización de amenazas

Generalidades

Las amenazas fueron caracterizadas espaciotemporalmente a escala metropolitana y a nivel comunal. La caracterización corresponde a la expresión de la amenaza física desde el punto de vista de la probabilidad de ocurrencia de esta en diversos rangos de magnitud. Para cada amenaza, se elaboró un registro histórico de eventos desde 1990 a la fecha o para los años disponibles en la data, como se mencionó en la sección anterior.

Se utilizaron modelos de amenazas realizados previamente por instituciones del estado y utilizados ampliamente en estudios sucesivos y/o instrumentos de planificación. Para aquellas amenazas en que la información existente no permite una caracterización adecuada (área de estudio inadecuada, datos faltantes o inexistentes, etc.) se realizaron modelaciones desde datos brutos (p. ej: satélite Landsat 8) o utilizando datos compilados en fuentes secundarias (p. ej: el Índice de Precipitación Estandarizado -IPE- fue construido utilizando datos del Observatorio Agronómico). Cabe mencionar que la información de fuentes secundarias requirió un proceso extensivo de preparación, procesamiento, armonización y sistematización de datos, puesto que estos se encontraban muchas veces con errores de digitación (como el caso del IPE e ICE), sin referencia geográfica (como en el caso de la data para incendios) y errores en los campos de atributos (p. ej: fechas erróneas de los eventos o clases de atributos no homologadas)

Inundación

La amenaza de inundación se caracterizó utilizando los datos geoespaciales de la “Carta de Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana”. Los rangos de la data corresponden al “peligro de inundación” el cual está clasificado en tres rangos (alto, medio y bajo).

Utilizando herramientas de geoprocusamiento se calcularon las áreas comunales amenazadas en cada rango de peligro, generando un mapa y ranking comunal que permite comparar territorialmente a escala regional y municipal.

Se realizó un registro de eventos históricos desde la base de datos Desinventar. Esta base de datos es una fuente autorizada de registro de largo plazo de eventos y sus impactos para América Latina. La interfaz en línea permitió descargar los eventos de inundación registrados por comuna entre 1990-2014.

Remoción en masa

La amenaza de remoción en masa se caracterizó utilizando los datos geoespaciales de la “Carta de Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana”. La data establece una sola categoría que se entiende como peligro o susceptibilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Por medio de herramientas de geoprocusamiento se calcularon las superficies comunales amenazadas por procesos de remoción en masa, lo que permitió generar un mapa y un ranking comparativo a escala comunal.

Se utilizaron datos tabulares de SERNAGEOMIN para realizar un registro histórico de eventos desde 1991 a 2017. De forma complementaria se realizó una búsqueda documental para documentar eventos con características de desastre, indicando los impactos producidos.

Incendio forestal

Esta amenaza fue caracterizada a partir del análisis de tendencias según causa y magnitud de los eventos, y también a partir de la modelación espacial del potencial de propagación de incendios forestales.

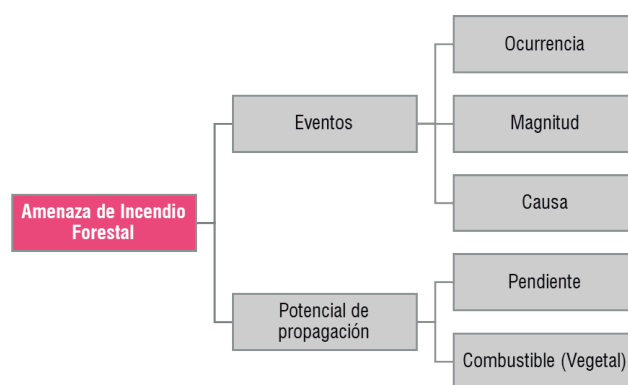


Figura 2. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.

El análisis de tendencia utilizó datos espaciales de registros de incendio forestal generados por CONAF para los años 2014, 2015 y 2016. Los datos fueron procesados y agregados a unidades administrativas (Comunas), para posteriormente servir de insumo estadístico para la caracterización de la amenaza a nivel comunal en términos de magnitud,

ocurrencia y causas generales.

El potencial de propagación de incendios forestales fue modelado a partir del análisis del combustible principal y la pendiente, elementos fundamentales para entender el comportamiento de esta amenaza y ampliamente utilizados para ello (GORE, 2013; Koller, 1982; Lampa, 2016; Miguel, Roberto, Guillermo, & Luis, 2012; Ortega, 2019; Ortiz, 2016).

El combustible principal fue determinado a partir de la clasificación de los datos espaciales del “Catastro de uso de suelo y vegetación” desarrollado por CONAF para la región metropolitana (2013), en base al potencial que tienen los tipos de vegetación para la susceptibilidad de propagación de eventuales incendios forestales propuesto por Koller (1982). Los usos de suelo del catastro fueron clasificados según los siguientes criterios:

Uso de la tierra	Susceptibilidad de propagación (combustible)
Afloramientos rocosos, ríos, ciudades, pueblos, zonas industriales, glaciares, nieves, otros terrenos sin vegetación.	Nulo/no aplica
terrenos de uso agrícola, vegas	Bajo
vegetación herbácea en orillas de ríos, otros terrenos húmedos.	Medio
Bosque nativo, bosque nativo mixto, matorral arborescente, suculentas.	Alto

Tabla 3. Combustible según tipo de vegetación. Fuente: GeoAdaptive en base a (Koller, 1982).

La pendiente fue generada a partir del geoprocesamiento y clasificación de un modelo digital de elevación (DEM) según las categorías de pendiente y peligrosidad ante incendios forestales señaladas por CONAF (2013), según se muestra a continuación:

Valores de pendiente (°)	Tipo de pendiente
0-20	Plano o suave
20-40	Moderada
40 y más	Abrupta

Tabla 4. Categorías de pendiente. Fuente: GeoAdaptive en base a (CONAF, 2013)

Finalmente, por medio de herramientas de geoprocesamiento se calcularon las superficies comunales potencialmente amenazadas por incendio forestal, lo que permitió generar un mapa y un ranking comparativo a escala comunal.

Sequía

La amenaza de sequía fue caracterizada tendencialmente a partir del análisis de eventos históricos, obtenidos desde el registro de los decretos de escasez 2008- 2019 (DGA, 2019). Espacialmente, la sequía fue caracterizada en términos de sequía meteorológica e hidrológica. Para ello fueron utilizados datos recopilados en el Observatorio Agroclimático y los boletines hidrológicos de la DGA. El flujo metodológico general se presenta a continuación:

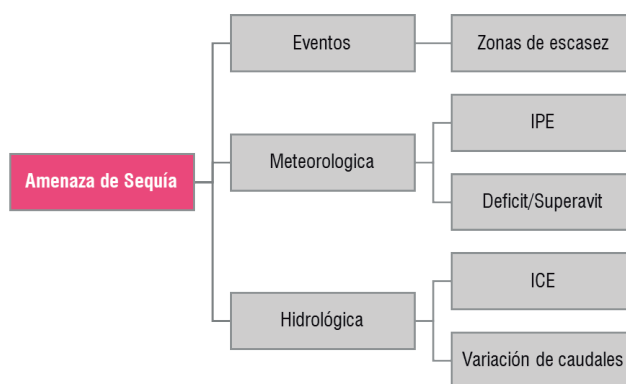


Figura 3. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.

En términos de sequía meteorológica, el indicador utilizado fue el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) de 48 meses para el periodo 1990-2019. Los datos pluviométricos provienen de la Dirección Meteorológica de Chile y la DGA, sistematizados por el Observatorio Agroclimático, portal del cual fueron descargados con un nivel de desagregación comunal. Los datos fueron corregidos y analizados mensual y anualmente (considerando abril-agosto para registro anual), para finalmente ser representados espacialmente a escala comunal. Además, se revisaron los boletines históricos disponibles en la DGA (2005-2019) y se graficó la evolución del déficit/superávit a diciembre de cada año para las tres estaciones de la Región Metropolitana con información disponible.

En términos de sequía hidrológica, el indicador utilizado fue el Índice de Caudales Estandarizados (ICE) de 24 meses, para el periodo 2007-2017. Los datos fluviométricos provienen de la DGA y fueron obtenidos desde el Observatorio Agroclimático para 3 puntos según proximidad a estaciones representativas del comportamiento hidrológico regional. Los datos fueron corregidos y analizados estadísticamente, para finalmente ser representados gráficamente. Además, de los boletines hidrológicos se obtuvo el índice de variación de caudal, el cual compara el caudal mensual con el promedio histórico 1981-2010.

Cabe señalar que tanto para IPE como para ICE, fue necesaria una corrección de los datos puesto que, al ser descargados del observatorio agroclimático, muchos de estos presentaban errores con respecto a la posición del dígito decimal (“,” o “.”) según se muestra a continuación:

	A	B	C	D
				48-Month Standardized Precipitation Index
1	Longitude	Latitude	Time	
2	#FIELD!	#FIELD!	716.5	-112,588
3	#FIELD!	#FIELD!	360.5	0.1566535
4	#FIELD!	#FIELD!	360.5	0.8417526
5	#FIELD!	#FIELD!	360.5	0.8276353
6	#FIELD!	#FIELD!	360.5	0.5681748

Figura 4. Ejemplo de error en datos IPE. La Fila 2, columna D muestra un valor fuera de los límites del indicador. El método de corrección consistió en generar patrones de error según posición decimal, a partir del análisis de la situación de sequía meteorológica e hidrológica publicada en línea según periodo, con lo que el ejemplo anterior podría corregirse a -0,112588. Fuente: GeoAdaptive.

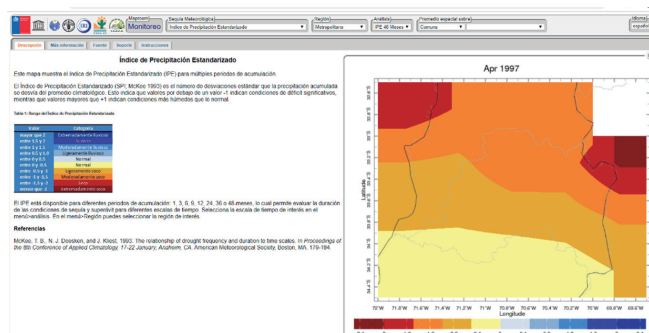


Figura 5. Referencia espacial para indicador IPE en el Observatorio Agronómico. Con esta información se realizó la revisión cruzada según período, permitiendo corregir los valores erróneos en las tablas de datos para IPE e ICE. Fuente: Observatorio Agronómico.

Ola de calor

Para caracterizar esta amenaza, en primer lugar, se analizó la tendencia de eventos de olas de calor según registros de la Dirección Meteorológica de Chile (2019). Luego se graficaron los resultados y se analizó la situación por décadas para la región.

Para el análisis espacial en la región, se modelaron dos indicadores que son ampliamente utilizados para identificar variaciones de temperatura durante un evento de ola de calor: la temperatura superficial, a fin de identificar diferencias intrarregionales y la temperatura atmosférica, a fin de validar y contrastar con información oficial disponible. La fecha seleccionada para el análisis fue el día 17 de enero 2017, dado que esta

fecha cumplió con los requisitos de coincidir con un evento de Ola de Calor en la región y disponibilidad de imágenes satelitales de calidad adecuada para aplicar el modelo (14:40 pm).

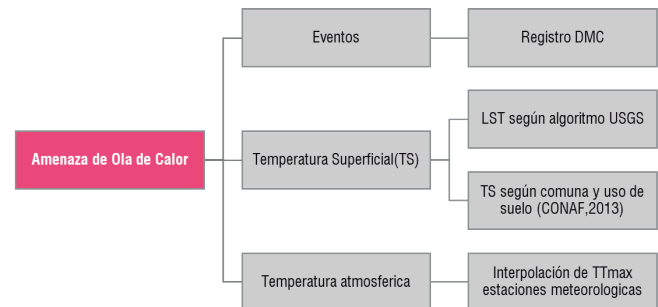


Figura 6. Variables utilizadas para caracterizar la amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.

Para modelar la temperatura de la superficie terrestre en °C (LST), se utilizó el algoritmo desarrollado para imágenes Landsat 8 NASA/USGS (Avdan & Jovanovska, 2016), basado en el análisis de radiancia, emisividad y vegetación (NDVI), desde imágenes satelitales y sus bandas espectrales. Este algoritmo ha sido validado con temperaturas atmosféricas cercanas a la superficie, las que además, se encuentran directamente relacionadas en el horario seleccionado de las imágenes (Verdugo, 2017). Los resultados fueron representados espacialmente y luego fueron agregados con unidades espaciales discretas para su análisis (Comunas y usos de suelo CONAF, 2013). El algoritmo fue incorporado en el modelo según se detalla a continuación:

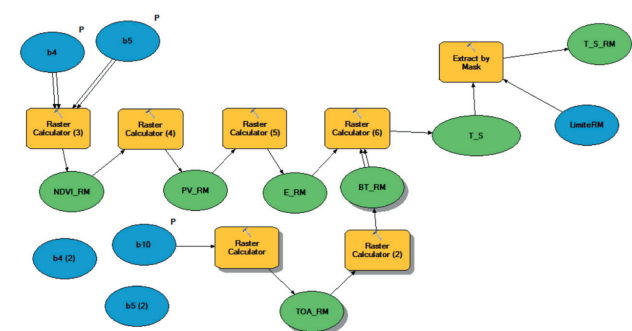


Figura 7. Modelo analítico para calcular la “Temperatura superficial Región Metropolitana” (T_S_RM). Fuente: GeoAdaptive en base a (Avdan & Jovanovska, 2016).

Finalmente, la temperatura atmosférica máxima registrada por estaciones meteorológicas fue representada espacialmente en forma de isotermas a partir de la interpolación de datos disponibles para el 17 de enero 2017, obtenidos desde CR2, con fuente original DGA, DMC y GHCN (Global Historical Climatology Network). Los datos de

la Región Metropolitana y circundantes (estaciones de la V y VI región) fueron interpolados para caracterizar continuamente la temperatura (Isotermas).

02.

Caracterización de amenazas climáticas para la Región Metropolitana de Santiago

Análisis del registro histórico de eventos y la distribución espaciotemporal de amenazas de origen climático. Se evalúa el patrón espacial de las amenazas para cada comuna de la Región Metropolitana por medio de mapas y herramientas que permiten una comparación entre unidades administrativas, a la vez que permite priorizar y guiar acciones.

- 2.1 Inundación**
- 2.2 Remoción en masa**
- 2.3 Incendios forestales**
- 2.4 Sequía**
- 2.5 Ola de calor**



2.1 Inundación

- Desde 1990 a 2014, se han registrado más de 50 eventos ligados a inundaciones.
- El año con mayor cantidad de registros es 1997, año en que el fenómeno el Niño se manifestó con gran intensidad.
- Las zonas de peligro de inundación alto se ubican principalmente en las zonas bajas del área urbanizada y a lo largo de los cauces y planicies de inundación de los ríos Mapocho y Maipo.
- El área afectada por peligro de inundación alto es de 37.407 hectáreas o el 2,4% de la superficie de la Región Metropolitana.
- La mayoría de las comunas presenta una proporción de su superficie amenazada por peligro de inundación alto menor a la media (<9,5).
- Cinco comunas presentan entre el 22% y 38% de su superficie comunal amenazada por peligro de inundación alto.

Las inundaciones son procesos en los que una masa de agua sale de su cauce y cubre áreas que regularmente se encuentran en estado seco, manifestándose principalmente como crecidas de cursos de agua, y desborde de cuerpos de agua como lagos y lagunas (ONEMI, 2012).

En el contexto de riesgo climático para la Región Metropolitana, las inundaciones son causadas por fenómenos meteorológicos extremos de lluvias intensas y prolongadas, especialmente en la temporada invernal, las que, sumado a la impermeabilización producida por la expansión y desarrollo urbano, involucra potenciales riesgos para las zonas aledañas a los cauces naturales y quebradas (Romero & Vázquez, 2005).

Eventos de inundación en la Región Metropolitana 1990-2014

A partir de la revisión de la base de datos Desinventar¹ (2019), para el periodo 1990-2014², la Región Metropolitana registra 54 eventos de asociados a inundaciones. Al analizar la línea temporal según ocurrencia de eventos por año (**Figura 8, Tabla 5**), destacan las inundaciones provocadas durante el fenómeno del niño el año 1997.

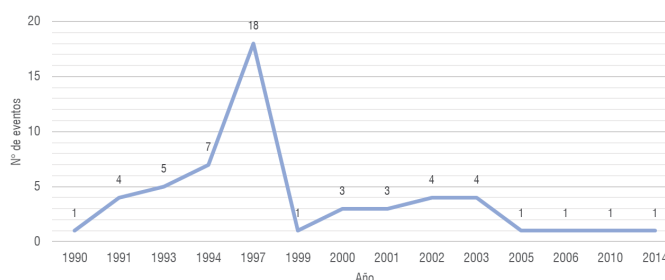


Figura 8. Registro de eventos asociados a inundaciones 1990-2014. Fuente: GeoAdaptive en base a Desinventar.

¹ Hasta mediados de la década de 1990 no se disponía en América Latina, ni en la Subregión Andina de información sistemática sobre la ocurrencia de desastres cotidianos de pequeño y mediano impacto. A partir de 1994 se empieza construir un marco conceptual y metodológico común por parte de grupos de investigadores, académicos y actores institucionales, agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), que concibieron un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina. Esta concepción, metodología y herramienta de software desarrolladas se denominan Sistema de Inventario de Desastres. DesInventar. El desarrollo de DesInventar, con una concepción que permite ver a los desastres desde una escala espacial local (municipio o equivalente), facilita diálogos para gestión de riesgos entre actores e instituciones y sectores, y con gobiernos provinciales y nacionales. (Descripción del software DesInventar, disponible en <https://www.desinventar.org/>)

² 2014 es el último año disponible con datos para amenaza de inundación en la base de datos DesInventar.

La utilización de registros documentales es común en el estudio de la gestión de riesgo de desastres naturales. Similar a DesInventar, SERNAGEOMIN ha realizado un registro de desastres entre 1980-2015 ligados a peligros geológicos utilizando datos mixtos como documentación propia y medios de comunicación, con un foco en la pérdida de vidas humanas y montos asociados a la recuperación post desastre (SERNAGEOMIN, 2015). Destacan los siguientes eventos:

- **1993:** Dieciocho comunas de Santiago declaradas zona de catástrofe por inundaciones (Gironás et al, 2015).
- **2005:** Inundaciones en los causes del oriente de la Región

Metropolitana y sectores bajos de las quebradas de Lo Cañas, Macul, San Ramón y curso medio del Río Mapocho. El evento también está asociado a remociones en masa.

- **2009:** Sistema frontal genera inundaciones en zonas urbanas en la precordillera (Gironás et al, 2015).
- **2015:** Desborde del Canal Santa Marta, comuna de Maipú y anegamiento de viviendas.
- **2016:** Sistema frontal genera desborde y flujo de detritos en el Río Maipo (Gironás et al, 2015).

Tabla 5. Número de eventos registrados por comuna y año. Fuente: GeoAdaptive en base a DesInventar.

Año	Comuna	N° de eventos
1990	Macul	1
1991	Huechuraba	1
	Independencia	1
	Las Condes	2
1993	La Cisterna	1
	Pedro Aguirre Cerda	1
	Pirque	1
	San José de Maipo	1
	Santiago	1
1994	Cerrillos	1
	Conchalí	1
	Pirque	1
	Quilicura	1
	Renca	1
	San José de Maipo	2
1997	Estación Central	1
	La Cisterna	1
	La Florida	1
	Lampa	1
	Lo Espejo	1
	Maipú	1
	Melipilla	1
	Pedro Aguirre Cerda	2
	Peñalolén	2
	Pudahuel	1
	Puente Alto	1
	Quilicura	1
	Renca	1
	Santiago	2
	Tiitil	1
1999	Pudahuel	1

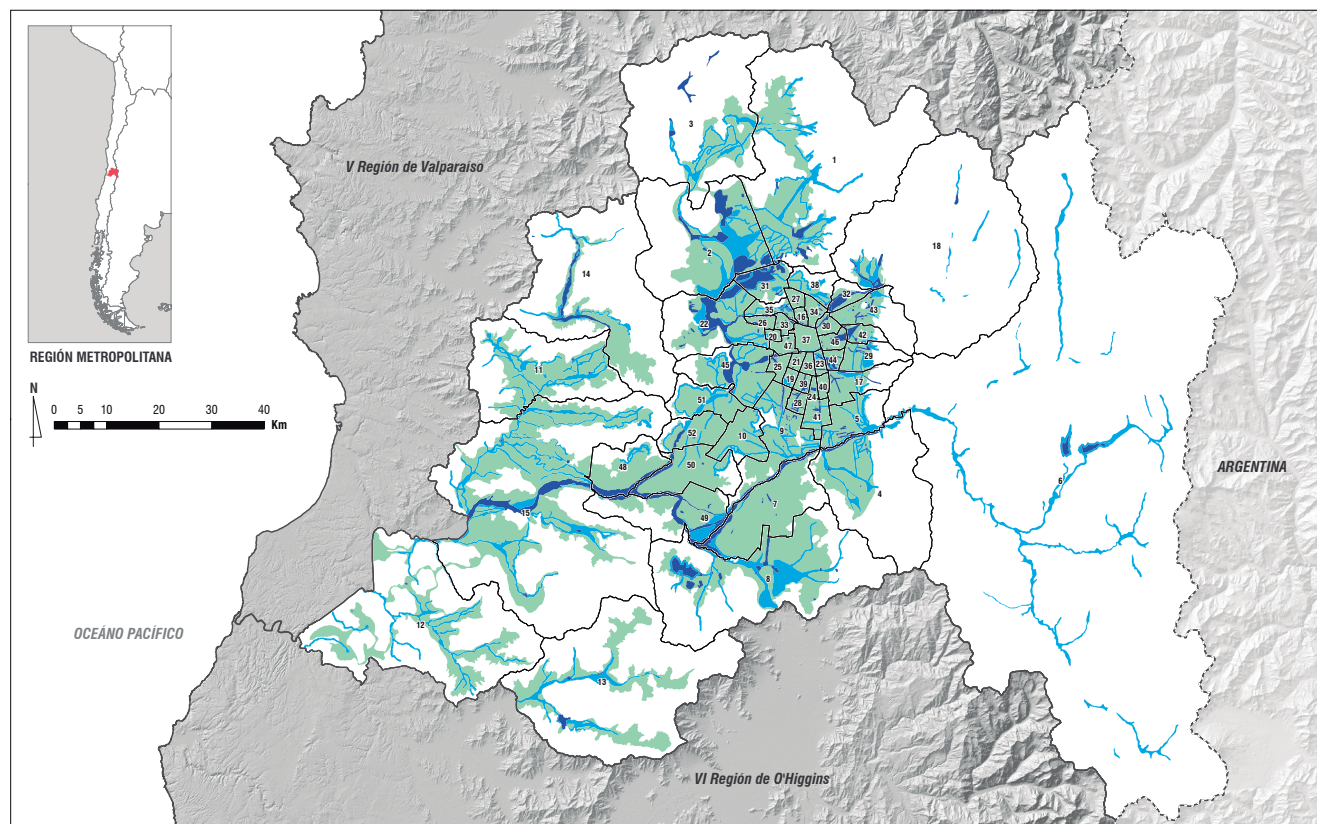
Año	Comuna	N° de eventos
2000	San Joaquín	1
	Santiago	2
2001	Maipú	1
	Pedro Aguirre Cerda	1
	San Bernardo	1
2002	Lampa	1
	Lo Espejo	1
	Quilicura	1
	Talagante	1
2003	La Florida	1
	Maipú	1
	Pudahuel	1
	Santiago	1
2005	Quilicura	1
2006	Lampa	1
2010	Ñuñoa	1
2014	San Bernardo	1

Distribución espacial de la amenaza

La amenaza por inundaciones se presenta principalmente a lo largo de los principales cursos de agua de la región, zonas bajas de las cuencas y el frente de piedemonte precordillerano (**Figura 9**). Se identifica una amplia área de inundación en el sector Lampa-Quilicura-Pudahuel, además de zonas enmarcadas en el área urbana consolidada que alcanzan 90km², caracterizadas por impermeabilización y déficit de infraestructura (GORE, 2005). Estas comunas están ubicadas en zonas bajas de la cuenca del Mapocho y presentan afloramientos naturales de agua, siendo zonas de inundación históricas.

Comunas que incluyen cauces de ríos como el Mapocho y el Maipo, poseen zonas de inundación ligadas al curso de agua y la planicie de inundación; por ejemplo, las comunas de Maipú en el Mapocho y las comunas de El Monte, Padre Hurtado, Peñaflor y Melipilla luego de la confluencia de los dos ríos. Antes de la confluencia, en dirección este, el río Maipo posee una zona de inundación más angosta (Pirque, San Bernardo, Buin, San Bernardo), para ensancharse en la intersección de Isla de Maipo, Buin y Paine.

Figura 9. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).



PELIGRO DE INUNDACIÓN

LEYENDA

Peligro de Inundación

- Bajo
- Medio
- Alto

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

- | | | | | | |
|---------------------|--------------------|------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| 1 Colina | 10 Calera de Tango | 19 Lo Espejo | 28 El Bosque | 37 Santiago | 46 Ñuñoa |
| 2 Lampa | 11 María Pinto | 20 Lo Prado | 29 Peñalolén | 38 Huechuraba | 47 Estación Central |
| 3 Tiltil | 12 San Pedro | 21 Pedro Aguirre Cerda | 30 Providencia | 39 La Cisterna | 48 El Monte |
| 4 Pirque | 13 Alhucé | 22 Pudahuel | 31 Quilicura | 40 La Granja | 49 Isla de Maipo |
| 5 Puente Alto | 14 Curacaví | 23 San Joaquín | 32 Vitacura | 41 La Pintana | 50 Talagante |
| 6 San José de Maipo | 15 Melipilla | 24 San Ramón | 33 Quinta Normal | 42 La Reina | 51 Padre Hurtado |
| 7 Buin | 16 Independencia | 25 Cerrillos | 34 Recoleta | 43 Las Condes | 52 Peñaflor |
| 8 Paine | 17 La Florida | 26 Cerro Navia | 35 Renca | 44 Macul | |
| 9 San Bernardo | 18 Lo Barnechea | 27 Conchalí | 36 San Miguel | 45 Maipú | |

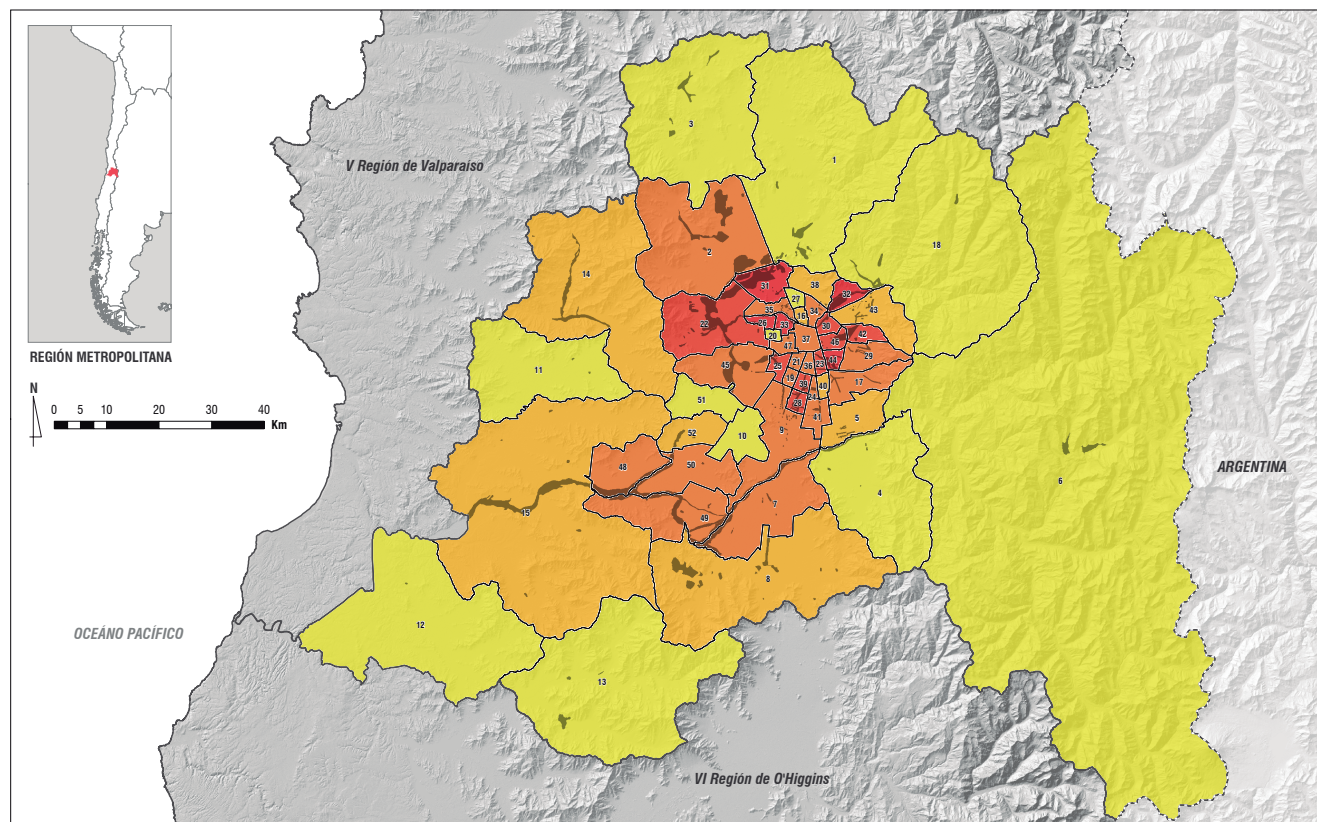
Porcentaje de superficie comunal amenazada por peligro de inundación

En base de la distribución del peligro de inundación, se generó un mapa que indica el porcentaje de la superficie comunal amenazada por un peligro de inundación “alto” (**Figura 10**). Se observa que, en este rango, las superficies amenazadas varían entre el 0,13% y 38% del área comunal total. La mayoría de las comunas presentan una proporción de su superficie amenazada inferior a la media (<9,5%). Cinco comunas presentan un alto porcentaje de superficie amenazada por inundación (22%-38%). Estas se representan en color rojo y corresponden a las comunas de Quilicura, Cerro Navia, Quinta Normal, en la parte baja

de Santiago, y Vitacura y Macul en el piedemonte y precordillera. Providencia, La Reina, Ñuñoa, Pudahuel, Cerrillos, El Bosque, San Joaquín y La Cisterna son otras comunas que presentan entre el 14% y 22% de superficie amenazada por inundación.

Es importante mencionar que el indicador no se distribuye de manera homogénea en la superficie comunal, por lo que se han superpuesto las áreas específicas de peligro de inundación alto para visualizar la distribución espacial real de la amenaza. Además, este indicador representa la amenaza física y no la exposición de bienes y personas o el riesgo propiamente tal.

Figura 10. Mapa de superficie comunal con peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).



SUPERFICIE COMUNAL CON PELIGRO DE INUNDACIÓN ALTO

LEYENDA

Superficie comunal (%)

- 0 - 2
- 2 - 6
- 6 - 14
- 14 - 22
- 22 - 38

Distribución espacial
del peligro

Alto

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

1 Colina
2 Lampa
3 Tilti
4 Pirque
5 Puente Alto
6 San José de Maipo
7 Buin
8 Paine
9 San Bernardo

10 Calera de Tango
11 María Pinto
12 San Pedro
13 Alhué
14 Curacaví
15 Melipilla
16 Independencia
17 La Florida
18 Lo Barnechea

19 Lo Espejo
20 Lo Prado
21 Pedro Aguirre Cerda
22 Pudahuel
23 San Joaquín
24 San Ramón
25 Cerrillos
26 Cerro Navia
27 Conchalí

28 El Bosque
29 Peñalolén
30 Providencia
31 Quilicura
32 Vitacura
33 Quinta Normal
34 Recoleta
35 Renca
36 San Miguel

37 Santiago
38 Huechuraba
39 La Cisterna
40 La Granja
41 La Pineta
42 La Reina
43 Las Condes
44 Macul
45 Maipú

46 Ñuñoa
47 Estación Central
48 El Monte
49 Isla de Maipo
50 Talagante
51 Padre Hurtado
52 Peñaflor

Finalmente, la **Tabla 6** muestra los porcentajes de superficie amenazada por peligro de inundación para todos los rangos (alto, medio y bajo). Además, se generó un ranking comunal (**Figura 11**) para el rango alto del indicador. Estos dos insumos de información pueden funcionar como herramientas para priorizar y guiar acciones a nivel regional,

en función de la amenaza y el contexto administrativo, financiero y de capacidades internas de cada municipio.

Provincia	N°	Comuna	Alto (% área comunal)	Medio (% área comunal)	Bajo (% área comunal)
Chacabuco	1	Colina	1,2%	7,9%	17,8%
	2	Lampa	7,7%	6,4%	13,7%
	3	Tiltil	0,9%	3,9%	7,1%
Cordillera	4	Pirque	1,8%	2,9%	9,1%
	5	Puente Alto	3,3%	2,1%	4,2%
	6	San José de Maipo	0,1%	15,0%	0,0%
Maipo	7	Buín	10,4%	0,6%	17,1%
	8	Paine	3,2%	8,1%	18,3%
	9	San Bernardo	7,8%	2,6%	9,6%
Melipilla	10	Calera de Tango	0,5%	1,3%	5,5%
	11	María Pinto	0,6%	4,8%	13,3%
	12	San Pedro	0,0%	6,0%	18,6%
Santiago	13	Alhué	0,3%	4,4%	15,5%
	14	Curacaví	2,3%	2,2%	9,5%
	15	Melipilla	2,4%	12,5%	43,2%
Santiago	16	Independencia	4,8%	0,0%	0,7%
	17	La Florida	6,1%	0,9%	3,0%
	18	Lo Barnechea	0,8%	2,4%	1,3%
	19	Lo Espejo	8,9%	0,1%	0,6%
	20	Lo Prado	0,0%	0,0%	0,6%
	21	Pedro Aguirre Cerda	8,5%	0,0%	0,8%
	22	Pudahuel	15,4%	2,5%	7,9%
	23	San Joaquín	18,4%	0,1%	0,7%
	24	San Ramón	11,6%	0,0%	0,5%
	25	Cerrillos	15,3%	0,0%	1,4%
	26	Cerro Navia	26,2%	0,0%	0,9%
	27	Conchalí	0,0%	0,0%	1,2%
	28	El Bosque	17,8%	0,0%	1,2%
	29	Peñalolén	10,9%	0,9%	1,9%
	30	Providencia	15,1%	0,0%	1,2%
	31	Quilicura	38,4%	0,6%	2,2%
	32	Vitacura	30,4%	0,0%	1,1%
	33	Quinta Normal	28,1%	0,0%	0,8%
	34	Recoleta	9,2%	0,0%	1,5%
	35	Renca	12,1%	0,5%	1,1%
	36	San Miguel	7,5%	0,0%	0,9%
	37	Santiago	8,0%	0,2%	2,2%
	38	Huechuraba	2,4%	1,2%	1,3%
	39	La Cisterna	21,6%	0,0%	0,8%
	40	La Granja	3,6%	0,0%	0,9%
	41	La Pintana	8,3%	0,3%	2,7%
	42	La Reina	18,7%	0,3%	1,1%
	43	Las Condes	4,8%	0,6%	3,4%
	44	Macul	22,7%	0,0%	1,0%
	45	Maipú	10,3%	2,1%	8,2%
	46	Nuñoa	21,5%	0,0%	1,4%
	47	Estación Central	7,3%	0,1%	1,3%
Talagante	48	El Monte	12,6%	0,5%	6,2%
	49	Isla de Maipo	13,4%	1,2%	8,6%
	50	Talagante	9,3%	0,7%	9,3%
	51	Padre Hurtado	0,0%	1,7%	4,8%
	52	Peñaflor	4,2%	0,8%	4,9%

Tabla 6. Superficie comunal amenazada por peligro de inundación alto, medio y bajo. La superficie se expresa en porcentaje del área total de cada comuna. Fuente: GeoAdaptive.

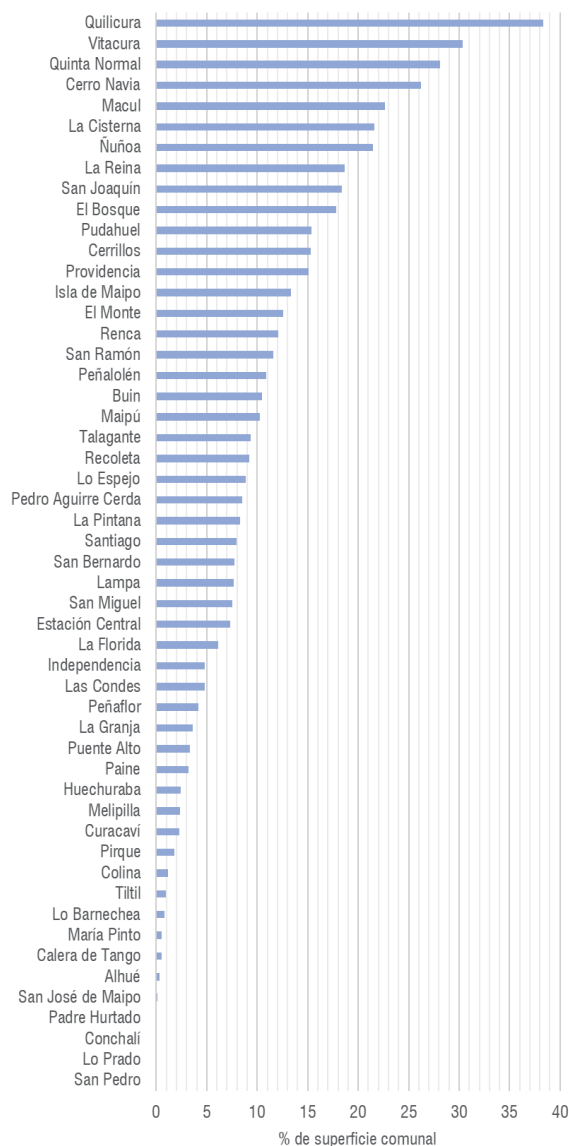


Figura 11. Ranking comunal según % de superficie amenazada por peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive.

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco



2.2 Remoción en masa

- Entre 1990 y 2014, se han registrado más de 100 eventos de remoción en masa.
- El año con mayor cantidad de registros es 2012, con 31 eventos, muchos con características de desastre.
- Las áreas con peligro de remoción en masa se ubican principalmente en zonas de pendientes elevadas, quebradas y conos aluviales de la Cordillera de los Andes y de la Costa.
- El área afectada por peligro de remoción en masa es de 88.847 hectáreas, lo que representa el 5,8% de la superficie de la Región Metropolitana.
- La mayoría de las comunas presentan una proporción de su superficie amenazada inferior a la media (<6,6%).
- Cuatro comunas presentan una proporción de entre 24%-48% de su superficie amenazada por remoción en masa.

Una remoción en masa es un proceso gravitatorio de movilización de una porción de terreno hacia una cota inferior, la que puede estar compuesta de suelo, sedimentos y/o roca, en diversas proporciones con múltiples tipologías y causas (ONEMI, 2017).

En el contexto de riesgo climático para la Región Metropolitana, las remociones en masa son principalmente eventos originados por abundantes precipitaciones en la temporada invernal y precipitaciones en altura con isoterma cero¹ alta. En la región, las precipitaciones originan mayoritariamente remociones de tipo flujo de barro y detritos, caracterizados por su alta rapidez y peligrosidad para áreas aledañas y zonas urbanizadas ubicadas en los conos aluviales y laderas asociadas a quebradas y cauces (p. ej: Quebrada de Macul, Quebrada de Ramón y Quebrada Lo Caña en la precordillera de Santiago).

Eventos de remoción en masa en la Región Metropolitana 1990-2014

A partir de la revisión del Catastro de Eventos de Remoción en Masa Sernageomin² (2017), para el periodo 1990-2017, la región metropolitana registra 116 eventos asociados a remoción en masa por causas climáticas (precipitaciones). Al analizar la línea temporal según ocurrencia de eventos por año, destacan los años 2012, con más de 30 eventos, seguido por 2009 y 2017, años en los que se registraron más de 15 eventos en la región metropolitana (**Figura 12, Tabla 7**).

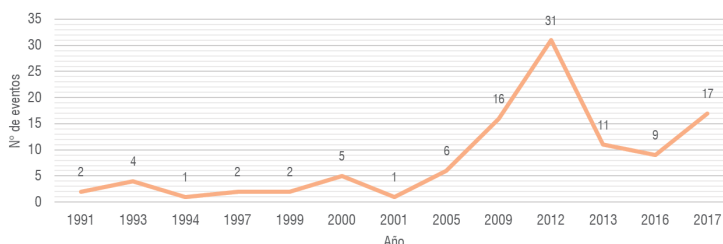


Figura 12. Registro de eventos asociados a remoción en masa 1991-2017.
Fuente: GeoAdaptive en base a ONEMI con datos de SERNAGEOMIN.

Las remociones en masa tienden a generar desastres con graves consecuencias para vidas humanas, además de pérdidas materiales. En el Catstro Nacional de Desastres Naturales de SERNAGEOMIN, se observa que de los 17 eventos registrados desde 1990-2016, 16 corresponden a remociones en masa (SERNAGEOMIN, 2015):

¹ La isoterma cero representa el límite altitudinal sobre el cual la precipitación cae en forma de nieve y bajo este en forma de lluvia. Las isotermas se representan como curvas que indican la misma temperatura.

² Catastro disponible en https://www.onemi.gov.cl/wp-content/uploads/2018/09/PEEVR_REMOCION-EN-MASA_01.02.18.pdf

- **1991** (Sep.): Aluvión quebrada Las Amarillas, Cajón del Maipo.
- **1991** (Dic.): Aluvión Quebrada Lo Caña.
- **1993**: Flujo de detrito y barro en quebradas de Macul, Ramón (temporada seca). Mueren 26 personas y se generan cerca de US \$5.000.000 en daños.
- **1997** (Abr.): Flujo de detrito y barro quebrada Las Amarillas en el Cajón del Maipo. Generó un déficit de agua en la región por turbiedad.
- **1997** (Oct.): Deslizamiento cerro Divisadero en San José de Maipo, con recurrencias en 1999 y 2000.
- **2004**: Aluvión quebrada Lo Caña.
- **2009**: Flujo de detrito quebrada Ñilhue ruta hacia Farellones. Mueren 2 personas y 1.300 turistas quedan aislados en la zona de Farellones.
- **2010**: Caída de rocas en Lo Barnechea.
- **2012** (Ene.): Aluviones en el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca. 104 turistas quedaron aislados.
- **2012** (Jun.): Deslizamientos de suelo y roca San José de Maipo.
- **2012** (Jun.): Aluvión quebrada Cañaveral en ruta a Farellones. Habitantes del lugar quedaron aislados por algunas horas.
- **2012** (Jun.): Caída de rocas en el sector El Ingenio, Cajón del Maipo.
- **2013**: Flujo de detrito en el Cajón del río Maipo. Afectación del suministro de agua potable de Santiago por turbiedad.
- **2015** (Jul.): Caída de rocas en Los Maitenes, San José de Maipo y también en la comuna de Lo Barnechea.
- **2015** (Ago.): Caída de rocas en cuesta Barriga, comuna de Padre Hurtado y en el túnel El Tinoco en San José de Maipo.
- **2016**: Aluvión estero Las Cucas, en el Melocotón, comuna de San José de Maipo.

evento interrumpió el suministro de agua potable, por problemas de turbiedad, para 30 comunas, afectando 1.4 millones de hogares.

Año	Año	Nº de eventos
1991	La Florida	1
	San José de Maipo	1
1993	La Florida	3
	La Reina	1
1994	San José de Maipo	1
1997	San José de Maipo	2
1999	San José de Maipo	2
2000	Cerrillos	1
	Huechuraba	1
	Peñalolén	1
	San Joaquín	1
	San José de Maipo	1
2001	San José de Maipo	1
2005	La Florida	2
	La Reina	1
	Lo Barnechea	2
	Peñalolén	1
2009	Lo Barnechea	16
2012	Lo Barnechea	24
	San José de Maipo	7
2013	San José de Maipo	11
2016	San José de Maipo	9
2017	San José de Maipo	17

Tabla 7. Número de eventos de remoción en masa registrados por comuna y año desde 1991-2017. Fuente: GeoAdaptive en base a ONEMI con datos de SERNAGEOMIN.

Destacan también lluvias de febrero de 2017³ que generaron deslizamientos de barro en la comuna de San José de Maipo. Este

³ Noticia extraída de: https://elpais.com/internacional/2017/02/27/actualidad/1488156815_737807.html

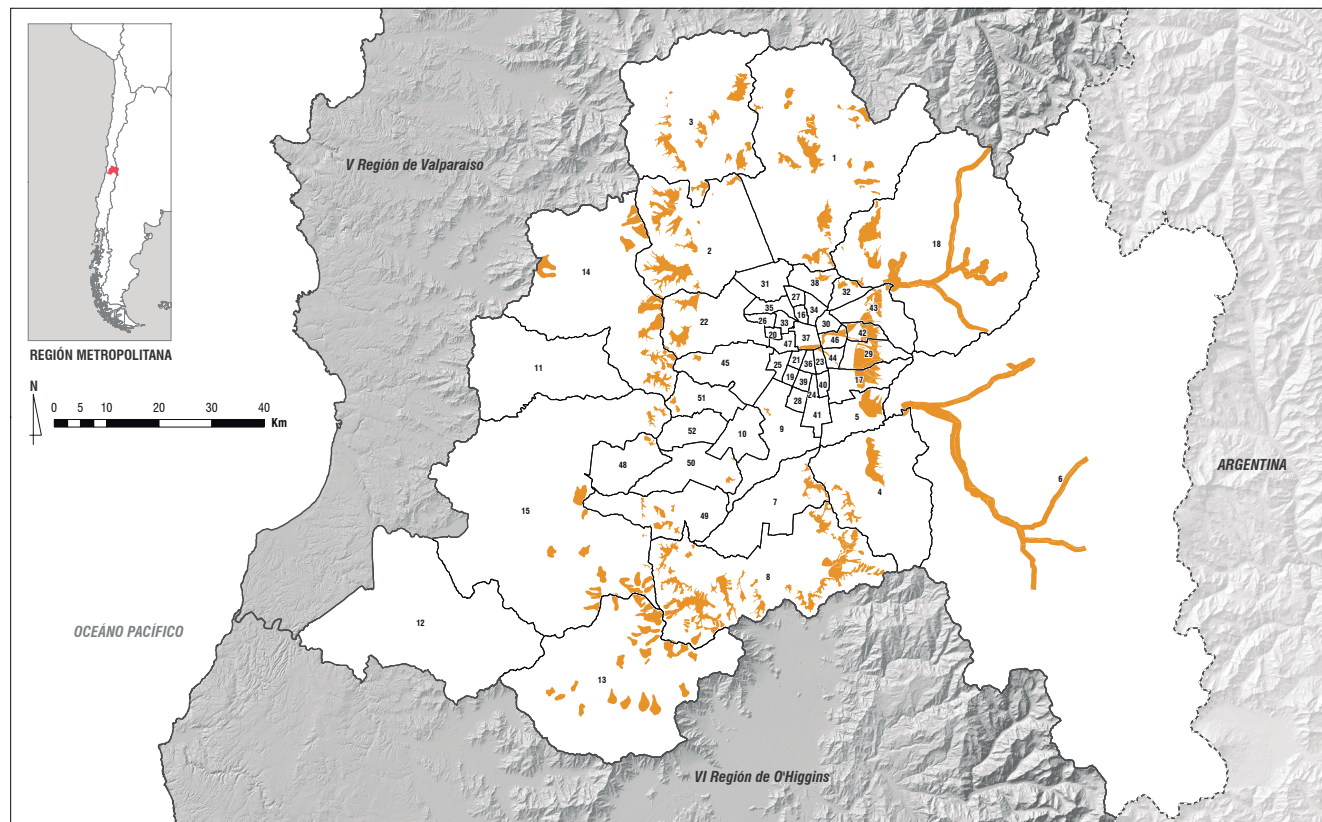
Distribución espacial de la amenaza

Las áreas que presentan mayor probabilidad de originar procesos de remoción en masa (**Figura 13**) corresponden a zonas de elevadas pendientes y acumulaciones de sedimentos y material, tales como quebradas (zonas altas de los ríos Maipo y Mapocho) y abanicos o conos aluviales del flanco oriental (SERNAGEOMIN, 2003).

Considerando lo anterior, las comunas mayormente expuestas son aquellas colindantes al piedemonte de la Cordillera de los Andes, entre ellas San José de Maipo, Puente Alto, La Florida, La Reina, Las Condes y Peñalolén. Otras áreas expuestas son aquellas ubicadas en laderas

hacia el sur de la región, en el sector de angostura de Paine y comunas aledañas a la cordillera de la costa.

Figura 13. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).



PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA

LEYENDA

Peligro de Remoción en Masa



Límite administrativo

Comunal

Regional

Internacional

- | | | | | | |
|---------------------|--------------------|------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| 1 Colina | 10 Calera de Tango | 19 Lo Espejo | 28 El Bosque | 37 Santiago | 46 Ñuñoa |
| 2 Lampa | 11 María Pinto | 20 Lo Prado | 29 Peñalolén | 38 Huechuraba | 47 Estación Central |
| 3 Tiltil | 12 San Pedro | 21 Pedro Aguirre Cerda | 30 Providencia | 39 La Cisterna | 48 El Monte |
| 4 Pirque | 13 Alhúe | 22 Pudahuel | 31 Quilicura | 40 La Granja | 49 Isla de Maipo |
| 5 Puente Alto | 14 Curacaví | 23 San Joaquín | 32 Vitacura | 41 La Pintana | 50 Talagante |
| 6 San José de Maipo | 15 Melipilla | 24 San Ramón | 33 Quinta Normal | 42 La Reina | 51 Padre Hurtado |
| 7 Buin | 16 Independencia | 25 Cerrillos | 34 Recoleta | 43 Las Condes | 52 Peñafort |
| 8 Paine | 17 La Florida | 26 Cerro Navia | 35 Renca | 44 Macul | |
| 9 San Bernardo | 18 Lo Barnechea | 27 Conchalí | 36 San Miguel | 45 Maipú | |

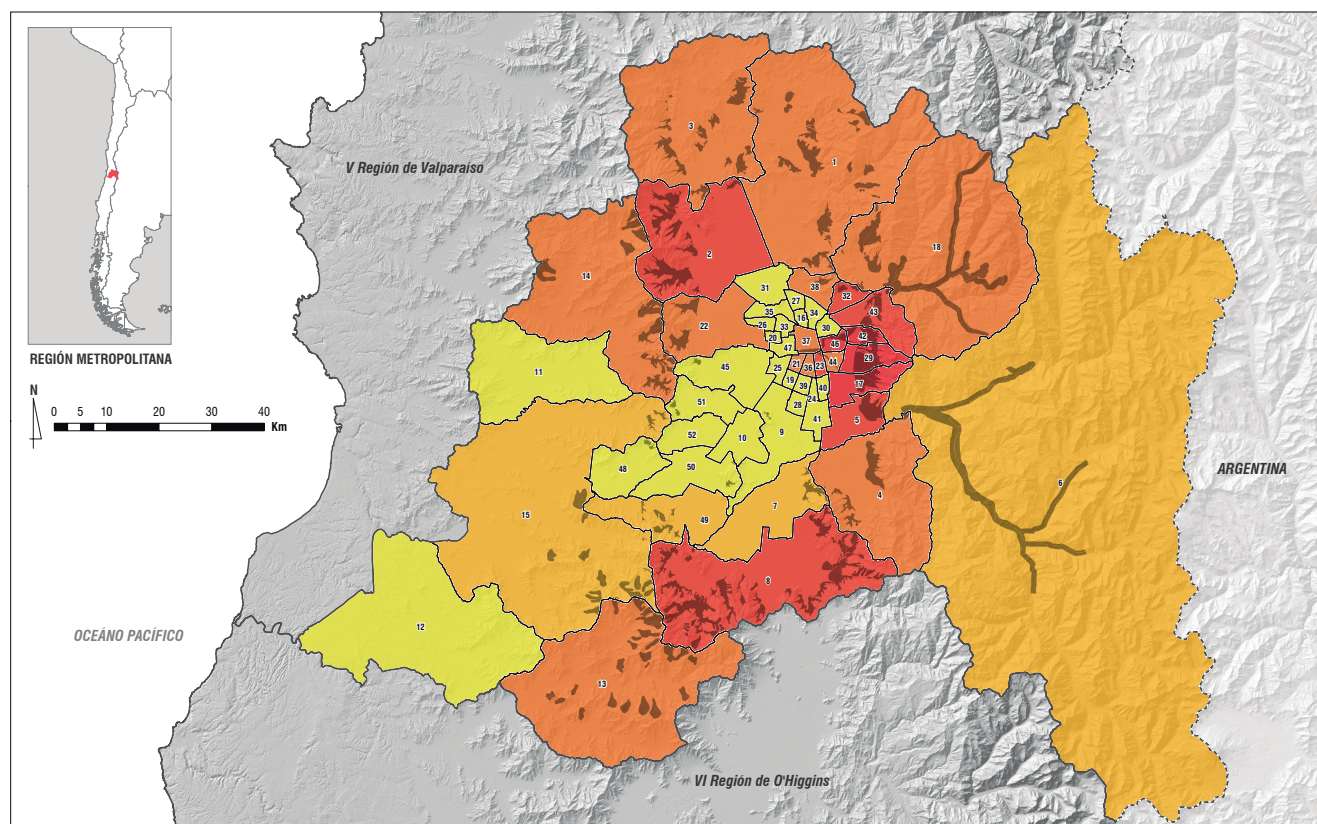
Porcentaje de superficie comunal amenazada por remoción en masa

En función de la distribución del peligro de remoción en masa, se generó un mapa (**Figura 14**) que indica el porcentaje de la superficie comunal amenazada. Se observa que, en este rango, las superficies amenazadas varían entre el 0,46% y 48% del área comunal total. La mayoría de las comunas presentan una proporción de su superficie amenazada inferior a la media (<6,6%). Cuatro comunas presentan un alto porcentaje de superficie amenazada por remoción en masa (24%-48%). Estas se representan en color rojo y corresponden a las comunas La Reina, Peñalolén, Ñuñoa y La Florida, en orden descendente. Quilicura, Cerro

Navia, Quinta Normal, en la parte baja de Santiago, y Vitacura y Macul en el piedemonte y precordillera. Paine, Puente Alto, San Joaquín, Las Condes, Lampa y Vitacura son otras comunas que presentan entre el 12% y 24% de superficie amenazada por remoción en masa.

Es importante mencionar que el indicador no se distribuye de manera homogénea en la superficie comunal, por lo que se han superpuesto las áreas específicas con peligro de remoción en masa para visualizar la distribución espacial real de la amenaza. Además, este indicador representa la amenaza física y no la exposición de bienes y personas o el riesgo propiamente tal.

Figura 14. Mapa de superficie comunal con peligro de inundación alto. Fuente: GeoAdaptive a partir de “Carta Síntesis de Riesgos Naturales” del proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana De Santiago” (GORE,2003).



SUPERFICIE COMUNAL CON PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA

LEYENDA

Superficie comunal (%)

- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 12
- 12 - 24
- 24 - 48

Distribución espacial del peligro

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pinzana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñafort
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

La **Tabla 8** muestra los porcentajes de superficie amenazada por remoción en masa para cada comuna de la Región Metropolitana. Además, se generó un ranking comunal en función de la superficie. Al igual que para la amenaza de inundación, estos dos insumos de información se generaron para permitir priorizar y guiar acciones a nivel regional.

Provincia	N°	Comuna	Superficie (%) comunal amenazada
Chacabuco	1	Colina	6,6%
	2	Lampa	12,5%
	3	Tiltil	7,1%
Cordillera	4	Pirque	6,0%
	5	Puente Alto	17,2%
	6	San José de Maipo	2,6%
Maipo	7	Buín	3,7%
	8	Paine	17,7%
	9	San Bernardo	0,5%
	10	Calera de Tango	0,0%
Melipilla	11	María Pinto	0,0%
	12	San Pedro	0,0%
	13	Alhué	8,4%
	14	Curacaví	9,6%
	15	Melipilla	3,2%
Santiago	16	Independencia	0,0%
	17	La Florida	24,1%
	18	Lo Barnechea	11,2%
	19	Lo Espejo	0,0%
	20	Lo Prado	0,0%
	21	Pedro Aguirre Cerda	8,4%
	22	Pudahuel	8,1%
	23	San Joaquín	14,4%
	24	San Ramón	0,0%
	25	Cerrillos	0,0%
	26	Cerro Navia	0,0%
	27	Conchalí	0,0%
	28	El Bosque	0,0%
	29	Peñalolén	40,0%
	30	Providencia	0,0%
	31	Quilicura	0,0%
	32	Vitacura	12,4%
	33	Quinta Normal	0,0%
	34	Recoleta	1,1%
	35	Renca	0,0%
	36	San Miguel	5,5%
	37	Santiago	7,0%
	38	Huechuraba	6,0%
	39	La Cisterna	0,0%
	40	La Granja	0,0%
	41	La Pintana	0,0%
	42	La Reina	48,1%
	43	Las Condes	13,9%
	44	Macul	7,0%
	45	Maipú	1,2%
	46	Nuñoa	29,5%
	47	Estación Central	0,0%
Talagante	48	El Monte	1,2%
	49	Isla de Maipo	4,0%
	50	Talagante	1,0%
	51	Padre Hurtado	2,0%
	52	Peñaflor	0,0%

Tabla 8. Superficie comunal amenazada por peligro de remoción en masa. La superficie se expresa en porcentaje del área total de cada comuna. Fuente: GeoAdaptive.

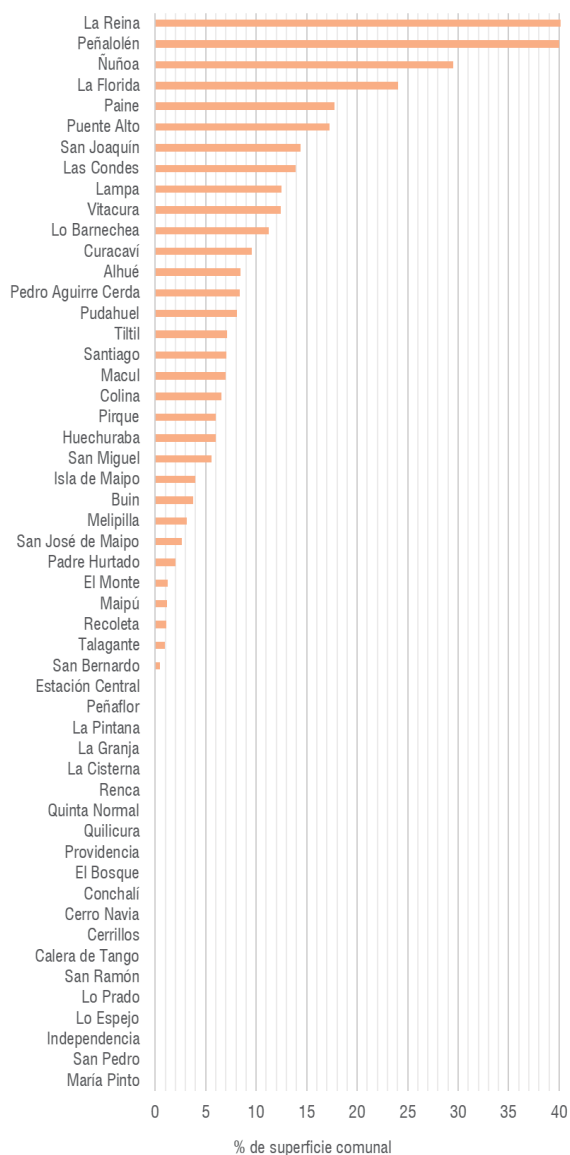


Figura 15. Ranking comunal según % de superficie amenazada por peligro de inundación de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive.



2.3 Incendios forestales

- Desde 1990 a 2018, la superficie total afectada por incendios forestales en la RM es de 172.824 hectáreas (ha).
- En el mismo rango temporal, han ocurrido 136 incendios de magnitud (>200 ha), afectando 128.108 ha en total. Esto representa un 74% de la superficie total afectada por incendios.
- Entre 1990 y 2018 han ocurrido 12.613 incendios normales (<200 ha), afectando un total de 44.716 ha.
- Entre 1990 y 2018 la superficie afectada promedio por incendio de magnitud es de 676,6 ha.
- En el mismo rango temporal, la superficie afectada promedio por incendio normal es de 3,6 ha.
- El período con mayor superficie afectada es 2016 con 53.236 ha. 95% corresponden a incendios de magnitud.
- El período con mayor ocurrencia de incendios es 2003 con 743.

Esta amenaza puede ser definida como incendios que se propagan sin control a través de la vegetación en terrenos rurales o cercanos a viviendas. Estos se propagan más fácilmente en temporadas de altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad de la vegetación y el ambiente (ONEMI, 2019).

En el contexto de riesgo climático para la Región Metropolitana, los incendios forestales son principalmente eventos originados por la acción del ser humano; es decir, de origen antrópico. A nivel regional, según cifras CONAF para los años 2014, 2015 y 2016, la principal causa general es el "tránsito de personas, vehículos o aeronaves" con un 67% (**Figura 16**). Dentro de esta, el "uso del fuego por transeúntes" representa la principal causa específica de origen, con un 99%.



Figura 16. Incendios forestales según causa general. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.

Con respecto a los incendios de gran magnitud, es decir aquellos que superan una superficie afectada de 200 hectáreas, también son eventos principalmente originados por tránsito de personas y uso de fuego por transeúntes (64%). Sin embargo, destaca la causa "otras actividades" (21%), cuyas causas específicas son "soldadura y montaje de estructuras varias" (**Figura 17**).

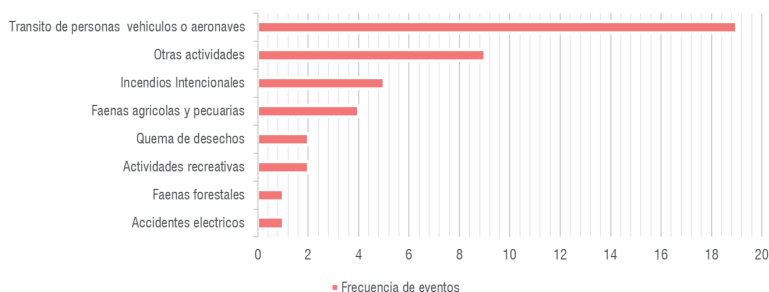


Figura 17. Incendios forestales de gran magnitud según causa general. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.

Eventos de incendio en la Región Metropolitana 1990-2018

Los eventos de incendio forestal registrados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), muestran que se trata de una amenaza presente de manera continua a lo largo de los años, con fluctuaciones que van entre el mínimo ocurrido en 1990, con 263, eventos a un máximo de 743 eventos el año 2003 (**Figura 18**). Con respecto a la superficie afectada, esta se mantuvo por debajo de las 10.200 hectáreas (ha) hasta 2013, año en que 21.262 ha fueron afectadas, seguida por el máximo histórico de 53.236 ha en 2016.

Cabe mencionar que no existe una correlación entre la cantidad de eventos anuales y la magnitud o superficie quemada. La mayoría de los incendios considerados “normales” (<200 ha) promedian 3,6 ha entre 1990 y 2018 y representan sólo el 26% de la superficie afectada total para la RM con 12.613 eventos. Por otro lado, los incendios de magnitud (>200 ha) representan el 74% de la superficie afectada con 136 eventos.

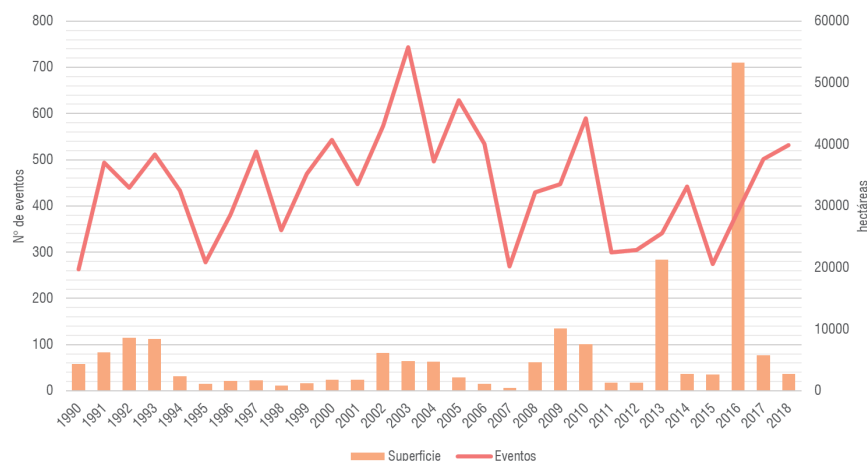


Figura 18. Incendios forestales 2014-2016 según superficie afectada. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.

Distribución espacial de los eventos de incendio forestal

Al analizar los datos de los incendios ocurridos entre 2014-2016, se puede apreciar que predominan los incendios menores a 10 ha (**Figura 19**). Sin embargo, el año 2016 muestra un aumento de incendios de mayor superficie afectada, aumentando de 5 a 34 incendios de gran magnitud para el periodo anual.

A escala comunal, y como se aprecia en la **Figura 20**, los registros de incendios de los años 2014, 2015 y 2016 muestran que la mayor ocurrencia de incendios forestales se ha dado en las comunas de

Melipilla (193), Lampa (111), Curacaví (110) y San Pedro (71) (**Tabla 9**). Estas comunas se localizan en zonas de interfase urbano-rural, por lo que presentan factores que incrementan el riesgo de incendios forestales, tales como condiciones meteorológicas aptas para la propagación, malas prácticas en el uso del fuego (residencial, recreacional, industrial o agrícola) y presencia de combustible vegetal (CONAF, 2013).

Provincia		Comunas	2014	2015	2016	Total
Chacabuco	1	Colina	12	5	17	34
	2	Lampa	24	36	51	111
	3	Tiltil	1	5	16	22
Cordillera	4	Pirque	16	14	9	39
	5	Puente Alto	27	4	10	41
	6	San José de Maipo	11	0	13	24
Maipo	7	Buín	12	2	3	17
	8	Paine	10	9	12	31
	9	San Bernardo	18	11	11	40
	10	Calera de Tango	2	1	1	4
Melipilla	11	María Pinto	10	7	12	29
	12	San Pedro	20	18	33	71
	13	Alhué	18	7	14	39
	14	Curacaví	48	29	33	110
	15	Melipilla	91	52	50	193

Tabla 9. Eventos de incendio forestal registrados entre 2014 y 2017 según comuna. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF.

Provincia		Comunas	2014	2015	2016	Total
Santiago	16	Independencia	0	0	0	0
	17	La Florida	4	3	7	14
	18	Lo Barnechea	6	2	1	9
	19	Lo Espejo	0	0	0	0
	20	Lo Prado	0	0	0	0
	21	Pedro Aguirre Cerda	0	0	0	0
	22	Pudahuel	10	5	13	28
	23	San Joaquín	0	0	0	0
	24	San Ramón	0	0	0	0
	25	Cerrillos	0	0	0	0
	26	Cerro Navia	0	0	0	0
	27	Conchalí	0	0	0	0
	28	El Bosque	0	0	0	0
	29	Peñalolén	7	1	8	16
	30	Providencia	4	0	3	7
	31	Quilicura	7	2	8	17
	32	Vitacura	1	1	1	3
	33	Quinta Normal	0	0	0	0
	34	Recoleta	2	3	4	9
	35	Renca	8	12	10	30
	36	San Miguel	0	0	0	0
	37	Santiago	0	0	0	0
	38	Huechuraba	6	9	11	26
	39	La Cisterna	0	0	0	0
	40	La Granja	0	0	0	0
	41	La Pintana	0	0	0	0
	42	La Reina	1	1	0	2
	43	Las Condes	5	6	5	16
	44	Macul	0	0	0	0
	45	Maipú	5	1	6	12
	46	Ñuñoa	0	0	0	0
	47	Estación Central	0	0	0	0
Talagante	48	El Monte	6	2	4	12
	49	Isla de Maipo	5	5	3	13
	50	Talagante	10	8	4	22
	51	Padre Hurtado	20	5	7	32
	52	Peñaflor	17	5	8	30

Figura 19. Eventos según magnitud para los años 2014-15-16. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de CONAF disponibles en la IDE. (GORE,2003).

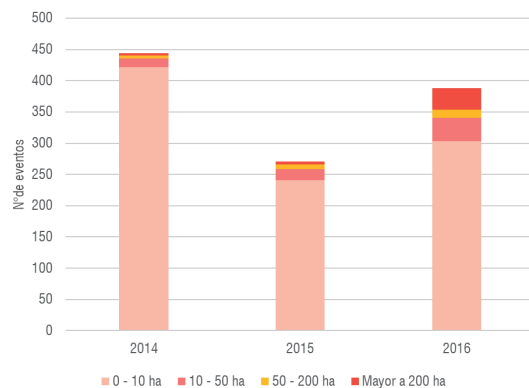
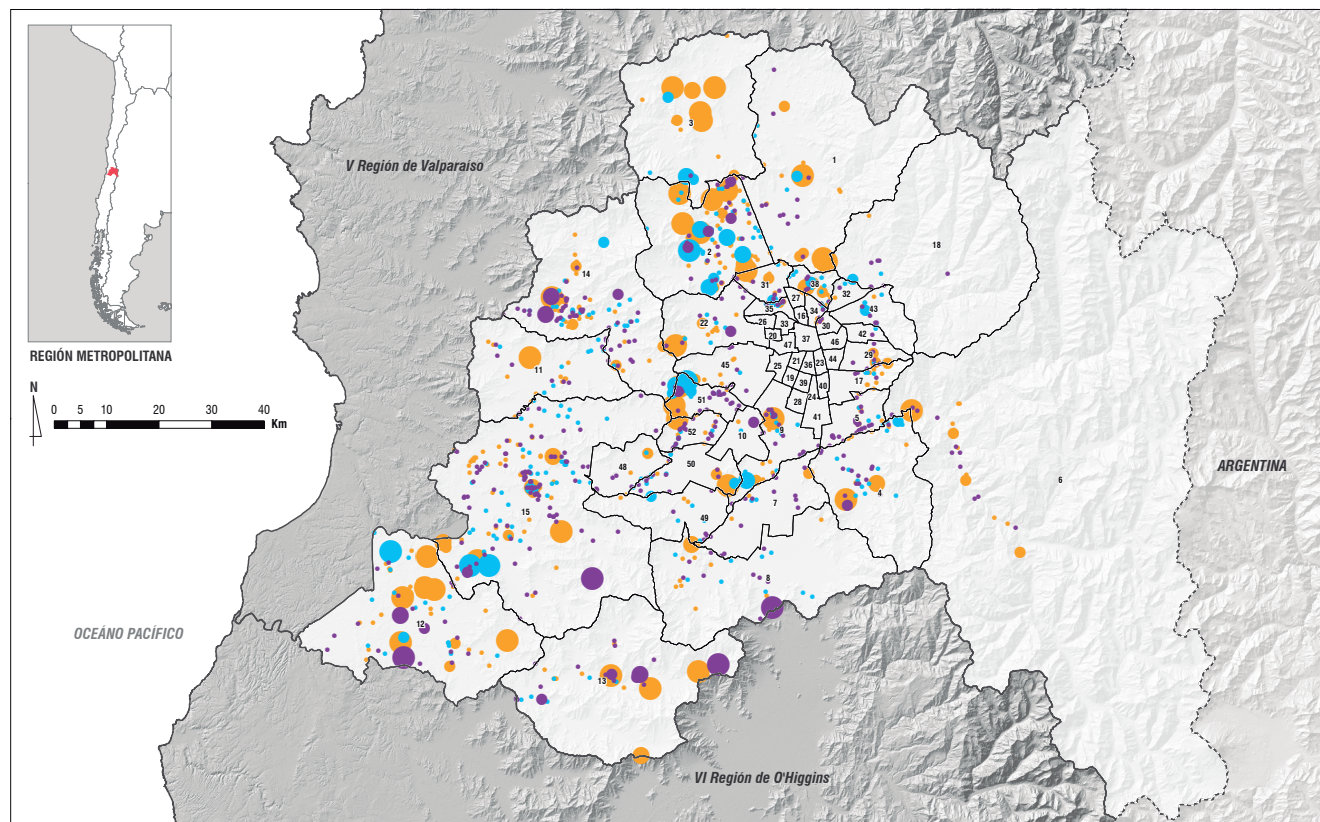


Figura 20. Mapa de eventos de incendio forestales según magnitud de superficie afectada para los años 2015-16-17. Fuente: GeoAdaptive en base a datos geoespaciales de CONAF disponibles en la IDE.



REGISTRO DE INCENDIOS FORESTALES Y SU MAGNITUD PARA LOS AÑOS 2014, 2015 & 2016

LEYENDA

Superficie afectada

- 0 - 10 ha
- 10 - 50 ha
- 50 - 200 ha
- mayor a 200 ha

Año

- 2014
- 2015
- 2016

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacavi	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñaflor
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

Amenaza de incendio forestal: Susceptibilidad de propagación

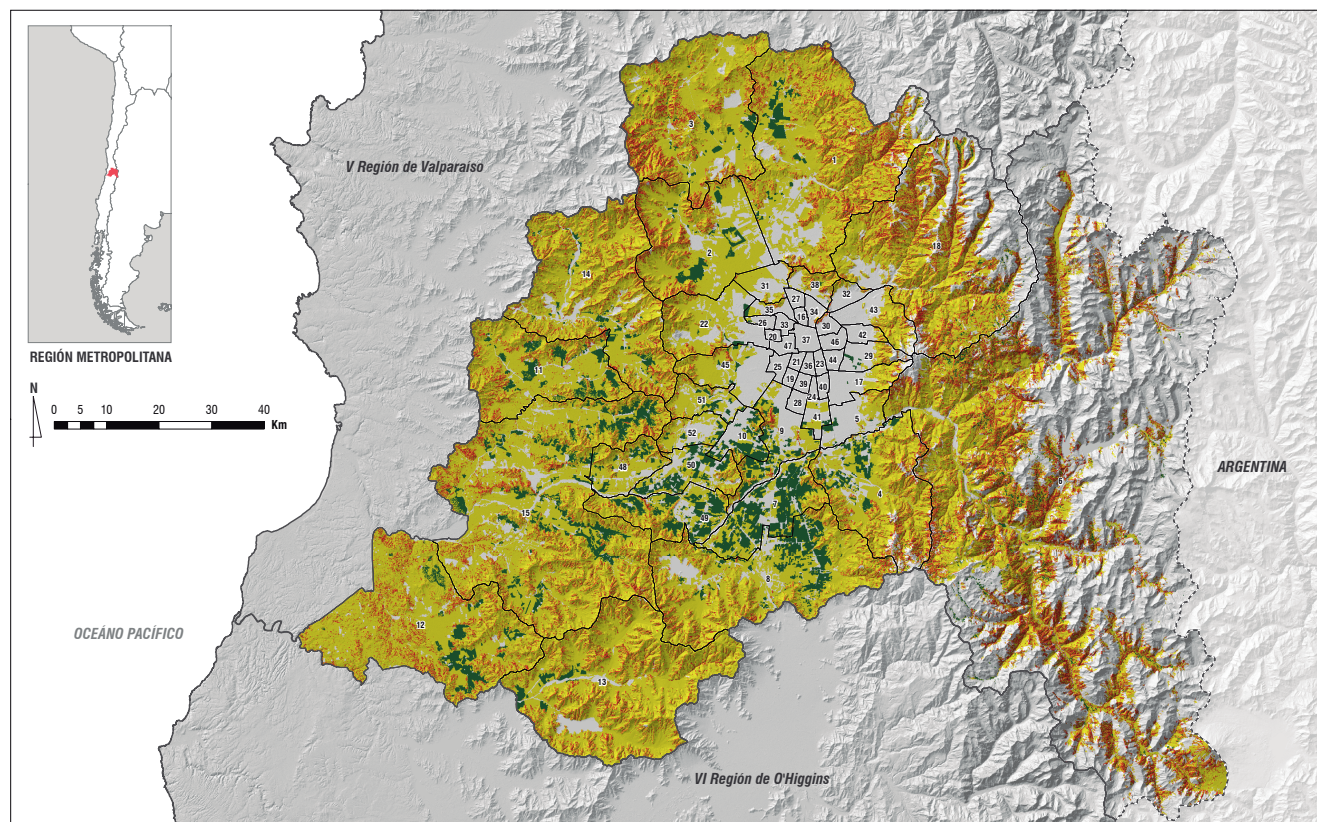
Las áreas que presentan mayor probabilidad de propagación de incendios forestales corresponden a zonas de elevadas pendientes que propician la ocurrencia de vientos y presencia de combustible vegetal inflamable, lo que está controlado según el tipo y características de la vegetación predominante.

Destacan con un alto grado de susceptibilidad los matorrales y plantaciones que circundan las áreas agrícolas y poblados de la región en torno a laderas y quebradas con altas pendientes. Las zonas de

susceptibilidad media corresponden mayormente a áreas de bosque nativo, matorral en baja pendiente y áreas agrícolas en laderas, como las ubicadas en el sector norte y oriente de la cuenca.

Se han provisto dos mapas de susceptibilidad. El original (**Figura 21**) muestra los resultados directos del modelo realizado con una clasificación de susceptibilidad de propagación alta, media y baja. De forma complementaria, se realizó un segundo mapa (**Figura 22**) simplificado que agrupa en clústeres cada clase de susceptibilidad, dado que la alta resolución de la data y el análisis arrojan áreas (p. ej: de susceptibilidad alta) que la representación a escala regional no permite apreciar.

Figura 21. Mapa original de susceptibilidad de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.



SUSCEPTIBILIDAD DE PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORSTALES | RESULTADO ORIGINAL DEL MODELO

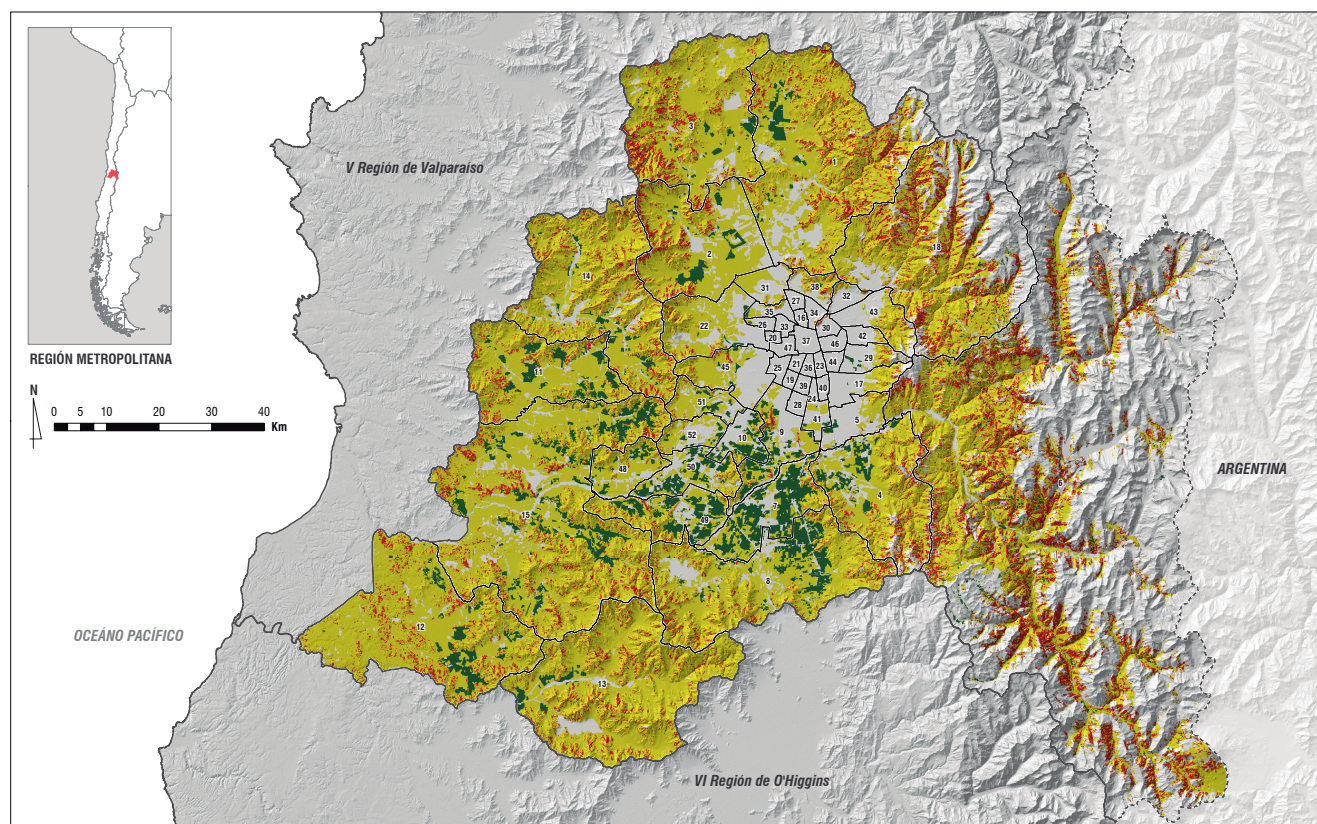
LEYENDA

Susceptibilidad	Límite administrativo
Bajo	Comunal
Medio	Regional
Alto	Internacional

1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhúe	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buin	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñafort
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

En este sentido, el mapa simplificado se realizó para favorecer el entendimiento del indicador de susceptibilidad y orientar mejor el manejo y toma de decisión al respecto de esta amenaza.

Figura 22. Mapa simplificado de susceptibilidad de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.



SUSCEPTIBILIDAD DE PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES | CLUSTERIZACIÓN POR CLASES

LEYENDA

Susceptibilidad	Límite administrativo
■ Bajo	 Comunal
■ Medio	 Regional
■ Alto	 Internacional

1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pineta	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñafort
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

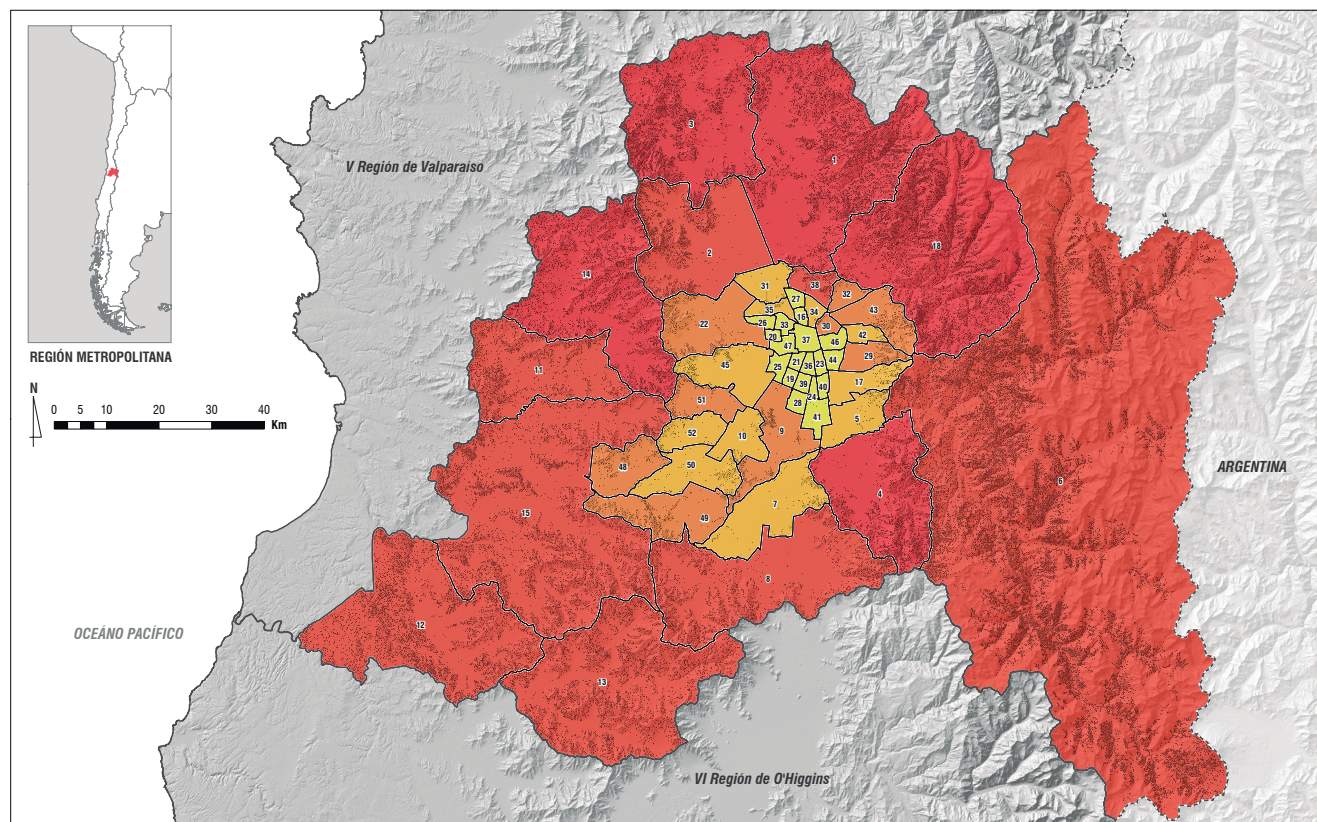
Porcentaje de superficie comunal susceptible de propagación de incendio forestal

En función de la distribución de la susceptibilidad de propagación, se generó un mapa que indica el porcentaje de la superficie comunal potencialmente afectada por propagación “alta” (**Figura 23**). Al analizar los datos se observa que las superficies varían entre el 0,03% y 17,1% del área comunal total. La mayoría de las comunas presentan una proporción de su superficie amenazada superior a la media (>4,5%). Cinco comunas presentan un alto porcentaje (superior al 12%); estas corresponden a Lo Barnechea, Colina, Tili Til, Curacaví y Pirque, seguidas por las comunas de Alhué, San Pedro, San José de Maipo,

Huechuraba, Lampa y Melipilla, que presentan más del 10% de superficie altamente susceptible a la propagación de incendios forestales. En general, las comunas señaladas forman parte de la interfase urbano-rural, circundando poblados y con usos de suelo mixto, (residencial, agrícola, forestal, industrial); además, la mayor parte de estas comunas han sufrido numerosos eventos de incendio forestal en años recientes.

Es importante mencionar que este indicador no se distribuye de manera homogénea en la superficie comunal, por lo que en los mapas se han superpuesto las áreas específicas (distribución espacial) en las que los incendios tienen alta probabilidad de propagación. Además, el porcentaje de superficie es un indicador de la susceptibilidad de

Figura 23. Mapa de superficie comunal con alta susceptibilidad de propagación de incendio forestal Fuente: GeoAdaptive.



SUPERFICIE COMUNAL CON SUSCEPTIBILIDAD DE PROPAGACIÓN ALTA

LEYENDA

Superficie comunal (%)

- 0 - 1
- 1 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- 12 - 17

Distribución espacial de la susceptibilidad

- Alta

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

1 Colina
2 Lampa
3 Tili Til
4 Pirque
5 Puente Alto
6 San José de Maipo
7 Buin
8 Paine
9 San Bernardo

10 Calera de Tango
11 María Pinto
12 San Pedro
13 Alhué
14 Curacaví
15 Melipilla
16 Independencia
17 La Florida
18 Lo Barnechea

19 Lo Espejo
20 Lo Prado
21 Pedro Aguirre Cerda
22 Pudahuel
23 San Joaquín
24 San Ramón
25 Cerrillos
26 Cerro Navia
27 Conchalí

28 El Bosque
29 Peñalolén
30 Providencia
31 Quilicura
32 Vitacura
33 Quinta Normal
34 Recoleta
35 Renca
36 San Miguel

37 Santiago
38 Huechuraba
39 La Cisterna
40 La Granja
41 La Pintana
42 La Reina
43 Las Condes
44 Macul
45 Maipú

46 Ñuñoa
47 Estación Central
48 El Monte
49 Isla de Maipo
50 Talagante
51 Padre Hurtado
52 Peñaflor

propagación, el cual representa la amenaza física, y no de la exposición de bienes y personas o el riesgo propiamente tal.

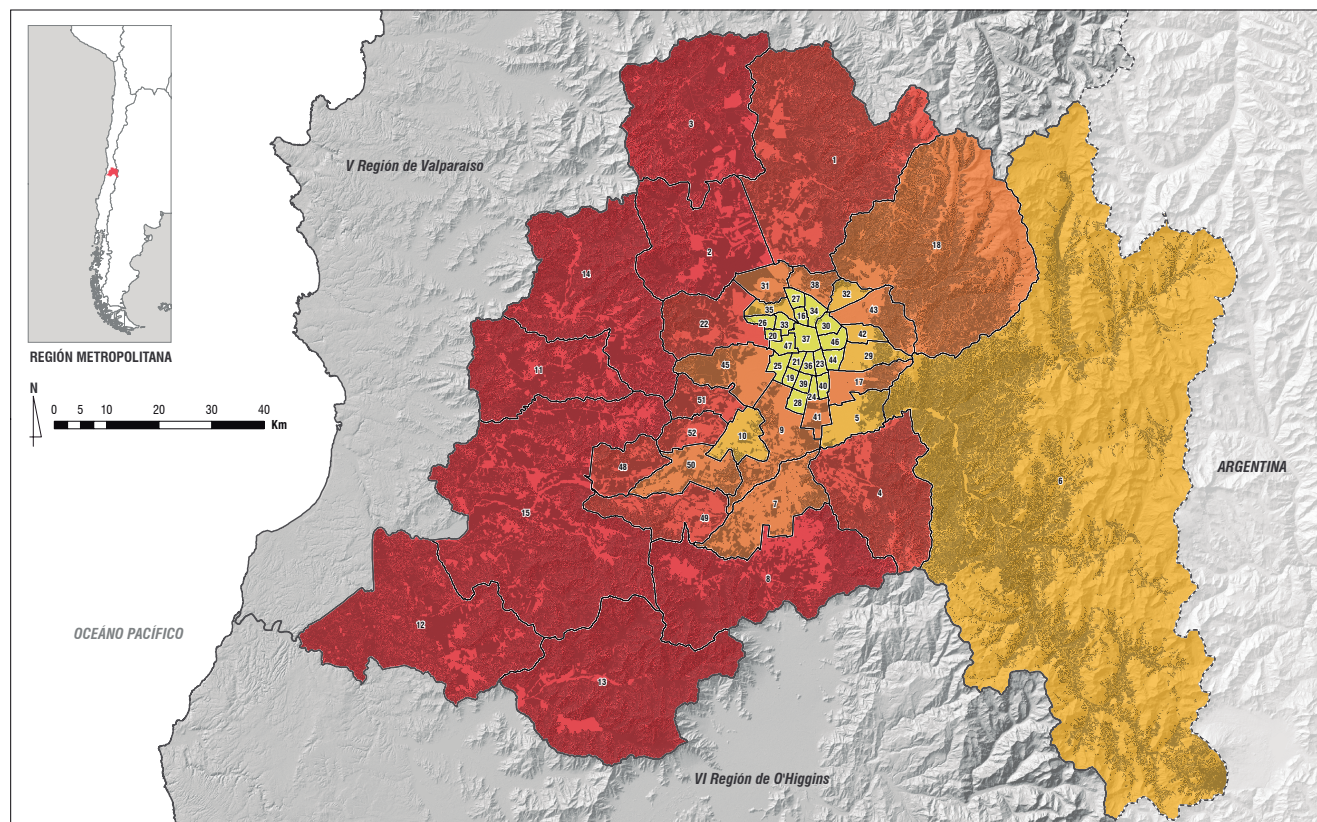
Las comunas con gran porcentaje de superficie medianamente susceptibles a la propagación pueden constituir, al igual que las anteriores, un foco para la gestión y prevención de incendios forestales, dada su sensibilidad a las condiciones meteorológicas y al manejo (Figura 24). En este sentido, los datos muestran que las superficies varían entre el 8,2% y 47,8% del área comunal total.

En la categoría de media susceptibilidad, la mayoría de las comunas presentan una proporción de su superficie amenazada superior a la media (>31,3%). Ocho comunas del poniente de la capital presentan

un alto porcentaje (superior al 70%), entre ellas, todas las comunas de la provincia de Melipilla, Tiltill, Lampa y Paine, lo que coincide con las comunas de la interfase urbano-rural que presentan mayor ocurrencia de eventos de incendio forestal, dada las extensas áreas que se encuentran susceptibles a propagación, lo que incrementa la probabilidad de que ocurran y se extiendan incendios por causa antrópica.

Finalmente, la Figura 25 en pág. 58 presenta un ranking comunal con la susceptibilidad de propagación. El gráfico indica el porcentaje de superficie comunal afectada por susceptibilidad alta. En general, se observa que las comunas del área urbana central de Santiago y las comunas pericentrales poseen nula o muy poca superficie en este

Figura 24. Mapa de superficie comunal con susceptibilidad media de propagación de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive



SUPERFICIE COMUNAL CON SUSCEPTIBILIDAD DE PROPAGACIÓN MEDIA

LEYENDA

Superficie comunal (%)

- 0 - 10
- 10 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 82

Distribución espacial de la susceptibilidad

Media

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

- 1 Colina
- 2 Lampa
- 3 Tiltill
- 4 Pirque
- 5 Puente Alto
- 6 San José de Maipo
- 7 Buin
- 8 Paine
- 9 San Bernardo

- 10 Calera de Tango
- 11 María Pinto
- 12 San Pedro
- 13 Alhué
- 14 Curacaví
- 15 Melipilla
- 16 Independencia
- 17 La Florida
- 18 Lo Barnechea

- 19 Lo Espejo
- 20 Lo Prado
- 21 Pedro Aguirre Cerda
- 22 Pudahuel
- 23 San Joaquín
- 24 San Ramón
- 25 Cerrillos
- 26 Cerro Navia
- 27 Conchalí

- 28 El Bosque
- 29 Peñalolén
- 30 Providencia
- 31 Quilicura
- 32 Vitacura
- 33 Quinta Normal
- 34 Recoleta
- 35 Renca
- 36 San Miguel

- 37 Santiago
- 38 Huechuraba
- 39 La Cisterna
- 40 La Granja
- 41 La Pintana
- 42 La Reina
- 43 Las Condes
- 44 Macul
- 45 Maipú

- 46 Ñuñoa
- 47 Estación Central
- 48 El Monte
- 49 Isla de Maipo
- 50 Talagante
- 51 Padre Hurtado
- 52 Peñaflor

rango, con excepción de Providencia y Recoleta que limitan con el Cerro San Cristóbal. Luego hay un anillo de comunas que limitan con el piedemonte de la Cordillera de los Andes o la Cordillera de la Costa, las que presentan entre el 1 y 8% de su superficie con susceptibilidad de propagación alto. Las comunas hacia del oriente de Santiago y de gran tamaño (San José de Maipo, Pirque y Lo Barnechea) se ubican en el rango medio-alto y alto (8-12% y 12-17% de su superficie afectada por susceptibilidad alta). Las comunas del norte y poniente de la RM se comportan de manera similar dadas sus características rurales y variabilidad topográfica.

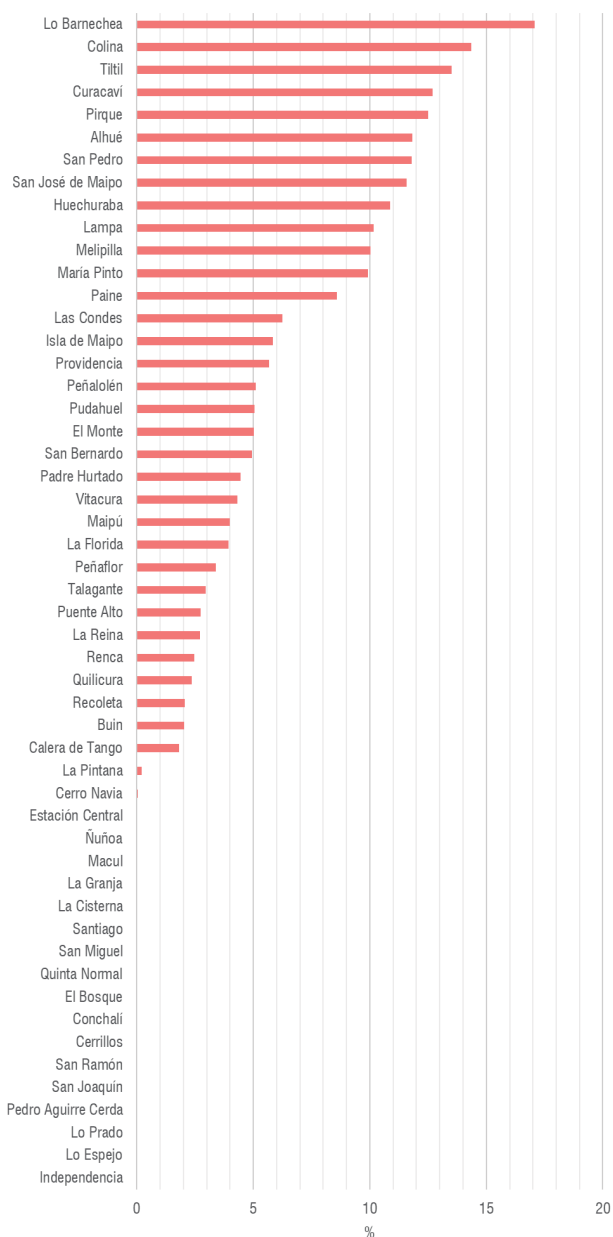
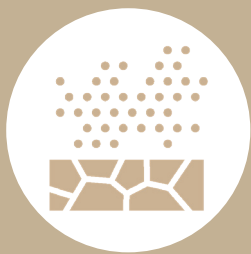


Figura 25. Ranking porcentaje de superficie comunal con susceptibilidad de propagación alta. Fuente: GeoAdaptive.

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco



2.4 Sequía

- Entre 2008-2019 se han emitido 38 decretos de escasez hídrica, de los cuales 18 están vigentes.
- Las comunas con mayor cantidad de decretos son Colina, Tiltil, San Pedro, Alhué, Curacaví y Melipilla.
- Se identifica un período de sequía extendida durante los últimos 10 años.
- El período de sequía más extremo en la década fue 2014.
- Entre 1990-2019 las comunas de la RM han experimentado al menos 10 años con algún grado de sequedad, llegando a un máximo de 12 años.
- Existe un déficit de -77% de precipitaciones a septiembre de 2019.
- Se muestra una baja de los caudales a partir del año 2010, coincidiendo con la sequía meteorológica extendida.
- El río Mapocho presenta un -83% de variación de caudal a septiembre de 2019 y el río Maipo un -39%.

La sequía es una amenaza de inicio lento y caracteriza por condiciones climáticas acumulativas que generan un déficit de agua, con consecuencias para la población, actividades productivas y ecosistemas. Las definiciones de este fenómeno dependen de las variables hidrometeorológicas e índices utilizados para describirlas.

La Dirección General de Aguas, en su Observatorio de Sequía¹, define la sequía como “(...) un fenómeno natural, un periodo de tiempo durante el cual se presentan condiciones climáticas desfavorables que provocan un déficit de agua. La principal característica de dichos periodos es presentar valores de precipitaciones inferiores a los normales en el área, lo cual deriva en una insuficiencia de recursos hídricos para abastecer la demanda de la zona.

Para efectos de este estudio, se consideran cuatro índices, y sus variables asociadas, que permiten caracterizar la sequía meteorológica e hidrológica, según datos recopilados en el Observatorio Agroclimático² y los boletines hidrológicos de la DGA. Lo anterior permite caracterizar esta amenaza en función de su recurrencia y persistencia en una escala espaciotemporal amplia.

Sequía meteorológica:

- Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)
- Déficit y Superávit

Sequía hidrológica:

- Índice de Caudales Estandarizado (ICE)
- Nivel de Variación de Caudales

Decretos de Zonas de Escasez

De forma complementaria a la observación temporal de las variables que permiten caracterizar los diversos tipos de sequía, otra forma de entender la sequía en la Región Metropolitana es revisar los decretos de escasez precipitados por las variaciones hidrometeorológicas que gatillan condiciones de sequía. El Art. 314 del Código de Aguas permite declarar Zonas de Escasez Hídrica a través de un decreto Presidencial por medio de un informe técnico de la DGA. Los Decretos de Escasez³

¹ Observatorio de Sequía (<http://www.observatoriodga.cl/glosario.php>)

² Agroclimatic Observatory (<https://www.climatedatalibrary.cl/UNEA/maproom/>). Para los dos tipos de sequía mencionados, los datos provienen principalmente de la Dirección General de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile.

³ La Resolución DGA N° 1647, 12 de junio de 2012, establece las condiciones hidrometeorológicas para determinar épocas de sequía extraordinaria. Para el caso de aguas superficiales se utilizan los siguientes criterios aplicables a la Región Metropolitana de Santiago:

facultan a la autoridad pública para implementar medidas extraordinarias para reducir los daños provocados por la sequía.

La DGA posee registro de los decretos de escasez desde 2008 a la fecha (Tabla 10, Figura 26). En el contexto de la Región Metropolitana, se han generado 38 decretos de escasez, de los cuales 18 están vigentes. Las comunas con mayor cantidad de decretos corresponden a Colina (4) y Tiltill (6) en el norte de Santiago y las comunas agrícolas de San Pedro (6), Alhué (4), Curacaví (4) y Melipilla (4) hacia el poniente.

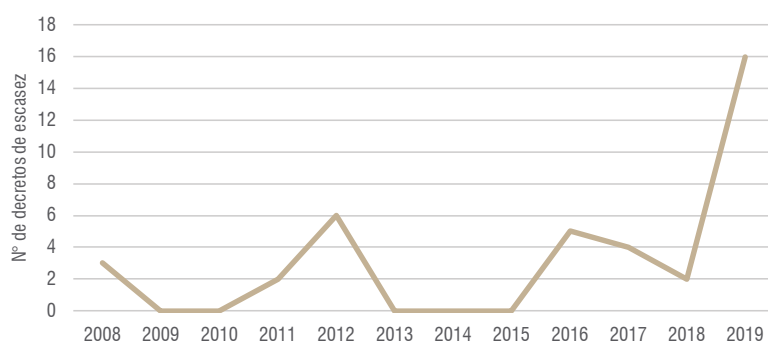


Figura 26. Decretos de escasez por año período 2008-2019.
Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DGA.

Tabla 10. Decretos de escasez hídrica entre 2008 y 2019. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DGA.

Provincia	Nº	Comuna	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
Chacabuco	1	Colina	1								1		1	1	4
	2	Lampa									1				1
	3	Tiltill	1			1	1				1		1	1	6
Cordillera	4	Pirque												1	1
	5	Puente Alto												1	1
	6	San José de Maipo												1	1
Maipo	7	Buín												1	1
	8	Paine												1	1
	9	San Bernardo												1	1
Melipilla	11	María Pinto					1							1	2
	12	San Pedro	1				1				1	1		2	6
	13	Alhué					1					1		2	4
	14	Curacaví					1				1	1		1	4
	15	Melipilla				1	1					1		1	4
Talagante	49	Isla de Maipo												1	1

a) Las precipitaciones acumuladas a contar del mes de abril, de modo que en cualquier caso quede comprendido al menos el período abril-agosto, tengan un indicador de sequía (Índice de Precipitación Estandarizado) igual o menor a -0,84.

b) Los caudales medios mensuales acumulados de los últimos 3 meses consecutivos, tengan un indicador de sequía (Índice de Caudales Estandarizado) igual o menor a -0,84.

Sequía meteorológica

La sequía meteorológica corresponde a la falta de precipitaciones sobre una región durante un período de tiempo. Se utilizan generalmente datos de precipitación mensual analizados estadísticamente para caracterizar su comportamiento con respecto a valores esperados según datos históricos.

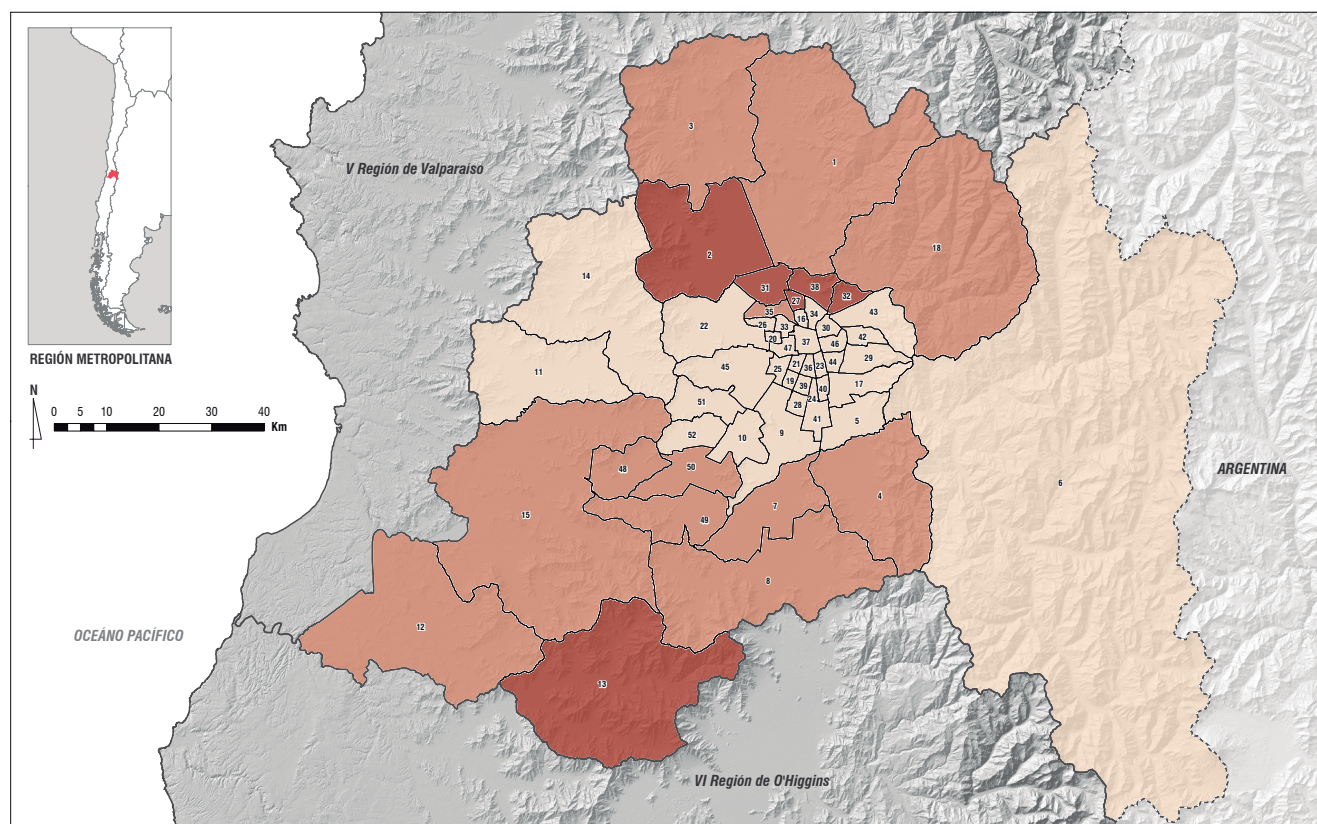
Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)

Consiste en el número de desviaciones estándar que los valores de acumulados de precipitación se desvían del promedio climatológico. Se puede calcular para 1, 3, 6, 9 12 y 48 meses, dependiendo del objetivo. Para entender períodos extendidos, se utiliza el rango de 48 meses. Los

datos pluviométricos provienen de la Dirección Meteorológica de Chile y la DGA. La fuente de datos fue el Observatorio Agroclimático, el cual estructura el indicador en las siguientes categorías que guían el análisis:

- Extremadamente lluvioso (mayor a 2)
- Lluvioso (1,5 a 2)
- Moderadamente lluvioso (1 a 1,5)
- Ligeramente lluvioso (0,5 a 1)
- Normal (2 categorías: 0 a 0,5 y 0 a -0,5)
- Ligeramente seco (-0,5 a -1)
- Moderadamente seco (-1 a -1,5)
- Seco (-1,5 a -2)
- Extremadamente seco (menor a -2)

Figura 27. Mapa de frecuencia de años con algún grado de sequedad (IPE 48 meses -0,5 a -2) por comuna, período 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a Observatorio Agroclimático.



FRECUENCIA DE CONDICIONES DE SEQUÍA PERÍODO 1990-2019 | (IPE -0,5 a -2)

LEYENDA

Nº de años (período abril-agosto)
con algún grado de sequedad según IPE

- 10 años
- 11 años
- 12 años

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

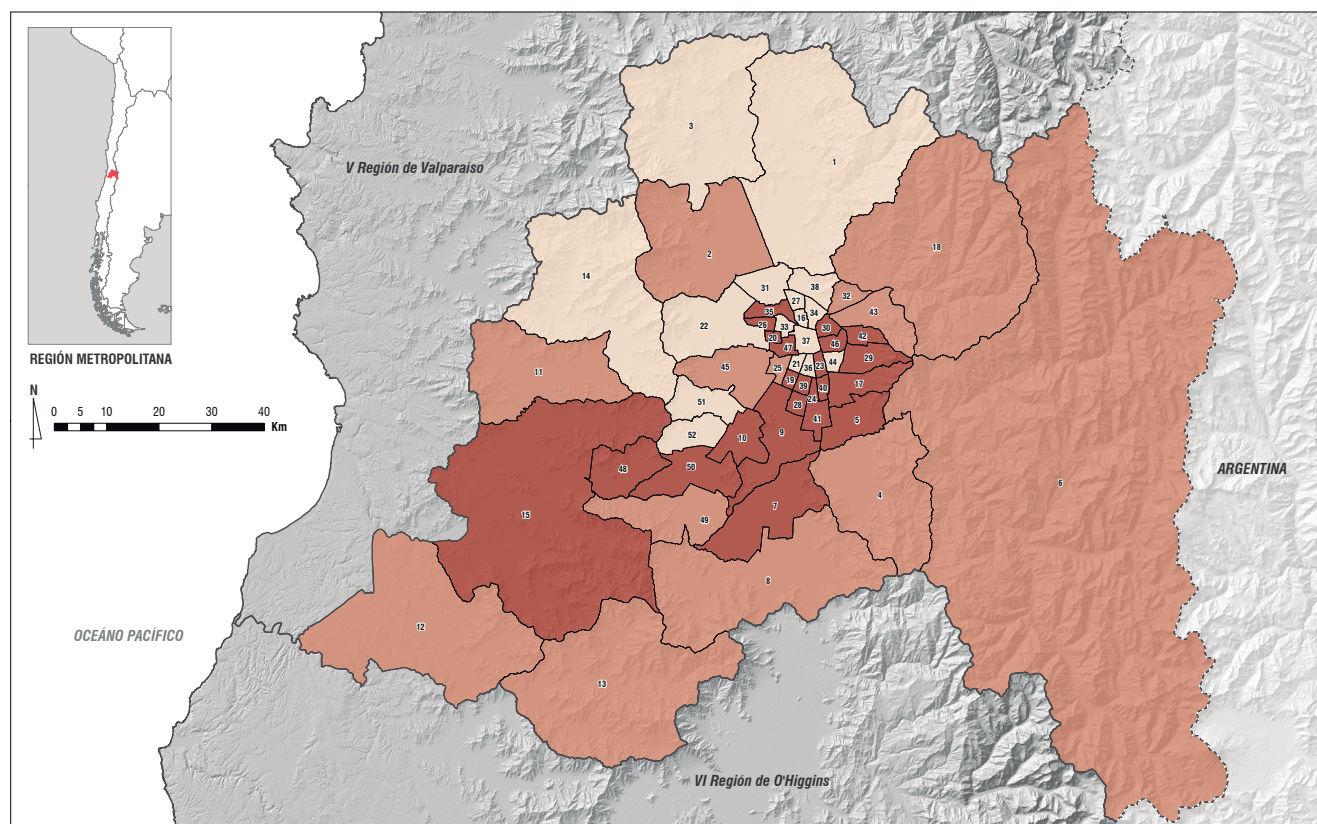
1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhucé	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buin	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñafort
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

Al analizar la distribución temporal del índice de precipitación estandarizada (48 meses) para período abril-agosto entre 1990 y 2019 (ver **Tabla 11 en pág. 64**), se identifica un sostenido periodo con condiciones de sequedad durante los últimos 10 años. Este último periodo fue antecedido por un periodo transicional (2007-2008), que a su vez fue precedido por años lluviosos (2000- 2006). El periodo seco de la última década tuvo su punto más alto en 2014, cuando gran parte de la región alcanzo la categoría “Seco”, segunda en términos de mayor sequedad según los rangos IPE. El año 2015, la sequía en la región disminuyó en intensidad y se estabilizó en el rango “Moderadamente seco” hasta el presente año (2019). Para un mayor detalle del comportamiento de las precipitaciones en una escala de largo plazo (IPE48), para el periodo 1990-2019 durante los meses abril,

mayo, junio, julio y agosto, ver gráficos de la **Figura 29 en pág. 66**.

La distribución espacial de la sequía muestra leves diferencias a nivel comunal puesto que se trata de un fenómeno de escala regional. La frecuencia de condiciones de sequía para el periodo 1990-2019 muestra que las comunas han presentado algún grado de sequedad a lo menos en 10, de los 29 periodos anuales estudiados. En este sentido, destacan las zonas norte y sur de la región, que superan los periodos analizados en términos de frecuencia de periodos secos (**Figura 27**). Con respecto a la intensidad, la frecuencia de los periodos moderadamente secos y secos es mayor en el sector sur-poniente de la provincia de Santiago, el sector norte de la provincia de Maipo y el sector central de la provincia de Melipilla (**Figura 28**).

Figura 28. Mapa de frecuencia de años moderadamente secos y secos (IPE 48 meses -1 a -2) por comuna, período 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a Observatorio Agroclimático.



FRECUENCIA DE CONDICIONES DE SEQUÍA PERÍODO 1990-2019 | (IPE -1 a -2)

LEYENDA

Nº de años (período abril-agosto)
con rango IPE moderadamente
seco y seco

4-5 años
5-6 años
6-8 años

Límite administrativo

Comunal
Regional
Internacional

1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pineta	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñaflor
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

Tabla 11. Promedio período abril-agosto del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE 48) por comuna entre 1990-2019. Fuente: GeoAdaptive en base a datos revisados del Observatorio Agroclimático.

Comuna	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Alhué	0,06	-0,10	0,23	0,75	0,86	0,77	0,02	-0,08	0,28	-0,04	0,39	0,59	0,85	1,61	1,25	0,90	0,16
Buín	0,08	-0,16	0,00	0,55	0,64	0,53	-0,23	-0,27	0,30	0,02	0,58	0,78	0,98	1,83	1,39	1,17	0,47
Calera de Tango	0,10	-0,18	-0,08	0,48	0,57	0,45	-0,33	-0,35	0,31	0,02	0,60	0,76	0,93	1,81	1,38	0,91	0,57
Cerrillos	0,14	-0,18	-0,17	0,40	0,47	0,34	-0,44	-0,43	0,31	0,03	0,65	0,79	0,92	1,82	1,36	1,27	0,67
Cerro Navia	0,16	-0,19	-0,21	0,36	0,43	0,28	-0,50	-0,48	0,31	0,03	0,67	0,79	0,90	1,81	1,35	1,29	0,73
Colina	0,28	-0,09	-0,17	0,40	0,43	0,23	-0,59	-0,58	0,32	0,09	0,80	0,87	0,95	1,75	1,29	1,33	0,91
Conchalí	0,23	-0,13	-0,23	0,35	0,39	0,22	-0,56	-0,55	0,30	0,04	0,74	0,84	0,92	1,79	1,31	1,31	0,82
Curacaví	0,09	-0,20	-0,01	0,60	0,69	0,55	-0,30	-0,34	0,37	0,02	0,53	0,67	0,88	1,72	1,40	1,28	0,73
El Bosque	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
El Monte	0,06	-0,19	0,05	0,64	0,75	0,64	-0,19	-0,25	0,34	0,00	0,47	0,65	0,87	1,73	1,37	1,16	0,49
Estación Central	0,16	-0,19	0,13	0,36	0,43	0,28	-0,50	-0,48	0,31	0,03	0,67	0,79	0,90	1,81	1,35	1,29	0,73
Huechuraba	0,23	-0,13	-0,23	0,35	0,39	0,22	-0,56	-0,55	0,30	0,04	0,74	0,84	0,92	1,79	1,31	1,31	0,82
Independencia	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Isla de Maipo	0,05	-0,18	0,06	0,63	0,74	0,64	-0,16	-0,22	0,33	-0,01	0,48	0,67	0,90	1,76	1,38	1,13	0,43
La Cisterna	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
La Florida	0,20	-0,10	0,20	0,48	0,53	0,38	-0,39	-0,43	0,28	0,04	0,71	0,87	1,02	1,82	1,34	1,24	0,67
La Granja	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
La Pintana	0,15	-0,14	-0,09	0,47	0,54	0,41	-0,36	-0,39	0,29	0,03	0,66	0,82	0,98	1,83	1,36	1,23	0,62
La Reina	0,23	-0,09	-0,12	0,44	0,48	0,32	-0,46	-0,49	0,28	0,04	0,74	0,87	0,99	1,80	1,32	1,27	0,74
Lampa	0,16	-0,20	-0,21	0,38	0,45	0,29	-0,53	-0,51	0,34	0,04	0,66	0,76	0,87	1,77	1,35	1,34	0,84
Las Condes	0,26	-0,06	-0,10	0,46	0,49	0,32	-0,46	-0,31	0,27	0,05	0,76	0,90	1,01	1,80	1,30	1,26	0,76
Lo Barnechea	0,36	0,04	-0,06	0,49	0,49	0,29	-0,52	-0,58	0,25	0,06	0,83	0,95	1,04	1,75	1,25	1,27	0,85
Lo Espejo	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
Lo Prado	0,16	-0,19	-0,21	0,36	0,43	0,28	-0,50	-0,48	0,31	0,03	0,67	0,79	0,90	1,81	1,35	1,29	0,73
Macul	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Maipú	0,13	-0,19	-0,14	0,44	0,52	0,38	-0,41	-0,41	0,32	0,02	0,62	0,76	0,90	1,80	1,36	1,26	0,67
María Pinto	0,04	-0,21	0,10	0,72	0,83	0,70	-0,17	-0,24	0,38	-0,02	0,43	0,60	0,85	1,68	1,40	1,20	0,59
Melipilla	0,03	-0,19	0,14	0,74	0,86	0,76	-0,09	-0,18	0,34	-0,04	0,38	0,56	0,82	1,66	1,34	1,08	0,40
Nuñoa	0,21	-0,12	-0,15	0,41	0,46	0,31	-0,47	-0,49	0,29	0,04	0,72	0,85	0,96	1,81	1,33	1,28	0,74
Padre Hurtado	0,10	-0,19	-0,07	0,51	0,60	0,47	-0,33	-0,35	0,33	0,01	0,58	0,73	0,90	1,78	1,37	1,23	0,61
Paine	0,09	-0,13	0,09	0,62	0,71	0,62	-0,13	-0,20	0,29	0,01	0,54	0,74	0,96	1,77	1,35	1,08	0,39
Pedro Aguirre Cerda	0,26	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Peñaflor	0,08	-0,19	-0,02	0,55	0,65	0,53	-0,27	-0,31	0,33	0,00	0,55	0,71	0,90	1,78	1,38	1,20	0,54
Peñalolén	0,15	-0,08	-0,11	0,45	0,49	0,33	-0,45	-0,29	0,27	0,04	0,74	0,88	1,00	1,80	1,32	1,26	0,74
Pirque	0,15	-0,11	0,00	0,55	0,61	0,49	-0,26	-0,33	0,27	0,03	0,68	0,88	1,06	1,86	1,37	1,19	0,54
Providencia	0,21	-0,11	-0,15	0,42	0,47	0,31	-0,47	-0,49	0,29	0,04	0,72	0,85	0,97	1,81	1,32	1,27	0,74
Pudahuel	0,14	-0,19	-0,16	0,43	0,50	0,36	-0,44	-0,44	0,33	0,03	0,63	0,75	0,89	1,78	1,36	1,29	0,73
Puente Alto	0,18	-0,11	-0,07	0,49	0,55	0,40	-0,37	-0,41	0,28	0,04	0,70	0,87	1,01	1,83	1,35	1,23	0,64
Quilicura	0,19	-0,18	-0,28	0,30	0,36	0,20	-0,58	-0,55	0,31	0,04	0,71	0,81	0,88	1,80	1,33	1,33	0,82
Quinta Normal	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Recoleta	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Renca	0,17	-0,17	-0,24	0,34	0,40	0,25	-0,53	-0,32	0,32	0,04	0,69	0,79	0,89	1,81	1,34	1,31	0,76
San Bernardo	0,11	-0,17	-0,08	0,48	0,56	0,44	-0,33	-0,36	0,31	0,02	0,63	0,79	0,95	1,83	1,37	1,22	0,58
San Joaquín	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
San José de Maipo	0,24	-0,05	-0,05	0,53	0,56	0,42	-0,32	-0,49	0,13	-0,04	0,73	0,97	1,13	1,78	1,27	1,14	0,60
San Miguel	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
San Pedro	0,00	-0,17	0,25	0,84	0,97	0,87	0,01	-0,11	0,32	-0,09	0,27	0,47	0,72	1,53	1,22	0,88	0,19
San Ramón	0,16	-0,22	-0,11	0,45	0,51	0,38	-0,40	-0,42	0,30	0,03	0,68	0,83	0,97	1,82	1,35	1,25	0,65
Santiago	0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,45	0,30	-0,48	-0,48	0,30	0,04	0,71	0,83	0,94	1,81	1,33	1,28	0,74
Talagante	0,07	-0,18	0,00	0,57	0,67	0,56	-0,24	-0,28	0,33	0,00	0,53	0,71	0,91	1,78	1,38	1,18	0,51
Tiltil	0,14	-0,20	-0,12	0,47	0,53	0,35	-0,53	-0,32	0,36	0,08	0,72	0,79	0,93	1,75	1,36	1,36	0,89
Vitacura	0,26	-0,09	-0,18	0,39	0,42	0,25	-0,54	-0,55	0,28	0,05	0,76	0,87	0,96	1,78	1,30	1,30	0,82

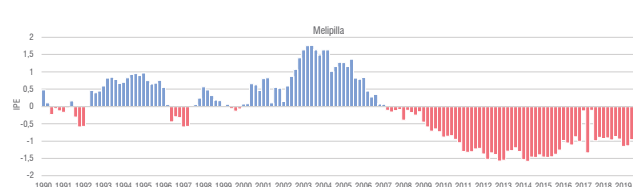
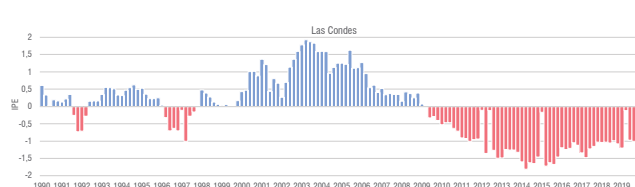
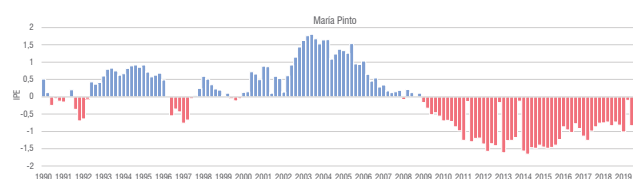
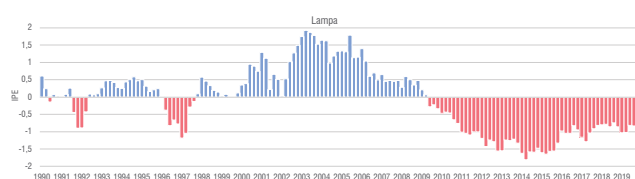
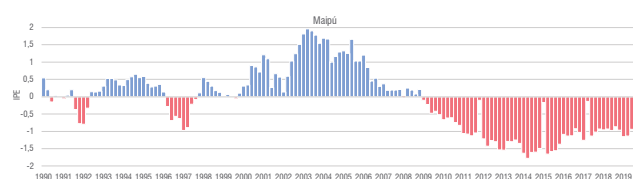
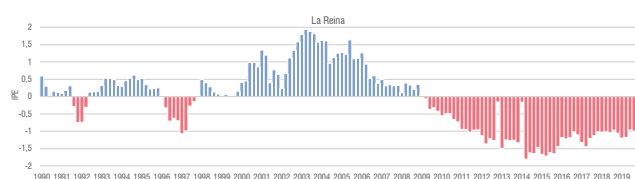
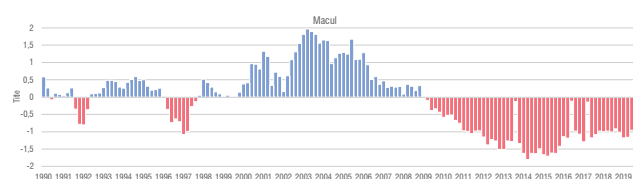
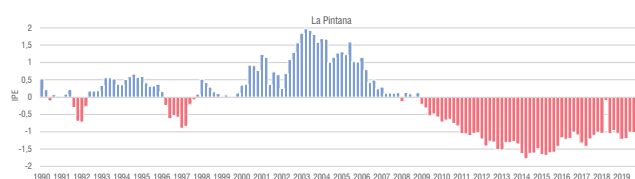
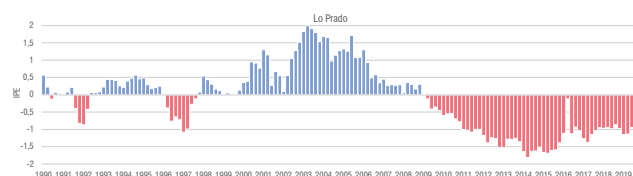
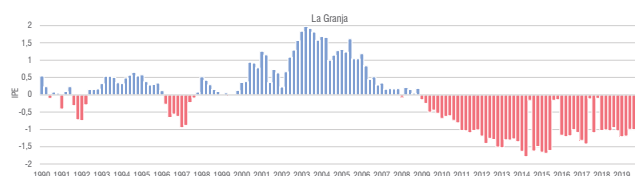
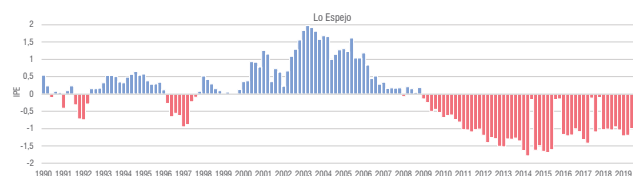
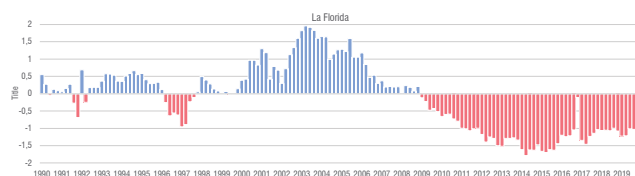
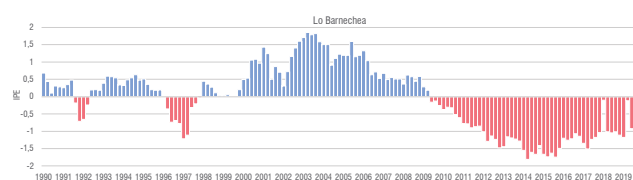
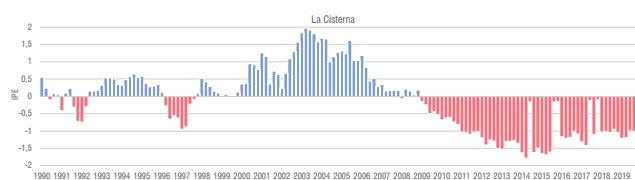
PATRÓN DE SEQUÍA EXTENDIDA 10 AÑOS

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Tendencia 1990-2019
-0,41	-0,63	-0,96	-1,12	-0,84	-1,41	-0,85	-1,15	-1,30	-0,95	-1,02	-0,88	-1,03	
-0,07	-0,21	-0,63	-0,85	-1,14	-1,38	-1,38	-1,61	-1,56	-0,75	-1,21	-1,04	-0,94	
0,09	-0,03	-0,48	-0,76	-1,10	-1,36	-1,36	-1,62	-1,56	-1,10	-1,18	-0,99	-1,12	
0,22	0,13	-0,35	-0,68	-0,86	-1,33	-1,35	-1,34	-1,29	-1,09	-0,96	-0,97	-1,10	
0,31	0,24	-0,27	-0,63	-1,02	-1,32	-1,34	-1,64	-1,59	-0,87	-1,15	-0,95	-1,08	
0,61	0,58	0,01	-0,44	-0,89	-1,04	-1,26	-1,33	-1,30	-0,65	-1,10	-0,86	-0,95	
0,47	0,42	-0,12	-0,53	-0,95	-1,28	-1,09	-1,64	-1,61	-1,09	-0,98	-0,95	-0,85	
0,36	0,25	-0,26	-0,69	-0,96	-1,20	-1,33	-1,30	-1,45	-0,90	-0,98	-0,73	-0,92	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,02	-0,11	-0,54	-0,84	-0,99	-1,18	-1,34	-1,55	-1,48	-1,04	-1,14	-0,94	-1,10	
0,31	0,24	-0,27	-0,63	-1,02	-1,32	-1,34	-1,64	-1,59	-0,87	-1,15	-0,95	-1,08	
0,47	0,42	-0,12	-0,53	-0,95	-1,28	-1,09	-1,64	-1,61	-1,09	-0,98	-0,95	-0,85	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
-0,09	-0,23	-0,64	-0,88	-1,20	-1,41	-1,36	-1,57	-1,50	-0,89	-1,00	-0,83	-1,16	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,23	0,14	-0,35	-0,67	-1,02	-1,32	-1,34	-1,63	-1,61	-0,96	-1,24	-1,05	-1,14	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,15	0,05	-0,42	-0,72	-1,06	-1,34	-1,36	-1,63	-1,59	-1,14	-1,21	-0,84	-1,14	
0,36	0,28	-0,23	-0,59	-0,97	-1,03	-1,32	-1,34	-1,62	-1,14	-1,22	-1,02	-1,11	
0,51	0,44	-0,11	-0,56	-1,03	-1,34	-1,32	-1,62	-1,54	-0,97	-1,05	-0,81	-0,97	
0,39	0,32	-0,20	-0,56	-0,94	-0,87	-1,31	-1,63	-1,33	-1,16	-1,24	-1,04	-0,90	
0,55	0,52	-0,01	-0,42	-0,83	-1,23	-1,26	-1,61	-1,65	-1,18	-1,26	-0,86	-0,66	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,31	0,24	-0,27	-0,63	-1,02	-1,32	-1,34	-1,64	-1,59	-0,87	-1,15	-0,95	-1,08	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
0,23	0,14	-0,35	-0,69	-0,88	-1,35	-1,35	-1,62	-1,27	-1,06	-0,90	-0,94	-1,08	
0,19	0,07	-0,40	-0,79	-1,01	-1,17	-1,09	-1,51	-1,41	-0,91	-1,00	-0,77	-0,79	
-0,08	-0,22	-0,63	-0,92	-1,27	-1,44	-1,32	-1,49	-1,40	-1,00	-0,69	-0,92	-1,09	
0,34	0,27	-0,24	-0,60	-0,99	-1,30	-1,33	-1,63	-1,61	-1,12	-1,20	-0,63	-1,10	
0,17	0,06	-0,41	-0,74	-0,52	-1,37	-0,83	-1,60	-1,24	-1,05	-0,89	-0,93	-1,08	
-0,19	-0,37	-0,76	-0,96	-0,98	-1,40	-1,12	-1,54	-1,21	-0,89	-1,16	-0,82	-1,13	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
0,06	-0,05	-0,50	-0,79	-0,74	-1,15	-1,07	-1,59	-1,24	-0,87	-0,91	-0,96	-0,90	
0,35	0,27	-0,24	-0,59	-0,97	-1,30	-1,32	-1,36	-1,62	-1,15	-1,23	-0,84	-1,11	
0,04	-0,10	-0,56	-0,81	-0,71	-1,37	-1,37	-1,62	-1,29	-1,00	-1,27	-0,91	-0,97	
0,35	0,27	-0,24	-0,60	-0,98	-1,07	-1,33	-1,63	-1,35	-1,13	-1,20	-0,82	-1,10	
0,33	0,25	-0,26	-0,64	-0,87	-1,12	-1,06	-1,61	-1,55	-0,83	-0,88	-0,89	-1,04	
0,19	0,08	-0,39	-0,70	-1,04	-1,33	-1,35	-1,63	-1,34	-0,96	-1,24	-1,05	-0,71	
0,45	0,40	-0,14	-0,55	-0,98	-1,29	-0,81	-1,65	-1,60	-1,05	-0,89	-0,92	-1,05	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
0,36	0,29	-0,23	-0,60	-1,01	-1,31	-1,34	-1,64	-1,59	-1,06	-0,90	-0,93	-1,07	
0,08	-0,03	-0,48	-0,76	-1,09	-1,35	-1,36	-1,63	-1,58	-1,12	-0,96	-0,83	-1,14	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,22	0,11	-0,42	-0,77	-1,12	-1,48	-1,35	-1,47	-1,50	-0,94	-1,01	-0,93	-0,90	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
-0,29	-0,44	-0,79	-0,84	-1,33	-1,43	-1,27	-1,38	-1,29	-0,96	-0,86	-0,90	-1,07	
0,20	0,11	-0,37	-0,69	-1,04	-1,33	-1,35	-1,34	-1,05	-1,13	-0,81	-1,01	-1,12	
0,34	0,26	-0,25	-0,61	-0,99	-1,31	-1,10	-1,64	-1,60	-0,90	-0,93	-0,98	-1,09	
0,01	-0,12	-0,55	-0,82	-1,16	-1,15	-1,12	-1,31	-1,23	-0,89	-1,17	-0,99	-1,13	
0,59	0,52	-0,05	-0,51	-0,82	-1,38	-1,28	-1,30	-1,49	-0,87	-0,92	-0,65	-0,81	
0,48	0,43	-0,10	-0,51	-0,92	-1,06	-1,30	-1,34	-1,63	-0,91	-1,20	-0,80	-1,07	

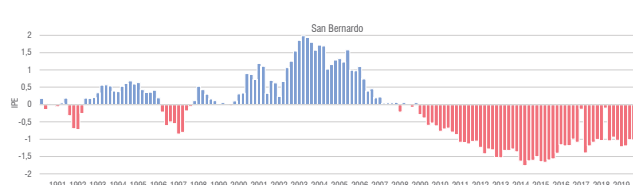
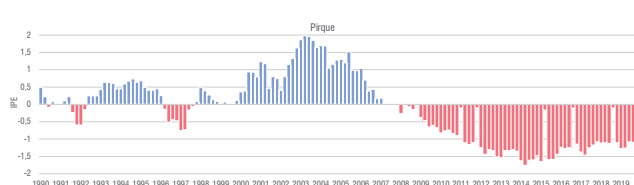
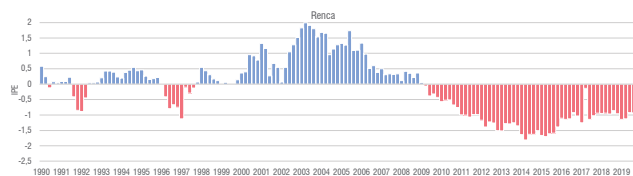
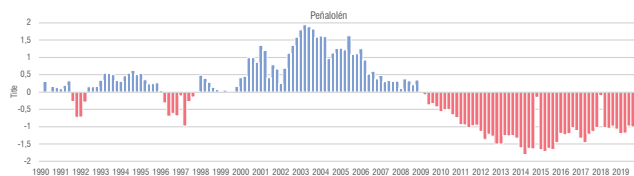
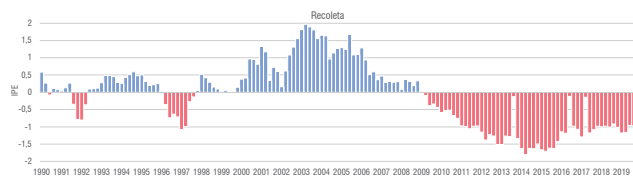
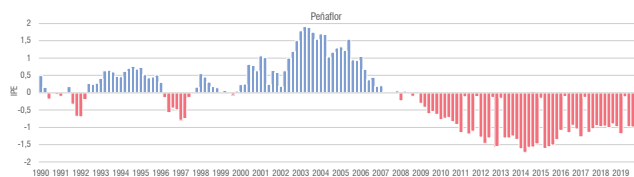
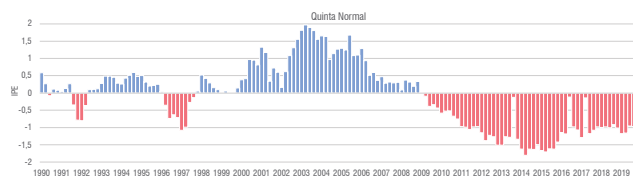
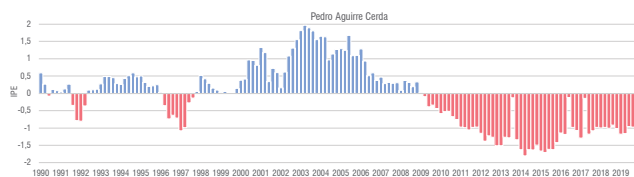
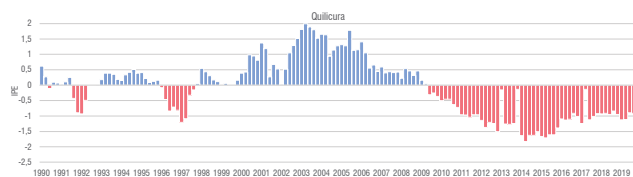
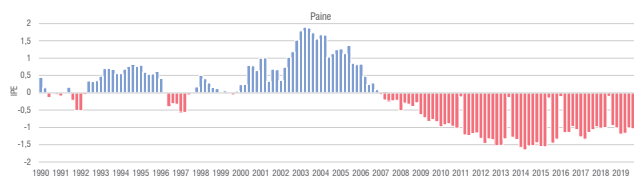
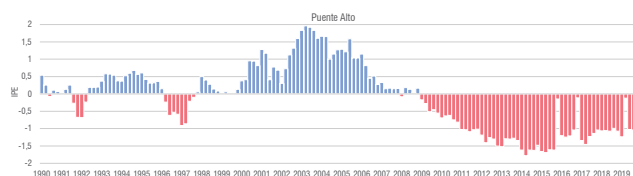
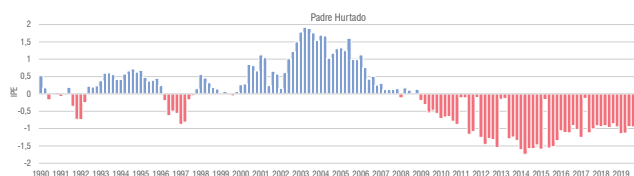
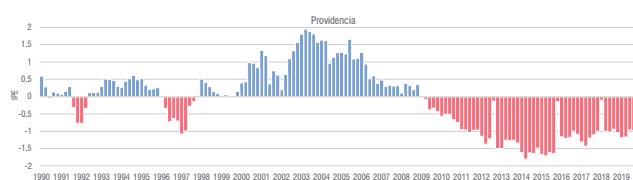
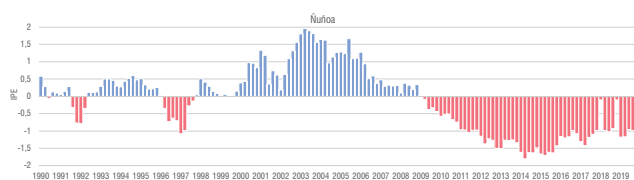
Figura 29. Evolución del valor mensual (meses entre abril y agosto) del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE 48) por comuna entre 1990-2019. Los valores en el eje "y" son los rangos utilizados para establecer condiciones de sequía. El gráfico permite visualizar los patrones temporales de sequía extendida (rango -0,5 a -2). Fuente: GeoAdaptive en base revisados a datos del Observatorio Agroclimático.



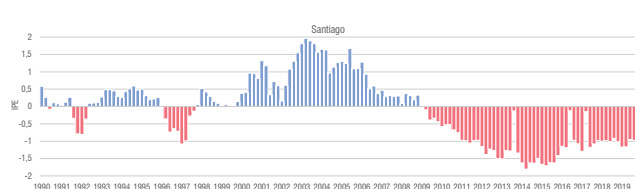
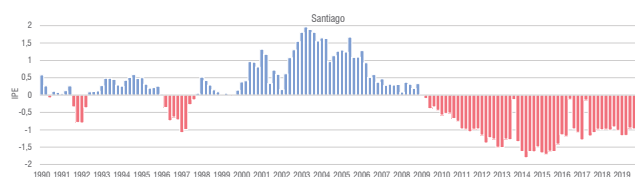
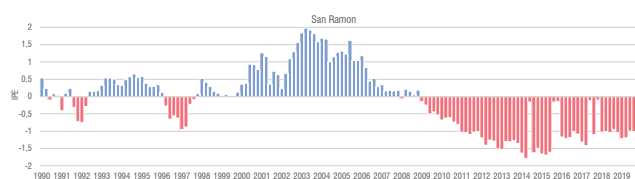
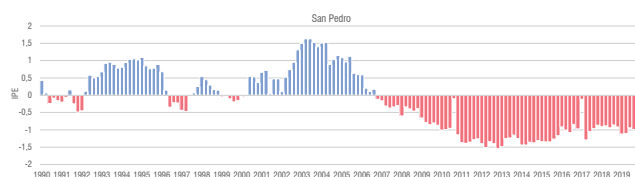
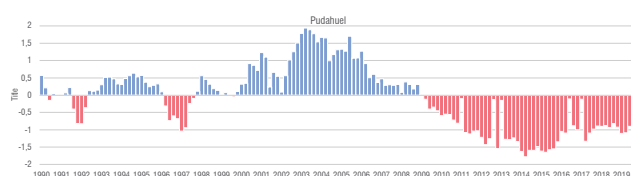
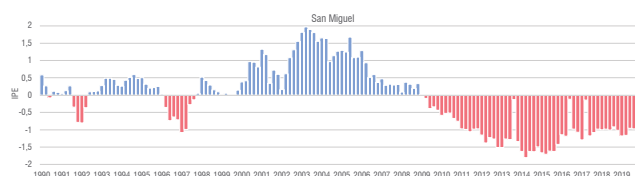
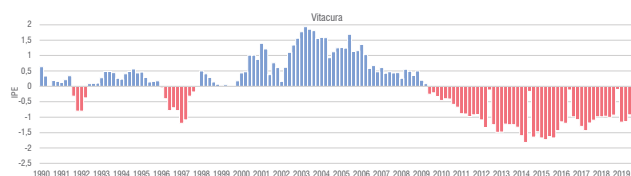
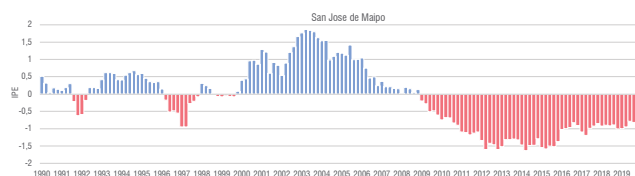
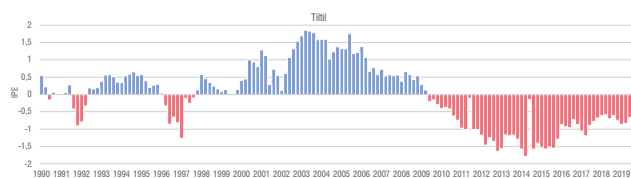
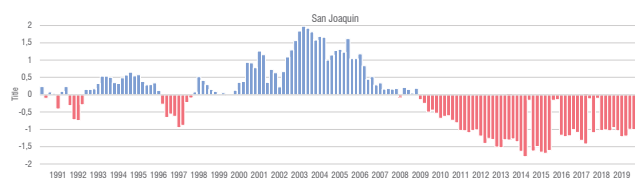
(Continuación Figura 29)



(Continuación Figura 29)



(Continuación Figura 29)



Déficit y Superávit

La DGA emite todos los meses un Informe Pluviométrico Nacional con las precipitaciones totales acumuladas por estación. En este informe se establece la condición de déficit o superávit de la estación pluviométrica considerando las precipitaciones acumuladas al mes en estudio en comparación con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1981 y 2010. El último Boletín Hidrológico de 2019 (septiembre) indica un déficit de precipitaciones de -77% para la Región Metropolitana.

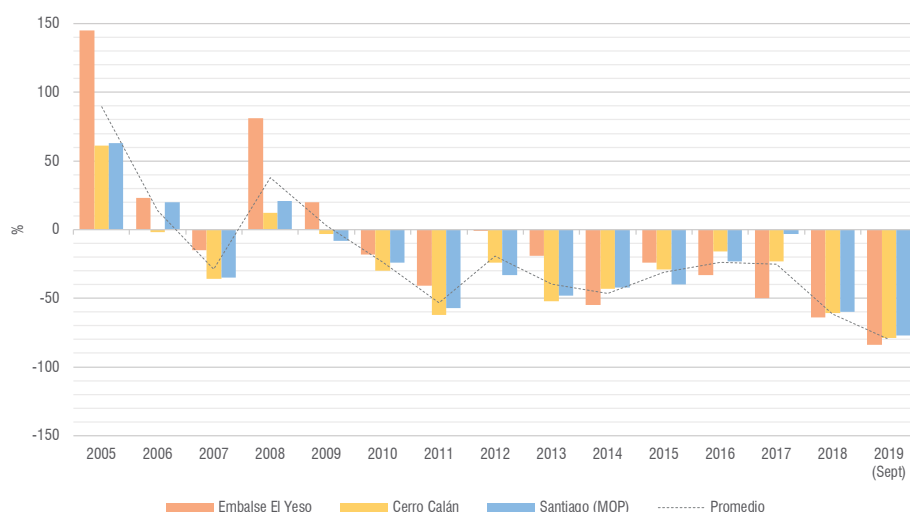


Figura 30. Registro del déficit y superávit al mes de diciembre para tres estaciones pluviométricas de la Región Metropolitana. Para el 2019, los datos corresponden al mes más reciente (septiembre). Fuente: GeoAdaptive en base a boletines de la DGA.

De forma complementaria, se revisaron los boletines históricos disponibles en la DGA (2005-2019) y se graficó la evolución del déficit/superávit a diciembre de cada año para las tres estaciones de la Región Metropolitana para las cuales la DGA publica información (**Figura 30**). Estas corresponden a las estaciones de Embalse el Yeso, Cerro Calán y Santiago (MOP). Se observa que el déficit se vuelve recurrente desde el año 2009-2010 a la fecha, agudizándose en los últimos dos años. La tendencia de déficit coincide con los patrones observados en el Índice de Precipitación Estandarizada (IPE).

Sequía hidrológica

La sequía hidrológica corresponde a un déficit observado en el suministro de agua observado en aguas superficiales, subterráneas y también embalses. Considerando la disponibilidad de datos, este estudio considera el estudio de los caudales para determinar condiciones de sequía que complementan la sequía meteorológica.

Índice de Caudales Estandarizados (ICE)

Consiste en el número (cantidad) de desviaciones estándar en que

el caudal registrado se aleja del promedio. Al igual que el IPE, se calcula para diferentes rangos temporales. El índice se construye con datos fluviométricos de la DGA. Para su análisis en el contexto de riesgo climático de la Región fueron obtenidos desde el observatorio Agroclimático, para lo cual fue posible obtener el valor ICE24 mensual para todo el año entre 2007 y 2017 en 3 puntos según proximidad a estaciones representativas de la situación hidrológica regional. El indicador tiene 10 categorías según el comportamiento de los caudales,

con rangos que van desde -2,5 (déficit extremo) a 2,5 (superávit extremo).

Con respecto al comportamiento de los caudales (**Figura 31**), se observa una tendencia general a su disminución en el periodo que corresponde a la sequía meteorológica ya señalada. Los caudales muestran una baja a partir del año 2010 y se mantienen en valores ICE negativos hasta 2016-2017, periodo en el que el indicador fluctúa en valores normales.

Niveles de variación de caudales

En el mismo boletín mensual de la DGA se consolidan los datos fluviométricos que miden el caudal de ríos a nivel nacional. Con esta información se construye el índice que compara el caudal mensual con el promedio histórico 1981-2010. El índice se expresa en porcentaje de variación para el mes de estudio. De acuerdo al último Boletín Hidrológico de 2019 (septiembre), se señala que los ríos de la Región Metropolitana se encuentran bajo sus promedios. Específicamente, el río Mapocho presente un -83% de variación con su promedio histórico, mientras que el río Maipo un -39%.

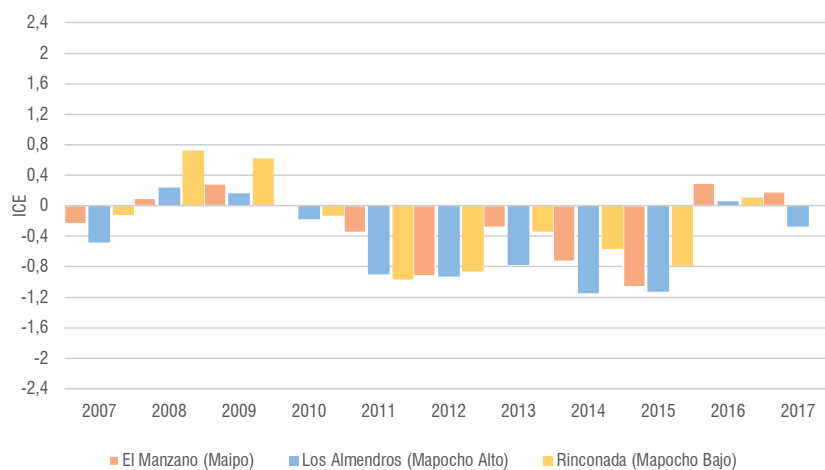
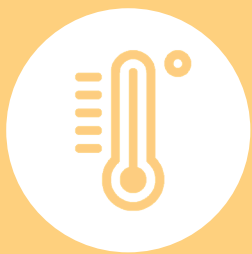


Figura 31. Registro del Índice de Caudales Estandarizado 2007-2017 en tres puntos según proximidad a estaciones representativas. Fuente: GeoAdaptive en base a datos del Observatorio Agroclimático.



2.5 Ola de calor

- Entre 2010-2017 la frecuencia de olas de calor aumentó a 5 (media) por temporada comparado con el período 1981-2010 con 2 olas de calor.
- El año 2017 se registraron 6 eventos de ola de calor, con temperaturas de 37,4°C
- La temperatura máxima registrada para la Región Metropolitana es de 38,3 en enero 2019.
- Las mayores temperaturas superficiales se registran en la zona centro-norte de la RM, particularmente en zonas urbanas e industriales.
- Las comunas con mayor intensidad de temperaturas superficiales (>38°C) para la ola de calor analizada (01/2017) corresponden a Renca, Quilicura, Tiltil, Lampa, Cerrillos, Pudahuel y Maipú.
- Las T° atmosféricas (estación meteorológica) corroboran el comportamiento de la T° superficial, con mayor intensidad en el centro-norte de la RM y disminuyendo hacia los bordes.

Este fenómeno es definido como un período de tiempo anormalmente caluroso e incómodo (IPCC, 2013). En Chile, se califica como Ola de calor un periodo de 3 días consecutivos o más con temperaturas máximas sobre el percentil 90 de la época en la que puede tener mayores efectos negativos; es decir, entre noviembre y marzo (DMC, 2019). Las Olas de calor pueden involucrar mayor mortalidad y morbilidad en población vulnerable (grupos de tercera edad y enfermos crónicos) y personas que trabajan en el exterior (IPCC, 2014).

Según mediciones de la Dirección Meteorológica de Chile que consideran la media del periodo 1981-2010, las estaciones meteorológicas de ciudades chilenas registraban entre 1 y 2 eventos cada temporada estival, sin embargo, para el periodo 2010-2017, los veranos registraron un aumento en la frecuencia de este fenómeno de hasta 5 olas de calor por temporada (DMC, 2018).

Considerando la extensión del Área Metropolitana de Santiago (AMS) y sus áreas urbanas circundantes, esta amenaza toma especial relevancia dado que los efectos negativos de las olas de calor se ven amplificados por el fenómeno de islas de calor urbana (IPCC, 2018). Este fenómeno se refiere al mayor calor relativo de una ciudad respecto de áreas rurales cercanas, lo que se relaciona a cambios de escorrentía, retención de calor y albedo superficial (IPCC, 2013).

Eventos de ola de calor en la Región Metropolitana 1990-2018

Según Datos de la Dirección meteorológica de Chile (**Figura 32**), al comparar décadas del periodo 1990-2018 las olas de calor muestran una recurrencia mayor durante la última década. Los años comprendidos entre 1990 y 2000 mostraron una tendencia general de 2 eventos por verano, a excepción del verano de 1997 que presentó 3 olas de calor. Esta amenaza comenzó a aumentar su frecuencia a nivel regional hacia finales de la década 2000-2010, particularmente los años 2008 y 2009, con 3 y 4 eventos. Durante la última década se registraron hasta 7 eventos por temporada el año 2012, seguido de 2017 con 6 eventos, año en el que se registraron las temperaturas máximas más altas a la fecha para la región 37,4°C, que a su vez fue superada en enero 2019 con 38,3°C para la misma estación (Quinta normal¹).

¹ Estación de la Dirección Meteorológica de Chile, ampliamente utilizada para representar a la región debido al registro ininterrumpido de mediciones meteorológicas desde 1914. Reconocida en 2018 como “Estación Centenaria” por la Organización Mundial de Meteorología (OMM). <https://www.dgac.gob.cl/estacion-de-observacion-centenaria-quinta-normal-reconocida-por-la-omm/>

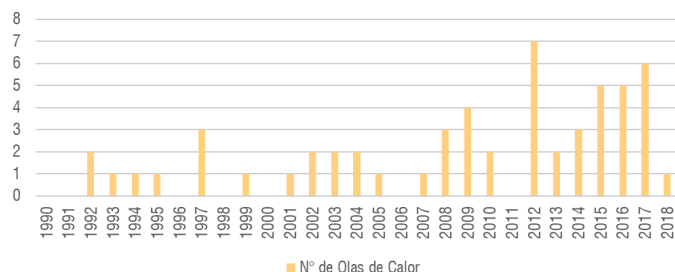


Figura 32. Eventos de Olas de calor para la estación Quinta normal entre 1990 y 2018. Fuente: GeoAdaptive en base a estadísticas de la DMC.

Distribución espacial de la amenaza

La amenaza por Ola de calor es una amenaza que se presenta a escala regional e interregional, por lo que cuando ocurre, comúnmente afecta a más de una región administrativa. Sin embargo, esta amenaza puede variar en intensidad según características geográficas locales que hacen que las temperaturas varíen a escala intrarregional o comunal. Para caracterizar espacialmente esta amenaza en la región se elaboraron 2 indicadores que son ampliamente utilizados para identificar dichas variaciones espaciales durante un evento de ola de calor:

- **Temperatura superficial:** Temperatura de la superficie terrestre en °C (LST), obtenida a partir del análisis de radiancia, emisividad y vegetación (NDVI), desde imágenes satelitales y sus bandas espectrales Landsat 8 (NASA/USGS). Si bien la temperatura superficial no corresponde a una medición de temperatura atmosférica, estas sí se encuentran directamente relacionadas en el horario seleccionado (Verdugo, 2017), y proporcionan un adecuado insumo de análisis de distribución espacial de temperatura dada la falta de estaciones meteorológicas
- **Temperatura atmosférica máxima:** Temperatura en °C que refleja el calor máximo registrado en estaciones meteorológicas para un lugar y momento determinado. Los datos de las estaciones utilizadas fueron obtenidos desde estaciones compiladas por CR2, de fuente DGA, DMC y GHCN (Global Historical Climatology Network). Los datos de la Región Metropolitana y circundantes (estaciones de la V y VI región) fueron interpolados para caracterizar continuamente la temperatura.

Las estaciones meteorológicas de la región metropolitana que fueron utilizadas para caracterizar la temperatura atmosférica máxima fueron las siguientes:

Tabla 12. Estaciones meteorológicas utilizadas. Fuente: GeoAdaptive.

Nombre Estación	Fuente
Valle Olivares	DGA
Estero Yerba Loca En Piedra Carvajal	DGA
Rio San Francisco Antes Junta Estero Yerba Loca	DGA
Estero Arrayan En La Montosa	DGA
Estero Yerba Loca Antes Junta San Francisco	DGA
Cerro Calan	DGA
Terraza Oficinas Centrales Dga	DGA
Rio Olivares Antes Junta Rio Colorado	DGA
Rio Colorado Antes Junta Rio Olivares	DGA
Quebrada De Macul	DGA
Rio Maipo En El Manzano	DGA
Laguna Negra	DGA
Glaciar San Francisco en Aguas Panimavida	DGA
Rio Volcan En Queltchues	DGA
Quinta Normal Santiago	DMC
Pudahuel Santiago	DMC
Eulogio Sanchez Tobalaba Ad.	DMC
Quinta Normal	GHCN

El evento de ola de calor seleccionado para ambos indicadores corresponde al día 17 de enero 2017, parte de una de las 4 olas de calor registradas durante ese mes.

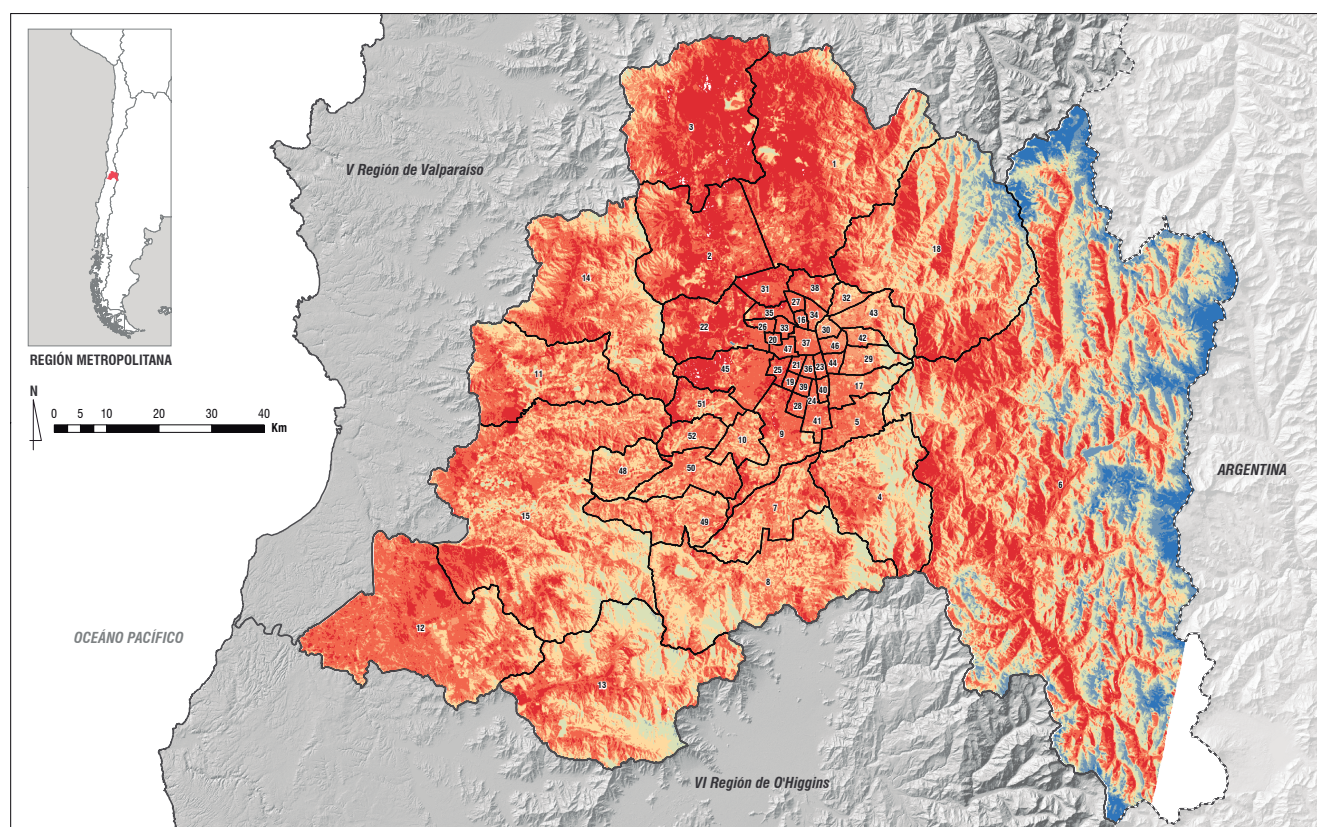
Temperatura superficial en la RM

La distribución espacial de la temperatura durante el evento ola de calor (Figura 33), muestra que las mayores temperaturas superficiales se registraron en el centro-norte de la región metropolitana, con rangos entre 35°C y 45°C, particularmente en zonas urbanas e industriales (Figura 34), con un promedio de 36,7°C para el uso a nivel regional. De moderada intensidad (32°C a 35°C) se registraron áreas rurales agrícolas y de praderas y matorrales con baja presencia de vegetación, principalmente del sector sur y poniente de la región. Las temperaturas superficiales de intensidad media (28°C a 32°C), tienden a presentarse tanto en áreas urbanas con presencia de vegetación (sector oriente y

sur del AMS), como en áreas rurales húmedas y boscosas (Figura 34). Las temperaturas bajas (18°C a 28°C) corresponden a áreas húmedas con mayor presencia de vegetación y cuerpos de agua como ríos, canales y embalses.

Finalmente, las temperaturas más bajas (-11°C a 18°C) corresponden al sector oriente de la región, caracterizado por presentar áreas desprovistas de vegetación en altura con una alta variación de temperatura según pendiente, además de nieves y glaciares.

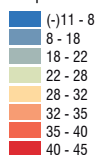
Figura 33. Mapa Temperatura Superficial. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).



TEMPERATURA SUPERFICIAL | Ola de calor 17-01-2017

LEYENDA

Temperatura °C

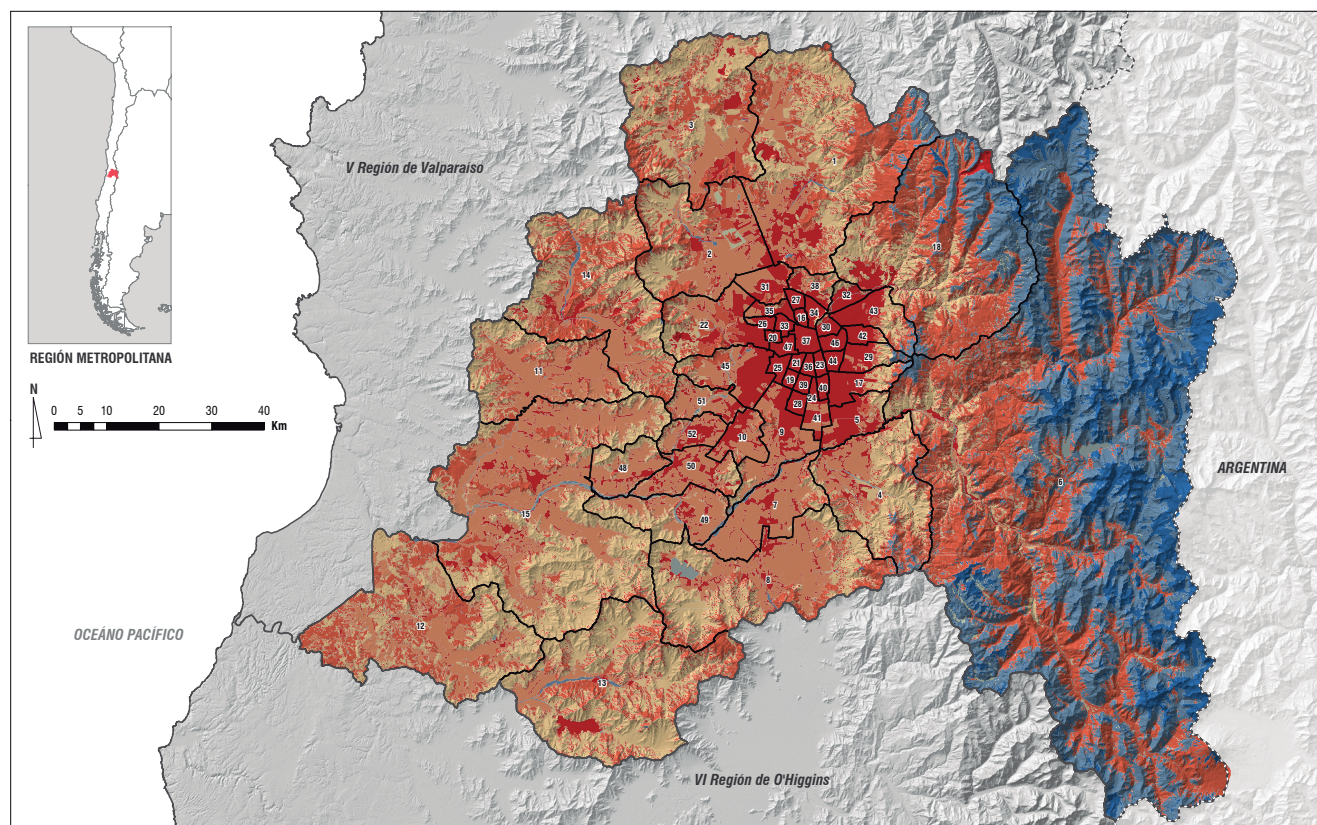


Límite administrativo



1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhucé	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buin	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñafiel
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

Figura 34. Mapa Temperatura Superficial promedio según uso de suelo. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017) y Catastro de uso de suelo y vegetación región Metropolitana (CONAF 2013).



TEMPERATURA SUPERFICIAL PROMEDIO SEGÚN USO DE SUELO | Ola de calor 17-01-2017

LEYENDA

Temperatura °C

- 18,6 Nieves y glaciares
- 27,7 Áreas sin vegetación
- 29,6 Cuerpos de agua
- 33,9 Tierras húmedas)
- 34,9 Bosques
- 35,1 Tierras Agrícolas
- 35,8 Praderas y matorrales
- 36,7 Áreas urbanas e industriales

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

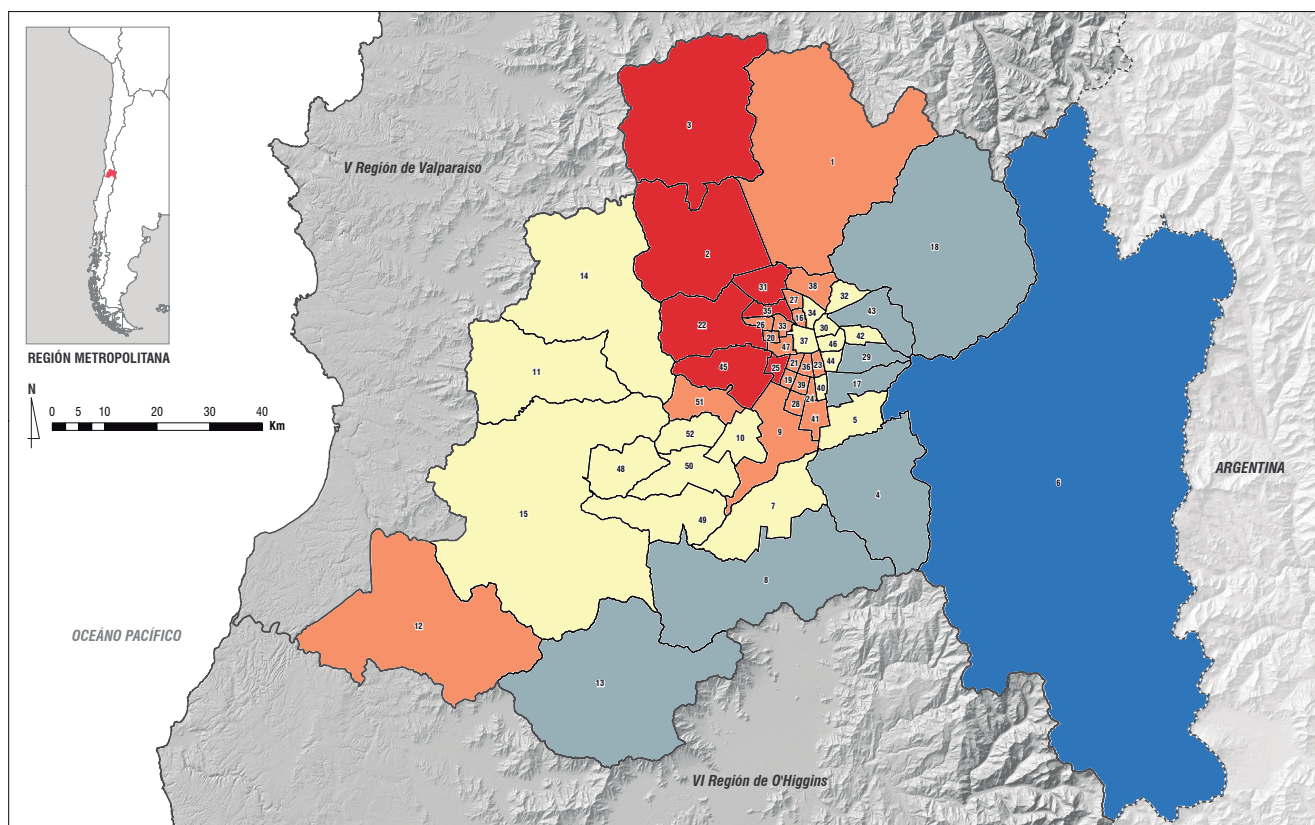
- | | | | | | |
|---------------------|--------------------|------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| 1 Colina | 10 Calera de Tango | 19 Lo Espejo | 28 El Bosque | 37 Santiago | 46 Ñuñoa |
| 2 Lampa | 11 María Pinto | 20 Lo Prado | 29 Peñalolén | 38 Huechuraba | 47 Estación Central |
| 3 Tiltil | 12 San Pedro | 21 Pedro Aguirre Cerda | 30 Providencia | 39 La Cisterna | 48 El Monte |
| 4 Pirque | 13 Alhué | 22 Pudahuel | 31 Quilicura | 40 La Granja | 49 Isla de Maipo |
| 5 Puente Alto | 14 Curacaví | 23 San Joaquín | 32 Vitacura | 41 La Pineta | 50 Talagante |
| 6 San José de Maipo | 15 Melipilla | 24 San Ramón | 33 Quinta Normal | 42 La Reina | 51 Padre Hurtado |
| 7 Buin | 16 Independencia | 25 Cerrillos | 34 Recoleta | 43 Las Condes | 52 Peñaflor |
| 8 Paine | 17 La Florida | 26 Cerro Navia | 35 Renca | 44 Macul | |
| 9 San Bernardo | 18 Lo Barnechea | 27 Conchalí | 36 San Miguel | 45 Maipú | |

Temperatura superficial comunal

Las temperaturas promedio por comuna (**Figura 35**), muestran que las comunas que registraron una mayor intensidad del evento ola de calor (más de 38°C en superficie) fueron Renca, Quilicura, Tiltil y Lampa en el sector centro-norte y Cerrillos, Pudahuel y Maipú en el sector centro-poniente (**Figura 36**). En el rango siguiente de temperaturas promedio (36°C-38°C) figuran mayoritariamente las comunas del sector poniente AMS, además de Colina en el norte y San Pedro en el sector poniente de la región. Las comunas del sector centro-oriente del AMS y del sector rural sur-poniente de la región mostraron temperaturas relativamente más bajas que el resto de la región (entre 33°C-36°C). Finalmente, las

comunas del sector sur. oriente de la región mostraron las temperaturas más bajas, esto debido al gradiente altitudinal y la presencia de vegetación.

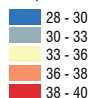
Figura 35. Mapa Temperatura Superficial promedio según comuna. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).



TEMPERATURA SUPERFICIAL PROMEDIO A ESCALA COMUNAL | Ola de calor 17-01-2017

LEYENDA

Temperatura °C



Límite administrativo



1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhucé	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buin	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñaflor
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

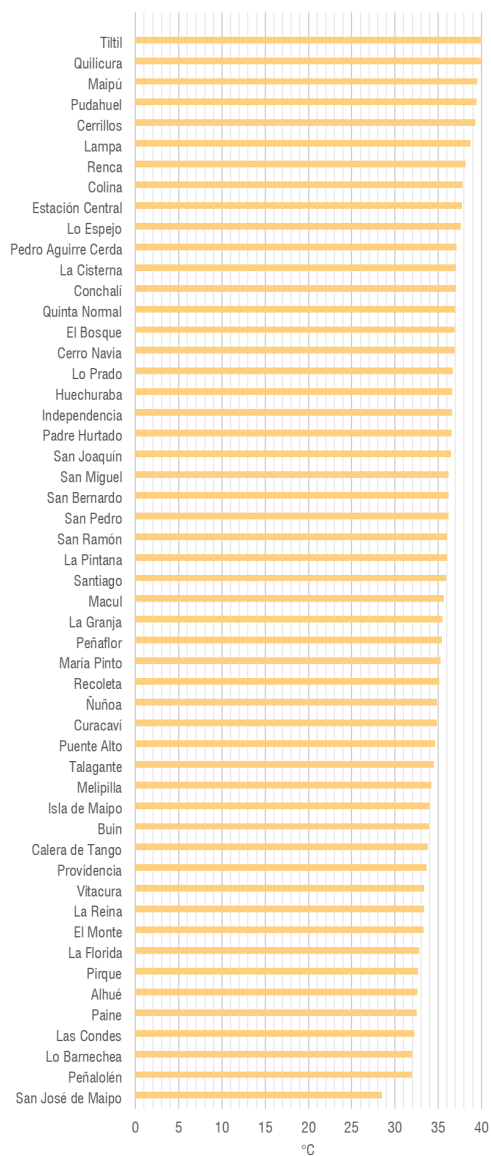
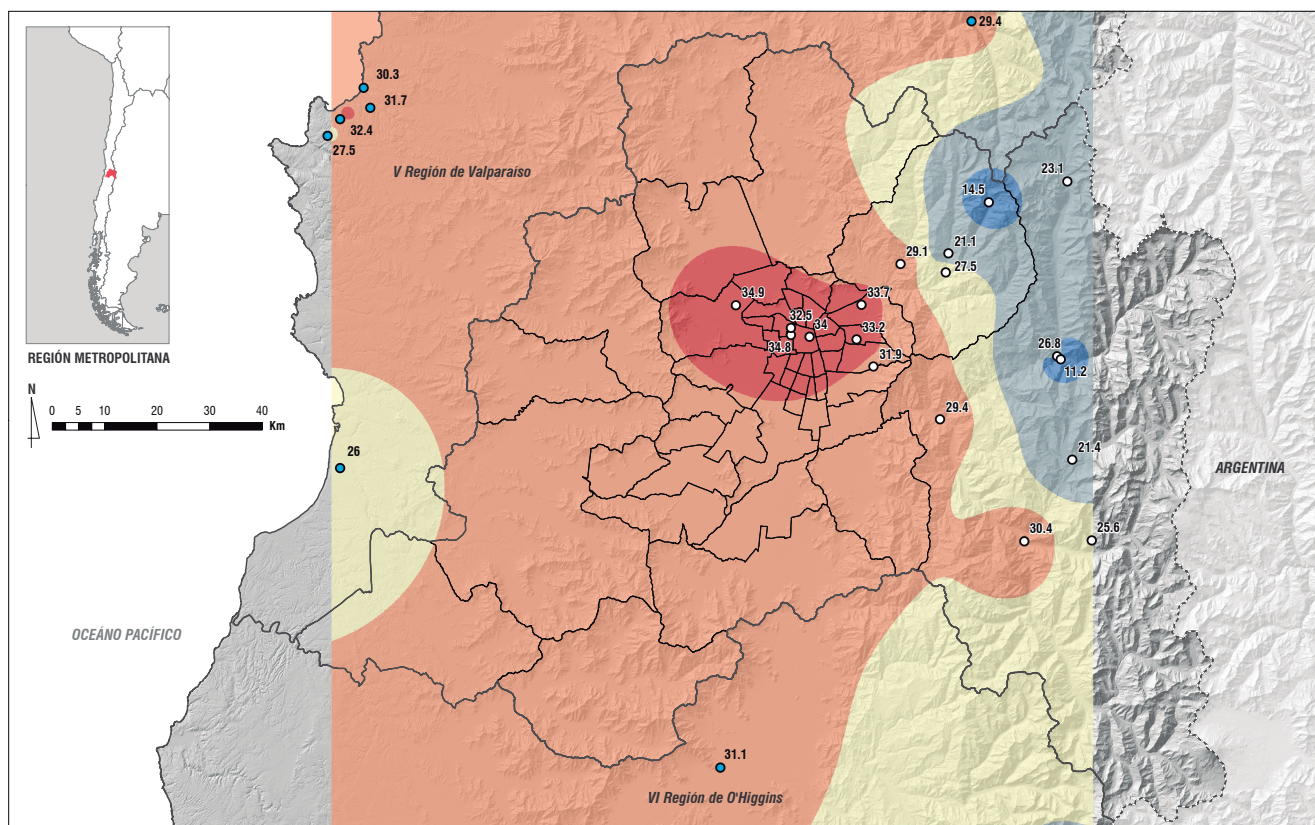


Figura 36. Ranking Temperatura Superficial promedio según comuna. Fuente: GeoAdaptive a partir de imágenes Landsat-8 / LDCM (USGS,2017).

Temperatura atmosférica

Las temperaturas registradas por las estaciones meteorológicas reflejan un comportamiento similar al presentado por las temperaturas superficiales (**Figura 37**). El sector centro-norte alcanzó las mayores temperaturas durante el evento Ola de Calor de Enero, 2017, especialmente en las estaciones “Terraza Oficinas Centrales Dga” (Santiago), “Quinta normal” y “Pudahuel”, en las que la temperatura atmosférica máxima superó los 34°C (**Figura 38**). Las temperaturas descienden moderadamente hacia la periferia de la ciudad y abruptamente hacia el oriente (áreas cordilleranas).

Figura 37. Isotermas. Temperatura máxima atmosférica. Fuente: GeoAdaptive a partir de datos CR2.



TEMPERATURA ATMOSFÉRICA | Ola de calor 17-01-2017

LEYENDA

Temperatura máx. diaria °C

- 10 - 20
- 20 - 25
- 25 - 28
- 28 - 32
- 32 - 35

Límite administrativo

- Comunal
- Regional
- Internacional

- Estación meteorológica RM
- Estación meteorológica

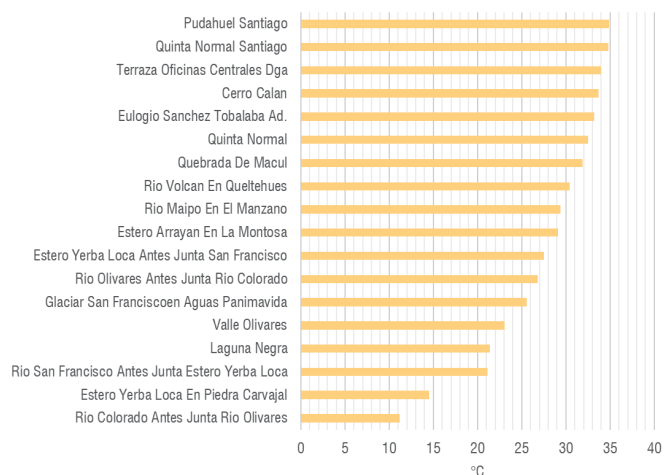


Figura 38. Temperatura máxima atmosférica por estación meteorológica.
Fuente GeoAdaptive a partir de datos CR2.

03

Síntesis de amenazas y análisis de exposición

Sistematización de las amenazas analizadas para generar un índice de amenaza climática normalizado que sirve como el primer insumo para el análisis de riesgo. Se evalúa y cuantifica la exposición de la población e infraestructuras esenciales frente a las amenazas climáticas a escala comunal y regional.

- 3.1 Contextualización de la etapa**
- 3.2 Forma general del riesgo**
- 3.3 Índice de amenaza climática general**
- 3.4 Índice de exposición**

3.1 Antecedentes

Esta segunda etapa (Obj. 3, 4 y 5) consiste en la caracterización espacial del riesgo climático para la Región Metropolitana. Para tal efecto, se generan índices normalizados para las amenazas, la exposición de personas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Los índices son luego combinados por medio de herramientas de geoprocamiento para generar un índice de riesgo climático de alta resolución espacial (100x100 metros). Luego se generan indicadores a nivel comunal, diseñados para apoyar un proceso futuro de planificación climática.



Figura 39. Estructura general del marco metodológico propuesto. En color se indican los objetivos de la segunda etapa. Fuente: GeoAdaptive.

Objetivos del estudio
• Objetivo 1. Identificación de amenazas
• Objetivo 2. Mapa de amenazas
• Objetivo 3. Exposición comunal
• Objetivo 4. Vulnerabilidad climática
• Objetivo 5. Riesgo climático comunal
• Objetivo 6. Identificación de interdependencias
• Objetivo 7. Indicadores de capacidad adaptativa

Tabla 13. Objetivos abordados en la segunda etapa. Fuente: GeoAdaptive.

3.2 Forma general del riesgo

De acuerdo a la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de desastre, el riesgo se define como una función de la amenaza, la exposición de bienes y personas a la amenaza y las condiciones de vulnerabilidad de la población y bienes expuestos (UNDRR, 2017). De lo anterior, se desprende la formula general de riesgo, que conceptualmente guía el proceso analítico para el cálculo de este:

$$Rg = \left\{ \left(\frac{\sum_1^n Ai}{n} \right) \times (Ei) \times (Vi) \right\}$$

Donde:

Rg: riesgo general

Ai: amenazas

Ei: exposición

Vi: vulnerabilidad

Para el cálculo de riesgo climático total es necesario contar con indicadores con un unidades homogéneas. Para esto es se requiere un proceso de normalización de las unidades de las variables que caracterizan las amenazas, exposición y vulnerabilidad.

3.3 Índice de amenaza climática general

Con respecto al índice de amenaza general, este fue generado a partir de un cruce espacial de las amenazas ya caracterizadas en el informe 1, las cuales fueron previamente homogeneizadas con el método “Designación de unidades valorativas” propuesto por Carvacho (2011). Este método ya ha sido utilizado para indicadores de riesgo climático y zonas de catástrofe (Henriquez et al., 2016) y tiene la ventaja que transforma los datos de cada amenaza a una escala de puntajes entre 0 y 1 considerando el comportamiento particular de cada variable, lo que permite su manejo integrado para un índice de amenaza climática general.

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$P_i = \begin{cases} X_i \geq \bar{x} \rightarrow P_{med} + (X_i - \bar{x}) \times R_{sup} \\ X_i < \bar{x} \rightarrow P_{min} + (X_i - x_{min}) \times R_{inf} \end{cases}$$

$$R_{sup} = \frac{P_{max} - P_{med}}{X_{max} - \bar{x}}$$

$$R_{inf} = \frac{P_{max} - P_{med}}{\bar{x} - X_{min}}$$

Donde:

Pi: puntaje normalizado (0 a 1)

Xi: valor

X: promedio

Xmin: valor mínimo

Xmax: valor máximo

Rsup: razón de puntaje asignado sobre el promedio

Rinf: razón de puntaje asignado bajo el promedio

Pmed: valor del puntaje asignado al promedio

Pmin: puntaje mínimo asignado

Pmax: puntaje máximo asignado

Es importante señalar que el promedio utilizado para cada amenaza corresponde al promedio del valor de las celdas de toda la región, para lo cual las capas vectoriales fueron convertidas a formato raster de resolución 30m.

La generación del índice final de amenaza fue realizado a partir del promedio del puntaje normalizado de todas las amenazas para cada celda, según muestra la siguiente formula:

$$Ag = \frac{\sum_1^n Pi(Ai)}{n}$$

Donde:

Ag: amenaza general

Pi(Ai): puntaje normalizado de las cinco amenazas

Según las clases y rangos de cada amenaza, los valores de puntaje que fueron utilizados en el índice general de amenaza se detallan a continuación en la **Tabla 14**.

En la página siguiente, se presentan los mapas con valores normalizados para cada una de las cinco amenazas analizadas. Estos fueron utilizados como insumo para construir el índice de amenaza climática general.

Amenaza ¹	Clases	Valor clase	Pi
Inundación	Nulo	0	0
	Bajo	1	0.618155
	Medio	2	0.809078
	Alto	3	1.000000
Remoción en masa	Nulo	0	0
	Bajo	1	0.654144
	Medio	2	0.827072
	Alto ²	3	1.000000
Incendio forestal	Nula susceptibilidad de propagación	0	0
	Susceptibilidad muy baja de propagación	1	0.196789
	Susceptibilidad baja de propagación	2	0.393577
	Susceptibilidad media de propagación	3	0.566374
	Susceptibilidad media-alta de propagación	4	0.710916
	Susceptibilidad alta de propagación	5	0.855458
	Susceptibilidad muy alta de propagación	6	1.000000

Amenaza ¹	Clases	Valor clase	Pi
Sequía	Muy Baja (0 años IPE seco y/o moderadamente seco)	0	0
	Baja (4 años IPE seco y/o moderadamente seco)	4	0.339150
	Media (IPE seco y/o moderadamente seco)	5	0.423938
	Media alta (6 años IPE seco y/o moderadamente seco)	6	0.524467
	Alta (7 años IPE seco y/o moderadamente seco)	7	0.762234
	Muy alta (8 años IPE seco y/o moderadamente seco)	8	1
Ola de calor	Muy baja (Menor a 13°C TS)	1	0
	Baja (Entre 13°C y 21°C TS)	2	0.164034
	Media (Entre 21°C y 29°C TS)	3	0.328068
	Media alta (Entre 29°C y 37° C TS)	4	0.492102
	Alta (Entre 37°C y 45° C TS)	5	0.743833
	Muy alta (Mayor a 45°C TS)	6	1.000000

Tabla 14. Tabla de clases y rangos para amenazas. Fuente: GeoAdaptive.

¹ Es importante señalar que el alcance de cada amenaza es variable, siendo este regional para los fenómenos de Ola de calor y Sequía, y local para el resto de las amenazas.

² Las áreas sin rango de clasificación fueron incorporadas a la clase “Alta” de amenaza, bajo un criterio conservador de gestión del riesgo en el territorio.

Resultados del índice de amenaza climática general

Los resultados de este indicador (**Figura 45**) señalan que el territorio regional presenta un índice promedio de amenaza de 0,35, con una distribución espacial heterogénea, concentrándose los niveles más altos en áreas en las que confluyen diferentes amenazas, tales como el sector poniente y el piedemonte de la región.

El mapa muestra que, entre las áreas altamente amenazadas, destacan las comunas Lo Espejo, La Cisterna, Buin, con más de un 70% de su superficie en los dos rangos superiores de amenaza (**Tabla 15 en pág. 86**). Sin embargo, al considerar solamente el rango muy alto, la comuna que presenta mayor proporción de amenaza es La Reina, con un 49% de su superficie en este rango. Las comunas que presentan

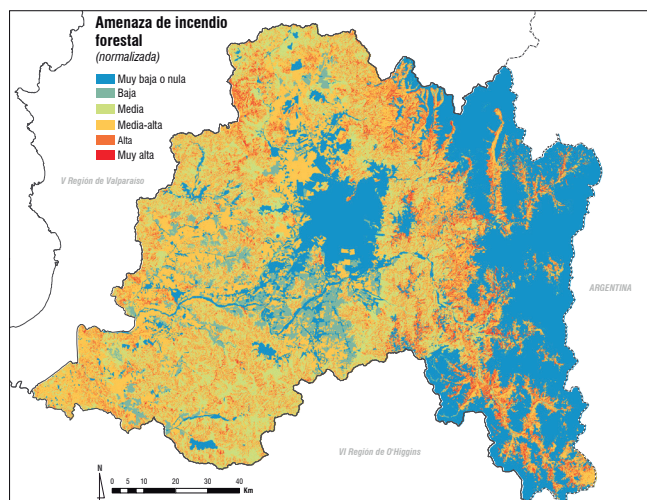


Figura 44. Índice normalizado de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.

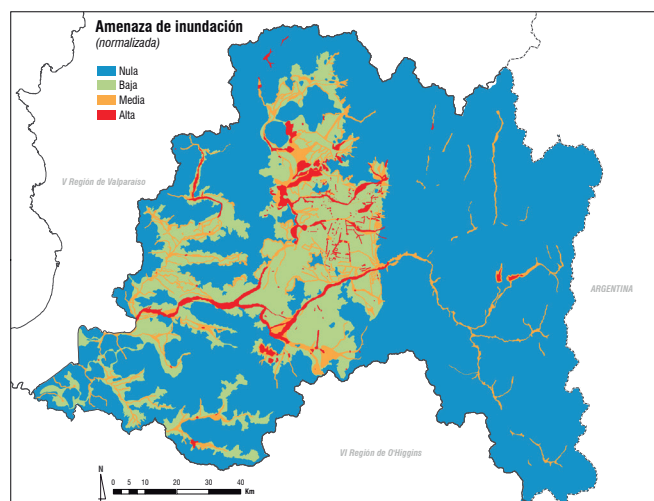


Figura 40. Índice normalizado de amenaza de inundación. Fuente: GeoAdaptive.

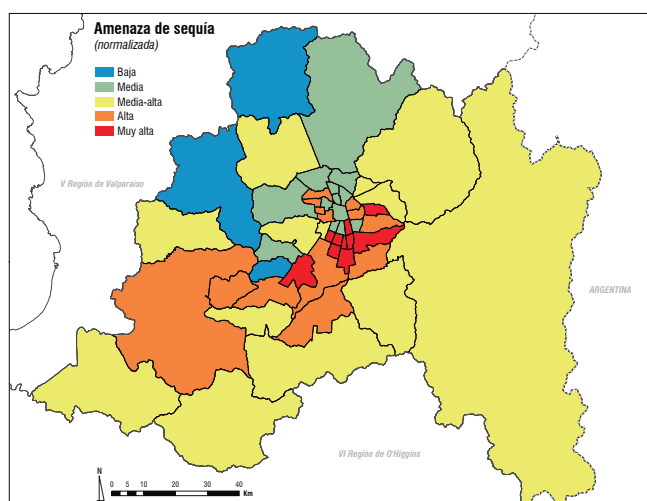


Figura 41. Índice normalizado de amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.

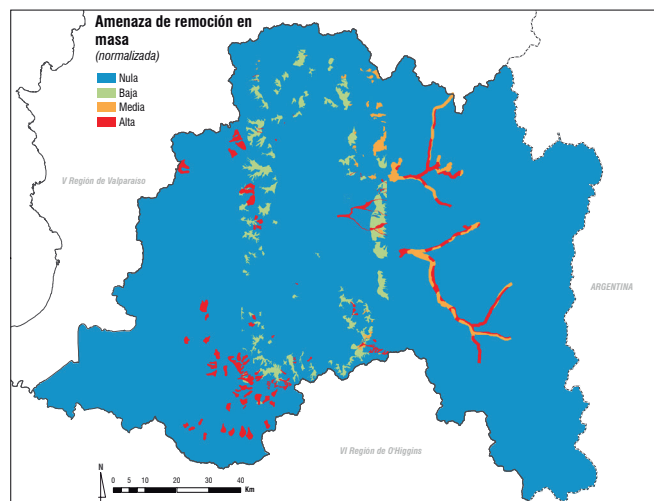


Figura 42. Índice normalizado de de remoción en masa Fuente: GeoAdaptive.

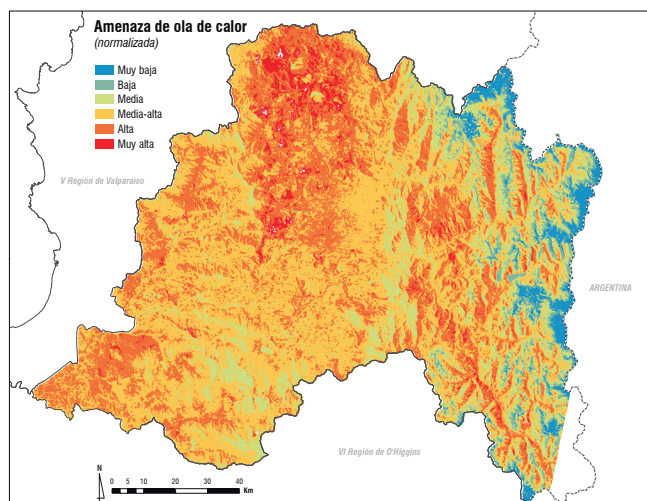


Figura 43. Índice normalizado de amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.

menor superficie amenazada son San José de Maipo, Las Condes, Recoleta y San Miguel, con más de un 65% de superficie en los rangos de muy baja y baja amenaza climática.

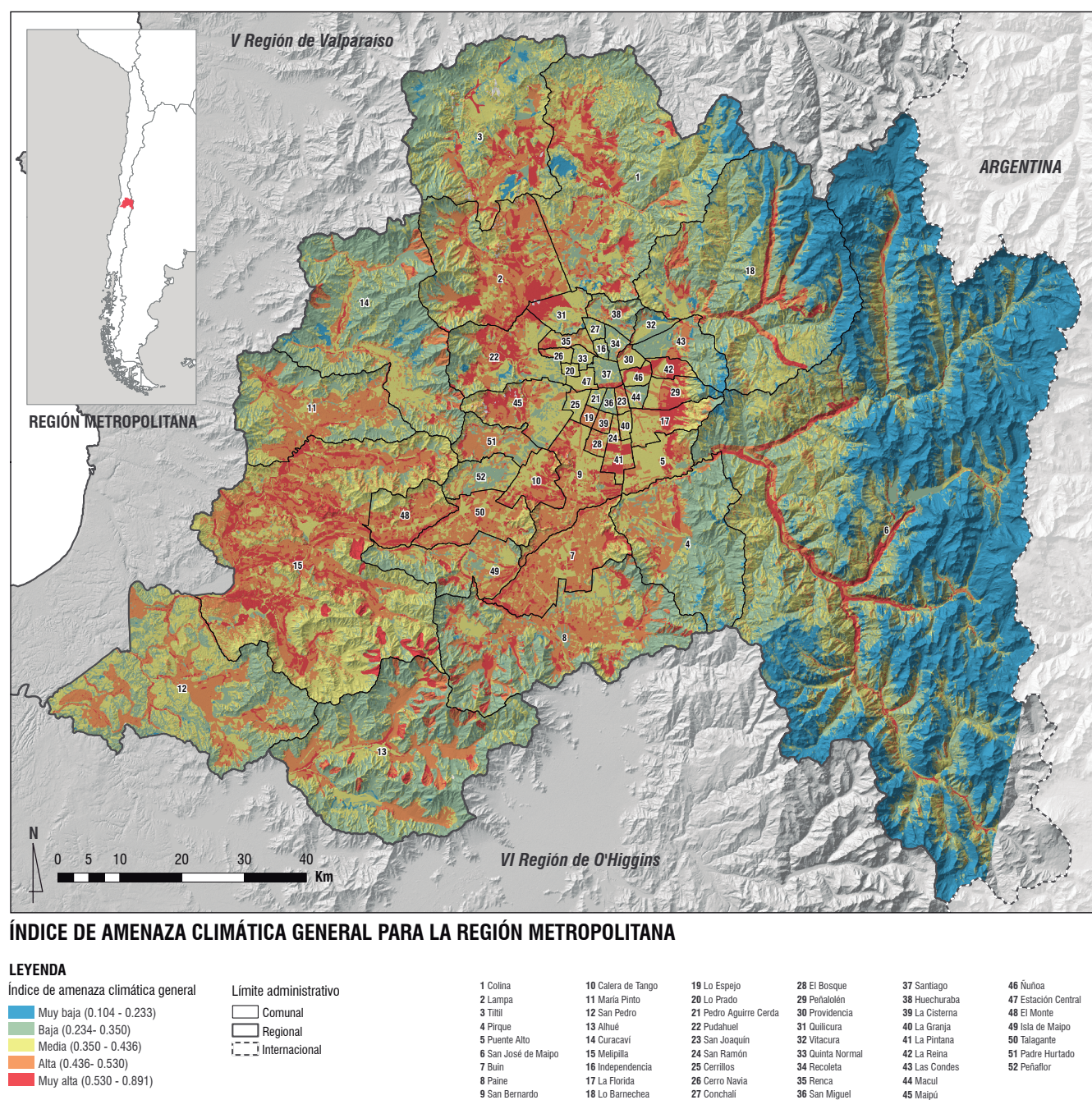


Figura 45. Mapa del índice de amenaza climática general para la Región Metropolitana Fuente: GeoAdaptive.

3.4 Índice de exposición

El índice de exposición fue generado a partir del análisis de población de la región y datos de infraestructura y equipamiento, ambos analizados en contexto del nivel de amenaza para la región Metropolitana. De esta forma, es posible caracterizar tanto personas como bienes públicos expuestos. Las fuentes de información, métodos y resultados se discuten a continuación.

Exposición de la población

La fuente de información utilizada fue la capa de población de WorldPop, un proyecto que busca generar datos espaciales de alta precisión de cantidad y distribución geográfica de la población a nivel de países individuales para todo el mundo. Los datos de esta capa son generados por medio de un modelo dasimétrico que utiliza una regresión flexible (Random Forest), para generar grillas de alta resolución de cantidad de población (Stevens, 2015). El modelo permite redistribuir la data demográfica del Censo en función de una serie de datos auxiliares que actúan como predictores de presencia y cantidad de población. El resultado es una grilla continua de densidad de población a una resolución de 100x100 metros. Los datos utilizados corresponden a proyecciones oficiales de población de la ONU, Censos nacionales y datos auxiliares de fuente abiertas. Para Chile, se han utilizado los Censos del INE y datos de la CELADE. Para el índice de exposición, los datos de población por unidad de superficie fueron normalizados para ser integrados posteriormente al índice de riesgo final. El método de normalización de la información fue el ya descrito “Designación de unidades valorativas” propuesto por Carvacho (2011 en Henríquez et al., 2016).

Al revisar el mapa de exposición general de la población en la **Figura 49 en pág. 89**, los resultados señalan que el territorio regional presenta un índice promedio de exposición de 0,09, con cifras que fluctúan entre un mínimo de 0, que corresponden a áreas sin población, y un máximo de 1, para áreas densamente pobladas (235 habitantes por unidad de superficie –celda 100x100). La población se concentra en el área metropolitana de Santiago, particularmente en los sectores centro, sur y poniente.

Con respecto a la población regional, el 52% se encuentra en áreas de amenaza climática media, un 31% en amenaza alta y muy alta, y un 17% en áreas de amenaza baja y muy baja. Al analizar la distribución de población en niveles más alto y muy alto a escala comunal (**Figura 46**), se observa que las comunas con mayor proporción de población expuesta a estos niveles de amenaza son las comunas urbanas de Lo

Provincia	Comuna	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Chacabuco	Tiltil	3,0%	37,4%	39,3%	12,7%	6,9%
	Colina	6,4%	33,1%	38,3%	14,5%	7,6%
	Lampa	0,1%	14,2%	30,9%	37,4%	17,1%
Cordillera	San José de Maipo	50,6%	22,2%	15,9%	3,6%	2,0%
	Pirque	3,2%	52,0%	24,8%	16,8%	3,3%
	Puente Alto	0,1%	5,2%	59,2%	23,0%	12,5%
Maipo	Paine	0,5%	38,4%	24,4%	28,3%	8,3%
	San Bernardo	0,0%	1,1%	33,5%	48,6%	16,8%
	Buín	0,0%	0,7%	24,7%	60,6%	14,0%
	Calera de Tango	0,0%	0,1%	35,4%	40,0%	24,5%
Melipilla	Curacavi	2,5%	57,8%	24,3%	13,2%	2,0%
	Alhúe	0,5%	52,4%	21,8%	20,4%	4,6%
	San Pedro	0,5%	34,1%	38,6%	23,7%	2,7%
	Maria Pinto	0,1%	31,8%	30,9%	33,7%	3,3%
Santiago	Melipilla	0,0%	5,8%	43,4%	32,5%	18,3%
	Las Condes	9,5%	59,8%	14,7%	12,6%	3,3%
	Recoleta	0,0%	67,1%	27,1%	5,5%	0,2%
	San Miguel	0,0%	66,4%	33,6%	0,0%	0,0%
	Lo Bamechea	24,8%	33,4%	29,6%	7,3%	4,9%
	Santiago	0,0%	57,1%	29,9%	3,9%	9,1%
	Macul	0,0%	53,7%	37,9%	6,2%	2,2%
	Vitacura	6,1%	44,0%	40,2%	7,4%	2,2%
	Huechuraba	1,0%	43,5%	35,1%	14,0%	6,5%
	Independencia	0,0%	41,5%	58,6%	0,0%	0,0%
	Conchalí	0,0%	35,3%	64,7%	0,0%	0,0%
	Pedro Aguirre Cerda	0,0%	35,0%	64,8%	0,0%	0,0%
	Quinta Normal	0,0%	25,2%	74,9%	0,0%	0,0%
	Pudahuel	1,8%	19,8%	37,7%	22,0%	18,7%
	Peñalolén	7,8%	9,0%	38,1%	20,0%	25,1%
	Quilicura	1,1%	12,5%	47,4%	9,8%	28,5%
	Maipú	0,0%	11,8%	42,7%	28,1%	16,3%
	Cerrillos	0,0%	8,8%	76,5%	14,6%	0,0%
	La Florida	0,0%	6,1%	51,0%	22,6%	20,4%
	Renca	0,0%	3,8%	39,6%	44,8%	11,4%
	La Reina	0,0%	0,4%	31,4%	19,2%	49,0%
	Cerro Navia	0,0%	0,2%	69,7%	24,1%	6,0%
	Providencia	0,0%	0,0%	78,1%	15,2%	6,8%
	Lo Espejo	0,0%	0,0%	12,9%	76,4%	10,8%
	La Cisterna	0,0%	0,0%	25,2%	62,5%	12,3%
	San Joaquín	0,0%	0,0%	35,6%	46,0%	18,4%
	El Bosque	0,0%	0,0%	36,4%	51,0%	12,6%
	La Pintana	0,0%	0,0%	37,4%	23,7%	38,9%
	Nuñoa	0,0%	0,0%	60,4%	11,1%	28,6%
	San Ramón	0,0%	0,0%	66,0%	30,3%	3,7%
	La Granja	0,0%	0,0%	83,0%	15,3%	1,6%
	Estación Central	0,0%	0,0%	89,5%	10,3%	0,2%
	Lo Prado	0,0%	0,0%	99,0%	1,0%	0,0%
Talagante	Peñaflor	0,1%	43,5%	37,5%	18,5%	0,4%
	Isla de Maipo	0,0%	30,1%	34,5%	26,5%	8,9%
	Padre Hurtado	0,2%	21,6%	29,3%	43,0%	5,6%
	El Monte	0,0%	3,4%	34,4%	44,2%	18,0%
Talagante	Talagante	0,0%	0,9%	35,9%	51,1%	12,1%

Tabla 15. Porcentaje de área comunal bajo multiamenaza. Fuente: GeoAdaptive.

Espejo (88%), La Cisterna (75%) y la Reina (70%). Otras comunas que presentan elevadas proporciones (sobre el 60%) son El Monte, Lampa, Buin, San Joaquín, El Bosque, Talagante y Melipilla. Las comunas que presentan menor proporción de población expuesta a este nivel de amenaza son Lo Prado, San Miguel, Conchalí e Independencia (menos del 1% de la población)

Exposición de la infraestructura: instalaciones esenciales

La dimensión de infraestructura y equipamiento fue incorporada siguiendo la categoría de “Instalaciones esenciales” definidas por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en la Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial (SUBDERE, 2011).

Las instalaciones esenciales (IE) se definen como aquellas que al verse afectadas negativamente por un desastre, limitan la capacidad de gestión de la emergencia y restringen las opciones de respuesta efectiva durante y después del evento (SUBDERE, 2011). Corresponden a instalaciones de: Policía, Escuelas, Hospitales, Bomberos y Oficinas Públicas. Los datos y fuentes de IE utilizados se resumen en **Tabla 16**.

Si bien las IE no forman parte del índice de exposición, estas fueron integradas al análisis a través de la superposición con las áreas de amenaza, a fin de estimar la proporción de IE que podría sufrir mayores presiones o estar expuestas a daños durante eventos climáticos extremos.

Tipo IE	Descripción	Fuente
Policía	Unidades Policiales de la región, integradas por comisarías, avanzada, retenes, subcomisarías y tenencias.	Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)
Escuelas	Establecimientos educacionales de la región	IDE MINEDUC
Hospitales	Red de Salud de la región, compuesta por CECOF, CDT, CRS, CESFAM, COSAM, Hospitales, Postas, SAPU y SAR.	Geportal SITAS, SEREMI Región Metropolitana de Salud
Bomberos	Cuarteles de bomberos de la región.	Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)/ Openstreetmap (OSM)
Oficinas Públicas	Edificios públicos de la región.	Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)/ Openstreetmap (OSM)

Tabla 16. Tipos de IE y sus fuentes de información. Fuente: GeoAdaptive.

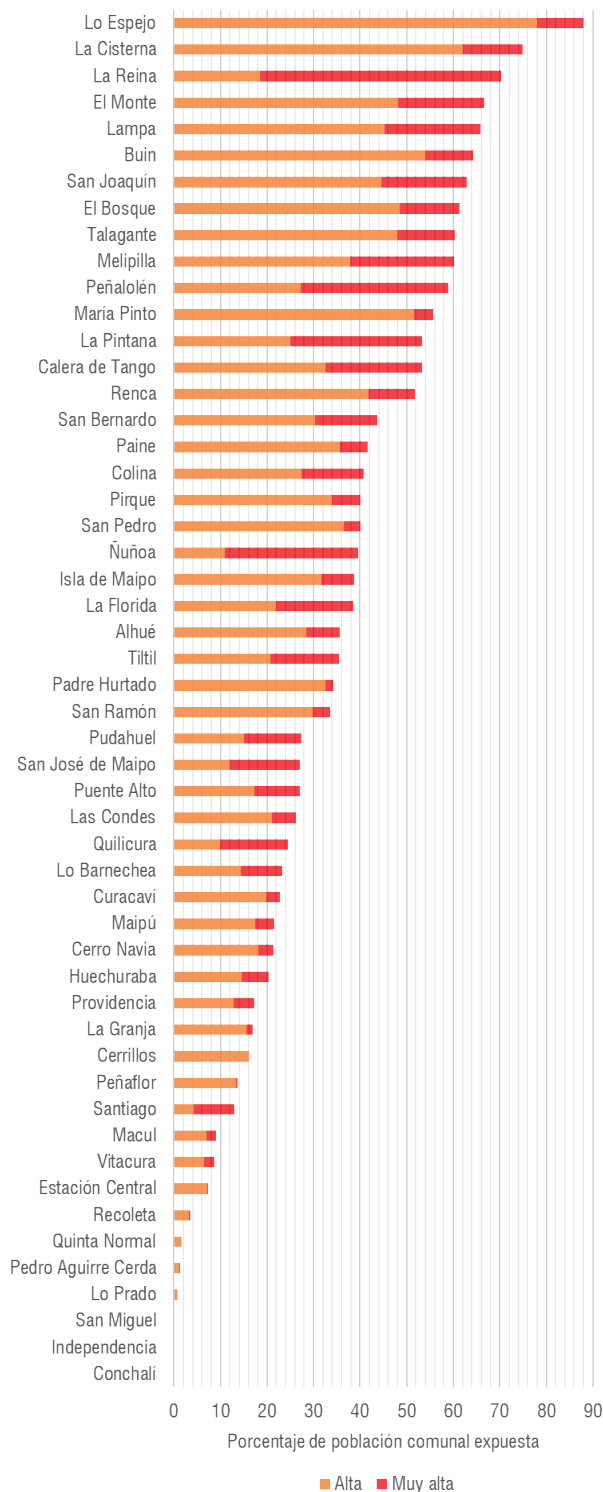


Figura 46. Porcentaje de población comunal expuesta a índice de amenaza alto y muy alto. Fuente: GeoAdaptive.

El mapa de la **Figura 50**, muestra la localización de las instalaciones esenciales en la Región Metropolitana. Se puede observar que la distribución espacial coincide con la presencia de áreas urbanas y centros poblados. La mayor parte corresponde a establecimientos educacionales (2.876), seguido de centros de salud (487), Policía (124), Bomberos (52) y finalmente Oficinas públicas (38).

De acuerdo a los datos, las proporciones de IE según área de amenaza son similares para cada tipología (**Figura 47**), a escala regional. Las IE que se localizan en áreas de mayor nivel de amenaza (Alta y Muy alta) son los establecimientos de Salud y Educación, con una proporción de 22% y 21%, respectivamente, del total de cada tipología. Por otro lado, las IE que presentan mayor proporción en los niveles más bajos de amenaza, son Oficinas Públicas con un 8% y Policía, con un 7%.

A escala comunal, la distribución de IE según nivel de amenaza es heterogénea (**Figura 48**). Las comunas que presentan mayor proporción de instalaciones esenciales expuestas a alta y muy alta amenaza son El Bosque, La Florida, La Cisterna, Ñuñoa, Peñalolén y Lo Espejo, todas con más de un 40% de infraestructura esencial en áreas de dichas categorías.

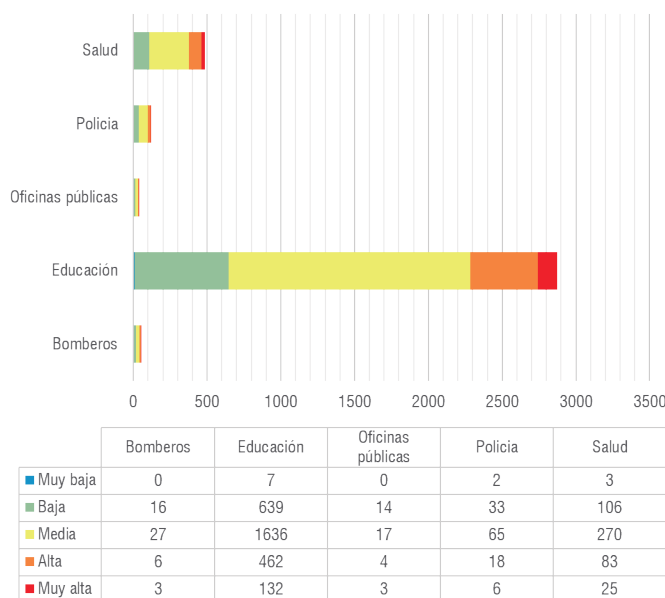


Figura 47. Cantidad de instalaciones expuestas según categoría de amenaza a nivel regional. Fuente: GeoAdaptive.

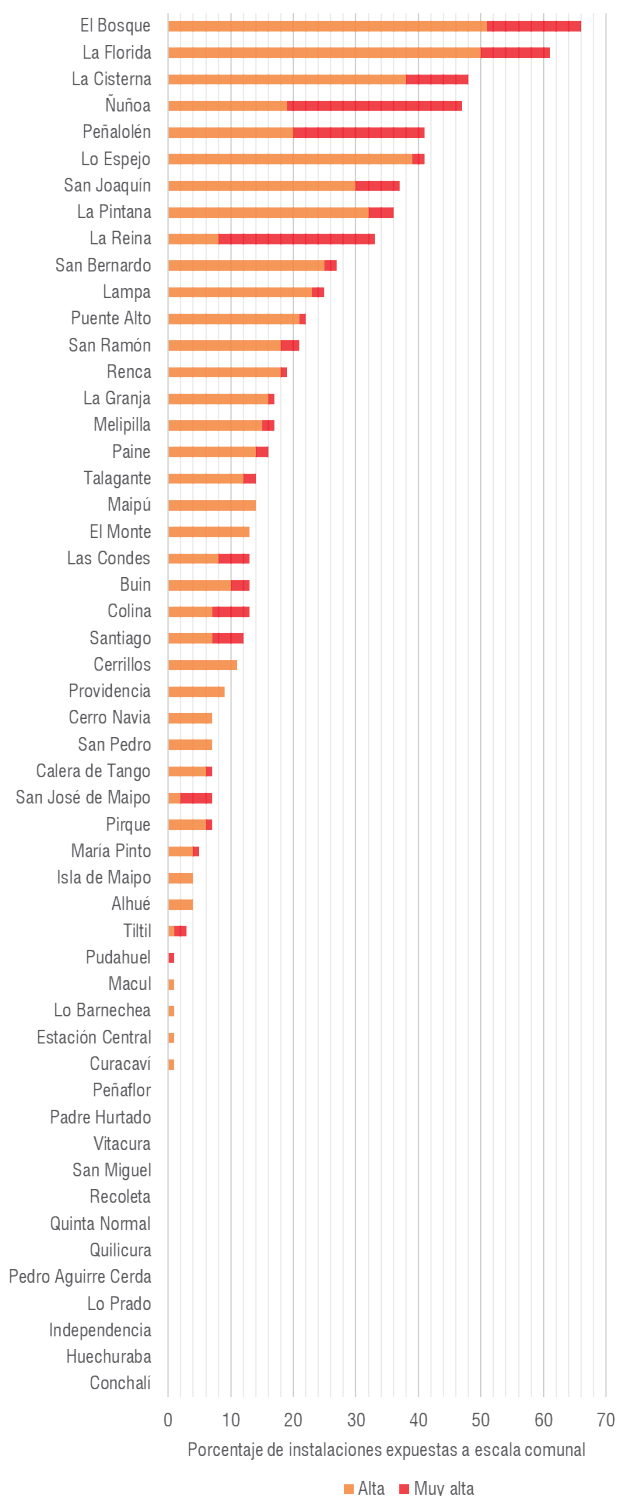


Figura 48. Porcentaje de instalaciones esenciales comunales expuestas a índice de amenaza alto y muy alto. Fuente: GeoAdaptive.

Figura 49. Índice de exposición de población. Fuente: GeoAdaptive.

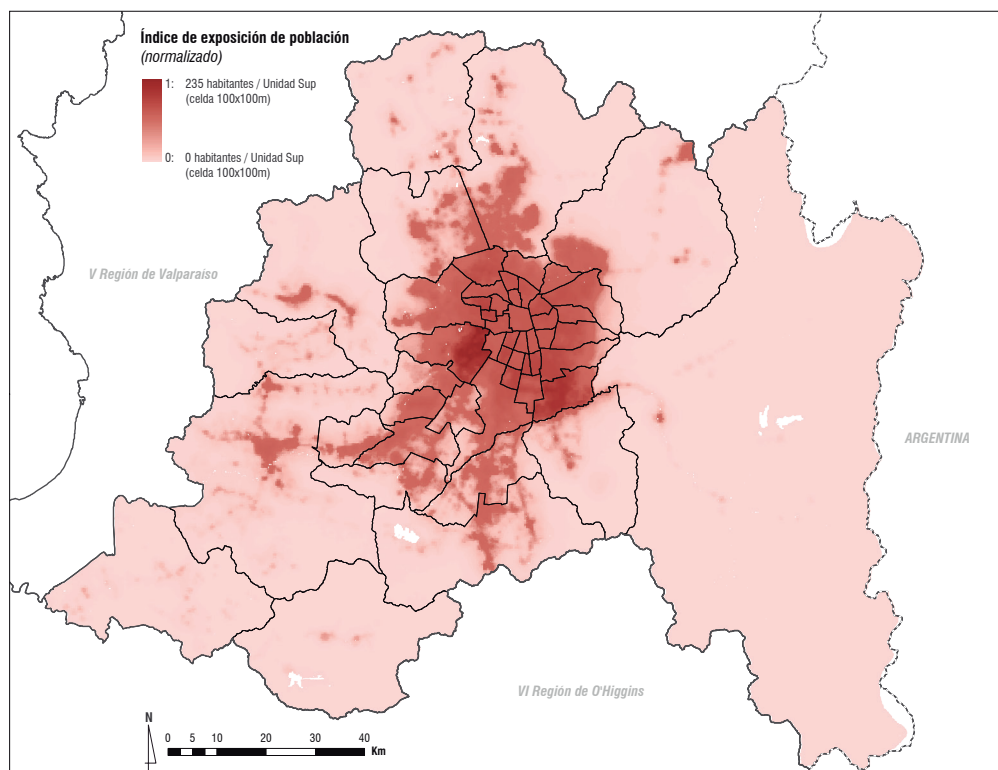
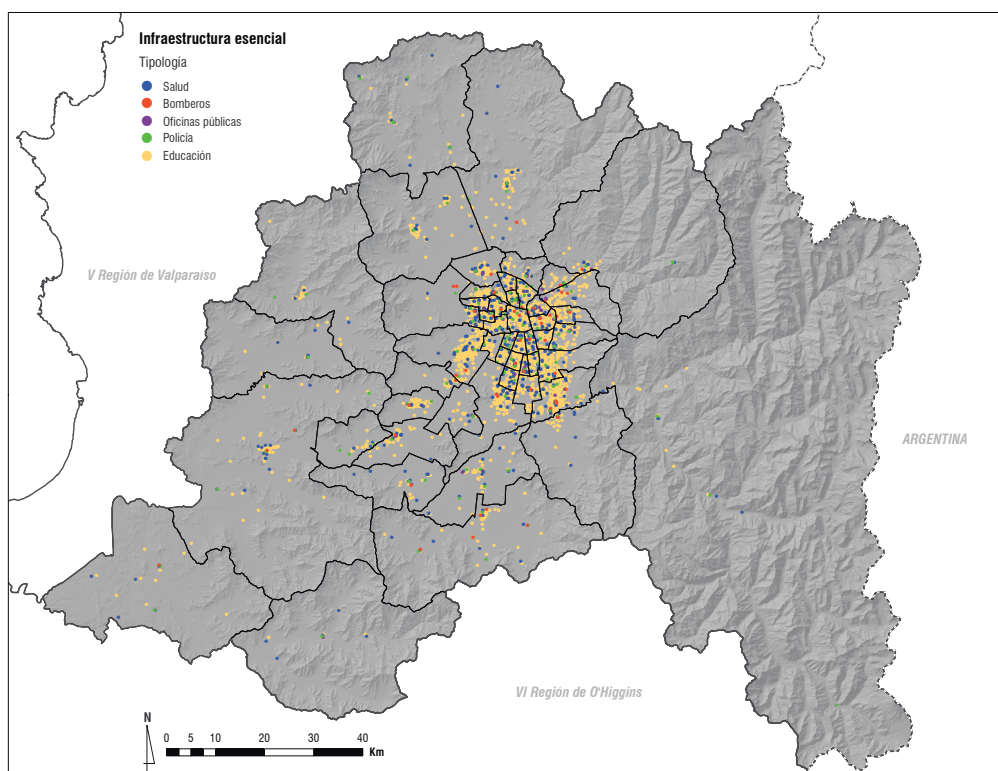


Figura 50. Instalaciones esenciales expuestas. Fuente: GeoAdaptive.



04

Análisis de vulnerabilidad

Evaluación de la susceptibilidad de los elementos expuestos mediante indicadores de vulnerabilidad física y humana según el tipo de amenaza. Estos indicadores describen la capacidad de los elementos expuestos de soportar daños o regresar a su estado previo a la amenaza y conformar el último insumo de información antes del análisis de riesgo general.

4.1 Antecedentes

4.2 Índice de vulnerabilidad climática general

4.1 Antecedentes

La vulnerabilidad es una función de la susceptibilidad de los elementos expuestos a cada amenaza en particular; en este caso, los elementos expuestos que se consideran para evaluar el riesgo, consisten en las personas de la Región Metropolitana.

En general, la vulnerabilidad se caracteriza en función de la resistencia y elasticidad de los elementos expuestos:

- **Resistencia:** describe la capacidad de los elementos expuestos de soportar daños o pérdidas por medio de características inherentes.
- **Elasticidad:** capacidad de los elementos de regresar a su estado anterior después de haber sido expuesto a la amenaza.

Considerando lo anterior, el riesgo se entiende como los elementos expuestos que son susceptibles a impactos por cada tipo de amenaza, debido a sus condiciones intrínsecas de vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad combina generalmente dos tipos: vulnerabilidad física (de las estructuras o infraestructura) y vulnerabilidad humana (de las personas o poblaciones). La vulnerabilidad física se mide caracterizando las características de las construcciones y otros indicadores similares, mientras que la vulnerabilidad humana examina las características demográficas, como edad o género, y factores socioeconómicos que aumentan la posibilidad de lesiones o fatalidades. Para este caso, se consideraron indicadores que combinan tanto aspectos físicos como humanos, abordando integralmente las condiciones de vulnerabilidad en el territorio.

4.2 Índice de vulnerabilidad climática general

Índices preliminares de vulnerabilidad

Para construir el índice de vulnerabilidad general se generaron índices preliminares, los que permitieron caracterizar la vulnerabilidad física y humana según el tipo de amenaza.

Para calcular la vulnerabilidad ante Incendio Forestal, Inundación, Remoción en Masa y Ola de Calor, fueron seleccionadas y normalizadas (con el mismo método que para amenazas y exposición) variables de vulnerabilidad física y humana comúnmente utilizadas para riesgo climático (Welz & Krellenberg, 2016).

La amenaza de Sequía fue tratada de forma diferenciada dadas las diferencias generales que presenta esta amenaza con respecto a las demás, para lo cual, fue utilizado el indicador de sensibilidad desarrollado por el Ministerio de Agricultura en el marco del proyecto "Apoyo a la gestión eficaz de riesgos de sequía en cuencas de Chile", el cual agrupa una serie de variables de vulnerabilidad física y humana y otras específicas ligadas a la resistencia y elasticidad de los elementos expuestos frente a la sequía.

A continuación, en la **Tabla 17**, se describen las variables y fuentes de la información utilizada para ambos índices preliminares de vulnerabilidad.

Indicador preliminar	Tipo	Variable	Descripción	Fuente	Escala
Vulnerabilidad ante Incendio Forestal, Inundación, Remoción en Masa y Ola de Calor	Vulnerabilidad humana	Pobreza multidimensional	Porcentaje de población en situación de pobreza multidimensional con respecto al total de población comunal.	Encuesta CASEN, 2017	Comuna
		Grupos etarios vulnerables	Porcentaje de población menor a 5 y mayor a 65 años, con respecto al total de población de la manzana.	Censo INE, 2017	Manzana
	Vulnerabilidad física	Materialidad de la vivienda	Porcentaje de viviendas construidas con materiales precarios con respecto al total de viviendas de la manzana.	Censo INE, 2017	Manzana
Vulnerabilidad a Sequía	Incorpora tanto vulnerabilidad humana como física	Sensibilidad a Sequía	Indicador normalizado que integra datos de: <ul style="list-style-type: none"> • Pobreza: % pob. que vive en pobreza • Vivienda: % de viviendas en mal estado • Agua: Acceso y costo al agua potable • Desempleo: pob. económicamente activa desocupada sobre pob. activa total) • Salud: muerte personas jóvenes o prematuros cada 1000 hab. • Incendio forestal: % área comunal afectada por incendio forestal 	Observatorio Agroclimático, 2017	Comuna

Tabla 17. Variables utilizadas para el cálculo de la vulnerabilidad. Fuente: GeoAdaptive.

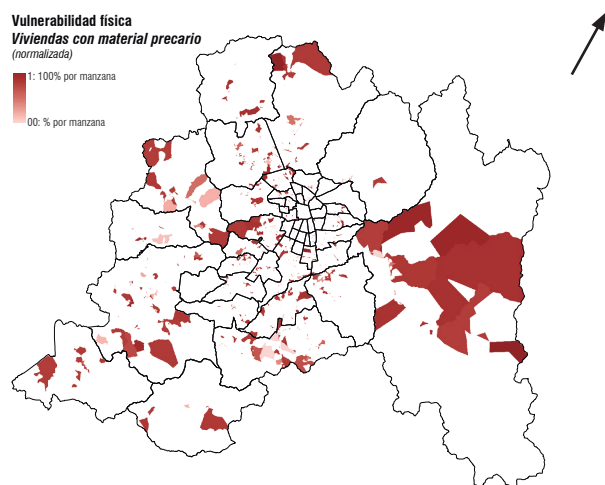
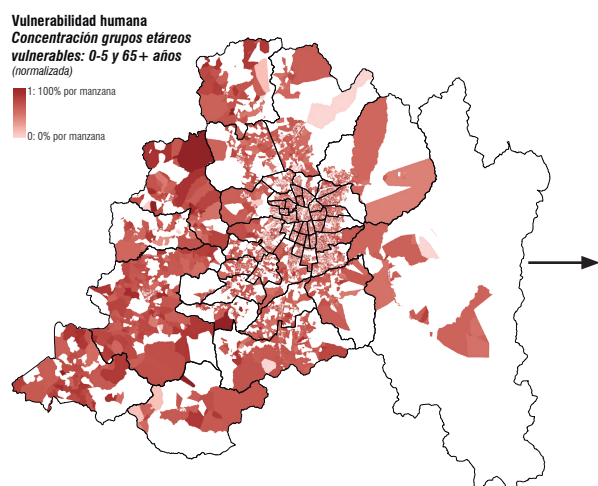
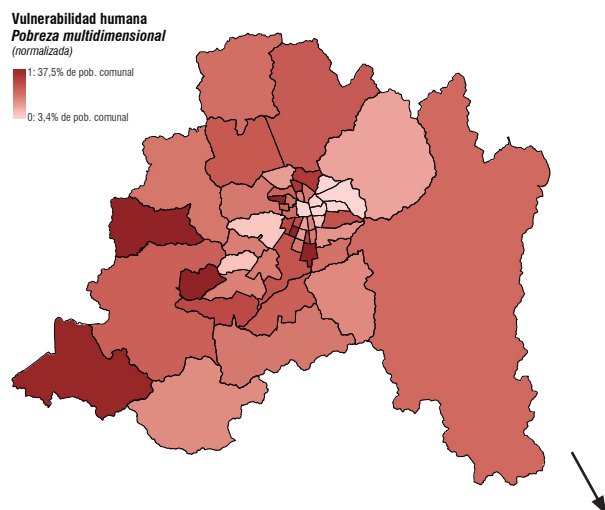
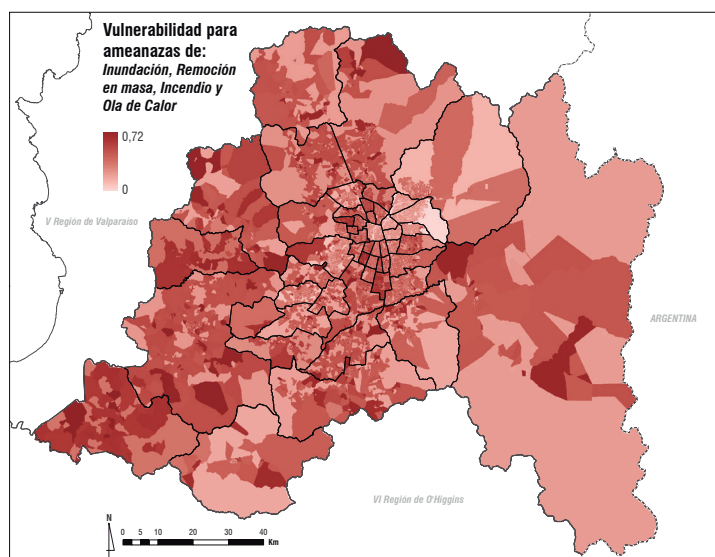


Figura 51. Variables físicas y humanas para el cálculo del índice preliminar de vulnerabilidad para amenazas de inundación, remoción en masa, incendio y ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.



Construcción del Índice de vulnerabilidad general

Ambos índices de vulnerabilidad preliminar fueron integrados a través de un promedio ponderado en un índice de vulnerabilidad general, según muestra la **Figura 53** y de acuerdo a la siguiente fórmula conceptual:

$$Vg = ((VAi) \times 0,8) + ((VAii) \times 0,2)$$

Donde:

Vg: vulnerabilidad general

VAi: índice preliminar de vulnerabilidad para amenaza de inundación, remoción en masa, incendio forestal y ola de calor.

VAii: índice preliminar de vulnerabilidad para amenaza de sequía.

Los resultados señalan que la región presenta un índice promedio de amenaza de 0,23, con una distribución espacial heterogénea, concentrándose los niveles más altos en áreas del sector poniente de la región y del Área Metropolitana. El mapa muestra que, entre las áreas más vulnerables, destacan las comunas de San Pedro, Cerro Navia, Lo Espejo y La Pintana, con los mayores índices de la región (superior a 0,35). Las áreas de la región con menores índices de vulnerabilidad corresponden a sectores de las comunas del sector centro-oriental del Área Metropolitana, como Las Condes, Providencia, Vitacura, Santiago y Lo Barnechea (inferior a 0,17); este sector es conocido como el cono de altos ingresos. Otras comunas con bajos niveles de vulnerabilidad corresponden a aquellas de la interfase urbano-rural como Peñaflor, Pirque, Talagante y San José de Maipo (inferior a 0,2).

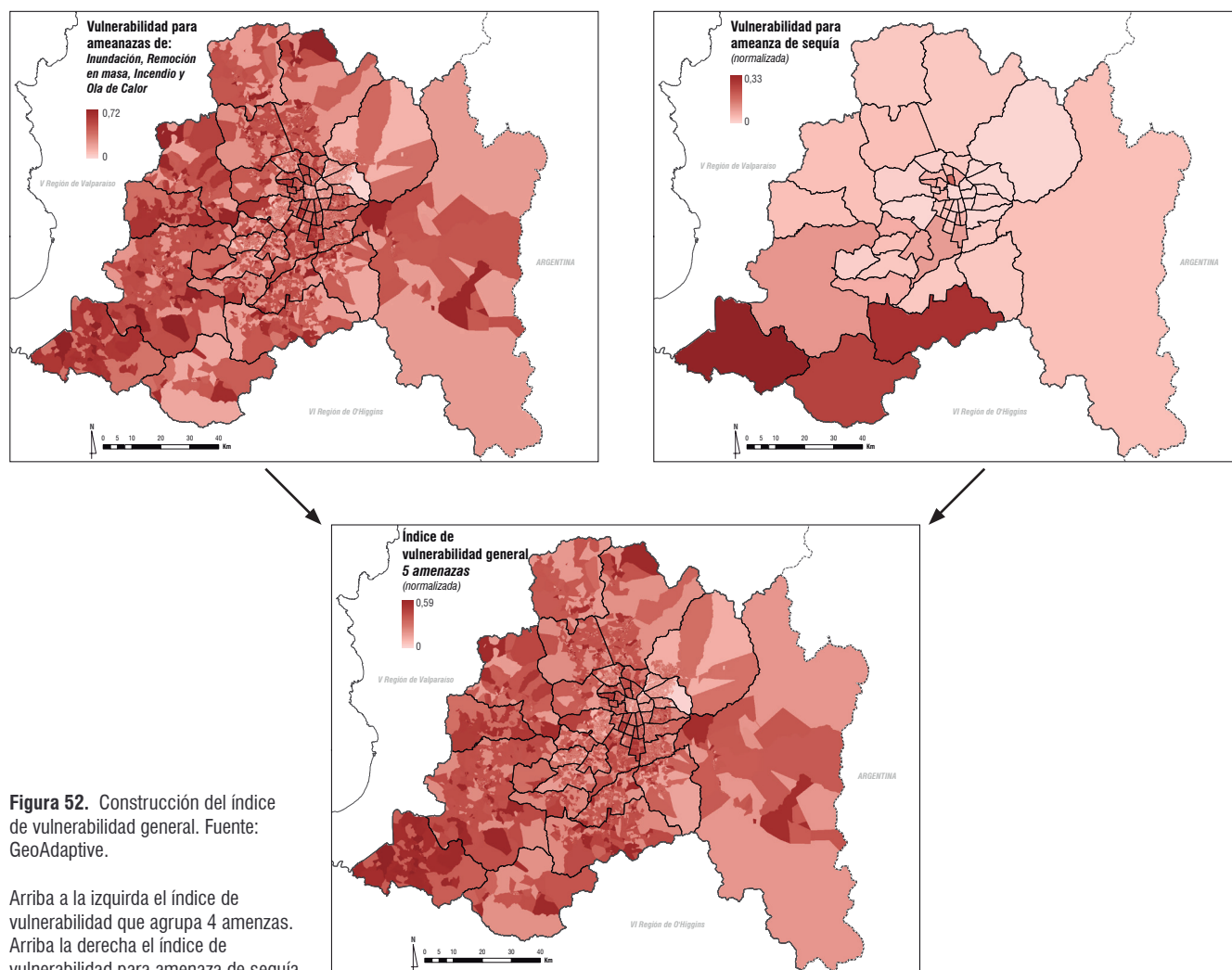
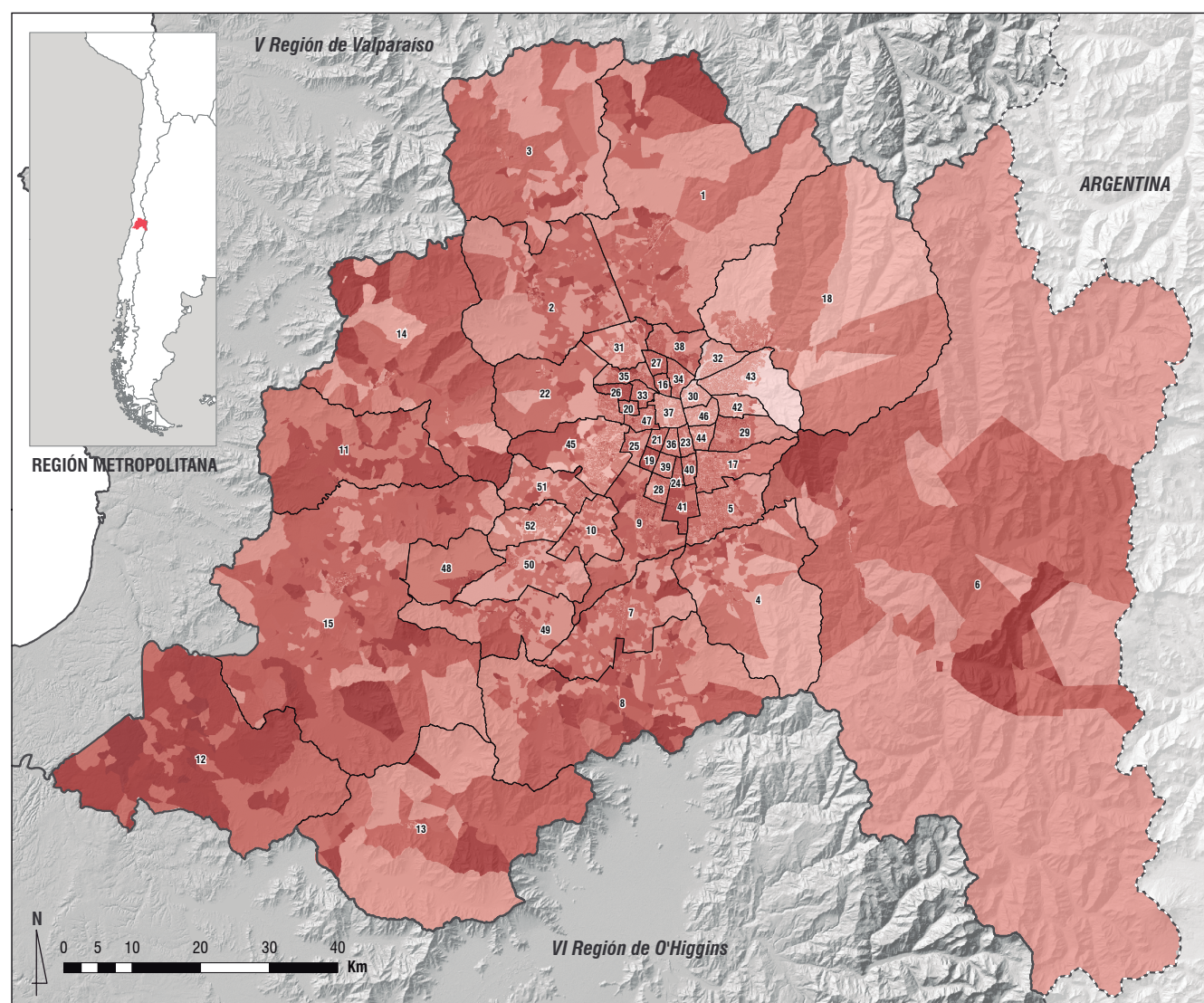


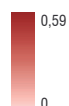
Figura 53. Mapa del índice de vulnerabilidad general frente a amenazas climáticas. Fuente: GeoAdaptive.



ÍNDICE DE VULNERABILIDAD CLIMÁTICA GENERAL PARA LA REGIÓN METROPOLITANA

LEYENDA

Índice de vulnerabilidad general



Límite administrativo



1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacaví	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñaflor
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

05

Análisis de riesgo

Cálculo del índice riesgo climático general para la Región Metropolitana. Se caracteriza la distribución espacial del riesgo a nivel regional y comunal en función de área afectada y diversos rangos del índice. Se realiza una problematización del cambio climático futuro en la región y su impacto potencial en las amenazas en función de la variación de parámetros hidrometeorológicos. Finalmente, se realiza una síntesis de la información generada para la gestión del riesgo climático.

- 5.1 Antecedentes**
- 5.2 Índice de riesgo climático por amenaza**
- 5.3 Índice de riesgo climático general**
- 5.4 Tendencia de cambio climático**
- 5.5 Sistema de información para el riesgo climático**

5.1 Antecedentes

Se define como riesgo la probabilidad de que, en un contexto geográfico determinado y en un período de tiempo limitado, ocurran alteraciones severas en el funcionamiento normal de los asentamientos humanos debido a la interacción de eventos físicos (amenazas) con el sistema social (la dimensión de vulnerabilidad). Puede concebirse al riesgo como un estado continuo, latente que se materializa en un desastre cuando confluyen simultáneamente condiciones de una perturbación física externa, en este caso, amenazas climáticas, y debilidades inherentes a los distintos elementos humanos (Lavell et al., 2012).

Es importante destacar que la relación de la amenaza y la vulnerabilidad en la concepción del riesgo es, como lo expresa Cardona (2001) una relación de convolución, el cual es un concepto matemático que se refiere a la concomitancia y mutuo condicionamiento. Es decir, no se puede hablar de riesgo potencial si el elemento vulnerable no está amenazado, y no existe una condición de amenaza para un elemento, sujeto o sistema si éste no está expuesto y es vulnerable a la acción potencial que representa dicha amenaza. En otras palabras, como lo expresa Cardona (2001) "...no existe amenaza o vulnerabilidad independientemente, pues son situaciones mutuamente condicionantes que se definen en forma conceptual de manera independiente para efectos metodológicos y para una mejor comprensión del riesgo"

De acuerdo con Zonensein et al. (2008), el concepto de riesgo tiene un significado variable según el contexto en el que se emplea y, por esa razón, la interpretación adoptada debe ser aclarada previamente a cualquier análisis. En la evaluación del riesgo tradicionalmente se destaca la visión clásica, la cual establece que para su análisis es necesario conocer el desarrollo de tres aspectos únicos: la amenaza (A) y la vulnerabilidad (V), y la exposición en donde el riesgo es considerado como el daño potencial que las amenazas pueden generar a los elementos vulnerables.

Construcción del Índice de riesgo climático

El índice de riesgo climático¹ se generó a partir de la integración de los índices generales de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Esta forma de riesgo se define como riesgo potencial.

La integración conceptual de estos tres únicos factores en el análisis del riesgo público, genera una respuesta del nivel de afectación que puede llegar a presentar los elementos vulnerables en el instante exacto de ocurrencia del evento amenazante. Está representado por la siguiente

¹ Es importante señalar que los resultados de este indicador fueron generados en el contexto de un estudio Intrarregional, por lo que sus cifras sólo son aplicables para el análisis comparativo de las distintas áreas de la Región Metropolitana.

fórmula conceptual, ya descrita anteriormente:

$$Rg = \left\{ \left(\frac{\sum_1^n Ai}{n} \right) \times (Ei) \times (Vi) \right\}$$

Donde:

Rg: riesgo general

Ai: amenazas

Ei: exposición

Vi: vulnerabilidad

Complementariamente, se generó un índice de riesgo para cada amenaza, para lo cual se utilizaron los índices generales de exposición y los índices preliminares de vulnerabilidad correspondientes cada tipo de amenaza. A continuación, se presentan los resultados del índice por amenaza, seguido del índice de riesgo climático general para la Región Metropolitana.

5.2 Índice de riesgo climático por amenaza

Inundación

Los resultados del índice de riesgo para Inundación (**Figura 54**), señalan que el promedio a nivel regional es 0,02, con valores máximos de 0,5. Este riesgo se presenta en la mayor parte del área urbana de la región, sin embargo, el mapa muestra que los mayores índices (superior a 0,25) se presentan en las comunas del borde del Área Metropolitana, entre ellas Peñalolén, Puente Alto, La Pintana, San Bernardo, Lo Espejo, Maipú, Cerro Navia y Quilicura, además de los sectores centrales de las comunas no metropolitanas de Lampa, Colina, Curacaví, El Monte y Paine.

Remoción en Masa

Los resultados del índice de riesgo asociado Remoción en Masa (**Figura 55**), muestran que el promedio presentado por la superficie regional es 0,01, con valores máximos de 0,4, concentrados principalmente en las comunas del sector oriental de la región, entre ellas Peñalolén, La Reina, La Florida y Puente Alto. Los índices más bajos de riesgo para esta amenaza coinciden con la ausencia de esta amenaza en su componente físico, principalmente en el centro y poniente de la región.

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 Colina | 27 Conchalí |
| 2 Lampa | 28 El Bosque |
| 3 Tiltil | 29 Peñalolén |
| 4 Pirque | 30 Providencia |
| 5 Puente Alto | 31 Quilicura |
| 6 San José de Maipo | 32 Vitacura |
| 7 Buín | 33 Quinta Normal |
| 8 Paine | 34 Recoleta |
| 9 San Bernardo | 35 Renca |
| 10 Calera de Tango | 36 San Miguel |
| 11 María Pinto | 37 Santiago |
| 12 San Pedro | 38 Huechuraba |
| 13 Alhué | 39 La Cisterna |
| 14 Curacaví | 40 La Granja |
| 15 Melipilla | 41 La Pintana |
| 16 Independencia | 42 La Reina |
| 17 La Florida | 43 Las Condes |
| 18 Lo Barnechea | 44 Macul |
| 19 Lo Espejo | 45 Maipú |
| 20 Lo Prado | 46 Ñuñoa |
| 21 Pedro Aguirre Cerda | 47 Estación Central |
| 22 Pudahuel | 48 El Monte |
| 23 San Joaquín | 49 Isla de Maipo |
| 24 San Ramón | 50 Talagante |
| 25 Cerrillos | 51 Padre Hurtado |
| 26 Cerro Navia | 52 Peñafiel |

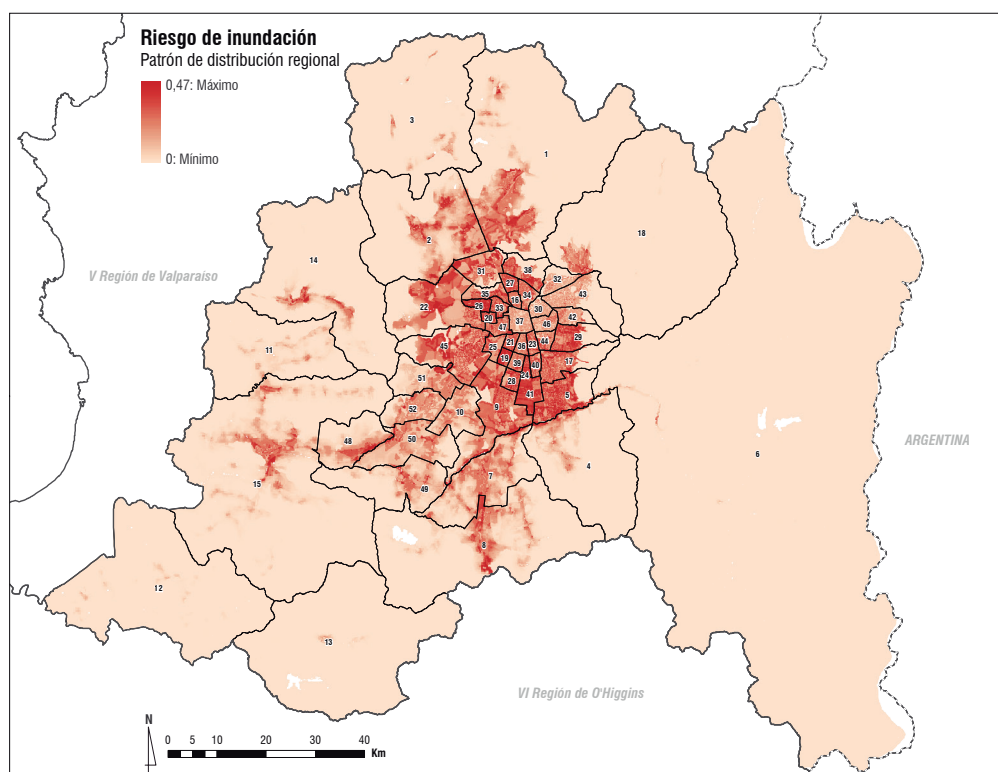


Figura 54. Índice de riesgo para amenaza de Inundación. Fuente: GeoAdaptive.

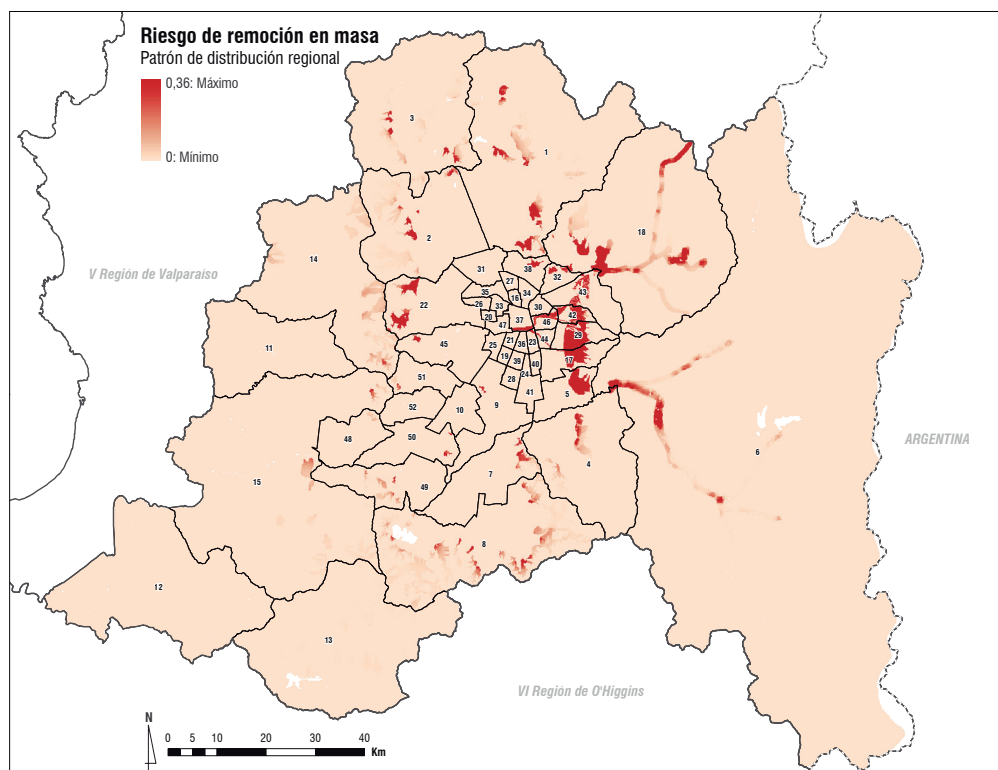


Figura 55. Índice de riesgo para amenaza de Remoción en Masa. Fuente: GeoAdaptive.

Incendio Forestal

Los resultados del índice de riesgo para Incendio Forestal (**Figura 56**), señalan que el promedio a nivel regional es 0,01, con valores máximos de 0,3, concentrados principalmente en áreas de la interfase urbano-rural regional. Destacan áreas periféricas de las comunas del sector suroriente y poniente del Área Metropolitana, tales como Huechuraba, Quilicura, Pudahuel San Bernardo y Puente Alto, con zonas que presentan índices de riesgo superior a 0,27). Otras comunas que presentan gran proporción de su superficie con altos índices de riesgo son Melipilla, Colina, Lampa y Paine, con áreas que alcanzan índices cercanos a 0,25.

Sequía

Los resultados del índice de riesgo para Sequía (**Figura 57 en pág. 101**), muestran que el promedio a nivel regional es 0,002, con valores máximos de 0,1 presentados principalmente por zonas de la interfase urbano-rural del sur-poniente, entre ellas las comunas de La Pintana, San Bernardo, Calera de Tango, Melipilla, Paine y sectores poblados de San Pedro y Alhué. El sector norte de la región presenta niveles

medio-alto de riesgo, destacándose en este aspecto comunas como Independencia, Cerro Navia, Renca, Curacaví, Lampa y Colina.

Ola de calor

Los resultados del índice de riesgo asociado a eventos de Ola de Calor (**Figura 58 en pág. 101**), muestran que el promedio presentado por la superficie regional es 0,02, con valores máximos de 0,4, concentrados principalmente en el área urbana metropolitana. Al analizar la distribución del indicador, es posible identificar que los mayores índices (superiores a 0,3) se presentan en comunas del sector poniente de la capital, principalmente en las comunas de La Pintana, Lo Espejo, Maipú y Cerro Navia. El menor riesgo a Ola de calor, además de las áreas rurales de la región, se concentra en las comunas del sector oriente del área metropolitana, Vitacura, Las Condes, Providencia, Ñuñoa y La Reina (Inferior a 0,05).

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 Colina | 27 Conchalí |
| 2 Lampa | 28 El Bosque |
| 3 Tiltil | 29 Peñalolén |
| 4 Pirque | 30 Providencia |
| 5 Puente Alto | 31 Quilicura |
| 6 San José de Maipo | 32 Vitacura |
| 7 Buin | 33 Quinta Normal |
| 8 Paine | 34 Recoleta |
| 9 San Bernardo | 35 Renca |
| 10 Calera de Tango | 36 San Miguel |
| 11 María Pinto | 37 Santiago |
| 12 San Pedro | 38 Huechuraba |
| 13 Alhué | 39 La Cisterna |
| 14 Curacaví | 40 La Granja |
| 15 Melipilla | 41 La Pintana |
| 16 Independencia | 42 La Reina |
| 17 La Florida | 43 Las Condes |
| 18 Lo Barnechea | 44 Macul |
| 19 Lo Espejo | 45 Maipú |
| 20 Lo Prado | 46 Ñuñoa |
| 21 Pedro Aguirre Cerda | 47 Estación Central |
| 22 Pudahuel | 48 El Monte |
| 23 San Joaquín | 49 Isla de Maipo |
| 24 San Ramón | 50 Talagante |
| 25 Cerrillos | 51 Padre Hurtado |
| 26 Cerro Navia | 52 Peñafiel |

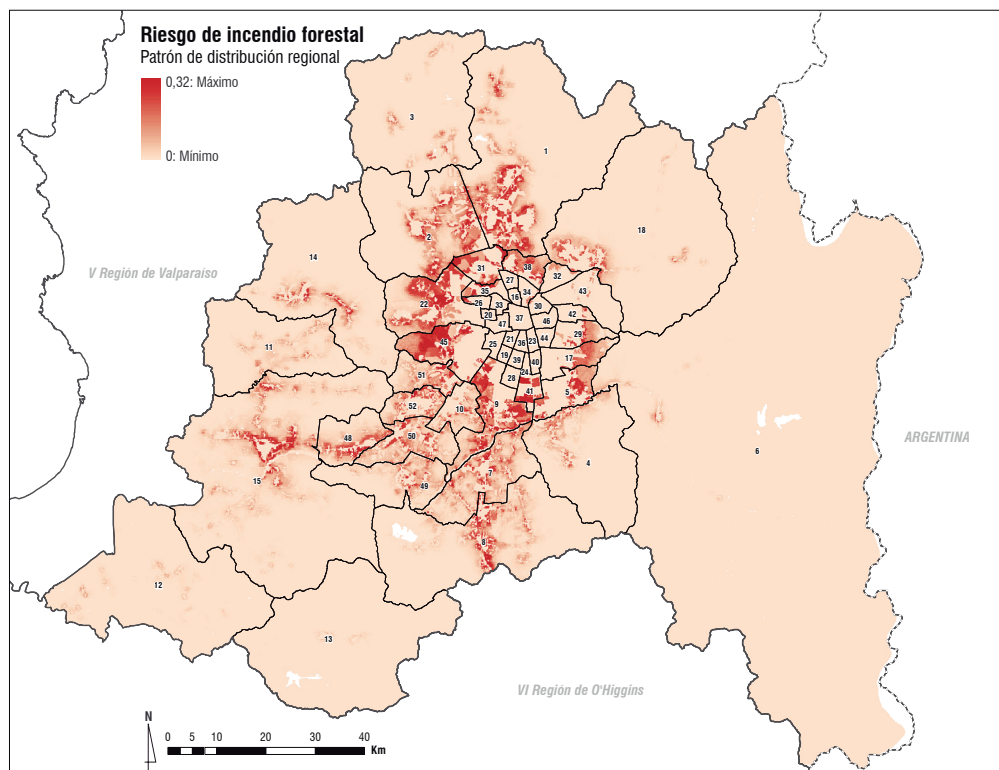


Figura 56. Índice de riesgo para amenaza de Incendio Forestal.
Fuente: GeoAdaptive.

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 Colina | 27 Conchalí |
| 2 Lampa | 28 El Bosque |
| 3 Tiltil | 29 Peñalolén |
| 4 Pirque | 30 Providencia |
| 5 Puente Alto | 31 Quilicura |
| 6 San José de Maipo | 32 Vitacura |
| 7 Buín | 33 Quinta Normal |
| 8 Paine | 34 Recoleta |
| 9 San Bernardo | 35 Renca |
| 10 Calera de Tango | 36 San Miguel |
| 11 María Pinto | 37 Santiago |
| 12 San Pedro | 38 Huechuraba |
| 13 Alhué | 39 La Cisterna |
| 14 Curacaví | 40 La Granja |
| 15 Melipilla | 41 La Pintana |
| 16 Independencia | 42 La Reina |
| 17 La Florida | 43 Las Condes |
| 18 Lo Barnechea | 44 Macul |
| 19 Lo Espejo | 45 Maipú |
| 20 Lo Prado | 46 Ñuñoa |
| 21 Pedro Aguirre Cerda | 47 Estación Central |
| 22 Pudahuel | 48 El Monte |
| 23 San Joaquín | 49 Isla de Maipo |
| 24 San Ramón | 50 Talagante |
| 25 Cerrillos | 51 Padre Hurtado |
| 26 Cerro Navia | 52 Peñafiel |

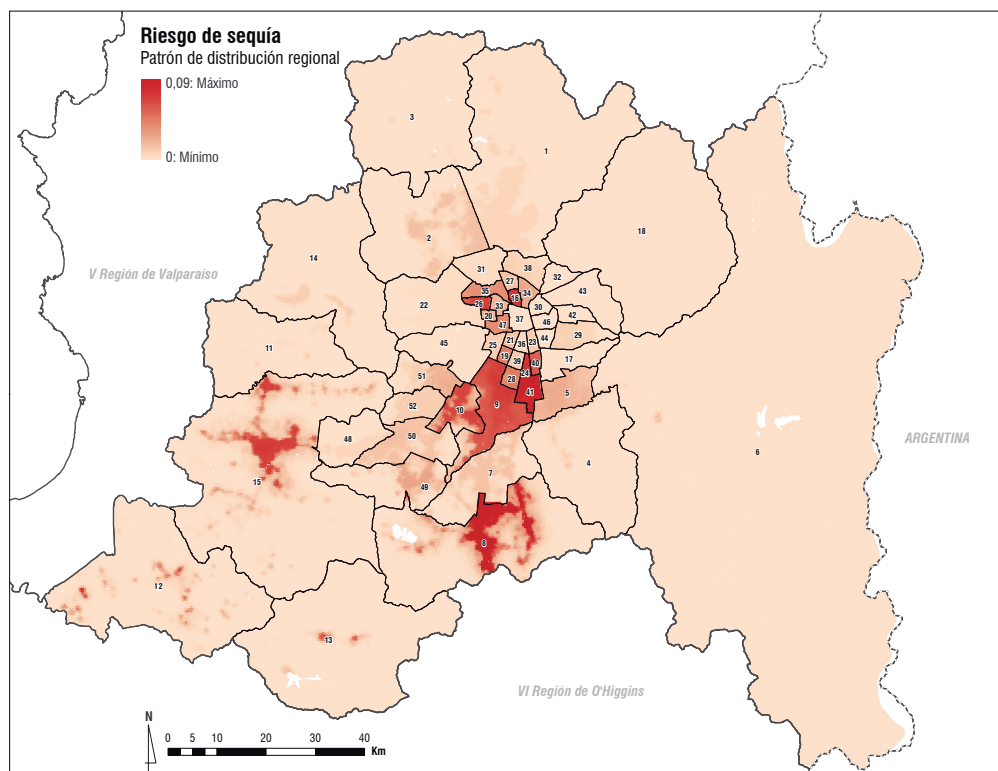


Figura 57. Índice de riesgo para amenaza de Sequía. Fuente: GeoAdaptive.

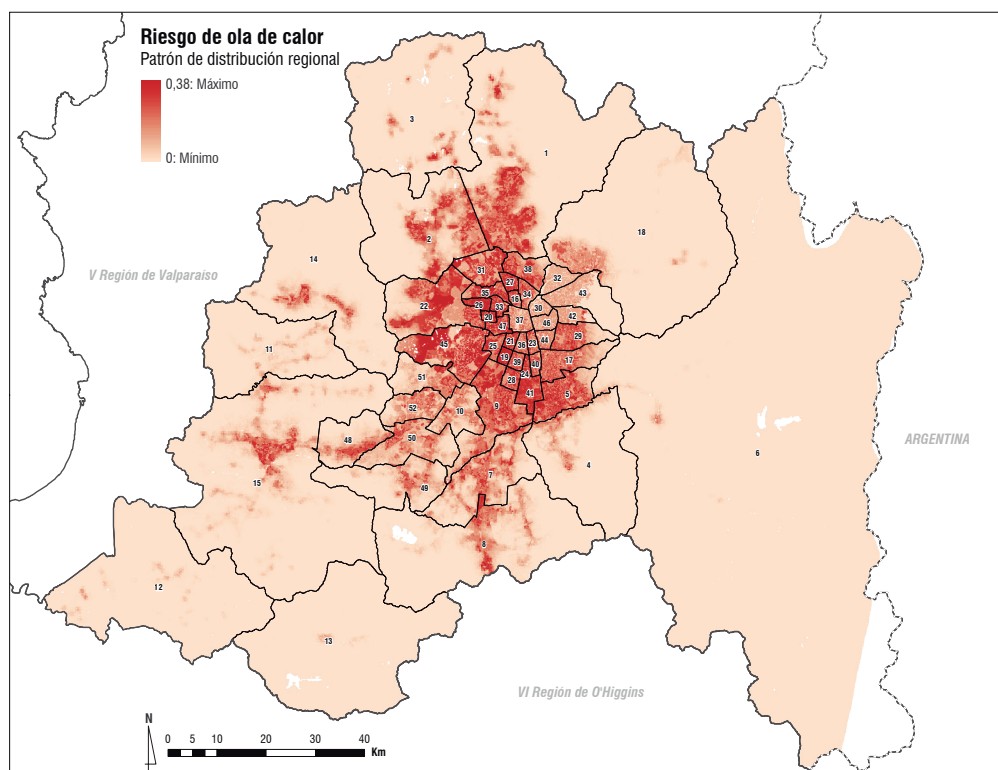


Figura 58. Índice de riesgo para amenaza de Ola de Calor. Fuente: GeoAdaptive.

5.3 Índice de riesgo climático general

El índice de riesgo climático se presenta a nivel espacial para caracterizar su distribución geográfica a escala subcomunal y regional. El método de cálculo utilizado permite caracterizar el riesgo climático como información geoespacial continua (grilla raster), abarcando tanto zonas urbanas como el ámbito rural para toda la Región Metropolitana. El índice es entonces una herramienta de alta resolución para la gestión del riesgo territorial a escala regional y comunal. Podrá ser utilizado por autoridades públicas para entender las amenazas, la exposición, la vulnerabilidad de las personas y bienes expuestos y los gradientes de riesgo en su ámbito de gobernanza territorial.

Distribución subcomunal del riesgo

Los resultados de riesgo climático indican un promedio de 0,01 con máximas de 0,23 para la región metropolitana. El mapa en la **Figura 60 en pág. 103** muestra que en general, las áreas con mayor índice de riesgo pertenecen a los sectores poniente, suroriente del área urbana metropolitana y algunos sectores de centros poblados urbano-rurales. A escala subcomunal, destacan las comunas de Cerro Navia, Lo Espejo, La Pintana, Puente alto y Peñalolén, presentando sectores con los más altos índices de la región. Por el contrario, el cono de altos ingresos, que se proyecta desde la comuna de Santiago hacia el oriente y nororiente, posee bajos niveles de riesgo.

Otra forma de caracterizar el riesgo es observar la superficie comunal con índices elevados de riesgo. El gráfico de la **Figura 59** genera un ranking comunal con la sumatoria de la superficie comunal en riesgo alto y muy alto. Las comunas de La Pintana, Lo Espejo, Cerro Navia, San Ramón y La Cisterna poseen más del 80% de su superficie comunal en estas categorías, con preponderancia de riesgo muy alto en la mayor parte del área comunal. Le siguen Lo Prado, San Joaquín, Estación Central, Pedro Aguirre Cerda, Conchalí y la Granja con sobre el 70% (y <80%) de superficie comunal en riesgo alto y muy alto, con preponderancia de la categoría alto. Ocho comunas (El Bosque, Puente Alto, Quinta Normal, Maipú, San Bernardo, Renca, La Florida e Independencia) poseen sobre el 50% (y <60%) de su superficie comunal en riesgo alto y muy alto.

En cuanto a la proporción de riesgo alto y muy alto, hay 7 comunas que presentan más del 20% de superficie en la categoría muy alto. Estas son: La Pintana, Lo Espejo, Cerro Navia, San Ramón, El Bosque, Peñalolén y Puente Alto. Las comunas con menos superficie en riesgo alto y muy alto, es decir menor al 1%, son Vitacura, Las Condes, Providencia y lo Barnechea en el Área Metropolitana, y las comunas de Alhué,

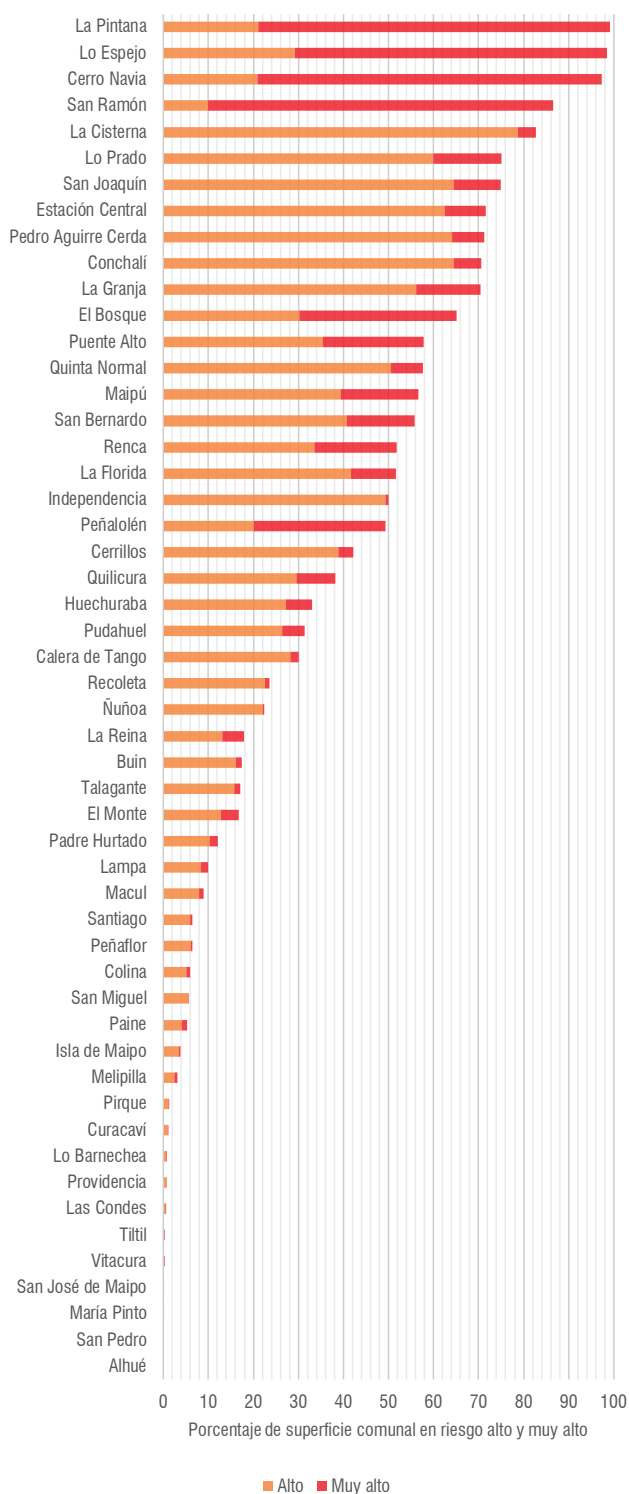


Figura 59. Porcentaje de superficie comunal en riesgo alto y muy alto Fuente: GeoAdaptive.

San Pedro, María Pinto, San José de Maipo y Tiltil que son parte de la interfase urbano-rural. El gráfico de la **Figura 59** está complementado con la **Tabla 19 en pág. 104** que expande los resultados a todas las categorías del índice de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Distribución regional del riesgo

Con el objetivo de capturar los patrones de riesgo a escala regional, se generó un promedio de los valores del índice de riesgo a escala comunal, el cual se puede apreciar en el mapa de la **Figura 61** y la **Tabla 20**. El valor promedio permite generar un comparativo comunal.

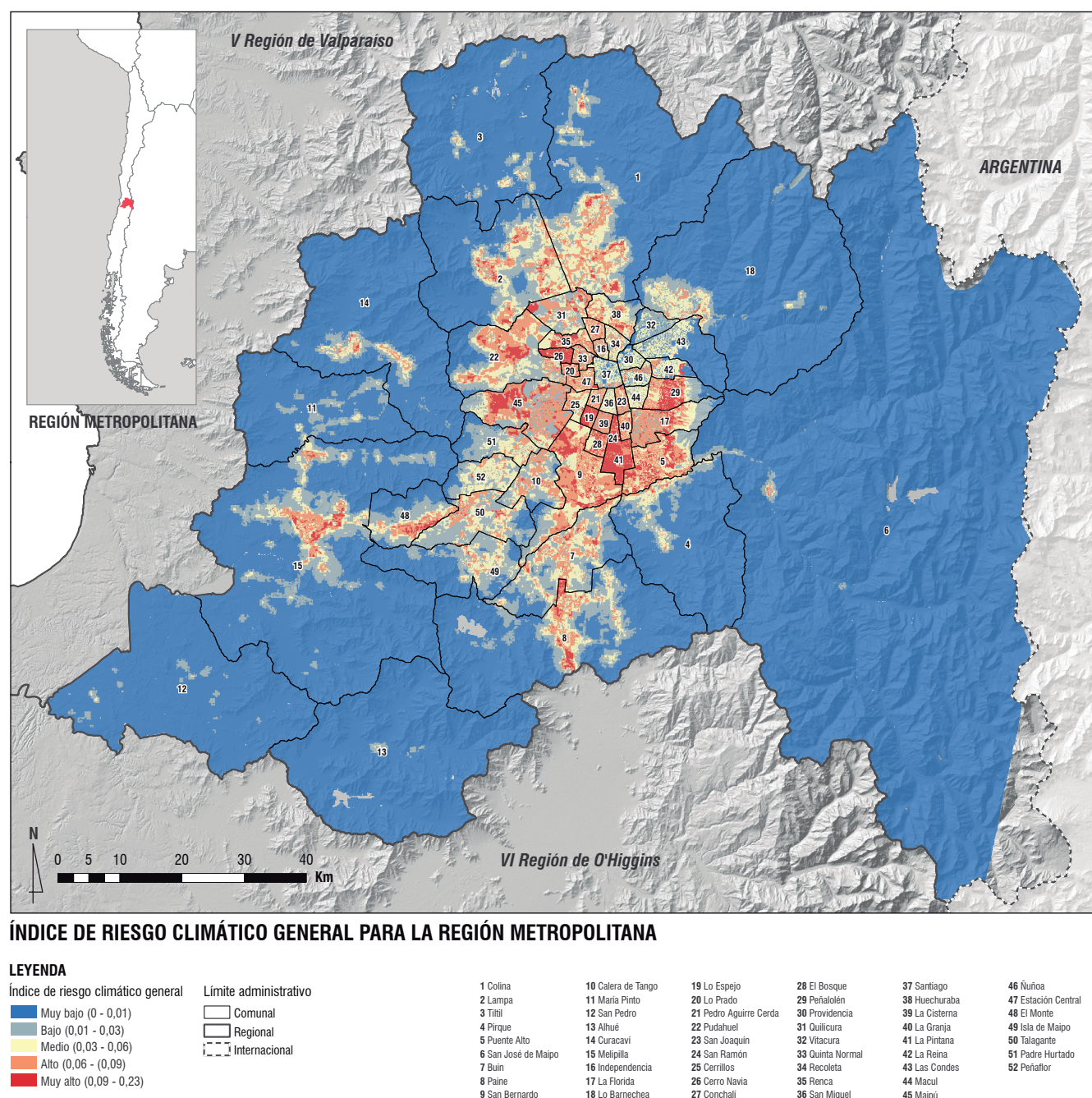


Figura 60. Mapa de riesgo climático general para la Región Metropolitana. Fuente: GeoAdaptive.

Se advierte que estos valores son una generalización del riesgo y no reflejan la distribución a nivel subcomunal, como en la **Figura 60**.

Las comunas con mayor riesgo climático son Lo Espejo (0,12), Cerro Navia (0,11), La Pintana (0,11), del sector poniente del Área Metropolitana. Además, estas comunas también muestran más del 90% de su superficie clasificada como Alto y Muy Alto nivel de riesgo (**Tabla 19**). Las comunas con menores índices de riesgo climático son Alhué y San José de Maipo.

Comuna	% Muy bajo	% Bajo	% Medio	% Alto	% Muy alto
San Ramón	0.0	0.0	13.4	9.9	76.7
Cerro Navia	0.0	0.2	2.3	20.9	76.5
La Pintana	0.0	0.0	0.9	21.0	78.1
Lo Espejo	0.0	0.7	0.7	29.2	69.3
El Bosque	0.0	0.0	34.9	30.2	34.9
Peñalolén	12.6	16.4	21.7	20.1	29.3
Puente Alto	0.1	11.6	30.3	35.4	22.4
Renca	0.0	1.7	45.9	33.5	18.4
Maipú	0.0	28.7	13.2	39.4	17.3
La Florida	4.1	25.3	18.9	41.7	9.9
La Granja	0.0	0.2	29.3	56.2	14.3
San Bernardo	3.4	11.3	29.1	40.7	15.2
Quilicura	0.0	33.8	27.3	29.5	8.8
Lo Prado	0.0	0.1	24.8	60.0	15.1
San Joaquín	0.1	9.5	15.5	64.5	10.4
Pudahuel	19.5	26.3	22.8	26.4	4.9
Huechuraba	4.2	19.2	43.5	27.3	5.8
La Reina	32.4	0.0	49.6	13.1	4.9
Estación Central	0.2	2.5	25.8	62.4	9.1
Padre Hurtado	23.6	41.1	22.7	10.3	1.9
Quinta Normal	0.2	18.7	23.2	50.4	7.2
Conchalí	0.0	0.7	28.6	64.4	6.3
Pedro Aguirre Cerda	0.0	1.7	27.0	64.0	7.2
Calera de Tango	7.7	38.6	23.7	28.2	1.8
Independencia	0.4	13.9	35.8	49.3	0.8
Colina	74.1	10.3	9.1	5.1	0.7
Lampa	57.4	17.1	15.2	8.3	1.6
Melipilla	79.2	13.3	3.4	2.4	0.6
Santiago	28.0	12.9	52.6	6.0	0.5
Cerrillos	0.0	2.8	55.0	38.9	3.2
La Cisterna	0.0	15.4	1.9	78.8	4.0
Talagante	10.4	46.1	26.4	15.7	1.3
Buín	20.1	38.7	23.5	16.2	1.3
El Monte	38.1	31.3	13.8	12.7	4.0
Paine	72.5	14.2	6.3	4.1	1.2
Isla de Maipo	54.4	29.3	12.3	3.4	0.3
Nuñoa	19.1	4.3	54.1	22.1	0.3
Peñaflor	14.2	32.4	46.9	6.1	0.3
San Miguel	0.2	17.7	76.6	5.4	0.2
Macul	0.4	21.7	68.9	7.9	1.1
Pirque	83.5	10.8	4.5	1.1	0.1
Curacaví	90.8	5.6	2.3	1.0	0.1
Recoleta	0.5	27.2	48.8	22.6	1.0

Lo Barnechea	90.8	5.2	3.1	0.7	0.0
San José de Maipo	92.7	0.4	0.0	0.0	0.0
Alhué	98.1	0.7	0.0	0.0	0.0
Maria Pinto	87.5	11.3	0.9	0.0	0.0
San Pedro	97.0	2.3	0.1	0.0	0.0
Tillití	93.1	4.5	1.1	0.2	0.0
Vitacura	29.7	43.2	26.8	0.1	0.0
Providencia	31.9	2.2	65.2	0.7	0.0
Las Condes	66.5	9.5	23.5	0.5	0.0

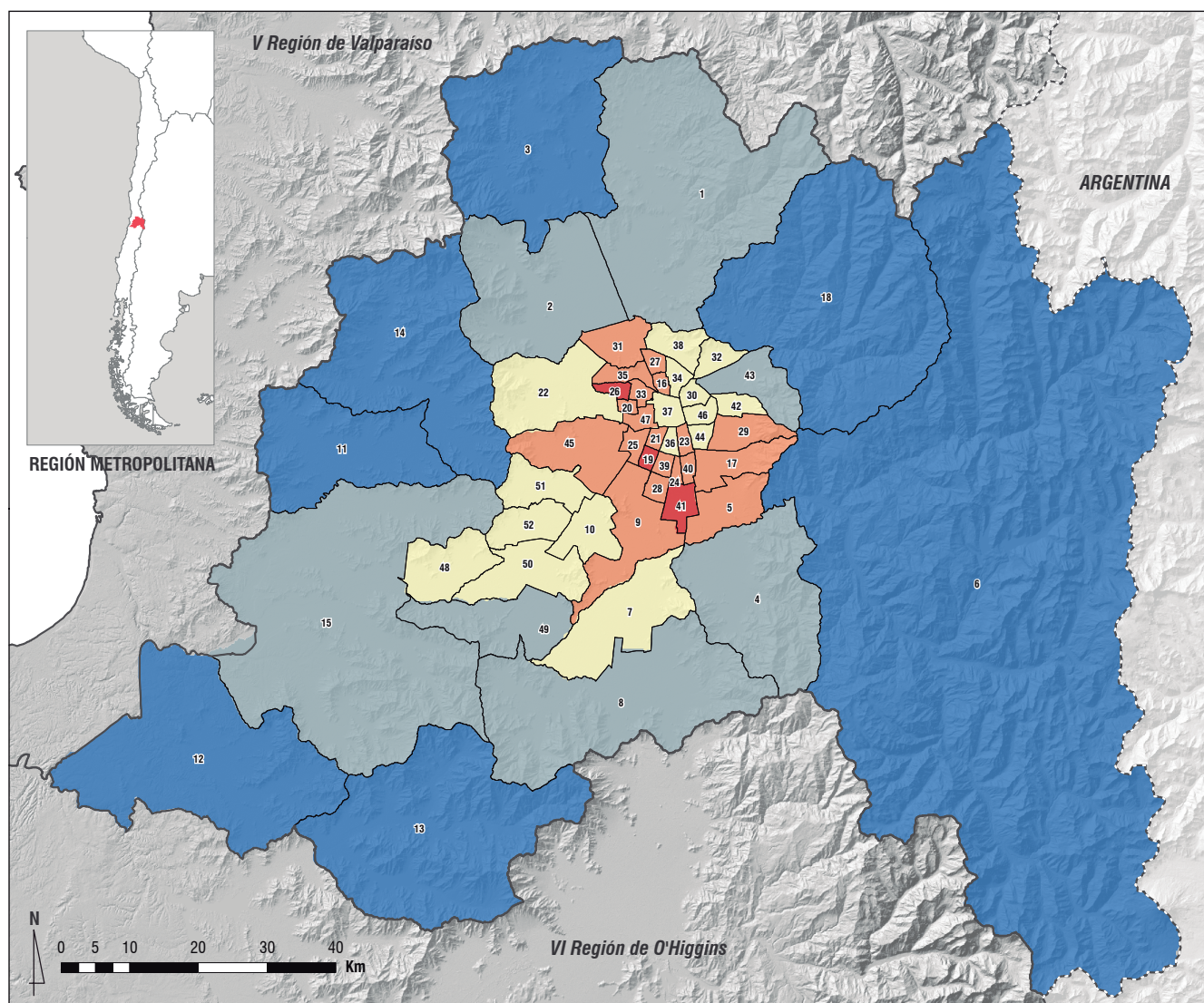
Tabla 19. Porcentaje de superficie comunal en cuatro rangos de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Fuente: GeoAdaptive.

Comuna	Riesgo Mínimo	Riesgo Máximo	Riesgo Promedio
Lo Espejo	0,0263	0,2110	0,1175
Cerro Navia	0,0355	0,1823	0,1067
La Pintana	0,0295	0,2287	0,1055
San Ramón	0,0447	0,1799	0,0931
El Bosque	0,0323	0,1628	0,0745
Lo Prado	0,0331	0,1297	0,0728
La Granja	0,0321	0,1398	0,0711
San Joaquín	0,0168	0,1218	0,0675
Puente Alto	0,0014	0,2070	0,0674
Estación Central	0,0073	0,1262	0,0654
Conchalí	0,0214	0,1315	0,0645
Renca	0,0199	0,1598	0,0636
La Cisterna	0,0233	0,1091	0,0632
Pedro Aguirre Cerda	0,0198	0,1931	0,0630
San Bernardo	0,0036	0,1712	0,0619
Peñalolén	0,0001	0,1767	0,0603
Maipú	0,0048	0,1431	0,0581
Quinta Normal	0,0248	0,1158	0,0565
La Florida	0,0007	0,1471	0,0560
Independencia	0,0092	0,0950	0,0538
Cerrillos	0,0302	0,1393	0,0521
Quilicura	0,0109	0,1433	0,0518
Huechuraba	0,0001	0,1418	0,0475
Recoleta	0,0000	0,1017	0,0472
San Miguel	0,0167	0,0868	0,0429
Pudahuel	0,0012	0,1247	0,0408
Macul	0,0036	0,0917	0,0402
La Reina	0,0000	0,1255	0,0392
Calera de Tango	0,0032	0,1197	0,0390
Nuñoa	0,0033	0,1043	0,0382
Talagante	0,0022	0,1163	0,0343
Buín	0,0005	0,1267	0,0316
Peñaflor	0,0007	0,1075	0,0303
Padre Hurtado	0,0007	0,1346	0,0285
Santiago	0,0000	0,1037	0,0284
El Monte	0,0010	0,1472	0,0259
Providencia	0,0000	0,0828	0,0257
Vitacura	0,0001	0,0605	0,0207
Lampa	0,0001	0,1481	0,0185
Isla de Maipo	0,0004	0,1100	0,0153
Las Condes	0,0000	0,0972	0,0122
Colina	0,0000	0,1523	0,0115
Paine	0,0001	0,1457	0,0113

Comuna	Riesgo Mínimo	Riesgo Máximo	Riesgo Promedio
Melipilla	0,0000	0,1463	0,0084
Pirque	0,0000	0,1062	0,0060
Maria Pinto	0,0003	0,0744	0,0043
Curacavi	0,0002	0,1202	0,0043
Lo Barnechea	0,0000	0,1232	0,0039
Tiltil	0,0000	0,1061	0,0025

San Pedro	0,0000	0,0455	0,0016
Alhué	0,0000	0,0430	0,0005
San José de Maipo	0,0000	0,1024	0,0003

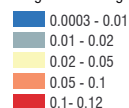
Tabla 20. Valores de riesgo máximo, mínimo y promedio por comuna. Fuente: GeoAdaptive.



VALOR PROMEDIO COMUNAL DEL ÍNDICE DE RIESGO CLIMÁTICO GENERAL

LEYENDA

Valores promedio índice de riesgo climático general



Límite administrativo



1 Colina	10 Calera de Tango	19 Lo Espejo	28 El Bosque	37 Santiago	46 Ñuñoa
2 Lampa	11 María Pinto	20 Lo Prado	29 Peñalolén	38 Huechuraba	47 Estación Central
3 Tiltil	12 San Pedro	21 Pedro Aguirre Cerda	30 Providencia	39 La Cisterna	48 El Monte
4 Pirque	13 Alhué	22 Pudahuel	31 Quilicura	40 La Granja	49 Isla de Maipo
5 Puente Alto	14 Curacavi	23 San Joaquín	32 Vitacura	41 La Pintana	50 Talagante
6 San José de Maipo	15 Melipilla	24 San Ramón	33 Quinta Normal	42 La Reina	51 Padre Hurtado
7 Buín	16 Independencia	25 Cerrillos	34 Recoleta	43 Las Condes	52 Peñaflor
8 Paine	17 La Florida	26 Cerro Navia	35 Renca	44 Macul	
9 San Bernardo	18 Lo Barnechea	27 Conchalí	36 San Miguel	45 Maipú	

Figura 61. Mapa con promedio comunal del índice de riesgo climático. Fuente: GeoAdaptive.

5.4 Tendencia de cambio climático

Los procesos de variabilidad climática de las últimas décadas son parte del fenómeno conocido como cambio climático global, el cual se caracteriza por presentar procesos acelerados de cambio en variables meteorológicas, involucrando con ello alteraciones en los patrones climáticos y sus procesos asociados (IPCC, 2018). En materia de riesgo, estas alteraciones significan una intensificación y mayor frecuencia de eventos hidrometeorológicos potencialmente catastróficos para los asentamientos humanos, especialmente cuando existen condiciones de vulnerabilidad y exposición que pueden verse agravados por las tendencias climáticas (IPCC, 2014).

La región presenta una heterogeneidad de factores de riesgo que se ven reflejadas en los diferentes componentes analizados en este estudio. Por un lado, la región alberga una alta concentración de población y actividades en el Área Metropolitana de Santiago, lo que incide en altos niveles de exposición en el área central (Krellenberg & Barth, 2012). Además, presenta una alta heterogeneidad en cuanto a la distribución espacial de los grupos vulnerables, lo que pone de manifiesto la importancia de estudios de escala comunal y regional. Finalmente, la diversidad geográfica intrarregional refleja diversas amenazas climáticas que se intensifican por los diversos usos de suelo urbano y no urbano.

Modelos de cambio climático futuro

Con respecto a las proyecciones de cambio climático a nivel regional y comunal, la comunidad científica desarrolla modelaciones del comportamiento futuro de variables climáticas, en base a pautas comunes con respecto a Trayectorias de Concentración Representativa (RCP por sus siglas en inglés) de gases de efecto invernadero (GEI) y forzamiento climático. Las proyecciones realizadas a diversas escalas temporales muestran en general un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones para la zona central del país, con gran variabilidad temporal y espacial que debe ser considerada en análisis futuros, especialmente dado el efecto orográfico a escala local y el aumento de precipitaciones líquidas en altura (Cortés, 2012).

Según el modelo climático regional RegCM4, desarrollado por el International Center for Theoretical Physics (ICTP) de Trieste, Italia, descargado del sitio web del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2², la Región Metropolitana presenta rangos de variación

² La plataforma de simulaciones climáticas CR2 establece que algunas proyecciones implican un grado considerable de incertidumbre, particularmente para la precipitación. Los mapas de temperatura y precipitación corresponden al escenario RCP 8.5, que corresponde al rango más alto de aumento de GEI.

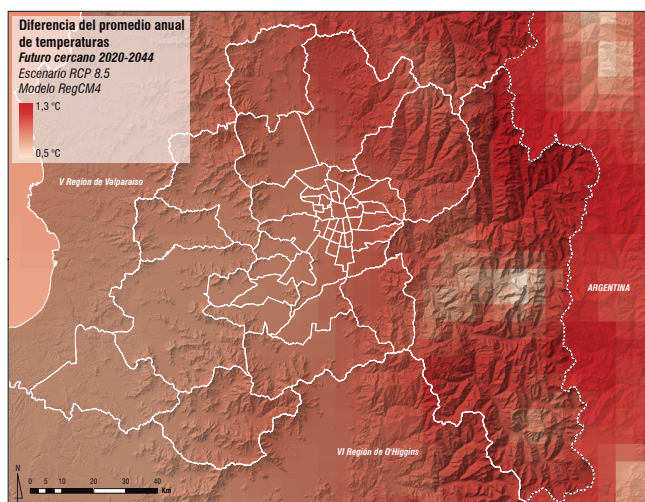


Figura 62. Diferencia temp. Futuro cercano. Fuente: GA con datos de CR2.

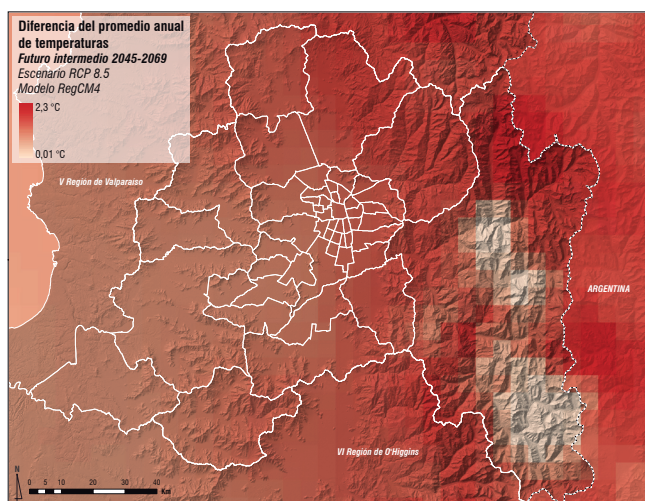


Figura 63. Diferencia temp. Futuro intermedio. Fuente: GA con datos de CR2.

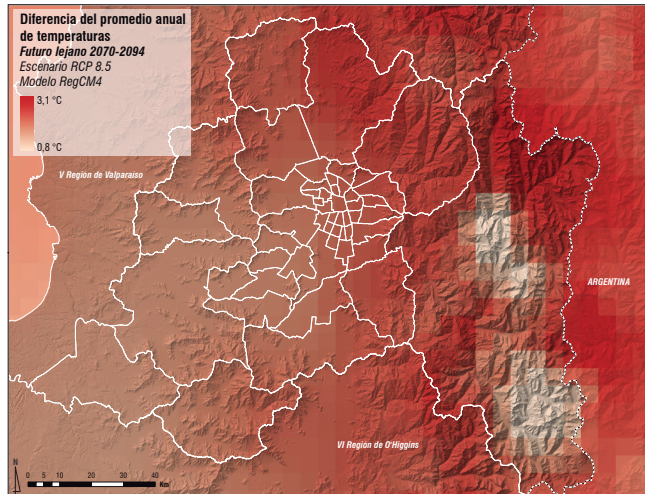


Figura 64. Diferencia temp. Futuro lejano. Fuente: GA con datos de CR2.

de temperatura de entre 0,01 y 3 °C, según horizonte temporal (futuro cercano, intermedio o lejano). Las mayores variaciones se darán en las áreas cordilleranas y sectores del nororiente de la región, mientras que las menores se presentarán en los sectores occidentales (**Figura 62, Figura 63, Figura 64**). En cuanto a la precipitación, el modelo climático proyecta variaciones entre -12 mm y 35 mm de precipitación media anual según horizonte temporal (futuro cercano, intermedio o lejano). Los mapas muestran que las áreas noroccidentales y suroccidentales de la región tenderán a presentar una disminución en la precipitación media anual, mientras que las áreas cordilleranas muestran una tendencia al alza (**Figura 65, Figura 66, Figura 67**). Es importante señalar que las proyecciones de precipitación tienen un componente de incertidumbre superior al de temperaturas, principalmente debido a que se utilizó un modelo climático global, sumado a la naturaleza discontinua, altamente localizada y temporalmente variable de la precipitación (CR2, 2018).

Existen otras fuentes de información respecto de proyecciones futuras de variables hidrometeorológicas, como el estudio desarrollado por Información para el Desarrollo Productivo (INFODEP) y el Ministerio del Medio Ambiente en el marco de la Tercera Comunicación Nacional sobre cambio climático (INFODEP-MMA, 2016). El estudio indica que para el año 2050 las temperaturas medias estivales de la región metropolitana aumentarían en 2,1°C, con variaciones máximas comunales de 2,3°C en San José de Maipo y mínimas de 1,9°C para San Pedro, Melipilla y María Pinto³. Con respecto a las precipitaciones, a escala regional estas involucrarán una disminución de 60 mm de precipitación media anual, con un rango que oscila entre -47 mm de variación en Cerro Navia y -100 mm en San José de Maipo (**Figura 68 en pág. 108**).

Implicancias del cambio climático para el riesgo

A continuación, se describen las principales implicancias del cambio climático en las amenazas climáticas caracterizadas:

- Con respecto a los **Incendios Forestales**, la interfase urbano-rural de la región metropolitana presenta elementos de riesgo a esta amenaza, dada la interacción de diferentes usos que pueden iniciar eventos de incendio forestal. Con el cambio climático estos factores se ven intensificados puesto que el aumento generalizado de temperaturas está provocando estaciones más secas, lo que implica un incremento en la duración e intensidad de las temporadas de incendios forestales (Stephens et al., 2013), además, las estaciones más secas en una región de clima mediterráneo hacen que exista mayor disponibilidad de combustible (p. ej: biomasa seca) y condiciones favorables para la ignición y propagación de este

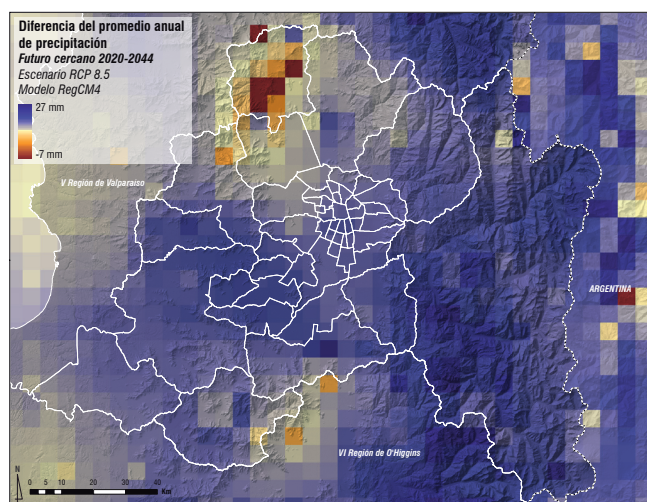


Figura 65. Dif. precipitación. Futuro cercano. Fuente: GA con datos de CR2.

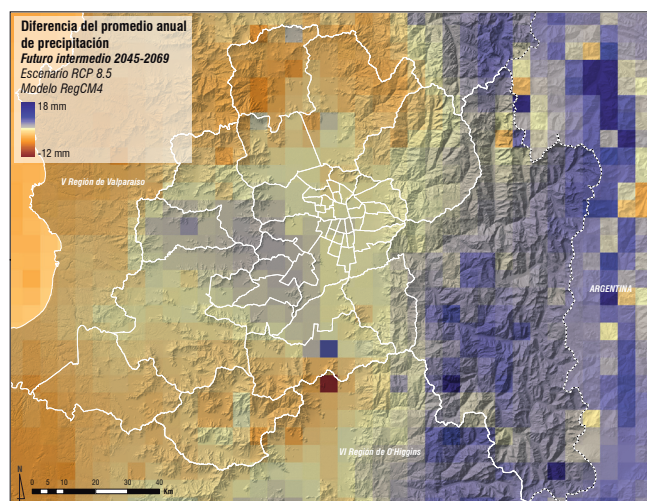


Figura 66. Dif. precipitación. Futuro intermedio. Fuente: GA con datos de CR2.

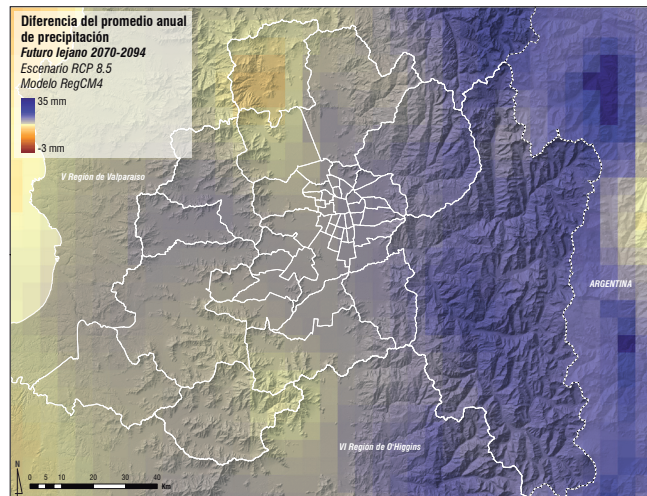
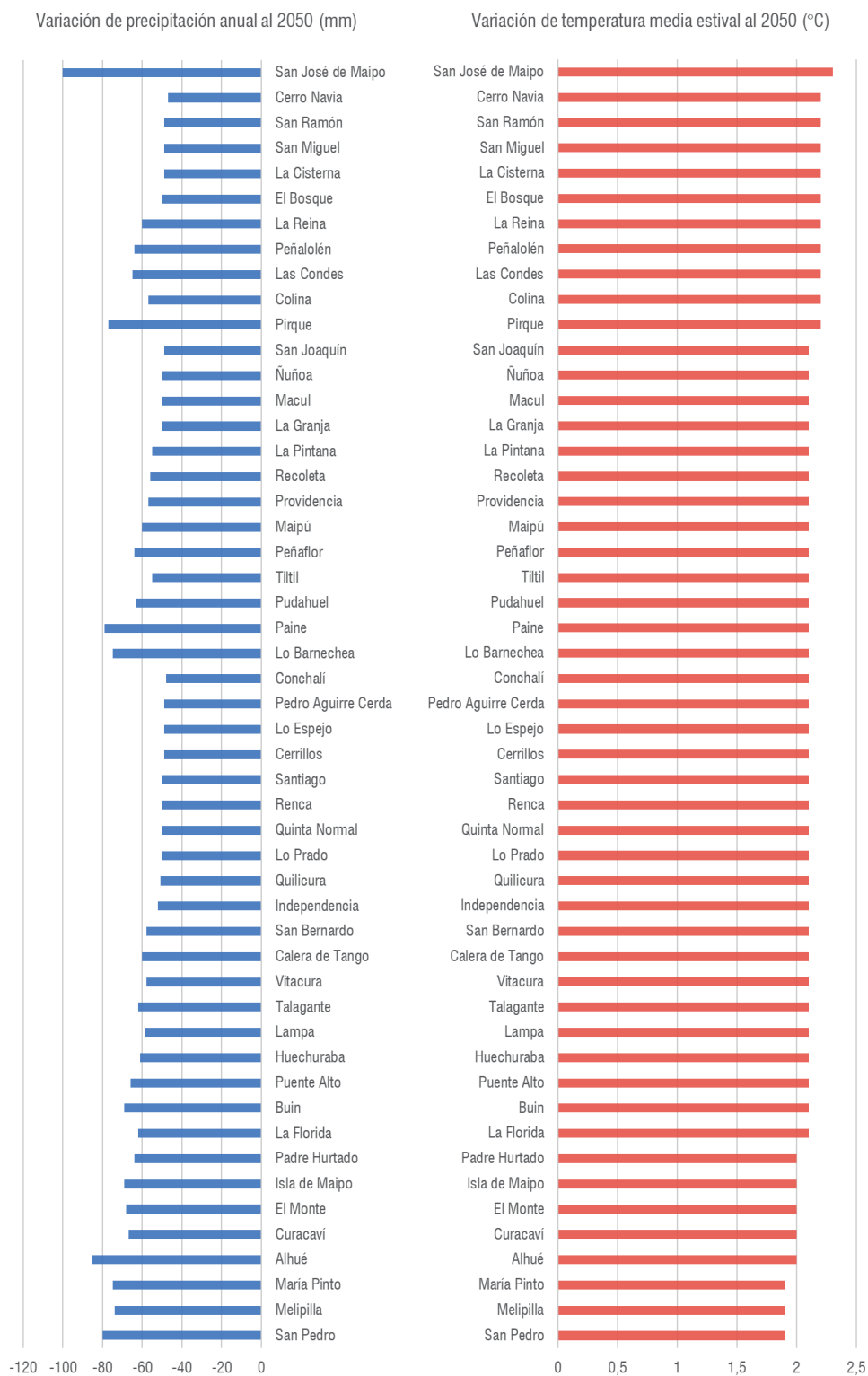


Figura 67. Diferencia precipitación. Futuro lejano. Fuente: GA con datos de CR2.

Figura 68. Variación de precipitación anual y temperatura media estival al 2050. Geoadaptive en base a INFODEP-MMA (2016).



tipo de incendios.

- Los fenómenos de **Remoción en Masa e Inundación** están relacionados con las tendencias futuras de precipitación, si bien se espera una disminución general de las precipitaciones, estas también presentarán una mayor variabilidad en términos de distribución espacial y temporal. En este sentido se espera una mayor precipitación líquida (Isotherma 0 alta) en zonas elevadas en sectores precordilleranos y cordilleranos (Cortés, 2012). Esto puede involucrar eventos severos de este tipo de amenazas, especialmente en áreas del piedemonte para el caso de Remoción en Masa y áreas poco permeables, deforestadas y/o urbanizadas en eventos de Inundación.
- Los periodos de **Sequía** en la región son parte de un fenómeno hidrometeorológico asociado a patrones climáticos globales y la gestión del agua a nivel local. Con altos niveles de acuerdo, las proyecciones sobre el cambio climático indican que se reducirán los recursos de aguas superficiales y subterráneas de forma sustancial en la mayoría de las regiones subtropicales, lo que aumentará aun más la competencia por el recurso hídrico (IPCC, 2014). En este contexto, la disminución generalizada de precipitaciones y el aumento de las temperaturas provocarán un aumento en las condiciones de aridez, haciendo que los periodos de sequía sean más intensos y prolongados (como la sequía prolongada actual desde 2009-2019. Ver Informe 1 para más información).
- Con respecto a las **Olas de Calor**, existe evidencia del aumento de este fenómeno en el país en alrededor de un 79%, siendo la zona central del país la que presentó cambios más significativos para el periodo 1961-2019 (Pitcar, 2018). En este sentido, los pronósticos señalan que las temperaturas y los días cálidos se incrementarán en la Región Metropolitana, especialmente durante el periodo estival (Cortés, 2012). Lo anterior, involucrará un aumento en la frecuencia de olas de calor, es decir un mayor número de días consecutivos con altas temperaturas, así como una mayor intensidad de las temperaturas extremas, especialmente en áreas urbanas, propensas a fenómenos de islas de calor urbana.

Finalmente, el cambio climático conlleva interacciones complejas y cambios en las probabilidades de impactos diversos (IPCC, 2014). En este sentido el riesgo climático es parte de un ciclo de interdependencia entre los factores que lo conforman, por lo que las iniciativas orientadas a disminuir aspectos de vulnerabilidad y exposición a escenarios climáticos extremos es fundamental, tanto para lograr disminuir los índices de riesgo a nivel regional como para generar procesos de

adaptación local.

5.5 Sistema de información: una herramienta para el riesgo climático

A continuación, se presentan las características principales de la información que contiene los resultados del estudio, a fin de facilitar su manejo e integración en estudios futuros y/o planes de gestión. El objetivo es entender la funcionalidad del sistema de información en torno al riesgo climático, para que la contraparte y actores relacionados puedan operacionalizar la información a través de los diversos mecanismos de toma de decisiones. El sistema de información está conformado por una serie de insumos de datos que pueden ser utilizados de forma individual o complementaria para los fines que se estime conveniente. La estructura del sistema de información se detalla en la **Figura 69**.

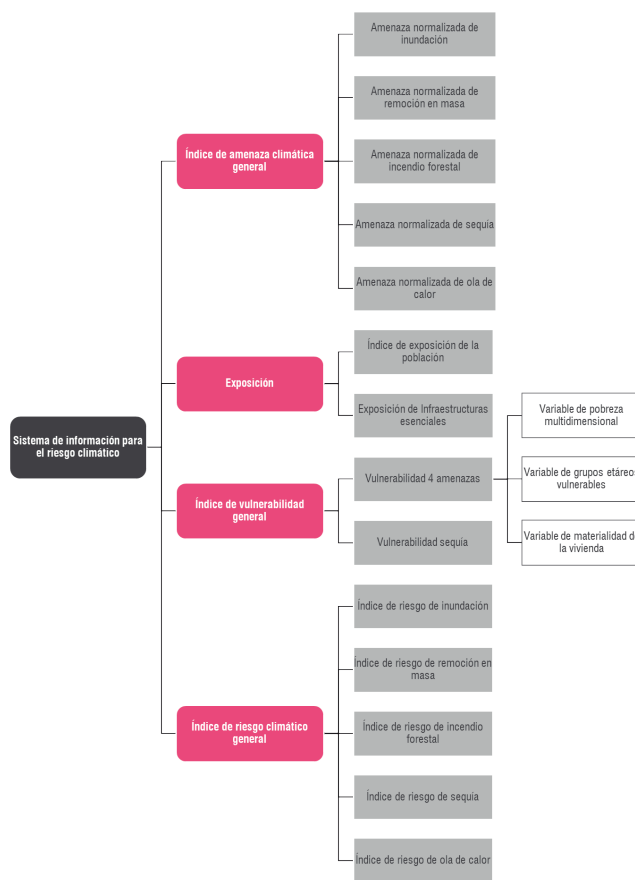


Figura 69. Estructura del sistema de información para el riesgo climático.
Fuente: GeoAdaptive.

Los resultados se reúnen en capas de información espacial formato Raster y Vectorial, las cuales pueden ser visualizadas en variados softwares de Sistemas de Información Geográficos (SIG), libres o propietarios (p. ej: ArcMap Desktop 10.x, Copyright © 1995-2018 Esri o QGIS). Dado que los insumos para construir cada una de las capas proviene de diversas fuentes con diferentes sistemas de referencia, fue necesario homologar la proyección y datum a WGS 1984 UTM, zona 19 sur. Además, la variedad de información implicó el trabajo con diferentes resoluciones espaciales, por lo que las capas de resultado mantienen la resolución más gruesa de las capas que fueron utilizadas para su construcción (grilla de 100x100 metros). Las capas principales generadas en el marco de este estudio, junto a sus características principales, se señalan en la **Tabla 21**.

La resolución de las capas descritas es potencialmente útil para el análisis y gestión de riesgo a escala regional, comunal y subcomunal. Al ser desplegadas en sistemas de información geográfica, se pueden observar diferencias locales en cada uno de los índices presentados, por lo que los archivos pueden ser utilizados en diversos proyectos y programas, posibilitando el manejo integrado con otros indicadores para construir nuevos diagnósticos de riesgo climático o planes de adaptación. En las páginas siguientes se provee un ejemplo de cómo se podría desplegar la información a nivel subcomunal para evaluar el riesgo climático y sus diversos componentes analíticos (amenaza, exposición y vulnerabilidad).

Capa	Descripción	Formato	Resolución	Escala
Riesgo climático general	Resultados del índice de riesgo, generado a partir de la aplicación de la fórmula de riesgo, que considera los índices de amenaza, vulnerabilidad y exposición. Además, se proporcionan las capas de riesgo para cada amenaza.	Raster (TIFF)	100x100	Subcomunal
Índice de amenaza climática general	Resultados del índice combinado de amenaza, a partir del geoprocesamiento de 5 amenazas: Remoción en Masa, Incendio Forestal, Inundación, Ola de calor y Sequía.	Raster (TIFF)	30x30	Subcomunal
Índice de exposición de población	Índice de exposición generado a partir de datos de la población a escala subcomunal.	Raster (TIFF)	100x100	Subcomunal
Exposición de instalaciones esenciales	Localización de edificaciones categorizadas como infraestructura esencial.	Vectorial (Shapefile)	Vector de tipo puntual	Subcomunal
Índice de vulnerabilidad climática general	Resultados del índice general de vulnerabilidad, generado a partir del geoprocesamiento de datos demográficos, de vivienda, socioeconómicos y sensibilidad a sequía.	Raster (TIFF)	30x30	Subcomunal

Tabla 21. Capas geoespaciales con resultados principales. Fuente: GeoAdaptive.

Figura 70. Ejemplo local para índice de amenaza climática general. Fuente: GeoAdaptive.

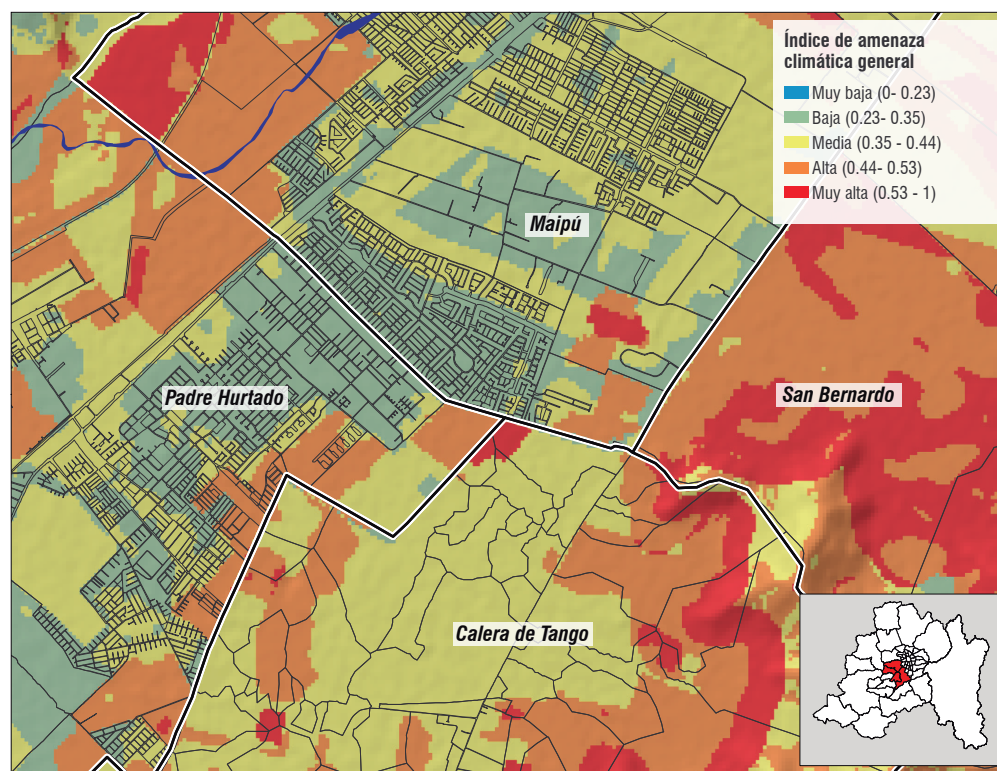


Figura 71. Ejemplo local para índice de exposición Fuente: GeoAdaptive.

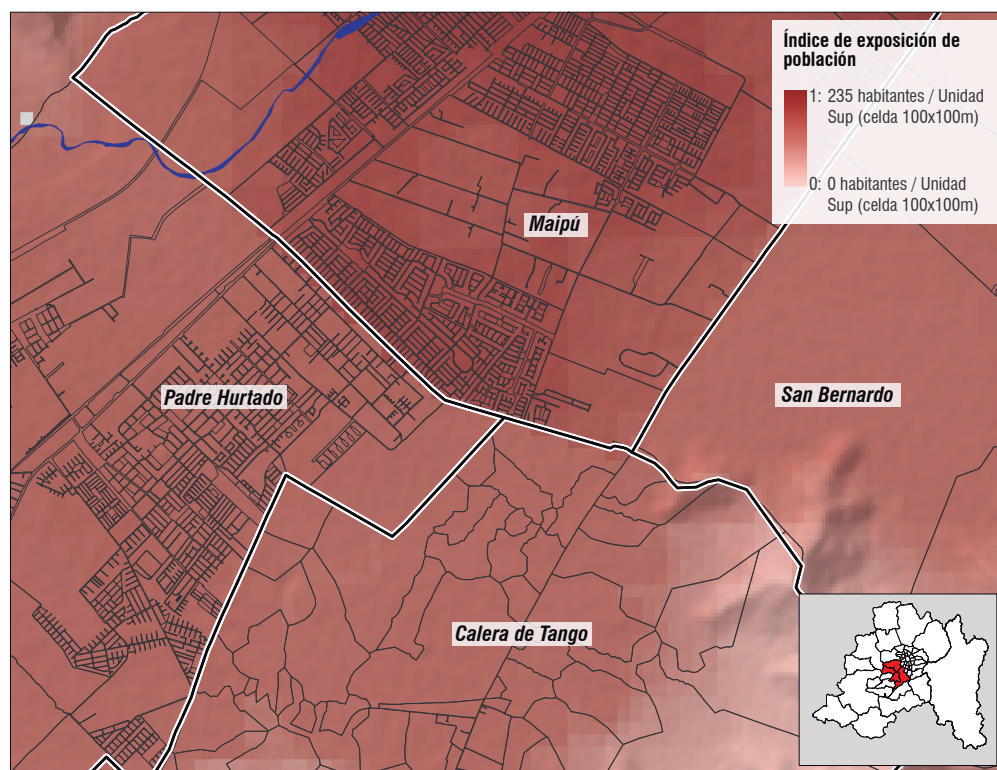


Figura 72. Ejemplo local para exposición de infraestructura esencial. Fuente: GeoAdaptive.

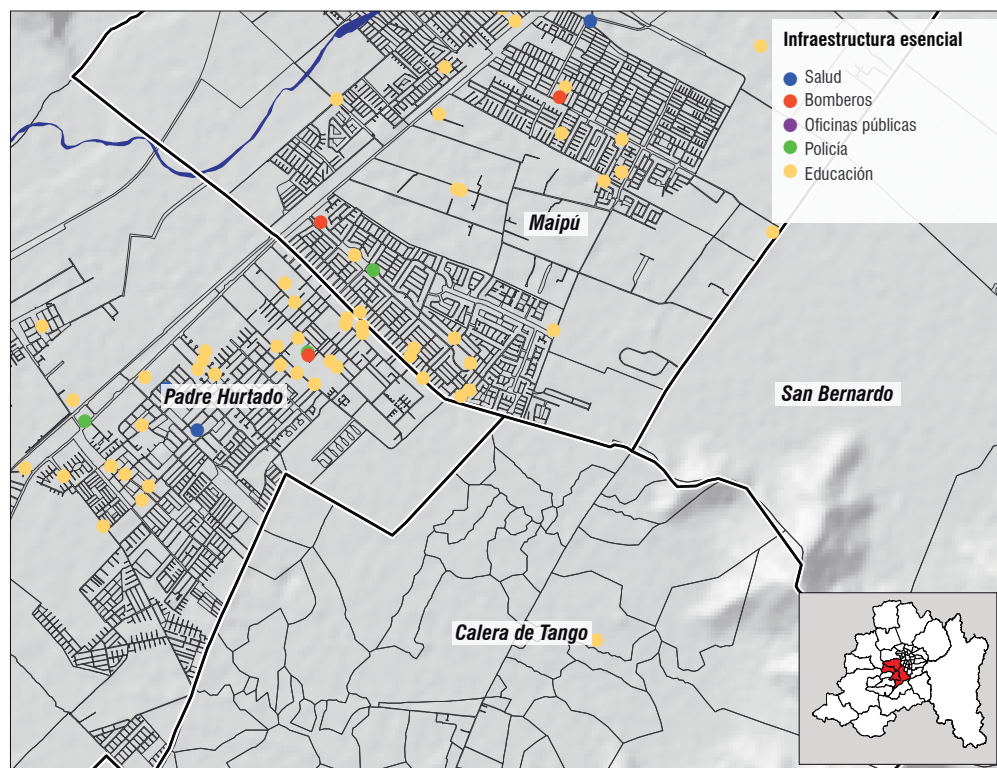


Figura 73. Ejemplo local para índice de vulnerabilidad general. Fuente: GeoAdaptive.

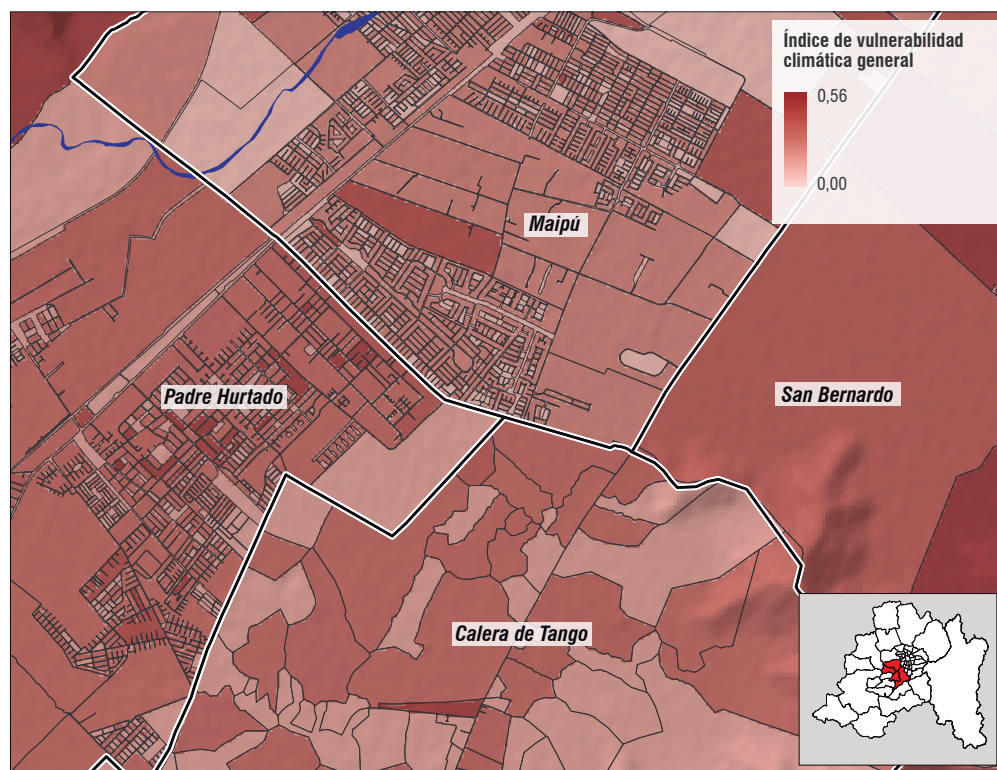
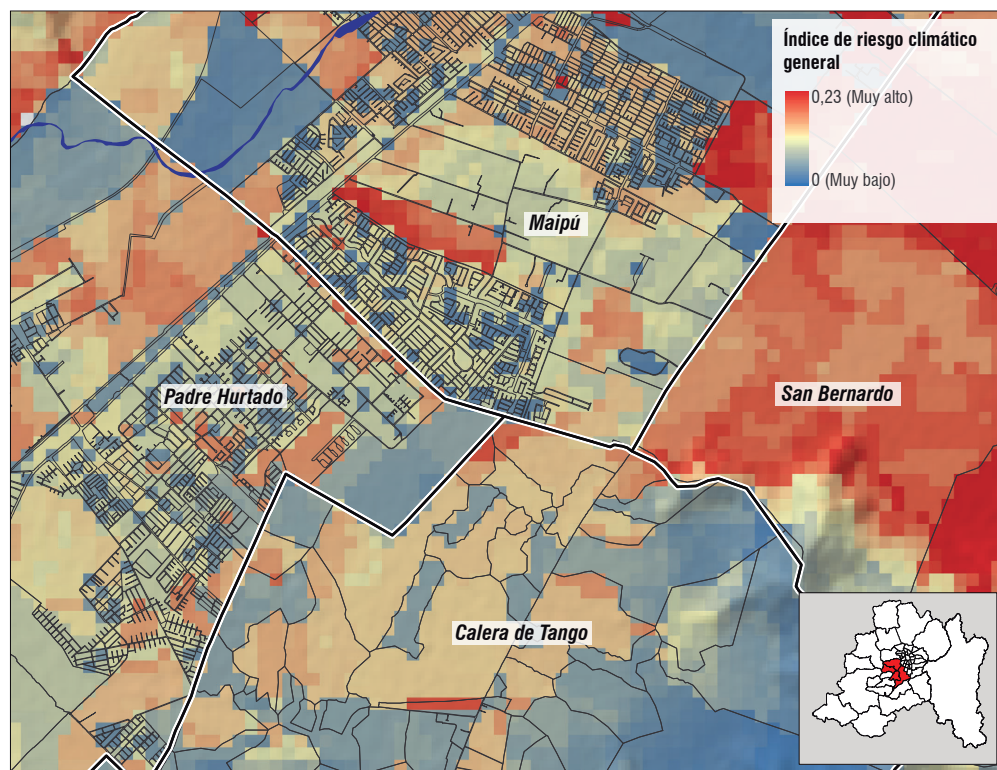


Figura 74. Ejemplo local para índice de riesgo climático general. Fuente: GeoAdaptive.



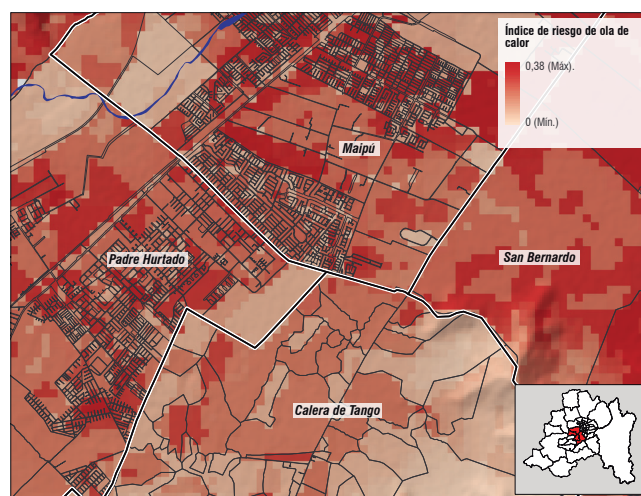
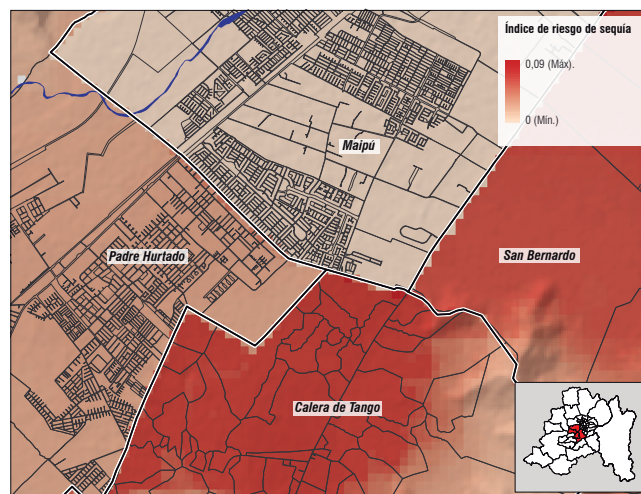
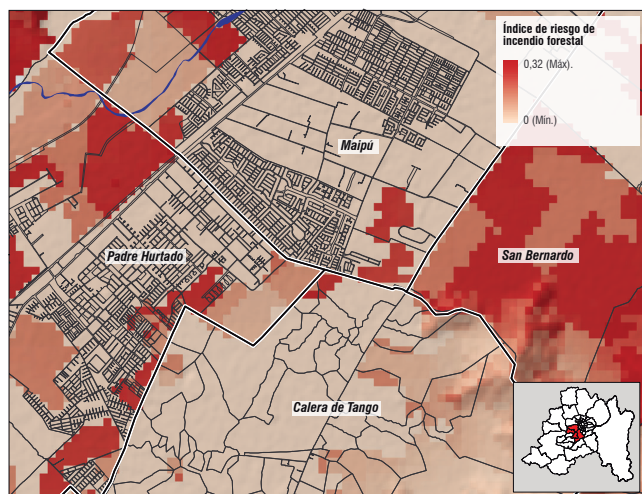
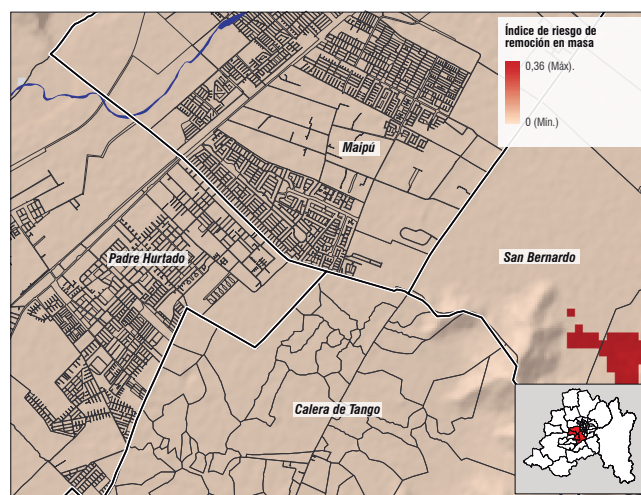
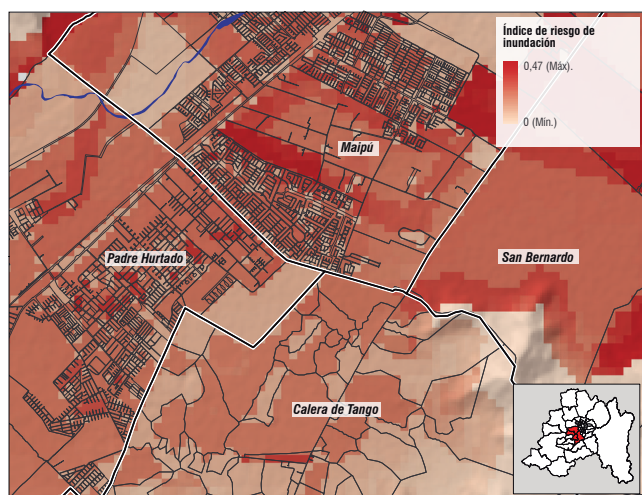


Figura 75. Ejemplo local para índice de riesgo según amenaza (5 amenazas).
Fuente: GeoAdaptive.

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco

06

Interdependencias entre sectores

En esta sección se evalúan los impactos potenciales en sectores y sistemas territoriales frente a amenazas en la Región Metropolitana. Complementariamente, se identifican las interdependencias de los sectores y sistemas cuya disrupción impacta a múltiples sectores, afectando el funcionamiento de la región. Se utilizan herramientas participativas y revisión bibliográfica contrastada con los insumos de las etapas anteriores del estudio.

6.1 Antecedentes

6.2 Identificación de sectores y sistemas

6.3 Impactos potenciales por amenazas climáticas en sectores y sistemas

6.4 Identificación de interdependencias

6.1 Antecedentes

Entender las interdependencias entre diversos sectores productivos, infraestructuras y servicios esenciales es fundamental para abordar las vulnerabilidades del sistema territorial —en este caso la Región Metropolitana de Santiago— frente a las amenazas climáticas.

El mapeo de interdependencias permite identificar los puntos débiles del sistema territorial al transparentar las relaciones funcionales y los actores que representan los elementos constituyentes del sistema regional. De esta forma, es un primer paso hacia un plan de adaptación climática, puesto que los actores pasan a conformar un marco institucional preliminar de toma de decisión. Además, permite conceptualizar el rol y responsabilidades potenciales de cada actor en la construcción de resiliencia climática en la medida que el proceso de planificación se desenvuelve.

En el centro de la conceptualización de interdependencias está el concepto de resiliencia, el cual se orienta a mantener el funcionamiento del sistema territorial frente a los impactos de amenazas naturales, en este caso, de origen climático. El programa “Urban Resilience Hub” de las Naciones Unidas¹ define la resiliencia como la capacidad medible de un sistema urbano-territorial de mantener su continuidad frente a perturbaciones y tensiones, a la vez que se adapta y transforma positivamente (UN-Habitat, 2018). De esta forma, la identificación de interdependencias es también un paso inicial hacia la construcción de resiliencia territorial.

Para efectos de este análisis, se utilizan las categorías de interdependencia definidos en el reporte “C40 Infrastructure Interdependencies + Climate Risk Report” (AECOM, C40 Cities, 2017):

Tipo	Descripción
Físicas	Cuando un insumo de un sector es necesario para otro
Cibernéticas	Cuando los sistemas de infraestructura dependen de sistemas tecnológicos.
Geográficas	Cuando existe superposición física entre infraestructuras y estas se ven conjuntamente enfrentadas a amenazas
Lógicas	Cuando existe una concatenación indirecta o de segundo orden.

Tabla 22. Tipos de interdependencias. Fuente: AECOM y C40 Cities (2017).

6.2 Identificación de sectores y sistemas

Se identificaron un total de 20 sistemas territoriales en función de las recomendaciones del reporte C40 y el contexto territorial de la

Región Metropolitana (**Tabla 23**). Adicionalmente, se identificaron preliminarmente los actores asociados a cada sistema.

Se advierte que en la medida que se inicie un proceso de planificación, los sistemas deberán ser consensuados de forma participativa, dado

Tipo	#	Descripción	Actores potenciales
Infraestructura	1	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas sanitarias • Sistema APR
	2	Agua potable rural	<ul style="list-style-type: none"> • Superintendencia de Servicios Sanitarios • Ministerio de Obras Públicas • Dirección General de Aguas
	3	Líneas de alta tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de distribución de alta y baja tensión • Empresas de gas natural • Superintendencia de Electricidad y Combustibles • Ministerio de Energía
	4	Red eléctrica de distribución	
	5	Red de gas	
	6	Red de telecomunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de telefonía fija, celular e internet • Datacenters • Administradores de cables de fibra óptica • Subsecretaría de Telecomunicaciones • Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
	7	Aeropuerto	<ul style="list-style-type: none"> • Concesionarios de aeropuertos y aeródromos • Dirección General de Aeronáutica • Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones • Ministerio de Obras Públicas
	8	Autopistas / Carreteras regionales	<ul style="list-style-type: none"> • Concesionarias autopistas urbanas y regionales • Ministerio de Obras Públicas • Dirección de Vialidad • Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones • Secretaría de Planificación de Transporte • Servicio de Vivienda y Urbanismo
	9	Red vial urbana	
Servicios	10	Transporte público	<ul style="list-style-type: none"> • Concesionarias de buses • Metro • Red Metropolitana de Movilidad • Directorio de Transporte Público Metropolitan
	11	Salud pública	<ul style="list-style-type: none"> • Red de salud regional: CECOF, CDT, CRS, CESFAM, COSAM, Hospitales, Postas, SAPU y SAR • Ministerio de Salud
	12	Bomberos	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarteles de bomberos
	13	Oficinas públicas	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios municipales y regionales
	14	Policia	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades policiales de la región: comisarías, avanzada, retenes, subcomisarías y tenencias. • Ministerio del Interior y Seguridad Pública
	15	Escuelas públicas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimientos educacionales públicos primarios y secundarios • Municipios • Ministerio de Educación

¹ Mas información en la guía City Resilience Profiling Tool, disponible en <http://urbanresiliencehub.org/>

que es crucial que los actores que representan dichos sistemas reconozcan que juegan un rol en el manejo del riesgo climático y la construcción de resiliencia regional. Se recomienda que en el proceso de planificación se priorice un conjunto reducido de sistemas y de actores, de manera priorizar estratégicamente acciones y medidas.

Tipo	#	Descripción	Actores potenciales
Economía y productividad	16	Sector turismo (montaña, viñas)	<ul style="list-style-type: none"> Operadores turísticos y gremios asociados Servicio Nacional de Turismo
	17	Sector agropecuario	<ul style="list-style-type: none"> Empresas y productores agrícolas
	18	Sector vitivinícola	<ul style="list-style-type: none"> Empresas vitivinícolas y gremios asociados Ministerio de Agricultura Red institucional del MINAGRI: SAG, INDAP, INFOR, CONAF, ODEPA, CNR, INIA, FIA, CIREN, AGROSEGUROS, FUCOA, ACHIPIA, DGIR.
	19	Sector industrial y logística	<ul style="list-style-type: none"> Empresas sector industrial y logística, gremios asociados
	20	Sector alimentario	<ul style="list-style-type: none"> Centrales de abasto y distribución al por mayor Supermercados Mercados y ferias Comercio al por menor de menor escala Gremios asociados

Tabla 23. Identificación de sectores y sistemas territoriales para el análisis de interdependencia. Fuente: GeoAdaptive.

6.3 Impactos potenciales por amenazas climáticas en sectores y sistemas

En esta sección se generaron diagramas de flujo de los impactos posibles en los sectores y sistemas identificados. Los diagramas permitirán informar el proceso de planificación futuro, facilitando la discusión entre actores respecto de la percepción en torno a los impactos que pueden afectarlos.

La evolución e inversión constante en los sistemas de infraestructura, servicios y sistemas productivos, cambia la exposición de estos ante las amenazas y, en consecuencia, la magnitud y tipo impactos posibles. Se recomienda que estos insumos sean tomados como base para luego evaluar participativamente, con información que emane de los actores, los impactos a estos sistemas y la percepción particular que tienen los actores de estos.

En términos generales, las amenazas climáticas que comúnmente se

evalúan (p. ej., inundación, incendios, etc.) tienen impactos que se repiten en otros contextos territoriales dado que estos sistemas poseen características similares y siguen una lógica territorial y de planificación parecida. Se entiende por impacto una interrupción en la continuidad del funcionamiento de los sectores y sistemas seleccionados o daño directo a estos. Se utilizaron las siguientes herramientas y fuentes para la sistematización de los impactos: criterio experto del equipo consultor, los insumos generados en etapas anteriores y una revisión de diversos instrumentos y estrategias de planificación para la resiliencia (**Tabla 24**).

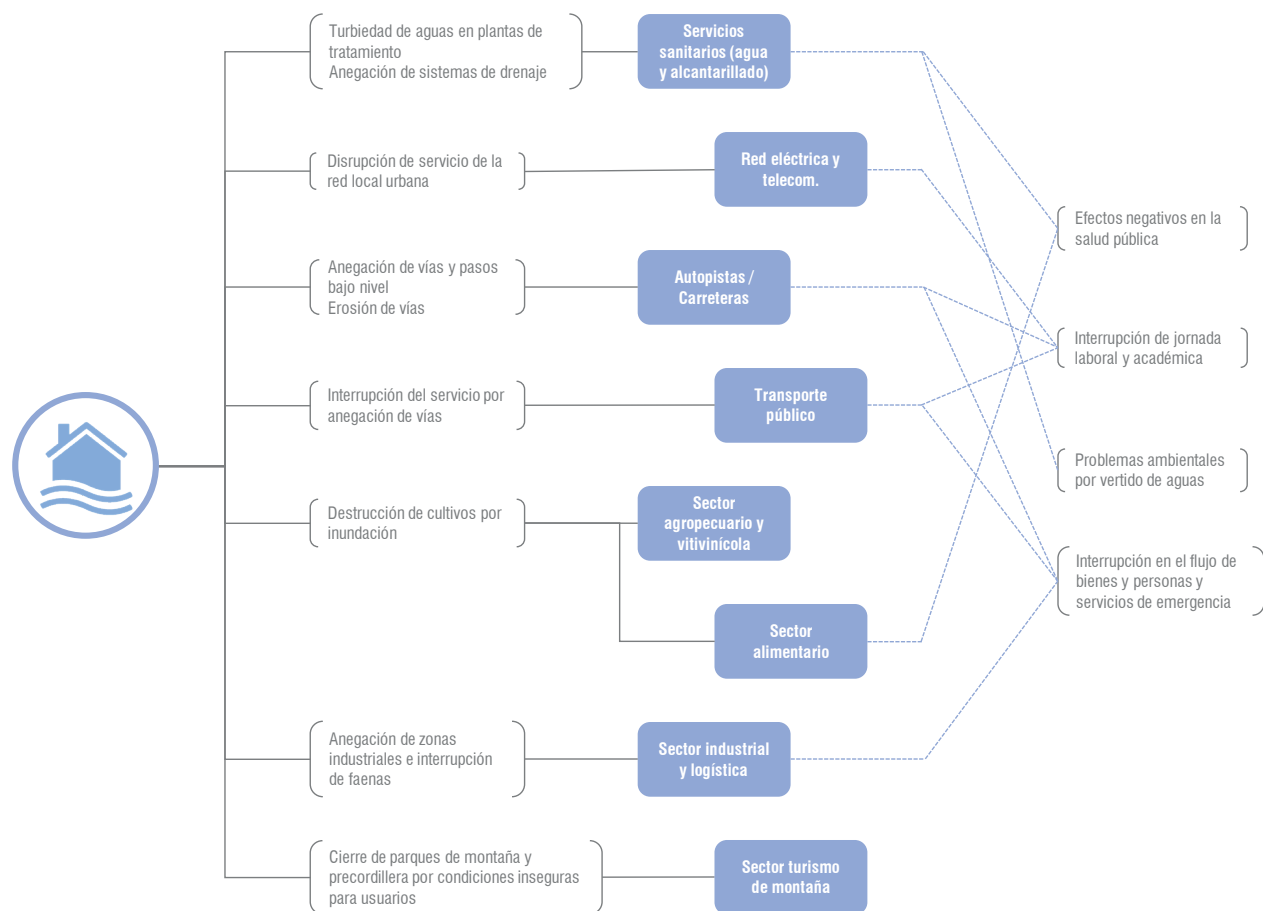
En los diagramas a continuación, se observa que algunos sistemas se agrupan o simplifican con fines de claridad y sólo se incluyen aquellos en los que se estima un impacto posible. Se evitó profundizar en impactos de segundo o tercer orden², puesto que el objetivo del proceso de planificación futuro será abordar los factores de vulnerabilidad para reducir el riesgo (aproximación preventiva y proactiva) y no necesariamente mitigar los impactos particulares (aproximación reactiva). Además, el análisis se limita a los impactos en los sectores y sistemas identificados anteriormente y no en bienes y personas; para esto último, revisar el análisis de riesgo. De esta forma, el análisis es estratégico y tiene por objetivo visualizar los impactos que generarían una perturbación en el funcionamiento normal de la región.

Título	Autor
<ul style="list-style-type: none"> Measuring Progress in Urban Climate Adaptation 	(C40 Cities, Ramboll, 2019)
<ul style="list-style-type: none"> City Strength Resilient Cities Program 	(World Bank, GFDRD, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> City Resilience Profiling Tool 	(AECOM, UN-Habitat, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> City Water Resilience Framework 	(The Rockefeller Foundation, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> C40 Infrastructure Interdependencies + Climate Risk Report 	(C40 Cities, AECOM, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> City Resilience Framework 	(The Rockefeller Foundation, ARUP, 2015)
<ul style="list-style-type: none"> Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments 	(The Climate Impact Group, ICLEI, 2007)
<ul style="list-style-type: none"> Chennai City Resilience Strategy 	(100 Resilient Cities, Resilient Chennai, 2019)
<ul style="list-style-type: none"> Resilient Los Angeles 	(100 Resilient Cities, City of Los Angeles, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago 	(100 Resilient Cities, GORE RM, 2017)
<ul style="list-style-type: none"> CDMX Resilience Strategy 	(100 Resilient Cities, CDMX, 2016)

Tabla 24. Instrumentos de planificación y estrategias para la resiliencia revisados para la sistematización de impactos. Fuente: GeoAdaptive.

² Por ejemplo, se asume que cualquier irrupción de un sistema importante, generará impactos económicos en el comercio, variando según escala y sector.

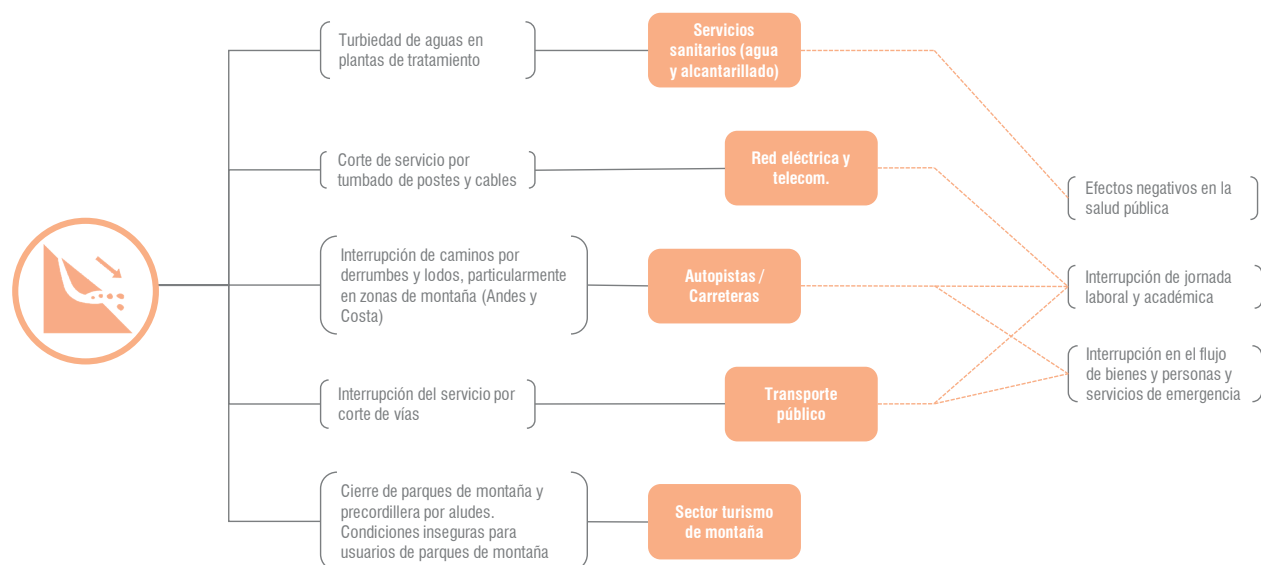
Figura 76. Impactos potenciales por amenaza de inundación pluvial/fluviol.
Fuente: GeoAdaptive.



Impactos por amenaza de inundación

La inundación se caracteriza por afectar físicamente la infraestructura, generando daños directos y afectando la integridad de esta (**Figura 76**). Destacan cortes de servicio por anegaciones y erosión, arrastre de material, con consecuencias en la calidad de las aguas, servicios de redes (eléctrica, telecomunicaciones) y problemas en los sistemas de movilidad regional. El sector agroalimentario puede verse afectado por inundaciones fluviales en planicies de inundación, luego de lluvias intensas. Considerando que las zonas industriales de la RM se ubican en zonas propensas a la inundación por estar en zonas bajas, se espera que se produzcan anegamientos e interrupción del funcionamiento de las plantas industriales.

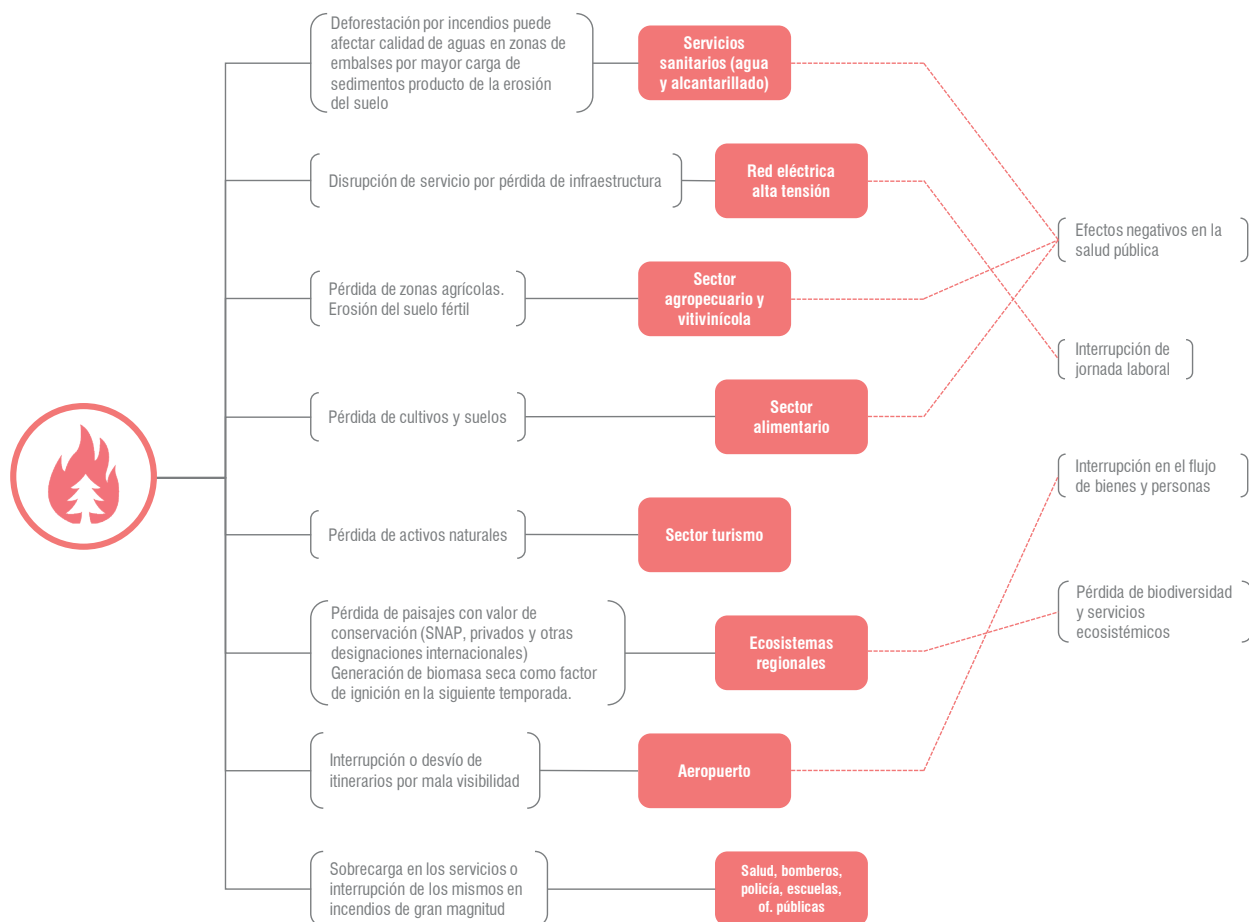
Figura 77. Impactos potenciales por amenaza de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive.



Impactos por amenaza de remoción en masa

La remoción en masa tiende a tener impactos localizados (**Figura 76**). Esta amenaza está relacionada con eventos de lluvias extremas en altura e inundaciones consecuencia de lo mismo. Similar a la amenaza anterior, la remoción en masa puede afectar los servicios de provisión de agua potable al contaminar el suministro con sobrecarga de sedimentos. Sistemas de transporte y movilidad pueden verse afectados por cortes puntuales, afectando el movimiento de bienes y personas y la accesibilidad general. Lo anterior puede traer impactos indirectos en la provisión de servicios de emergencia (salud, bomberos, policía).

Figura 78. Impactos potenciales por amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive.



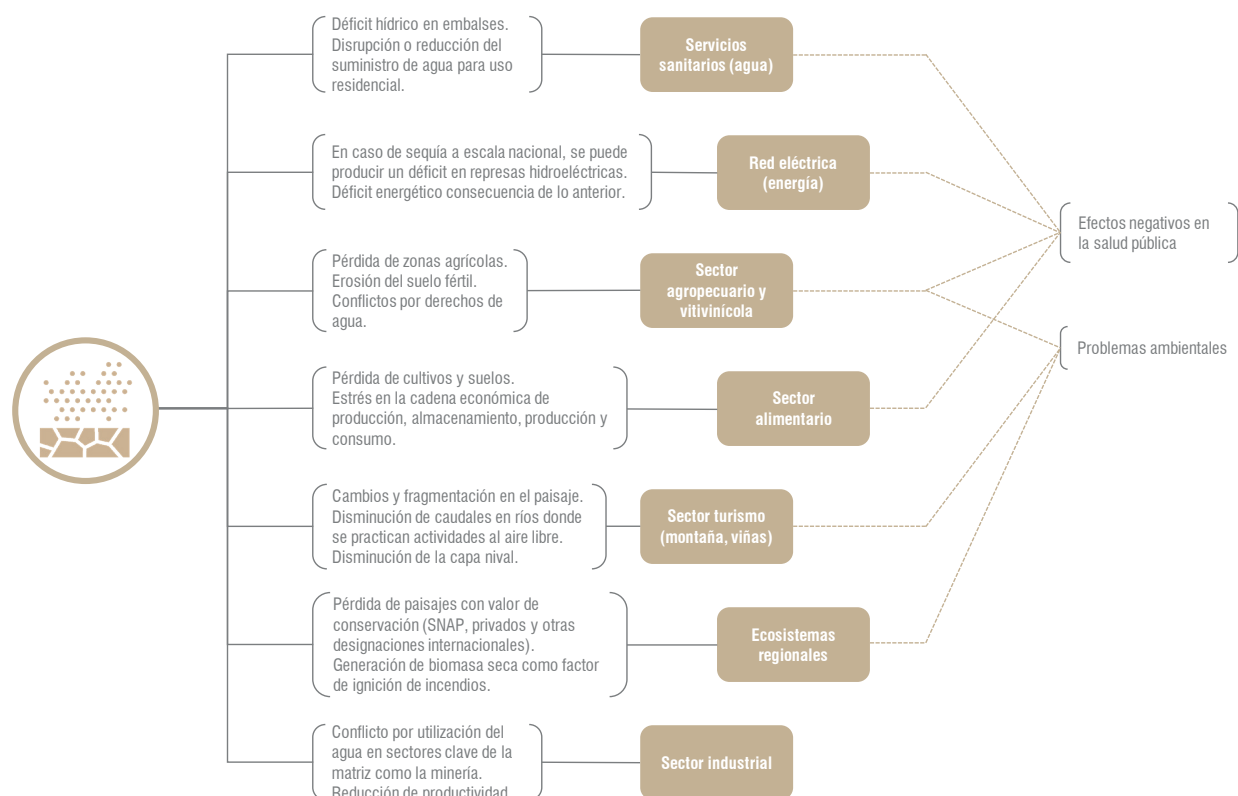
Impactos por amenaza de incendio forestal

Los incendios forestales tienen impactos en diversas escalas temporales (**Figura 78**). En el largo plazo, pueden afectar la provisión de agua producto de la erosión del suelo y pérdida de la capa vegetativa. Lo anterior puede producir sedimentación de embalses para consumo humano y riego, generando escasez. Por sí mismos, o en combinación con sequías prolongadas, pueden gatillar procesos desertificación a gran escala, afectando la productividad de los sistemas agroalimentarios, con impactos indirectos en el comercio y abastecimiento.

Los incendios de gran magnitud, que han aumentado en los últimos años en la RM, generan fragmentación de zonas naturales protegidas y de alto valor para la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos. Por otro lado, en el corto plazo, los incendios pueden afectar los servicios

de redes (eléctrica, telecomunicaciones), el turismo, aeropuertos y generar una sobrecarga en los servicios de emergencia.

Figura 79. Impactos potenciales por amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive.



Impactos por amenaza de sequía

La sequía actúa en un rango temporal amplio, estresando los sistemas de almacenamiento de agua para consumo humano, industrial, riego y otros (**Figura 79**). Esto produce una serie de impactos concatenados. Los sistemas agroalimentarios pueden verse afectados por escasez y procesos de desertificación a gran escala. El suministro eléctrico también puede sufrir consecuencias, ya que la sequía actúa en una escala espacial más amplia que sólo la RM. De esta forma, la oferta de energía proveniente de centrales hidroeléctricas puede reducirse y afectar el funcionamiento de múltiples infraestructuras, servicios y sectores productivos. La sequía y la consecuente escasez hídrica pueden gatillar conflictos socioambientales en torno a los derechos de agua y el uso del recurso. Lo anterior afecta directamente los sectores productivos que dependen del recurso (industria, minería, agricultura).

Impactos en los ecosistemas regionales

La actual sequía prolongada que afecta a la RM y otras zonas del país, ha tenido impactos muy negativos en los ecosistemas regionales, principalmente el bosque esclerófilo el cual está naturalmente adaptado a condiciones de aridez. Los más de 10 años de sequía están causando alta mortandad en diversas especies de esta comunidad vegetal. Un estudio realizado entre 2018-2019 por los académicos Marcelo Miranda (PUC) y Cynnamon Dobbs (U. Mayor), en el contexto del proyecto de conservación GEF Montaña, indica que tanto la sequía como las olas de calor están provocando daños en especies de bosques densos. El estudio indica que, de las especies estudiadas, las más más afectadas (nivel de daño) son el quillay (60%) y el litre (40%), las que conforman comunidades del bosque esclerófilo denso. Las causas del daño estarían relacionadas con la baja disponibilidad de agua y la alta evapotranspiración (agua evaporada a través de las hojas de los

árboles) producto de temperaturas elevadas.

Impactos en sectores productivos clave: industria vitivinícola

En el ámbito productivo, se estima que la sequía causará problemas en la industria vitivinícola, la cual es representativa de la región y regiones aledañas. Un estudio (Hannah, Roehdranz, Ikegami, Shepard, Shaw, Tabor, Zhi, Marquet & Hijmans, 2013) que analiza diversas zonas vitivinícolas a nivel mundial, indica que se espera que las zonas productoras *premium* se reduzcan entre un 25% y 70% hacia el 2050 (Figura 80). El mismo estudio señala que en la zona central de Chile se perderá un 25% de las áreas con condiciones para la producción de viñedos. Además, indique que en 2050, valles como el Maipo (RM), Cachapoal y Colchagua pierdan complementa sus condiciones bajo un escenario de cambio climático severo (RCP 8.5). La irrigación del valle del Maipo depende la capa nival estacional y precipitaciones de invierno, las que se verán disminuidas al 2050 en un 20% según el estudio. Por otro lado, los aumentos de temperatura entre 3°C y 4°C afectarán los patrones de descarga de los ríos y la disponibilidad estacional del agua (Hannah et al. 2013).

Impactos en sectores productivos clave: turismo de montaña y centros invernales

Otro aspecto importante ligado a la sequía es el impacto económico en zonas turísticas de montaña ligadas a deportes de invierno, dado que es un sector terciario importante de la economía de la RM. El estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera" (2018) realizado para el Ministerio del Medio Ambiente, indica que se producirán alteraciones en la precipitación de nieve entre los 2000-3000 msnm, con reducciones en la cantidad de nieve y duración de la capa hacia el 2035-2050. El estudio realizó una serie de modelaciones según escenarios de cambio climático, observando los cambios de acumulación máxima y duración de la capa de nieve según variaciones de temperatura y precipitaciones. Los principales resultados se discuten a continuación.

En el escenario optimista (RCP 2.6), la capa nival (acumulación máxima) no presentaría alteraciones significativas por aumento de temperaturas (disminución entre 0 y 30 mm). En el escenario pesimista (RCP 8.5), se generaría una disminución de hasta 300 mm, afectando a las zonas de La Parva y Valle Nevado (Figura 81). Por otro lado, el efecto de la disminución de precipitaciones en la acumulación máxima de nieve presenta diferencias menores para ambos escenarios (RCP 2.6 y 8.5) siendo las zonas sobre los 3500 msnm las más afectadas (Figura 82).

Se esperan disminuciones más drásticas en la duración de la capa nival por aumento de temperatura bajo los 3500 msnm. En el escenario

optimista (RCP 2.6) se espera una duración similar al período de referencia, con una disminución de 1 semana. El escenario pesimista (RCP 8.5) indica una disminución de hasta 6 semanas, con un valor medio de 2 semanas (Figura 83). El estudio observa que dado que ambos escenarios de cambio climático son similares en cuanto a la variación de precipitaciones (los modelos RCP proyectan tanto aumento como disminución de precipitaciones), las variaciones de duración en

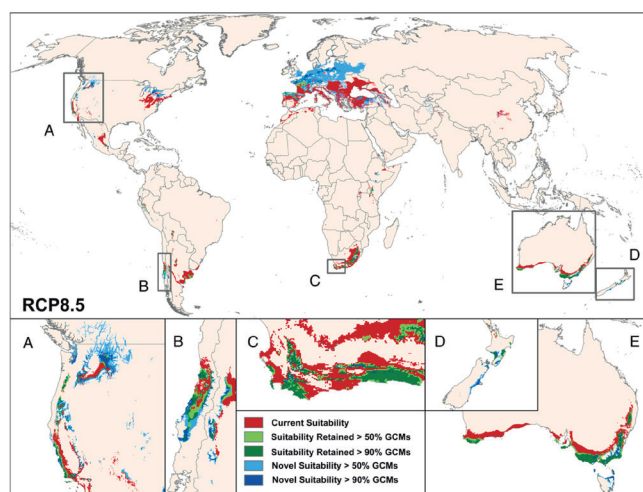


Figura 80. Idoneidad para la actividad vitivinícola. El recuadro "B" corresponde a Chile central. En rojo se observan las áreas actuales idóneas y que perderán su condición hacia el 2050. Se observa que habrá una transición en dirección sur de las zonas idóneas para viñedos. Fuente: Hannah et al. 2013.

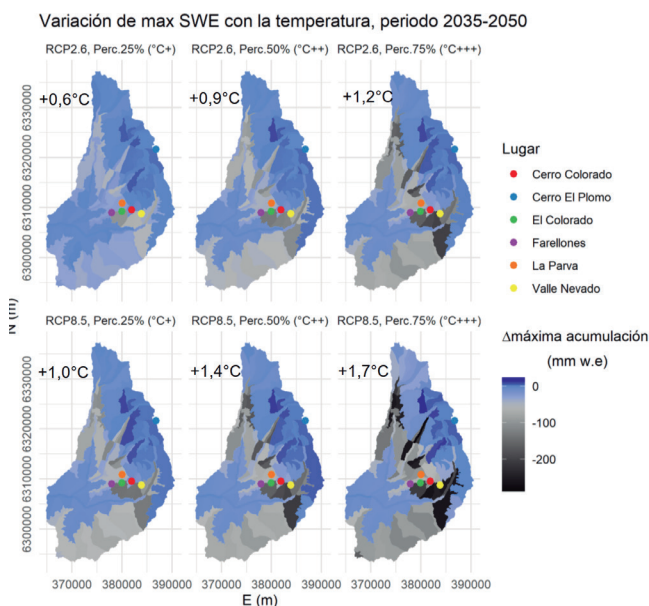


Figura 81. Variación de acumulación máxima de nieve por cambios de temperatura. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.

los escenarios RCP 2.6 y 8.5 son también de carácter similar. En ambos casos, se generaría una disminución de entre 1 y 3 semanas menos de nieve en la temporada (**Figura 84**).

En resumen, los cambios en la cantidad y duración de la nieve pueden generar impactos negativos en la actividad turística ligada a centros

invernales en la RM y regiones aledañas. En la medida que se inicie la planificación, tanto este sector económico como otros, deberán ser parte del proceso para trabajar conjuntamente con el sector público en definir medidas y acciones de adaptación que permitan la continuidad de funcionamiento de este importante motor económico regional.

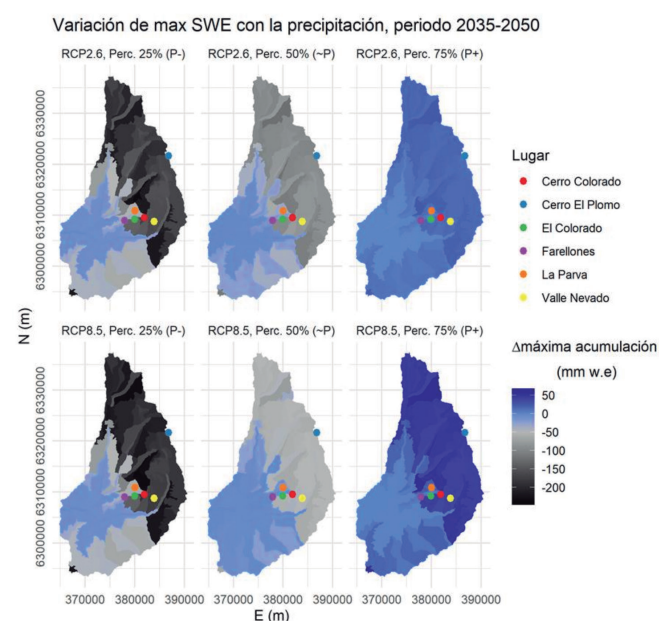


Figura 82. Variación de acumulación máxima de nieve por cambios en precipitaciones. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.

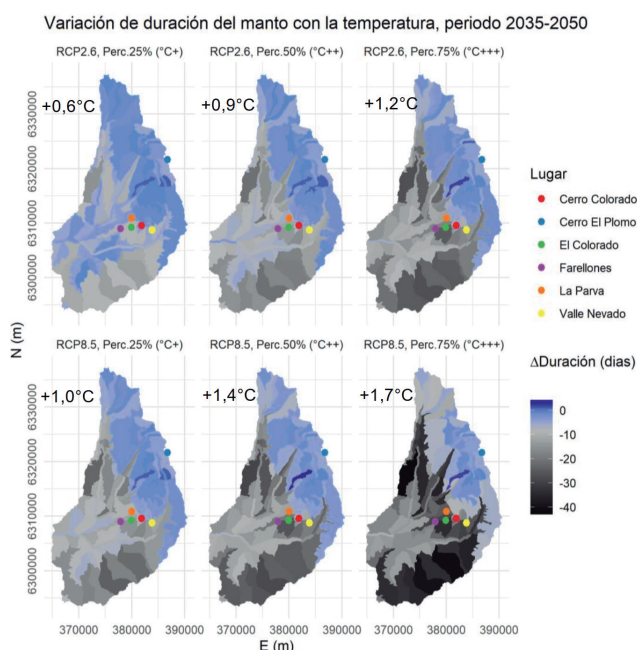


Figura 83. Variación de duración de la capa nival por cambios en temperaturas. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.

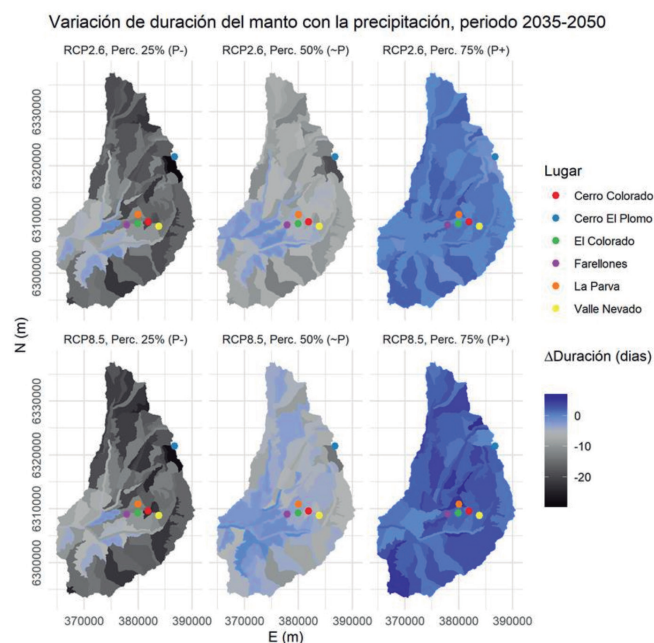
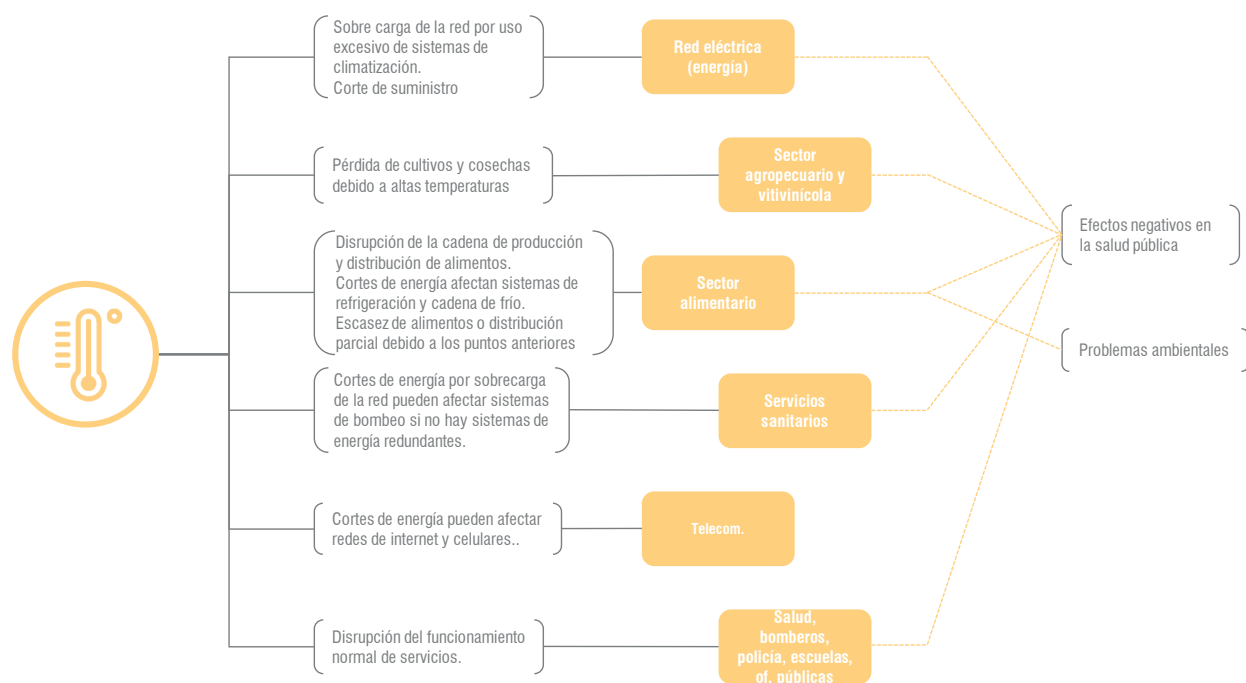


Figura 84. Variación de duración de la capa nival por cambios en precipitaciones. Fuente: Estudio "Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera", 2018.

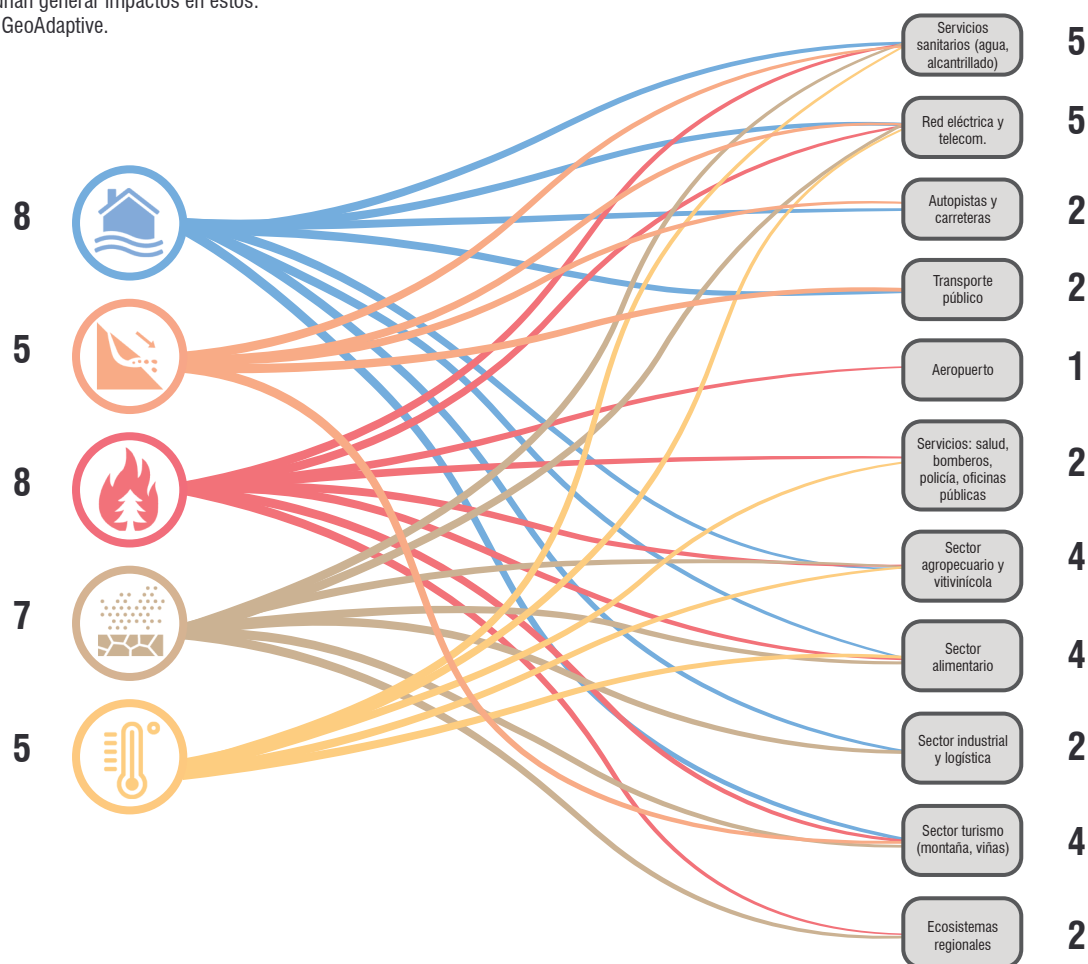
Figura 85. Impactos potenciales por amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive.



Impactos por amenaza de ola de calor

La ola de calor es una amenaza de escala regional que puede producir impactos inmediatos como acumulativos en el tiempo (**Figura 85**). En cuanto a impactos inmediatos, la ola de calor produce un aumento de la demanda energética por el uso de sistemas de climatización y/o refrigeración. Lo anterior puede ocasionar sobrecarga de la red y corte del servicio con una serie de impactos concatenados en sectores y sistemas que dependen de la energía eléctrica para funcionar. A su vez, la ola de calor puede afectar los cultivos, irrumpiendo en la cadena de valor agroalimentaria. En cuanto a los efectos acumulativos, ya se discutió el rol que juega el aumento de las temperaturas en los ecosistemas regionales, los que son clave en la provisión de servicios ecosistémicos, muchos de ellos ligados a la adaptación frente al cambio climático, y conservación de la biodiversidad.

Figura 86. Diagrama de resumen de las relaciones entre sistemas y las amenazas que podrían generar impactos en estos.
Fuente: GeoAdaptive.



Resumen de las relaciones de impacto

El diagrama de la **Figura 86** resume las relaciones los sistemas y las amenazas que podrían generar impactos en estos. El diagrama indica, además, el número de sistemas impactados por cada amenaza (izquierda) y la cantidad de amenazas que afectan un determinado sistema (derecha).

Se observa que las amenazas que más sistemas impactan son la inundación y los incendios forestales, con 8 sistemas cada una, seguido por la sequía con 7 y remoción en masa y olas de calor con 5 cada una. En cuanto a los sectores y sistemas, destacan los servicios sanitarios de agua y alcantarillado y energía, los que se ven afectados por las 5 amenazas analizadas; estos sistemas son, como se verá más adelante, los que tienen mayores relaciones de interdependencia.

Le siguen el sector agropecuario, alimentario y sector turismo con impactos potenciales de 4 amenazas. Para el resto de los sistemas, la cantidad de amenazas con potencial de generar impactos, varía entre 1 y 2.

6.4 Identificación de interdependencias

La identificación de interdependencias es un proceso que depende altamente de la percepción de los actores respecto de los impactos potenciales —y sus concatenaciones— en los sistemas que administran y/u operan. Dependiendo del actor, la percepción, tanto de impactos ante amenazas como interdependencias, puede variar al considerar el mandato de dicho actor y cómo este limita o concibe

sus responsabilidades en el contexto territorial. De esta forma, es recomendable utilizar herramientas que permitan entender la visión de los actores y, a partir de estos insumos, negociar posturas en un proceso de planificación mayor. También se recomienda integrar herramientas técnicas desde la planificación para superar las perspectivas sectoriales y aportar una mirada integradora y sistémica del territorio. Considerando esto, se utilizaron dos herramientas complementarias para el análisis de interdependencia: 1) una matriz de evaluación participativa de interdependencias y 2) diagramas de interdependencias que reflejan la visión de los actores y las interdependencias más comunes presentes en casos de estudio según la bibliografía consultada y de acuerdo al contexto particular de la Región Metropolitana. Ambas herramientas son recomendadas en el reporte “C40 Infrastructure Interdependencies + Climate Risk Report” (AECOM, C40 Cities, 2017).

Matriz de evaluación participativa –en línea– de interdependencias

Se construyó en una matriz relacional en línea para que los actores, en este caso representados por la contraparte técnica del estudio³, pudiesen plasmar las relaciones de interdependencia percibidas. La herramienta consiste en una matriz de doble entrada con los mismos sectores y sistemas en orden tanto en el eje X como el eje Y. Se generó una matriz por amenaza, de manera que los actores pudiesen relacionar interdependencias funcionales con impactos específicos. Luego, los actores evaluaron la interdependencia en base a una escala de 1 a 3, en donde 3 corresponde a “Interdependencia alta”, 2 a “Interdependencia media” y 1 a “Interdependencia limitada o nula”. La lógica de evaluación sigue la siguiente pregunta: ¿Cuándo la amenaza climática impacta a X, se produce un impacto en Y? El impacto se definió como una interrupción en la continuidad del funcionamiento de los sectores y sistemas seleccionados o daño directo a estos.

Como ejercicio para informar un proceso de planificación la matriz es bastante útil, puesto que emergen relaciones de interdependencias según cómo el actor percibe su rol en determinado sector o sistema. Por ejemplo, el sector público tiende a enfocarse en la continuidad de servicio y cómo una sobredemanda podría alterar un buen funcionamiento de estos al verse afectados. Un operador o concesionario puede adoptar una postura ligada a sus obligaciones contractuales de dotación de determinado servicio o infraestructura o, en el caso de sectores productivos, de velar por condiciones de mercado y suministros adecuados para los intereses económicos del gremio. Finalmente, un actor en un rol mediador en un proceso de planificación, buscará

transparentar las relaciones funcionales entre sectores y sistemas para que los actores entiendan el valor de tomar decisiones que tengan un beneficio o ganancia colectiva. La matriz es entonces un instrumento de negociación, por lo que no existe una forma correcta o incorrecta; más bien, es un proceso en cual se construye consenso colaborativamente y se va sumando información que aumenta el conocimiento de los actores en torno al contexto territorial que están interviniendo o planificando.

A continuación, se discuten los resultados para cada matriz, indicando las principales relaciones de interdependencia y clasificándolas según los tipos indicados al principio de esta sección (Interdependencias físicas, cibernéticas, geográficas y lógicas).

³ SEREMI Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago.

Figura 87. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de inundación. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.

	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	Agua potable rural	Líneas de alta tensión	Red eléctrica de distribución	Red de gas	Red telecomunicaciones	Aeropuerto	Autopistas / Carreteras regionales	Red vial urbana	Transporte público (buses, metro)	Infra. Salud Pública	Bomberos	Oficinas Públicas	Infra. Policial	Infra. Educativa (escuelas)	Sector turismo (montaña, viñas)	Sector agropecuario	Sector vitivinícola	Sector industrial y logística	Sector alimentario (abastecimiento, distribución)
Suministro de agua y alcantarillado (AMS)		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agua potable rural	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Líneas de alta tensión	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red eléctrica de distribución	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red de gas	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red telecomunicaciones	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Aeropuerto	3	1	1	3	1	2		2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
Autopistas / Carreteras regionales	1	1	1	1	1	1	1		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red vial urbana	1	1	1	1	1	1	1	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transporte público (buses, metro)	1	1	1	2	1	1	1	2	3		1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Infra. Salud Pública	3	3	1	3	1	2	1	2	3	1		1	2	1	1	1	1	1	1	3
Bomberos	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Oficinas Públicas	3	3	1	3	1	3	1	1	3	3	1	1		1	1	1	1	1	1	1
Infra. Policial	3	3	1	3	1	3	1	1	3	3	1	1	2		1	1	1	1	1	2
Infra. Educativa (escuelas)	3	3	1	3	1	2	1	1	3	3	1	1	2	1		1	1	1	1	3
Sector turismo (montaña, viñas)	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1		1	2	1	2
Sector agropecuario	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1		1	2	1
Sector vitivinícola	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1		2	1
Sector industrial y logística	2	2	1	3	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2		2
Sector alimentario (abastecimiento, distribución)	1	1	1	2	1	1	1	3	3	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2	

Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de inundación lógicas).

Se observa que los actores identificaron relaciones funcionales lógicas asociando la disrupción de los sistemas de movilidad regional con una pérdida en la continuidad de servicios básicos como salud, oficinas públicas, policía y escuelas. Asimismo, la movilidad regional estaría relacionada con la capacidad de mover bienes y personas, afectando, por ejemplo, el sector agroalimentario. Se asume también una disrupción de los servicios sanitarios y redes de electricidad, los que tendrían efectos negativos en los mismos sectores antes mencionados y en infraestructuras puntuales como aeropuertos (Int., físicas y

Figura 88. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de remoción en masa. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.

	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	Agua potable rural	Líneas de alta tensión	Red eléctrica de distribución	Red de gas	Red telecomunicaciones	Aeropuerto	Autopistas / Carreteras regionales	Red vial urbana	Transporte público (buses, metro)	Infra. Salud Pública	Bomberos	Oficinas Públicas	Infra. Policial	Infra. Educativa (escuelas)	Sector turismo (montaña, viñas)	Sector agropecuario	Sector vitivinícola	Sector industrial y logística	Sector alimentario (abastecimiento, distribución)
Suministro de agua y alcantarillado (AMS)		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agua potable rural	3		1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Líneas de alta tensión	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red eléctrica de distribución	1	1	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red de gas	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red telecomunicaciones	1	1	2	2	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Aeropuerto	3	1	3	3	2	2		2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
Autopistas / Carreteras regionales	1	1	1	1	1	1	1		3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red vial urbana	1	1	1	1	2	1	1	3		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transporte público (buses, metro)	1	1	2	2	1	1	1	2	3		1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Infra. Salud Pública	3	3	3	3	3	2	1	2	3	2		1	2	1	2	1	1	1	1	3
Bomberos	3	2	2	2	3	1	2	2	3	1	2		2	2	2	2	1	1	2	1
Oficinas Públicas	3	3	3	3	1	3	1	1	3	3	1	1		1	1	1	1	1	2	1
Infra. Policial	3	3	3	3	1	3	2	1	3	3	2	1	2		2	2	1	1	2	2
Infra. Educativa (escuelas)	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3	1	1	2	1		1	1	1	1	3
Sector turismo (montaña, viñas)	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1		1	2	1	2
Sector agropecuario	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1		1	2	1
Sector vitivinícola	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1		2	1
Sector industrial y logística	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2		2
Sector alimentario (abastecimiento, distribución)	1	1	2	2	1	2	1	3	3	1	1	1	2	1	1	1	3	2	3	

Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de remoción en masa

El resultado de la evaluación de esta matriz presenta una estructura similar a la amenaza de inundación, puesto que esta puede verse gatillada por eventos de lluvias extremas en invierno o bien en altura durante la época estival. Se observa la misma relación entre disrupción de servicios sanitarios y de movilidad con una perturbación en servicios básicos (Int., lógicas). Además de impactos en el sector agroalimentario, se visualizan impactos en el sector industrial y logística por perturbación en sistemas de redes como energía, telecomunicaciones y gas (Int., cibernéticas, físicas y lógicas).

Figura 89. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de incendio forestal. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.

	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	Agua potable rural	Líneas de alta tensión	Red eléctrica de distribución	Red de gas	Red telecomunicaciones	Aeropuerto	Autopistas / Carreteras regionales	Red vial urbana	Transporte público (buses, metro)	Infra. Salud Pública	Bomberos	Oficinas Públicas	Infra. Policial	Infra. Educativa (escuelas)	Sector turismo (montaña, viñas)	Sector agropecuario	Sector vitivinícola	Sector industrial y logística	Sector alimentario (abastecimiento, distribución)
Suministro de agua y alcantarillado (AMS)		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agua potable rural	2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Líneas de alta tensión	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red eléctrica de distribución	1	1	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red de gas	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Red telecomunicaciones	1	1	3	3	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Aeropuerto	2	2	3	3	1	2		2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2
Autopistas / Carreteras regionales	1	1	1	1	1	1	1		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red vial urbana	1	1	1	1	1	1	1	3		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transporte público (buses, metro)	1	1	2	2	1	1	1	2	2		1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Infra. Salud Pública	2	2	3	3	2	2	1	2	2	1		1	2	1	1	1	1	1	1	3
Bomberos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3
Oficinas Públicas	2	2	3	3	1	3	1	1	2	3	1	1		2	2	2	2	2	2	2
Infra. Policial	2	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2		2	2	2	2	2	2
Infra. Educativa (escuelas)	2	2	3	3	2	2	1	1	2	3	1	1	2	1		1	1	1	1	3
Sector turismo (montaña, viñas)	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1		1	2	1	2
Sector agropecuario	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1		1	2	1
Sector vitivinícola	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1		2	1
Sector industrial y logística	2	2	3	3	2	3	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2		2
Sector alimentario (abastecimiento, distribución)	2	2	2	2	1	2	1	3	3	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2	

Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de incendio forestal

En esta evaluación los actores interpretan los incendios forestales como un evento de gran escala que tiene la capacidad de impactar a todos los sectores al ejercer una presión indirecta en la provisión de servicios básicos, con énfasis en bomberos (Int., lógicas). Se observa también una relación entre los sistemas de redes (energía, telecomunicaciones, gas) e impactos en el sector industrial por interdependencias físicas, cibernéticas y lógicas. De forma similar, la afectación de sistemas de movilidad puede interrumpir la cadena de abastecimiento del sector agroalimentario (Int., física). Otras relaciones directas identificadas

son: el impacto en el sector agrícola y efectos negativos en la cadena alimentaria (Int., geográfica, física y lógica).

Figura 90. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de sequía. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.

	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	Agua potable rural	Líneas de alta tensión	Red eléctrica de distribución	Red de gas	Red telecomunicaciones	Aeropuerto	Autopistas / Carreteras regionales	Red vial urbana	Transporte público (buses, metro)	Infra. Salud Pública	Bomberos	Oficinas Públicas	Infra. Policial	Infra. Educativa (escuelas)	Sector turismo (montaña, viñas)	Sector agropecuario	Sector vitivinícola	Sector industrial y logística	Sector alimentario (abastecimiento, distribución)
Suministro de agua y alcantarillado (AMS)		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agua potable rural	3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Líneas de alta tensión	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red eléctrica de distribución	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red de gas	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red telecomunicaciones	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aeropuerto	3	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Autopistas / Carreteras regionales	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red vial urbana	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transporte público (buses, metro)	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Infra. Salud Pública	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	1	1	1	1	1	1	1
Bomberos	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		2	2	1	1	1	1	1	1
Oficinas Públicas	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		1	1	2	1	1	1	1
Infra. Policial	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1	1
Infra. Educativa (escuelas)	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
Sector turismo (montaña, viñas)	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
Sector agropecuario	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		2	1	1
Sector vitivinícola	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		1	1
Sector industrial y logística	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3		1
Sector alimentario (abastecimiento, distribución)	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	

Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de sequía

Esta matriz revela interdependencias físicas y lógicas al relacionar el impacto de la sequía en el suministro de agua, el cual es necesario para el funcionamiento de servicios básicos (bomberos, policía, oficinas públicas, escuelas), infraestructura puntual (aeropuerto) y sectores productivos como el agroalimentario e industrial. Similar al caso anterior, los actores relacionan los impactos en el sector agropecuario con efectos en el sistema alimentario (Int., geográfica, física y lógica) Cabe mencionar que la sequía posee una escala temporal y espacial amplia, por lo que los impactos sólo son percibidos una vez que los sistemas de abastecimiento hídrico entran en déficit.

Figura 91. Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de ola de calor. Fuente: GeoAdaptive, SEREMI MA RM.

	Suministro de agua y alcantarillado (AMS)	Agua potable rural	Líneas de alta tensión	Red eléctrica de distribución	Red de gas	Red telecomunicaciones	Aeropuerto	Autopistas / Carreteras regionales	Red vial urbana	Transporte público (buses, metro)	Infra. Salud Pública	Bomberos	Oficinas Públicas	Infra. Policial	Infra. Educativa (escuelas)	Sector turismo (montaña, viñas)	Sector agropecuario	Sector vitivinícola	Sector industrial y logística	Sector alimentario (abastecimiento, distribución)
Suministro de agua y alcantarillado (AMS)		3	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Agua potable rural	2		1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Líneas de alta tensión	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red eléctrica de distribución	1	1	2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red de gas	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red telecomunicaciones	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aeropuerto	2	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Autopistas / Carreteras regionales	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Red vial urbana	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transporte público (buses, metro)	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Infra. Salud Pública	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bomberos	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	3	3	1	1
Oficinas Públicas	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1		2	2	2	2	2	2	2
Infra. Policial	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	2	2	1	2
Infra. Educativa (escuelas)	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1		1	1	1	1	2
Sector turismo (montaña, viñas)	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1		1	2	1	2
Sector agropecuario	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		2	1	2
Sector vitivinícola	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		1	2
Sector industrial y logística	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	3	3		2
Sector alimentario (abastecimiento, distribución)	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	

Matriz de evaluación de interdependencias para amenaza de ola de calor

La ola de calor es una amenaza de escala regional de corta duración, pero que puede ocurrir con alta periodicidad en la época estival. En la matriz los actores infirieron impactos en los sistemas de abastecimiento hídrico con efectos en los servicios básicos y los sectores productivos (Interdependencia física y lógica). La ola de calor puede incrementar el uso del suministro de agua (p. ej., riego), sin embargo, este aumento es puntual y no necesariamente genera déficit como puede ocasionar una sequía prolongada. De acuerdo a la literatura, y lo que se observa en otros casos, la ola de calor tiende a generar una sobredemanda

energética –y potencial corte del servicio– durante los puntos máximos de temperatura por el uso de sistemas de climatización y refrigeración. Lo anterior impacta todos los sistemas y sectores que dependen de la electricidad. Otra relación levantada por los actores es la que se produce entre el sector agropecuario y alimentario, dado que la ola de calor puede producir pérdida de cultivos y cosechas (Int., geográfica, física y lógica) o bien afectar los sistemas de almacenamiento.

Diagramas de interdependencias principales

A continuación, se presentan 3 diagramas que representan las interdependencias de sectores cuya disrupción funcional puede afectar a múltiples otros sectores y sistemas a nivel regional. Como se mencionó anteriormente, el objetivo es mapear las interdependencias más importantes identificadas en las matrices del punto anterior y aquellas que son comunes en casos de estudio según la bibliografía consultada y de acuerdo al contexto particular de la Región Metropolitana. Los sectores/sistemas que más potencial de impacto tienen en otros sectores corresponden al suministro hídrico, que conlleva los sistemas de agua y servicios sanitarios; el suministro energético, incluida la red de generación y distribución; y los sistemas de movilidad de transporte público.

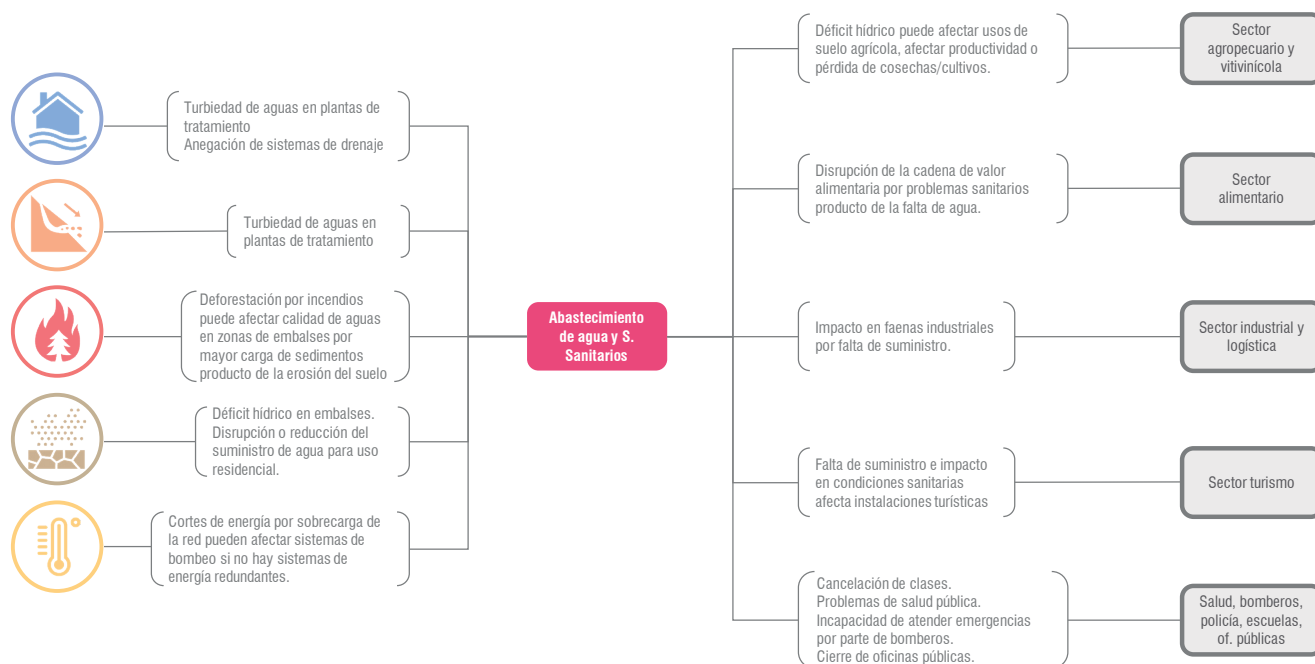


Figura 92. Diagrama de interdependencias sector abastecimiento de agua y servicios sanitarios. Fuente: GeoAdaptive.



Figura 93. Diagrama de interdependencias sector generación y distribución de energía. Fuente: GeoAdaptive.



Figura 94. Diagrama de interdependencias sector transporte. Fuente: GeoAdaptive.

07

Indicadores de capacidad adaptativa

En esta sección se presentan indicadores geográficos que caracterizan distintos aspectos ligados a la capacidad adaptativa. Se construyen trece indicadores a escala comunal, clasificados en cuatro dimensiones y once subdimensiones temáticas. Estos se representan en mapas y se describe y problematiza su pertinencia.

7.1 Antecedentes

7.2 Construcción de indicadores

7.1 Antecedentes

La capacidad adaptativa es clave para la construcción de resiliencia frente al cambio climático y, particularmente, para procesos exitosos de adaptación por medio de planes o políticas a nivel territorial. Existen diversas definiciones del término, sin embargo, todas se refieren a la capacidad o habilidad de poder de ajustarse o adaptarse frente a los cambios producidos por algún tipo de amenaza, de manera que la sociedad en su conjunto sea capaz de afrontar los potenciales efectos o impactos. A continuación, se presentan algunas definiciones comúnmente utilizadas:

- **Definición del IPCC TAR (2001):** La habilidad de un sistema para adaptarse al cambio climático (incluyendo la variabilidad y extremos climáticos), para moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades, o lidiar con las consecuencias. (Traducido de Levina, Tirpak, 2006)
- **Definición de UNDP (2005):** Es la propiedad de un sistema para ajustar sus características o comportamiento, en orden de expandir su rango de afrontamiento/resistencia bajo variaciones climáticas actuales o condiciones climáticas futuras. El término capacidad adaptativa, entendido como acciones que llevan a la adaptación, puede servir para mejorar la capacidad de afrontamiento/resistencia de un sistema, reduciendo su vulnerabilidad frente a amenazas climáticas. (Traducido de Levina, Tirpak, 2006)
- **Definición de UNISDR (2004):** Es una combinación de todas las fortalezas y recursos disponibles en una comunidad, sociedad u organización que pueden reducir el nivel de riesgo o los efectos de un desastre. (La Capacidad puede incluir atributos físicos, institucionales, sociales o económicos, así como también atributos personales o colectivos como liderazgo o capacidad de gestión. (Traducido de Levina, Tirpak, 2006)

La definición de UNISDR es útil, en cuanto provee un marco conceptual para la construcción de indicadores en diversas áreas temáticas. Por otro lado, la Propuesta para la Adaptación Urbana al Cambio Climático en Capitales Regionales de Chile (ADAPT Chile, CEDEUS, Centro UC Cambio Global, MMA, 2014) indica que la determinación de la capacidad adaptativa o de adaptación, busca entender como los sistemas territoriales podrían responder ante amenazas climáticas según esquemas institucionales, culturales, tecnológicos, educativos, etc. Asimismo, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2014) establece la construcción de indicadores para procesos de adaptación como una actividad transversal importante dentro de su Línea de Acción L1 “Marco de referencia científico en cambio climático”. Se refiere específicamente al uso de indicadores que permitan evaluar la

evolución de sistemas humanos y naturales en relación a las distintas variables climáticas y a las acciones implementadas.

7.2 Construcción de indicadores

Considerando los antecedentes anteriores, se propone un conjunto de indicadores que representen atributos temáticos a escala comunal, con el objetivo de monitorear la capacidad adaptativa desde una perspectiva regional. Los indicadores son indirectos (también llamados *proxy*); es decir, caracterizan aspectos o estructuras socioeconómicas, culturales, ambientales e institucionales que son considerados atributos o fortalezas para la adaptación frente a procesos de cambio climático y otras amenazas. Se utilizaron los siguientes criterios en la construcción de indicadores:

- **Escala comunal:** Se eligió esta escala dado el ámbito de gobernanza y gestión del mandante (SREMI RM). Esto le permitirá tomar un rol de monitoreo y facilitador con el espacio territorial comunal. Se estima que indicadores intracomunales (mayor detalle y resolución) son inadecuados en este momento, puesto que la planificación para el cambio climático se encuentra en una etapa inicial y las comunas difieren bastante en términos de su capacidad para recolectar, procesar y sistematizar información geoespacial. No obstante, se recomienda que en un proceso de planificación futura se establezcan protocolos y responsabilidades a nivel local para el levantamiento de indicadores de mayor detalle.
- **Fuentes públicas establecidas:** Se estimó pertinente utilizar fuentes de información con experiencia en la toma de datos y con una frecuencia de actualización o muestreo de corto y mediano plazo (CASEN, CENSO, INE, SINIM, SUBDERE). Lo anterior, facilitará la gestión y monitoreo a escala regional. Por otro lado, las fuentes de información seleccionadas son de fácil acceso, puesto que pertenecen al sector público. Se recomienda que durante la planificación se genere un proceso de calibración de los indicadores, estableciendo un diálogo con las instituciones que levantan datos. De esta forma, se podrán ajustar los indicadores para acercarlos a su objetivo de medir aspectos de la capacidad adaptativa. Se procuró utilizar la data más reciente disponible públicamente, considerando las limitaciones de tiempo de solicitud de datos por transparencia.
- **Variedad temática:** En base a las recomendaciones en la literatura, se consideraron 13 indicadores divididos en 4 dimensiones generales y 11 subdimensiones temáticas. Lo anterior refleja la necesidad de levantar atributos o

características del territorio, sociedad y su estructura institucional y de gestión.

La **Tabla 25** resume los indicadores clasificados en dimensiones y subdimensiones, indicado su fuente y el año de los datos. En las páginas siguientes se presentan los indicadores representados espacialmente mediante un mapa a escala comunal y acompañado de una tabla descriptiva. En los mapas, los nombres de las comunas están asociados a un número único (al igual que en mapas anteriores), como se indica a continuación:

1 Colina	27 Conchalí
2 Lampa	28 El Bosque
3 Tiltil	29 Peñalolén
4 Pirque	30 Providencia
5 Puente Alto	31 Quilicura
6 San José de Maipo	32 Vitacura
7 Buin	33 Quinta Normal
8 Paine	34 Recoleta
9 San Bernardo	35 Renca
10 Calera de Tango	36 San Miguel
11 María Pinto	37 Santiago
12 San Pedro	38 Huechuraba
13 Alhué	39 La Cisterna
14 Curacaví	40 La Granja
15 Melipilla	41 La Pintana
16 Independencia	42 La Reina
17 La Florida	43 Las Condes
18 Lo Barnechea	44 Macul
19 Lo Espejo	45 Maipú
20 Lo Prado	46 Ñuñoa
21 Pedro Aguirre Cerda	47 Estación Central
22 Pudahuel	48 El Monte
23 San Joaquín	49 Isla de Maipo
24 San Ramón	50 Talagante
25 Cerrillos	51 Padre Hurtado
26 Cerro Navia	52 Peñaflores

Dimensión	Subdimensión	Indicador	Fuente	Año
Ambiental	Ambiental	Metros cuadrados de áreas verdes con mantenimiento por habitante	SINIM	2018
	Ambiental	Porcentaje de superficie comunal con áreas naturales protegidas	SINIM	2018
Marco institucional	Gestión ambiental	Fase de certificación en sistema de certificación ambiental municipal (SCAM)	MMA	2019
	Planificación	Año de formulación o actualización del último PLADECO	SINIM	2018
	Planificación	Año de aprobación legal del Plan Regulador Comunal vigente (Aprobado por MINVU)	SINIM	2018
	Participación ciudadana	Existencia de ordenanza de participación ciudadana	SINIM	2018
	Gestión de inversión espacio público	Montos programa de mejoramiento urbano (PMU)	SUBDERE	2019
Infraestructura y equipamiento	Servicios	Porcentaje de población comunal con acceso a servicios básicos	CASEN	2015
	Vivienda	Porcentaje de viviendas con calidad global aceptable	CASEN	2015
Social	Participación ciudadana	Porcentaje de población de 12 años y más que participa en alguna organización social o grupo organizado	CASEN	2015
	Tecnología y redes	Tasa de uso de internet (Utiliza internet al menos una vez a la semana, independientemente del lugar)	CASEN	2015
	Socioeconómico	Promedio del ingreso monetario mensual del hogar	CASEN	2015
	Educación	Años de escolaridad promedio de personas mayores a 25 años	CENSO	2017

Tabla 25. Resumen de indicadores de capacidad adaptativa. Fuente: GeoAdaptive.

Áreas verdes con mantenimiento	
Indicador	Metros cuadrados de áreas verdes con mantenimiento por habitante
Dimensión	Ambiental
Subdimensión	Áreas verdes
Escala	Comunal
Año	2018
Fuente	Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)
Descripción	Indicador que informa de la gestión municipal contemplada en el SINIM, como parte de la macro función Desarrollo territorial de la Ley Orgánica Constitucional de municipalidades. Se calcula en base a la superficie en metros cuadrados de áreas verdes con mantenimiento y la población total comunal. Su importancia en términos de resiliencia radica en que las áreas verdes en buen estado otorgan al entorno una mejor capacidad de respuesta frente a fenómenos climáticos extremos, entre ellos la regulación térmica frente a áreas de calor, áreas de amortiguación en eventos de inundación y mayor humedad, que disminuye la probabilidad de propagación de incendios forestales, entre otros servicios de adaptación para el cambio climático

Tabla 26. Descripción indicador: Áreas verdes con mantenimiento m²/habitante. Fuente: GeoAdaptive..

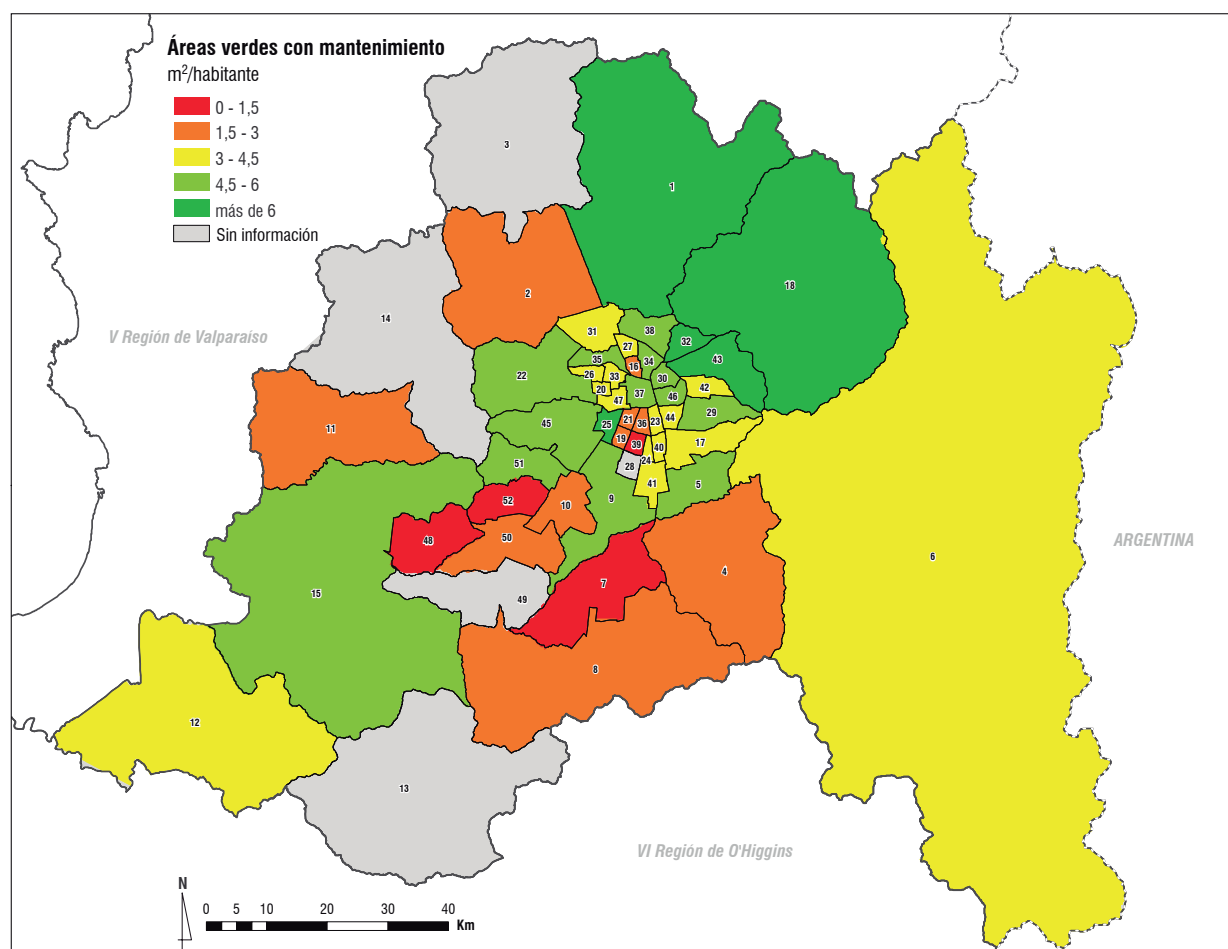


Figura 95. Capacidad adaptativa. Dimensión: Ambiental. Áreas verdes con mantenimiento m²/habitante. Fuente: GeoAdaptive.

Áreas naturales protegidas	
Indicador	Porcentaje de superficie comunal con áreas naturales protegidas
Dimensión	Ambiental
Subdimensión	Áreas protegidas
Escala	Comunal
Año	2019
Fuente	Ministerio del Medio Ambiente
Descripción	Indicador realizado en base a la superposición espacial de áreas protegidas presentes en la región y su relación con respecto a la superficie total comunal. Las tipologías de áreas protegidas consideradas fueron; Parque Nacional, Reserva Nacional, Santuario de la Naturaleza, Reserva de la biosfera, Reserva Forestal, Monumento Natural, Sitio Ramsar, Iniciativa de Conservación Privada, Bien Nacional Protegido, Sitios prioritarios ERB y Ley 19.300. La selección de este indicador tiene que ver con el valor que otorga el reconocimiento que tienen estas áreas para su manejo, que involucra mayor control del área protegida y sus alrededores. Las áreas protegidas naturales poseen un potencial de adaptación frente al cambio climático siendo clave una coordinación entre las instituciones a nivel central y el municipio para una adecuada gestión.

Tabla 27. Descripción indicador: Superficie comunal protegida (áreas naturales). Fuente: GeoAdaptive.

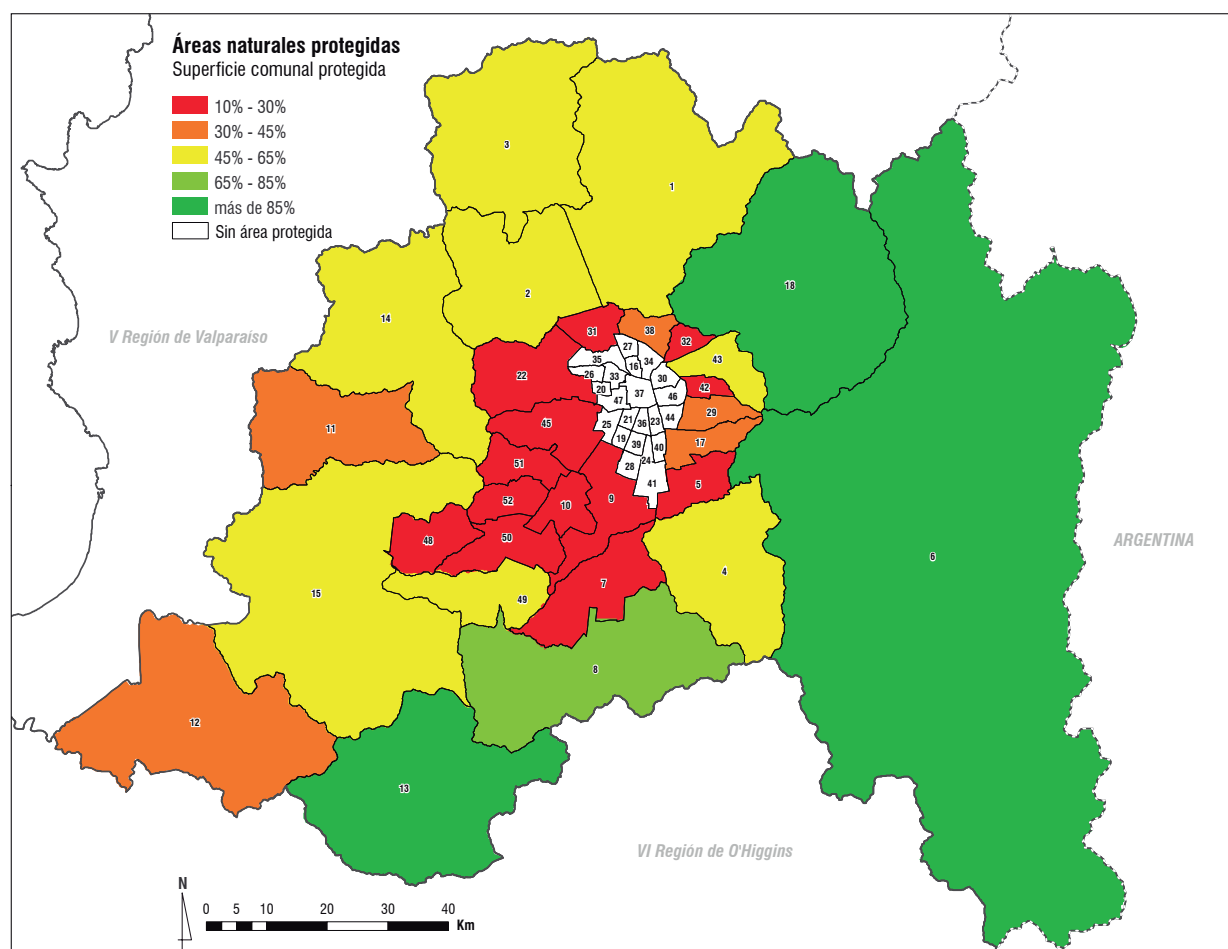


Figura 96. Capacidad adaptativa. Dimensión: Ambiental. Superficie comunal protegida (áreas naturales). Fuente: GeoAdaptive.

Gestión ambiental	
Indicador	Fase de certificación en sistema de certificación ambiental municipal (SCAM)
Dimensión	Marco Institucional
Subdimensión	Gestión ambiental
Escala	Comunal
Año	2018
Fuente	Ministerio del Medio Ambiente
Descripción	Indicador que señala si los municipios se encuentran en el sistema de certificación ambiental municipal (SCAM) y su respectiva fase, el cual es un sistema de certificación voluntario diseñado para que los municipios establezcan diagnósticos, líneas estratégicas de acción y elementos de gobernanza que les permitan conocer y mejorar materias ambientales locales. Su importancia es que denota una serie de capacidades de gestión y conocimiento general del entorno durante las primeras fases de acreditación, seguida de un compromiso en materia de cambio climático hacia los niveles superiores, involucrando para ello a diversos actores locales. Es también un indicador indirecto de capacidades instaladas de gestión útiles para un proceso futuro de planificación para el cambio climático.

Tabla 28. Descripción indicador: Fase de certificación SCAM. Fuente: GeoAdaptive.

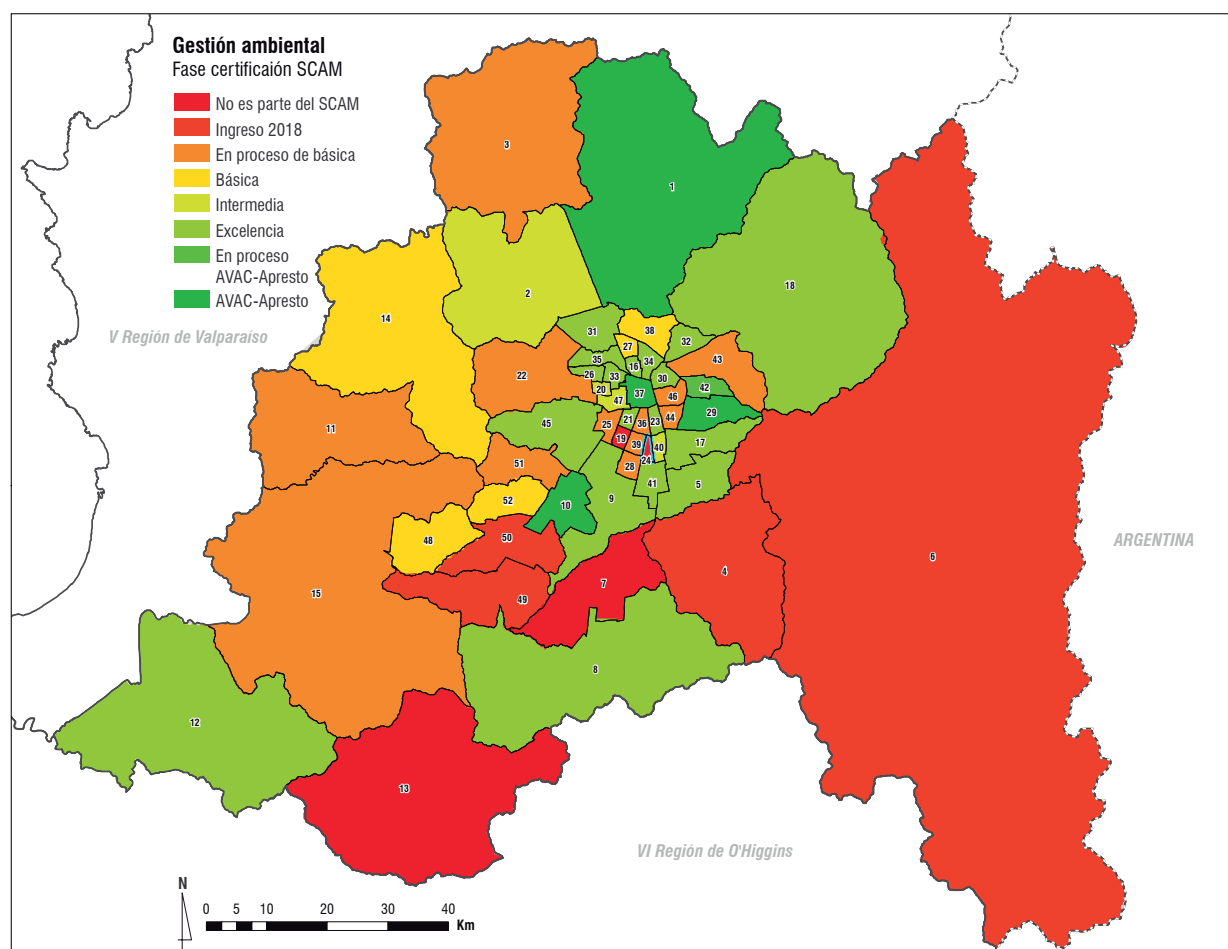


Figura 97. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Fase de certificación SCAM. Fuente: GeoAdaptive.

Plan de desarrollo comunal	
Indicador	Año de formulación o actualización del último PLADECO
Dimensión	Marco Institucional
Subdimensión	Planificación
Escala	Comunal
Año	2018
Fuente	Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)
Descripción	Indicador que informa de la gestión municipal contemplada en el SINIM, como parte de la macro función Desarrollo territorial de la Ley Orgánica Constitucional de municipalidades. Indica si el municipio cuenta con Plan de Desarrollo Comunal y el año de formulación. Representa un indicador de gestión para la adaptación ya que, pese a ser un instrumento de planificación de carácter indicativo, este instrumento guía la cartera de programas y proyectos a desarrollar por cada municipio por temáticas prioritizadas.

Tabla 29. Descripción indicador: Año formulación último PLADECO. Fuente: GeoAdaptive.

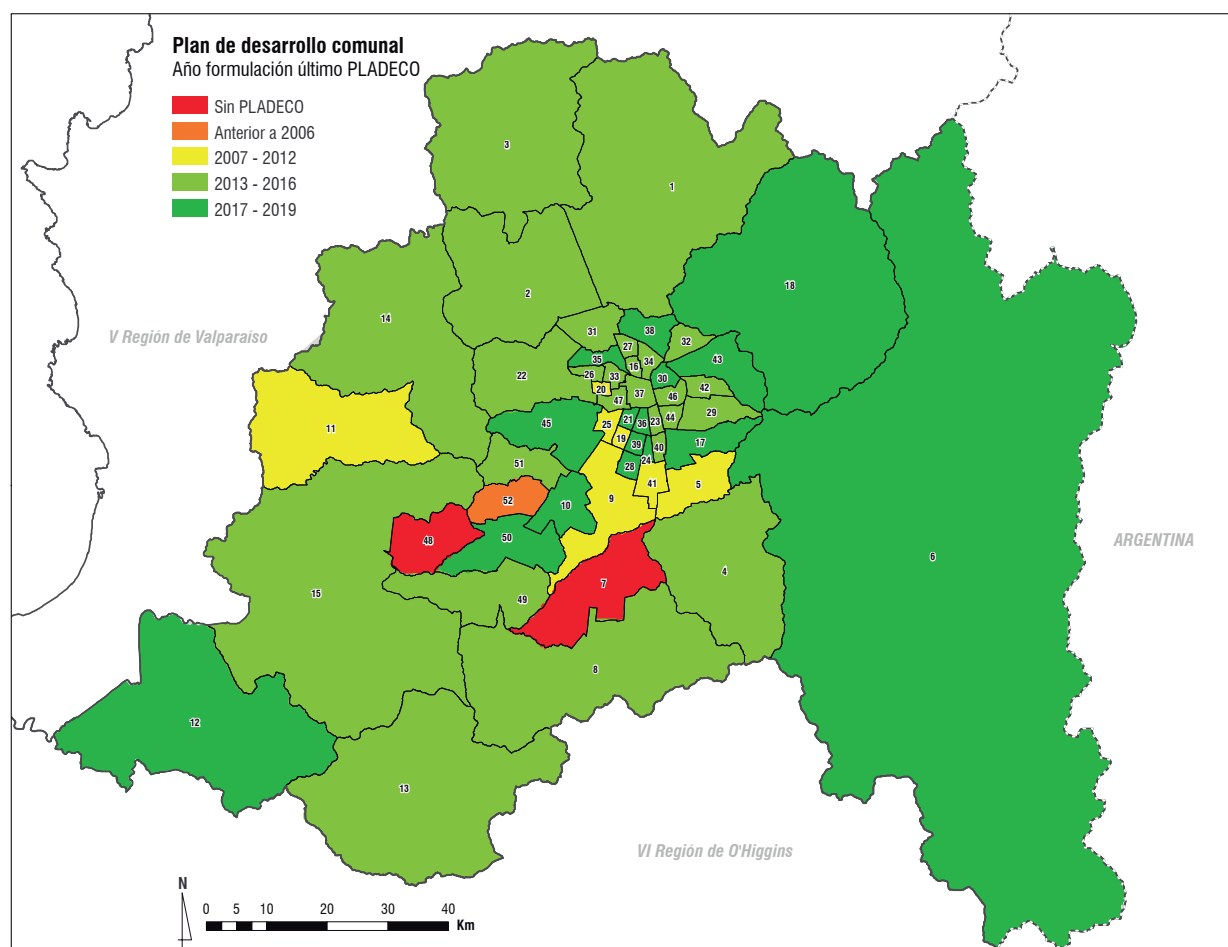


Figura 98. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Año formulación último PLADECO. Fuente: GeoAdaptive.

Plan regulador comunal	
Indicador	Año de aprobación legal del Plan Regulador Comunal vigente (Aprobado por MINVU)
Dimensión	Marco Institucional
Subdimensión	Planificación
Escala	Comunal
Año	2018
Fuente	Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)
Descripción	Indicador que informa de la gestión municipal contemplada en el SINIM, como parte de la macro función Desarrollo territorial de la Ley Orgánica Constitucional de municipalidades. Indica si el municipio cuenta con Plan Regulador Comunal y el año de formulación, lo cual representa un indicador de gestión territorial y su regulación para la adaptación, indicando los usos de suelo permitidos y no permitidos en áreas de riesgo.

Tabla 30. Descripción indicador: Año de aprobación del PRC vigente. Fuente: GeoAdaptive.

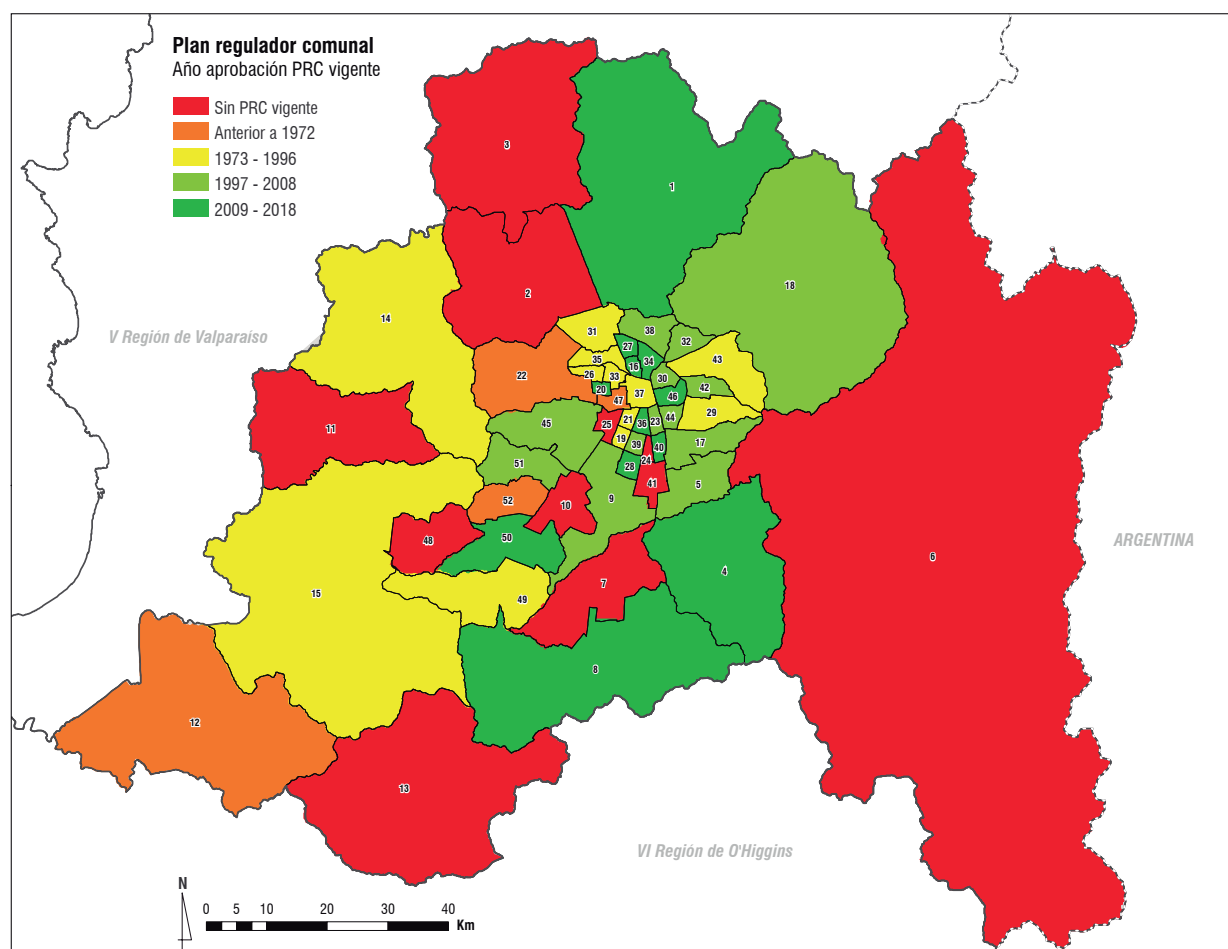


Figura 99. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Año de aprobación del PRC vigente. Fuente: GeoAdaptive.

Ordenanza de participación ciudadana	
Indicador	Existencia de ordenanza de participación ciudadana
Dimensión	Marco Institucional
Subdimensión	Participación ciudadana
Escala	Comunal
Año	2018
Fuente	Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)
Descripción	Indicador que informa de la gestión municipal contemplada en el SINIM, como parte del área Social Comunitaria de la Ley Orgánica Constitucional de municipalidades. Indica si el municipio cuenta con ordenanza de participación ciudadana según la ley 20.500 sobre Asociaciones y Participación Ciudadana en la Gestión Pública. Representa un indicador de capacidad de adaptación puesto que la existencia de dicho instrumento contribuye al enriquecimiento de la gobernanza local en medida que aumenta la representación de los ciudadanos en la administración municipal sobre diversas temáticas de importancia local. Además, un marco amplio de participación ciudadana permite la aplicación exitosa y generalizada de planes nacionales y regionales de cambio climático y temáticas relacionadas (MMA, 2014).

Tabla 31. Descripción indicador: Existencia de ordenanza de participación ciudadana. Fuente: GeoAdaptive.

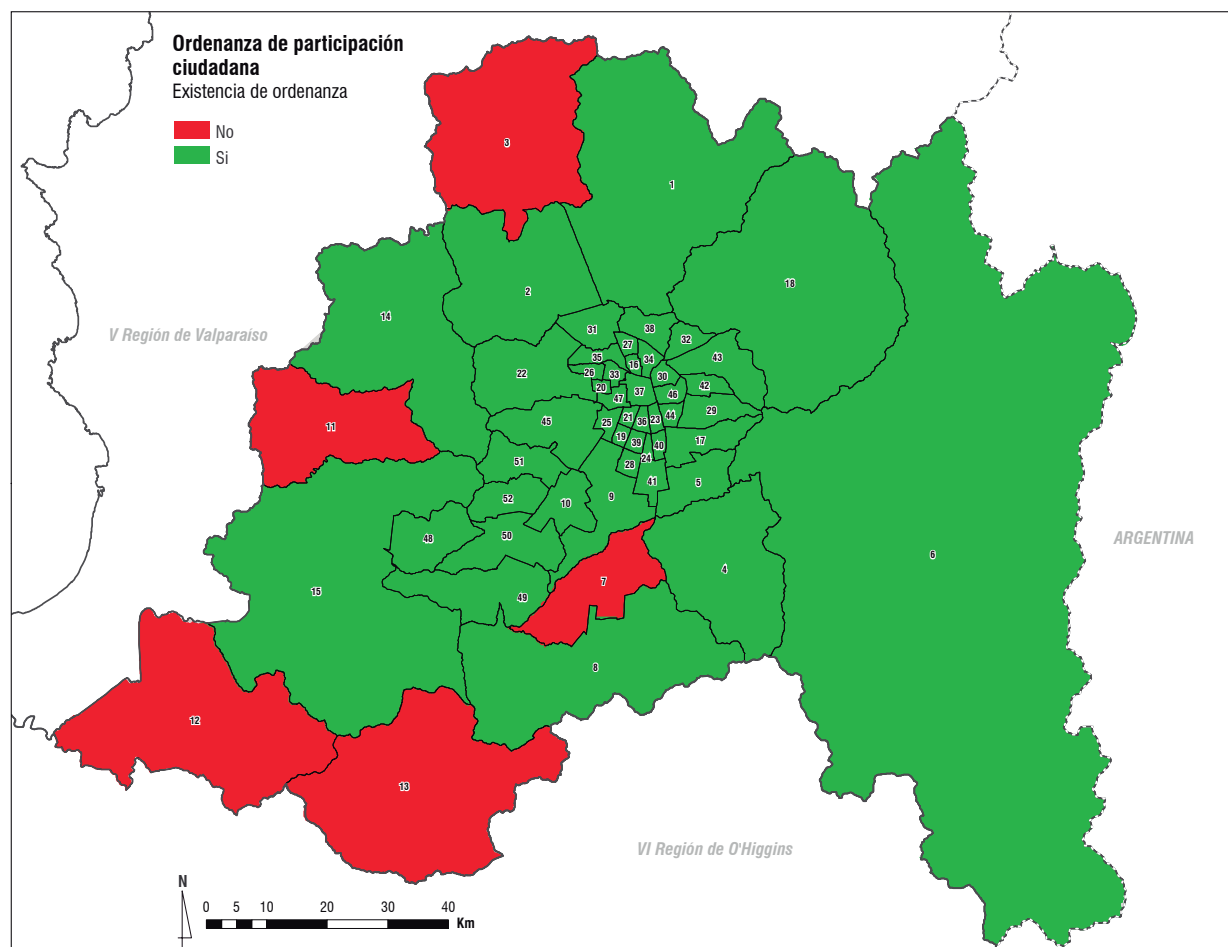


Figura 100. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Existencia de ordenanza de participación ciudadana. Fuente: GeoAdaptive.

Gestión para inversión en espacios públicos	
Indicador	Montos programa de mejoramiento urbano (PMU)
Dimensión	Marco Institucional
Subdimensión	Gestión de inversión espacio público
Escala	Comunal
Año	2019
Fuente	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), División municipalidades.
Descripción	El programa de mejoramiento urbano y su gestión a nivel municipal es un indicador de gestión y manejo de fondos hacia el municipio, lo que puede aumentar la capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos y la recuperación del entorno local. Este programa es una fuente de financiamiento y apoyo a la comunidad desde el Ministerio del Interior (SUBDERE), para proyectos de inversión en infraestructura menor urbana y equipamiento comunal. Entre otros, financia Servicios higiénicos, Sedes sociales, equipamiento deportivo, pavimentación de calles, pasaje y aceras, alumbrado público, muros de contención, áreas verdes, sistemas de captación de agua y equipos electrónicos.

Tabla 32. Descripción indicador: Monto aprobado total Programa Mejoramiento Urbano. Fuente: GeoAdaptive.

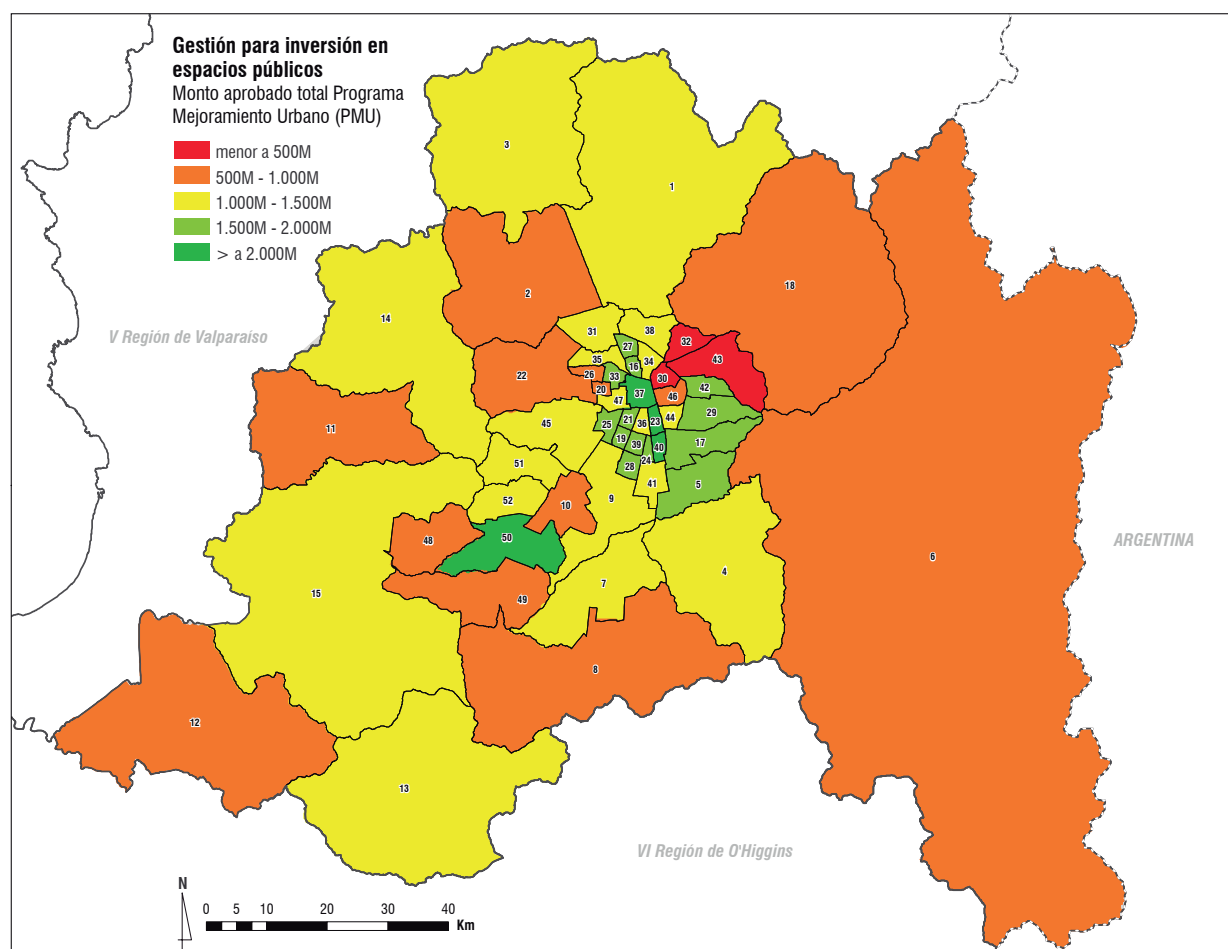


Figura 101. Capacidad adaptativa. Dimensión: Marco Institucional. Monto aprobado total Programa Mejoramiento Urbano. Fuente: GeoAdaptive.

Servicios básicos	
Indicador	Porcentaje de población comunal con acceso a servicios básicos
Dimensión	Infraestructura y equipamiento
Subdimensión	Servicios
Escala	Comunal
Año	2015
Fuente	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)
Descripción	El índice de acceso a servicios básicos sintetiza las características de los hogares en la disponibilidad de agua, el sistema de eliminación de excretas y el origen del agua, identificando hogares con calidad de acceso aceptable y deficitario. Para este indicador se ha utilizado el porcentaje de hogares en calidad aceptable, es decir que no presenta nivel deficitario en ninguno de los elementos evaluados (Con llave de agua dentro de la vivienda, origen de agua red pública o similar calidad y WC conectado al alcantarillado y fosa séptica). A mayores niveles, es un indicador indirecto de una mayor preparación para enfrentar eventos climáticos a escala de hogar.

Tabla 33. Descripción indicador: Población comunal con acceso a servicios básicos. Fuente: GeoAdaptive.

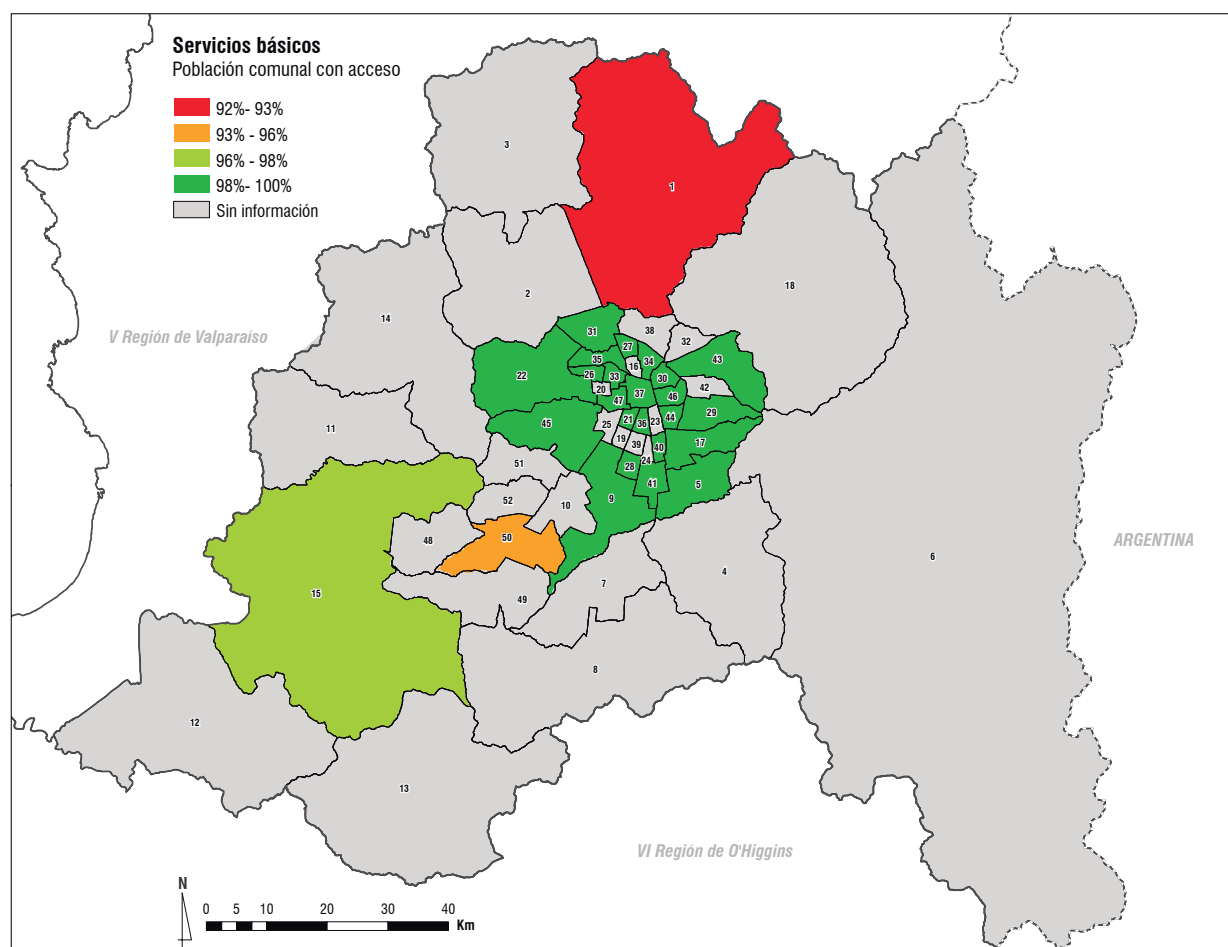


Figura 102. Capacidad adaptativa. Dimensión: Infraestructura y Equipamiento. Población comunal con acceso a servicios básicos. Fuente: GeoAdaptive.

Calidad global de la vivienda	
Indicador	Porcentaje de viviendas con calidad global aceptable
Dimensión	Infraestructura y equipamiento
Subdimensión	Vivienda
Escala	Comunal
Año	2015
Fuente	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)
Descripción	El índice de calidad global de la vivienda integra los índices de Materialidad, Saneamiento y Tipo de Vivienda, identificando viviendas aceptables, recuperables, irrecuperables. Para este indicador se ha utilizado en porcentaje de viviendas en calidad aceptable, es decir que presentan una materialidad, saneamiento y tipo aceptable, o bien si la materialidad es recuperable siempre que el piso, techo, saneamiento y tipo sean aceptables (CASEN, 2015). A mayores niveles, es un indicador indirecto que representa una mejor preparación para enfrentar eventos climáticos a escala de vivienda.

Tabla 34. Descripción indicador: Viviendas con calidad aceptable. Fuente: GeoAdaptive.

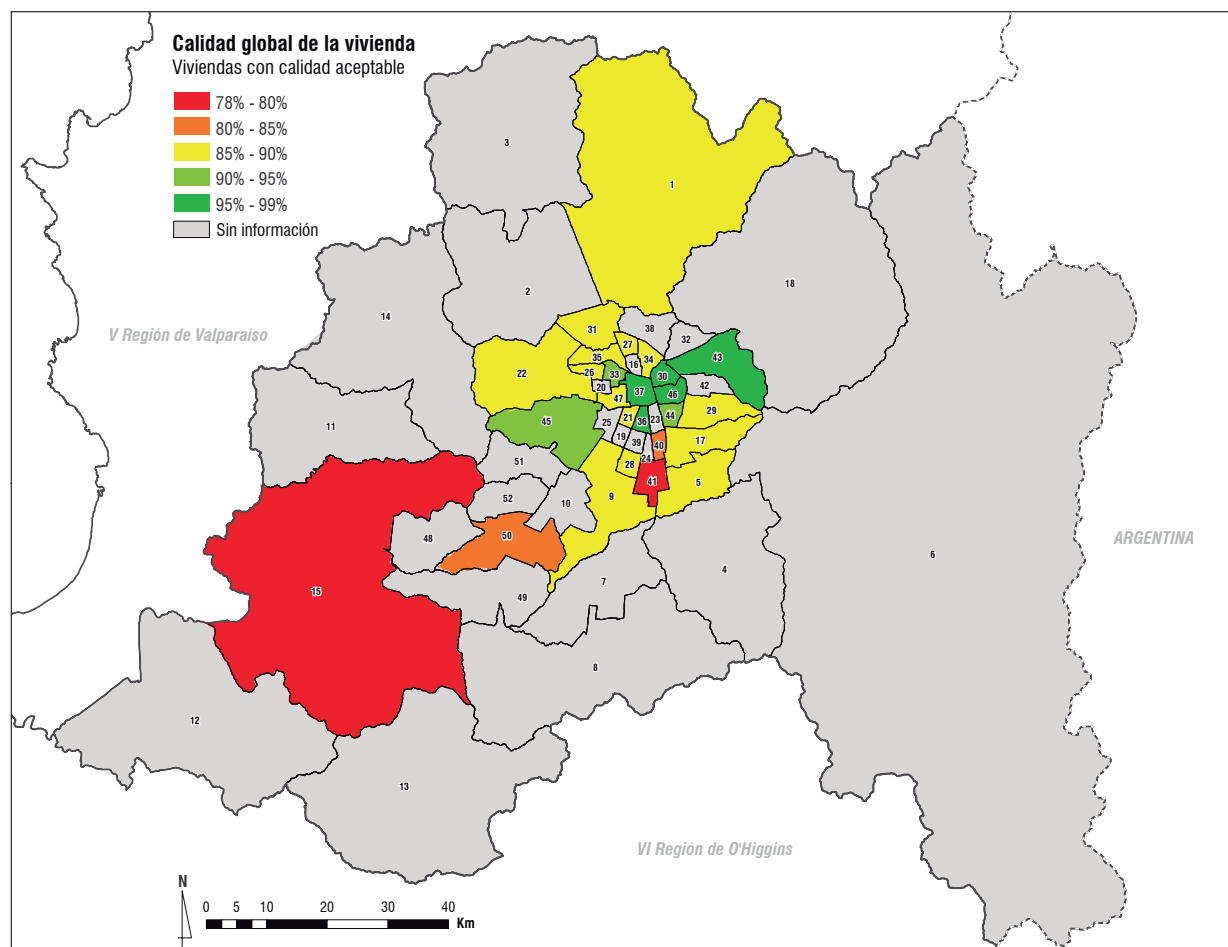


Figura 103. Capacidad adaptativa. Dimensión: Infraestructura y Equipamiento. Viviendas con calidad aceptable. Fuente: GeoAdaptive.

Participación ciudadana	
Indicador	Porcentaje de población de 12 años y más que participa en alguna organización social o grupo organizado
Dimensión	Social
Subdimensión	Participación ciudadana
Escala	Comunal
Año	2015
Fuente	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)
Descripción	Corresponde al porcentaje de población de 12 años o más que declara participar durante los últimos 12 meses en algún grupo social, con respecto al total del mismo grupo etario a nivel comunal. Lo anterior fue diseñado por el Ministerio de Desarrollo a fin de caracterizar las redes personales, es decir vínculos que los sujetos establecen con otros individuos, grupos o instituciones. En este sentido, el indicador permite identificar una medida parcial del grado de capital social (CASEN.2015) y la existencia de un tejido social local, que otorgue mayor preparación y coordinación comunitaria para enfrentar eventos climáticos potencialmente dañinos.

Tabla 35. Descripción indicador: Población >12 años que participa en organizaciones sociales. Fuente: GeoAdaptive.

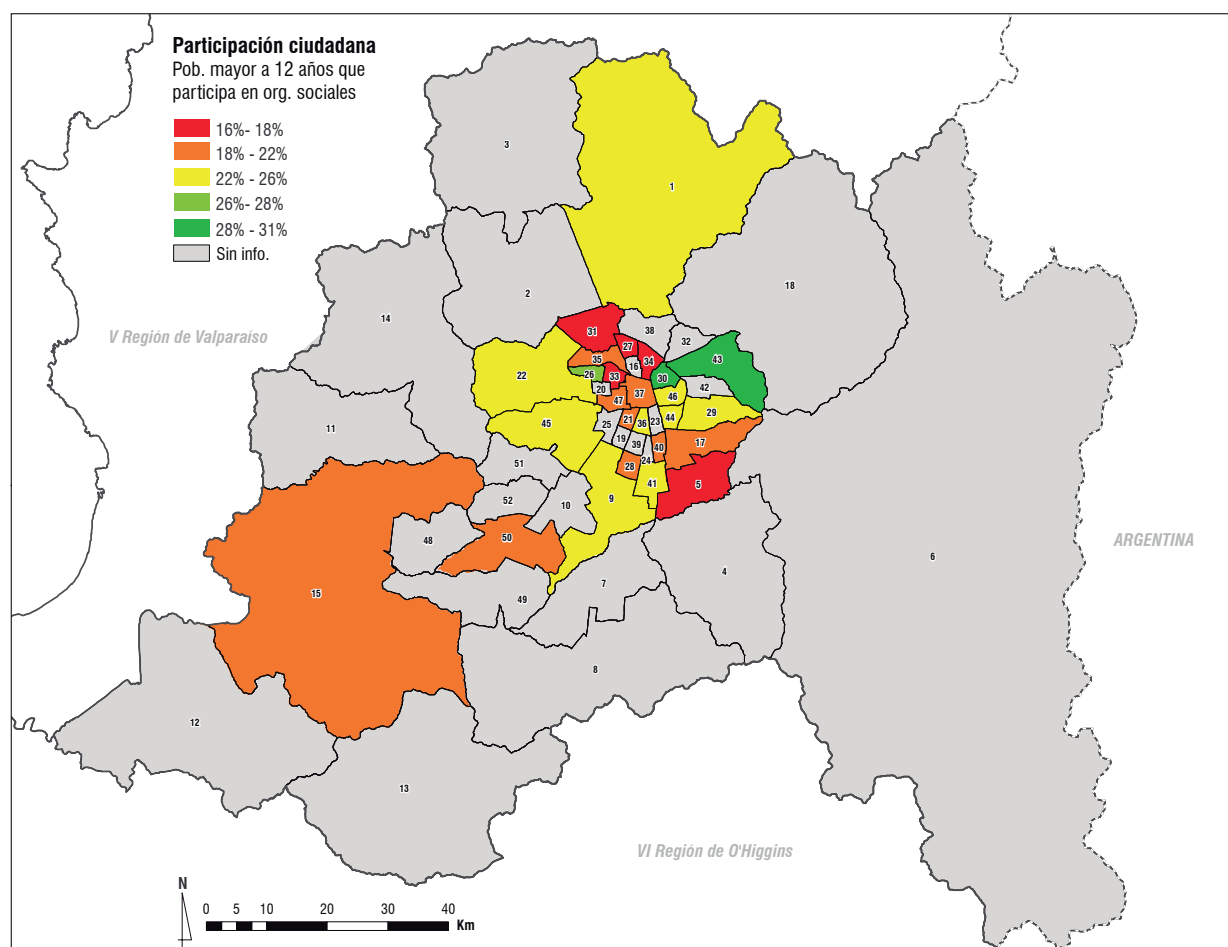


Figura 104. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Población >12 años que participa en organizaciones sociales. Fuente: GeoAdaptive.

Redes y tecnología	
Indicador	Tasa de uso de internet (Utiliza internet al menos una vez a la semana, independientemente del lugar)
Dimensión	Social
Subdimensión	Tecnología y redes
Escala	Comunal
Año	2015
Fuente	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)
Descripción	Indicador que expresa el porcentaje de personas de 5 años o más que utilizan internet, al menos una vez a la semana o más, independientemente del lugar, respecto del total de personas de 5 años o más. Este indicador permite identificar el acceso a las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) de manera periódica, lo que facilita las comunicaciones y la coordinación antes, durante y después de la ocurrencia de desastres. Además, una de las actividades prioritarias del plan nacional de adaptación al cambio climático se relaciona con este indicador, por cuanto busca "Diseñar instrumentos de fomento al desarrollo, transferencia y adopción de tecnologías para la adaptación al cambio climático" (MMA,2014), para lo cual conocer el estado de alfabetización digital es fundamental.

Tabla 36. Descripción indicador: Población que usa internet 1 vez por semana o más. Fuente: GeoAdaptive.

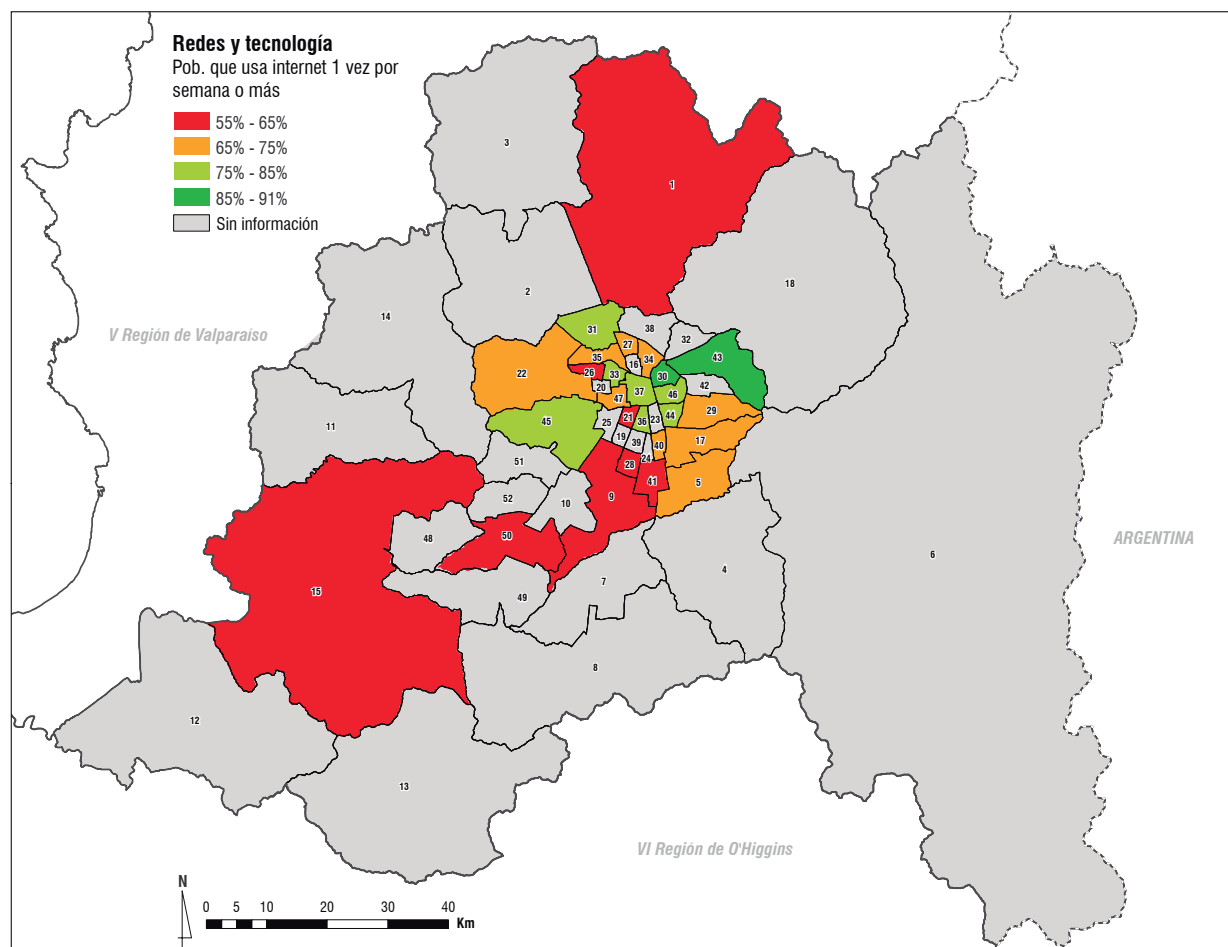


Figura 105. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Población que usa internet 1 vez por semana o más. Fuente: GeoAdaptive.

Ingresos	
Indicador	Promedio del ingreso monetario mensual del hogar
Dimensión	Social
Subdimensión	Socioeconómico
Escala	Comunal
Año	2015
Fuente	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN), Ministerio de Desarrollo Social.
Descripción	El indicador es un promedio en pesos del ingreso monetario mensual recibido por los hogares en noviembre del año 2015. El ingreso monetario se compone por el ingreso autónomo y los subsidios monetarios recibidos por todos los miembros del hogar. El ingreso autónomo es aquel que se recibe por concepto de sueldos y salarios, ganancias provenientes del trabajo independiente, autoprovisión de bienes producidos por el hogar, bonificaciones, gratificaciones, rentas, intereses, así como jubilaciones, pensiones, montepíos y transferencias entre privados además de los subsidios monetarios recibidos por todos los miembros del hogar (CASEN, 2015). Este indicador permite identificar una eventual capacidad de respuesta en términos económicos y poder adquisitivo de la población.

Tabla 37. Descripción indicador: Promedio del ingreso monetario mensual del hogar. Fuente: GeoAdaptive.

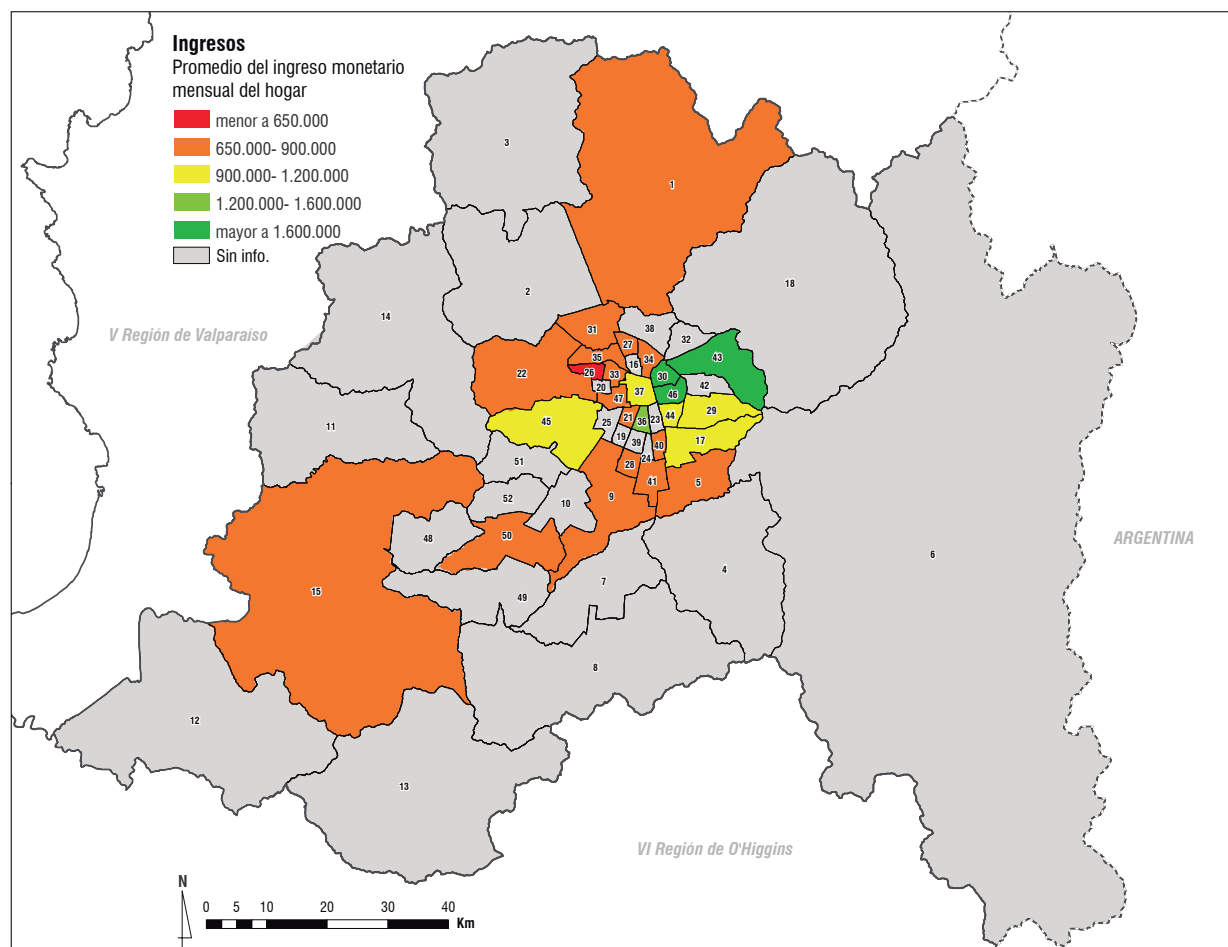


Figura 106. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Promedio del ingreso monetario mensual del hogar. Fuente: GeoAdaptive.

Escolaridad	
Indicador	Años de escolaridad promedio de personas mayores a 25 años
Dimensión	Social
Subdimensión	Educación
Escala	Comunal
Año	2017
Fuente	CENSO, Instituto Nacional de Estadísticas
Descripción	Indicador que refleja el nivel educativo de la población, contabilizando el total de años de estudios aprobados de la población de 25 años o más, de acuerdo al curso más alto aprobado y al nivel más alto alcanzado en la educación formal (INE, 2017). Ciudadanos con mayor nivel educativo presentarán una mayor capacidad de adaptación al cambio climático (Barton, 2009), con niveles altos de concientización con respecto al fenómeno y un mayor número de herramientas para enfrentar cambios y/o situaciones adversas.

Tabla 38. Descripción indicador: Años de escolaridad promedio personas >25 años. Fuente: GeoAdaptive.

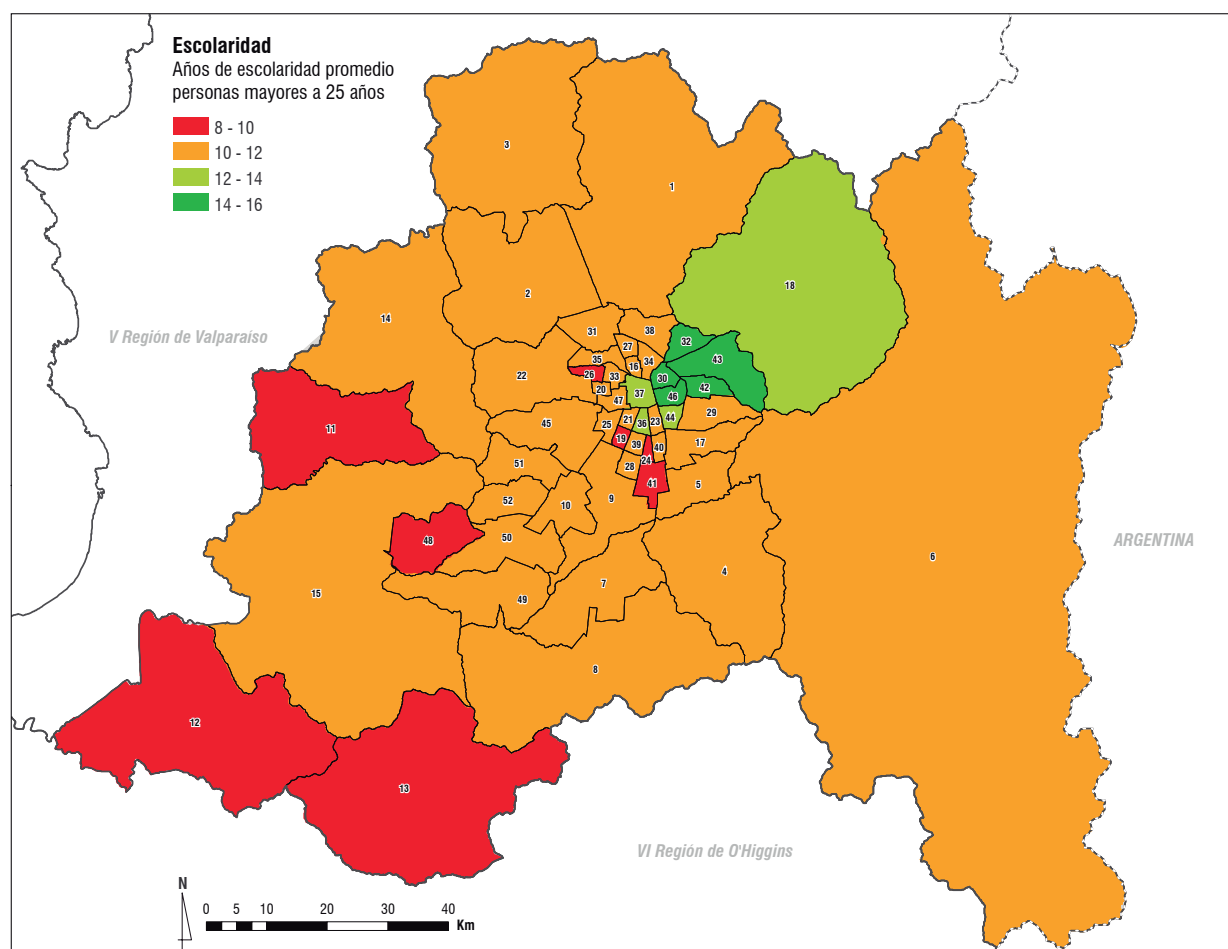


Figura 107. Capacidad adaptativa. Dimensión: Social. Años de escolaridad promedio personas >25 años. Fuente: GeoAdaptive.

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco

Referencias (secciones 01, 02)

- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- CR2. (2019). Plataforma de Simulaciones Climáticas CR2. Retrieved September 5, 2019, from <http://simulacio>
- CIGIDEN. (2019). Explora Capas - GeoNode. Retrieved September 5, 2019, from <http://ide.cigiden.cl/layers/?page=60 nes.cr2.cl/>
- CONAF. (2013). Guía para trabajar con habitantes de áreas rurales y de la interfase forestal/urbana.
- DesInventar Project - Official Website. (n.d.). Retrieved October 10, 2019, from <https://www.desinventar.org/>
- DGA. (2012). Decreto 1674- Establece nuevos criterios para calificar épocas de extraordinaria sequía.
- DGA. (2013). Boletín 497- Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. 32.
- DGA. (n.d.). Observatorio de Sequía DGA. Retrieved October 10, 2019, from <http://www.observatoriodga.cl/>
- DMC. (2018). Olas de Calor: Las invitadas no deseadas del verano – Meteochile Blog. Retrieved October 10, 2019, from <http://blog.meteochile.gob.cl/2018/11/15/olas-de-calor-las-invitas-no-deseadas-del-verano/>
- DMC. (2019). Dirección Meteorológica de Chile. Retrieved October 10, 2019, from <http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>
- Gironás, J., Sandoval, J., & Gonzalo, E. (2005). Riesgo de origen hidrometeorológico en la ciudad de Santiago. 1–23. <https://doi.org/10.1108/JEA-10-2012-0115>
- GORE. (2013). Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago.
- GORE. (2013). Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la región metropolitana de Santiago.
- GORE. (2005). Bases para el Ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la Región Metropolitana de Santiago. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004>
- IPCC. (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. Cambio Climático 2013. Bases Físicas. Contribución Del Grupo de Trabajo I Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nau.
- IPCC. (2014). Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen Para Las Responsabilidades Políticas, 33. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers - Global warming of 1.5oC, an IPCC special report.
- Koller, R. (1982). Análisis y zonificación del peligro de incendios forestales en la décima región. Tesis Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Cguke
- Lampa, I. M. (2016). Plan de protección contra incendios forestales 2016 Lampa.
- Miguel, C. S., Roberto, G. S., Guillermo, J. A., & Luis, G. R. (2012). Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Interciencia*, 37(11), 796–804.
- Nacionales, M. de B. (2019). Capas - IDE-Chile. Retrieved September 5, 2019, from <http://www.ide.cl/descarga/capas.html>
- Observatorio Agroclimático. (n.d.). Retrieved September 5, 2019, from <http://www.climatedatalibrary.cl/UNEA/maproom/>

- ONEMI. (2012). Díptico Inundaciones Oficina Nacional de Emergencias.
- ONEMI. (2019). Incendios Forestales | ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública -ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública -. Retrieved October 1, 2019, from <https://www.onemi.gov.cl/incendios-forestales/>
- ONEMI. (2017). Plan regional específico de emergencia por variable de riesgo remoción en masa borde costero Región de Antofagasta. 43.
- Ortega, R. (2019). Evaluación del riesgo de incendios forestales para contribuir a su reducción en las comunidades de la diócesis de Talca, Región del Maule. 23(3), 2019.
- Ortiz. (2016). n de Protección Contra Incendios Forestales para la Comuna de Calbuco, Región de Los Lagos.
- Romero, H., & Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Eure, 31(94), 97–119.
- SERNAGEOMIN. (2003). Peligro de remociones en masa e inundaciones de la cuenca de Santiago, región Metropolitana.
- SERNAGEOMIN. (2019). Peligros geológicos y ordenamiento territorial – SERNAGEOMIN. Retrieved September 5, 2019, from <https://www.sernageomin.cl/peligrosgeologicos/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2015). Catastro de los principales desastres naturales por peligros geológicos en Chile y efectos sobre la población y bienes públicos y privados entre 1980 y 2015. Ministerio de Minería
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2017). Principales desastres ocurridos desde 1980. Ministerio de Chile, 45.
- UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres.
- UNISDR The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). A Handbook for Local Government Leaders Making Cities Resilient – My City is Getting Ready! Cities.
- Verdugo, C. (2017). Análisis entre la Temperatura Superficial y Temperatura Atmosférica en la Formación de Islas de Calor Urbano y Efectos de las Coberturas Naturales en la Ciudad de Concepción. Universidad de Concepción.

Referencias (secciones 03, 04, 05)

- Cardona, O.D., M.K. van Aaist, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh (2012) Determinants of risk: exposure and vulnerability. En Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.), A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (pp. 65-10). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Carvacho, L. Asigcon. (20012). Propuesta de un método para la comparación de unidades espaciales utilizando variables normalizadas sobre una base conceptual. En Anales del XXXII Congreso Nacional y XVII Internacional de Geografía: Conciencia Geográfica en el Tercer Milenio (pp. 448-455).
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (FONDAP 15110009). (2018). Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas. Proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” mandatado por el Ministerio del Medio Ambiente. Disponible en www.cr2.cl
- Cortés, G. et al. (2012). Assessment of the current climate and expected climate changes in the Metropolitan Region of Santiago de Chile, UFZ-Report. Helmholtz Centre for Environmental Research.
- Henríquez, Cristián, Aspee, Nicolle, & Quense, Jorge. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. Revista de geografía Norte Grande, (63), 27-44.
- Información para el Desarrollo Productivo Ltda., Ministerio del Medio Ambiente. (INFODEP-MMA). (2016). Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050.
- IPCC. (2014). Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen Para Las Responsabilidades Políticas, 33.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers - Global warming of 1.5oC, an IPCC special report.
- Krellenberg, K., Barth, K., Hansjürgens, B., Nagel, J., & Kit, R. B. (2012.). Clima Adaptación Santiago. (2012). Santiago, Leipzig: Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ.
- Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, & S. Myeong. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (pp. 25-64). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Stephens, S.L. et al. (2013). Managing Forests and Fire in Changing Climates. Science, 342.
- Stevens, F. R., Gaughan, A. E., Linard, C. & Tatem, A. J. (2015). Disaggregating Census Data for Population Mapping Using Random Forests with Remotely-Sensed and Ancillary Data. PLoS ONE 10, e0107042.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial. Santiago.
- UNISDR The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). A Handbook for Local Government Leaders Making Cities Resilient – My City is Getting Ready! Cities.
- Welz, J., & Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Posiciones teóricas versus evidencias empíricas. Eure, 42(125), 251–272.
- WorldPop (www.worldpop.org - School of Geography and Environmental Science, University of Southampton; Department of Geography and Geosciences, University of Louisville; Departement de Geographie, Université de Namur) and Center for International Earth Science

Information Network (CIESIN), Columbia University. (2018). Global High Resolution Population Denominators Project - Funded by The Bill and Melinda Gates Foundation (OPP1134076).

Zonensein, J., Miguez, M. G., De Magalhães, L. P. C., & Valentin, M. G. (2008). Flood Risk Index as an Urban Management Tool. 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh, Scotland, UK

Referencias (secciones 06, 07)

- 100 Resilient Cities, CDMX (2016). CDMX Resilience Strategy.
- 100 Resilient Cities, City of Los Angeles (2018). Resilient Los Angeles
- 100 Resilient Cities, GORE RM (2017). Estrategia de Resiliencia Región Metropolitana de Santiago.
- 100 Resilient Cities, Resilient Chennai (2019). Chennai City Resilience Strategy.
- ADAPT Chile, CEDEUS, Centro UC Cambio Global, MMA (2014). Adaptación Urbana al Cambio Climático. Propuesta para la Adaptación Urbana al Cambio Climático en Capitales Regionales de Chile (Versión Final).
- AECOM, UN-Habitat (2018). City Resilience Profiling Tool.
- Barton, J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regionales. Revista de Geografía del Norte Grande, 43, 5-30.
- C40 Cities, AECOM (2018). C40 Infrastructure Interdependencies + Climate Risk Report.
- C40 Cities, Ramboll (2019). Measuring Progress in Urban Climate Adaptation.
- Departamento de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- EBP, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (2018). Acuerdo Territorial de Adaptación al Cambio Climático en Zonas de Cordillera y Precordillera. Ministerio del Medio Ambiente.
- Hannha, Roehdranz, Ikegami, Shepard, Shaw, Tabor, Zhi, Marquet & Hijmans (2013). CLimate change, wine, and conservation. PNAS, 110 (17), 6907-6912.
- IPCC TAR (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC Third Assessment Report. UK: Cambridge University Press.
- Levina, E. & Tirpak D. Organización for Economic Cooperation and Development (2006). Key Adaptation Concepts and Terms. OCDE/IEA Project for the Annex I Expert Group on the UNFCCC (Draft paper, Agenda document 1). Paris: OCDE.
- Miranda, M., Dobbs, C., Olave, M, & Olave, P. (2019). Bosque esclerófilo frente a sequías y olas de calor. GEF Montaña.
- The Climate Impact Group, ICLEI. (2007). Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments.
- The Rockefeller Foundation (2018). City Water Resilience Framework
- The Rockefeller Foundation, ARUP (2015). City Resilience Framework.
- UN/ISDR (Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction) (2004). Living with Risk – A global review of disaster reduction initiatives.
- UNDP (2005). Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Developing Strategies, Policies and Measures, Ed. Bo Lim, Erika Spanger-Siegfried, Co-authors Ian Burton, Elizabeth Malone, Saleemul Huq.
- World Bank, GFDRD (2018). City Strength Resilient Cities Program

Esta página ha sido dejada intencionalmente en blanco

Anexo I: Listado de datos geoespaciales

#	Nombre capa	Tipo	Descripción	Etapas
1	amenaza_inundacion.shp	shapefile	Peligro de inundación RM	Act 1-2
2	amenaza_inundacion_sup.shp	shapefile	Superficie comunal con peligro de inundación alto	Act 1-2
3	amenaza_remocion.shp	shapefile	Peligro de remoción en masa RM	Act 1-2
4	amenaza_remocion_sup.shp	shapefile	Superficie comunal con peligro de remoción en masa	Act 1-2
5	incendios_2014-16.shp	shapefile	Registro de incendios forestales y su magnitud 2014, 2015, 2016	Act 1-2
6	incendios_sup.shp	shapefile	Superficie comunal con susceptibilidad de propagación media y alta	Act 1-2
7	propagacion.tif	raster	Susceptibilidad de propagación de incendios forestales	Act 1-2
8	propagacion_gen.tif	raster	Susceptibilidad de propagación de incendios forestales. Clusterización por clases	Act 1-2
9	sequia.shp	shapefile	Registro de índice de precipitación estandarizado por comuna 1990-2019. Se incluye el # de años (frecuencia) de períodos IPE según escala (ver pág. 62)	Act 1-2
10	olac_temp_sup_usos.shp	shapefile	Temperatura superficial promedio según uso de suelo	Act 1-2
11	tsp_em_e	raster	Temperatura superficial 17 enero 2017 (ola de calor)	Act 1-2
12	tsp_comunal	raster	Temperatura superficial promedio a escala comunal	Act 1-2
13	temp_atm	raster	Temperatura atmosférica 17 enero 2017 (ola de calor)	Act 1-2
14	amenazas.tif	raster	Índice de amenaza climática general para la RM (0-1)	Act 3-4-5
15	inundacion_lr	raster	Amenaza de inundación normalizada (0-1)	Act 3-4-5
16	remocion_lr	raster	Amenaza de remoción en masa normalizada (0-1)	Act 3-4-5
17	incendios_lr	raster	Amenaza de incendio forestal normalizada (0-1)	Act 3-4-5
18	sequia_lr	raster	Amenaza de sequía normalizada (0-1)	Act 3-4-5
19	oladecalor_lr	raster	Amenaza de ola de calor normalizada (0-1)	Act 3-4-5
20	exposicion.tif	raster	Índice de exposición de población	Act 3-4-5
21	infra_expuesta.shp	shapefile	Infraestructura esencial expuesta	Act 3-4-5
22	vul_sequia.tif	raster	Vulnerabilidad para amenaza de sequía	Act 3-4-5
23	vul_otras_amenazas.tif	raster	Vulnerabilidad para amenazas de: inundación, remoción en masa, incendio forestal y ola de calor	Act 3-4-5
24	vul_general.tif	raster	Índice de vulnerabilidad climática general para la RM	Act 3-4-5
25	riesgo_inundacion.tif	raster	Riesgo de inundación	Act 3-4-5
26	riesgo_remocion.tif	raster	Riesgo de remoción en masa	Act 3-4-5
27	riesgo_incendio.tif	raster	Riesgo de incendio forestal	Act 3-4-5
28	riesgo_sequia.tif	raster	Riesgo de sequía	Act 3-4-5
29	riesgo_c_general	raster	Índice de riesgo climático general para la RM	Act 3-4-5
30	riesgo_prom_comunal.tif	raster	Valor promedio comunal del índice de riesgo climático general	Act 3-4-5
31	dif_temp_fut_cerc.tif	raster	Diferencia del promedio anual de temperaturas: futuro cercano	Act 3-4-5
32	dif_temp_fut_intm.tif	raster	Diferencia del promedio anual de temperaturas: futuro intermedio	Act 3-4-5
33	dif_temp_fut_lej.tif	raster	Diferencia del promedio anual de temperaturas: futuro lejano	Act 3-4-5
34	dif_pp_fut_cerc.tif	raster	Diferencia del promedio anual de precipitaciones: futuro cercano	Act 3-4-5
35	dif_pp_fut_intm.tif	raster	Diferencia del promedio anual de precipitaciones: futuro intermedio	Act 3-4-5
36	dif_pp_fut_lej.tif	raster	Diferencia del promedio anual de precipitaciones: futuro lejano	Act 3-4-5
37	ind_capacidad_adaptativa.shp	shapefile	Indicadores de capacidad adaptativa	Act 6-7

Anexo II: Campos de atributos para indicadores de capacidad adaptativa

Campo de atributo	Indicador asociado
AVM_HAB	Áreas verdes con mantenimiento
Psup_AP	Áreas naturales protegidas
SCAM	Gestión ambiental
Año_PLADE	Plan de desarrollo comunal
Año_PRC	Plan regulador comunal
ORD_PC	Ordenanza de participación ciudadana
MontoPMU	Gestión para inversión en espacios públicos
IASB	Servicios básicos
ICGV	Calidad global de la vivienda
Participa_	Participación ciudadana
USO_Intern	Redes y tecnología
Ingr_M	Ingresos
Escol_25	Escolaridad

0.23	0.75	0.86	0.77	0.02	-0.08	0.28	-0.04	0.39	0.59	0.85	1.61	1.25	0.90	0.16	-0.41	-0.63	-0.96	-1.12	-0.84	-1.41	-0.85	-1.15
0.00	0.55	0.64	0.53	-0.23	-0.27	0.30	0.02	0.58	0.78	0.98	1.83	1.39	1.17	0.47	-0.07	-0.21	-0.63	-0.85	-1.14	-1.38	-1.38	-1.61
-0.08	0.48	0.57	0.45	-0.33	-0.35	0.31	0.02	0.60	0.76	0.93	1.81	1.38	0.91	0.57	0.09	-0.03	-0.48	-0.76	-1.10	-1.36	-1.36	-1.62
-0.17	0.40	0.47	0.34	-0.44	-0.43	0.31	0.03	0.65	0.79	0.92	1.82	1.36	1.27	0.67	0.22	0.13	-0.35	-0.68	-0.86	-1.33	-1.35	-1.34
-0.21	0.36	0.43	0.28	-0.50	-0.48	0.31	0.03	0.67	0.79	0.90	1.81	1.35	1.29	0.73	0.31	0.24	-0.27	-0.63	-1.02	-1.32	-1.34	-1.64
-0.17	0.40	0.43	0.23	-0.59	-0.58	0.32	0.09	0.80	0.87	0.95	1.75	1.29	1.33	0.91	0.61	0.58	0.01	-0.44	-0.89	-1.04	-1.26	-1.33
-0.23	0.35	0.39	0.22	-0.56	-0.55	0.30	0.04	0.74	0.84	0.92	1.79	1.31	1.31	0.82	0.47	0.42	-0.12	-0.53	-0.95	-1.28	-1.09	-1.64
-0.01	0.60	0.69	0.55	-0.30	-0.34	0.37	0.02	0.53	0.67	0.88	1.72	1.40	1.28	0.73	0.36	0.25	-0.26	-0.69	-0.96	-1.20	-1.33	-1.30
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
0.05	0.64	0.75	0.64	-0.19	-0.25	0.34	0.00	0.47	0.65	0.87	1.73	1.37	1.16	0.49	0.02	-0.11	-0.54	-0.84	-0.99	-1.18	-1.34	-1.55
0.13	0.36	0.43	0.28	-0.50	-0.48	0.31	0.03	0.67	0.79	0.90	1.81	1.35	1.29	0.73	0.31	0.24	-0.27	-0.63	-1.02	-1.32	-1.34	-1.64
-0.23	0.35	0.39	0.22	-0.56	-0.55	0.30	0.04	0.74	0.84	0.92	1.79	1.31	1.31	0.82	0.47	0.42	-0.12	-0.53	-0.95	-1.28	-1.09	-1.64
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.61
0.06	0.63	0.74	0.64	-0.16	-0.22	0.33	-0.01	0.48	0.67	0.90	1.76	1.38	1.13	0.43	-0.09	-0.23	-0.64	-0.88	-1.20	-1.41	-1.36	-1.57
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
0.20	0.48	0.53	0.38	-0.39	-0.43	0.28	0.04	0.71	0.87	1.02	1.82	1.34	1.24	0.67	0.23	0.14	-0.35	-0.67	-1.02	-1.32	-1.34	-1.63
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
-0.09	0.47	0.54	0.41	-0.36	-0.39	0.29	0.03	0.66	0.82	0.98	1.83	1.36	1.23	0.62	0.15	0.05	-0.42	-0.72	-1.06	-1.34	-1.36	-1.63
-0.12	0.44	0.48	0.32	-0.46	-0.49	0.28	0.04	0.74	0.87	0.99	1.80	1.32	1.27	0.74	0.36	0.28	-0.23	-0.59	-0.97	-1.03	-1.32	-1.34
-0.21	0.38	0.45	0.29	-0.53	-0.51	0.34	0.04	0.66	0.76	0.87	1.77	1.35	1.34	0.84	0.51	0.44	-0.11	-0.56	-1.03	-1.34	-1.32	-1.62
-0.10	0.46	0.49	0.32	-0.46	-0.31	0.27	0.05	0.76	0.90	1.01	1.80	1.30	1.26	0.76	0.39	0.32	-0.20	-0.56	-0.94	-0.87	-1.31	-1.63
-0.06	0.49	0.49	0.29	-0.52	-0.58	0.25	0.06	0.83	0.95	1.04	1.75	1.25	1.27	0.85	0.55	0.52	-0.01	-0.42	-0.83	-1.23	-1.26	-1.61
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
-0.21	0.36	0.43	0.28	-0.50	-0.48	0.31	0.03	0.67	0.79	0.90	1.81	1.35	1.29	0.73	0.31	0.24	-0.27	-0.63	-1.02	-1.32	-1.34	-1.64
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
-0.14	0.44	0.52	0.38	-0.41	-0.41	0.32	0.02	0.62	0.76	0.90	1.80	1.36	1.26	0.67	0.23	0.14	-0.35	-0.69	-0.88	-1.35	-1.35	-1.62
0.10	0.72	0.83	0.70	-0.17	-0.24	0.38	-0.02	0.43	0.60	0.85	1.68	1.40	1.20	0.59	0.19	0.07	-0.40	-0.79	-1.01	-1.17	-1.09	-1.51
0.14	0.74	0.86	0.76	-0.09	-0.18	0.34	-0.04	0.38	0.56	0.82	1.66	1.34	1.08	0.40	-0.08	-0.22	-0.63	-0.92	-1.27	-1.44	-1.32	-1.49
-0.15	0.41	0.46	0.31	-0.47	-0.49	0.29	0.04	0.72	0.85	0.96	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.27	-0.24	-0.60	-0.99	-1.30	-1.33	-1.63
-0.07	0.51	0.60	0.47	-0.33	-0.35	0.33	0.01	0.58	0.73	0.90	1.78	1.37	1.23	0.61	0.17	0.06	-0.41	-0.74	-0.52	-1.37	-0.83	-1.60
0.09	0.62	0.71	0.62	-0.13	-0.20	0.29	0.01	0.54	0.74	0.96	1.77	1.35	1.08	0.39	-0.19	-0.37	-0.76	-0.96	-0.98	-1.40	-1.12	-1.54
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
-0.02	0.55	0.65	0.53	-0.27	-0.31	0.33	0.00	0.55	0.71	0.90	1.78	1.38	1.20	0.54	0.06	-0.05	-0.50	-0.79	-0.74	-1.15	-1.07	-1.59
-0.11	0.45	0.49	0.33	-0.45	-0.29	0.27	0.04	0.74	0.88	1.00	1.80	1.32	1.26	0.74	0.35	0.27	-0.24	-0.59	-0.97	-1.30	-1.32	-1.36
0.00	0.55	0.61	0.49	-0.26	-0.33	0.27	0.03	0.68	0.88	1.06	1.86	1.37	1.19	0.54	0.04	-0.10	-0.56	-0.81	-0.71	-1.37	-1.37	-1.62
-0.15	0.42	0.47	0.31	-0.47	-0.49	0.29	0.04	0.72	0.85	0.97	1.81	1.32	1.27	0.74	0.35	0.27	-0.24	-0.60	-0.98	-1.07	-1.33	-1.63
-0.16	0.43	0.50	0.36	-0.44	-0.44	0.33	0.03	0.63	0.75	0.89	1.78	1.36	1.29	0.73	0.33	0.25	-0.26	-0.64	-0.87	-1.12	-1.06	-1.61
-0.07	0.49	0.55	0.40	-0.37	-0.41	0.28	0.04	0.70	0.87	1.01	1.83	1.35	1.23	0.64	0.19	0.08	-0.39	-0.70	-1.04	-1.33	-1.35	-1.63
-0.28	0.30	0.36	0.20	-0.58	-0.55	0.31	0.04	0.71	0.81	0.88	1.80	1.33	1.33	0.82	0.45	0.40	-0.14	-0.55	-0.98	-1.29	-0.81	-1.65
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
-0.24	0.34	0.40	0.25	-0.53	-0.32	0.32	0.04	0.69	0.79	0.89	1.81	1.34	1.31	0.76	0.36	0.29	-0.23	-0.60	-1.01	-1.31	-1.34	-1.64
-0.08	0.48	0.56	0.44	-0.33	-0.36	0.31	0.02	0.63	0.79	0.95	1.83	1.37	1.22	0.58	0.08	-0.03	-0.48	-0.76	-1.09	-1.35	-1.36	-1.63
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
-0.05	0.53	0.56	0.42	-0.32	-0.49	0.13	-0.04	0.73	0.97	1.13	1.78	1.27	1.14	0.60	0.22	0.11	-0.42	-0.77	-1.12	-1.48	-1.35	-1.47
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
0.25	0.84	0.97	0.87	0.01	-0.11	0.32	-0.09	0.27	0.47	0.72	1.53	1.22	0.88	0.19	-0.29	-0.44	-0.79	-0.84	-1.33	-1.43	-1.27	-1.38
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35	1.25	0.65	0.20	0.11	-0.37	-0.69	-1.04	-1.33	-1.35	-1.34
-0.17	0.40	0.45	0.30	-0.48	-0.48	0.30	0.04	0.71	0.83	0.94	1.81	1.33	1.28	0.74	0.34	0.26	-0.25	-0.61	-0.99	-1.31	-1.10	-1.64
0.00	0.57	0.67	0.56	-0.24	-0.28	0.33	0.00	0.53	0.71	0.91	1.78	1.38	1.18	0.51	0.01	-0.12	-0.55	-0.82	-1.16	-1.15	-1.12	-1.31
0.23	0.75	0.86	0.77	0.02	-0.08	0.28	-0.04	0.39	0.59	0.85	1.61	1.25	0.90	0.16	-0.41	-0.63	-0.96	-1.12	-0.84	-1.41	-0.85	-1.15
0.00	0.55	0.64	0.53	-0.23	-0.27	0.30	0.02	0.58	0.78	0.98	1.83	1.39	1.17	0.47	-0.07	-0.21	-0.63	-0.85	-1.14	-1.38	-1.38	-1.61
-0.08	0.48	0.57	0.45	-0.33	-0.35	0.31	0.02	0.60	0.76	0.93	1.81	1.38	0.91	0.57	0.09	-0.03	-0.48	-0.76	-1.10	-1.36	-1.36	-1.62
-0.17	0.40	0.47	0.34	-0.44	-0.43	0.31	0.03	0.65	0.79	0.92	1.82	1.36	1.27	0.67	0.22	0.13	-0.35	-0.68	-0.86	-1.33	-1.35	-1.34
-0.21	0.36	0.43	0.28	-0.50	-0.48	0.31	0.03	0.67	0.79	0.90	1.81	1.35	1.29	0.73	0.31	0.24	-0.27	-0.63	-1.02	-1.32	-1.34	-1.64
-0.17	0.40	0.43	0.23	-0.59	-0.58	0.32	0.09	0.80	0.87	0.95	1.75	1.29	1.33	0.91	0.61	0.58	0.01	-0.44	-0.89	-1.04	-1.26	-1.33
-0.23	0.35	0.39	0.22	-0.56	-0.55	0.30	0.04	0.74	0.84	0.92	1.79	1.31	1.31	0.82	0.47	0.42	-0.12	-0.53	-0.95	-1.28	-1.09	-1.64
-0.01	0.60	0.69	0.55	-0.30	-0.34	0.37	0.02	0.53	0.67	0.88	1.72	1.40	1.28	0.73	0.36	0.25	-0.26	-0.69	-0.96	-1.20	-1.33	-1.30
-0.11	0.45	0.51	0.38	-0.40	-0.42	0.30	0.03	0.68	0.83	0.97	1.82	1.35										